

ESTRUTURAS GEOLÓGICAS DO MANTO DE INTEMPERISMO E MODELOS GEOESTRUTURAIS APLICADOS À ANÁLISE DE RISCO DE ESCORREGAMENTOS: OS MACIÇOS DE ALTERAÇÃO DE ROCHAS FOLIADAS.

GEOLOGICAL STRUCTURES OF WEATHERING MANTLE AND GEOSTRUCTURAL MODELS APPLIED TO LANDSLIDE RISK ASSESSMENT: THE ALTERED FOLIATED ROCK MASSIFS.

Alex Ubiratan Goossens PELOGGIA¹

RESUMO: A análise de estabilidade de encostas em maciços de alteração de rochas metamórficas foliadas requer uma investigação geológica particular, que envolve a caracterização das estruturas (suas associações e comportamentos geomecânicos) e a definição de prováveis padrões de ruptura. Apresenta-se aqui uma proposta sintética de classificação dessas estruturas dos maciços alterados, bem como uma avaliação de modelos estruturais utilizados para a análise e cartografia de risco.

Palavras-chave: Análise Estrutural Aplicada. Modelos Estruturais. Escorregamentos. Sapolitos.

ABSTRACT: The analysis of slope stability in saprolitic profiles developed over metamorphic rocks demands a particular geological research, that is made by means of structural analysis (of structural associations and geomechanical performance) and by the definition of slope failure patterns. It is presented here a synthetic proposal for classification of the structures in alteration massifs, as well as an evaluation of applied structural models elaborated for slope stability analysis and mapping.

Keywords: Applied Structural Analysis. Structural Models. Landslides. Saprolites.

1- Mestrado em Análise Geoambiental da Universidade Guarulhos. E-mail:apeloggia@prof.ung.br / alexpeloggia@uol.com.br

INTRODUÇÃO

A análise e gestão de riscos geológicos, entre eles os relacionados a escorregamentos, exige dos profissionais de Ciências da Terra uma competência específica que envolve a compreensão do problema em suas múltiplas dimensões: geológica, geotécnica, administrativa, socioeconômica, legal, política, ambiental, histórica, educativa e subjetiva. Dentre tais perspectivas, as duas primeiras fornecem os fundamentos para a compreensão dos processos naturais ou tecnogênicos geradores das situações de perigo: geologicamente, trata-se de investigar a natureza, as causas, a abrangência e as possíveis consequências dos fenômenos potencialmente destrutivos, ou seja, de se definir a suscetibilidade geológica da área estudada; na perspectiva geotécnica, tem-se a quantificação ou caracterização geomecânica dos materiais e processos geradores de riscos, utilizadas de forma a se refinar a análise geológica e definir opções de intervenção de estabilização, visando incrementar a segurança geotécnica (PELOGGIA, 2011).

Nesse contexto, é sabido que o estudo da estabilidade de encostas em maciços constituídos por materiais inconsolidados provenientes da alteração de rochas metamórficas foliadas (figura 1) apresenta problemas particulares relacionados à caracterização geológica e ao diagnóstico do comportamento geotécnico. Neste trabalho discute-se a aplicação de modelos estruturais aos estudos de estabilidade e análise de risco de escorregamento que pressupõem a utilização de procedimentos de análise estrutural particularizados, no sentido da identificação e caracterização de estruturas geomecanicamente significativas e da definição de seu comportamento espacial.

Em trabalhos anteriores (PELOGGIA, 1998; 1999), foi abordada a questão de forma mais ampla, no contexto da análise de riscos relacionados à ocupação de encostas urbanas, particularmente com referência ao Município de São Paulo (SP). A experiência citada indicou que a complexidade dos maciços referidos exige um esforço de sistematização voltado à orientação da prática da análise. O enfoque aqui adotado é essencialmente qualitativo, baseado no aprofundamento da observação geológica, nos moldes propostos por Santos (1976), mas se configura também como base para o desenvolvimento de modelos quantitativos de análise de estabilidade mais aperfeiçoados.

ANÁLISE ESTRUTURAL APLICADA EM MACIÇOS DE ALTERAÇÃO DE ROCHA

A análise estrutural geológica básica consiste, essencialmente, na descrição e interpretação das estruturas presentes nas rochas em uma área de estudo, em dada escala de observação, de maneira a relacioná-las espacial e temporalmente, buscando-se o entendimento de seus processos formadores para se decifrar uma história de deformação e metamorfismo em geral complexa (ROBERTS, 1977; CARNEIRO; LIMA, 1989). Entendida geometricamente, a análise estrutural cuida da reconstituição de estruturas, partindo para tanto do princípio de que as deformações às quais as rochas foram submetidas sempre deixam registros reconhecíveis (SÁ; HACKSPACHER, 1982).

Em termos aplicados, a análise estrutural tem sido utilizada em campos como a geologia econômica e pesquisa mineral, por exemplo na caracterização dos ambientes geológicos e seus potenciais de mineralização ou definição geométrica dos corpos de minério (SÁ; HACKSPACHER, 1983; HASUI; MIOTO, 1992). Ainda, podem ser citadas aplicações nos campos da hidrogeologia (definição de condições de percolação da água subterrânea em maciços anisotrópicos) e, certamente, da geologia de engenharia (notadamente investigações sobre maciços de barragens e aterros, túneis, cortes rodoviários etc.).

Nesse último contexto de aplicação, o ponto fundamental que distingue as técnicas da geologia estrutural aplicada à análise de risco de escorregamentos de taludes e encostas é a distinção de feições (estruturas) significativas em relação ao problema enfocado (que é a possibilidade de ruptura), em termos da posição espacial dessas estruturas e da relação entre elas frente a determinadas solicitações do maciço. Isto não acontece na análise estrutural clássica, em que a hierarquização das estruturas se dá basicamente segundo critérios cinemático-temporais relativos à gênese das deformações, ou segundo critérios taxonômicos referentes à escala (e.g. ROBERTS, 1977; CARNEIRO; LIMA, 1989; SÁ; HACKSPACHER, 1982, 1983; HASUI; MIOTO, 1992).

Todavia, tratam-se em geral de estudos referentes a maciços rochosos, havendo ainda relativamente poucas referências à particularidade dos materiais de alteração, enfoque que constituiria uma "geologia estrutural aplicada

das rochas decompostas", e que pode ser entendido como contraparte geológica da abordagem denominada por Milton Vargas (1963 apud PASTORE; CRUZ, 1993) de "mecânica das rochas decompostas". Nesse sentido, Guidicini e Nieble (1993), ao lembrarem que nos perfis de intemperismo os vestígios da estrutura rochosa original podem continuar condicionando o aparecimento de superfícies de movimentação e colapso, afirmam que o estudo de taludes em tais materiais deveria ser conduzido dentro de uma sistemática de análise mais própria a materiais rochosos que a materiais terrosos, e que seria de competência da Geologia diferenciar as estruturas herdadas que regem o comportamento dos perfis de intemperismo.

Seja como for, na literatura técnica é possível identificar pelo menos três formas principais de aplicação da Geologia Estrutural ao estudo de problemas práticos envolvendo maciços de alteração. O primeiro e mais comum é a análise da estabilidade de taludes individuais. O segundo é uma abordagem algo mais ampla, mas ainda de grande detalhe, que incorpora a análise estrutural à cartografia de riscos geológicos em áreas restritas. O último é uma abordagem ampla, mesmo regional, que consiste na tentativa de correlação de tendências estruturais gerais com a ocorrência de problemas geológicos particulares. Os três "métodos" têm caráter previsional, uma vez que buscam fornecer parâmetros para se entender o comportamento de maciços e, portanto, prever-se as consequências dos fenômenos advindos desse comportamento, seja em situações existentes (taludes existentes, por exemplo) ou projetadas.

Por outro lado, Hasui (1990) apresenta uma sistematização geral da abordagem das estruturas geológicas de interesse à análise de estabilidade de taludes (presume-se que visando maciços rochosos, mas que podem ser generalizadas), na qual se enfatiza a necessidade da consideração diferenciada das associações estruturais (isto é, vários tipos de feições associadas, vistas em conjunto), a partir das quais se selecionam aquelas que devem ser investigadas em detalhe através de levantamento sistemático, em função do nível de abordagem. Os critérios para a seleção dessas estruturas seriam a finalidade da investigação (que por si só indicaria muitas das feições de interesse), e o "modelo estrutural", a partir do qual se definiria precisamente quais são elas e a abordagem mais adequada.

Modelos estruturais aplicados

Os modelos estruturais aplicados são representações elaboradas de modo a evidenciar estruturas significativas: aquelas em que a junção da disposição espacial e do comportamento geomecânico pode afetar a possibilidade de movimentação e ruptura, aumentando ou diminuindo a segurança geotécnica da encosta ou talude (HASUI, 1990; PELOGGIA, 1999).

Como se sabe, o conceito geológico geral de estrutura implica um arranjo geométrico do material constituinte das rochas, definido segundo certa escala de observação. A estrutura pode ser uma feição original (como as estruturas sedimentares) ou um produto de deformação tectônica superimposta (resultante de mudança de forma, volume ou posição espacial do material original). Já nos materiais de alteração de rocha pode-se entender por estrutura, em sentido mais amplo, a disposição espacial dos elementos constituintes do maciço, sejam feições reliquias herdadas da rocha-mãe ou ainda feições neoformadas por processos supergênicos, incluindo o arranjo de sobreposição de camadas ou horizontes do solo (sejam de natureza coluvionar, aluvionar, tecnogênica ou resultantes do intemperismo e pedogênese).

Irfan e Woods (1988) diferenciam, entre as estruturas herdadas da rocha-mãe (reliquias) nos maciços alterados, as descontinuidades estruturais e as estruturas litológicas, aplicando os conceitos de fabric, indicando as relações entre textura e estrutura em uma rocha, e de tectonito, que caracteriza rochas que exibem um proeminente fabric tectônico penetrativo, sejam dominados por foliação ou clivagem (tectonitos S), elementos lineares (tectonitos L), eixos de dobras (tectonitos B) ou combinações entre elementos planares e lineares, seja predominando os primeiros (tectonitos SL) ou os últimos (tectonitos LS).

Outro grupo distinto de estruturas, que não são reliquias, mas sim neoformadas, é representado pelos contados ou zonas de transição surgidas no próprio material intemperizado, e que tendem a se dispor paralelamente à superfície das encostas. Pode-se denominar tais feições de estruturas de alteração do maciço. Essas estruturas, esquematizadas na Figura 1, podem ser classificadas conforme proposto no Quadro 1.

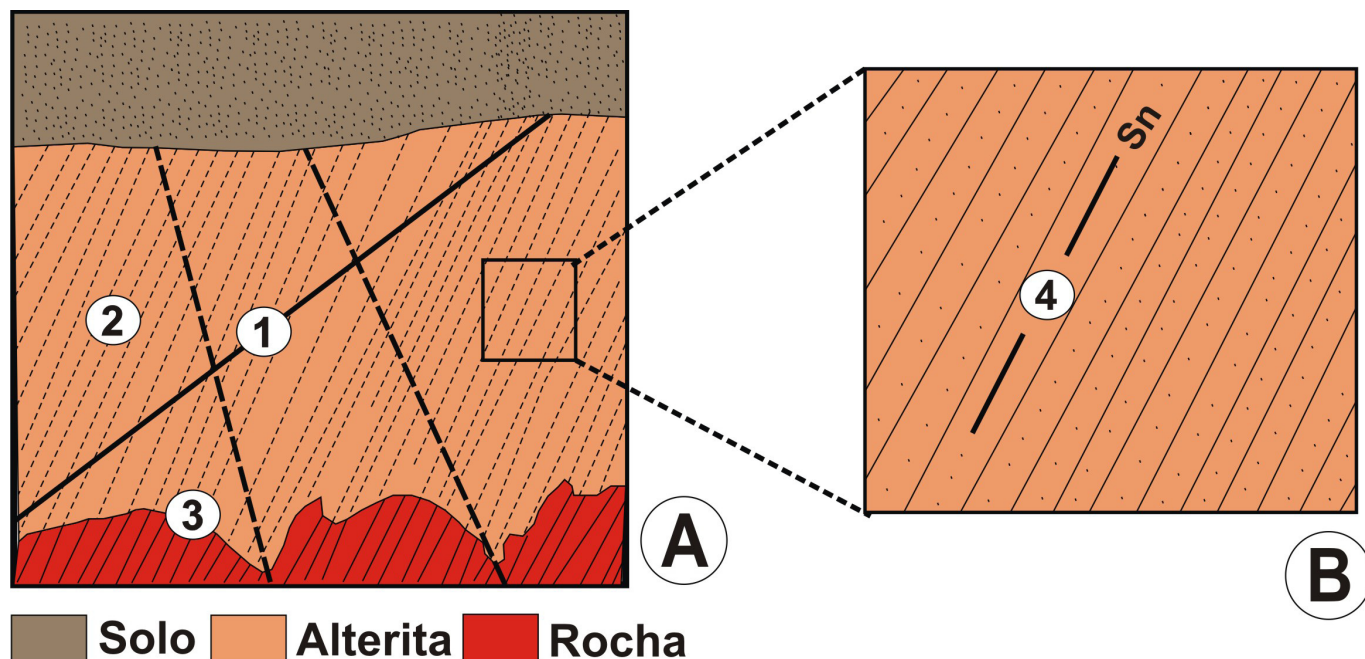


Figura 1: A) Perfil de alteração genérico em um maciço de rocha foliada, mostrando: (1) descontinuidades estruturais (fraturas, falhas, juntas); (2) o material interdescontinuidades; (3) estruturas de alteração (contatos entre horizontes de alteração). B) Porção contínua do saprolito anisotrópico, mostrando: (4) estrutura litológica Sn (foliação principal).

Figure 1: A) Generic weathering profile in a foliated rock massif, showing: (1) structural discontinuities (fractures, faults, joints); (2) the inter-discontinuities material; (3) weathering structures (contacts between alteration layers). B) Continuous portion of the anisotropic saprolite, showing: (4) Sn lithologic structure (main foliation).

ESTRUTURAS DO MACIÇO DE ALTERAÇÃO	Reliquiaries	Descontinuidades Estruturais (Características do maciço rochoso)	Feições planares superimpostas por rupturas posteriores à rocha original e que representam quebras de continuidade no maciço	Fraturas e juntas, zonas e superfícies de falhas, superfícies de deslizamento.
		Estruturas Litológicas (Definidoras do tipo de rocha/alterita)	Estruturas próprias à rocha em si, definidoras do litotipo.	Contatos litológicos, acamamentos e estratificações, dobras, veios ou diques, e feições penetrativas planares (foliação, bandamento gnáissico, xistosidade ou clivagem das rochas metamórficas - superfícies "S"), ou lineares.
	Neoformadas	Estruturas de Intemperismo (Modificadoras do maciço rochoso)	Feições incorporadas ao maciço pela alteração intempérica e pedogênese.	Contatos ou zonas de transição no material intemperizado, faixas de decomposição acentuada, horizontes do solo.

Quadro 1: Classificação das estruturas em maciços de alteração de rochas foliadas.

Chart 1: Classification of structures in weathered foliated rock and saprolite.

Comportamento geomecânico das alteritas foliadas

Peloggia (1999) discute detalhadamente as particularidades do comportamento geomecânico das estruturas dos maciços de alteração. Os pontos principais a serem ressaltados aqui são: a) pode ser verificado empiricamente que o comportamento anisotrópico dos materiais não é homogêneo ao longo do perfil de alteração, e que a influência das estruturas reliquias no comportamento geomecânico é, em geral, maior nas porções mais profundas da alterita; b) a presença de estruturas reliquias planares implica em geral em anisotropia de resistência ao cisalhamento, c) as estruturas planares não são as únicas estruturas penetrativas que podem influenciar o comportamento geomecânico dos maciços; d) os mecanismos de movimentação relacionam-se com comportamento do material alterado em diferentes graus, gerando modos típicos de ruptura de taludes (rupturas controladas pela estruturação do solo, por estruturas reliquias e pelas descontinuidades estruturais) (PELOGGIA, 1997a; BERNARDES, 2003; SILVEIRA, 2005; SILVA, 2006a; SILVA, 2006b).

As investigações geotécnicas realizadas em alteritas de micaxistos, filitos e gnaisses tem mostrado que a resistência desses materiais é função principalmente: a) do grau de decomposição do solo; b) da composição mineralógica da rocha-mãe; c) da posição dos planos de fraqueza reliquias em relação à direção da tensão aplicada; d) da magnitude da deformação; (e) da presença e do grau de cimentação (FRIES, 1974; OGUNSANWO, 1991; FUTAI, 1999).

Enfim, deve ser considerado que as características geomecânicas "reliquias" verificadas nas alteritas também do tipo específico de rocha original e, em particular, do tipo e intensidade da foliação. Verifica-se, pela observação geológica de campo, que o comportamento anisotrópico é tanto mais acentuado quanto mais propriamente "xistoso" for o material: é o caso dos micaxistos em geral, filitos e quartzo-xistos. Já nos gnaisses bandados, de granulação mais grossa, não há anisotropia tão marcante em termos geomecânicos relacionada à foliação ou bandamento, o que pode ser explicado pela textura, ou melhor, pelo arranjo microestrutural do material. Isto parece ser confirmado por ensaios laboratoriais nos quais pode ser verificado que em alguns solos saprolíticos de gnaisses, apesar do aspecto anisotrópico acentuado,

bandado e xistoso, este efeito de macroestrutural parece ser de pouca importância prática quando se trata de análises de estabilidade de encostas. (CAMPOS, 1989; REIS, 2004).

Note-se também que, em maciços derivados de rochas polideformadas, que frequentemente apresentam mais de uma foliação ou outra estrutura penetrativa, nem todas elas necessariamente apresentam importância no condicionamento da estabilidade. Dessa forma, embora em regra seja a xistosidade ou foliação tectônica principal (usualmente representada por S_n) a superfície de descontinuidade mecânica mais significativa, em vários casos tem sido observado que esse papel é reservado a clivagens espaçadas superimpostas. Nesse contexto, Peloggia (1997a) levanta também a possibilidade da explicação da ocorrência de baixos ângulos de atrito em materiais derivados da alteração de gnaisses pela preservação de certas texturas tectônicas plano-lineares da rocha (tectonitos LS). Nunes e Fernandes (1985) comentam que, apesar de ser esperável que o cisalhamento dos gnaisses se dê predominantemente ao longo das bandas escuras ricas em biotita, outras direções podem prevalecer devido a condições de tensão diferenciadas em outros conjuntos minerais.

Estas características são de grande importância para a compreensão dos mecanismos de ruptura de encostas e taludes constituídos por esses materiais, que configuram a hipótese básica de construção dos modelos estruturais. Nesse sentido, Irfan e Woods (1988) classificam os modos típicos de ruptura de taludes em função do comportamento do material alterado em diferentes graus:

1) rupturas controladas pela estruturação do solo (nas zonas pedolíticas de solos superficiais e em parte nas porções superiores dos solos saprolíticos). É importante ressaltar que o material saprolítico deve ser considerado anisotrópico não em função da aparência (e apesar desta ser um primeiro e importante critério), mas basicamente do comportamento mecânico observado;

2) rupturas controladas por estruturas reliquias nas alteritas (como a foliação), caráter esse tendencialmente mais acentuado conforme nos aprofundamos no perfil de alteração; e, finalmente,

3) rupturas controladas pelas descontinuidades estruturais do maciço rochoso fraturado, são ou apenas pouco alterado.

O modelo clássico do “baralho de cartas”

Nos maciços de rochas metamórficas, usualmente é a foliação principal (Sn) a estrutura de referência para a configuração dos modelos, uma vez que representaria a anisotropia geomecânica fundamental. Os modelos de análise construídos sob tal pressuposto são “clássicos” e bem conhecidos: cada talude se comporta como se fosse um “baralho de cartas sobrepostas” passíveis de deslizarem, ou não, conforme sua disposição espacial “favorável” ou “desfavorável” (Figura 2).

Todavia, como citado acima, deve ser ressaltado que não necessariamente a estrutura planar significativa para a definição desse tipo de modelo estrutural, na alterita, corresponderá à foliação principal da rocha metamórfica, definida segundo critérios tectônicos.

Isto se deve ao efeito diferencial do intemperismo sobre as estruturas litológicas, que pode fazer com que clivagens tardias se comportem como definidoras do comportamento geomecânico do maciço e superfí-

cies preferências de movimentação, como mostrado na Figura 3.

Esta observação coloca em xeque a possibilidade de aplicação do modelo do “baralho de cartas”, referido às foliações principais Sn, com finalidade de previsão em escala regional (PELOGGIA, 1997b). A regra básica utilizada neste tipo de método é, em essência, aquela exposta por Nogami (1950, *apud* CARREGÃ, 1994), que relaciona a posição das superfícies que possam condicionar movimentos em relação à posição dos taludes segundo três situações fundamentais:

- 1) o corte normal à direção das “camadas”, em que a estabilidade independe do mergulho das mesmas;
- 2) o corte paralelo à direção das “camadas”, com estas mergulhando no mesmo sentido, indicando taludes pouco estáveis e;
- 3) o corte paralelo à direção das “camadas”, com mergulho em sentido oposto, indicando taludes estáveis.

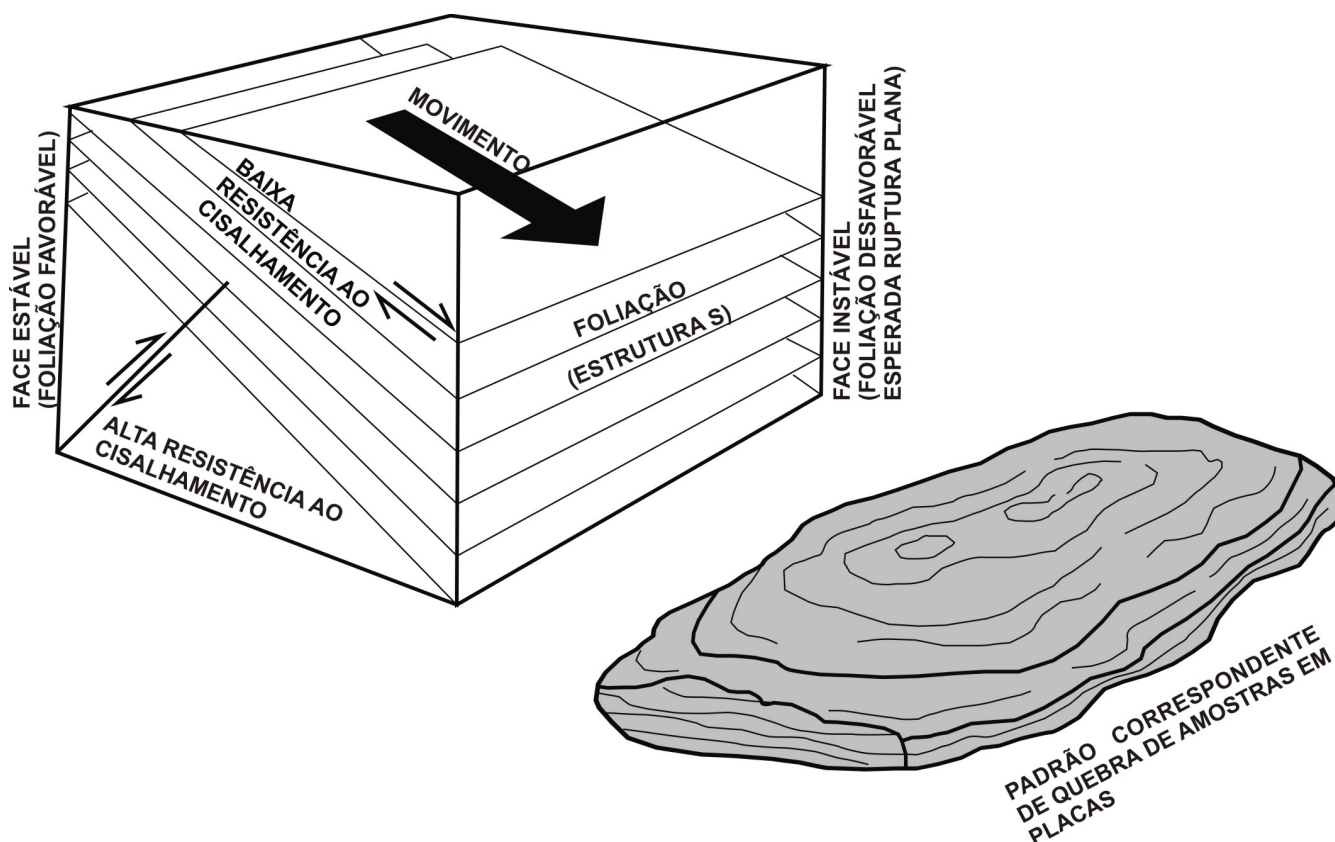


Figura 2: Modelo estrutural clássico do comportamento de taludes em alteritas de rochas foliadas (modelo planar ou do “baralho de cartas”). Sn é a foliação (estrutura planar penetrativa) principal (PELOGGIA, 1999).

Figure 2: Classic structural model for slope behavior of altered foliated rock massifs (planar or “playing cards” model). Sn is the main foliation (penetrative planar structure) (PELOGGIA, 1999).



Figura 3: Exemplo de observação do padrão de quebra do material geológico segundo as estruturas planares. Xisto quartzoso, Zona Norte da Cidade de São Paulo. A estrutura geomecanicamente significativa é uma clivagem espaçada tardia (St) à qual se associa o deslocamento observado (PELOGGIA, 1997b).

Figure 3: Example of observation of the geological material breakdown pattern following planar structures. Quartz mica schist, São Paulo City northern region. The geomechanically significant structure is a late spaced cleavage (St) responsible for the observed breaking (PELOGGIA, 1997b).

O modelo estrutural da “pilha de lápis”

O modelo alternativo plano-linear da “pilha de lápis” (Figura 4), proposto por Peloggia (1999), parte da análise estrutural detalhada dos maciços e do estudo de casos de escorregamentos que não “obedeceram” a lógica do modelo anterior, ou seja, em que o modo de ruptura não correspondeu à caracterização estrutural planar. Nos casos estudados verificou-se que a associa-

ção estrutural era mais complexa, e configurava-se pela existência de uma estrutura linear penetrativa associada à foliação, o que resulta em um padrão de ruptura não controlado pela superfície “S”.

Este tipo de modelo aplica-se a situações particulares, porém frequentes nos terrenos de rochas pré-cambrianas, em que houve processos de milonitização que resultaram no estiramento unidimensional do material rochoso.

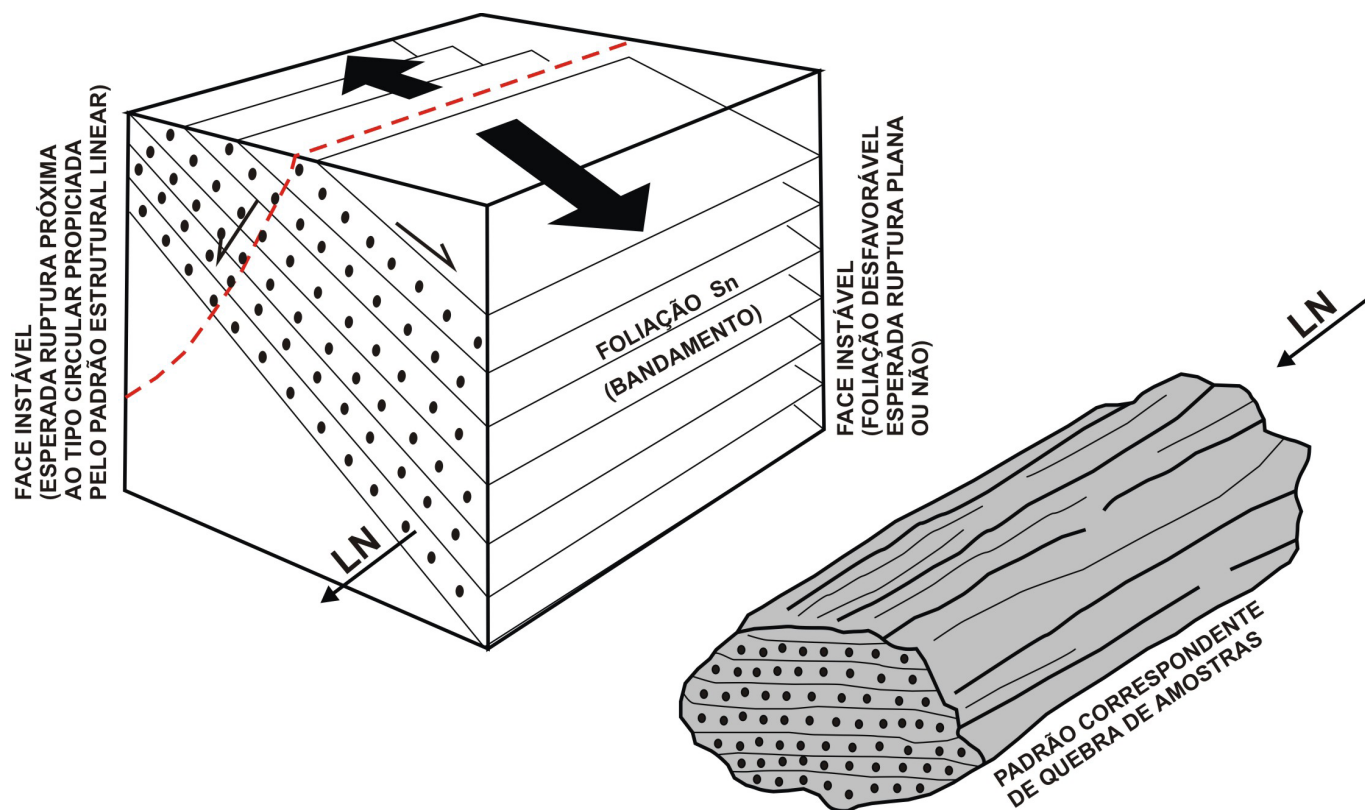


Figura 4: Modelo de comportamento de taludes em alteritas de rochas com trama estrutural LS (modelo plano-linear ou de “pilha de lápis”). Observa-se uma lineação Ln de baixo ângulo com direção subparalela à foliação principal Sn. (PELOGGIA, 1999)

Figure 4: Behavior model for slopes in weathered rocks with LS structural framework (plane-linear or “pencil pile” model). A low angle Ln lineation, sub-parallel to the Sn main foliation, is observed. (PELOGGIA, 1999)

O modelo estrutural de blocos geométricos limitados por descontinuidades

Trata-se de um modelo clássico aplicável aos casos em que as descontinuidades estruturais são geomecanicamente ou geometricamente mais significativas na análise de estabilidade que as estruturas litológicas herdadas. Nesses casos, o levantamento estrutural em campo das estruturas permite não somente a análise da configuração espacial tridimensional da rede de estruturas

(por meio da técnica de projeção estereográfica) mas também, o que é essencial, justamente a avaliação da significância relativa das diferentes estruturas presentes.

As técnicas de análise, nesse caso, são essencialmente as mesmas dos maciços rochosos (Guidicini; Nieble, 1993; Fiori; Carmignanai, 2009), mas é importante ressaltar que os parâmetros de análise relacionados à resistência do material e ao fluxo de água serão diferenciados (Figura 5).



Figura 5: Movimentação de blocos de saprolito de gnaiss condicionada por descontinuidades estruturais reliquias, Parque Araribá, zona sul da Cidade de São Paulo (PELOGGIA, 1997b).

Figure 5: Displacement of gneiss saprolite blocks conditioned by relict structural discontinuities. Parque Araribá, São Paulo City southern zone (PELOGGIA, 1997b).

O modelo estrutural misto.

Ao considerar-se o manto de intemperismo como um todo, conclui-se que os padrões de ruptura variarão segundo a profundidade em função do estado de alteração ou evolução pedogênica. Esta característica se reflete nos denominados escorregamentos mistos, que são rupturas condicionados na base pela movimentação estruturada de blocos, que por sua vez gera escorregamentos remontantes de caráter rotacional nas camadas superficiais, tais como estudado por Nieble et al. (1982). Na rocha ou no solo residual muito alterado, portanto, as descontinuidades penetrativas como a xistosidade ou a foliação perdem relativamente a importância na determinação do comportamento geomecânico do maciço. Isto porque, conforme foi visto, o índice de anisotropia é maior nos horizontes pouco alterados do que na rocha fresca ou nos horizontes medianamente e muito alterados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS: A CONSTRUÇÃO DE MODELOS ESTRUTURAIS

Os métodos da geologia estrutural podem ser tomados como base para investigações aplicadas à análise do comportamento e estabilidade de taludes sustentados por saprolitos de rochas foliadas, e desse modo dos condicionantes geológicos das situações de risco associadas, uma vez que nesses materiais as características da rocha original podem influir sensivelmente no comportamento dos materiais do perfil de alteração. Todavia, tal aplicação requer uma adaptação especial em função do comportamento geomecânico particular dos maciços considerados, o que implica no desenvolvimento de uma abordagem metodologicamente diferenciada.

A definição da configuração das associações estruturais a partir das quais é possível diagnosticar o padrão de ruptura provável é o ponto fundamental da construção

dos modelos estruturais aplicados. No caso de maciços homogêneos, mas fraturados, a caracterização das estruturas se faz abrangendo um meio descontínuo, no qual o enfoque se dá na resistência das descontinuidades em relação ao material geológico constituinte do maciço. Nos casos enfocados neste trabalho, temos meios contínuos, porém anisotrópicos, nos quais o material tem comportamento geomecânico diferenciado devido à estruturação interna, ou seja, caracterizando o que se denomina material estruturado anisotrópico (Cruz, 1989). Em todos os casos, importa a caracterização do conjunto do maciço e de suas estruturas, transformado de maneira heterogênea pelos processos de alteração.

Há critérios expeditos de campo, sistematizados ao menos para os tipos de maciços mais comuns, para a diferenciação e caracterização de horizontes geotécnicos nos perfis de alteração. Tais critérios referem-se ao comportamento de resistência, modo de quebra e maleabilidade que pode ser observado em amostras de mão. A grande questão metodológica que se coloca neste tipo de procedimento é a validade da extrapolação do “modelo”, ou seja, do uso de um padrão de comportamento observado em determinada situação particular, ou obtido

através da associação de situações, a outras situações semelhantes. Abordaremos a questão proposta segundo cada um dos três modos de aplicação a que nos referimos anteriormente, ou seja, conforme o modelo geométrico seja feito por talude individual, por um local restrito ou por um setor regional.

No primeiro caso, de taludes individuais, já têm sido descritos os cuidados especiais que devem ser tomados nos procedimentos técnicos, como a restrição do levantamento estrutural a zonas do talude, de modo a se identificar feições próprias características e que independem das direções estruturais preferenciais. Isto é feito a fim de se evitar a introdução de erros devidos à análise de combinações de estruturas que, de fato, não se relacionam, ou de descontinuidades com amplitudes não similares (TERZAGHI, 1965; SANTOS, 1976), como exemplificado na Figura 6. Hasui (1990) propõe o estudo por domínios homogêneos, que seriam porções do maciço marcadas por coerência geométrica de tipo de uma estrutura ou, na prática, pequenos trechos ou pontos, selecionados visualmente, em que haja constância de atitudes da estrutura. Estes domínios permitiriam, então, a setorização estrutural dos maciços.



Figura 6. Relação das estruturas reliquias com a geometria dos taludes. No setor à esquerda a foliação principal mergulha para o interior do maciço, favorecendo a estabilidade. No setor à direita observa-se a intersecção de descontinuidades estruturais condicionando a queda de blocos. Micaxistos, Bairro de Itaquera, zona leste da Cidade de São Paulo.

Figure 6. Relationship between relict structures and slope geometry. On the left sector the main foliation dips into the massif, increasing stability. On the right sector the intersection of structural discontinuities provides block falls. Mica schist, Itaquera District, São Paulo City eastern zone.

Já a previsão de comportamento fundada em modelos estruturais e em observação de taludes, para áreas restritas (por exemplo, taludes abrangendo uma área dominada por uma estrutura maior, como uma grande dobra), implicará na adoção de um modelo necessariamente mais generalizado que o anterior e cuja aplicação, portanto, se tornará menos efetiva. Isto é, as previsões baseadas somente no modelo serão menos seguras que no caso anterior. Por exemplo, no caso de flancos distintos de uma estrutura de dobra, pode ser possível estabelecer relações entre as diversas estruturas menores associadas. Isto possibilita estimar-se, com razoável segurança, a tendência de comportamento de encostas para a finalidade de mapeamento de áreas de risco geológico através da setorização, mas não, com o mesmo grau de confiança, o comportamento de taludes de corte individuais, que devem ser objeto de análise por cadastramento.

Por outro lado, a adoção de modelos de análise regionais (por exemplo, para o planejamento de projeto de taludes rodoviários) engloba a maior generalização e, por conseguinte, as maiores dúvidas quanto à efetividade da aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDES, J.A. **Investigação sobre a resistência ao cisalhamento de um solo residual de gnaissse**. 2003, 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2003. Disponível em www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3202. Acesso em: 18.03.2015.

CAMPOS, T.M. Considerações sobre o comportamento de engenharia de solos saprolíticos de gnaissse. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, 2, Porto Alegre, **Anais...** Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1989, p.147-165.

CARNEIRO, C.D.R.; LIMA, M.O. **Análise de foliações em áreas dobradas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 38p, 1989.

CARREGÃ, D.L. **Estudo de movimentações de taludes aplicado ao perfil de intemperismo desenvolvido em ambientes tropicais**. 1994, 203p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994.

CRUZ, P.T. Raciocínios de mecânica das rochas aplicados a saprólitos e solos saprolíticos. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL, 2, Porto Alegre, **Anais...** Porto Alegre, RS:CPGEC/UFRGS, 1989, p.121-146.

FIORI, A.P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. 2.ed., Curitiba (PR): Editora UFPR, 2009, 602 p..

FRIES, C.K. Experiences with slides in decomposed schists and phyllites. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE IAEG, 2, São Paulo, **Proceedings...** São Paulo: ABGE, 1974, v.2, p. V-PC 2.1 a 2.13.

FUTAI, M.M. Propriedades geotécnicas de solos saprolíticos e rochas alteradas de filito. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 9, São Pedro, **Anais...** (CD-ROM), São Pedro (SP): ABGE, 1999, 15p.

GUIDICINI, G; NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1993, 194p..

HASUI, Y. Geologia Estrutural aplicada à Geotecnia In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6 / CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 9, Salvador, **Anais...** Salvador (BA): ABGE/ABMS, 1990, v.3, p. 1-12.

HASUI, Y.; MIOTO, J.A. **Geologia Estrutural Aplicada**. São Paulo: ABGE/ Votorantim, 1992. 459p.

IRFAN, T.Y.; WOODS, N.W. The influence of relict discontinuities on slope stability in saprolitic soils. In: GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS, 2, Singapore, **Proceedings...** Rotterdam: A.A.Balkema, 1988, v.1, p.267-276.

NIEBLE, C.M.; CORNIDES, A.T.; FERNANDES, J.R. Escorregamentos remontantes originados por estruturas reliquias em saprolitos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES, 7, Olinda/Recife, **Anais...** ABMS, 1982, v.1, p. 143-153.

NUNES, A.J.C.; FERNANDES, C.E.M. (1985). Slides in

saprolites from gneissic rocks with relict slip surfaces: the B.N.D.E.S. case history. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS - TROPICALS'85, **Proceedings...** Brasília, 1985, v.2., p. 381-391.

OGUNSANWO, O. Influence of schistosity on the strength and wave velocity characteristics of a micaxist saprolite. **Bulletin I.A.E.G.**, n.43, p. 75-79, 1991.

PASTORE, E.L.; CRUZ, P.T. **Resistência ao cisalhamento de solos saprolíticos**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 1993. 29p.

PELOGGIA, A.U.G. Parâmetros geomecânicos de solos saprolíticos do Município de São Paulo. **Solos e Rochas**, São Paulo, v. 20, n.3, p. 209-213, 1997a.

PELOGGIA, A.U.G. **Delineação e aprofundamento temático da geologia do Tecnógeno do Município de São Paulo**. 1997b, 262p. Tese (Doutoramento em Ciências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997b. Disponível em www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44134/tde-03102014-100328/pt-br.php. Acesso em: 18.03.2015.

PELOGGIA, A.U.G. **O homem e o ambiente geológico: Geologia, sociedade e ocupação urbana no Município de São Paulo**. São Paulo: Xamã. 1998. 271p.

PELOGGIA, A.U.G. Sobre a aplicação da Geologia Estrutural em estudos de estabilidade de taludes e encostas e de riscos geológicos urbanos. In: PELOGGIA, A.U.G., **Manual Técnico 3 – Estudos de Geotécnica e Geologia Urbana (I)**. São Paulo: PMSP/SEHAB/HAB/ GT-GEOTEC, 1999, p.1-34.

PELOGGIA, A.U.G. Análise multidimensional e gestão de riscos geológicos: uma primeira aproximação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 13, São Paulo. **Anais...** (CD-ROM), São Paulo: ABGE, 2011, 10p..

REIS, R.M. **Comportamento tensão-deformação de dois horizontes de um solo residual de gnaiss**. 2004, 198p. Tese (Doutoramento em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos (SP). Disponível em www.teses.usp.br/teses/

disponiveis/18/18132/tde-06112006-163715/pt-br.php. Acesso em: 18.03.2015.

ROBERTS, J.L. The structural analysis of metamorphic rocks in orogenic belts. In: SAXENA, S.K.; BHATTACHERGI, S. **Energetics of Geodynamic Processes**, Springer-Verlag, 1977, p.151-167.

SÁ, E.F.J.; HACKSPACHER. Revisão sobre análise estrutural. Parte I: conceituação básica e métodos. **Ciências da Terra**, n.5, p.24-36, 1982.

SÁ, E.F.J.; HACKSPACHER, P.C. Revisão sobre análise estrutural. Parte II: algumas aplicações e tópicos adicionais. **Ciências da Terra** n.8, p.7-18, 1983.

SANTOS, A.R. Por menos ensaios e instrumentações e por uma maior observação da natureza. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: ABGE, 1976, v.1, p.177-185.

SILVA, E.M. **Análise de estabilidade de taludes em solos de alteração de rochas metamórficas do Quadrilátero Ferrífero**. 2006a, 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade federal de Viçosa, Viçosa (MG), 2006 Disponível em alexandria.cpd.ufv.br. Acesso em: 6 de março de 2015.

SILVA, A.M.B.G. **Condições geológico-geotécnicas de escavação grampeada em solo residual de gnaiss**. 2006b, 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em www.coc.ufrj.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/106-2006/2076-alexander-magno-borges-gomes-da-silva#download. Acesso em: 18.03.2015.

SILVEIRA, F.G. **Investigação do comportamento mecânico de um solo residual de gnaiss da cidade de Porto Alegre**. 2005, 159p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10181/7224/000497009.pdf?sequence=1. Acesso em 18.03.2015.

TERZAGHI, R.D. Sources of error in joint surveys. **Geotechnique** n.15, 1965, p.287-304.