

Predição de unidades de mapeamento digital de solo usando modelagem sob inferência fuzzy: estudo de caso em uma área na região de Mucugê-BA

Claudia Csekö Nolasco de Carvalho¹
Washington Franca-Rocha²
Elias Bernard Espírito Santo³

¹Universidade Estadual de Alagoas - UNEAL/ESSER
BR – 316, km 87,5 – Santana do Ipanema – AL, Brasil
ccseko@esser.edu.br

²Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS/BA
BR – 116, km 03 – Feira de Santana – BA, Brasil
wrocha@uefs.br

³Serviço Geológico do Brasil – CPRM / SUREG-SA
Av. Ulysses Guimarães, 2862 - Sussuarana - Salvador - BA – Brasil
eliasbernard@bol.com.br

Abstract: A digital soil mapping of an area in the region of Mucugê-BA was conducted through GIS (Geography Information System) data integration. Database derived from digital elevation model (DEM) and from vegetation and geology thematic maps was associated to the soil scientists' knowledge and weighted under fuzzy inference, as a methodological proposal. The methodology was developed and based on the soil-land inference model - SoLIM, on the soil factor equation and the soil-landscape model. The fuzzy logic is able to simulate the uncertainty and transitions that often occur in pedologies system. The results show up that the methodology permits to predict soil mapping units. However this methodology is very dependent on the soil expert knowledge and on the database accuracy. To verify the applicability of the methodology, it is necessary to confront the prediction of the digital soils map with the conventional soil map of the area and validate through field investigation of the soil units.

Palavras-chave: remote sensing, digital soil maps, fuzzy inference, sensoriamento remoto, mapa digital de solos, inferência fuzzy.

Introdução

A cartografia de solos é imprescindível ao monitoramento ambiental. Sua execução requer o conhecimento pedológico, a compilação de dados ambientais e a análise e interpretação de imagens. Tradicionalmente o mapeamento de solos se inicia com a confecção de um mapa preliminar, onde as unidades são inferidas a partir de fotointerpretação e sobreposição de dados ambientais, que são associados com base no conhecimento e experiência própria do especialista em levantamentos de solos. A este mapa são agregadas informações obtidas após sucessivas investigações de campo que, por interação sistemática, possibilitam ao pedólogo capturar as relações entre os solos e as diferentes feições da paisagem e estabelecer a distribuição espacial e os limites entre unidades no mapa final.

A precisão e a eficácia de levantamentos efetuados desta forma dependem da habilidade do pedólogo, mas é limitada segundo Zhu *et al.* (2001,1999), principalmente pela técnica de cartografia baseada em polígonos e pelo processo manual de produção do mapa de solo.

Com o advento da informática, o uso de geotecnologias (SIG - Sistema de Informações Geográficas e PDI – Processamento Digital de Imagens) vem apontando novos caminhos e modelos que possibilitam o tratamento de grande quantidade de dados e informações indispensáveis aos mapeamentos realizados em Ciência do Solo. Este cenário se amplia com a disponibilidade de novas imagens e de dados de MDT (Modelo Digital de Terreno).

Neste sentido apresentamos uma proposta metodológica para delineamento de unidades de mapeamento de solo realizado na região de Mucugê - Bahia, utilizando dados ambientais (MDT, geologia e vegetação), integrados via SIG sob inferência *fuzzy*, visando a confecção de um mapa digital de solo compatível, ou melhor que o dos levantamentos pedológicos convencionais.

Caracterização da Área de Estudo

A área selecionada para estudo está inserida na Região da Chapada Diamantina, no Estado da Bahia, mais especificamente no Município de Mucugê, estando geograficamente limitada pelas coordenadas 13°00'-13°15' S e 41°30'- 41°20' W (**Figura 1**).

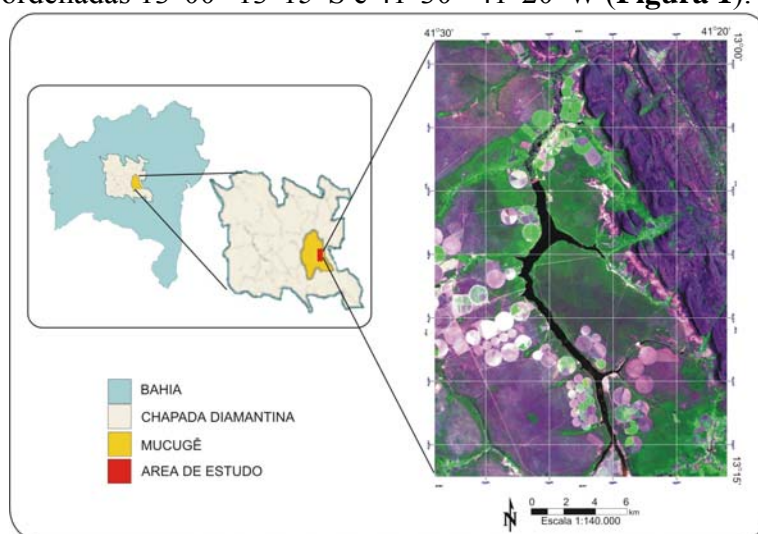


Figura 1: Localização geográfica da área de estudo

Inserida no Planalto da Serra do Sincorá, a área a oeste compreende uma superfície aplainada com altitudes entre 1000 e 1200 m. O relevo predominantemente é plano a suave ondulado, porém seccionado por vales escavados nas fraturas. Na parte leste, a Serra do Sincorá impõe uma brusca modificação da paisagem que apresenta feição montanhosa e altitudes entre 1600 a 1800m (CPRM, 1994).

Os Campos Gerais são predominantes e englobam as superfícies de erosão e pediplanação geologicamente constituídas por rochas da Formação Tombador (arenitos, argilitos e conglomerados), do Grupo Paraguaçu (argilitos, siltitos e arenitos) e por coberturas residuais derivadas dos sedimentos do Grupo Paraguaçu. Estas coberturas dominam a parte ocidental da área e são essencialmente arenosas ou areno-argilosas. A oeste de Mucugê e ao longo do rio Paraguaçu, estas superfícies aplainadas encontram-se lateritizadas (CPRM, 1994).

O clima da região é tropical sub-quento a sub-úmido. A pluviosidade e a temperatura média anual estão entre 800-1200mm e 20 a 24°C, respectivamente, com variações decorrentes das diferenças altimétricas. O excedente hídrico é de 100 e 300mm (SEI, 1998).

A vegetação primária remanescente apresenta-se sob a forma de mosaicos irregulares com variações fisionômicas bruscas em seu domínio associadas as diferentes épocas e intensidade das intervenções antrópicas. Destacam-se na área a Savana (Savana Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque e Savana Arbórea Aberta); o Refugio Ecológico Montano e a Floresta Estacional Decidual Montana. Na parte central da área há domínio de vegetação de transição entre a Savana e a Floresta (BRASIL, 1976; IBGE, 1988).

Material e Métodos

A metodologia requer o conhecimento prévio da área de estudo pelo especialista em cartografia de solos, condição que, aliada à existência de informações auxiliares (dados sobre fatores de formação do solo), constituiu critério para a seleção da área de estudo. O método proposto, faz uso de novas tecnologias, mas é alicerçado na equação dos fatores de formação do solo (Jenny, 1961), no modelo de distribuição dos solos na paisagem (Hudson, 1992), e nos trabalhos de Zhu et al (2001) e Zhu (1999) e está sintetizado no diagrama da **Figura 2**.

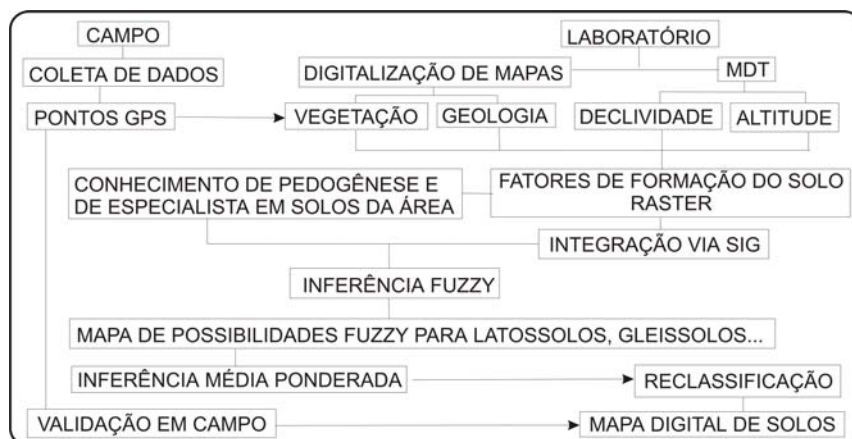


Figura 2: Fluxograma metodológico

A base de dados constou de: i) MDT advindo do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission); mapas temáticos todos na escala 1:100.00 de: ii) Geologia (CPRM, 1994), iii) Vegetação (IBGE, 1988) e iv) Solos (IBGE, 1988).

Para o processamento das informações em ambiente SIG foram utilizados os aplicativos ArcGis 8.3 (ESRI, 1999) com a extensão Spatial Analyst e ARCSDEM 2 (Spatial Data Modeller 2 Extension para ArcMap 8.3).

A metodologia preconiza a validação final do mapa digital em campo, porém neste trabalho o mapa convencional do IBGE (1988) foi utilizado como “verdade de campo” para comparação dos resultados obtidos.

Os dados analógicos de geologia e vegetação, necessários à construção do banco de dados digital da área, foram capturados por escanerização, registrados, vetorizados e transformados em mapas raster com reamostragem para pixel de 30m. Visando compatibilizar a base cartográfica e o mapa de solo usado para fins comparativos, foi adotado o sistema de projeção plana Universal Transversa de Mercator (UTM) e o Datum Córrego Alegre.

As informações sobre o relevo, foram geradas através do Modelo Digital do Terreno (MDT), sendo dele derivados os mapas de declividade (SLOPE) e altitude (**Figura 3**).

Sistematização e Integração das Informações sob Inferência Fuzzy

O pedólogo, ao efetuar um levantamento de solos, relaciona mentalmente dados ambientais espaciais (geologia, relevo, vegetação e clima) para estabelecer um padrão de distribuição das unidades de solo de uma área; logo, a integração de dados de fontes variadas no mapeamento de solos é tarefa moldada para sistemas de informações geográficas.

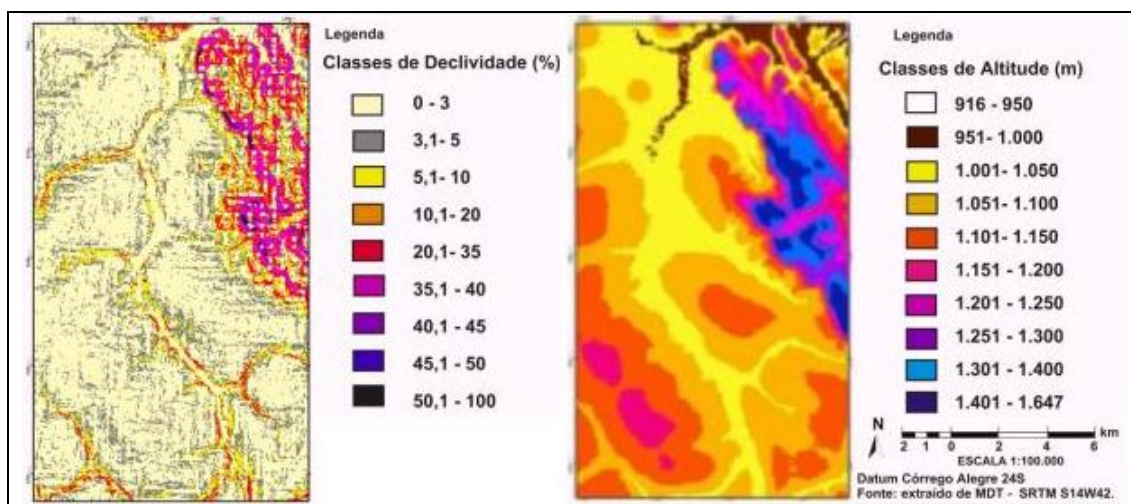


Figura 3: Mapa de Declividade e Altitude da área de estudo

Os projetos desenvolvidos em SIG apresentam como principal proposta a combinação de dados espaciais, objetivando descrever e analisar interações para fazer previsões, através de modelos empíricos que fornecem apoio à definição de classes, unidades ou sítios de interesse. Já a técnica *fuzzy* tem sido intensamente utilizada em trabalhos de inferência espacial e, quando comparada ao modelamento convencional, tem a prerrogativa de não forçar os especialistas a definirem regras dicotômicas rígidas com contatos normalmente artificiais que diminuem a habilidade de articular eficientemente soluções para problemas complexos, tão comuns em processos naturais (Tanscheit, 2006).

A modelagem por lógica *fuzzy* permite simular, através do uso de “possibilidades”, as incertezas e transições tão comuns aos sistemas pedológicos. Isto é feito correlacionando-se o grau de certeza à experiência e ao conhecimento acumulado. Assim, a atribuição dos pesos às possibilidades de ocorrência das classes de solo em uma área é totalmente controlada pelo julgamento subjetivo de especialista experiente e que detenha um profundo conhecimento sobre a área de estudo (um pedólogo com experiência em levantamentos, por exemplo). Este tipo de modelagem faz parte da categoria denominada “baseada no conhecimento” e se apresenta como uma alternativa para operacionalizar os levantamentos de solo. Logo, a execução deste estudo foi conduzida por um pedólogo com experiência em levantamentos na região de Mucugê, que através do seu conhecimento, efetuou as atribuições dos pesos as possibilidades de ocorrência das classes de solo na área de estudo para os fatores de formação do solo selecionados.

Resultados e Discussão

A modelagem sob inferência *fuzzy* exige que os mapas de evidências sejam representados por uma função nebulosa. Isto significou elaborar uma tabela de atributos relacionando para cada classe do mapa de fatores (geologia, vegetação, altitude, declividade) um valor entre 0 e 1 para a ocorrência de cada uma das unidades de solo pré-definidas. Esses valores foram determinados de forma subjetiva e caracterizam o grau de importância de cada classe de fator no controle da definição do tipo de solo. Os valores máximos do grau de pertinência de cada conjunto *fuzzy* atribuído a cada mapa controlam também o peso relativo de cada evidência (fator de formação do solo) no processo de modelagem. A atribuição dos pesos a cada classe dos mapas (fator de formação considerado), foi embasada na premissa de que a evolução dos solos é condicionada pelo grau de combinação dos fatores de formação do solo. Esta interação

determina a dinâmica dos processos pedogenéticos e conseqüentemente origina diferentes classes de solos.

Alicerçados na equação dos fatores de formação do solo de Jenny (1961) no modelo de distribuição dos solos na paisagem de Hudson (1992) e no conhecimento de especialista em solos da região especificou-se a ocorrência de sete classes de solo: Latossolo Vermelho-Amarelo; Argissolo Acinzentado, Espodossolo Húmico, Gleissolo Húmico; Cambissolos Háplico; Neossolos Litólico e Neossolos Flúvico.

Na **Tabela 1** podem ser vistos os graus de pertinência atribuídos às classes de vegetação, geologia, declividade e altitude que foram utilizadas para gerar mapas *fuzzy* destes mesmos fatores para os tipos Latossolos Vermelho-Amarelos; Argissolos Acinzentados, Cambissolos e Espodossolos.

Os valores foram arbitrários e seguiram unicamente o conhecimento do pedólogo. A facilidade de edição das tabelas possibilitou o exame dos mapas de evidências para as classes de solos gerados a partir de diferentes proposições de operadores *fuzzy* e a definição na modelagem do operador lógico interseção (**fuzzyAND**), para obtenção dos mapas de evidências *fuzzy* para cada classe de solo. Este operador produz estimativas conservadoras, implicando pedologicamente na modelagem de associações de fatores diagnósticos, ou seja, na seleção mais rigorosa de áreas mais propícias a ocorrência de determinada classe de solo.

A **Figura 4**, mostra esquematicamente a obtenção do mapa de evidências *fuzzy* para Latossolos e permite uma melhor compreensão desta etapa do processo de modelagem. Por exemplo: se a possibilidade de ocorrer Latossolo em um local (um pixel ou um polígono), possuir os valores $\mu_A=0,50$, $\mu_B=0,90$ e $\mu_C=0,30$ (respectivamente para os fatores geologia, vegetação e inclinação), o mapa resultante assume o valor $\mu_{comb}=0,30$ neste mesmo local, deduzindo-se que somente onde os três mapas combinados possuam simultaneamente valores elevados é que iríamos considerar locais mais prováveis para a ocorrência de Latossolos.

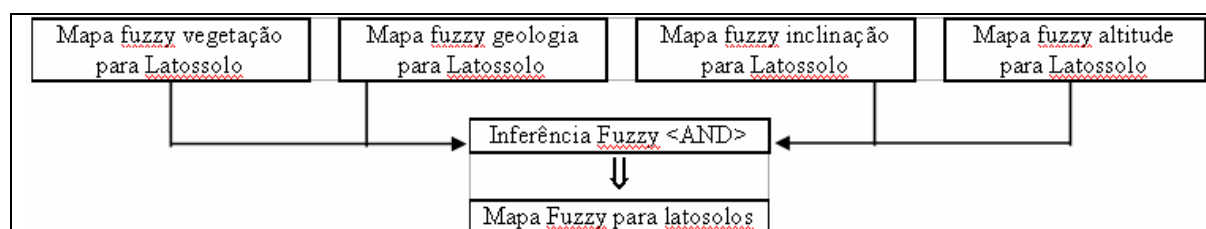


Figura 4: Fluxograma do processo de obtenção dos mapas de possibilidades *fuzzy* para a classe dos Latossolos

Os mapas de possibilidades *fuzzy* gerados para as classes de solos pré-estabelecidas foram posteriormente reclassificados sendo associados à cada mapa de possibilidades uma seqüência ordenada de potências de 2, onde o valor “0” (zero) sempre corresponde a ausência de determinada classe (unidade simples de mapeamento) e os valores intermediários (quando existentes) referentes a associação de classes (associação de solos) ou zonas de transição entre classes de solo (**Figura 5**).

Os mapas de evidências *fuzzy* para as classes de solos quando confrontados com o mapa de solos obtido por meio convencional (**Figura 6**), apresentam semelhanças nos delineamentos individuais das unidades. As divergências de delineamentos observadas, parecem estar relacionadas principalmente a variações locais impostas pelo relevo (altitude e declividade) e ao conhecimento do especialista em levantamentos na área, que ao fornecer informações para a composição das classes de possibilidades, alimenta o sistema com conjuntos de dados e informações relacionados à transição de solos (discretização) e

vinculadas a pequenas áreas que ele conhece e que estão mais de acordo com a forma de distribuição da cobertura pedológica na natureza

Sabe-se que as unidades de mapeamento constituem um conjunto de áreas de solos, com posições e relações definidas na paisagem e que são caracterizadas em termos da(s) unidade(s) taxonômica(s) que a(s) compõe(m). Logo, as diferenças nos mapas de possibilidades para as classes de solo devem estar relacionadas a adição de dados de relevo relacionados a *pixel* de 30m, advindos dos mapas de altitude e declividade.

Tabela 1: Peso atribuído às classes dos mapas de fatores para as unidades de solo.

Legenda: **Geo** - geologia; **Alt** - altitude; **Dec**- declividade **Veg** - vegetação e **P Classe** - Peso da; **Ppf** - arenitos; **Ppdt** - arenitos com matriz caulinitica e argilosa; **Pppd** - argilitos e siltitos; **Ppfd** - arenitos, siltitos e argilitos; **Ptf/e** - microconglomerados, argilitos e siltitos; **Pte** - arenitos friáveis; **Ptl** - arenitos; **Qtl** - depósitos coluvionares; **Qal** - sedimentos areno-argilosos; **Qcob** - coberturas detriticas; **Qlat** - crosta quartzo-ferruginosa; **Sp** - savana parque; **Sa** - savana arbórea; **Sg** - savana gramíneo-lenhosa; **C** - floresta estacional decidual; **F** - floresta estacional semidecidual; **SN** - contato savana/floresta estacional e **rm** - refúgio ecológico montano

LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO								GLEISSOLO HÁPLICO							
Geo	P Classe	Alt (m)	P Classe	Dec (%)	P Classe	Veg	P Classe	Geo	P Classe	Alt (m)	P Classe	Dec (%)	P Classe	Veg	P Classe
Qcob	0,9	920-1000	0	0-3	0,8	Sas	0,8	Qcob	0,1	920-1000	0,9	0-3	0,8	Sas	0
Qlat	0,7	1000-1040	0	3-5	0,9	Saf	0,7	Qlat	0,6	1000-1040	0,9	3-5	0,5	Saf	0,5
Qal	0,2	1040-1100	0	5-8	0,8	Sgs	0,9	Qal	0,9	1040-1100	0,2	5-8	0,1	Sgs	0
Qtl	0	1100-1200	0,9	8-10	0,7	Sgf	0,5	Qtl	0	1100-1200	0,1	8-10	0,1	Sgf	0,5
Ppfd	0,6	1200-1250	0,8	10-20	0,3	Sps	0,9	Ppfd	0,5	1200-1250	0,1	10-20	0	Sps	0
Ppf	0,8	1250-1300	0,1	20-35	0,1	Spf	0,8	Ppf	0,4	1250-1300	0	20-35	0	Spf	0,1
Ppdt	0,8	1300-1400	0	35-45	0	Vss/C	0,7	Ppdt	0	1300-1400	0	35-45	0	Vss/C	0,1
Pppd	0,8	1400-1500	0	45-50	0	Vss/F	0,9	Pppd	0,1	1400-1500	0	45-50	0	Vss/F	0,5
Pte	0,2	1500-1600	0	50-100	0	SN	0,8	Pte	0	1500-1600	0	50-100	0	SN	0,6
Ptl	0	0	0	0	0	Rm	0	Ptl	0	0	0	0	0	Rm	0,1
Ptf/e	0	0	0	0	0	0	0	Ptf/e	0	0	0	0	0	0	0

ARGISSOLO ACINZENTADO								NEOSSOLO FLÚVICO							
Geo	P Classe	Alt (m)	P Classe	Dec (%)	P Classe	Veg	P Classe	Geo	P Classe	Alt (m)	P Classe	Dec (%)	M fuzzy	Veg	M fuzzy
Qcob	0,5	920-1000	0	0-3	0,1	Sas	0,5	Qcob	0,3	950-1000	0	0-3	0,2	Sas	0,1
Qlat	0,8	1000-1040	0	3-5	0,4	Saf	0,6	Qlat	0	1000-1040	0	3-5	0,1	Saf	0
Qal	0,3	1040-1100	0,7	5-8	0,7	Sgs	0,5	Qal	0	1040-1100	0,3	5-8	0,1	Sgs	0,1
Qtl	0	1100-1200	0,8	8-10	0,8	Sgf	0	Qtl	0	1100-1200	0,7	8-10	0,1	Sgf	0
Ppfd	0,6	1200-1250	0,6	10-20	0,9	Sps	0	Ppfd	0	1200-1250	0,6	10-20	0,5	Sps	0
Ppf	0,8	1250-1300	0,1	20-35	0,5	Spf	0,5	Ppf	0,5	1250-1300	0,5	20-35	0,4	Spf	0
Ppdt	0,6	1300-1400	0	35-45	0,1	Vss/C	0,7	Ppdt	0	1300-1400	0,2	35-45	0	Vss/C	0
Pppd	0,3	1400-1500	0	45-50	0	Vss/F	0,8	Pppd	0	1400-1500	0	45-50	0	Vss/F	0
Pte	0	1500-1600	0	50-100	0	SN	0,7	Pte	0	1500-1600	0	50-100	0	SN	0,1
Ptl	0	0	0	0	0	Rm	0	Ptl	0	0	0	0	0	Rm	0,1
Ptf/e	0	0	0	0	0	0	0	Ptf/e	0	0	0	0	0	0	0

CAMBISSOLO HÁPLICO								NEOSSOLO LITÓLICO							
Geo	P Classe	Alt (m)	P Classe	Dec (%)	P Classe	Veg	P Classe	Geo	P Classe	Alt (m)	P Classe	Dec (%)	M fuzzy	Veg	M fuzzy
Qcob	0,4	920-1000	0	0-3	0,05	Sas	0,1	Qcob	0,2	920-1000	0,1	0-3	0,3	Sas	0
Qlat	0,6	1000-1040	0	3-5	0,1	Saf	0,2	Qlat	0	1000-1040	0,3	3-5	0,1	Saf	0
Qal	0,2	1040-1100	0,7	5-8	0,3	Sgs	0,4	Qal	0,1	1040-1100	0,3	5-8	0,1	Sgs	0
Qtl	0,1	1100-1200	0,8	8-10	0,5	Sgf	0	Qtl	0,9	1100-1200	0,4	8-10	0,2	Sgf	0,5
Ppfd	0	1200-1250	0,1	10-20	0,7	Sps	0	Ppfd	0	1200-1250	0,5	10-20	0,4	Sps	0
Ppf	0,1	1250-1300	0,1	20-35	0,6	Spf	0,2	Ppf	0	1250-1300	0,8	20-35	0,8	Spf	0
Ppdt	0	1300-1400	0	35-45	0,1	Vss/C	0	Ppdt	0	1300-1400	1	35-45	0,9	Vss/C	0
Pppd	0	1400-1500	0	45-50	0	Vss/F	0,2	Pppd	0,2	1400-1500	1	45-50	1	Vss/F	0
Pte	0	1500-1600	0	50-100	0	SN	0,5	Pte	1	1500-1600	1	50-100	1	SN	0
Ptl	0	0	0	0	0	Rm	0	Ptl	1	0	0	0	0	Rm	0,9
Ptf/e	0	0	0	0	0	0	0	Ptf/e	0,9	0	0	0	0	0	0

ESPODOSSOLO HÚMICO								NEOSSOLO QUARTZARÊNICO							
Geo	P Classe	Alt (m)	P Classe	Dec (%)	P Classe	Veg	P Classe	Geologia	Geo	Alt (m)	P Classe	Dec (%)	M fuzzy	Veg	M fuzzy
Qcob	0,2	920-1000	0,1	0-3	0,9	Sas	0	Qcob	0	920-1000	0	0-3	0,4	Sas	0
Qlat	0	1000-1040	0,1	3-5	0,8	Saf	0	Qlat	0	1000-1040	0	3-5	0,4	Saf	0
Qal	0,1	1040-1100	0,1	5-8	0,4	Sgs	0	Qal	0	1040-1100	0	5-8	0,2	Sgs	0
Qtl	0	1100-1200	0,4	8-10	0	Sgf	0	Qtl	0	1100-1200	0,7	8-10	0,1	Sgf	0
Ppfd	0,1	1200-1250	0,4	10-20	0	Sps	0	Ppfd	0	1200-1250	0,3	10-20	0	Sps	0
Ppf	0,5	1250-1300	0,5	20-35	0	Spf	0	Ppf	0,9	1250-1300	0	20-35	0	Spf	0
Ppdt	0	1300-1400	0,5	35-45	0	Vss/C	0	Ppdt	0	1300-1400	0	35-45	0	Vss/C	0,5
Pppd	0	1400-1500	0,8	45-50	0	Vss/F	0,3	Pppd	0	1400-1500	0	45-50	0	Vss/F	0
Pte	0,5	1500-1600	0,8	50-100	0	SN	0,2	Pte	0,5	1500-1600	0,5	50-100	0	SN	0,1
Ptl	0,2	0	0	0	0	Rm	0,9	Ptl	0,4	0	0,4	0	0	Rm	0
Ptf/e	0,5	0	0	0	0	0	0	Ptf/e	0	0	0	0	0	0	0

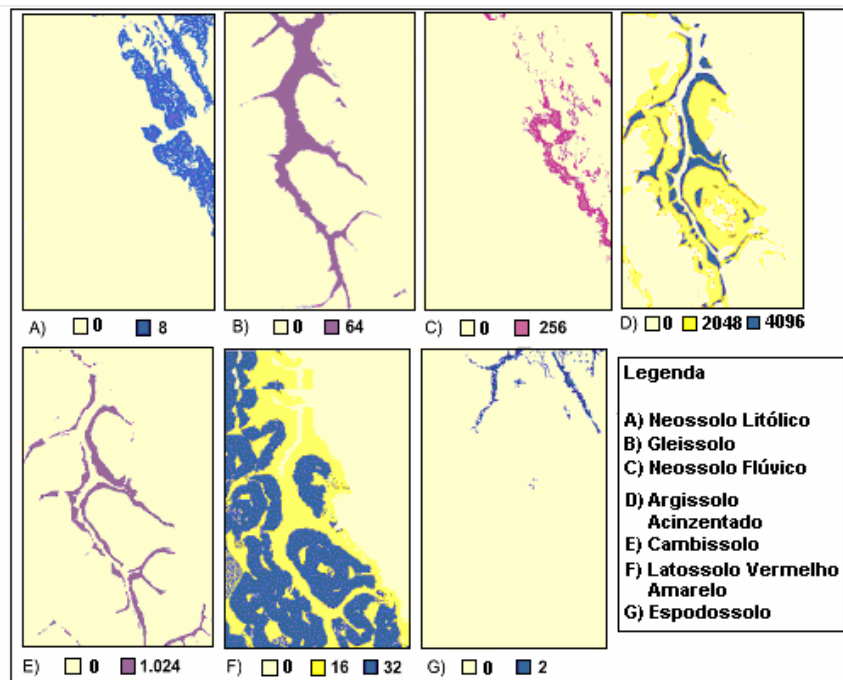


Figura 5: Mapa de evidências fuzzy para as classes de solo pré-definidas

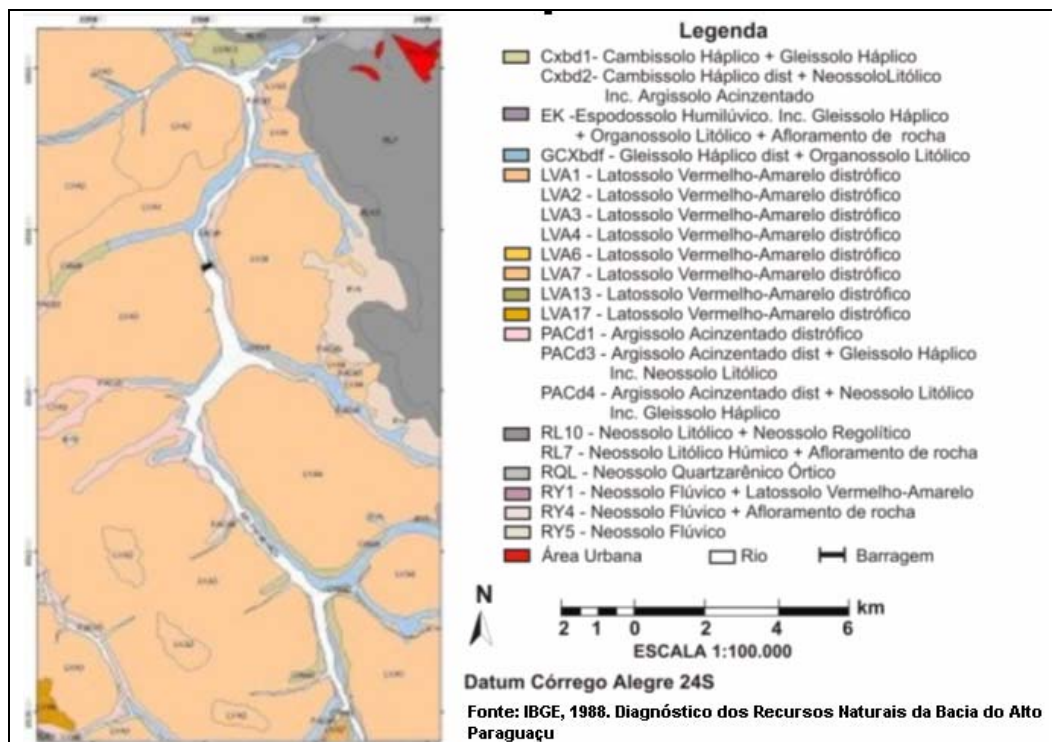


Figura 6: Mapa de solo convencional da região de Mucugê- BA

Conclusões

Pode-se constatar a partir deste trabalho que a metodologia permite:

1- fazer predição de unidades de solo a partir de dados auxiliares (relacionados aos fatores de formação do solo) pré-existentes e do conhecimento de especialistas de solos;

2- a metodologia é extremamente dependente do conhecimento de especialistas em solos da área a ser mapeada e como citado na literatura pela qualidade do banco de dados.

3- a modelagem sob inferência fuzzy demonstra ser potencialmente capaz de operacionalizar os trabalhos em levantamentos de solo

4- Os dados raster representados por muitos quadrados pequenos - *pixels*, permitem agregar informações inerentes a condições particulares da cobertura pedológica de uma região, possibilitando na modelagem SIG suas a representação de pequenas variações com boa resolução espacial;

Porém, para se definir a real aplicabilidade da metodologia é preciso confeccionar o mapa digital de solos e confrontar os resultados obtidos com os encontrados no mapa de solo convencional da área, verificando em campo a existência ou não das variações e das informações contidas no mapa convencional e no mapa a ser gerado por esta metodologia.

Referências

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**: Folha SD-24 Baía de Todos os Santos. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 4. ed., 1976. 594p.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Projeto Chapada Diamantina**: Parque Nacional da Chapada Diamantina-BA: Informações Básicas para a Gestão Territorial: Diagnóstico do Meio Físico e da Vegetação. Salvador, CPRM/IBAMA, 1994. 104 p.

Hudson, B.D. **The soil survey as paradigm-based science**. Soil Sci. Soc. Am. J., v. 56, p.836–841. 1992.

IBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diagnóstico dos Recursos Naturais da Bacia do Alto Paraguaçu: mapas de vegetação, solos na escala 1:100.000 Relatório interno. IBGE/Bahia. Salvador: IBGE, 1988.

IBGE, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de pedologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. 300 p. (Manuais técnicos em geociências, n. 4)

Jenny, H. E.W. **Hilgard and the birth of modern soil science**. Berkeley: Farallo Publication, 1961.

McBratney, A.B.; Mendonça Santos, M.L.; Minasny, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v.117, p.3-52, 2003.

Sawatzky, D. L.; Raines, G. L.; Bonham-Carter, G. F.; Looney, C. G. **ArcSDM2**: ArcMAP extension for spatial data modelling using weighets of evidence, logistic, regression, fuzzy logic and neural network analysis. 2004. Disponível em: <http://www.ntsर्व.gis,nrcan.gc.ca/sdm>. Acesso em: 05 abr. 2006.

SEI-Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Atributos Climáticos do Estado da Bahia. Salvador: SEI, 1998.

Tanscheit, R. Fundamentos da lógica Fuzzy e controle Fuzzy. Disponível em: http://www.ica.ele.puc-rio.br/cursos/download/SI-Logica_Control_Fuzzy.pdf. Acesso em: 05 abr. 2006.

Zhu, A.X ; Hudson, B; Burt, J.; Lubich, K.; Simonson, D. Soil Mapping Using GIS, Expert Knowledge, and Fuzzy Logic. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.65, p.885-894, sep/oct 2001

Zhu, A.X. A personal construct-based knowledge acquisition process for natural resource mapping using GIS. **Int. J. Geographic Information Science**, v.13, pp.119–141. 1999.