

**INTEGRAÇÃO DE ATRIBUTOS MORFOMÉTRICOS
E SENSORIAMENTO REMOTO NA CARTOGRAFIA
PEDOLÓGICA DO PARQUE NACIONAL DE BRASÍLIA,
DISTRITO FEDERAL**

**INTEGRATION OF MORPHOMETRIC ATTRIBUTES AND
REMOTE SENSING IN PEDOLOGICAL CARTOGRAPHY IN
THE NATIONAL PARK BRASILIA, FEDERAL DISTRICT**

**Marcus Fábio Ribeiro Farias^{1,2}, Osmar Abílio de Carvalho Júnior¹,
Éder de Souza Martins², Roberto Arnaldo Trancoso Gomes¹,
Renato Fontes Guimarães¹ e Adriana Reatto²**

¹ Universidade de Brasília (UnB) - Departamento de Geografia
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil
{marcusfabio79@gmail.com, {osmarjr, robertogomes, renatofg@unb.br}}

² UniCEUB SEPN 707/907 Campus do CEUB, Asa Norte, Brasília-DF, Brasil.
CEP:70790-075.
marcus.farias@uniceub.br

³ EMBRAPA Cerrados, BR-020, km 18, Planaltina, DF, Brasil. CEP: 73310-970.
Caixa postal: 08223.
eder@cpac.embrapa.br

Recebido 12 de novembro de 2013, aceito 10 de janeiro de 2015

RESUMO - Os levantamentos convencionais de solos requerem investimentos elevados em tempo e recursos. No entanto, o mapeamento do solo pode ser obtido por correlação com outros fatores ambientais, especialmente com o material de origem, o relevo e a vegetação. O presente artigo possui como objetivo desenvolver uma metodologia de mapeamento pedológico no Parque Nacional de Brasília, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica. O mapa de solos foi obtido pela integração dos atributos de terreno e das classes de vegetação. A classificação das unidades de relevo foi feita pelo método de árvore de decisão, a partir dos atributos de terreno. A vegetação do Cerrado demonstrou uma alta correlação com os tipos de solo e são fundamentais para descrever zonas saturadas da paisagem e de seus solos

correspondentes. A integração dos atributos do relevo e da vegetação obteve uma alta correlação com o mapa de solos existente. A metodologia utilizada permitiu um aprimoramento dos limites das unidades de solo.

Palavra Chave: atributos de terreno, árvore de decisão, mapeamento digital do solo, sistema de informação geográfica.

The conventional land surveying requires long time and high costs. However, the soil mapping can be obtained by correlation with other environmental factors, especially with the parent material, relief and vegetation. This paper aims to develop a methodology for pedological mapping in Brasília National Park using remote sensing and geographic information system. The soil map was obtained by integration of terrain attributes and vegetation classes. The classification of relief units was made by the decision tree method, from terrain attributes. Cerrado vegetation showed a high correlation with the soil types and is essential to describe the saturation of the landscape areas and their corresponding soils. The integration of relief and vegetation attributes obtained a high correlation with the existing soil map. The methodology allowed an improvement for soil unit cartographic delimitation.

Keywords: terrain attributes; decision tree, digital soil mapping, geographic information systems.

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o mapeamento de solos inicia com a produção de um mapa preliminar, onde as unidades são inferidas a partir de fotointerpretação e sobreposição de dados ambientais, dependentes da experiência do especialista. Neste mapa são adicionadas informações de campo que por interação sistemática, possibilitam ao pedólogo estabelecer as relações entre os solos e as diferentes feições da paisagem, como também a distribuição espacial e os

limites das unidades (ZHU, 1999). Desta forma, a cartografia de solos mostra uma interpretação implícita entre a relação das características da paisagem e os dados qualitativos (HUDSON, 1992; ZHU et al., 2001).

O advento da Geotecnologia auxiliou no desenvolvimento de uma nova abordagem denominada de Mapeamento Digital e Solos (MDS) (MCBRATNEY et al., 2003, SCULL et al., 2003). Neste contexto, são adicionadas diferentes ferramentas para auxiliar o mapeamento como: Sistema de Informações Geográficas (SIG), sensoriamento remoto, Modelo Digital de Terreno (MDT) e GPS. Conforme Shi (2004) o emprego das técnicas tradicionais apresenta as seguintes desvantagens: alto custo; elevado tempo de execução; caráter subjetivo; limitação em sua documentação; necessidade do especialista em visitar áreas extensas para a validação; e baixa acurácia e precisão. Além disso, existem as limitações operacionais de campo como: acesso a propriedades particulares, relevo bastante inclinado, e pouca rede rodoviária. Devido a estas dificuldades, diferentes métodos de MDS têm sido desenvolvidos para descrever, classificar e estudar os padrões de distribuição espacial dos solos, de maneira mais objetiva e precisa (ODEH et al., 1992; MOORE et al., 1993; ZHU, 2000; DEMATTÊ et al., 2004, HERMUCHE et al., 2003; ARCOVERDE et al., 2005).

Nos estudos de MDS duas principais abordagens se destacam: (a) estender as informações pontuais pedológicas para uma forma contínua no terreno (SILVA JÚNIOR et al., 2012), ou (b) gerar mapas de unidades de solo (MCKENZIE & AUSTIN, 1993; RYAN et al., 2000). Em ambos os propósitos os fatores de comparação mais utilizados são os atributos de terreno provenientes do MDT (GESSLER et al. 1995; 2000; MCKENZIE et al., 2000, DOBOS et al., 2000). Na concepção de mapas contínuos, vários parâmetros têm sido analisados como: profundidade de solo e pH (MOORE et al., 1993; ODEH et al., 1994), comportamento hídrico de solo (BELL et al., 1992, 1994; RAWLS

& PACHEPSKY, 2002); variação de carbono e nitrogênio (ZUSHI, 2006), e variação de fósforo e potássio (KOZAR et al., 2002).

Na classificação dos solos verifica-se também uma ampla utilização do MDT e dos atributos de terreno (ODEH et al., 1992; MOORE et al., 1993; MCKENZIE & RYAN, 1999). No entanto, estudos a partir do MDT e dos seus atributos de terreno nem sempre conseguem descrever todos os tipos de solos presentes em uma área de estudo necessitando da adição de outras informações como: vegetação natural (SKIDMORE et al., 1991) e litologia (LAGACHERIE & HOLMES, 1997, BUI et al. 1999).

Um dos problemas normalmente discutido na literatura é definir a partir dos atributos de terreno áreas saturadas em regiões com baixa ondulação do relevo. Estudos anteriores mostraram que os índices topográficos relacionados com áreas encharcadas do solo são fortemente sensíveis à resolução do MDE (QUINN et al, 1991). Consequentemente, esta dificuldade também restringe a detecção de tipos de solos provenientes destes ambientes saturados, como é o caso dos Gleissolos. No entanto, no propósito de descrever a drenagem do solo o sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado (LEE et al. 1988a, b, CIALELLA et al., 1997, MORAN et al., 1997; CAMPLING et al., 2002, LOBELL & ASNER, 2002). Nos ambientes de vegetação natural, a relação solo-vegetação reflete uma diferenciação na acumulação de biomassa que pode ser explorada para o mapeamento da drenagem do solo a partir de sensoriamento remoto (LOZANO-GARCIA et al., 1991; KOROLYUK & SHCHERBENKO, 1994; LEVINE et al., 1994).

O presente artigo possui como objetivo desenvolver uma metodologia para o mapeamento de solos do Parque Nacional de Brasília (PNB) a partir do uso integrado de informações provenientes do MDE e do sensoriamento remoto óptico. O emprego da vegetação fornece um acréscimo de informações para a

classificação dos solos que muitas vezes não pode ser obtida apenas a partir da análise dos atributos de terreno.

ÁREA DE ESTUDO

O PNB está situado no Distrito Federal (DF), entre os paralelos 15°35' e 15°45' (latitude sul) e os meridianos 47°53' e 48°05' (longitude oeste), abrange uma área de aproximadamente 30.000 hectares. O clima é tropical com duas estações bem definidas: a chuvosa que vai de outubro a abril e a seca de maio a setembro com precipitação de 1.500 mm (FERRANTE et al., 2001). A temperatura média anual varia de 18° a 22° C, sendo os meses de setembro e outubro os mais quentes, com médias superiores a 22° C (FERRANTE et al., 2001).

A geologia da área de estudo é formada por rochas do Grupo Paranoá de idade Meso-Proterozóica (1.350 a 950 milhões de anos), atribuídas às unidades Metassiltito, Ardósia, Metarritmito Arenoso e Quartzitos (FREITAS-SILVA & CAMPOS, 1998). No Distrito Federal, a Geomorfologia foi dividida segundo Novaes Pinto (1994) em três unidades geomorfológicas: Região de Chapada, Área de Dissecção intermediária e Região Dissecada por Vale sendo as duas primeiras unidades presentes na área de estudo.

O PNB está incluso no bioma Cerrado onde os tipos de vegetação e a sua quantidade de biomassa estão intimamente relacionados com as características do solo e água. Ribeiro & Walter (1998) dividiu a cobertura vegetal do Cerrado em três formações: Florestal, Savânica e Campestre.

A formação Florestal consiste nas fitofisionomias Cerradão, Mata de Galeria, Mata Ciliar e Mata Seca sendo que as duas últimas não são encontradas no PNB. A formação Savânica é formada pelas seguintes fitofisionomias: Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo, Cerrado Rupestre, Parque de Cerrado, Vereda

e Palmeiral. O Cerrado Denso é similar ao Cerradão no que tange a densidade arbórea, porém, o que diferencia é a altura das árvores. O Cerrado Típico e o Ralo são fitofisionomias que apresentam redução de cobertura de árvores. O Cerrado Rupestre é formado por cobertura arbórea associada aos afloramentos rochosos. O Parque de Cerrado é uma fitofisionomia que ocorre geralmente em ambientes de oscilação hídrica.

A formação campestre tem como característica o predomínio de vegetação rasteira com presença de gramíneas, em alguns casos com arbustos e ervas e raramente presença de árvores. As fitofisionomias presentes são o Campo Rupestre (associados aos afloramentos rochosos), Campo Sujo (predomínio do estrato herbáceo com presença de arbustos espaçados entre si) e Campo Limpo (predomínio de gramíneas).

A forma de menor biomassa é o Campo Limpo e, num gradiente crescente, encontram-se o Campo Sujo, o Campo Cerrado, o Cerrado sentido restrito e o Cerradão (COUTINHO, 1990). Os fatores que determinam o tipo de cobertura vegetal são diversos e podem variar de local para local. Entre os mais importantes para o Cerrado estão a disponibilidade de água (resultante do total anual e estacional das chuvas e a capacidade de retenção de água no solo, dada pela textura e profundidade do lençol freático) e a disponibilidade de nutrientes (resultante da fertilidade natural do solo e da ciclagem de nutrientes pela atividade biológica e das queimadas) (EITEN, 1972; SARMIENTO, 1984; WALKER, 1987; COUTINHO, 1990; DIAS, 1992).

MATERIAL E MÉTODOS

Modelo Digital de Elevação e Atributos de Terreno

Para a confecção do MDE foi utilizada a base do sistema cartográfico do Distrito Federal (SICAD), na escala de 1: 25.000 (CODEPLAN, 1992), em formato digital, contendo curvas de nível, pontos cotados e hidrografia. Inicialmente, foram corrigidos os erros provenientes da hidrografia (correção da drenagem em relação às curvas de nível, a conectividade, o tamanho mínimo de segmento de linha e a direção de fluxo) e das curvas de nível (conferição da conectividade e da falta de segmentos de linhas). A interpolação dos dados foi realizada pelo método TOPOGRID (HUTCHINSON, 1988), considerando uma resolução espacial de 5 metros (**Figura 1**). Este método de interpolação foi elaborado para produzir um MDE acurado, contendo as drenagens com direção de fluxo e eliminando os dados espúrios relativos a pontos de depressões ou de elevações. A partir do MDE foram gerados os atributos de terreno: declividade (**Figura 2**) e curvatura em perfil (**Figura 3**).

Classificação por Árvore de Decisão dos atributos de terreno

No presente trabalho a classificação dos atributos do terreno é realizada utilizando o método de árvore de decisão que considera uma regra hierárquica e binária de partição das informações. Uma árvore é composta pelas seguintes unidades: (a) um nó raiz formado a partir de todos os dados, (b) um conjunto hierárquico de nós internos denominados partições (“split”) responsável pela tomada de decisão, utilizando teste lógico, que define o próximo nó descendente ou filho, e (c) nós terminais chamados de folhas (“leaves”) caracterizados por não possuírem nó descendente (BREIMAN, 1984, LATORRE et al., 2007). A árvore de decisão binária divide cada nó intermediário em dois nós descendentes: o nó esquerdo (quando os dados satisfazem o teste lógico) e o nó direito (quando não satisfazem) (BREIMAN, 1984, LATORRE et al., 2007).

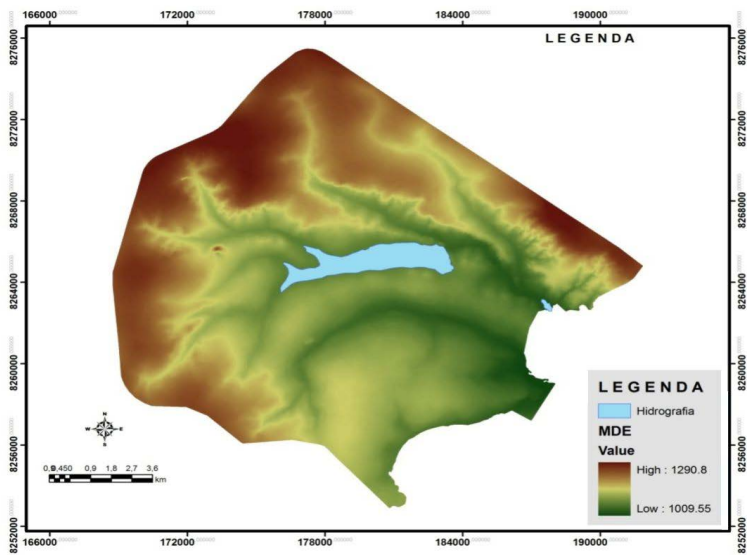


Figura 1: Modelo Digital de Elevação do PNB.

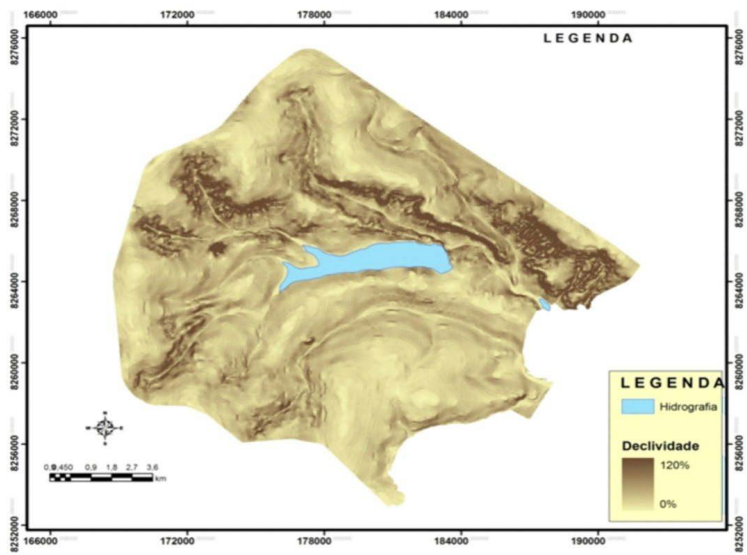


Figura 2: Imagem de declividade em porcentagem do PNB. As tonalidades claras são as superfícies aplainadas e as escuras consistem nos terrenos mais íngremes.

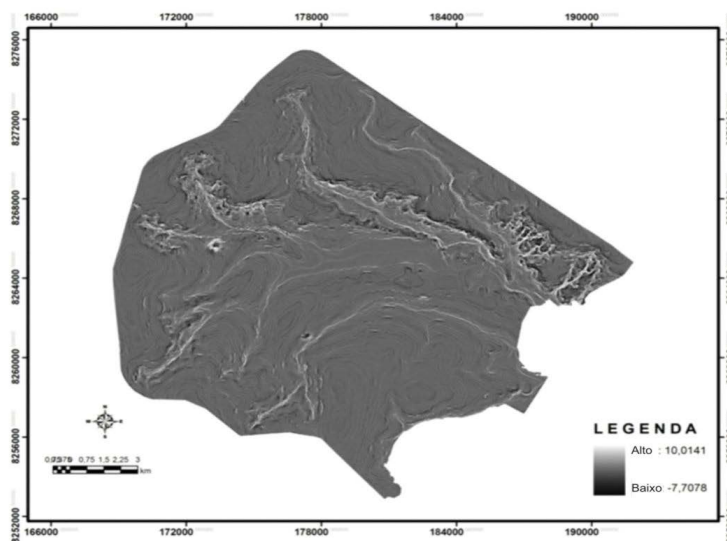


Figura 3: Imagem da curvatura em perfil do PNB. Valores positivos representam áreas côncavas e valores negativos áreas convexas.

A classificação utilizando algoritmos baseados em árvore de decisão vem sendo cada vez mais utilizada para a classificação dos solos. Este método apresenta as seguintes vantagens para a classificação e análise da relação solo-paisagem (GRINAND et al., 2008): (a) o método é não-paramétrico, o que significa que poucas suposições são feitas sobre a distribuição original da variável; (b) a inclusão de um grande número de variáveis irrelevantes não influencia na classificação; (c) pode lidar com dados quantitativos e categóricos, tornando-se possível integrar atributos do MDE, com imagens de sensoriamento remoto, juntamente com outras informações categóricas como geologia ou a cobertura da terra. Estudos realizados demonstram a eficiência do uso da árvore de decisão para a predição do mapeamento do solo a partir de informações da paisagem na escala regional e sub-regional (CIALELLA et al., 1997; GIASSON et al., 2011, LAGACHERIE & HOLMES, 1997, MCKENSIE & RYAN, 1999;

MORAN & BUI, 2002; SCULL *et al.*, 2005). O método tem sido usado para expandir informações do solo considerando pequenas áreas de referências ou para aprimorar o mapeamento de solos existentes.

No presente trabalho a divisão em cada nó na árvore é definida pelo usuário considerando o conhecimento da área de estudo. A árvore de decisão foi utilizada para delimitar as unidades de relevo em dois níveis hierárquicos considerando o MDE, declividade e curvatura em perfil.

Mapeamento da vegetação a partir da classificação da imagem do satélite SPOT e Delimitação das Áreas Saturadas

O mapa de vegetação da área de estudo foi feito por meio da interpretação visual das fitofisionomias com base em Ribeiro & Walter (1998), além da incorporação da unidade de uso e cobertura do solo, por meio da imagem SPOT (*Satellite pour l'Observation de la Terre*). A imagem utilizada é do sensor HRG do ano de 2003 que contém quatro bandas distribuídas do visível ao infravermelho. As bandas do visível são: banda 1 (0,50-0,59 μm); banda 2 (0,61-0,68 μm) e banda 3 (0,79-0,89 μm) com resolução espacial de 10 metros (CNES, 2008). A banda SWIR está compreendida no intervalo espectral de 1,58-1,75 μm e possui resolução espacial de 20 metros (CNES, 2008).

As classes de vegetação provenientes da interpretação das imagens podem ser correlacionadas com as classes de solo. As classes de vegetação Matas de Galeria Inundável, Veredas e Campos úmidos podem ser um indicativo da presença de ambientes saturados contendo solos hidromórficos, difíceis de serem detectados apenas com atributos morfométricos.

Geração do mapa de solos pelo cruzamento dos mapas geomorfológico, vegetação e ambientes saturados.

O mapa de solos é resultado de cruzamento de dados entre o mapa classificado dos atributos de terreno, do mapa de vegetação e o mapa que distingue fitofisionomias de ambiente de solos saturado e insaturados. O cruzamento das informações gerou diferentes classes que foram aglutinadas conforme as unidades de mapeamento. Os dados de campo serviram para balizar a definição das unidades de mapeamento de solo.

Trabalho de campo

O presente estudo utiliza informações de campo provenientes do trabalho de Farias et al. (2008), no qual realiza duas etapas de análise. Inicialmente, foram feitas observações em 568 pontos de solos ao longo do PNB, considerando o horizonte diagnóstico do solo e o contexto ambiental para facilitar na correlação dos fatores. Os dados topográficos e de drenagem permitiram a identificação de solos de diferentes estágios evolutivos em função da topografia. Foi possível observar a presença de Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Quartzarênico, Cambissolo, Plintossolo e Gleissolo. A segunda etapa do trabalho de campo consistiu na coleta das amostras para análise de laboratório dos atributos físicos, químicos e mineralógicos. Deste modo, foram selecionados 22 pontos nos quais são coletados solos superficiais e do horizonte diagnóstico, totalizando 44 amostras nas diferentes unidades de solos.

RESULTADOS**Resultado da Classificação por Árvore de Decisão dos Atributos de Terreno**

As unidades geomorfológicas do PNB foram subdivididas em dois níveis hierárquicos usando a classificação por árvore de decisão sobre os atributos

morfométricos (**Figura 4**). As unidades delimitadas no primeiro nível hierárquico foram: Chapada, Depressão do Paranoá, Rampa e Escarpa (**Figura 5**). A classificação por árvore de decisão não permitiu definir a unidade de Rampa, que foi individualizada por interpretação visual.

No PNB a **Chapada** caracteriza-se como superfícies planas com declividades inferiores a 8% e localizadas acima dos 1.200 metros de altitude. Desta forma, a sua superfície abrange os ambientes mais altos, com predomínio de topos aplainados e vertentes de forma retilínea com uma suave tendência a convexa. É uma zona controlada por substratos resistentes de quartzitos ou couraças. Normalmente, ocorre o Latossolo Vermelho no topo da chapada, profundo e com a presença de Cerrado Sentido Restrito. Quando se aproxima das bordas há uma tendência de diminuir a profundidade dos solos.

A classe de **Rampas** é uma subunidade derivada da chapada. Compreendem as superfícies localizadas entre as áreas de topo e da base com uma declividade suave menor que 8% e com baixa curvatura, porém se caracteriza por possuir características referentes aos planaltos retocados por dissecação intermediária. Na área de estudo, as Rampas ocorrem normalmente em altitudes maiores do que 1.163 metros. O limite entre as rampas e as chapadas é gradativo sendo definido por meio de fotointerpretação. O solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Plintossolo. Nas áreas com Plintossolo nota-se a presença de murundus provenientes da oscilação do lençol freático entre as estações seca e úmida.

As **Escarpas** correspondem às zonas íngremes onde a declividade é superior a 8% e a forma do relevo é bastante movimentada com predominância da forma convexa. Ocorre tanto nas zonas da borda da Chapada como isoladamente na depressão do Paranoá. Existem dois principais degraus com alta declividade vinculados aos afloramentos de quartzito. O degrau mais elevado localiza-se

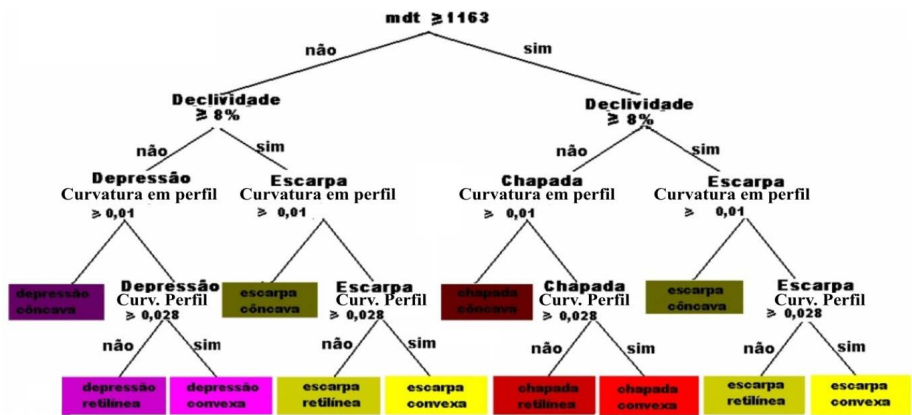


Figura 4: Estrutura da árvore de decisão dos atributos de terreno do PNB.

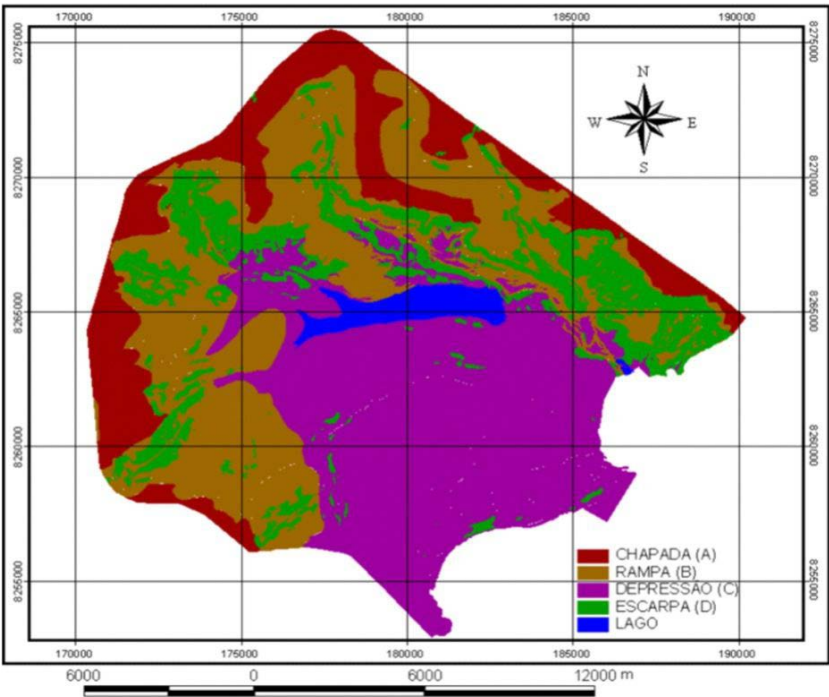


Figura 5: Mapa da compartimentação do primeiro nível hierárquico dos atributos morfométricos e da vegetação do PNB.

na borda da chapada da Contagem e está representado geologicamente pela unidade de Quartzito Superior (FREITAS-SILVA & CAMPOS, 2001). No limite entre a escarpa e a depressão, há um segundo nível de quartzito representado pela unidade de Quartzito Inferior (FREITAS-SILVA & CAMPOS, 2001). Quanto à diversidade pedológica, há uma predominância de solos rasos como os Cambissolos e Neossolo Litólico. A textura vai depender do material de origem. Mais próximo dos quartzitos ocorre solos de textura arenosa e média e nas unidades de metarritmito há intercalação de texturas argilosa e média.

A **Depressão do Paranoá** localiza-se sobre uma superfície de baixa densidade de drenagem, correspondendo a unidade de dissecação intermediária segundo Novaes Pinto (1994). O relevo é plano a suave ondulado podendo ocorrer topos de chapadas rebaixadas e rampas vinculadas aos cursos de água. Os principais cursos de água apresentam-se parte do padrão anelar que ocorre no contexto da bacia do Lago do Paranoá. Os solos normalmente são profundos. Geralmente ao longo das vertentes é possível definir transições do topo para base de Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Plintossolo e Gleissolo.

O segundo nível hierárquico foi adquirido por meio da diferenciação das superfícies côncava, retilínea e convexa (**Figura 6**). Os valores até -0,01 correspondem às formas côncavas. O intervalo entre -0,01 e 0,028 representa a forma retilínea e valores superiores as formas convexas.

Resultado do Mapa de Vegetação e sua relação com as classes de solo e as zonas saturadas

O mapa de vegetação gerado a partir da classificação das imagens SPOT consiste em um importante indicativo das classes de solo (**Figura 7**). A **Tabela 2** apresenta as relações descritas na área de estudo das classes de vegetação com o tipo de solo.

O Latossolo Vermelho geralmente está associado aos ambientes de relevo plano de Chapada e Depressão no qual predomina a fitofisionomia de Cerrado Típico. Normalmente as áreas de Latossolo Vermelho-Amarelo possuem uma diminuição da cobertura arbórea em comparação ao Latossolo Vermelho e, além disso, situa-se geralmente em porções mais baixas.

As classes de Cambissolo situam-se na unidade de escarpa no qual se localiza nas vertentes ao norte da represa de Santa Maria. Intercalado ao Cambissolo foi possível identificar a presença de Latossolo Vermelho-Amarelo nas baixadas do córrego Três Barras situado ao norte da represa.

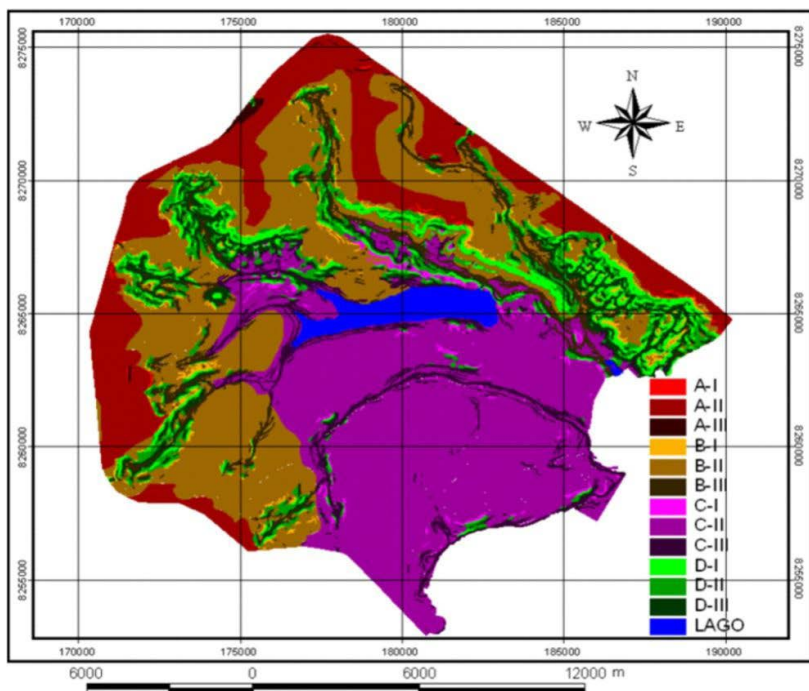


Figura 6: Mapa da compartimentação do segundo nível hierárquico dos atributos morfométricos do PNB, diferenciando relevos côncavos, convexos e retílineos. A nomenclatura presente na legenda representa uma combinação da unidade geomorfológica: Chapada (A), Rampa (B), Depressão (C) e Escarpa (D); com o tipo de curvatura: Convexa (I), Retilínea (II) e Côncava (III).

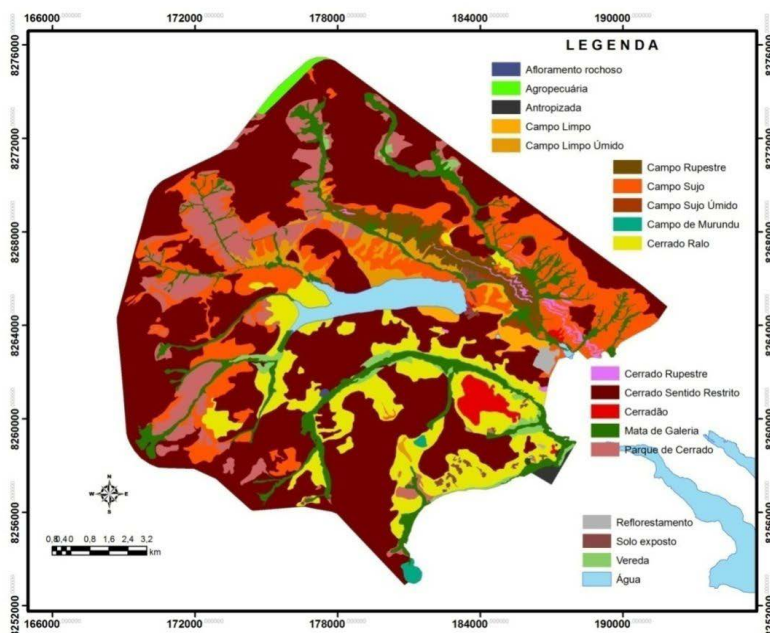


Figura 7: Mapa de Vegetação e cobertura do solo do PNB.

Os Neossolos estão associados aos afloramentos rochosos que na área de estudo corresponde basicamente os Quartzitos. Esta mesma unidade litológica influencia também na textura de outros solos como os Latossolos e Cambissolos sendo ambos de textura média.

A partir do mapa de vegetação foi também possível definir ambientes com saturação do solo no PNB (**Figura 8**). As vegetações indicativas dos ambientes úmidos são: Matas de Galeria Inundável, Veredas e Campos úmidos. Nas imagens o Campo Úmido apresenta uma tonalidade escura, devido à maior contribuição do solo caracterizado por um comportamento espectral de baixo albedo devido à presença de matéria orgânica. Nestes ambientes ocorrem solos hidromórficos: Gleissolos e Plintossolos.

Tabela 2: Potenciais correlações das classes de vegetação com as classes de solos.

Classe	Potencial classe de solo
Mata de Galeria	Gleissolo, Cambissolo
Cerradão	Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo
Cerrado Sentido Restrito	Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Plintossolo
Cerrado Ralo	Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo
Cerrado Rupestre	Neossolo Litólico
Parque de Cerrado	Plintossolo, Espodossolo, Cambissolo
Vereda	Gleissolo (Háplico e Melânico)
Campo Sujo	Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico
Campo Sujo Úmido	Cambissolo, Plintossolo, Latossolo Vermelho-Amarelo
Campo Limpo	Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo
Campo Limpo Úmido	Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Plintossolo, Espodossolo, Neossolo Quartzarênico
Campo Rupestre	Cambissolo, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico
Campo de Murundu	Plintossolo
Antrópico	Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo
Reflorestamento	Neossolo Litólico, Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo
Agropecuária	Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo
Solo Exposto	Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo
Água	Água
Afloramento Rochoso	Neossolo Litólico

A presença de murundus também orientou na localização de ambientes parcialmente inundados no qual sugere a presença de Plintossolo. Estas feições ocorrem em ambientes em forma de anfiteatro e oval, ou em rupturas do relevo com controle litológico no qual se aflora o Parque de Cerrado. No caso do Parque Cerrado a imagem de satélite não é possível visualizar os murundus devido à concentração de cobertura vegetal, porém na observação de campo é possível visualizar os murundus intercalados.

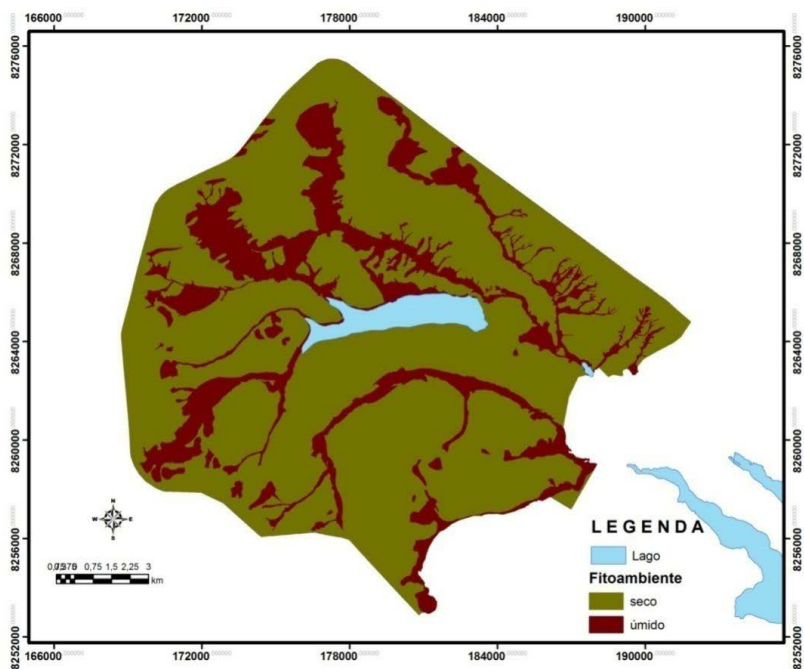


Figura 8: Mapa de zonas com saturação hídrica no PNB.

Cruzamento das Informações e Obtenção do Mapa de Solos

O mapa de solos é o resultado do cruzamento do mapa geomorfológico e de vegetação obtida pela imagem SPOT (fitofisionomia e drenagem do solo). O cruzamento gera, em princípio, um mapa cartograficamente complexo com um grande número de unidades principalmente dentro nos Cambissolos onde há oscilação entre formas convexas, côncavas e retilíneas em pequenas unidades de área. As unidades de solo são obtidas pelo agrupamento de classes: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Plintossolo, Gleissolo, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico e Espodossolo (**Figura 9**).

O mapa de solos obtido neste trabalho apresentou semelhanças ao mapa

de referência descrito por Reatto et al. (2004), o que mostra a eficiência do método (**Figura 10**). No entanto, observam-se algumas diferenças. Os cursos de água que no mapa de Reatto et al. (2004) apresentava as classes de Latossolo Vermelho-Amarelo ao longo do Ribeirão Bananal foi substituído por Gleissolo sobre Mata de Galeria inundável.

Houve um aumento dos Plintossolos. No mapa de Reatto et al. (2004) este tipo de solo ficava restrito em algumas rupturas do relevo e também na nascente do Córrego do Rego na qual se tem um formato de anfiteatro com declividade bem suave. No presente trabalho também são descritos Plintossolos associados aos Cambissolos, principalmente próximos aos cursos de água da porção ocidental e norte da área de estudo.

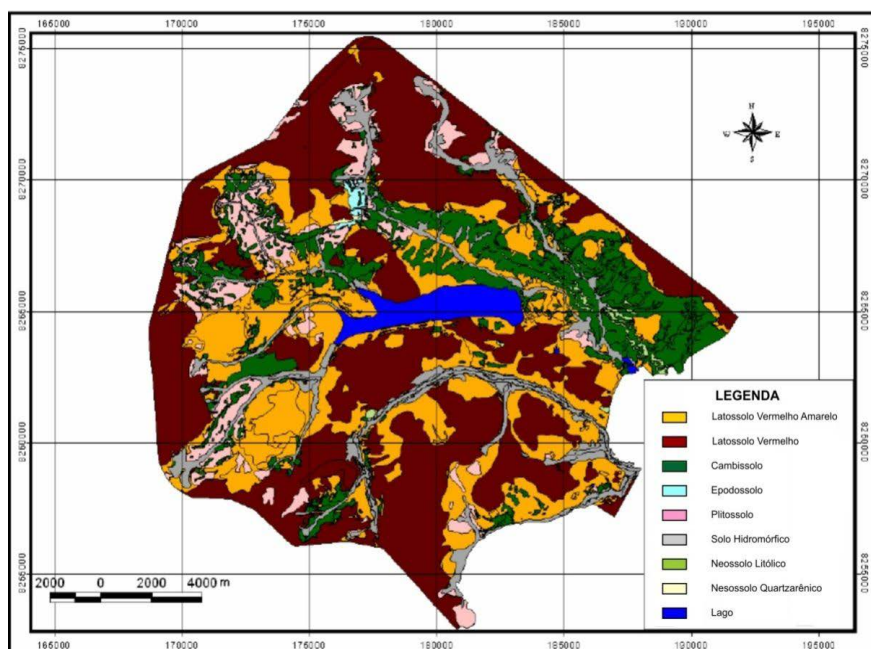


Figura 9: Mapa de solos do Parque Nacional de Brasília após a aglutinação das classes.

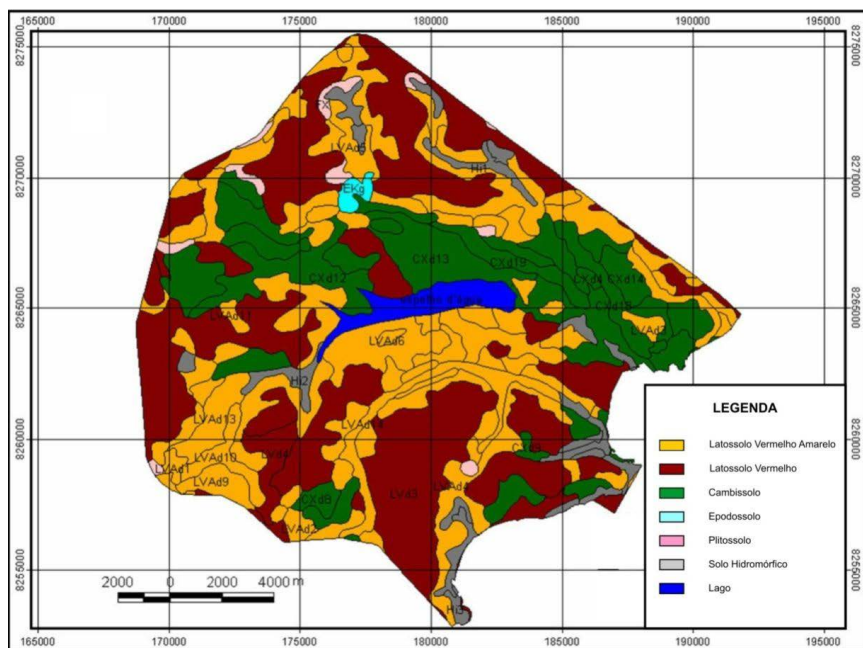


Figura 10: Mapa de solos de referência (REATTO *et al.*, 2004).

CONCLUSÕES

O emprego da árvore de decisão proporciona uma delimitação organizada dos atributos do terreno, permitindo agrupar informações quantificadas em padrões presentes na superfície. A técnica empregada permitiu criar um mecanismo para a manipulação dos atributos de terreno em níveis hierárquicos que corresponde aos padrões pedológicos. Uma limitação da árvore de decisão foi na delimitação da unidade de Rampa, que foi feita pelo emprego da técnica de interpretação visual. A vegetação no ambiente do Cerrado apresenta uma forte relação com o solo, principalmente, nas áreas com presença de solos saturados. O cruzamento destas informações possibilitou obter resultados compatíveis com o mapeamento realizado por Reatto *et al.* (2004) permitindo inclusive uma retificação dos limites das unidades de solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCOVERDE, G.F.B.; BORGES, M.E.S.; MARTINS, E.S.; RAMOS, V.M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GOMES, R.A.T. (2005) Mapeamento pedológico em relevos cársticos a partir da análise morfométrica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais**. São José dos Campos: INPE, p. 1725-1732.
- BELL, J.C.; CUNNINGHAM, R.L.; HAVENS, M.W. (1992) Calibration and validation of a soil –landscape model for predicting soil drainage class. **Soil Science Society of America Journal** 56: 1860–1866.
- BELL, J.C.; CUNNINGHAM, R.L.; HAVENS, M.W. (1994) Soil drainage probability mapping using a soil –landscape model. **Soil Science Society of America Journal** 58: 464– 470.
- BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J.H.; OLSHEN, R.A. & STONE, C.J. (1984) Classification and regression trees. Belmont, CA: **Wadsworth International**, 358 p.
- BUI, E.N.; LOUGHHEAD, A.; CORNER, R. (1999) Extracting soil –landscape rules from previous soil surveys. **Australian Journal of Soil Research** 37: 495– 508.
- CAMPLING, P.; GOBIN, A.; FEYEN, J. (2002) Logistic modeling to spatially predict the probability of soil drainage classes. **Soil Science Society of America Journal**, 66: 1390–1401.
- CIALELLA, A.T.; DUBAYAH, R.; LAWRENCE, W.; LEVINE, E. (1997). Predicting soil drainage class using remotely sensed and digital elevation data. **Photogrammetric Eng. Remote Sensing**, 63: 171–178.
- CNES - CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES Disponível em http://www.cnes-multimedia.fr/dossiers/spot5/va/pdf/technique_va.pdf acesso em 15 de junho de 2009.
- CODEPLAN. (1992) **Mapas Topográficos Plani-altimétricos Digitais do Distrito**

- Federal na escala de 1:10.000**, Brasília: GDF, CD-ROM.
- COUTINHO, L.M. (1990) Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. In: J. G. Goldammer. **Fire in the tropical biota: ecosystem processes and global challenges**. Berlim, Springer-Verlag, Cap. 6, p.82-103.
- DEMATTÊ, J.A.M.; GENÚ, A.M.; FIORIO, P.R.; ORTIZ, J.L.; MAZZA, J.A.; LEONARDO H.C.L. (2004) Comparação entre mapas de solos obtidos por sensoramento remoto espectral e pelo método convencional **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39 (12): 1219-1229.
- DIAS, B.F. (1992) Cerrados: Uma caracterização. In: Dias, B.F.S. (Org.). **Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: Manejo e Conservação dos recursos naturais renováveis**. Brasília: Fundação Pró-Natureza / Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. p. 11-25.
- DOBOS, E.; MICHELI, E.; BAUMGARDNER, M. F.; BIEHL, L.; HELT, T. (2000). Use of combined digital elevation model and satellite data for regional soil mapping. **Geoderma**, 97: 367-391.
- EITEN, G. 1972. The Cerrado Vegetation of Brazil. **Bot. Rev.** 38: 201-341.
- FARIAS, M.F.R.; CARVALHO, A.P.; [MARTINS, E.S.](#); CARVALHO JÚNIOR, O.A.; REATTO, A.; GOMES, R.A.T. (2008) **Levantamento de Solos do Parque Nacional de Brasília**, escala 1:50.000. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 66 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 220).
- FERRANTE, J.E.T.; RANCAN, L.; BRAGA NETTO, P. (2001). Meio Físico: Clima In: Fernando Oliveira Fonseca. (Org.). **Olhares sobre o Lago Paranoá**. Brasília: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.
- FREITAS-SILVA F.H. & CAMPOS J.E.G (1998) **Hidrogeologia do Distrito Federal**. In: IEMA. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal, vol. IV. Brasília: IEMA/SEMATEC/UnB, 85 p.

- FREITAS-SILVA, F.H.; CAMPOS, J.E.G. (2001) Meio Físico da Bacia do Rio Paranoá. In: Fernando Oliveira Fonseca. (Org.). **Olhares sobre o Lago Paranoá**. 1 ed. Brasília: SEMARH, v. 1, p. 55-76.
- GESSLER, P.E.; CHADWICK, O.A.; CHAMRAN, F.; ALTHOUSE, L.; HOLMES, K. (2000). Modeling soil-landscape and ecosystem properties using terrain attributes. **Soil Science Society of America Journal**, 64: 2046–2056.
- GESSLER, P.E.; MOORE, I.D.; MCKENZIE, N.J.; PYAN, P.J. (1995) Soil-landscape modeling and spatial prediction of soil attributes. **International Journal of Geographical Information Systems**, 9: 421–432.
- GIASSON, E.; SARMENTO, E. C.; WEBER, E.; FLORES, C. A.; HASENACK, H. 2011. Decision trees for digital soil mapping on subtropical basaltic steeplands. **Scientia Agricola**, 68 (2): 167-174.
- GRINAND, C.; ARROUAYS, D.; LAROCHE, B.; MARTIN, M. P. (2008) Extrapolating regional soil landscapes from an existing soil map: Sampling intensity, validation procedures, and integration of spatial context. **Geoderma**, 143: 180–190.
- HERMUCHE P.M.; GUIMARÃES R.F.; CARVALHO A.P.F.; MARTINS, E.S.; FUKS, S.D.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. Processamento digital de imagens morfométricas para subsidiar o mapeamento pedológico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais do SBSR**. São José dos Campos: INPE, p. 123-130.
- HUDSON, B.D. (1992) The soil survey as paradigm-based science. **Soil Science Society of America Journal**, 56: 836-841.
- HUTCHINSON, M.F. (1988) Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In: International Symposium on Spatial Data Handling, 3., 1988, Sydney. **Proceedings**. Columbus, Ohio: International Geographical Union. p. 117-133.
- KOROLYUK, T.V.; SHCHERBENKO, H.V., 1994. Compiling soil maps on the basis of

- remotely sensed data digital processing: soil interpretation. **International Journal Remote Sensing**, 15: 1379–1400.
- KOZAR, B.; LAWRENCE, R.; LONG, D.S. (2002) Soil phosphorus and potassium mapping using a spatial correlation model incorporating terrain slope gradient. *Precision Agriculture*, 3: 407–417.
- LAGACHERIE, P., HOLMES, S., 1997. Addressing geographical data errors in a classification tree soil unit prediction. **International Journal of Geographical Information Science**, 11: 183–198.
- LAGACHERIE, P.; LEGROS, J.P.; BURROUGH, P.A., 1995. A soil survey procedure using the knowledge of soil pattern established on a previously mapped reference area. **Geoderma**, 65: 283–301.
- LATORRE, M.L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; SANTOS, J.R.; SHIMABUKURO, Y.E. (2007). Integração de dados de sensoriamento remoto multiresoluções para a representação da cobertura da terra utilizando campos contínuos de vegetação e classificação por árvores de decisão. **Revista Brasileira de Geofísica**, 25: 63-74.
- LEE, K.-S.; LEE, G.B.; TYLER, E.J. (1988b) Thematic Mapper and digital elevation modeling of soil characteristics in hilly terra. **Soil Science Society of America Journal**, 52: 1104–1107.
- LEE, K.-S.; LEE, G.B.; TYLER, E.J. (1988a) Determination of soil characteristics from Thematic Mapper data of a cropped organic–inorganic soil landscape. **Soil Science Society of America Journal**, 52: 1100–1104
- LEVINE, E.R.; KNOX, R.G.; LAWRENCE, W.T. (1994) Relationships between soil properties and vegetation at the Northern Experimental Forest, Howland, Maine. **Remote Sens. Environ.** 47: 231–241.
- LOBELL, D.B.; ASNER, G.P. (2002) Moisture effects on soil reflectance. **Soil Science Society of America Journal**, 66: 722–727.

- LOZANO-GARCIA, D.F., FERNANDEZ, R.N., JOHANNSEN, C. (1991). Assessment of regional biomass–soil relationships using vegetation indexes. **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.** 29: 331–339.
- MCBRATNEY, A.B.; MENDONCA SANTOS, M.L.; MINASNY, B. (2003) On digital soil mapping. **Geoderma**, 117: 3– 52.
- MCKENZIE, N.J.; RYAN, P.J. (1999) Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. **Geoderma**, 89: 67–94.
- MCKENZIE, N.J.; AUSTIN, M.P. (1993) A quantitative Australian approach to medium and small scale surveys based on soil stratigraphy and environmental correlation. **Geoderma**, 57: 329-355.
- MCKENZIE, N.J.; GESSLER, P.E.; RYAN, P.J.; O’CONNELL, D.A. (2000) The role of terrain analysis in soil mapping. In: WILSON J.P. & GALLANT J.C. (Ed.). **Terrain analysis: Principles and applications**. New York: John Wiley & Sons Ltd. p. 245–265.
- MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; NIELSEN, G.A.; PETERSON, G.A., (1993) Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, 57: 443–452.
- MORAN, J.M.; BUI, E.N. (2002) Spatial data mining for enhanced soil map modelling. **International Journal of Geographical Information Science**, 16 (6): 533–549.
- MORAN, M.S.; INOUE, Y.; BARNES, E.M. (1997) Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. **Remote Sens. Environ.**, 61: 319–346.
- NOVAES PINTO, M. (1994) Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: Novaes Pinto, M. (org). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília. Ed. UnB/SEMATEC, Brasília/DF.
- ODEH, I.O.A.; MCBRATNEY, A.B.; CHITTLEBOROUGH, D.J. (1992) Fuzzy-c-

- means and kriging for mapping soil as a continuous system. **Soil Science Society of America Journal**, 56: 1848-1854.
- ODEH, I.O.A.; MCBRATNEY, A.B.; CHITTLEBOROUGH, D.J. (1994) Spatial prediction of soil properties from landform attributes derived from a digital elevation model. **Geoderma** 63: 197–214.
- QUINN, P.F.; BEVEN, P.; CHEVALLIER, P.; PLANCHON, O. (1991). The Prediction of Hillslope Flow Paths for Distributed Hydrological Modeling Using Digital Terrain Models. **Hydrological Processes**, 5: 59-79.
- RAWLS, W.J.; PACHEPSKY, Y.A. (2002) Using field topographic descriptors to estimate soil water retention. **Soil Science**, 167: 423– 435.
- REATTO, A.; MARTINS, E.S.; FARIAS, M.F.R.; SILVA, A.V.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. (2004) **Mapa pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 31 p.
- RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. (1998) Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P. (Eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p. 89-166.
- RYAN, P.J.; MCKENZIE, N.J.; O’CONNELL, D.; LOUGHHEAD, A.N.; LEPPERT, P.M.; JACQUIER, D.; ASHTON, L. (2000) Integrating forest soils information across scales: spatial prediction of soil properties under Australian forests. **Forest Ecology and Management**, 138: 139– 157.
- SARMIENTO, G. (1984) **The ecology of neotropical savannas**. Cambridge: Harvard University Press. 256p.
- SCULL, P.; FRANKLIN, J.; CHADWICK, O.A. (2005) The application of classification tree analysis to soil type prediction in a desert landscape. **Ecological Modeling**, 181: 1–15.
- SCULL, P.; FRANKLIN, J.; CHADWICK, O.A.; MCARTHUR, D. (2003) Predictive

- soil mapping: a review. **Progress in Physical Geography**, 27: 171– 197.
- SILVA JUNIOR, J.F.; SIQUEIRA, D.S. ; MARQUES JÚNIOR, J. ; SIQUEIRA, D.S.; PEREIRA, G.T. (2012) Classificação numérica e modelo digital de elevação na caracterização espacial de atributos dos solos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* (Impresso), 16: 415-424.
- SKIDMORE, A.K.; RYAN, P.J.; DAWES, W.; SHORT, D.; O'LOUGHLIN, E. (1991) Use of an expert system to map forest soils from a geographical information system. **International Journal of Geographical Information Science**, 5: 431– 445.
- WALKER, B.H. (1987) **Determinants of tropical savannas**. Paris, IUBS Monograph Series, 156 p.
- SHI, X.; ZHU, A-X.; BURT, J. E.; QI, F.; SIMONSON, D. (2004). A Case-based Reasoning Approach to Fuzzy Soil Mapping. **Soil Science Society of America Journal**, 68: 885-89.
- ZHU, A.X. (1999) A personal construct-based knowledge acquisition process for natural resource mapping using GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, 13 (2): 119–141.
- ZHU, A. X. (2000). Mapping soil landscape as spatial continua: the neural network approach. **Water Resources Research**, 36: 663-677.
- ZHU, A. X.; HUDSON B.; BURT, J.; LUBICH, K.; SIMONSON, D. (2001) Soil mapping using GIS, Expert knowledge, and fuzzy logic. **Soil Science Society of America Journal**, 65: 1463–1472.
- ZUSHI, K. (2006) Spatial distribution of soil carbon and nitrogen storage and forest productivity in a watershed planted to Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don). **Journal of Forest Research**, 11:351–358.