

Modelagem Pedomorfogeológica para o Mapeamento de Solos

Mariusa Pinto Coelho Lacerda¹

Inara Oliveira Barbosa²

Helena Maria Ramos Alves³

Tatiana Grossi Chquilof Vieira⁴

Resumo - Conhecimentos sobre a natureza do material de origem oferecem elementos de predição dos atributos físicos, químicos mineralógicos dos solos formados, considerando a influência dos demais fatores de formação que atuam no processo pedogenético, assim como o grau de intemperização. Estudos das relações entre geomorfologia, geologia e classes de solos permitem a elaboração de modelos preditivos da distribuição dos solos em uma dada paisagem, podendo ser empregados na geração de mapas pedológicos preliminares de uma região, subsidiando os trabalhos convencionais de levantamento e mapeamento de solos. Atualmente, para o desenvolvimento destes modelos, o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) tem se tornado ferramenta essencial. Estes sistemas manipulam dados de diversas fontes, como mapas planialtimétricos, mapas geológicos, mapas geomorfológicos e imagens de satélites, entre outros, permitindo combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de análises ambientais e planejamentos sustentáveis de uso agrícola das terras.

Palavras-chave – Pedogênese. Geologia. Geomorfologia. Solos-paisagem.

INTRODUÇÃO

O diagnóstico ambiental de uma região é extremamente complexo, uma vez que envolve o estudo de todos os recursos naturais que interagem entre si. Os

¹ Geóloga, D.Sc., Profª. Adjunta UnB-FAV, CxPostal 4508, CEP 70.910-970 Brasília-DF. Correio-E: marilusa@unb.br

² Geóloga, M.Sc., Pesq. FAV-UnB, Caixa postal 4508, CEP 70.910-970, Brasília, DF. Correio-E: inara

³ Engº Agrº, D.Sc., Pesq. EMBRAPA-Café, CxPostal 176, CEP 37200-00, Lavras-MG. Correio-E: helena@ufla.br

⁴ Engº Agrº, M.Sc., Pesq. EPAMIG-CTSM, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio-E: tatiana@ufla.br

estudos das relações entre solos, geologia e superfícies geomorfológicas são importantes para a compreensão da ocorrência dos solos na paisagem, permitindo a predição dessa distribuição e por isso auxiliam atividades de mapeamento de solos e de planejamento sustentável de uso das terras.

O levantamento de solos é considerado um importante estratificador de ambientes, sendo, portanto, uma ferramenta imprescindível em estudos desta natureza (RESENDE, 1983). O conhecimento de atributos físicos e químicos das diferentes classes de solo é necessário para a conservação deste recurso natural, que é a base de qualquer atividade agrícola sustentável.

No entanto, o mapeamento pedológico por meio de metodologias tradicionais é uma atividade bastante onerosa, tanto em termos de tempo, quanto de custo e número de pesquisadores envolvidos. A elaboração de modelos preditivos da distribuição dos solos na paisagem agiliza e melhora a eficiência do levantamento e classificação de solos, permitindo a extração dos resultados para ecossistemas semelhantes (RESENDE, 2000).

A associação de estudos de gênese e filiação de solos a partir de caracterização petrológica dos materiais de origem auxiliam as atividades de classificação dos solos e a avaliação da distribuição pedológica de uma dada área, possibilitando, ainda, obter informações acerca dos atributos físicos, químicos e mineralógicos dos solos.

Na maioria dos casos, no entanto, observa-se que os estudos envolvendo relações entre atributos dos solos e materiais de origem são genéricos, abrangendo grandes grupos de rochas, sem detalhamento de composições mineralógicas e geoquímicas do substrato rochoso, que permite uma melhor compreensão dos processos de alteração e pedogênese. Relações entre as classes de solo com unidades geomorfológicas, também, devem ser avaliadas, visto que o relevo apresenta papel crítico na formação das diversas classes de solos.

Estudos interdisciplinares, envolvendo geologia, geomorfologia e pedologia, podem, então, serem empregados na avaliação e elaboração de modelos preditivos da distribuição das classes de solos na paisagem (OLIVEIRA, 2005; RESENDE et al., 2005). No entanto, os trabalhos sobre o tema são raros, uma vez que o Brasil apresenta uma grande diversidade litológica, mostrando os mais variados ambientes geológicos.

O advento do geoprocessamento tem otimizado a representação cartográfica das relações dos recursos naturais que compõem uma paisagem, auxiliando atividades de levantamentos, mapeamentos, monitoramentos e diagnósticos ambientais. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) manipulam dados de diversas fontes, como mapas planialtimétricos, geomorfológicos, geológicos, produtos de sensoriamento remoto e outros, permitindo combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de produtos espacializados (CÂMARA; MEDEIROS, 1998), particularmente a geração de mapas pedológicos a partir de modelos preditivos, envolvendo distribuição de solos na paisagem, por meio de relações entre pedologia, geologia e geomorfologia.

Os trabalhos de Moore et al. (1993) exemplificam a eficiência do uso do geoprocessamento em estudos de caracterização de elementos da paisagem relacionados à distribuição de solos, com base em análises digitais do terreno.

No Brasil, já existem muitos profissionais ligados à área de geoprocessamento, usuários destes sistemas. Na literatura, encontram-se diversos trabalhos utilizando a tecnologia dos SIGs, com aplicações metodológicas diferenciadas na caracterização dos recursos naturais, podendo-se citar: Andrade et al. (1998) e Ippoliti et al. (2005) que utilizaram Modelos Numéricos do Terreno (MDTs) no estabelecimento de relações solo-paisagem, como base para o levantamento de solos e mapeamento de pedoformas, Lacerda (1999, 2001), Silva (2003) e Barbosa (2007), entre tantos outros, que modelarem o ambiente por intermédio de correlações geológicas-geomorfológicas, com a elaboração de mapeamentos de solos das regiões estudadas.

GEOLOGIA

A geologia, notadamente a petrologia, por intermédio do estudo das rochas, um dos clássicos fatores de formação dos solos, reveste-se de grande importância no que diz respeito à gênese e classificação dos solos, pois é sobre as rochas que os demais fatores de formação exercem sua influência no processo de evolução dos solos. A porção externa e superficial da crosta terrestre é formada por vários tipos de corpos rochosos, constituindo o manto rochoso, sujeito aos agentes de intemperização, proporcionando a decomposição das rochas e gênese dos solos. As propriedades e evolução dos solos, especialmente nos estágios iniciais, são

fortemente afetadas pela composição geoquímica e mineralógica, assim como a textura e estrutura das rochas das quais eles se originaram.

O produto final do intemperismo de rochas e sedimentos é o *Solo*, onde sua formação envolvem reações físicas, químicas e biológicas que determinam os diferentes horizontes com suas características peculiares, que caracterizam as diversas classes de solos. A composição mineralógica do solo será função da constituição geoquímica do material originário, considerando o processo atuante na sua formação, assim como as reações químicas envolvidas.

A base de dados geológicos é, então, fundamental para realização dos trabalhos de modelagens pedomorfogeológicas para a obtenção de mapeamentos de solos em escala ideal aos objetivos propostos. Entretanto, os mapeamentos geológicos disponíveis, muitas vezes foram realizados em pequenas escalas, com pouco detalhamento, dificultando a realização do estudo das relações entre material de origem e classes de solos formadas. É, então, aconselhável a associação de dados de composição mineralógica e análises geoquímicas das unidades geológicas que ocorrem na área a ser avaliada, além de campanhas de campo para averiguação da relação entre as classes de solos com seus respectivos materiais de origem.

Os princípios de relações entre material de origem e classes de solos formadas são fundamentados na composição geoquímica dos minerais constituintes das rochas originais, assim como seu comportamento em relação ao intemperismo. Deve-se, conjuntamente, considerar o grau de evolução pedogenética dos solos em estudo, por meio do tipo de relevo, que reflete o tempo de exposição das rochas aos agentes intempéricos e atuação dos fatores bioclimáticos.

O comportamento dos minerais em relação à intemperização, no caso de rochas de origem magmática, é baseado na seqüência clássica de alteração dos minerais primários, ou seja: o grau de intemperização decresce nos principais minerais maficos na seguinte ordem: olivinas - piroxênios - anfibólios - biotita; e nos minerais félsicos: plagioclásios cárnicos - plagioclásios sódicos - feldspatos potássicos - moscovita - quartzo.

Em rochas metamórficas e sedimentares, como suas composições mineralógicas resultam de transformações metamórficas e intempéricas de minerais das rochas primárias, o conhecimento da composição mineralógica e geoquímica

permite a interpretação do comportamento frente à pedogênese. Estruturas metamórficas, como a xistosidade e foliação representam planos de fraqueza naturais que aceleram o processo de alteração, assim como, em menor proporção a estratificação das rochas sedimentares.

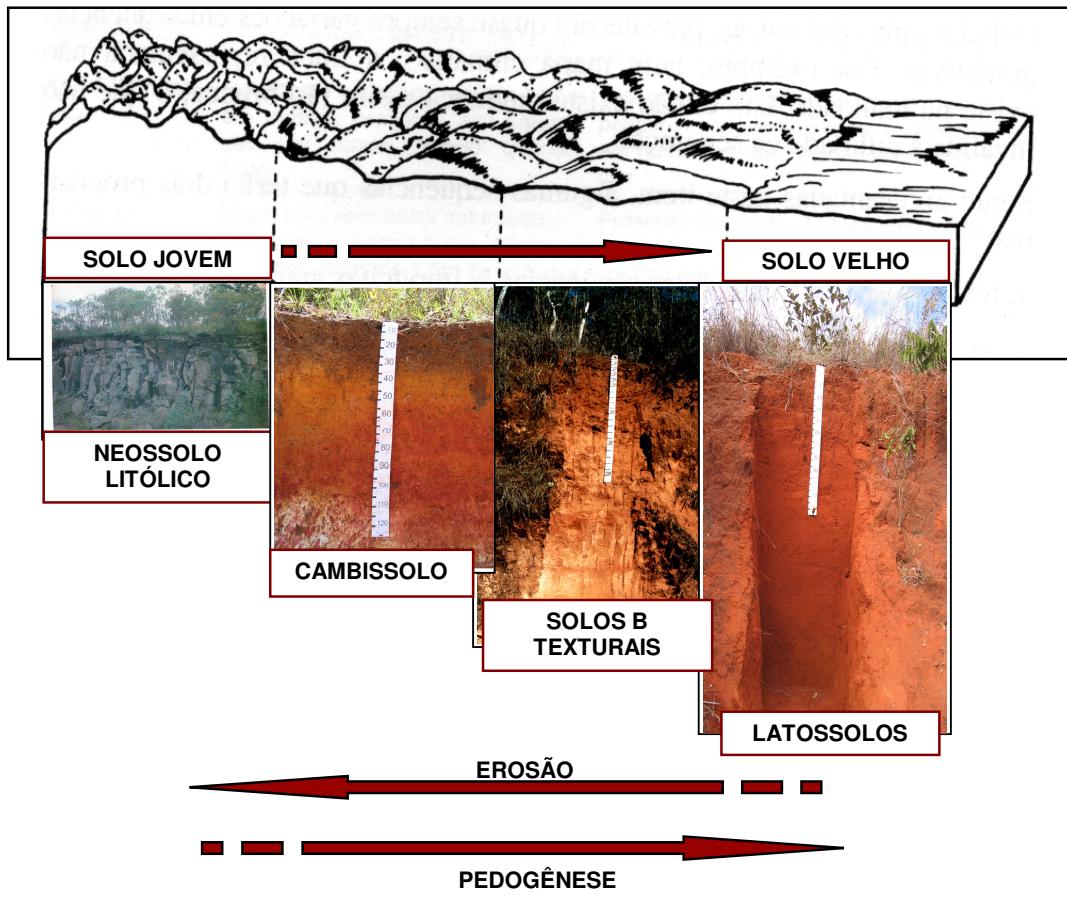
O entendimento das reações de intemperização e decomposição dos minerais primários são essenciais para esta interpretação. Destacam-se as reações de hidrólise na intemperização dos minerais silicatados primários e geração dos argilominerais 2:1, 1:1 e gibbsita, respectivamente nos estágios de dessilicatização limitada (bissialitização), moderada (monossialitização) e total (alitização). Deve-se, também, salientar as reações de oxidação na gênese de óxidos e oxi-hidróxidos da mineralogia dos solos.

Estas reações evoluem segundo o grau de intemperização e processo pedogenético atuante na pedogênese. Acompanham, assim, a seqüência cronológica dos solos (Figura 1) ou relação clássica entre classes de solo com o tipo de relevo, ou seja; relevos montanhosos, com declividade acima de 45%, ocorre desenvolvimento de Neossolos Litólicos; relevos forte ondulados, com 24 a 45% de declividade desenvolvem os Cambissolos; relevos ondulados com declive de 12 a 24% formam os solos com horizonte B textural; e no relevo suave ondulado a plano (>12% de declividade) evoluem os Latossolos. As reações de hidrólise evoluem ao longo dessa seqüência, com a dessilicatização limitada (formação de argilo-minerais 2:1) ocorrendo nos solos jovens evoluindo para a dessilicatização total ou alitização (formação de gibbsita) nos solos mais evoluídos ou velhos, assim como as reações de oxidação são mais acentuadas, formando os óxidos e oxi-hidróxidos de Fe, Mn, Ti e outros.

GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia é a ciência que estuda a forma, gênese e evolução do modelado dos relevos de uma paisagem. Representa a expressão espacial de uma superfície, compondo diferentes configurações da paisagem morfológica. É o seu aspecto visível, a sua configuração, que caracteriza o modelado topográfico de uma área. Entretanto, a geomorfologia não se detém, apenas, em estudar a topografia, pois envolve os processos responsáveis pela configuração de um relevo, mas é responsável pela distribuição dos grandes grupos de solos na paisagem.

É evidente que o relevo atual, cuja diversidade superficial é o produto do intemperismo da rocha e da cobertura vegetal, encontra-se diretamente relacionado aos processos pedogenéticos influenciados pelos diferentes domínios climáticos.



Argilomineral (2:1) =====> Caulinita (1:1) =====> Gibbsita
=====> Óxi-Hidróxidos de Fe

FIGURA 1. Seqüência cronológica dos solos. Fonte: modificado de Resende et al. (1995)

SOLOS

O solo é o principal recurso natural para o aproveitamento agrícola, mas é um recurso que pode ser esgotado, se mal utilizado. É o resultado da ação do clima e organismos (fatores ativos) sobre rochas e sedimentos (fatores passivos), sob influência do relevo, depois de um determinado tempo.

A variabilidade de ocorrência de solos é muito grande, porque mesmo que a maior parte dos fatores de formação do solo seja mantida, ao variar um desses

componentes, tem-se produtos (solos) diferentes. Há uma tendência nítida de se encontrar solos mais rasos e mais férteis em condições de clima seco e quente (região nordeste do Brasil) e solos mais profundos e ácidos em condições de clima frio e úmido (região sul do Brasil), originários de mesmo substrato rochoso.

No que se refere ao desenvolvimento do solo, entende-se que sua idade está mais relacionada ao desenvolvimento do perfil do que a idade cronológica, propriamente dita. Dessa forma, a idade do solo é avaliada pelo número e desenvolvimento dos horizontes e/ou camadas diferenciadas de solo em um perfil.

Os solos mais desenvolvidos são constituídos pela seqüência de horizontes A – B – C assentados sobre R. A espessura e desenvolvimento desses horizontes variam em função dos fatores de formação dos solos e de forma generalizada pode-se representar o desenvolvimento dos solos de acordo com o esquema apresentado na Figura 2, segundo Resende et al. (2005).

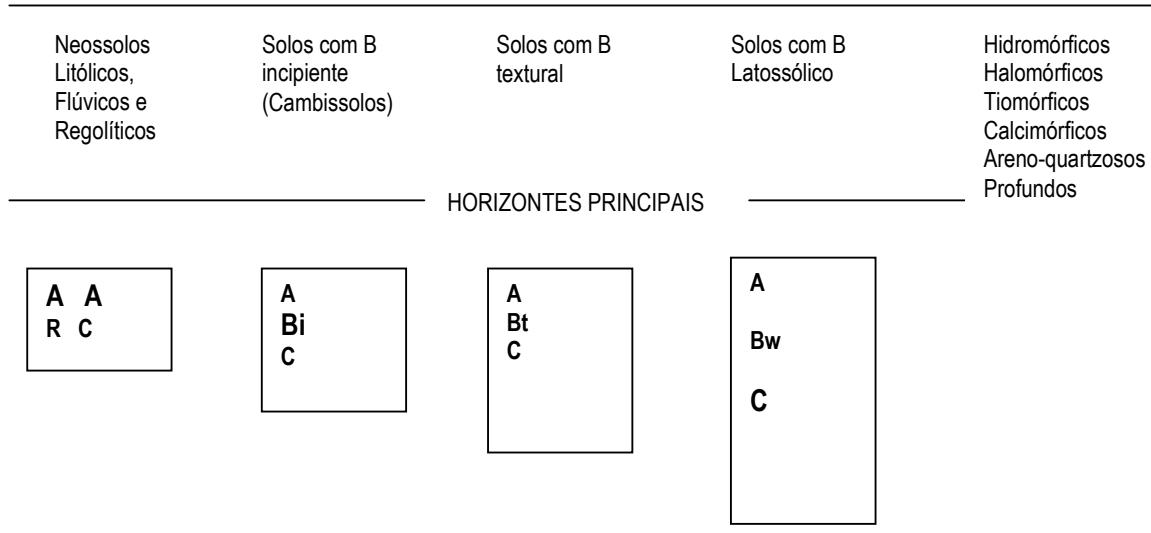


FIGURA 2 - Esboço das principais classes de solos do Brasil. Fonte: modificado de Resende et al. (1995)

RELAÇÃO PEDOGEOMORFOLÓGICA

O relevo é ligado ao fator tempo na gênese dos solos, é, portanto de se esperar que na paisagem brasileira, onde os processos pedogenéticos são ativos, ele tenha um papel crítico como controlador do tempo de exposição aos agentes bioclimáticos (RESENDE et al. 2005). As porções do relevo mais velhas (expostas ao

intemperismo há mais tempo) são justamente as grandes e altas chapadas, comuns no território brasileiro; onde ocorrem os solos mais velhos e lixiviados, muitas vezes cobertos por vegetação de cerrado, enquanto as partes rejuvenescidas, mais baixas e mais acidentadas, apresentam, quase sempre, vegetação melhor sobre solos mais novos.

É importante ressaltar que essa inter-relação entre solo e relevo reflete nas propriedades físicas e químicas do solo. A pedogênese é determinada pelo tempo de exposição do solo. Num mesmo tempo, a taxa de pedogênese é função da intensidade dos processos de formação do solo. Logo quanto maior a erosão, menor o tempo de exposição do material, o que determina uma menor taxa de pedogênese.

A pesquisa atual demonstra estreita relação entre solos e formas de relevo, e uma nova disciplina, a Geomorfologia do Solo ou Pedogeomorfologia, conforme proposta por Conacher & Dalrymple (1977), parece estar surgindo, incorporando as abordagens tradicionais aos solos. Existem muitas maneiras pelas quais se expressa a integração entre a geomorfologia e a pedologia.

As relações pedogeomorfológicas de uma área em estudo podem, também, serem expressas por meio da distribuição de classes de declividade associadas ou não às classes hipsométricas que definem a distribuição de superfícies geomórficas que se relacionam com a distribuição dos solos na paisagem. Porém, deve-se ressaltar que as relações pedogeomorfológicas permitem a elaboração de modelos preditivos de distribuição na paisagem com grandes grupos de solos, geralmente no 1º ao 2º níveis categóricos do SiBCS (EMBRAPA, 2006). Quando o trabalho objetiva um maior detalhamento das classes de solo, a implementação da geologia no modelo preditivo torna-se fundamental.

RELAÇÃO PEDOGEOLÓGICA

Com base no princípio de que o conhecimento da composição geoquímica e mineralógica do material de origem indica características e propriedades do solo formado, relações entre classes de solos e substratos geológicos, com litologias individualizadas pela composição geoquímica e mineralógica, podem ser realizados e empregadas na elaboração de mapeamentos pedogeológicas, com classificação dos solos em níveis mais detalhados do SiBCS (EMBRAPA, 2006).

RELAÇÃO PEDOMORFOGEOLÓGICA

A associação de estudos envolvendo relações pedogeomorfológicas e pedogeológicas, permite a elaboração de modelos preditivos embasados em pedomorfogeologia, que além de fornecer a distribuição dos solos nas paisagens, possibilitam maior detalhamento das classes de solos envolvidas, pela caracterização de propriedades químicas, físicas e mineralógicas dos solos formados a partir de materiais de origem geoquímica e mineralogicamente estudados.

Vários modelos preditivos embasados em relações pedomorfogeológicas têm sido desenvolvidos por pesquisadores, atingindo êxito no mapeamento dos solos das áreas estudadas, sendo subseqüentemente validados por metodologias geoestatísticas. Estes mapeamentos são realizados por Sistemas de Informações Geográficas, cada vez mais eficazes e robustos, capazes de processar grande número de dados. Cabe destacar que campanhas de campo ao longo do desenvolvimento dos trabalhos são fundamentais, desde a etapa de elaboração do modelo até a sua validação. Análises labororiais em auxílio à classificação dos solos também são imprescindíveis e os critérios de seleção de perfis representativos devem seguir as normas de levantamento pedológico, segundo Embrapa (1989).

APLICAÇÃO DE MODELO PEDOMORFOGEOLÓGICO NA GERAÇÃO DE MAPA DE SOLOS DA REGIÃO N-NW DO DISTRITO FEDERAL

A área selecionada para este estudo localiza-se na porção N-NW do Distrito Federal, considerada representativa da ocorrência regional de unidades geológicas, geomorfológicas e classes de solos. Encontra-se delimitada pelas coordenadas $47^{\circ}45'00''$ e $48^{\circ}00'00''$ de longitude W e $15^{\circ}45'00''$ e $15^{\circ}30'00''$ de latitude S, abrangendo quatro cartas planialtimétricas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em escala 1:25.000, totalizando uma área de $742,76 \text{ km}^2$.

Foram levantadas as informações secundárias disponíveis sobre os recursos naturais, particularmente geologia, solos, geomorfologia, além das cartas planialtimétricas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1984. Posteriormente, foram realizados levantamentos de campo para definição da área-piloto representativa para o desenvolvimento do trabalho.

Dados de hidrografia e curvas de nível foram extraídos das cartas planialtimétricas correspondentes. Os dados de geologia foram extraídos de Freitas-Silva & Campos (1998), com ocorrência na área de estudo de Seqüências Metassedimentares dos Grupos Paranoá e Canastra.

O Grupo Paranoá ocupa cerca de 65% da área total do Distrito Federal, individualizadas em sete seqüências deposicionais:

- **MPppc:** Fácies Argilo-Carbonatada: metargilitos, ardósias, metamargas, metassiltitos, lentes de calcário e de quartzitos médios a conglomeráticos, quartzitos cataclásticos e lentes de dolomito.
- **MPpr4:** Fácies Metarrítimo argiloso: metarrítitos argilosos, compostos de metassiltitos, metargilitos e quartzitos, com ocorrência de milonitos.
- **MPpq3:** Fácies Quartzito Médio: quartzitos cinza-claros a brancos, subarredondados, bem selecionados, lentes de metarrítitos e lamininações siltico-argilosas na base.
- **MPpr3:** Fácies Metarrítimo Arenoso: metarrítitos arenosos, compostos de quartzitos, metassiltitos, metargilitos com banco de quartzito próximo à base. Ocorrem muitas gretas de contração e diques de areia.
- **MPpa:** Fácies Ardósia: ardósias verdes, roxas e vermelhas, leitos de quartzito fino e metassiltito no topo.
- **MPps:** Fácies Metassilitito: metassiltitos argilosos, localmente rítmicos e lentes de quartzito médio.
- **MPpq2:** Fácies Quartzito microconglomerático: quartzitos de granulação média a grosseira, leitos microconglomeráticos e lentes de metarrítito.

Já o Grupo Canastra ocorre na porção norte da área, sendo constituído pelas seguintes seqüências metassedimentares:

- **MPcf:** Filitos a sericita e clorita xistos, filitos carbonosos, com lentes de metacalcário, milonitos próximo à base, quartzito e cataclasitos.
- **MPccf:** Fácies calcixisto: calcixistas com ocasionais intercalações de filitos no topo.
- **MPcmx:** Fácies Micaxisto: biotita-moscovita-quartzo-xistos, clorita-xistos, quartzo xistos e milonitos.

Os dados de geomorfologia foram baseados em Novaes Pinto (1994), que reconheceu no Distrito Federal três Superfícies, denominadas de Região de

Chapadas, Área de Dissecção Intermediária e Região Dissecada de Vale. A área em epígrafe apresenta-se distribuída nas três Superfícies Geomorfológicas.

A Região de Chapada, denominada de Superfície Geomorfológica 1, é caracterizada por uma topografia, plana a plana ondulada, acima da cota 1.000 m, geralmente até 1.300m. A Área de Dissecção Intermediária, designada de Superfície Geomorfológica 2, corresponde às áreas fracamente dissecadas, com padrão de relevo suave onulado, apresentando cotas entre 1.000 e 1.150 m, desenvolvida sobre ardósias, quartzitos e metassiltitos do Grupo Paranoá.

A Região Dissecada de Vale, intitulada de Superfície Geomorfológica 3, é representada por depressões ocupadas pelos rios da região, é mais recente, desenvolvida, particularmente, sobre litologias do Grupo Canastra, com cotas variando de 1.000 até cerca de 750m.

Atividades de geoprocessamento - Sistemas de Informações Geográficas

No processamento de dados espaciais foi utilizado o software ArcGIS 9.0.Os temas utilizados foram: Curvas de nível, Pontos Cotados e Hidrografia (escala 1:25.000), provenientes das bases cartográficas do IBGE e Geologia (escala 1:100.000) de acordo com Freitas-Silva & Campos (1998).

Com os dados de curvas de nível, hidrografia e pontos cotados gerou-se uma grade triangular ou TIN (Triangular Irregular Network) da área em questão, por meio do modulo 3D Analyst do Arc GIS 9.0. Por meio da TIN gerada foi elaborado o Modelo Digital do Terreno (MDT). O MDT foi reclassificado em 3 classes, ou seja: 1.150 – 1.304m, 1.000 – 1.150 m e 725 – 1.000 m, que correspondem às Superfícies Geomorfológicas do DF denominadas de 1, 2 e 3. Gerou-se, também o mapa de declividade da área em questão a partir do MDT, reclassificado em 5 classes, de acordo com o Quadro 1 (0-3%, 3-10%, 10-24%, 24-45% e >45%).

A partir dos mapas MDT e de declividade, ambos reclassificados, foi gerado um novo mapa da soma destes dois mapas (MDT + Declividade) utilizando-se a operação Map calculator do ArcGIS 9.0. Assim, gerou-se mapa de relevo da área estudada, que foi reclassificado em 6 classes, que correspondem às classes de declividade juntamente com as classes de altimetria que proporcionam desenvolvimento diferenciado de classes de solos, conforme Quadro 1.

Por meio do módulo Map calculator do ArcGIS 9.0, utilizando-se o mapa de Geologia,e o mapa de relevo gerado, foi criado o mapa preliminar de solos do Distrito Federal, escala 1:25.000, seguindo critérios estabelecidos no Quadro 2, reclassificado em 11 unidades de mapeamento. Para a realização desta operação, o mapa de geologia foi convertido, pelo software ArcGIS 9.0, para escala 1:25.000, admitindo-se a perda de informações geológicas não significativas para o produto gerado, após avaliações de campo.

QUADRO 1. Relações entre declividade, classes de relevo, superfícies geomorfológicas e solos da região N-NW do DF.

Classes declive (%)	Classes de relevo	Superfícies Geomorfológicas	Classes de Solos (1º nível categórico)
0 - 3	Plano de topo	Superfície 1 e 2	Latossolos
3 - 10	Suave ondulado	Superfície 1, 2 e 3	Latossolos
10 - 45	Ondulado a forte ondulado	Superfície 1 e 2	Cambissolos
10 - 24	Ondulado	Superfície 3	Solos com horizonte B textural
24 - 45	Forte ondulado	Superfície 3	Cambissolos
> 45	Montanhoso	Superfície 1, 2 e 3	Cambissolos e Neossolos Litólicos e Regolíticos

(1) Superfícies geomorfológicas do Distrito Federal, segundo Novaes Pinto (1994), Superfície 1 – Região de chapada, com cotas entre 1.300 e 1.150 m, constituída por chapadas de topos aplainados; Superfície 2 – Região de dissecação intermediária, com altitudes variando de 1.000 a 1.150 m; e Superfície 3 – Região dissecada de Vale, com formas de relevo acidentado, com cotas entre 1.000 a 750m.

O mapa de solos gerado, considerado como legenda preliminar, foi posteriormente checado em campanhas de campo, por meio de dados georreferenciados.

Modelagem pedogeomorfológica

O modelo pedogeomorfológico foi gerado por intermédio de dados coletados em atividades de campo associados com dados da literatura, destacando-se Martins & Baptista (1998), Novaes Pinto (1994), Freitas-Silva & Campos (1998) e checados em campanhas de campo (Quadro 1) e representa a distribuição das classes de solos no primeiro nível categórico, de acordo com o Sistema Brasileiro de

Classificação de Solos-SiBCS (EMBRAPA, 2006), ao longo das unidades de relevo, representadas por suas classes de declividade.

O mapa de relevo da área estudada (Figura 3), por meio da modelagem pedogeomorfológica estabelecida no Quadro 1 já apresenta boa relação com a distribuição dos solos na paisagem do Distrito Federal (DF). No entanto, as classes de solos só podem ser estabelecidas no primeiro nível categórico do SiBCS (EMBRAPA, 2006), não sendo possível o detalhamento e individualização das diversas classes de solo que ocorrem no DF.

Discriminaram-se, então, as seguintes classes de solo no primeiro nível categórico: Latossolos, Solos com horizonte B textural, Cambissolos e Neossolos (Litólicos e Regolíticos). Os Latossolos mostraram a maior distribuição espacial, particularmente ao longo da porção centro-sul da área de estudo, ocupando as Superfícies Geomorfológicas 1 e 2. Estas representam a Região Geomorfológica de Chapada, com cotas entre 1.300 e 1.150m e Região Geomorfológica de Dissecção Intermediária, com altitudes variando de 1.000 a 1.150m, respectivamente. Nas bordas das chapadas da Superfície 1, onde a declividade se acentua, ocorre desenvolvimento de Cambissolos e Neossolos Litólicos e Regolíticos. Já os solos com horizonte B textural ocorrem, particularmente, na porção N-NW da área, que corresponde à Superfície Geomorfológica 3 – Região Dissecada de Vale. Esta superfície apresenta formas de relevo acidentado, com cotas entre 1.000 a 750m, com declividades variadas, caracterizando relevos suaves ondulados a montanhosos. Nas áreas de maior declividade, desenvolvem Cambissolos e Neossolos Litólicos e Regolíticos.

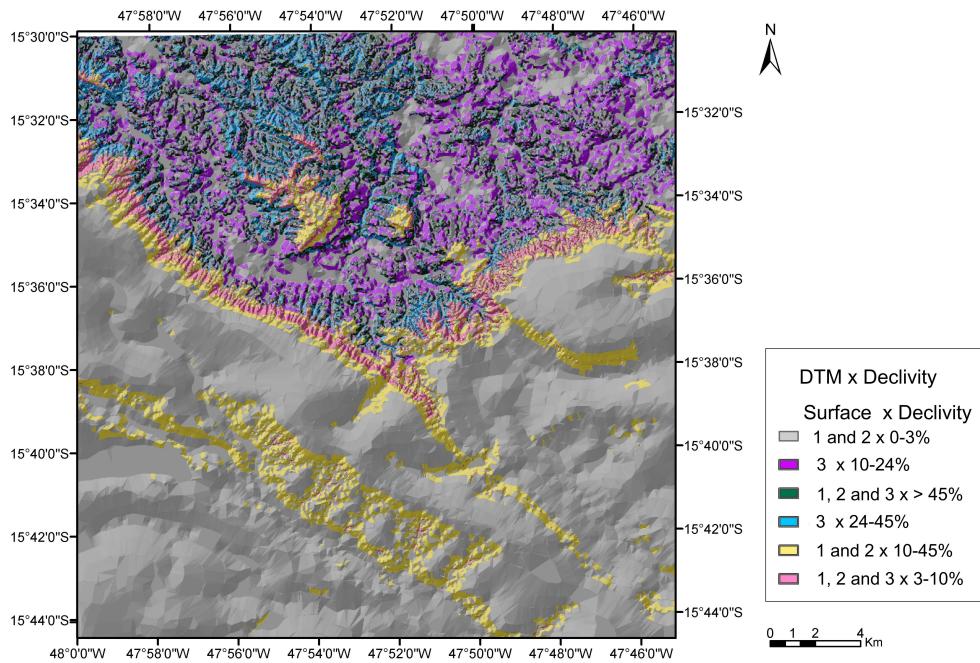


FIGURA 3 - Mapa de classes de relevo da região N-NW do Distrito Federal.

Onde: DTM = Modelo Digital de Terreno; Declivity = Classes de declividade (0 – 3%, 3 – 10%, 10 – 24%, 10 – 45%, 24 – 45%, > 45%); Surface = Superfícies geomorfológicas (1, 2 e 3).

Modelagem pedomorfogeológica

Com a finalidade de estabelecer uma modelagem que contemplasse classes de solos em níveis categóricos mais detalhados, estabeleceu-se, em seguida, o modelo pedomorfogeológico, apresentado na Quadro 2, por meio de relações entre os solos do Quadro 1 com seus respectivos substratos geológicos. A relação pedomorfogeológica foi embasada em estudos disponíveis na literatura, tais como Freitas & Campos (1998) e Embrapa (1978) e em observações de campo em cerca de 100 pontos georreferenciados, dos quais foram selecionados perfis representativos das principais classes de solo para caracterização e classificação pormenorizada. Estes perfis foram descritos, amostrados para análises químicas e físicas segundo Lemos & Santos (1996) e classificados segundo SiBCS (EMBRAPA,

2006). Este modelo permitiu a elaboração do mapa preliminar de solos do Distrito Federal.

As regras de relação pedogeológica foram estabelecidas baseadas nestas premissas, apoiadas em dados da literatura e verificações de campo da região de estudo, respeitando-se as classes de relevo, de acordo com o Quadro 2.

Assim, o mapa de solos foi gerado por intermédio do cruzamento do mapa geológico (Figura 4) disponível e mapa de relevo criado neste trabalho, sendo denominado de mapa preliminar de solos do Distrito Federal (Figura 5).

Esta metodologia possibilitou o detalhamento e melhor a individualização das classes de solo de ocorrência no DF, em níveis categóricos mais detalhados, por meio de 11 unidades de mapeamento, ou seja:

- **Unidade 1** - Associação Latossolo Vermelho distrófico (LVd) + Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), por vezes Latossolo Vermelho –Amarelo plíntico.
- **Unidade 2** - Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVd) com inclusões de Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo)
- **Unidade 3** - Associação Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVd) + Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico câmbico (LVAdc)
- **Unidade 4** – Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, eutrófico (PVAd,e) + Argissolo Vermelho distrófico, eutrófico (PVd,e) + Cambissolos Háplicos distróficos, eutróficos (CXd,e)
- **Unidade 5** - Associação Argissolo Vermelho distrófico, eutrófico (PVd,e) + Nitossolo Vermelho distrófico, eutrófico (NVd,e) + Cambissolos Háplicos distróficos, eutróficos (CXd,e) + Chernossolo Rêndzico (MD)
- **Unidade 6** - Associação Argissolo Vermelho distrófico, eutrófico (PVd,e) + Nitossolo Vermelho distrófico, eutrófico (NVd,e) + Chernossolo Argilúvico Carbonático (MTk) + Chernossolo Rêndzico (MD) + Cambissolos Háplicos distróficos, eutróficos (CXd,e)
- **Unidade 7** - Associação de Cambissolos Háplicos distróficos, eutróficos (CXd,e) + Neossolos Litólicos (RL) + Neossolos Regolíticos (RR) + Afloramentos Rochosos (AF)

- **Unidade 8** - Associação de Cambissolos Háplicos distróficos (CXd) + Cambissolos Háplicos Tb distróficos lépticos (CXTbl) + Neossolos Litólicos (RL) + Neossolos Regolíticos (RR) + Afloramentos Rochosos (AF)
- **Unidade 9** - Associação de Cambissolos Háplicos distróficos, eutróficos (CXd,e) + Chernossolos Rêndzicos (MD) + Neossolos Litólicos (RL) + Neossolos Regolíticos (RR)+ Afloramentos Rochosos (AF)
- **Unidade 10** - Chernossolos Rêndzicos (MD) + Associação de Cambissolos Háplicos distróficos, eutróficos (CXd,e)
- **Unidade 11** – Latossolo Vermelho distrófico (LVd)

QUADRO 2. Modelo de relação entre Classes de Declividade, Domínios Geológicos, Superfícies Geomorfológicas e Classes de Solo da região N-NW do DF

Superfícies Geomorfológicas	Classes de declive	Domínios geológicos⁽¹⁾	Classes de solos (2º ao 3º nível categórico)
Superfície 1, 2, 3	0 -10%	MPp	Latossolos Vermelhos (LVd,) e Latossolos Vermelho-Amarelos (LVAd,)
Superfície 1, 2, 3	0 – 10%	MP (Mpq3)	Latossolos Vermelho-Amarelos (LVd) e Neossolos Quatzarênicos (RQ)
Superfície 1, 2, 3	0 – 10%	MPc (MPccx)	Latossolos Vermelhos (LVd)
Superfície 3	0 – 10%	MPc, MPp	Latossolos Vermelhos (LVd) e Latossolos Vermelho-Amarelos câmbicos (LVAd,c)
Superfície 3	10 - 24%	MPp (MPpac)	Argissolos Vermelhos (PVd,e) Argissolos Vermelho-Amarelos (PVAd) e Cambissolos Háplicos (CX)
Superfície 3	10 - 24%	MPc (MPcf, MPccx).	Argissolos Vermelhos (PVd,e) Nitossolos Vermelhos (NVd,e), Chernossolos Rêndzicos (MD) e Cambissolos Háplicos(CX)
Superfície 3	10 - 24%	MPc (MPcf, MPccx e lentes de calcário)	Argissolos Vermelhos (PVd,e) Nitossolos Vermelhos (NVd,e), Chernossolos Argilúvicos Carbonáticos (MTk), Chernossolos Rêndzicos (MD) e Cambissolos Háplicos(CX)
Superfície 1, 2	> 45%	MPp	Cambissolos Háplicos (CX), Neossolos Litólicos (RL), Neossolos Regolíticos (RR) e Afloramentos Rochosos (AF)
Superfície 1, 2	> 45%	MP(Mpq3)	Cambissolos Háplicos (CX), Cambissolos Háplicos distróficos lépticos (CXdl), Neossolos Litólicos (RL), Neossolos Regolíticos (RR) e

			Afloramentos Rochosos (AF)
Superfície 3	> 45%	MPp (MPpac), MPc (MPcf, MPccx e lentes de calcário)	Cambissolos Háplicos (CX), Chernossolos Rêndzicos (MD), Neossolos Litólicos (RL), Neossolos Regolíticos (RR) e Afloramentos Rochosos (AF)
Superfície 3	24 – 45%	MPc (MPcf, MPccx e lentes de calcário)	Cambissolos Háplicos (CX) e Chernossolos Rêndzicos (MD)

(2) Domínios geológicos extraídos de Silva e Campos (1998): - Domínio 1 – MPp – Seqüência deposional Paranoá (Mesoproterozóica a Neoproterozóica): MPpac: Fácies Argilo-Carbonatada; MPpr4: Fácies Metarritmito argiloso; MPpq3: Fácies Quartzito; MPpr3: Fácies Metarritmito arenoso; MPpa: Fácies Ardósia; MPps: Fácies Metassilitito; e MPpq2: Fácies Quartzito microconglomerático; e Domínio 2 – MPc – Seqüência deposicional Canastra (Mesoproterozóica): MPcf: Filitos a sericita e clorita xistos; MPccx: Fácies calcixisto; e MPcmx: Fácies Micaxisto

As unidades 1 e 2 apresentam maior área de ocorrência, desenvolvendo-se nas Superfícies Geomorfológicas 1 e 2, a partir de litologias pelíticas e psamíticas do Grupo Paranoá, respectivamente. Já as unidades 3 e 11 também constituída por Latossolos, desenvolvem-se nas Superfícies Geomórfologicas 1, 2 e 3 sobre litologias argilo-carbonatadas do Grupo Canastra.

Na transição das Superfícies Geomorfológicas 1 e 2, onde a declividade aumenta, desenvolve-se a unidade 7 e 8, constituída basicamente por solos rasos e jovens, além de afloramentos rochosos.

As unidades 5 e 6, constituídas por solos com horizonte B textural, desenvolvem-se somente na Superfície Geomorfológica 3, obedecendo aos critérios de declividade estabelecidos para o desenvolvimento desta classe de solo, conforme Quadro 1. Ocorrem Argissolos e destaca-se a ocorrência de Nitossolos Vermelhos e Chernossolos Argilúvicos Carbonáticos, que mostram relação direta com o substrato geológico, constituído de seqüências deposicionais do Grupo Canastra, com ocorrência de meta-calcários e xistos de composições geoquímicas variadas. Estas rochas apresentam maior susceptibilidade à atuação pedogenética do que as litologias do Grupo Paranoá, que predominam nas Superfícies Geomorfológicas 1 e 2. A ocorrência destes solos, considerados os solos de maior potencial de fertilidade natural da região, apresentam atributos herdados do material parental

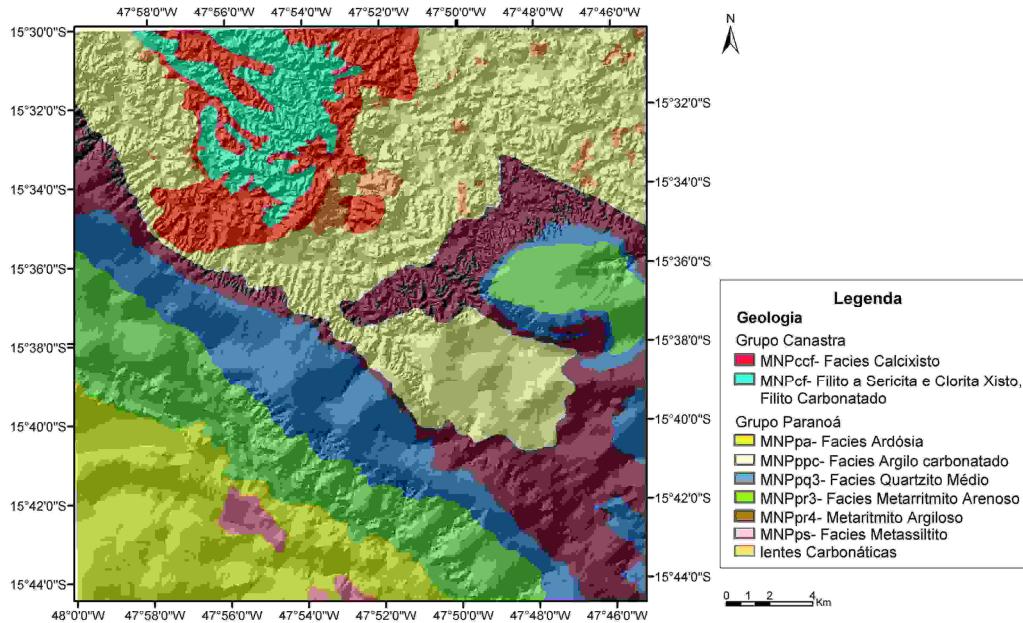


FIGURA 4 – Mapa geológico da região N-NW do DF.

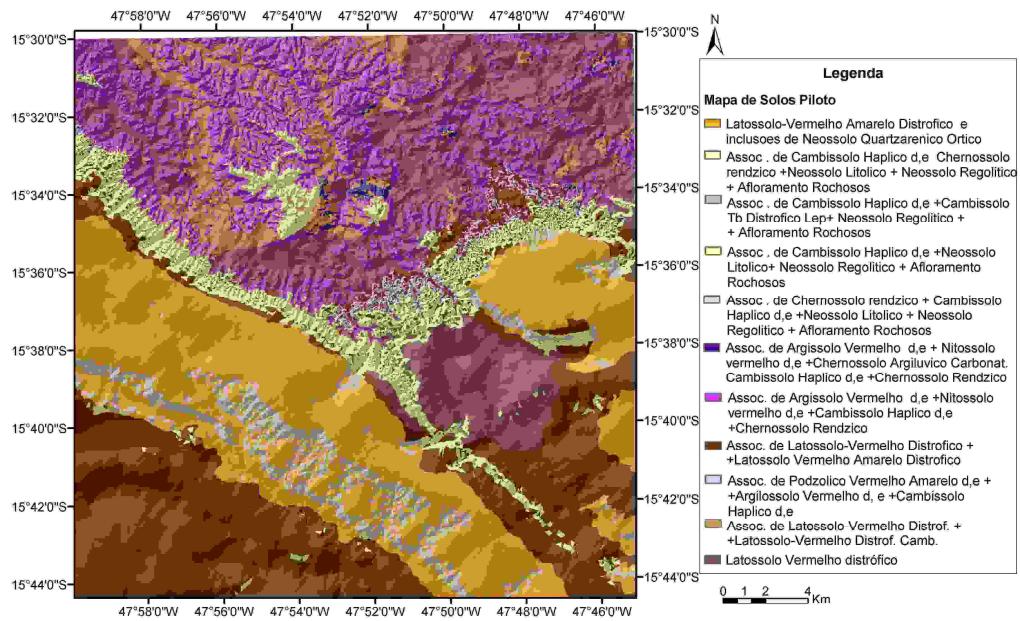


FIGURA 5 – Mapa preliminar de solos da região N-NW do DF.

As demais unidades de solos mapeadas estão distribuídas nas áreas de maior declividade, nas três Superfícies Geomorfológicas.

A modelagem solos-paisagem utilizada na geração do mapa preliminar de solos apresentou boa representatividade da distribuição de solos na paisagem do DF. Nas Superfícies Geomorfológicas 1 e 2, a modelagem prevalece nos topos aplinados das chapadas e também é bem correspondida nas bordas das mesmas, onde se verifica a ocorrência de solos rasos, com relação pedogenética com o material de origem.

Já a Superfície Geomorfológica 3, na área-piloto estudada, corresponde à superfície mais jovem da região, modelada por processos de dissecação erosiva atuantes. Na área-piloto estudada, a relação geológica-geomorfológica apresentou boa correspondência com a distribuição dos solos na paisagem, tanto com relação às classes de declividade, quanto com relação aos domínios geológicos.

Os resultados demonstram que as técnicas de geoprocessamento utilizadas foram eficientes na elaboração do mapa proposto, tanto em termos de tempo gasto quanto de custos. A utilização do geoprocessamento na geração de mapas temáticos de caracterização ambiental, ainda que preliminares, é proposta como atividade eficiente, passível de correções após checagens de campo. Os dados gerados forneceram subsídios para o detalhamento do mapa de solos disponível em escala 1:100.000 (EMBRAPA, 1978), além de subsidiar dados para levantamento e monitoramento do uso sustentável dos solos do DF.

A modelagem geomorfológica e geopedológica pode, então, ser utilizada na geração de mapas pedológicos, assim como constataram Andrade et al. (1998), Lacerda (1999 e 2001), Silva (2003) e Barbosa (2007), trazendo, ainda, benefícios para as atividades tradicionais de levantamento e mapeamento de solos em termos de tempo gasto, custos e número de profissionais envolvidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O geoprocessamento mostrou-se uma atividade eficiente na geração de mapas pedológicos preliminares, em escala regional, a partir de modelagens e correlações geomorfológicas e geopedológicas criteriosas e fornece benefícios para as atividades tradicionais de levantamento e mapeamento de solos em termos

de tempo gasto, custos e número de profissionais envolvidos. Os mapas de solos gerados por esta metodologia oferecem dados mais detalhados para estudos de sustentabilidade do uso agrícola das suas terras.

A aplicação de modelagem pedomorfogeológica no mapeamento e solos da região N-NW do Distrito Federal mostra que o estabelecimento de relação entre substrato geológico, relevo e solos de ocorrência regional, permite o detalhamento e individualização das classes dos solos em níveis categóricos mais detalhados e a geração do mapa de solos (legenda preliminar) em escalas de maior detalhamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, H.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. et al. Diagnóstico ambiental do município de Lavras com base em dados do meio físico: IV – Principais grupamentos de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas-MG. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v.4, p.442-443.

BARBOSA, I. O. **Distribuição dos Solos nas Chapadas Elevadas no Distrito Federal, com Emprego de Geoprocessamento.** 2007. 125p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2007.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S de. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas.** 2.ed. Brasília: EMBRAPA-SPI/CPAC, 1998. p. 3-11.

CONACHER, A.J.; DALRYMPLE, J.B. The nine unit landsurface model, na approach to pedogeomorphic research. **Geoderma**, Amsterdam, n. 18, p.1-154, 1977.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal.** Rio de Janeiro:EMBRAPA-SNLCS, 1978. 455p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Normas e critérios para levantamentos pedológicos.** Rio de Janeiro:EMBRAPA-SNLCS, 1989. 94p

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: EMBRAPA-Produção de Informação, 2006. 412p.

FREITAS-SILVA, F.; CAMPOS, J. E. G. Geologia do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB. **Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal.** Brasília:IEMA/SEMATEC/UnB, v 1. Parte 1, 1998, 86p.

IPPOLITI R., G. A.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R. FERNANDES FILHO, E. I.; GAGGERO, M. R.; SOUZA, E. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “Mar de Morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 267-276, 2005.

LACERDA, M. P. C. **Correlação geo-pedológica em solos B texturais na Região de Lavras.** 1999. 257p. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

LACERDA, M. P. C.; ALVES, H. M.R.; VIEIRA, T. G. C.; RESENDE, R. J. T. P.; ANDRADE, H.; MACHADO, M. L.; CEREDA, G. J. Caracterização de agroecossistemas cafeeiros de Minas Gerais por meio do SPRING. Parte II – Agroecossistema de Machado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1, 2001, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Poços de Caldas, 2001.CD-ROM.

LEMOS, R. C. de; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** Campinas:SBCS/CNPS, 1996. 84p.

MARTINS, E. S.; BAPTISTA, G. M. M. Compartimentação geomorfológica e sistemas morfodinâmicos do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB. **Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal.** Brasília, IEMA/SEMATEC/UnB, v 1, Parte 2, 1998. 53p.

MOORE, I. D; GESSLER, P.E.; PETERSON, G.A. Soil Atribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 443-452, 1993.

NOVAES PINTO, M. Caracterização Geomorfológica do Distrito Federal. In.: NOVAES PINTO, M. (Org.). **Cerrado – Caracterização, Ocupação e Perspectivas.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1994. p. 285-320.

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia Aplicada.** 2.ed. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA G. F. **Pedologia:** base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 1995. 334p.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 128, p.13-18, ago. 1983.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA G. F. **Pedologia:** base para distinção de ambientes. Viçosa: NEPUT, 2005. 338p.

RESENDE, R. J. T. P. **Caracterização do meio físico de áreas Cafeeiras do Sul de Minas por meio do SPRING.** 2000. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

SILVA, M. T. G. **Utilização de geotecnologias no levantamento e planejamento de uso sustentável dos solos na Bacia do Rio João Leite, Goiânia, GO.** 2003. 170p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2003.