

# DESENVOLVIMENTO DE CLASSES E UNIDADES GEO-PEDOLÓGICAS A PARTIR DA INTERAÇÃO ENTRE A PEDOLOGIA E A GEOTECNIA

Development of geo-pedological classes and units through the interaction between pedology and geotechnics

Franklin dos Santos Antunes\*

Tácio Mauro Pereira de Campos\*\*

Helena Polivanov\*\*\*

Sebastião Barreiros Calderano\*\*\*\*

Aluisio Granato de Andrade\*\*\*\*\*

**RESUMO** – Por considerarem informações compreendendo características do meio físico, descrições de perfis e propriedades morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas, trabalhos de mapeamentos de solos desenvolvidos dentro do contexto pedológico propiciam informações relevantes de caráter geológico-geotécnico. Porém, possivelmente em virtude do grau de especialização e por não envolverem dados que permitam uma adequada inferência de condições prováveis do subsolo, tais informações podem não ser plenamente entendidas na prática da engenharia. Dentro deste contexto, o presente artigo tem como objetivo relacionar informações contidas em trabalhos de levantamentos de solos passíveis de serem utilizadas como indicadores relevantes a atividades geológico-geotécnicas e propor o desenvolvimento de unidades geo-pedológicas de classificação de solos. Assim, são desenvolvidas correlações entre as características pedológicas das 13 classes de solos que ocorrem no território brasileiro, com os respectivos significados geotécnicos. Legendas de abrangência geral são propostas, definindo unidades de solos dentro de um contexto geo-pedológico.

**ABSTRACT** – Works developed within the pedological dominium are relevant within the geological-geotechnical context, as they include information comprising characteristics of the natural, physical media, such as profile descriptions and morphological, physical, chemical and mineralogical soil properties. However, probably due to the specialization degree and because such informations do not include, directly, data related to sub-soil conditions, they may not be fully understood or adequately used in geotechnical engineering practice. Bearing this in mind, this paper presents selected information from pedological works that can be used as relevant indicators to geological-geotechnical activities and, based on that, the development of a geo-pedological soil classification is suggested. In such context, correlations are proposed between the 13 classes of soil that occur in Brazil, including their respective geotechnical meaning. Designations of general use are proposed, defining soil units within the geo-pedological context.

**PALAVRAS CHAVE** – Pedologia, geotecnia, classificação de solos, classificação geo-pedológica.

---

\* Professor Emérito do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. E-mail: franklin@esp.puc-rio.br

\*\* Professor Associado do DEC/PUC-Rio. E-mail: tacio@puc-rio.br

\*\*\* Professora Associada do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

E-mail: hpolivanov@gmail.com

\*\*\*\* Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPQ/EMBRAPA). E-mail: sebast@cnpq.embrapa.br

\*\*\*\*\* Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPQ/EMBRAPA). E-mail: aluisio@cnpq.embrapa.br

## 1 – INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo correlacionar conhecimentos pedológicos e geotécnicos visando um aproveitamento efetivo em investigações e diagnósticos geotécnicos preliminares no que diz respeito, por exemplo, ao desenvolvimento de obras civis lineares tais como rodovias, ferrovias, dutovias e linhas de transmissão de energia elétrica, bem como estudos relativos ao uso do solo incluindo impactos ao meio físico e riscos associados. Estudos nesse sentido já foram abordados por diversos pesquisadores, podendo-se citar, entre outros: Medina (1961), Nogami (1965), Santana (1970), Antunes (1978, 1989), Nogami *et al.* (1981, 1995), Santos *et al.* (1981), Barroso *et al.* (1981), Antunes *et al.* (1987), Dias (1987, 1989), Medina e Castro (1989), Marangon e Motta (2001, 2002), Gusmão Filho (2002), Demuelenaere *et al.* (2002), Marangon (2004), Mendonça-Santos *et al.* (2009).

Dentre as informações constantes nos levantamentos pedológicos, passíveis de serem correlacionadas diretamente, estão dados gerais sobre o meio físico da região de interesse (e.g. relevo, clima, geologia e vegetação) além de dados mais específicos sobre as condições ambientais (e.g. distribuição de áreas inundáveis, solos saturados e não saturados, características mineralógicas, químicas e físicas dos solos) e, sob o ponto de vista mais aplicado, a ocorrência de solos expansivos, compressíveis, agressivos e com maior suscetibilidade à erosão.

Embora as informações advindas dos trabalhos de levantamento de solos não substituam os ensaios rotineiros convencionais físicos, mecânicos e hidráulicos típicos da Geotecnia, entende-se que a sua utilização direta nas fases de avaliação preliminar seja extremamente útil no planejamento do uso do solo para várias finalidades. Conforme Gusmão Filho (2002) *é de muita valia o mapa pedológico para fins do seu uso pelo Engenheiro. Como base preliminar, para os problemas a enfrentar pelo engenheiro, e dependendo da obra, os resultados trazidos pelo mapa pedológico servem de base para inter-relacionar seus resultados com problemas de engenharia na área.*

Trabalhos de mapeamentos de solos, desenvolvidos dentro do contexto pedológico, fornecem informações relevantes de caráter geológico-geotécnico. Porém, possivelmente em virtude do grau de especialização e por não envolverem dados que propiciem uma adequada inferência de condições prováveis do subsolo, tais informações podem não ser plenamente entendidas ou adequadamente utilizadas no desenvolvimento de estudos preliminares de ordem geológico-geotécnica requeridos em projetos de engenharia e em avaliações geo-ambientais. O presente trabalho procura, desta forma, cobrir uma lacuna constatada na interação entre diferentes áreas do conhecimento, propondo unidades geo-pedológicas de classificação de solos e discutindo como se pode potencialmente utilizá-las para diferentes fins, a partir da interpretação das unidades pedológicas com enfoque geotécnico e do uso combinado de mapas pedológicos pré-existentes e de cartas plano-altimétricas.

## 2 – LEVANTAMENTO DE SOLOS E CONCEITUAÇÕES BÁSICAS

Os trabalhos de levantamentos pedológicos se referem apenas ao estudo da camada superficial dos solos, abrangendo geralmente profundidades médias de 1,50m, podendo em determinados casos ultrapassar 3,00m.

Após avaliar dados pré-existentes da área de interesse, procede-se a uma investigação exploratória de campo, tendo como objetivo a seleção dos perfis identificados, que podem ser em cortes de estradas ou em trincheiras. Quando necessário faz-se a limpeza do perfil, destacando-se os diversos horizontes identificados tátil-visualmente através das suas características morfológicas. Após a identificação dos horizontes eles são descritos morfológicamente, abrangendo informações quanto à cor do material, textura (que se refere à granulometria), estrutura, porosidade, cerosidade, consistência e demais informações relevantes.

Após essa etapa procede-se à coleta de amostras representativas de cada horizonte, sendo as mesmas conduzidas para laboratórios onde são submetidas a ensaios rotineiros químicos, físicos e mineralógicos. Considerando-se tais parâmetros, além dos morfológicos, procede-se à conceituação das diversas classes de solos.

Cada unidade dos mapas pedológicos caracteriza um ambiente e possui associações intrínsecas com a geologia, geomorfologia, hidrologia e o clima da região. Na caracterização de uma unidade pedológica são ainda considerados dados sobre as propriedades morfológicas além de dados mineralógicos, físicos, químicos e biológicos. Estas informações, quando interpretadas em conjunto, podem indicar limitações e potencialidades do meio físico para fins de aplicação na área geotécnica. Dentro deste contexto, entende-se por:

**Unidade de Mapeamento:** Cada unidade de mapeamento é constituída por uma ou mais classes de solos, que por sua vez são definidas por perfis representativos e são correlacionadas com a paisagem. Uma unidade de mapeamento é um conjunto de áreas de solos com relações e posições definidas na paisagem, o que possibilita a representação cartográfica e a distribuição espacial de classes de solos. Cada perfil é composto por um ou mais horizontes sobre substratos variados, como rochas cristalinas, rochas sedimentares e sedimentos. Normalmente o perfil apresenta horizontes A-B-C ou A-C, conforme definidos no que se segue.

**Fases de Relevo:** As fases de relevo podem ser qualificadas pelas condições de declividade, comprimento de encostas e configuração superficial dos terrenos, que afetam as formas do modelo (formas topográficas) de áreas de ocorrência das unidades de solo, cujas descrições são encontradas em Embrapa (2006). São reconhecidas as seguintes classes de relevo:

*Plano* – superfície de topografia abatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0 a 3%;

*Suave ondulado* – superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m, respectivamente), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 3 a 8%;

*Ondulado* – superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8 a 20%;

*Forte ondulado* – superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20 a 45%;

*Montanhoso* – superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes, predominantemente variáveis de 45 a 75%;

*Escarpado* – áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpadas, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente ultrapassando 75%.

**Material de Origem:** O material de origem dos solos é definido como sendo o produto da decomposição de rochas cristalinas e sedimentares e de sedimentos de naturezas diversas. Sobre eles se processa a pedogênese, adição, transformação, translocação e perda, formando os horizontes pedológicos A e B (Simonsen, 1959). Após a formação dos horizontes pedogenéticos o material de origem passa a ser designado de horizonte C, que pode ser autóctone (solo residual) ou alóctone (solo transportado).

Para a geotecnia, o solo residual é aquele que permanece em seu local de formação, ou seja, é formado *in situ*, a partir da ação dos processos intempéricos sobre a rocha matriz. Já o solo trans-

portado é aquele cujos grãos ou partículas foram removidos de seu ambiente original por processos erosivos (pluviais, fluviais, eólicos, glaciais e marinhos) e depositados em outros ambientes.

É interessante ressaltar que, na pedologia, o sedimento pode ser considerado como um perfil de solo quando ocorre pelo menos um processo pedogenético na sua formação (e.g. adição de matéria orgânica formando o horizonte A). Dessa forma, no conceito pedológico, já se tem um perfil de solo, que foi desenvolvido de um sedimento de natureza diversa com adição de matéria orgânica, gerando assim um perfil formado por um horizonte A, com matéria orgânica, e o C, originado pelo sedimento. Ou seja, no caso de solos desenvolvidos de sedimentos, o horizonte C é o próprio sedimento. Conforme já mencionado, para o geólogo ou geotécnico trata-se de um perfil de solo transportado ou sedimentar.

**Mineralogia da Fração Argila:** Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2006), quanto à composição mineralógica da fração argila (fração < 2µm), os solos são classificados como:

*Cauliníticos:* predominância de argilominerais do grupo da caulinita;

*Esmectíticos:* predominância de argilominerais do grupo da esmectita;

*Vermiculíticos:* predominância de argilominerais do grupo da vermiculita.

**Atividade da Fração Argila:** Na pedologia, refere-se aos valores do complexo sortivo, T, dado pela soma dos elementos sódio, potássio, hidrogênio, cálcio, magnésio e alumínio ( $T = Na^+ + K^+ + H^+ + Ca^{++} + Mg^{++} + Al^{+++}$ ) sendo usados os termos Ta (atividade alta) e Tb (atividade baixa). Difere, portanto, do conceito proposto por Skempton (1953) para a geotecnia, dado por:  $A_c = IP / \%<2\mu m$ , onde IP = índice de plasticidade, definido pela diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade do solo, e  $\%<2\mu m$  corresponde à porcentagem da fração argila (e.g. Lambe e Whitman, 1969; Souza Pinto, 2006). Valores que definem o grau de atividade de solos dentro dos contextos da pedologia e da geotecnia estão incluídos no Quadro 1.

**Quadro 1** – Atividade de solos de acordo com a pedologia e a geotecnia.

Pedologia		Geotecnia	
Atividade	T (meq/100g)	Atividade	$A_c$
Alta (Ta)	>27	Alta	>1,25
Baixa (Tb)	≤27	Média	0,75-1,25
		Baixa	<0,75

**Perfil de Solo:** Entende-se como perfil de solo à seção, geralmente vertical, contendo um ou mais horizontes ou camadas, bem definidas por suas características químicas, físicas, mineralógicas e biológicas. Para a Engenharia Geotécnica e a Geologia de Engenharia, a camada superficial, de espessura variável, é constituída essencialmente por minerais secundários ou transformados e recebe o nome de Solo Maduro, independentemente do fato do solo local ter sido transportado ou não. A camada subsuperficial, que guarda características herdadas das rochas de origem é denominada de Solo Residual Jovem ou Solo Saprolítico, abaixo do qual está o Saprolito. Esta seção, na Geologia de Engenharia, recebe a denominação de perfil de intemperismo (e.g. Pastore, 1995; Oliveira e Brito, 1998).

**Horizontes:** Os horizontes pedológicos podem ter as denominações A, E, B e C, ocorrendo em diferentes seqüências:

*Horizontes A, E e B* - Representam o solo maduro para a Geotecnia e abrangem a camada superficial do perfil de solo, constituído essencialmente por minerais secundários, tais como argilo-minerais,

óxidos e hidróxidos além de detritos orgânicos. O horizonte A, superficial, apresenta o maior teor de matéria orgânica. Tipicamente apresenta espessura de até 15cm. O horizonte E é caracterizado por apresentar intensa perda de materiais coloidais, contendo essencialmente minerais primários. O horizonte B é o que apresenta maior concentração de minerais secundários e características pedogenéticas mais desenvolvidas. Sua espessura varia de acordo com as condições de relevo, clima e composição mineralógica da rocha matriz. Tipicamente é superior a 0,5m, podendo chegar a mais de 10 metros (por exemplo, em presença de rochas básicas);

*Horizonte C* - Em pedologia se refere ao material de origem dos solos provenientes de rochas ígneas, metamórficas, sedimentares e de sedimentos de natureza diversa. Para a geotecnia se refere à camada subsuperficial do perfil de solo que ainda guarda as características reliquias da rocha matriz, e é denominado, conforme já mencionado, solo residual jovem ou solo saprolítico. Em geral compreende materiais complexos e heterogêneos, especialmente quando desenvolvidos a partir de rochas metamórficas. Suas propriedades de engenharia são influenciadas à medida que o intemperismo evolui até a formação de uma nova estrutura, dando origem ao solo residual maduro (horizonte B para a designação pedológica). Este conceito não se aplica quando o perfil se desenvolve a partir de sedimentos, recebendo nesse caso a denominação de solos transportados ou sedimentares em geotecnia. Sua espessura é variável em função do relevo, clima e composição mineralógica da rocha matriz, podendo alcançar dezenas de metros em particular em presença de rochas quartzo-feldspáticas.

Várias classes de solos podem apresentar parâmetros morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos semelhantes. A diferença entre as classes de solos se dá pela presença de horizontes diagnósticos, que se referem aos que apresentam um determinado conjunto de atributos pedogenéticos inerentes às classes de solos. Tais horizontes diagnósticos são os horizontes A e B.

Para facilitar a compreensão das correlações entre os termos pedológicos e seus significados geotécnicos são descritos, a seguir, alguns atributos de acordo com o SiBCS (Embrapa, 2006). Apenas atributos considerados de relevância geotécnica são relacionados.

**Caráter Eutrófico e Distrófico:** Refere-se à alta saturação de bases (Eutrófico – igual ou superior a 50%) e baixa saturação de bases (Distrófico – valores inferiores a 50%).

**Caráter Carbonático:** Propriedade referente à presença de 150g/kg de solo ou mais de  $\text{CaCO}_3$  equivalente sob qualquer forma de segregação, desde que não seja formado por enriquecimento.

**Caráter Coeso:** Refere-se aos horizontes pedogenéticos subsuperficiais compactos ou adensados, muito resistentes à escavação sem o uso de água.

**Caráter Dúrico:** Refere-se aos horizontes pedogenéticos subsuperficiais cimentados, que incluem os duripans e ornstein. Os duripans são horizontes minerais, sub-superficiais, cimentados com sílica, podendo conter óxidos de ferro e carbonatos de cálcio, contínuos ou não, e não variam a sua consistência em função da umidade. Os ornstein são horizontes minerais, sub-superficiais, consolidados, fortemente cimentados por complexos organometálicos e ou alumino-silicatos amorfos.

**Caráter Epiáquico:** Em pedologia são solos que apresentam lençol freático temporariamente superficial, em decorrência da má condutividade hidráulica de alguns horizontes do perfil de solo, com o aparecimento de coloração variegada ou mosqueada devida a processos de oxidação e redução.

Vale ressaltar, aqui, que as cores amarelas, vermelhas ou similares são típicas de solos desenvolvidos na zona de oxidação e, portanto indicativas de solos não saturados. As cores preta, cinza ou esverdeada são características de solos desenvolvidos na zona de redução e, portanto, saturados. As cores variegadas ou mosqueadas podem indicar zonas de oscilação do lençol freático.

**Caráter Flúvico:** Refere-se a solos formados por sedimentos aluvionares.

**Caráter Concrecionário:** Refere-se a solos que apresentam concreções e nódulos de óxido de ferro em um ou mais horizontes.

**Caráter Sódico e Solódico:** Refere-se a solos que apresentam saturação com sódio entre 6 e 15%.

**Caráter Salino e Sáfico:** Refere-se a solos com a presença de sais solúveis em várias proporções.

**Caráter Litoplíntico:** Refere-se a solos que apresentam petroplintita contínua e consolidada em um ou mais horizontes em algumas partes das seções.

**Plintita:** É uma formação caracterizada por apresentar mosqueados vermelhos ou vermelho-amarelados, resultantes da segregação de ferro.

**Petroplintita:** Material resultante do endurecimento da plintita, dando lugar à formação de nódulos ou concreções ferruginosas, concreções lateríticas e canga de dimensões e formas variadas.

**Tiomorfismo:** Solos que se formam em condições de abundância de enxofre e seus derivados. Termo usado para solos que possuem quantidades expressivas de sulfetos e/ou sulfatos (Curi *et al.*, 1993).

### 3 – CLASSES DE SOLOS E CORRELAÇÃO PEDOLOGIA–GEOTECNIA

No que se segue é feita uma descrição resumida das treze classes de solos compreendidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), incluindo seus ambientes de ocorrência, e apresentada uma proposta de nomenclatura classificatória a ser adotada dentro de um contexto geo-pedológico. Procurou-se, nesta proposta, utilizar símbolos similares aos empregados na Pedologia, introduzindo a letra G acompanhada do respectivo símbolo pedológico.

Como o relevo é um parâmetro importante em atividades geotécnicas, são acrescidos números às respectivas legendas geo-pedológicas em casos em que a mesma classe de solo ocorre em várias fases de relevo. Assim, quando considerado relevante, para relevos plano e suave ondulado é acrescentada à respectiva legenda geo-pedológica o número 1 (um). Para relevo ondulado acrescenta-se o número 2 (dois) e para os relevos forte ondulados, montanhosos e escarpados, o número 3 (três).

**Argissolos (P):** São solos que apresentam seqüência de horizontes A-B-C, tendo como horizonte diagnóstico o B textural (Bt), que representa um horizonte de acumulação de argila. Desta forma, apresentam aumento do teor de argila no horizonte B em relação ao A.

A fração argila é de atividade baixa, sendo constituída basicamente por caulinita e óxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Pode também conter, em pequenas proporções, illita e vermiculita com hidróxido de alumínio entre as camadas da estrutura do mineral.

Esta classe de solos, muito comum no território brasileiro, é distribuída em várias fases de relevo. Sua gênese está ligada a diferentes materiais de origem, desde rochas cristalinas até sedimentares.

Propõe-se para a classificação geo-pedológica a legenda GP (Classe Geo-Pedológica Argissolo) acrescida dos números 1, 2 e 3 conforme as fases de relevo ocupadas. Assim, tem-se:

GP1: Classe Geo-pedológica Argissolo que ocorre em relevo plano e suave ondulado;

GP2: Classe Geo-pedológica Argissolo que ocorre em relevo ondulado;

GP3: Classe Geo-pedológica Argissolo que ocorre em relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado.

Para a geotecnia compreendem solos não saturados que podem estar associados a perfis de intemperismo, principalmente os que ocorrem em relevo suave ondulado e ondulado (GP1 e GP2), tendo como material fonte as rochas cristalinas. Os que ocorrem em relevo forte ondulado (GP3) podem estar associados a afloramentos de rochas.

Em função da diferença textural entre os horizontes A e B, tais solos são propensos a processos erosivos, intensificados por desmatamentos. Assim, em presença da Classe Geo-pedológica GP3 é recomendável uma destinação da área à preservação ambiental.

Os solos desta classe que ocorrem em relevo suave ondulado e ondulado (GP1 e GP2) podem constituir jazidas de saibro, em virtude de tipicamente apresentarem horizonte C espesso. Por outro lado, por possuírem solo maduro (horizonte B) de pequena espessura (menor que 1 metro) não são adequados para extração de argila. O conjunto de características das classes GP1 e GP2 torna as mesmas adequadas à ocupação urbana, respeitadas as condições de relevo.

**Cambissolos (C):** Compreende solos com horizonte diagnóstico Bi (incipiente), que representa um horizonte pouco desenvolvido podendo conter materiais primários e fragmentos de rocha. Apresentam seqüência de horizontes A, Bi e C com ou sem r (rocha).

Podem ocorrer em relevos acidentados ou planos. Ocupam áreas de pequena expressão no território brasileiro. São derivados de diversos materiais de origem encontrados em diversos ambientes climáticos e tipos de relevos.

Propõe-se para a classificação geo-pedológica a legenda GC dividida em 3 sub-classes, função do relevo e de suas características descritivas:

GC1: Classe Geo-pedológica Cambissolo que ocorre em relevo plano e suave ondulado;

GC2: Classe Geo-pedológica Cambissolo que ocorre em relevo ondulado;

GC3: Classe Geo-pedológica Cambissolo que ocorre em relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado.

As Classes Geo-pedológicas GC2 e GC3 são indicativas de presença de solos residuais e/ou de depósitos coluviais ou de tálus. A Classe GC1 indica a ocorrência de sedimentos não consolidados.

**Chernossolos (M):** São solos que apresentam seqüência de horizontes A, B, C, tendo o horizonte A chernozêmico como horizonte diagnóstico. Ocorrem em diversas áreas do país, desenvolvidos de rochas de caráter intermediário a básico. Não ocupam áreas de grande expressão. Podem apresentar o horizonte B textural (Bt) ou incipiente (Bi), sendo a fração argila de alta atividade.

Propõe-se para a classificação geo-pedológica a legenda GM.

Sob o ponto de vista geotécnico são solos não saturados, podendo apresentar argilominerais do tipo 2:1 nas frações finas. É comum a ocorrência de fragmentos de rochas no horizonte superficial A.

**Espodossolos (E):** São solos minerais desenvolvidos de materiais arenosos de qualquer origem. Ocupam predominantemente áreas de relevo plano. Podem, contudo, ocorrer em relevo suave ondulado. Ocupam áreas mais extensas no extremo noroeste do estado do Amazonas e no centro-sul do estado de Roraima. Áreas esparsas de ocorrência desses solos se encontram nas baixadas litorâneas na parte leste do país. Apresentam seqüência de horizontes A, E e B diagnóstico espódico (Bs, Bh, Bhs), que representam acumulação de ferro e/ou matéria orgânica. Podem estar associados aos Neossolos Quartzarênicos. Em se tratando de Espodossolos não hidromórficos, podem ocupar relevo movimentado.

Propõe-se para a classificação geo-pedológica a legenda GE.

Sob o ponto de vista geotécnico, são solos transportados, tipicamente arenosos. Ocupam as baixadas topográficas, sob ambiente de maior energia. Podem possuir cimentação no horizonte sub-superficial com oxi-hidróxido de ferro, o que os torna muitas vezes semelhantes a um arenito com cimento ferruginoso ou organo-ferruginoso. Podem apresentar hidromorfismo.

**Gleissolos (G):** São solos minerais hidromórficos desenvolvidos de sedimentos recentes. Ocupam relevo plano, tendo como característica diagnóstica a presença de um horizonte Glei, formado em ambiente hidromórfico, caracterizado por cores de redução de ferro (cinza, preto, esverdeado).

Ocorrem indiscriminadamente em todo o território brasileiro, em várzeas, planícies aluvionares mal ou muito mal drenadas, onde o lençol freático fica elevado durante grande parte do ano. Podem também ser encontrados em áreas de baixa declividade ocupando, principalmente, posições colúvio-alúvio.

São solos geralmente argilosos com seqüência de horizontes A e C, desenvolvidos de sedimentos fluviais e flúvio-marinhos. Podem ser divididos em Gleissolos Tiomórficos (Gj), Gleissolos Salinos (Gz), Gleissolos Melânicos (Gm) e Gleissolos Háplicos (Gx). Estas Classes podem estar associadas entre si.

Propõe-se para a classificação geo-pedológica as Classes: GGj,z e GGm,x.

De acordo com Embrapa (2006), vários solos minerais foram incluídos na classe de Gleissolos, como o Glei Húmico, Glei Pouco Húmico, Glei Tiomórfico, parte dos hidromórfico cinzento (sem mudança textural abrupta) e solonchak (solo salino) com horizonte glei.

Os Gleissolos Salinos e Salinos Tiomórficos (Classe geo-pedológica GGj,z) ocorrem em áreas costeiras podendo conter sais solúveis, materiais sulfídricos e sulfetos. O baixo pH os tornam com elevado potencial de corrosão. São solos compressíveis, conhecidos como solos moles ou argilas orgânicas. Estas Classes podem estar associadas com solos de mangue e solos orgânicos.

Os Gleissolos Melânicos são solos com horizonte A hístico, com menos de 40 cm de espessura ou horizonte A húmico, proeminente ou chernozêmico (Classe geo-pedológica GGm,x). O horizonte A hístico constitui um tipo de horizonte superficial formado por materiais orgânicos, resultantes do acúmulo de resíduos vegetais sob condições de excesso de água por longo período. O horizonte A chernozêmico se refere a um tipo de horizonte superficial rico em carbono orgânico, de cor escura e saturado por cátions bivalentes. O horizonte A húmico compreende um tipo de horizonte superficial rico em carbono orgânico, cuja espessura pode chegar a 1,0m. Por sua vez, o horizonte A proeminente é semelhante ao A chernozêmico, diferenciando-se por possuir menores proporções de cátions bivalentes.

Sob o ponto de vista geotécnico, são solos saturados, que ocorrem em relevo plano e em vários casos sujeitos a alagamentos em épocas de precipitação mais intensa, principalmente os Gleissolos de textura argilosa.

Com os devidos cuidados, as GGm,x são boas para agricultura.

**Latossolos (L):** São solos que apresentam os horizontes minerais A, B, C, tendo como horizonte diagnóstico o horizonte B latossólico (Bw), caracterizado por ser um horizonte altamente intemperizado. Este horizonte é constituído por fração argila de baixa atividade, tendo quantidades variáveis de caulinita e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Possui espessura mínima de 0,50m.

Estes solos estão distribuídos em várias fases de relevo, ocorrendo praticamente em todo o território brasileiro. Em muitas áreas estão associados a Cambissolos e são formados a partir de depósitos colúviais, tendo como substratos rochas metamórficas e ígneas e até sedimentos de naturezas diversas.

Propõe-se para a classificação geo-pedológica dos Latossolos o termo GL, com as seguintes subdivisões em função do relevo e de suas características descritivas:

GL1: Classe Geo-pedológica Latossolo que ocorre em relevo plano e suave ondulado;

GL2: Classe Geo-pedológica Latossolo que ocorre em relevo ondulado;

GL3: Classe Geo-pedológica Latossolo que ocorre em relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado.

Sob o ponto de vista geotécnico, as Classes GL constituem solos não saturados, cuja fração argila é de baixa atividade. Em presença da Classe GL3 (relevo forte ondulado e montanhoso) o potencial de ocorrência de movimentos de massa é majorado. Assim, é recomendável que áreas de ocorrência de tal Classe sejam destinadas à preservação ambiental.

**Luvissolos (T):** São solos que apresentam os horizontes minerais A, B, C, tendo como horizonte diagnóstico o horizonte B textural (Bt). Ocorrem no território nacional em regiões de ambiente climático de baixa precipitação.

Estes solos são distribuídos em várias fases de relevo. Assim, para classificá-los, propõe-se a legenda GT acrescida dos números 1,2 e 3 conforme as fases de relevo que ocupam:

GT1: Classe Geo-pedológica Luvissolo que ocorre em relevo plano e suave ondulado;

GT2: Classe Geo-pedológica Luvissolo que ocorre em relevo ondulado;

GT3: Classe Geo-pedológica Luvissolo que ocorre em relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado.

Sob o ponto de vista geotécnico os solos GT são não saturados, com fração argila de alta atividade. Podem variar de bem a imperfeitamente drenados.

**Neossolos (R):** São solos pedologicamente pouco evoluídos, constituídos de matéria mineral, que apresentam seqüência de horizontes A-R, A-C ou A-Cr não tendo um horizonte B bem definido. É importante notar que a seqüência A-R representa o horizonte A diretamente sobre a rocha; A-C é o horizonte A sobre o C (não indicando estar acima de um material formado “in situ”) e o A-Cr é o horizonte A sobre o C residual. Ocupam várias fases de relevo e podem ser desenvolvidos de vários materiais de origem. Dentro do SiBCS (Embrapa, 2006), englobam as seguintes Classes: Neossolos Litólicos (RL), Neossolos Regolíticos (RR), Neossolos Flúvicos (RU) e Neossolos Quartzarênicos (RQ).

Os Neossolos Litólicos e Regolíticos apresentam seqüência de horizontes A-Cr ou A-R, com contato lítico, ou seja, contato direto com a rocha. Ocorrem em relevo montanhoso e forte ondulado, associados a Cambissolos e afloramento de rocha e outras Classes que aparecem nas mesmas fases de relevo. Neossolos Litólicos são encontrados em todo território brasileiro, associados a rochas cristalinas e sedimentares, ocupando relevos muito movimentados. Os Neossolos Regolíticos ocorrem em áreas de rochas cristalinas em relevo forte ondulado ou montanhoso, em associação com Neossolos Litólicos e Cambissolos. São encontrados também em regiões de relevos plano e suave ondulado, desenvolvidos de depósitos sedimentares bastante arenosos em ambiente climático com precipitação reduzida.

Os Neossolos Flúvicos apresentam seqüência de horizontes A-C. Correspondem aos antigos solos aluviais e ocupam áreas de relevo plano. São derivados de sedimentos areno-argilosos ou argilosos e possuem origem fluvial, sendo a sua ocorrência restrita às margens dos cursos de água, lagoas e planícies costeiras, onde geralmente ocupam pequenas porções das várzeas.

Os Neossolos Quartzarênicos também apresentam seqüência de horizontes A-C. São desenvolvidos de sedimentos arenosos quartzosos de várias origens, ocupando áreas de relevo plano.

Propõe-se, aqui, a seguinte classificação geo-pedológica dos Neossolos:

GRLR: Classe Geo-pedológica Neossolos Litólicos e Regolíticos;

GRU: Classe Geo-pedológica Neossolo Flúvico;

GRQ: Classe Geo-pedológica Neossolo Quartzarênico.

A Classe GRLR pode compreender afloramentos de rochas (tipicamente cristalinas) e estar associada a Cambissolos (Classe GC3) e outras Classes que ocorrem na mesma fase de relevo (áreas de relevo forte ondulado e montanhoso). Ocupam relevo movimentado e podem ser indicativas de solos residuais. Em princípio, áreas contendo tais Classes devem ser consideradas como de preservação ambiental quando ocorrem em relevo acidentado.

A Classe GRU compreende solos transportados, desenvolvidos de sedimentos areno-argilosos ou argilosos. Ocupa áreas de relevo plano e, embora podendo potencialmente envolver solos não saturados, pode estar sujeita a inundações em períodos mais chuvosos.

A Classe GRQ compreende solos arenosos desenvolvidos de sedimentos areno-quartzosos (solos transportados), ocupando áreas de relevo plano. Pode estar associada aos Espodosolos.

**Nitossolos (N):** São solos que apresentam os horizontes minerais A, B, C, tendo como horizonte diagnóstico o horizonte B Nítico (horizonte de textura argilosa, sem translocação significativa de argila). Apresentam cerosidade forte. Ocorrem em várias fases de relevo inclusive em altitudes de 800m. São derivados principalmente de rochas ígneas basálticas, podendo ser encontrados também desenvolvidos de rochas sedimentares.

Propõe-se a designação GN para a Classe Geo-pedológica Nitossolo.

Sob o ponto de vista geotécnico, a GN compreende solos não saturados, cuja fração argila pode ser rica em óxido de ferro quando desenvolvida de rochas básicas. Pode ser indicador de perfil de intemperismo com solo residual jovem pouco espesso.

**Organossolos (O):** São solos orgânicos e/ou organominerais, hidromórficos, desenvolvidos preponderantemente de detritos orgânicos em várias fases de transformação e podem apresentar misturas de sedimentos flúvio-marinhos. Ocupam áreas de relevo plano e apresentam seqüência de horizontes orgânicos (H ou O) sobre Cg. São encontrados nas áreas mais baixas ou deprimidas e mal drenadas das várzeas. Os orgânicos tiomórficos ocorrem em áreas úmidas da orla marinha, em pântanos ou banhados.

Para estes solos propõe-se a denominação GO (Classe Geo-pedológica Organossolo).

A Classe GO compreende solos saturados com alto teor de matéria orgânica, desenvolvida de detritos orgânicos e organominerais e podem estar associados a sedimentos flúvio-marinhos quando ocorrem nas áreas costeiras. Podem permanecer permanentemente ou esporadicamente alagados. Podem conter sais solúveis, materiais sulfídricos e sulfetos.

Os solos GO são susceptíveis a apresentarem grandes deformações, sendo conhecidos como solos orgânicos na geotecnia. Apresentam potencial de corrosão. Esta Classe pode estar associada aos gleissolos e a solos turfosos tiomórficos.

**Planossolos (S):** São solos minerais que apresentam seqüência de horizontes A, (E), B e C, imperfeitamente ou mal drenados, tendo como horizonte diagnóstico o B plânico (Bt). O horizonte B pode ser Bt, Btg, Btn ou Btng. O horizonte B é compacto, com acentuada concentração de argila e baixa permeabilidade, podendo apresentar alagamento em períodos de alta precipitação. Ocorrem em áreas de relevo plano, onde as ocorrências mais expressivas estão no nordeste brasileiro e no pantanal Mato-Grossense. Compreendem as Classes pedológicas SN (Planossolos Nátrico) e SX (Planossolo Háplico).

Propõe-se a designação GS para a Classe Geo-pedológica Planossolos.

As ocorrências mais expressivas dos solos GS estão em terrenos sedimentares, podendo ser alagados nas áreas mais deprimidas durante precipitações mais intensas incluindo a presença temporária de lençóis suspensos. Apresentam diferença textural marcante entre os horizontes superficial e sub-superficial, que os tornam suscetíveis à erosão superficial. Podem ocorrer planossolos com elevados teores de sais solúveis. Alguns apresentam argilominerais do tipo 2:1.

**Plintossolos (F):** São solos minerais, que apresentam seqüência de horizontes diversificada, tendo como horizonte diagnóstico o B plíntico. São formados em ambiente hidromórfico. No entanto, caso ocorra mudanças nas suas condições originais de formação podem ocorrer também em ambientes com boa drenagem. Portanto, em função das suas condições geológicas atuais podem ser encontrados em ambientes diferentes. Apresentam coloração variegada. Em certos casos podem apresentar propriedades solódica e sódica. Ocorrem em relevos plano ou suave ondulado ou em áreas deprimidas e planícies aluvionares. É menos comum a ocorrência em relevo ondulado.

Propõe-se a designação GF para a Classe Geo-pedológica Plintosolo.

Sob o ponto de vista geotécnico o GF compreende solos desenvolvidos de sedimentos em várias fases de evolução, podendo conter desde materiais mosqueados até petroplintita. As suas características geotécnicas dependem do seu grau de desenvolvimento e dos ambientes de ocorrência, que podem variar de região para região. Podem ocorrer em ambientes hidromórficos até oxidados e podem ou não apresentar petroplintita.

**Vertissolos (V):** São solos minerais que apresentam seqüência de horizonte A-Cv ou A-Biv-C. A fração argila é maior ou igual a 30%. Possuem horizonte diagnóstico vértico com pequena variação textural entre os horizontes. O horizonte vértico apresenta argila 2:1, com expansão e contração acentuadas. Ocorrem em relevos plano, suave ondulado e, menos freqüentemente, em áreas movimentadas, desenvolvidos de material de origem ricos em Cálcio e Magnésio, em ambiente climático adequado. Sua maior ocorrência está na zona seca do nordeste brasileiro e no pantanal Mato-Grossense, ocorrendo também em outros estados brasileiros.

Propõe-se para a classificação geo-pedológica dos Vertissolos a designação GV (Classe Geo-pedológica Vertissolo).

Sob o ponto de vista geotécnico os solos GV apresentam mudança de volume com variações de umidade, podendo apresentar trincas profundas ao longo do perfil em períodos de secas. As frações finas podem apresentar teores variáveis de minerais do grupo das esmectitas. São solos mal drenados e de baixa permeabilidade, sujeitos a variações de volume sazonais.

O Quadro 2 apresenta a correspondência entre as legendas Pedológicas conforme consta em Embrapa (2006) e as Geo-pedológicas propostas no presente trabalho.

**Quadro 2** – Correlação entre as legendas Pedológica e Geo-pedológica.

Designação (Legenda) Pedológica	Legenda Geo-pedológica	
	Principal	Sub-Legenda
Argissolo (P)	GP	1, 2, 3 em função do relevo
Cambissolo (C)	GC	1, 2, 3 em função do relevo
Chernossolo (M)	GM	
Espodossolo (E)	GE	
Gleissolo (G)	GG	j (tiomórfico); z (salino), m (melânico); x (háplico)
Latossolo (L)	GL	1, 2, 3, em função do relevo
Luvisso (T)	GT	1, 2, 3 em função do relevo
Neossolo (R)	GR	L (Litólico); R (Regolítico); U (Flúvico), Q (Quartzarênico)
Nitossolo (N)	GN	1, 2, 3 em função do relevo
Organossolo (O)	GO	
Planossolo (S)	GS	
Plintossolo (F)	GF	
Vertissolo (V)	GV	

O Quadro 3 mostra uma síntese dos principais significados geotécnicos que, de acordo com a experiência dos autores, podem ser associados, de um modo geral, às diferentes classes de solos definidas na Pedologia.

**Quadro 3 – Síntese da correlação Geo-pedológica.**

Classes de Solos	Significados Geotécnicos
<b>Argissolos (antigo podzólico):</b> Desenvolvidos de rochas cristalinas. Horizonte diagnóstico B textural (Bt), com estrutura em blocos.	Perfil de solo residual não saturado. Raros casos de material de origem alóctone. Diferença textural entre os horizontes A e B. Suscetível à erosão superficial.
<b>Cambissolos:</b> Desenvolvidos de rochas cristalinas (fragmentos de rochas na matriz argilosa com relação silte/argila > 0,7) ou de depósitos de encostas (relevo acidentado) e de sedimentos aluviais (relevo plano). Horizonte diagnóstico B incipiente (Bi). Ricos em minerais primários facilmente intemperizáveis quando residuais.	Pode indicar a presença de colúvio ou tálus quando ocupam relevos acidentados. Neste caso é indicativo de áreas potenciais de movimentos de massas.
<b>Chernossolos (antigos Brunizens e Rendzinas):</b> Horizonte diagnóstico A chernozêmico. Percentagem de carbono orgânico $\geq 0,6\%$ . Saturado com cátions bivalentes. Ocorre sobre Bt ou Bi ou C. Alta saturação por bases e alta atividade da fração argila. Desenvolvem-se de rochas ricas em cálcio e magnésio. Ocupam relevo forte ondulado.	Solo residual não saturado. Horizonte B pouco espesso. Predominam argilominerais do tipo 2:1 nas frações finas.
<b>Espodossolos (antigo Podzol):</b> Horizonte diagnóstico B espódico (Bs, Bh e Bhs). Complexação de ferro, alumínio e matéria orgânica. Ocorrem em relevos planos desenvolvidos de sedimentos arenosos.	Solo transportado, arenoso. Pode possuir grau de cimentação variável por óxi-hidróxido de ferro no horizonte sub-superficial. Pode apresentar hidromorfismo. Indicativo de água do lençol freático ferruginosa ou com colóides orgânicos, quando apresenta Bs ou Bh respectivamente.
<b>Gleissolos:</b> Horizonte diagnóstico Glei de coloração cinzenta, esverdeada ou azulada, em função da redução de ferro ou manganês. Ocupam áreas de relevo plano, desenvolvidos de sedimentos recentes. Os sálicos e tiomórficos são desenvolvidos de sedimentos marinhos ou flúvio-marinhos. Indicativo de hidromorfismo.	Solo transportado, saturado, sujeito a inundações em períodos de precipitação intensa. Quando desenvolvidos de sedimentos argilosos ou silto-argilosos de origem marinha ou flúvio-marinhas são suscetíveis a grandes deformações. Quando possuem sais solúveis e materiais sulfídricos podem ser potencialmente corrosíveis.
<b>Latossolos:</b> Horizonte diagnóstico B latossólico (Bw), profundo, com mais de 2 metros de espessura. Argilas floculadas (100%). Textura muito argilosa ou argilosa ou média, dependendo do material de origem (basaltos, gnaisses, rochas alcalinas, sedimentos e arenitos). Presença de oxihidróxidos de ferro e alumínio. Relação silte / argila < 0,7.	Solo não saturado. O horizonte B pode ser residual, transportado ou coluvial. Baixa saturação por bases e atividade da argila baixa. Fração argila caulínica ou oxidica ou mistura de ambos. Solos de boa drenabilidade. Indicativos de jazidas de argila.
<b>Luvisolos (antigo Bruno não cálcico e alguns Podzólicos de alta atividade):</b> Horizonte diagnóstico B textural (Bt). Saturação por bases > 50%. Argila de atividade alta. Argilominerais tipo 1:1 e 2:1. Ocorre em clima semi-árido.	Solo residual não saturado. Diferença textural entre A e B. Suscetível à erosão superficial. Presença de argilominerais 2:1 nas frações finas. Indicação de perfil de intemperismo.
<b>Neossolos:</b> Solos pouco evoluídos. Sequência de horizontes A-R, A-C ou A-Cr. Ocupam várias fases de relevo. Os formados em relevos montanhosos ou forte ondulados são os Neossolos Litólicos e os Neossolos Regolíticos. Ambos apresentam caráter lítico. Os formados em relevos planos, desenvolvidos de sedimentos fluviais, areno-argilosos e argilosos, são denominados de Neossolos Flúvicos. Os formados em relevos planos, desenvolvidos de sedimentos arenosos, são designados Neossolos Quartzarênicos.	Podem ser indicativos de solos residuais, afloramentos de rocha quando desenvolvidos de rochas cristalinas e ocupam relevo movimentado. Podem ser indicativos de solos transportados, quando desenvolvidos de sedimentos em relevos planos.
<b>Nitossolos (antigos Terra Roxa Estruturada Similar e Podzólico Vermelho Escuro):</b> Horizonte diagnóstico B nítico (também uma espécie de B textural-Bt). Cerosidade forte e estrutura muito desenvolvida. Ocorrem em relevo forte ondulado e montanhoso, desenvolvidos de rochas básicas / intermediárias.	Solo residual não saturado. Solo de textura argilosa, rico em oxihidróxidos de ferro, quando desenvolvidos de rochas básicas. É um perfil de intemperismo onde o solo residual jovem é pouco espesso.

**Quadro 3** – Síntese da correlação Geo-pedológica (cont.).

Classes de Solos	Significados Geotécnicos
<b>Organossolos:</b> Depósitos de tecidos vegetais em decomposição. Horizonte diagnóstico hístico. Mínimo de 8% de carbono orgânico (80g/Kg). Desenvolve-se de resíduos orgânicos em ambientes saturados.	São solos orgânicos, saturados, de elevada deformabilidade e compressibilidade.
<b>Planossolos:</b> Horizonte diagnóstico B plânico (similar ao B textural). Relevo plano e pode apresentar hidromorfismo. Desenvolvidos de sedimentos areno-argilosos e argilosos.	Solo transportado. Diferença textural entre o horizonte superficial e sub-superficial pode torná-los suscetíveis à erosão. Pode apresentar hidromorfismo. Partes mais elevadas adequadas para ocupação urbana. Restrições somente nos vales, porque o lençol freático pode atingir a superfície, ocorrendo inundações.
<b>Plintossolos:</b> Horizonte diagnóstico B plíntico. Drenagem restrita, presença de plintita (material pobre em matéria orgânica, argiloso, rico em ferro). Mosqueados abundantes (pontos de coloração variada, desde avermelhado até amarelado, resultantes da segregação de óxidos de ferro, podendo ser originado das variações do lençol freático, ou do material de origem).	Solos desenvolvidos de sedimentos, imperfeitamente drenados, mosqueados, fortemente influenciados pelo lençol freático, ou drenagem impedida.
<b>Vertissolos:</b> Horizonte diagnóstico vértico. Teor de argila $\geq 30\%$ . Sem variação textural. Com fendilhamentos. Argilominerais expansivos. Sequência de horizontes A-Cv. Ocorrem em relevo plano, desenvolvidos de materiais de origem ricos em Ca e Mg.	Solo expansivo. Origem sedimentar ou residual. Materiais de origem ricos em Ca e Mg. Indicativo de ocorrência de argilomineral expansivo. Potencialmente sujeitos a deformações acentuadas em presença de variações de umidade.

#### 4 – UNIDADES GEO-PEDOLÓGICAS

Considerando resultados de trabalhos de levantamento de solos, incluindo tanto mapas produzidos e respectivos textos explicativos quanto o significado de tais informações dentro do contexto geotécnico (Quadro 2), as treze classes de solos podem ser agrupadas, de acordo com a sua gênese, conforme mostrado no Quadro 4.

**Quadro 4** – Unidades Geo-pedológicas e designações Pedológicas e Classes Geo-pedológicas correspondentes (ver Quadro 2).

Unidade Geo-pedológica	Classes de Solos Envolvidas	Classes Geo-pedológicas Envolvidas
<b>Unidade I</b> Ambiente oxidante (ambiente não hidromórfico)	L; P; T; N; M; C; R; V	GL; GP; GT; GN; GM; GC; GR; GV
<b>Unidade II</b> Ambiente redutor (hidromorfismo permanente)	G; O; F; E; S	GG; GO; GF; GE; GS

A primeira Unidade Geo-Pedológica reúne as classes de solos formadas em zona de oxidação, ou seja, sem influência do lençol freático na sua gênese. Incluem-se nesta Unidade I as classes de solos: Latossolos (L), Argissolos (P), Luvisolos (T), Nitossolos (N), Chernossolos (M) e alguns tipos de Cambissolos (C) e Neossolos (R). Estas classes ocupam várias fases de relevo e são formadas a partir de materiais geológicos de origens ígnea, metamórfica e sedimentar e de sedimentos de origens diversas.

Dos solos que compõem a Unidade I as classes Geo-pedológicas GL, GP e GC (Latosolos, Argissolos e Cambissolos) são as de ocorrências mais comuns no território brasileiro, distribuídas em relevos desde muito movimentados até suaves.

Muitas das áreas ocupadas pelos solos incluídos na Unidade I podem ser sujeitas a movimentos de massa, principalmente as desenvolvidas de materiais coluviais e de tálus em relevos montanhosos e escarpados.

Problemas de movimentos de massa podem também estar associados a perfis de solos onde o horizonte C ou solo residual jovem é de grande espessura, principalmente os desenvolvidos de rochas quartzo-feldspáticas ou micáceas, levando-se em consideração também a presença de estruturas reliquias do material de origem. Normalmente quando são executados cortes nestes solos para fins diversos, os taludes resultantes ficam predispostos ao desenvolvimento de escorregamentos e processos erosivos.

Os Chernossolos, quando desenvolvidos de rochas calcárias, podem ser indicativos de áreas suscetíveis à ocorrência de fenômenos de subsidência.

É interessante destacar que Latossolos e Argissolos desenvolvidos em climas tropicais e relevos ondulados e suave ondulados podem originar espessos perfis de solos com destaque para o horizonte C, que compreende o solo residual jovem ou saprolítico. A morfologia atual de seus maciços é decorrente de vários episódios da dinâmica externa com destaque para os processos intempéricos e erosivos. Adquirem, após várias décadas, uma morfologia que pode apresentar certa estabilidade a partir do desenvolvimento de mecanismos hidráulicos internos próprios. Entretanto, quando esses solos são submetidos a intervenções diversas, com diferentes fins, o equilíbrio adquirido no tempo geológico é comprometido, ficando os mesmos sujeitos a processos erosivos superficiais e subsuperficiais, inclusive com desenvolvimento de voçorocas e ocorrências de deslizamentos de várias proporções.

São muito comuns deslizamentos superficiais resultantes do contato solo-rocha em relevos montanhosos ou escarpados, principalmente em períodos mais chuvosos em áreas de ocorrência das Classes Geo-pedológicas GRLR (Neossolos Litólicos e Regolíticos). Esse fenômeno pode ser visto como um processo natural resultante da dinâmica externa no seu trabalho de modelamento contínuo do relevo terrestre, que ocorre mesmo em áreas vegetadas. Naturalmente, intervenções antrópicas podem acelerar a ocorrência de processos que, potencialmente, aconteceriam de forma natural.

A segunda Unidade Geo-pedológica abrange as classes de solos formadas nas áreas planas sob a influência ou não do lençol freático. São solos desenvolvidos de sedimentos de diferentes texturas, que foram depositados em vários ambientes, de origem fluvial, marinha, lacustre e eólica. Das classes de solos deste agrupamento, apenas os Gleissolos (G) e Organossolos (O) têm a sua gênese ligada à condição de hidromorfismo permanente.

Nesta Unidade II, algumas classes de solos sofrem influência da composição química do lençol freático, como por exemplo, os Gleissolos Salinos e Salinos Tiomórficos (classes Geo-pedológicas GGz e GGj, respectivamente). Deve-se ressaltar que os Vertissolos (classe Geo-pedológica GV) também ocupam terras baixas, porém, sua gênese é função da natureza química de seu material de origem e ambiente de climas áridos a semi-áridos.

As classes de Espodossolos (E), Neossolos Quartzarenicos (RQ) e Vertissolos (V) (Classes Geo-pedológicas GE, GRQ e GV, respectivamente) podem apresentar sinais de hidromorfismo. Tal parâmetro, entretanto, não é marcante na gênese desses solos.

Na Unidade Geo-pedológica II, algumas classes de solos podem ser indicativas de ocorrências de solos muito compressíveis, solos de elevada permeabilidade, solos expansivos e solos com elevado potencial de corrosão, ou seja, envolvem problemas geotécnicos potenciais diferentes dos associados ao primeiro agrupamento.

## 5 – EXEMPLOS DO POTENCIAL DE USO DAS CLASSES GEO-PEDOLÓGICAS NA CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DO TERRENO SOB O PONTO DE VISTA GEOTÉCNICO

### 5.1 – Planejamento urbano

Como um primeiro exemplo, considerando aspectos associados a Planejamento Urbano, um fator relevante a ser avaliado é o de existência de áreas naturalmente sensíveis a fenômenos geológicos, associados ou não a eventos climáticos de monta (movimentos de massa e inundações), ou áreas com potencial de apresentar problemas tipicamente de ordem geotécnica. Neste caso, os principais indicadores oriundos de informações geo-pedológicas de solos correspondem a áreas associadas à ocorrência de:

- a) Neossolos litólicos e regolíticos (Classes Geo-pedológicas GRLR). Tais tipos de solos, geralmente encontrados sob condições não saturadas, em relevo forte ondulado a montanhoso, são sujeitos a deslizamentos superficiais resultantes da diferença de permeabilidade entre a camada delgada de solo e a rocha subjacente em períodos de intensas precipitações. Esse fenômeno é muito comum em áreas cujo embasamento é constituído por rochas quartzo-feldspáticas;
- b) Latossolos e Argissolos (Classes Geo-pedológicas GL e GP). Essas classes de solos desenvolvem perfis com horizonte C ou solo residual jovem de espessuras consideráveis associadas a elementos estruturais reliquiais, especialmente de rochas quartzo-feldspáticas e micáceas. Estas áreas, quando sujeitas à ação antrópica, podem ser consideradas como potencialmente susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa (desenvolvimento de processos erosivos e deslizamentos);
- c) Cambissolos (Classes Geo-pedológicas GC2 e GC3). Normalmente associados a depósitos coluviais e de tálus, especialmente quando sob condições de relevo acidentado, tendem a mostrar problemas de estabilidade, ou seja, são potencialmente susceptíveis a processos de deslizamentos. É comum se observar a ocorrência de *creep* (movimentos lentos, muitas vezes sazonais) em presença de tais materiais. A possibilidade de ocorrência pretérita de corridas de detrito e de desenvolvimento de processos de erosão interna, resultando em movimentos de massa tipo subsidência, não pode ser descartada em presença de tálus.
- d) Gleissolos e Organossolos (Classes Geo-pedológicas GG e GO). Estes estão entre as classes de solos que ocorrem em regiões planas ou suaves. Tipicamente, são permanentemente saturados e sujeitos a alagamentos constantes. Assim, não devem ser usados para ocupação urbana sem obras de infra-estrutura adequadas. Os gleissolos salinos e salinos tiomórficos, desenvolvidos de sedimentos argilosos ou siltosos, de origem marinha ou flúvio-marinha, tipicamente apresentam elevada compressibilidade e baixa resistência, ou seja, são susceptíveis a desenvolver grandes deformações quando carregados, além de serem considerados solos corrosivos.
- e) Vertissolos (Classe Geo-pedológica GV). A presença de argilas expansivas caracteriza esta classe de solos. Logo, áreas que não sejam permanentemente inundadas são susceptíveis a sofrer processos de expansão. No caso de áreas que no passado eram inundadas e passaram a ser não saturadas em virtude de mudanças climáticas, a ocorrência potencial de solos colapsíveis deve também ser considerada.
- f) Chernossolos (Classe Geo-pedológica GM). Classe de solos que apresenta no horizonte B argilas de alta atividade (argilas expansivas, ex: esmectitas). Quando situada em relevos montanhosos tendem a apresentar problemas de estabilidade.

Sugere-se, aqui, que em processos de planejamento urbano as áreas de neossolos litólicos e regolíticos, gleissolos salinos e salinos tiomórficos e organossolos sejam, em princípio, consideradas como áreas de preservação ambiental; bem como as áreas de neossolos flúvicos, que ocorrem em zonas de várzea e estão sujeitas a alagamentos constantes (GRL, GRR, GGZ, GGJ, GO). Da mesma forma, sugere-se que as áreas de ocorrência de espodossolos, neossolos quartzarênicos, cambissolos flúvicos e neossolos flúvicos (GE, GRQ, GC1, GRU) são as mais indicadas para ocupação urbana.

## 5.2 – Obras lineares

Obras lineares, tais como rodovias, ferrovias, dutovias e linhas de transmissão envolvem, tipicamente, aspectos associados aos horizontes superficiais do solo, ou seja, onde indicadores de ordem geo-pedológica, conforme mostrado no Quadro 5, constituem elementos com elevado potencial de aplicação.

Tais tipos de obras de engenharia apresentam várias características comuns que devem ser observadas quando do planejamento dos seus traçados. Por exemplo, na medida do possível, há que se procurar evitar áreas de ocorrência de solos moles ou argilas orgânicas (principalmente no caso de dutovias e linhas de transmissão), ou minimizar a extensão de ocorrência das mesmas (em todos os casos). Em particular, considerando linhas de transmissão e, principalmente, dutovias, há que se procurar evitar áreas de ocorrência de solos com potencial de corrosão. Para todos estes tipos de obras há, também, que se procurar evitar áreas de ocorrências de talus e de materiais expansivos.

Tendo em vista a necessidade de se ter vias de acesso em diferentes pontos de dutovias e de linhas de transmissão, bem como se prever onde, potencialmente, haverá a necessidade de se efetuar cortes em perfis de solos saprolíticos, em interfaces solo-rocha ou em materiais predominantemente rochosos em rodovias e ferrovias, indicadores de ordem geo-pedológica específicos são requeridos, conforme indicado no Quadro 5.

Características únicas associadas a obras lineares do tipo rodovias e ferrovias compreendem a necessidade de se procurar ter, ao longo de seus traçados, materiais terrosos com propriedades adequadas para uso nos diferentes elementos que compreendem um leito de rodovia ou de uma ferrovia. Exemplos de indicadores geo-pedológicos apropriados a tal tipo de avaliação estão incluídos no Quadro 5.

**Quadro 5** – Indicadores Geo-pedológicos relevantes em obras lineares.

Classe Geo-pedológica	Indicadores
Características Potencialmente Inadequadas ou Indesejáveis	
GRLR, GL e GP	Susceptibilidade a movimentos de massa em taludes de cortes
GC2 e GC3	Potencial elevado de ocorrência de movimentos de massa
GC	Elevada compressibilidade e baixa resistência. Potencial de corrosão
GV	Elevado potencial de expansibilidade e colapsibilidade
GN, GM e GT	Potencial ocorrência de material expansivo
GS	Degradação ambiental oriunda de exploração de areia
Características Potencialmente Adequadas	
GE	Baixa compressibilidade e resistência alta
GRU	Exploração racional de areia
GL	Exploração racional de argila (horizonte B ou solo maduro)
GL e GP	Exploração racional de saibro (horizonte C ou solo saprolítico)
GR e GF	Exploração racional de agregados

### 5.3 – Disposição de resíduos sólidos

No caso de disposição de resíduos sólidos, em particular resíduos sólidos urbanos, na forma de aterros sanitários, os principais indicadores Geo-pedológicos considerados estão incluídos no Quadro 6.

Dentro do contexto de escolha do local mais apropriado, do ponto de vista geotécnico, para a implantação de um aterro de disposição de resíduos urbanos, alguns aspectos específicos são, tipicamente, mandatários, quais sejam: necessidade do aterro se situar em local com nível de água inferior a pelo menos 3m abaixo da superfície do terreno e disponibilidade de material argiloso para cobertura diária, material pedregulhoso para construção de drenos de gás e drenagem superficial, e de areia para drenagem de base. Áreas compreendendo argilas moles ou orgânicas, zonas de talus e encostas muito íngremes são inadequadas para a implantação de tal tipo de empreendimento.

**Quadro 6** – Indicadores Geo-pedológicos relevantes à localização de ARSU.

Classe Geo-pedológica	Indicadores
Características Potencialmente Inadequadas ou Indesejáveis	
GC1, GE, GG, GRU, GRQ, GO, GS e GF	Nível d'água potencialmente elevado
GC2, GC3, GRL e GRR	Potencial elevado de ocorrência de movimentos de massa
GP2, GP3, GL2, GL3, GT2 e GT3	Movimentos de massa em presença de cortes
GM, GN2 e GN3	Movimentos de massa e expansibilidade
Características Potencialmente Adequadas	
GR e GF	Exploração racional de agregados
GL e GP	Exploração racional de argila (horizonte B ou solo maduro)
GRU	Exploração racional de areia

## 6 – CONCLUSÕES

Trabalhos de mapeamento de solos e respectivos textos explicativos podem e devem ser utilizados para se programar uma ocupação racional do meio físico. Para isto, se faz necessário que o usuário considere que as classes de solos sob o enfoque pedológico definem vários ambientes, os quais são influenciados pela interação de fatores de formação do solo tais como clima, relevo, material de origem, tempo e organismos. Em outras palavras, os trabalhos de mapeamentos de solos podem conter informações relevantes quando devidamente interpretados. Tal, entretanto, nem sempre é ou pode ser adequadamente efetuado, seja pelo desconhecimento por parte de geotécnicos de termos e significados utilizados na pedologia, seja pelo desconhecimento, por parte de cientistas do solo, do significado de dados de mapeamento de solos do ponto de vista da geotecnia.

Dentro deste contexto, a classificação geo-pedológica aqui proposta constitui um primeiro passo para preencher um vácuo potencial existente entre as disciplinas associadas às áreas geotécnica e pedológica. Com base na interpretação das unidades pedológicas para fins geotécnicos, podem ser elaborados mapas geo-pedológicos das áreas de interesse, por meio do uso combinado de mapas pedológicos pré-existentes e de cartas plano-altimétricas, contribuindo para o desenvolvimento de projetos básicos melhor embasados a partir do cruzamento de informações oriundas de outros mapas temáticos.

Deve-se ressaltar, entretanto, que as informações geotécnicas contidas nos trabalhos geopedológicos não substituem a necessidade de serem realizadas as investigações geológico-geotécnicas rotineiras inerentes a cada tipo de ocupação ou uso do solo.

## 7 – AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido como parte dos Projetos PRONEX-Rio (E-26/171.544/2006) e Pensa-Rio (E-26/110.394/2007). Os autores agradecem o apoio propiciado pela FAPERJ em ambos os Projetos, em associação com o CNPq no Projeto PRONEX. Os autores também agradecem as contribuições dadas pelos pesquisadores Cláudio P. do Amaral (UERJ), Fernando A. M. Marinho (EPUSP), George de P. Bernardes (UNESP/EEG), Humberto G. dos Santos (EMBRAPA-Solos), Nelson F. Fernandes (UFRJ) e Sérgio Tibana (UENF).

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes, F. S. (1978). *Ensaio para caracterização geológica, pedológica e mineralógica de argilas do Rio de Janeiro*. Relatório de Pesquisas, IPR/DNER.
- Antunes, F. S. (1989). *O uso da pedologia na engenharia*. In: Colóquio de Solos Tropicais e Sub-Tropicais e suas Aplicações em Engenharia Civil, Porto Alegre, RS, pp. 25-33.
- Antunes, F. S.; Barroso, J. A.; Pedroto, A.; Polivanov, H. (1987). *A importância da utilização de levantamentos pedológicos para a elaboração de mapas geotécnicos*. In: Simpósio de Geologia Regional RJ-ES, 1, v. 1, pp. 227-235.
- Barroso, J. A.; Antunes, F. S.; Polivanov, H. (1981). *Correlações de características genéticas de solos e suas propriedades geotécnicas*. In: Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, ABMS, pp. 187-198.
- Curi, N.; Larach, J. O.; Kämpf, N.; Moniz, A. C.; Fontes, L. E. F. (1993). *Vocabulário de ciência do solo*. Campinas, SBCS, 89 p.
- Demuelenaere, R. G. A.; Motta, L. M. G.; Marangon, M. (2002). *Aplicações dos conhecimentos da pedologia em diferentes áreas da engenharia*. In: 10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Ouro Preto - MG.
- Dias, R.D. (1987). *Aplicação de pedologia e geotecnia no projeto de fundações de linhas de transmissão*. Tese (Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE, 349 p.
- Dias, R.D. (1989). *Investigações de solos utilizando levantamentos pedológicos*. In: Colóquio de Solos Tropicais e Sub-Tropicais e suas Aplicações em Engenharia Civil, 2, Porto Alegre, RS, pp. 17-36.
- Embrapa (2006). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2ed. Brasília: Embrapa-Solos, 306p.
- Gusmão Filho, J. A. (2002). *Solos: da formação geológica ao uso na engenharia*. Recife. Ed. Universitária da UFPE, 198p.
- Lambe, T.W.; Whitman, R.V. (1969). *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Marangon, M. (2004). *Proposição de estruturas típicas de pavimentos para região de Minas Gerais utilizando solos lateríticos locais a partir da pedologia, classificação MCT e resiliência*. Tese (Doutorado em Eng. Civil) – Univ. Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 460p.

- Marangon, M.; Motta, L. M. G. (2001). *Considerações sobre a utilização da pedologia na engenharia geotécnica a partir de um sistema de classificação de solos*. In: 33ª Reunião Anual de Pavimentação da ABPv, Florianópolis, Anais, V. Único. pp. 140-156.
- Marangon, M.; Motta, L. M. G. (2002). *Aplicação dos conhecimentos de pedologia em diferentes áreas de engenharia*. In: 10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Ouro Preto -MG. v. cd.
- Medina, J. (1961). *Lateritas e sua aplicação na pavimentação*. ABPv-II Reunião Anual, RJ.
- Medina, J.; Castro, F. J. C. O. (1989). *Considerações sobre o ensino da pedologia aplicada à engenharia*. In: XXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Recife, PE.
- Mendonça-Santos, M.L.; Antunes, F. S.; Calderano, S. B.; Santos, H. G.; Polivanov, H.; Campos, T. M. P.; Zaroni, M. J.; Donagemma, G. K.; Amaral, C. P. (2009). *Correlação pedológico-geotécnica do município do Rio de Janeiro*. Documentos / Embrapa Solos, 117, 42 p.
- Nogami, J. S. (1965). *A aplicação da geologia e da pedologia no estudo de solos para pavimentação*. SPT nº 42 - DER-SP.
- Nogami, J. S.; Villibor, D. F. (1981). *Uma nova classificação de solos para finalidades rodoviárias*. Rio de Janeiro, Simpósio Brasileiro sobre Solos Tropicais em Engenharia - Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 1ª Seção, pp. 30-41.
- Nogami, J. S.; Douglas, F. V. (1995). *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo, 240p.
- Oliveira, A. M.; Brito, S. A. (1998). *Geologia de engenharia*. ABGE. Oficina de Textos, São Paulo. 587p.
- Pastore, E. L. (1995). *Weathering profiles*. In: Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 7. Proceedings Guadalajara; ISSMFE, vol.1, pp. 353-364.
- Santana, H. (1970). *Os solos lateríticos e a pavimentação*. IME-RJ.
- Santos, M. T.; Salomão, F. X. T. (1981). *Utilização da pedologia em um estudo geológico-geotécnico para implantação de projeto de irrigação do distrito agro-industrial do Jaíba*. In: III Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Itapema. Anais do III Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, vol. 1, pp. 401-416.
- Simonson, R. W. (1959). *Outline of a generalized theory of soil genesis*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. (23):152-156.
- Skempton, A. W. (1953). *The colloidal activity of clays*. Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., vol.1, pp. 57-61.
- Souza Pinto, C. (2006). *Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas*. São Paulo: Oficina do Texto, 355p.