



Universidade de Brasília

Instituto de Geociências

Mapeamento Digital de Solos de bacia hidrográfica do DF com uso de regressão linear múltipla de produtos derivados de Modelo Digital de Elevação.

André Gustavo de Sousa Rocha

Monografia de conclusão de
curso de Especialização

ORIENTADOR: Prof^a. Dra. Tati de Almeida

EXAMINADORES: Prof. Dr. Paulo Roberto Meneses (IG/UnB)

Prof. Dr. Gervásio Barbosa Soares Neto (IG/UnB)

BRASÍLIA – DF

2013

RESUMO

Considerando-se as limitações dos métodos convencionais de levantamento de solos, como altos custos despendidos, tempo para realização dos trabalhos ou para atualização dos mapas existentes, o mapeamento digital de solos é apontado como alternativa viável, tanto para uso isolado quanto em conjunto com as metodologias tradicionais. A partir de conhecimentos de geoprocessamento e do uso de sistemas de informação geográfica, é possível a manipulação de grande quantidade de dados ambientais, na construção de modelos para a predição da ocorrência de tipos de solos, considerando-se válida a existência da relação solo-paisagem. O presente trabalho teve como objetivo testar a aplicabilidade da regressão linear múltipla na predição da ocorrência de solos a partir de parâmetros derivados de MDE, como ferramenta a ser utilizada no mapeamento digital de solos da bacia do rio Jardim, no Distrito Federal. Nenhuma das variáveis apresentou significância ao nível de 95% de probabilidade quando processadas em conjunto. Com base na literatura consultada, gerou-se equação utilizando-se apenas as variáveis declividade, altitude e orientação, cujo mapa elaborado apresentou similaridade de áreas mapeadas em comparação com o mapa de referência. Apesar da acurácia pelo índice Kappa mostrar valor insatisfatório, vislumbra-se potencial para o uso da regressão linear múltipla no mapeamento digital de solos.

Palavras-chave: Mapeamento digital de solos, bacia do rio Jardim, MDE, regressão linear múltipla, relação solo-paisagem.

1-Introdução.....	1
2- Material e métodos.....	5
2.1- Caracterização da área de estudo.....	5
2.2- Base de dados.....	6
2.3- Criação do MDE.....	7
2.4- Parâmetros derivados do MDE.....	8
3- Resultados e discussão.....	12
4- Conclusão.....	16
5- Referências bibliográficas.....	17

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Intervalos de valores utilizados para reclassificação dos produtos derivados do MDE e geologia da bacia do Rio Jardim.....	8
Tabela 2- Valores das variáveis geomorfológicas e geologia reclassificados, para os 36 perfis de solos utilizados como referência.....	11
Tabela 3- Escala de valor atribuída às classes de solos.....	12
Tabela 4- Resultados da regressão linear múltipla do conjunto de variáveis geomorfológicas e geologia utilizados no modelo.....	12
Tabela 5- Coeficientes de regressão do segundo modelo proposto.....	13
Tabela 6- Determinação de índices de acurácia do mapa produzido.....	16

1- Introdução

A classificação pedológica constitui atividade essencial para a caracterização do meio físico, principalmente considerando-se o contexto de produção agropecuária, em que o conhecimento em maior detalhe dos solos assume importância fundamental para o planejamento produtivo das propriedades rurais, bem como para utilização de práticas eficientes visando à conservação desse recurso natural, na perspectiva do seu uso sustentável.

A classificação de um solo é obtida a partir dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos. Aspectos ambientais como clima, vegetação, relevo, material originário, condições hídricas, características externas ao solo e relações solo-paisagem, são também utilizadas, chegando-se à classificação definitiva somente após o recebimento de todas as análises laboratoriais referentes ao perfil (Embrapa, 1999).

Segundo Prado (2008) o levantamento de solos é constituído de mapa de solos (ou pedológico) e o respectivo relatório técnico, podendo ser mais genéricos ou mais detalhados, conforme seus objetivos.

Um levantamento pedológico é um prognóstico da distribuição geográfica dos solos como corpos naturais, determinados por um conjunto de relações e propriedades observáveis na natureza, prevê e delinea suas áreas nos mapas/cartas, em termos de classes definidas de solos (IBGE, 2007).

Os métodos usuais de prospecção para fins de coleta de dados, descrição de características dos solos no campo e a verificação de limites entre unidades de mapeamento, compreendem as investigações ao longo de transeções, levantamentos de áreas-piloto, sistema de malhas, o método do caminamento livre e a prospecção ao longo de topossequências (IBGE, 2007).

Neste último, os solos e suas variações são correlacionados com as superfícies geomórficas em que ocorrem, sendo o método mais apropriado para a execução de levantamentos pedológicos detalhados (IBGE, 2007).

Nesse contexto o conhecimento da distribuição dos solos, no relevo, desde topografias mais altas até as mais baixas é de grande importância, porque facilita a execução do levantamento de solos, permitindo a extrapolação pedológica para os locais onde não foram feitos pontos de observações (PRADO, 1993).

Para Campos (2012), as relações solo-paisagem permitem associar atributos topográficos e tipos de solos, tornando-se úteis na predição de ocorrência dos tipos de solos nas paisagens e auxiliando no estudo pedológico detalhado.

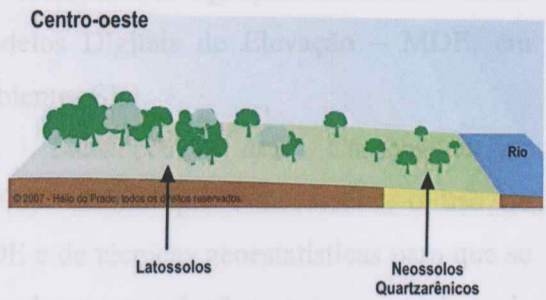
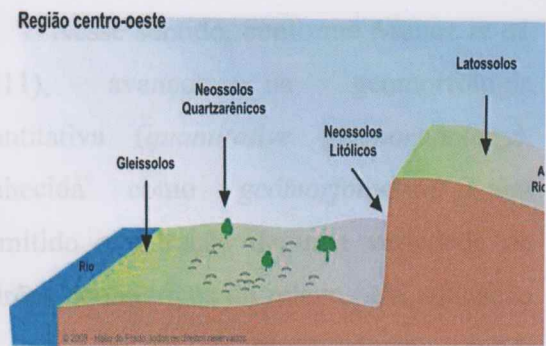
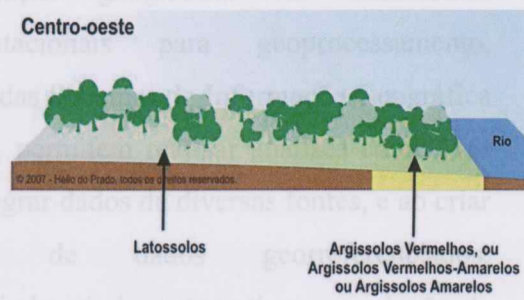
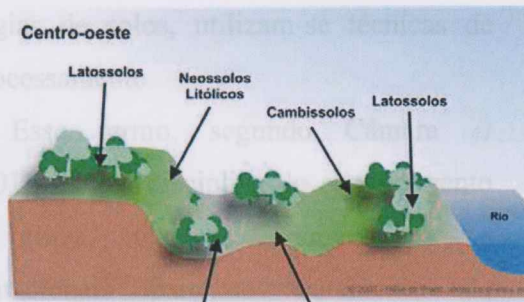


Figura 1- Relação solo-paisagem proposto para a região Centro-Oeste (Fonte: Prado, 2007).

Conforme Prado (2007), a paisagem é a imagem da ação combinada dos fatores de formação do solo, tais como o relevo, os organismos, o material de origem, o clima ao longo do tempo.

Segundo o mesmo autor, e a partir do modelo proposto na Figura 1, nas superfícies mais velhas e estáveis da paisagem (relevo plano ou suavemente ondulado), geralmente ocorrem os Latossolos, associados ou não com Neossolos Quartzarênicos. Nas superfícies mais jovens (relevo mais ondulado ou forte ondulado), encontram-se os Argissolos, Luvisolos, Alissolos, Cambissolos, Nitossolos, Chernossolos e Neossolos Litólicos. No relevo plano de várzea ocorrem os Organossolos e/ou Gleissolos, podendo ocorrer os Cambissolos nos terraços, e Neossolos Flúvicos ao longo dos cursos d'água.

Em um nível mais especializado, Campos (2006) propõe o uso de modelos de paisagem como técnica auxiliar em levantamento de solo, o qual constitui uma evolução nas relações solo-geomorfologia e, conseqüentemente, importante ferramenta para identificar e mapear áreas de solos homogêneos.

Os mesmos autores afirmam que modelos de paisagem têm por finalidade entender o comportamento do solo no sentido conceitual de corpo natural, variando com a expressão da paisagem e que os processos geomórficos e hidrológicos são os principais responsáveis pela variabilidade nos atributos dos solos.

Como recurso fundamental na modelagem do relevo, intentando-se o maior entendimento da sua influência como agente pedogenético e relação com a ocorrência de

tipologias de solos, utilizam-se técnicas de geoprocessamento.

Esse termo, segundo Câmara *et al.* (2001), denota disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. As ferramentas computacionais para geoprocessamento, chamadas Sistemas de Informação Geográfica – SIG, permitem realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes, e ao criar banco de dados georreferenciados, permitindo, ainda, automatizar a produção de documentos cartográficos.

Para Longley *et al.* (2013) os SIG são sistemas computacionais feitos para armazenar e processar informação geográfica. Eles são ferramentas que melhoram a eficiência e efetividade do tratamento da informação de aspectos e eventos geográficos.

Segundo os mesmos autores, o ponto crucial dos SIG é a análise espacial, pois inclui todas as transformações, manipulações e métodos que podem ser aplicados aos dados geográficos para adicionar valor a eles, para apoiar decisões e revelar padrões e anomalias que não são óbvios à primeira vista.

Os SIG constituem-se em recurso tecnológico de grande relevância que, em conjunto com técnicas de Processamento Digital de Imagens, segundo Neumann (2012), possibilitam o tratamento de grande quantidade de dados e informações indispensáveis aos mapeamentos realizados em Ciência do Solo.

Nesse sentido, conforme Muñoz *et al.* (2011), avanços na geomorfologia quantitativa (*quantitative geomorphology*), conhecida como *geomorfometria*, têm permitido a extração de uma variedade de padrões geométricos do relevo pela aplicação de técnicas de geoprocessamento sobre Modelos Digitais de Elevação – MDE, em ambientes SIG.

Lark (1999) *apud* Campos *et al.* (2006)¹ afirma que é necessário o uso de MDE e de técnicas geoestatísticas para que se entendam as relações entre modelos de paisagens e os solos.

O MDE representa, de forma contínua, os valores de elevação do terreno, por meio de uma malha regular de coordenadas x, y e dos valores de z (elevação) (ALVES, 2008).

O MDE é a representação de terreno mais útil em SIG e para muitas aplicações seu valor está na capacidade de produzir medidas derivadas através de transformação, especificamente medidas de declividade e orientação, ambas também conceituadas como geocampo (LONGLEY *et al.*, 2013).

A estrutura de um MDE consiste no conceito de modelo numérico de terreno (MNT), que segundo Câmara *et al.* (2001) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre.

¹ LARK, R. M. Soil-landform relationships at within-field scales: an investigation using continuous classification. *Geoderma*. Amsterdam, v.92, p.141-165, 1999.

Na busca pela representação do relevo terrestre o mais próximo do possível, quanto maior a resolução e a precisão do MDT, maior a fidelidade da realidade modelada (NUNES *et al.*, 2011).

Com o uso dos Modelos de Elevação Digital podem ser estabelecidas relações das influências da topografia, da hidrologia, das classes de declividade do terreno e da quantidade e tipo de vegetação sobre as classes de solos, e, com isso, aperfeiçoar essas informações em levantamentos pedológicos, estabelecendo limites mais exatos sobre as classes de solos (CAMPOS *et al.*, 2006).

A partir das relações existentes entre características e propriedades físicas da paisagem e a distribuição dos solos, e do emprego dos conhecimentos de geoprocessamento, sensoriamento remoto, estatística, posicionamento por satélites e SIG na modelagem do meio físico, surge o conceito de Mapeamento Digital de Solos - MDS, tema central do presente estudo, que apresenta-se tanto como método de apoio às técnicas convencionais de levantamento pedológico, quanto metodologia alternativa destinada à predição da ocorrência de solos em áreas não mapeadas.

Lagacherie & McBratney (2007)² *apud* Caten (2011), definem o Mapeamento Digital de Solos como a criação e a população de sistemas de informação espacial de solos por meio de modelos numéricos, visando

² LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A.B.; VOLTZ, M., *Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective. Developments in Soil Science*, v.31, cap.39, Elsevier, Amsterdam, 2007, p.523-541.

inferir as variações espaciais e temporais de classes e propriedades do solo, a partir de observações, conhecimento e dados de covariáveis ambientais relacionados.

Além de mostrar-se como metodologia alternativa de prospecção pedológica, sua adoção é justificada em razão do alto custo e tempo necessários para a elaboração de mapas com maior detalhamento por meio do modelo convencional (COELHO, 2010).

Neumann *et al.* (2011), também apontam a dificuldade de atualização rápida, acurada e de baixo custo dos levantamentos tradicionais, como desvantagem frente ao mapeamento digital.

A grande vantagem do Mapeamento Digital de Solos é a possibilidade de utilizar a modelagem para extrapolar os limites para áreas adjacentes ao mapa utilizado como referência, partindo da premissa que são áreas de mesma fisiografia (COELHO, 2010).

Corroborando a afirmação anterior, Ten Caten (2011) afirma que o Mapeamento Digital de Solos a partir de uma área de referência pode ser utilizado como alternativa ao mapeamento convencional para dimensões mais extensas da paisagem.

Segundo Ten Caten & Quooos (2009), o MDS constitui-se, basicamente, em três fases (Figura 2): na primeira são produzidos os mapas base e reunidas as fontes de informação (covariáveis) que possam constar nos modelos preditores da distribuição do solo na paisagem; na segunda fase é desenvolvido o modelo preditivo

propriamente dito, onde são estimadas as propriedades do solo e expressas, dentre outras formas, como função de uma probabilidade de ocorrência; na terceira fase,

as propriedades do solo, previstas na fase anterior, são utilizadas para modelar o comportamento do solo frente aos usos.

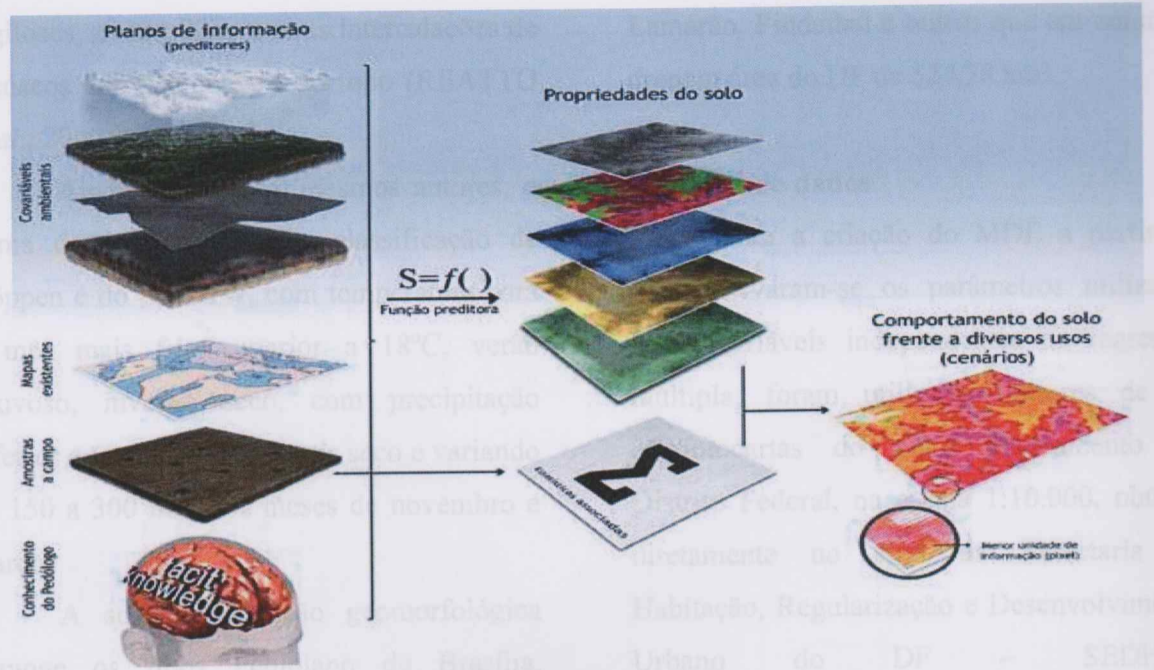


Figura 2- Fluxograma do Mapeamento Digital de Solos (Fonte: Ten Caten & Qoos, 2009).

Apontadas as considerações preliminares, o presente estudo teve como objetivo realizar o mapeamento digital de solos da bacia do rio Jardim, localizada no Distrito Federal, utilizando-se regressão linear múltipla de produtos derivados de MDE originado de dados extraídos de ortofotocartas, tomando como referência levantamento pedológico convencional existente na área de estudo e mapa de solos do Distrito Federal.

2-Material e Métodos

2.1- Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Jardim, situada na porção leste e sudeste do Distrito Federal, conforme a Figura 3.

Possui área de 527,28 km², altimetria variando entre 828 a 1175 m e relevo plano (24,55%), suave ondulado (55,32%), ondulado (17,63%), forte ondulado (2,41%) e montanhoso (0,08%).

Abrange os núcleos rurais PAD-DF, Jardim, Tabatinga e Rio Preto, com produção agropecuária diversificada (REATTO *et al.*, 1999). Constitui a principal sub-bacia do Rio Preto, afluente do Rio São Francisco, e, não obstante a restrita ocupação urbana, é a bacia

do Distrito Federal que apresenta a maior produção agropecuária.

Quanto à classificação geológica a bacia está inserida no Grupo Bambuí, sendo representada por metassiltitos e metassiltitos argilosos, metargilitos e raras intercalações de arcóseos correlacionáveis ao topo (REATTO *et al.*, 2000).

Ainda segundo os mesmos autores, o clima da área, segundo a classificação de Köppen é do tipo AW, com temperatura para o mês mais frio superior a 18°C, verão chuvoso, inverno seco, com precipitação inferior a 60 mm no mês mais seco e variando de 150 a 300 mm nos meses de novembro e março.

A sua classificação geomorfológica abrange os tipos Pediplano de Brasília, Depressões Interplanálticas e Planalto Dissecado do Alto Maranhão, Planícies Aluviais e Alveolares (LIMA *et al.*, 2013).

Os principais tipos fitofisionômicos encontrados na área são: floresta tropical subcaducifólia, cerradão, cerrado sentido restrito, campo sujo, cerrado rupestre, mata de galeria, campo limpo e veredas (REATTO *et al.*, 1999).

Quanto à distribuição de tipos de solos na unidade hidrográfica sob análise, encontraram-se as seguintes classes: Latossolos (65%), Cambissolos (29,5%), Nitossolos (1,4%), Hidromórficos (1,2%), Neossolos Quartzarênico e Flúvicos (0,8%), Plintossolos (0,5%) e associações de

Neossolos Litólicos e Afloramentos rochosos (0,1%).

No tocante à hidrografia, contém o Rio Jardim, Ribeirão Cariru e São Gonçalo, Córregos Taquari, Estanislau, Extrema, Lamarão, Pindaibal e outros que em conjunto drenam área do DF de 527,28 km².

2.2- Base de dados

Para a criação do MDE a partir do qual derivaram-se os parâmetros utilizados como variáveis independentes na regressão múltipla, foram utilizados vetores de 40 ortofotocartas do novo mapeamento do Distrito Federal, na escala 1:10.000, obtidos diretamente no sítio da Secretaria de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano do DF – SEDHAB (http://www.sedhab.df.gov.br/mapas_sicad/index_sirgas.htm).

Os dados coletados encontram-se referenciados ao novo sistema de referência geodésico, SIRGAS 2000, também adotado no presente estudo, atendendo ao que determina a resolução R.PR 1-2005 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Os dados originais encontram-se em formato DWG e foram convertidos para *shapefile* com uso do *software* Arcgis 10.0.

Foram extraídos dos arquivos originais dados do tipo *point* e *polyline* dos quais criaram-se *shapefiles* de pontos cotados, curvas de nível, hidrografia (cursos d'água, lagos e lagoas).

Utilizando-se o software Arcgis 10.0 e por meio das ferramentas 3D Analyst Tools, gerou-se o TIN.

Em seguida, o modelo foi transformado para raster, com resolução de células de saída de 10m, utilizando-se como parâmetros as cartografias e de escala 1:50.000.

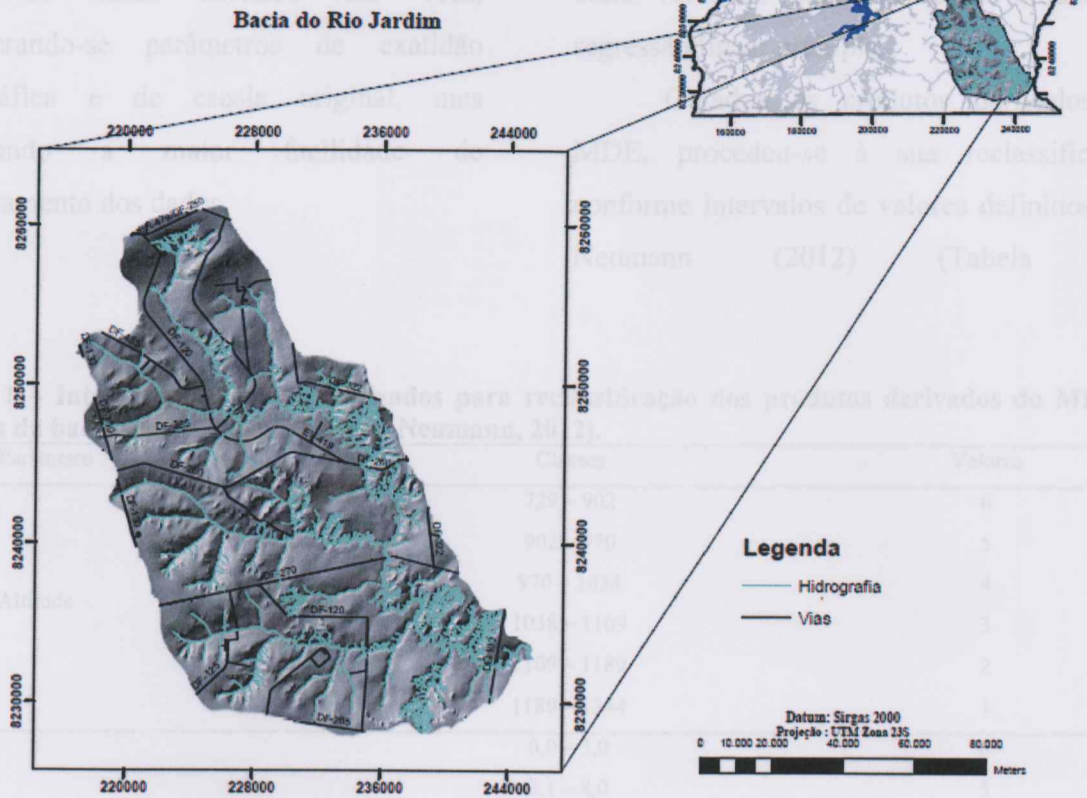


Figura 3- Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Jardim.

2.3- Criação do MDE

Na posse dos dados básicos, projetados para o datum SIRGAS2000, UTM zona 23 S, procedeu-se à criação do MDE a partir das informações extraídas das ortofotocartas.

Segundo Neumann (2012) MDEs podem ser construídos, basicamente, por meio de grades regulares retangulares (GRID) ou redes irregulares triangulares (TIN), com a utilização de diferentes algoritmos de interpolação, mas que não existe consenso

acerca de qual o melhor modelo para a confecção de MDEs.

Utilizou-se o modelo de dados TIN (*triangulated irregular networks*) construído a partir de dados tipo pontos cotados, curvas de nível, hidrografia (cursos d'água, lagos e lagoas) e limite da bacia.

Segundo Longley *et al.* (2013) TINs são criadas a partir de um conjunto de pontos com valores de coordenadas x, y e z e são utilizadas para representar superfícies em SIG.



5.7.1 Indicação do espelho

5.8 Linha de pouso

5.10 Bivúta

5.9 Linha de taxi

5.11 Torre de controle

5.12 Áreas de escape

5.12.1 Stopway

5.13 Barragem de retenção

5.14 Áreas de retorno

5.15 Instalações

5.15.1 Hangars

5.15.2 Vantilo

5.16 Combustíveis

5.17 Radar

5.18 Radar

5.19 Radar

5.20 Radar

5.21 Radar

5.22 Radar

5.23 Radar

5.24 Radar

5.25 Radar

5.26 Radar

5.27 Radar

5.28 Radar

5.29 Radar

5.30 Radar

5.31 Radar

5.32 Radar

5.33 Radar

5.34 Radar

5.35 Radar

5.36 Radar

5.37 Radar

5.38 Radar

5.39 Radar

5.40 Radar

5.41 Radar

5.42 Radar

5.43 Radar

5.44 Radar

5.45 Radar

5.46 Radar

5.47 Radar

5.48 Radar

5.49 Radar

5.50 Radar

5.51 Radar

5.52 Radar

5.53 Radar

5.54 Radar

5.55 Radar

5.56 Radar

5.57 Radar

5.58 Radar

5.59 Radar

5.60 Radar

5.61 Radar

5.62 Radar

5.63 Radar

5.64 Radar

5.65 Radar

5.66 Radar

5.67 Radar

5.68 Radar

5.69 Radar

5.70 Radar

5.71 Radar

5.72 Radar

5.73 Radar

5.74 Radar

5.75 Radar

5.76 Radar

5.77 Radar

5.78 Radar

5.79 Radar

5.80 Radar

5.81 Radar

5.82 Radar

5.83 Radar

5.84 Radar

5.85 Radar

5.86 Radar

5.87 Radar

5.88 Radar

5.89 Radar

5.90 Radar

5.91 Radar

5.92 Radar

5.93 Radar

5.94 Radar

5.95 Radar

5.96 Radar

5.97 Radar

5.98 Radar

5.99 Radar

6.00 Radar

Utilizando-se o *software* Arcgis 10.0 e por meio das ferramentas *3D Analyst Tools*, gerou-se o TIN.

Em seguida, o modelo foi transformado para raster, com resolução da célula de saída definida em 10m, considerando-se parâmetros de exatidão cartográfica e de escala original, mas priorizando a maior facilidade de processamento dos dados.

2.4- Parâmetros Derivados do MDE

Preparado o MDE extraíram-se os parâmetros secundários altitude, declividade, orientação e acumulação de fluxo a serem utilizados, juntamente com dados geológicos, como variáveis independentes no modelo de regressão linear múltipla.

Gerados os produtos derivados do MDE, procedeu-se à sua reclassificação conforme intervalos de valores definidos por Neumann (2012) (Tabela 1).

Tabela 1 – Intervalos de valores utilizados para reclassificação dos produtos derivados do MDE e geologia da bacia do Rio Jardim (Fonte: Neumann, 2012).

Parâmetro	Classes	Valores
Altitude	729 – 902	6
	902 – 970	5
	970 – 1038	4
	1038 – 1109	3
	1109 – 1189	2
	1189 – 1344	1
Declividade	0,0 – 3,0	6
	3,1 – 8,0	5
	8,0 – 12,0	4
	12,1 – 25,0	3
	25,1 – 45,0	2
	>45%	1
Orientação	0 – 43	1
	43 – 87	2
	87 – 131	3
	131 – 176	4
	176 – 222	5
	222 – 269	6
	269 – 315	7
	315 - 359	8
Acumulação de Fluxo	944 – 10.306,57	1
	10.306,57 – 41.401,31	2
	41.401,31 – 1.838.385,20	3
Geologia	MNPpr3, MNPpr4, NPb	1
	MNPpq3	2
	MNPcf	3

Os produtos derivados do MDE, juntamente com os dados geológicos da bacia,

em formato raster, reclassificados, constam da Figura 4.

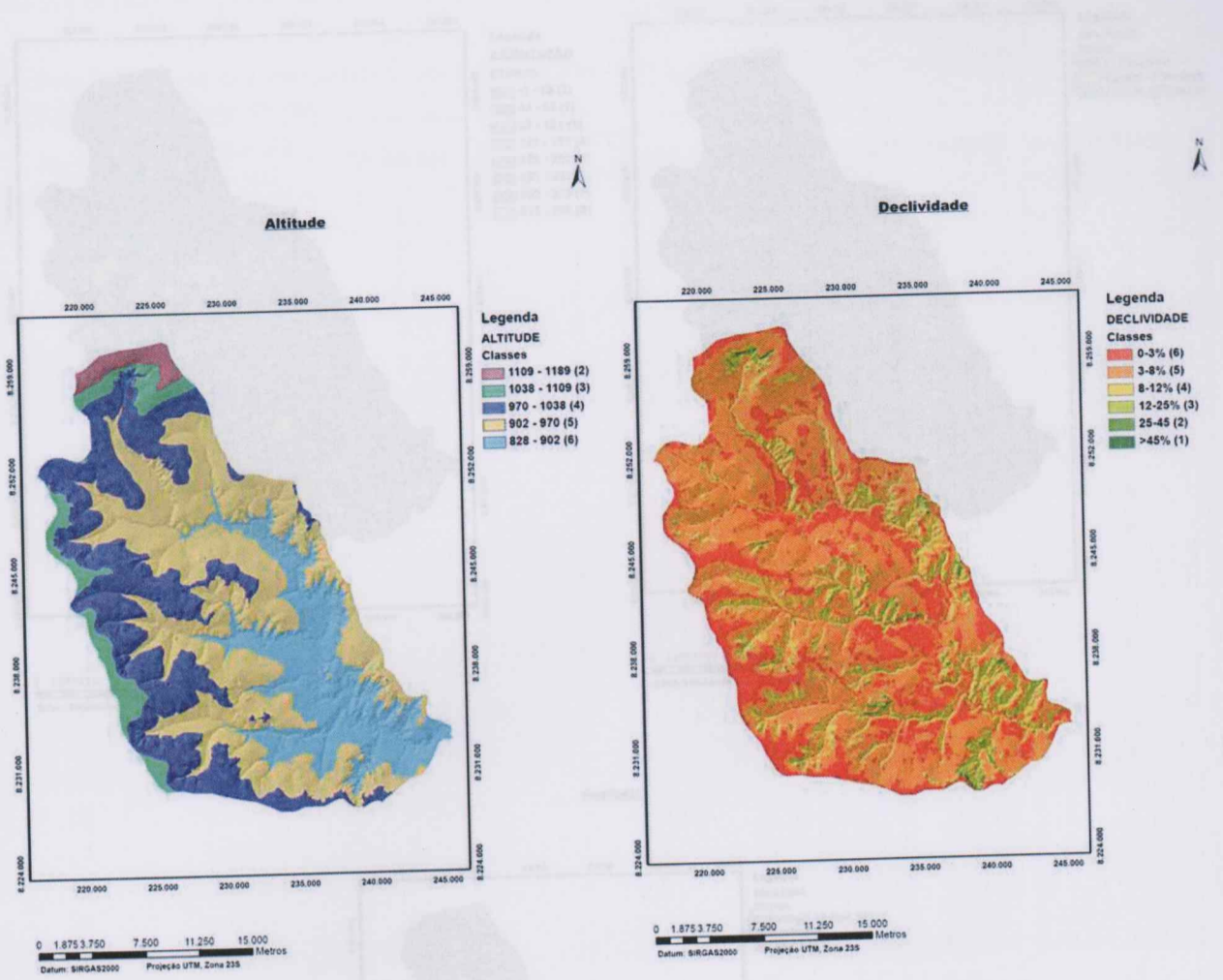


Figura 4 - Parâmetros derivados do MDE e formação geológica da bacia do Rio Jardim, reclassificados.

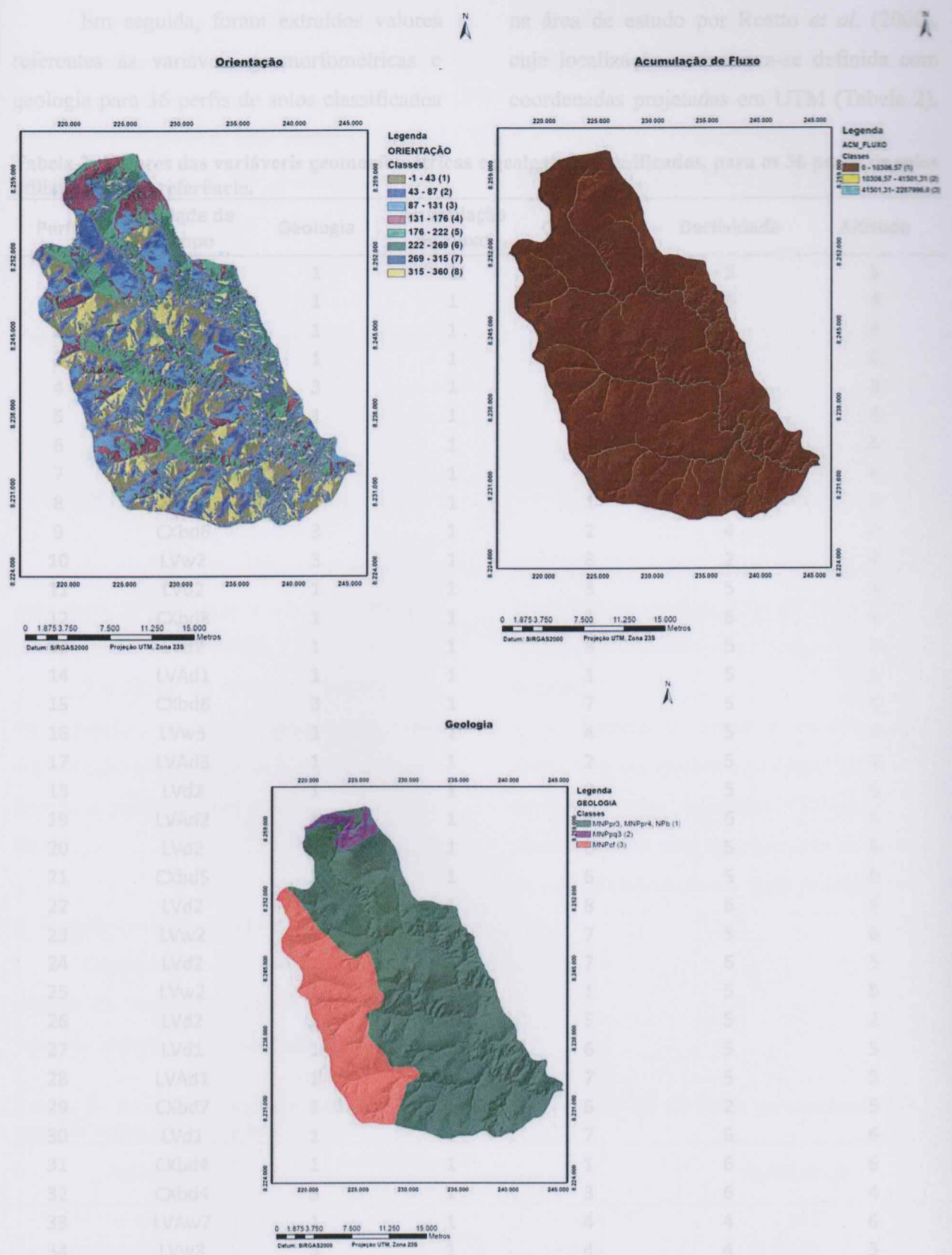


Figura 4- Parâmetros derivados do MDE e formação geológica da bacia do Rio Jardim, reclassificados.

5.7 Indicação de categoria

5.8 Linha de base

5.10 Zona

5.11 Zona de controle

5.12 Zona de estudo

5.13 Zona de referência

5.14 Zona de terreno

5.15 Zona de estudo

5.16 Zona de estudo

5.17 Zona de estudo

5.18 Zona de estudo

5.19 Zona de estudo

5.20 Zona de estudo

5.21 Zona de estudo

5.22 Zona de estudo

5.23 Zona de estudo

5.24 Zona de estudo

5.25 Zona de estudo

5.26 Zona de estudo

5.27 Zona de estudo

5.28 Zona de estudo

5.29 Zona de estudo

5.30 Zona de estudo

5.31 Zona de estudo

5.32 Zona de estudo

5.33 Zona de estudo

5.34 Zona de estudo

5.35 Zona de estudo

5.36 Zona de estudo

5.37 Zona de estudo

5.38 Zona de estudo

5.39 Zona de estudo

5.40 Zona de estudo

5.41 Zona de estudo

5.42 Zona de estudo

5.43 Zona de estudo

5.44 Zona de estudo

5.45 Zona de estudo

5.46 Zona de estudo

5.47 Zona de estudo

5.48 Zona de estudo

5.49 Zona de estudo

5.50 Zona de estudo

5.51 Zona de estudo

5.52 Zona de estudo

5.53 Zona de estudo

5.54 Zona de estudo

5.55 Zona de estudo

5.56 Zona de estudo

5.57 Zona de estudo

5.58 Zona de estudo

5.59 Zona de estudo

5.60 Zona de estudo

5.61 Zona de estudo

5.62 Zona de estudo

5.63 Zona de estudo

5.64 Zona de estudo

5.65 Zona de estudo

5.66 Zona de estudo

5.67 Zona de estudo

5.68 Zona de estudo

5.69 Zona de estudo

5.70 Zona de estudo

5.71 Zona de estudo

5.72 Zona de estudo

5.73 Zona de estudo

5.74 Zona de estudo

5.75 Zona de estudo

5.76 Zona de estudo

5.77 Zona de estudo

5.78 Zona de estudo

5.79 Zona de estudo

5.80 Zona de estudo

5.81 Zona de estudo

5.82 Zona de estudo

5.83 Zona de estudo

5.84 Zona de estudo

5.85 Zona de estudo

5.86 Zona de estudo

5.87 Zona de estudo

5.88 Zona de estudo

5.89 Zona de estudo

5.90 Zona de estudo

5.91 Zona de estudo

5.92 Zona de estudo

5.93 Zona de estudo

5.94 Zona de estudo

5.95 Zona de estudo

5.96 Zona de estudo

5.97 Zona de estudo

5.98 Zona de estudo

5.99 Zona de estudo

6.00 Zona de estudo

6.01 Zona de estudo

6.02 Zona de estudo

6.03 Zona de estudo

6.04 Zona de estudo

6.05 Zona de estudo

6.06 Zona de estudo

6.07 Zona de estudo

6.08 Zona de estudo

6.09 Zona de estudo

6.10 Zona de estudo

6.11 Zona de estudo

6.12 Zona de estudo

6.13 Zona de estudo

6.14 Zona de estudo

6.15 Zona de estudo

6.16 Zona de estudo

6.17 Zona de estudo

6.18 Zona de estudo

6.19 Zona de estudo

6.20 Zona de estudo

6.21 Zona de estudo

6.22 Zona de estudo

6.23 Zona de estudo

6.24 Zona de estudo

6.25 Zona de estudo

6.26 Zona de estudo

6.27 Zona de estudo

6.28 Zona de estudo

6.29 Zona de estudo

6.30 Zona de estudo

6.31 Zona de estudo

6.32 Zona de estudo

6.33 Zona de estudo

6.34 Zona de estudo

6.35 Zona de estudo

6.36 Zona de estudo

6.37 Zona de estudo

6.38 Zona de estudo

6.39 Zona de estudo

6.40 Zona de estudo

6.41 Zona de estudo

6.42 Zona de estudo

6.43 Zona de estudo

6.44 Zona de estudo

6.45 Zona de estudo

6.46 Zona de estudo

6.47 Zona de estudo

6.48 Zona de estudo

6.49 Zona de estudo

6.50 Zona de estudo

6.51 Zona de estudo

6.52 Zona de estudo

6.53 Zona de estudo

6.54 Zona de estudo

6.55 Zona de estudo

6.56 Zona de estudo

6.57 Zona de estudo

6.58 Zona de estudo

6.59 Zona de estudo

6.60 Zona de estudo

6.61 Zona de estudo

6.62 Zona de estudo

6.63 Zona de estudo

6.64 Zona de estudo

6.65 Zona de estudo

6.66 Zona de estudo

6.67 Zona de estudo

6.68 Zona de estudo

6.69 Zona de estudo

6.70 Zona de estudo

6.71 Zona de estudo

6.72 Zona de estudo

6.73 Zona de estudo

6.74 Zona de estudo

6.75 Zona de estudo

6.76 Zona de estudo

6.77 Zona de estudo

6.78 Zona de estudo

6.79 Zona de estudo

6.80 Zona de estudo

6.81 Zona de estudo

6.82 Zona de estudo

6.83 Zona de estudo

6.84 Zona de estudo

6.85 Zona de estudo

6.86 Zona de estudo

6.87 Zona de estudo

6.88 Zona de estudo

6.89 Zona de estudo

6.90 Zona de estudo

6.91 Zona de estudo

6.92 Zona de estudo

6.93 Zona de estudo

6.94 Zona de estudo

6.95 Zona de estudo

6.96 Zona de estudo

6.97 Zona de estudo

6.98 Zona de estudo

6.99 Zona de estudo

7.00 Zona de estudo

Em seguida, foram extraídos valores referentes às variáveis geomorfométricas e geologia para 36 perfis de solos classificados

na área de estudo por Reatto *et al.* (2000), cuja localização encontrava-se definida com coordenadas projetadas em UTM (Tabela 2).

Tabela 2- Valores das variáveis geomorfométricas e geologia reclassificados, para os 36 perfis de solos utilizados como referência.

Perfil	Unidade de Campo	Geologia	Acumulação de Fluxo	Orientação	Declividade	Altitude
0	LVAw1	1	1	1	5	5
1	LVw1	1	1	1	5	4
2	LVw2	1	1	1	6	4
3	LVd2	1	1	5	3	6
4	LVAw1	3	1	2	5	4
5	LVAAd1	1	1	6	5	4
6	LVAw1	3	1	4	6	4
7	LVAw1	3	1	8	2	4
8	LVAw1	3	1	1	6	3
9	CXbd6	3	1	2	4	4
10	LVw2	3	1	8	2	4
11	LVd2	1	1	3	5	5
12	CXbd8	1	1	1	6	4
13	LVd2	1	1	8	5	5
14	LVAAd1	1	1	1	5	5
15	CXbd8	3	1	7	5	4
16	LVw3	1	1	4	5	4
17	LVAAd3	1	1	2	5	4
18	LVd2	1	1	2	5	5
19	LVAAd2	1	1	4	6	6
20	LVd2	1	1	6	5	5
21	CXbd5	1	1	6	5	6
22	LVd2	1	1	8	6	6
23	LVw2	1	1	7	5	6
24	LVd2	1	1	7	6	5
25	LVw2	1	1	1	5	5
26	LVd2	1	1	5	5	2
27	LVd1	1	1	6	5	5
28	LVAAd1	1	1	7	5	5
29	CXbd7	1	1	6	2	5
30	LVd1	1	1	7	6	6
31	CXbd4	1	1	1	6	6
32	CXbd4	3	1	3	6	4
33	LVAw7	1	1	4	4	6
34	LVw3	3	1	4	4	5
35	LVw2	3	1	1	5	4

(1) Classificação de solos de perfis (Fonte: Reatto *et al.*, 2000): LV: LATOSSOLO VERMELHO; LVA: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO; CX: CAMBISSOLO HÁPLICO.

A partir das informações acerca dos parâmetros secundários do MDE para os 36 perfis, gerou-se o modelo de regressão linear múltipla, definindo o solo como a variável dependente e os dados geomorfométricos derivados e geologia como variáveis independentes.

Para tanto foi atribuída escala de valor para as classes de solos (variável dependente) mais frequentes na bacia, ou seja, LATOSSOLO VERMELHO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO e CAMBISSOLO HÁPLICO.

Tabela 3 – Escala de valor atribuída às classes de solos.

Classe de Solos	Valor
LATOSSOLO VERMELHO	10
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO	9
CAMBISSOLO HÁPLICO	8

Fonte: adaptado de Neumann (2012).

Os dados foram inseridos no pacote estatístico *SPSS Statistics 21*, e processados com exclusão do intercepto.

utilizada no modelo apresentou significância estatística ao nível de 95% de probabilidade, quando processada em conjunto com as demais.

Por último foi elaborado mapa a partir da equação de solos selecionada, para comparação com o mapa pedológico da bacia, gerado a partir do levantamento pedológico do DF.

Entretanto, como a variável citada apresentou comportamento constante, para os perfis de solos utilizados (Tabela 4), foi desconsiderada para determinação da equação de solos e elaboração do mapa pedológico.

3- Resultados e Discussão

Conforme os resultados indicados na análise da regressão (Tabela 4), apenas a variável independente acumulação de fluxo

Tabela 4- Resultados da regressão linear múltipla do conjunto de variáveis geomorfométricas e geologia utilizadas no modelo.

Variável	Coefficientes de Regressão	t	Significância
Geologia	-0,255	-1,493	0,145
Acumulação de Fluxo	9,933	8,308	0,000
Orientação	0,060	1,047	0,303
Declividade	0,006	0,047	0,963
Altitude	-0,109	-0,663	0,512
Variável dependente: solo		Regressão linear pela origem	R=0,997 R ² =0,994 R ² ajustado=0,993

Lima *et al.* (2013) obtiveram resultado semelhante ao proporem modelo de regressão linear múltipla na predição das classes de solos em relação aos parâmetros derivados declividade, altitude, aspecto, geologia e geomorfologia, para a mesma bacia ora estudada, apontando como possíveis causas as características da obtenção e da qualidade do MDE que não possibilitou a captura dos detalhes e feições do terreno.

Neumann *et al.* (2011) ao realizarem análise de regressão linear do conjunto de variáveis geomorfométricas declividade, geomorfologia, altitude, aspecto, curvatura, geologia e acumulação de fluxo, concluíram que apenas as duas primeiras foram estatisticamente significantes, utilizadas, em seguida, para a elaboração de mapa de solos em bacia hidrográfica do Distrito Federal.

Neumann (2012) verificou que o modelo de regressão linear utilizado no mapeamento digital de solos apresentou desempenho satisfatório para mapeamento das classes LATOSSOLO VERMELHO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO e CAMBISSOLO, no Distrito Federal.

Não obstante a regressão linear analisada não apresentar significância

estatística para o conjunto das variáveis testadas, com base na literatura consultada, tomaram-se parâmetros geomorfométricos de uso generalizado, dentre aqueles testados no presente estudo.

Conforme Chagas (2006) os parâmetros derivados de MDEs elevação, declividade e orientação, são reconhecidos como os mais efetivos para levantamentos de solos de média escala.

Assim, foram testados esses atributos em modelo de regressão linear múltipla, para verificação da sua efetividade no mapeamento digital de solos da bacia do Rio Jardim.

Utilizando-se o mesmo procedimento adotado no primeiro modelo de regressão analisado, extraíram-se os valores de altitude, declividade e orientação para os 36 perfis considerados.

Em seguida os valores foram inseridos em modelo de regressão linear múltipla, cujos resultados são os seguintes:

Tabela 5: Coeficientes de regressão do segundo modelo proposto.

Variável	Coeficientes de Regressão	t	Significância
Declividade	0,878	4,849	0,000
Altitude	0,836	3,689	0,001
Orientação	0,219	2,053	0,048
Variável dependente: solo		Regressão linear pela origem	R=0,988 R ² =0,975 R ² ajustado=0,973

Equação de solos gerada: $Solo = 0,878 \times \text{declividade} + 0,836 \times \text{altitude} + 0,219 \times \text{orientação}$

A partir da equação de solos determinada, foi elaborado o mapa pedológico da bacia.

Nas Figuras 5 e 6 constam os mapas de solos gerados pelo levantamento convencional e por mapeamento digital.

Considerando-se a maior ocorrência das classes de LATOSSOLOS (65%) e

CAMBISSOLOS (29,5%) na região sob análise, e, por conseguinte, o menor número de componentes da amostra de perfis das outras tipologias ocorrentes na área, as demais classes de solos foram retiradas do modelo, haja vista sua baixa representatividade no conjunto amostral, conforme procedimento também adotado por Lima *et al* (2013).

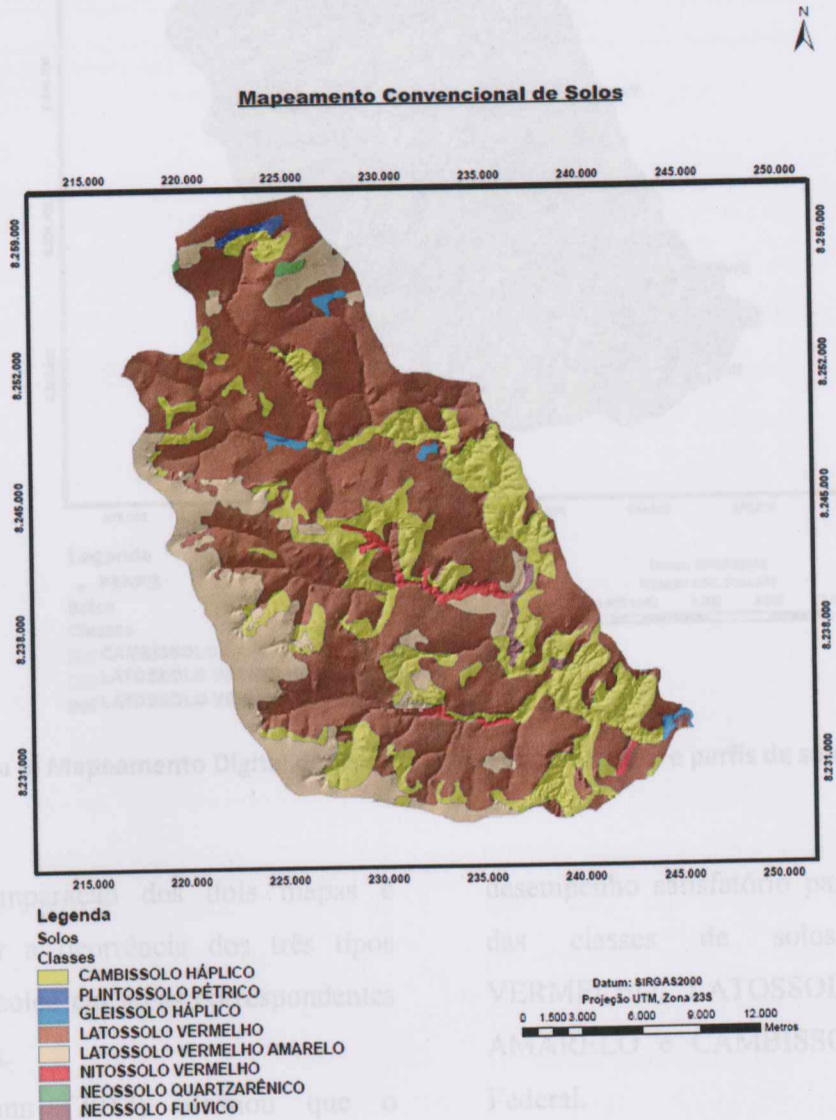


Figura 5- Mapeamento convencional de solos da bacia do Rio Jardim (Fonte: ZEE-DF).

Conforme a matriz de confusão elaborada para medir a acurácia do mapa produzido (Tabela 6), a Acurácia Geral foi de 41,94% e a classe de solo que apresentou maior correspondência entre a referência e o

mapa produzido foi o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO (AP 45,49%). Não obstante os resultados indicados, o índice Kappa determinado foi apenas 14,15%, mostrando-se insatisfatório.

Mapeamento Digital de Solos

Tabela 6- Determinação de índices de acurácia do mapa produzido.

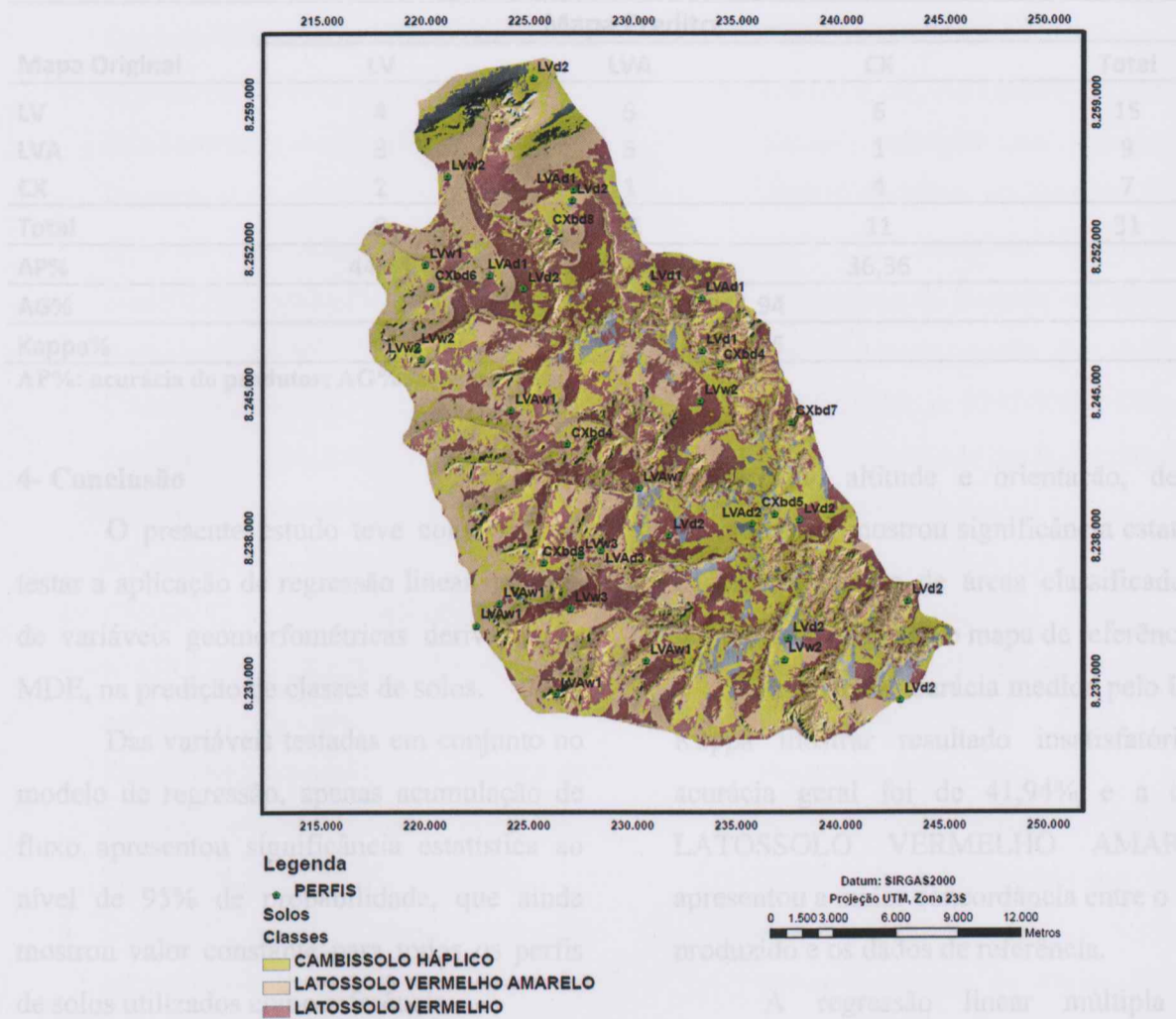


Figura 6- Mapeamento Digital de Solos da bacia do Rio Jardim e perfis de solos de referência.

Na comparação dos dois mapas é possível notar a ocorrência dos três tipos principais de solos em áreas correspondentes nas duas cenas.

Neumann (2012) afirmou que o modelo de regressão linear apresentou

desempenho satisfatório para o mapeamento das classes de solos LATOSSOLO VERMELHO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO e CAMBISSOLO, no Distrito Federal.

Conforme a matriz de confusão elaborada para medir a acurácia do mapa produzido (Tabela 6), a Acurácia Geral foi de 41,94% e a classe de solo que apresentou maior concordância entre a referência e o

mapa predito foi o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO (AP 45,45%).

Não obstante os resultados indicados, o índice Kappa determinado foi de apenas 14,15%, mostrando-se insatisfatório.

Tabela 6- Determinação de índices de acurácia do mapa produzido.

Mapa Original	Mapa Predito			Total
	LV	LVA	CX	
LV	4	5	6	15
LVA	3	5	1	9
CX	2	1	4	7
Total	9	11	11	31
AP%	44,44	45,45	36,36	
AG%			41,94	
Kappa%			14,15	

AP%: acurácia do produtor; AG%: acurácia geral

4- Conclusão

O presente estudo teve como escopo testar a aplicação de regressão linear múltipla de variáveis geomorfológicas derivadas de MDE, na predição de classes de solos.

Das variáveis testadas em conjunto no modelo de regressão, apenas acumulação de fluxo apresentou significância estatística ao nível de 95% de probabilidade, que ainda mostrou valor constante para todos os perfis de solos utilizados como referência.

É provável que a amostra reduzida, composta por apenas 36 componentes, e restrita a três classes de solos, pode ter influenciado nos resultados insatisfatórios do primeiro modelo de regressão analisado.

Um modelo de regressão elaborado considerando-se apenas as variáveis

declividade, altitude e orientação, de uso generalizado, mostrou significância estatística e compatibilidade de áreas classificadas no mapeamento digital e o mapa de referência.

Apesar da acurácia medida pelo índice Kappa mostrar resultado insatisfatório, a acurácia geral foi de 41,94% e a classe LATOSSOLO VERMELHO AMARELO apresentou a maior concordância entre o mapa produzido e os dados de referência.

A regressão linear múltipla tem potencial de uso no mapeamento digital de solos, demandando, contudo, o aprofundamento dos estudos acerca do tema, com uso de técnicas diferenciadas de geoprocessamento, bem como de conhecimentos e dados obtidos por meio de sensoriamento remoto.

5- Bibliografia

- 1- ALVES, M.R. **Múltiplas técnicas no mapeamento digital de solos**. 2008. 150p. (Tese de doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.
- 2- CÂMARA, C.; DAVIS, C. **Fundamentos de Geoprocessamento**. Disponível em <http://www.ltc.ufes.br/geomaticsce/Modulo%20Geoprocessamento.pdf>: Acesso em: 20 set. 2013.
- 3- CAMPOS, M.C.C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência**, Paraná, v.8, n.3, p. 963-982, 2012.
- 4- CAMPOS, M.C.C; CARDOZO, N.P.; MARQUES JUNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 104-114, 2006.
- 5- COELHO, F.F. **Comparação de métodos de mapeamento digital de solos através de variáveis geomorfométricas e sistemas de informações geográficas**. 2010. 80 p. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- 6- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999.
- 7- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 320p. ISBN:089-85-240-3722-9. ISSN:0103-9598.
- 8- LIMA et al. **Aplicação de regressão linear múltipla no mapeamento digital de solos, no Distrito Federal**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 9232-9229. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/> Acesso em: 15 nov. 2013.
- 9- LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J.; RHIND, D.W. **Sistemas e ciência da informação geográfica**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 540p.
- 10- MUÑOZ, V.A.; VALERIANO, M.M.; WEILL, M.A.M. **Estudo das relações solo-relevo pela análise geomorfométrica de dados SRTM e TOPODATA e a técnica de recuperação de conhecimento a partir de mapas**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2011, Curitiba. **Anais**. Curitiba: INPE, 2011, p. 9261-9268. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/> Acesso em: 10 jun. 2013.

- 11-NEUMANN, M.R.B. **Mapeamento digital de solos, no Distrito Federal.** 2012. 110 p. (Tese de doutorado). Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- 12-NUNES, E.D.; OLIVEIRA, R.M.; SANTOS, G.M. **Mapeamento geomorfológico: Considerações metodológicas utilizando recursos de Modelos Digitais de Elevação.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 2011, Curitiba. **Anais.** Curitiba: INPE, 2011, p. 1216-1223. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/>> Acesso em: 13 ago. 2013.
- 13-PRADO, H. **Manual de classificação de solos do Brasil.** Jaboticabal-SP:FUNEP, 1993. 218p.
- 14-PRADO, H. **Pedologia Fácil: aplicações na agricultura.** 2 ed. rev. e amp. Piracicaba: 2008. 145 p.
- 15-PRADO, H. **Pedologia Fácil. Solo-Paisagem.** 2007. Disponível em www.pedologiafacil.com.br/solopaisagem.php. Acesso em: 16 dez. 2013.
- 16-REATTO et al. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do rio Jardim-DF, escala 1:50.000.** Boletim de Pesquisa EMBRAPA Cerrados. Planaltina, n.18, 63p.
- 17-TEN CATEN, A.; QUOOS, J.H. **Mapeamento digital de solos.** 2009. Disponível em <http://mundogeo.com/blog/2009/10/21/mapeamento-digital-de-solos/>. Acesso em: 10 set. 2013.
- 18-TEN CATEN, A. **Mapeamento Digital de Solos: Metodologias para atender a demanda por informação espacial em solos.** 2011. 106p. (Tese de doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, 2011. Disponível em <http://w3.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/teses/Alexandre%20ten%20Caten%20TESE.pdf>. Acesso em: 15 out. 2013.



Universidade de Brasília

Instituto de Geociências

ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

**Mapeamento Digital de Solos de bacia hidrográfica do DF com
uso de regressão linear múltipla de produtos derivados de Modelo
Digital de Elevação.**

André Gustavo de Sousa Rocha

Monografia de conclusão de
curso de Especialização

BRASÍLIA – DF

2013