

## Operações de álgebra de mapas em sistema de informações geográficas para estimativa da aptidão agrícola das terras

Emília Hamada <sup>1</sup>  
Maria Leonor Lopes Assad <sup>2</sup>  
Danilla Alves Pereira <sup>1</sup>  
Raquel Stuchi Boschi <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Meio Ambiente  
Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil  
emilia@cnpma.embrapa.br; danilla@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de São Carlos - UFSCar  
Rod. Anhanguera, km 174 - 13600-970 – Araras - SP, Brasil  
{assad, raboschi}@cca.ufscar.br

**Abstract.** The land suitability evaluation is used to establish land zonings for agriculture. Geographic information systems (GIS) are useful for integrating different attributes necessary to define apt and not apt lands. In tropical environment, soil fertility and water availability for cultures are very important in agricultural systems management. The present study had as main objective to describe procedures to define land suitability using GIS, soils maps, and data soils profiles data, emphasizing procedures to define fertility deficiency and water deficiency. Numerical terrain models (NTM) had been construct for cation exchange capacity, basis saturation, clay content and silt+clay content using kriging (geostatistical interpolator), and for aluminum saturation using the inverse-square-distance. Boolean operations for handling geographic fields (thematic maps and NTM) to produce information plans are described.

**Palavras-chave:** GIS, land suitability, soil, SIG, aptidão agrícola, solos.

### 1. Introdução

O zoneamento de terras para fins de planejamento ambiental contribui para a definição de práticas mitigadoras dos impactos causados no ambiente devido ao uso intensivo dos recursos naturais disponíveis. Sua elaboração exige a integração de um grande número de variáveis que se encontram muitas vezes sob suportes distintos (mapas, planilhas de dados, textos). Além disso, dados de solos utilizados nos zoneamentos de terras possuem estruturas distintas e encontram-se disponíveis em densidades diferentes para uma mesma área alvo.

Conforme salienta Wilding (1985), o mapeamento considerado convencional constitui um exercício de modelagem que envolve métodos científicos e elementos de arte, no qual a apreciação de campo feita pelo pedólogo abrange o desenvolvimento de um modelo mental que relaciona o solo com a paisagem. Nos mapeamentos convencionais, os processos inferenciais e classificatórios ocorrem simultaneamente e considera-se que as propriedades do solo não variam (ou variam pouco) dentro de cada unidade de mapeamento. Supõe-se que um (ou poucos) ponto(s) amostral(is) podem representar toda a área de abrangência de uma determinada classe e são utilizadas, como base para mapeamento, as relações entre atributos de solo e características ambientais mais facilmente observáveis. Essas relações são derivadas de modelos mentais qualitativos e complexos, desenvolvidos pelo pedólogo durante o levantamento. Entretanto, modelos mentais são raramente explícitos e os usuários de levantamentos de solos muitas vezes encontram dificuldades em separar evidências de interpretações (Hudson, 1992; Hewitt, 1993; McKenzie & Ryan, 1999).

O sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras foi criado no Brasil no início da década de 60 e permite avaliar as terras conforme o nível de manejo. O sistema considera

também, a possibilidade de reduzir as limitações do solo a partir da adoção de técnicas e de capital, segundo graus de viabilidade compatíveis com o nível de manejo. Na atual versão, o sistema permite a estimativa das qualidades do ecossistema a partir de cinco parâmetros - nutrientes, água, oxigênio, mecanização e erosão – e as terras são classificadas em quatro classes de aptidão (boa, regular, restrita e inapta), segundo três níveis de manejo - nível tecnológico baixo (nível A), nível tecnológico médio (nível B) e nível tecnológico alto (nível C) - e quatro tipos de utilização - lavoura, pastagem plantada, silvicultura e pastagem natural (Ramalho Filho e Beek, 1995).

O objetivo do presente trabalho é apresentar a estrutura de um sistema de informações geográficas (SIG), elaborado com dados de solos e de relevo para a definição da aptidão agrícola de terras no nível de manejo tecnológico alto, detalhando os diferentes passos da metodologia, e em particular as operações de álgebra de mapas para estimativa da deficiência de fertilidade e da deficiência de água, de modo a facilitar sua aplicação por parte do usuário não especializado.

## 2. Material e Métodos

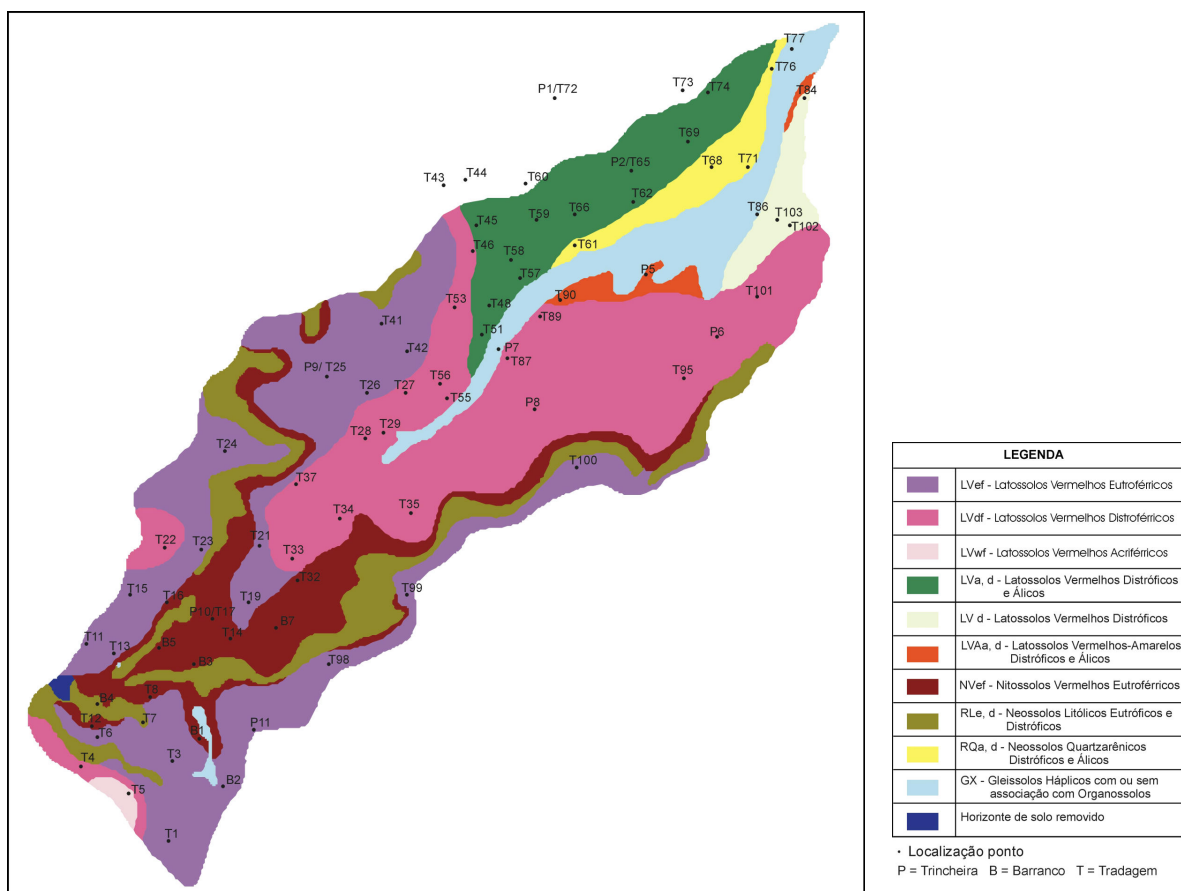
A área de estudo é a microbacia hidrográfica do Córrego Espreado, Ribeirão Preto - SP, que ocupa uma área de aproximadamente 4.131 ha, onde se cultiva predominantemente cana-de-açúcar. São encontradas também pequenas áreas de matas ciliares marginais aos cursos d'água e campos higrófilos nas áreas mal drenadas das planícies de inundação.

O projeto do banco de dados foi estruturado no Sistema de Informação Geográfica (SIG) Idrisi Kilimanjaro, com sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), com limites da área de 213.002 m e 224.498 m e 7.642.943 m e 7.654.502 m (coordenadas x e y, respectivamente), Datum 23 S e resolução espacial 5 x 5 m.

Foram utilizadas as seguintes informações como dados de entrada do SIG: cartas topográficas, na escala de 1:10.000, elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC): Fazenda Santa Rita do Picadão (SF-23-V-C-I-2-SO-E), Fazenda Santa Maria (SF-23-V-C-I-2-SO-F), Fazenda São Tomáz (SF-23-V-C-I-4-NE-B) e Córrego do Espreado (SF-23-V-C-I-4-NO-A) e o mapa de solos da microbacia, na escala de 1:25.000 (Miklós e Gomes, 1996).

As informações das cartas planialtimétricas foram capturadas utilizando mesa digitalizadora e o software Cartalinx, onde também foi realizado o mosaico das quatro cartas. Desta forma, foram obtidas as curvas de nível e o limite da microbacia estudada. A informação de curva de nível foi processada no software Surfer 8.02 para a obtenção do modelo numérico de terreno (MNT), utilizando o método de interpolação de triangulação linear. Em seguida, a informação foi importada no SIG em formato vetorial e depois convertida no formato matricial ou raster. Posteriormente, esse resultado foi recortado para os limites da microbacia e foi estabelecido o mapa de declividade com seis classes (0 a 3%, 3 a 8%, 8 a 13%, 13 a 20%, 20 a 45% e >45%), conforme intervalos definidos por Ramalho Filho e Beek (1994).

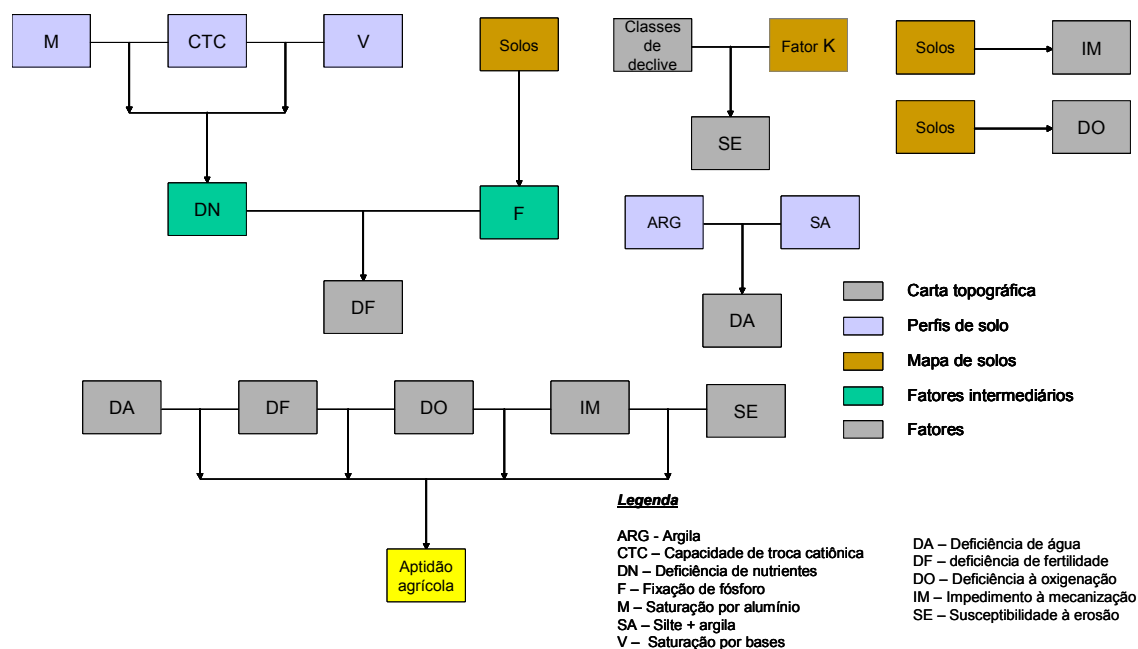
O mapa de solos na escala de 1:25000, obtido do relatório de Miklós e Gomes (1996), foi escaneado, introduzido no SIG e georreferenciado, tendo-se como referência o mapa de curva de nível e o limite da microbacia. Essa imagem georreferenciada foi trabalhada no software Cartalinx, criando-se dois planos de informação (PI), um com os polígonos representando as classes de solos e outro com os pontos de amostragem, criando-se uma tabela de valores de atributos físicos e químicos, no total de 76 pontos. Esses atributos foram colhidos em dez trincheiras, dois barrancos e 64 tradagens, como apresentado na **Figura 1**. O plano de informação de classes de solo foi transformado de vetor para raster no SIG.



**Figura 1.** Localização dos pontos de amostragem dos solos da microbacia hidrográfica do córrego do Espreado, Ribeirão Preto-SP.

Foram criados planos de informação (PI) representativos dos atributos argila (ARG), silte+argila (SA), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V) e saturação por alumínio (M), com o objetivo de automatizar os procedimentos para elaboração dos PI deficiência de fertilidade (DF) e deficiência de água (DA). Considerando os valores determinados na profundidade de 60 cm, foram criados MNT utilizando o método de krigagem ordinária, exceto para M, quando foi adotado o método do inverso do quadrado da distância. Por reclassificação de polígonos do mapa de solos foram obtidos os PI fixação de fósforo (F) e fator K indicador da erodibilidade do solo (**Figura 2**).

A partir de operações de álgebra de mapas no SIG, foram estabelecidos PI (DF), PI (DA), PI (DO), PI impedimento à mecanização (IM) e suscetibilidade à erosão (SE) para posterior obtenção do mapa de aptidão agrícola das terras para a microbacia estudada, conforme metodologia proposta por Ramalho Filho e Beek (1995). A seqüência de procedimentos realizados encontra-se ilustrada na **Figura 2** e as operações para obtenção dos PI (DF) e PI (DA), detalhadas nas **Tabelas 1, 2 e 3**, foram estabelecidas aplicando-se a metodologia proposta por Ramalho Filho e Beek (1995), recomendações de Oliveira e Berg (1985), Oliveira e Sosa (1995) e Pereira e Lombradi Neto (2004).



**Figura 2:** Fluxograma de operações realizadas em ambiente de SIG para obtenção da aptidão agrícola das terras da microbacia do córrego Espreado, Ribeirão Preto-SP.

**Tabela 1:** Operações lógicas de álgebra booleana para obtenção do PI deficiência de nutrientes (DN), estabelecido a partir dos PI saturação por alumínio (M), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V).

Classes de DN	Operações
Nula	Se $\{M \leq 10 \text{ e } CTC > 50 \text{ e } V > 50\}$
Ligeira	Se $\{V > 50 \text{ e } [(10 < M \leq 30) \text{ ou } (M \leq 10 \text{ e } 30 > CTC \geq 50)]\}$
Moderada	Se $\{M \leq 10 \text{ e } V > 50 \text{ e } CTC \leq 30\}$ ou $\{M \leq 10 \text{ e } 25 < V \leq 50 \text{ e } CTC > 30\}$ ou $\{10 < M \leq 30 \text{ e } 25 < V \leq 50\}$ ou $\{30 < M \leq 50 \text{ e } V > 25 \text{ e } CTC > 50\}$
Forte	Se $\{50 < M \leq 70 \text{ e } 10 < V \leq 25 \text{ e } CTC > 30\}$ ou $\{50 < M \leq 70 \text{ e } V > 25\}$ ou $\{30 < M \leq 50 \text{ e } V > 10 \text{ e } 30 < CTC \leq 50\}$ ou $\{30 < M \leq 50 \text{ e } 10 < V \leq 25 \text{ e } CTC > 50\}$ ou $\{10 < M \leq 30 \text{ e } 10 < V \leq 25\}$ ou $\{M \leq 10\% \text{ e } [(10 < V \leq 25 \text{ e } CTC > 30) \text{ ou } (25 < V \leq 50 \text{ e } CTC \leq 30)]\}$
Muito Forte	Se $\{M > 70\}$ ou $\{50 < M \leq 70 \text{ e } [(V > 10) \text{ ou } (10 < V \leq 25 \text{ e } CTC \leq 30)]\}$ ou $\{30 < M \leq 50 \text{ e } [(V \leq 10) \text{ ou } (CTC \leq 30 \text{ e } V > 10)]\}$ ou $\{M \leq 10 \text{ e } [(V \leq 10) \text{ ou } (10 < V \leq 25 \text{ e } CTC \leq 30)]\}$

Onde **M** é o valor da saturação por alumínio, expresso em %; **CTC** é o valor da capacidade de troca catiônica, expresso em  $\text{cmol}/\text{dm}^3$ ; e **V** é o valor da saturação por bases, expresso em %.

**Tabela 2:** Operações lógicas de álgebra booleana para obtenção do PI deficiência de fertilidade (DF), estabelecido a partir dos PI deficiência de nutrientes (DN), e PI fixação de fósforo (F).

Classes de DF	Operações
Nula	Se {DN=0 e F =0}
Ligeira	Se {DN=0 e [F=1 ou F=2]} ou {DN=1 e [F=0 ou F=1 ou F=2]}
Moderada	Se {DN=0 e [F=3 ou F=4]} ou {DN=1 e [F=3 ou F=4]} ou {DN=2}
Forte	Se {DN=3}
Muito Forte	Se {DN=4}

Onde **F** é o grau de fixação de fósforo, expresso nas categorias 0 = nulo, 1 = ligeiro, 2 = moderado, 3 = forte e 4= muitoforte; **DN** é o grau de disponibilidade de nutrientes, expresso nas categorias 0 = nulo, 1 = ligeiro, 2 = moderado, 3 = forte e 4= muito forte.

**Tabela 3:** Operações lógicas de álgebra booleana para obtenção do PI deficiência de água (DA), estabelecido a partir dos PI argila (ARG), e PI silte+argila (SA).

Classes de DF	Operações
Nula	Se {250<SA<300} ou {ARG>150 e [150<SA≤250 ou 600<SA≤750]} ou {150<ARG≤600 e 300<SA≤600}
Ligeira	Se {ARG≤150 e 150<SA≤250} ou {ARG>150 e 750<SA≤850}
Moderada	Se {ARG≤150 e 100<SA≤150} ou {ARG>150 e 850<SA≤900}
Forte	Se {ARG≤150 e 50<SA≤100} ou {ARG>150 e 900<SA≤950}
Muito Forte	Se {ARG≤150 e SA≤50} ou {ARG>150 e SA>950}

Onde **ARG** é teor de argila, expresso em g/kg; **SA** é a soma dos teores de silte e de argila, expressa em g/kg.

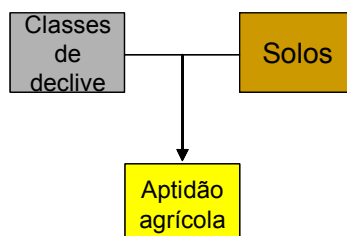
### 3. Resultados e Discussão

A avaliação da aptidão agrícola das terras é feita em geral a partir de atributos de solos, reclassificando-se cada unidade de mapeamento representada no mapa de solos. Nestes casos, tem-se como fluxograma de trabalho as etapas indicadas na **Figura 3**. Embora muitas vezes realizado em ambiente de SIG (Formaggio et al., 1992; Lopes-Assad, 1995; Hamada et al., 2006), envolvem interpretações realizadas por especialistas em solos, que estabelecem uma classificação baseada em critérios qualitativos. Usam-se MNT para refinar a compatimentação do relevo e melhor definir a suscetibilidade à erosão (Fiorio et al., 1999; Pedron et al., 2006).

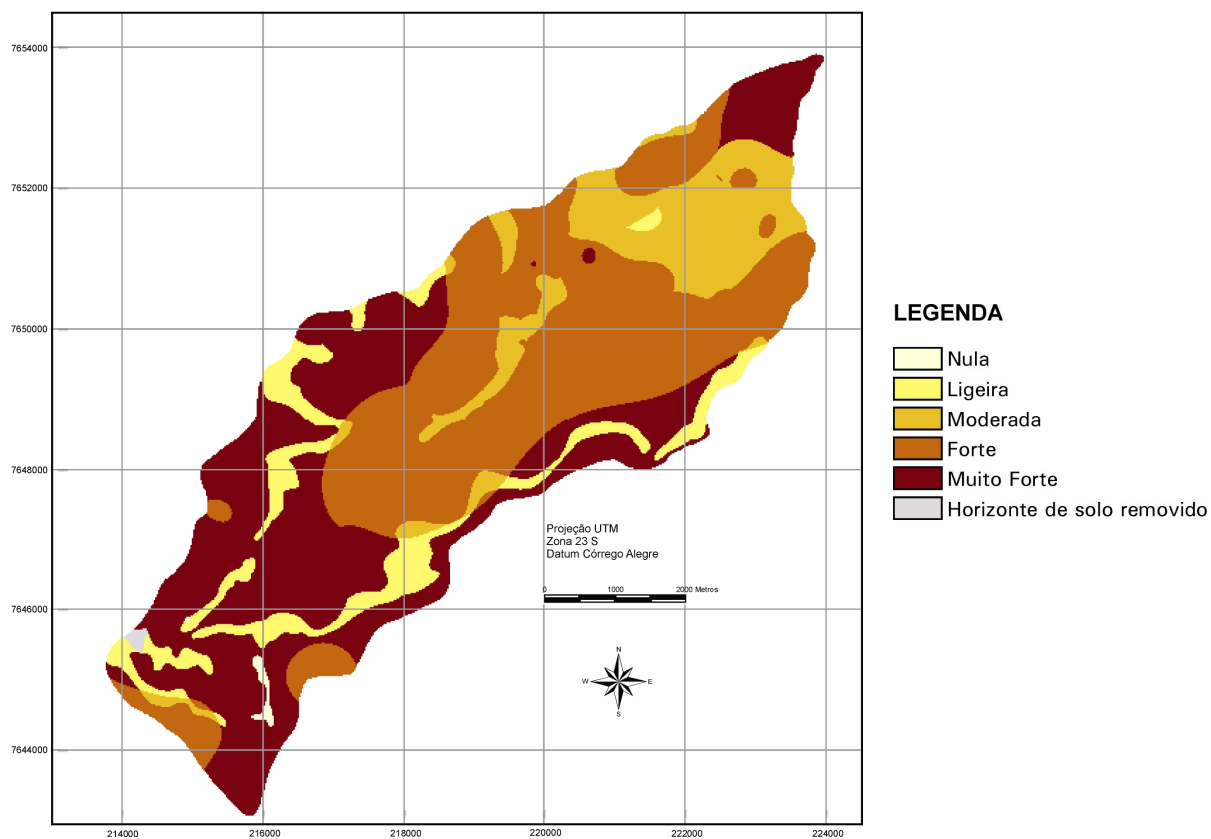
O PI (DF), apresentado na **Figura 4**, foi estabelecido em duas etapas. Primeiramente foi elaborado o PI (DN) a partir de operações de álgebra de mapas integrando os PI (CTC), PI (V) e PI (M) que representam, respectivamente, a capacidade de troca catiônica dos solos, a porcentagem de saturação por bases e a porcentagem de saturação por alumínio (**Tabela 1**). Esses atributos isoladamente são importantes indicadores da fertilidade do solo. Em seguida, o PI (DN) foi integrado ao PI (F), a partir de operações lógicas de álgebra booleana (**Tabela**

2). Desta forma, foi possível estabelecer uma indicação mais precisa da limitação do solo em termos de fertilidade e definir operações a partir de dados de perfis de solos.

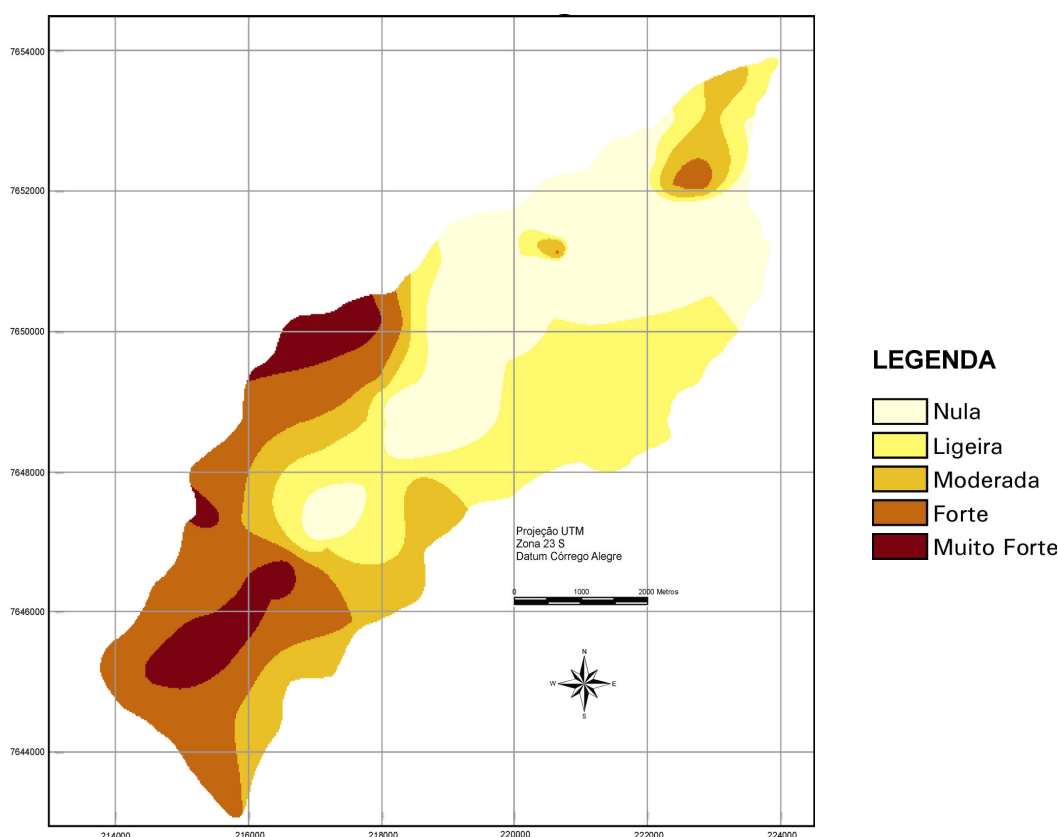
O PI (DA), apresentado na **Figura 5**, foi estabelecido a partir de operações de álgebra de mapas integrando os PI (ARG) e PI (SA), apresentado na **Tabela 3**, a partir de proposta de Pereira e Lombardi Neto (2004).



**Figura 3:** Fluxograma de operações realizadas em ambiente de SIG para obtenção da aptidão agrícola das terras a partir da interpretação de mapa de solos.



**Figura 4:** Plano de informação de deficiência de fertilidade – PI (DF), obtido a partir de atributos de solos da microbacia do córrego Espraiado, Ribeirão Preto-SP.



**Figura 5:** Plano de informação de deficiência de água – PI (DA), obtido a partir de atributos de solos da microbacia do córrego Espraiado, Ribeirão Preto-SP.

#### 4. Conclusões

Embora as operações no ambiente de SIG sejam mais numerosas, o procedimento de espacializar atributos importantes para a estimativa da aptidão agrícola das terras e a definição de intervalos numéricos para as diferentes classes pode facilitar a metodologia de zoneamento de terras aptas para agricultura acessível ao usuário não especializado.

#### Referências

- Fiorio, P. R., Dematte, J. A. M., Melem Júnior, N.J. et al. Land use potential in the ceveiro stream watershed of Piracicaba. *Scientia Agricola*, v. 56, n. 4, suppl, p. 1273-1280, 1999.
- Formaggio, A. R.; Alves, D. S.; Epiphanyo, J.C.N. Sistemas de Informações Geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 16, p. 249-256, 1992.
- Hamada, E.; Lopes Assad, M. L. Aptidão agrícola na área de recarga do aquífero guarani: caso da microbacia hidrográfica do Córrego do Espraiado, Ribeirão Preto SP. *Revista Engenharia Ambiental*, v.3, p. 62-71, 2006.
- Hewitt, A. E. Predictive modelling in soil survey. *Soils and Fertilizers*, v. 3, p. 305-315, 1993.
- Hudson, B. D. 1992. The soil survey as a paradigm-based science. *Soil Science Society American Journal*, v. 56, p. 836-841, 1992.
- Lopes-Assad, M. L. Uso de sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola de terras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 19, n.1, p. 133-9, 1995.

McKenzie, N. J., Ryan, P. J. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. **Geoderma**, v. 89, p. 67– 94, 1999.

Miklós, A. A. W.; Gomes, M. A .F. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia hidrográfica do Córrego do Espirado, Ribeirão Preto – SP**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1996. 48 p. + anexos. Relatório de projeto.

Oliveira, J. B.de; Berg, M. van den. **Aptidão agrícola das terras do Estado de São Paulo**: quadrícula de Araras. II. Memorial descritivo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1985. 60 p. (IAC. Boletim Técnico, 102).

Oliveira, J. B. de; Sosa, S. M. B. **Sistema de clasificación de la aptitud agroecológica de la tierra (S.C.A.A.T.) para la región oriental del Paraguay (1a aproximación)**. Assunción, Paraguay: UMA: FCA: CIF; GTZ, 1995. 77 p.

Pedron, F. A.; Poelking, E. L.; Dalmolin, R. S. D.; Azevedo, A. C.; Klamt, E. A aptidão de uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine – RS. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, jan-fev, 2006.

Pereira, L.C.; Lombardi Neto, F. **Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 43).

Ramalho Filho, A.; Beek, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPMS, 1994. 65 p.

Wilding, L. P. Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys. In: Nielsen, D.R.; Bouma, J. (Eds.). **Soil spatial variability**. International Society of Soil Science and Soil Science Society of America Workshop. Las Vegas, 1984. Proceedings. Wageningen.