

## Capítulo 2

---

# **Geoprocessamento como ferramenta integradora para o planejamento do uso agrícola das terras e a manutenção da qualidade das águas subterrâneas nas áreas de afloramento do Aquífero Guarani**

*Emilia Hamada*

*María Leonor Ribeiro Casimiro Lopes Assad*

*João dos Santos Vila da Silva*

*Marco Antonio Ferreira Gomes*

## Introdução

O termo geoprocessamento, segundo Câmara e Medeiros (1998), denota uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas, ao passo que sistemas de informações geográficas (SIGs) são os instrumentos computacionais do geoprocessamento.

Segundo Silva (1999), para ser considerado um SIG, o sistema deve usar o meio digital (tornando imprescindível o uso intensivo da informática), uma base integrada de dados geo-referenciados, com controle de erro, e conter funções de análises de álgebra cumulativa (operações soma, subtração, multiplicação, divisão, etc.) e não cumulativa (operações lógicas) de dados.

A crescente preocupação com as questões ambientais tem tornado cada vez mais usual a utilização da tecnologia de SIGs em seus estudos e nas soluções dos problemas. As questões ambientais envolvem geralmente interações complexas entre os recursos naturais e a sociedade, requerendo uma abordagem integrada do desenvolvimento e gerenciamento dos recursos naturais, de forma a reduzir os conflitos ao mínimo e vincular o desenvolvimento social e econômico à proteção e melhoria do meio ambiente, conforme cita a Agenda 21 (BRASIL, 1999). Nesse sentido, o SIG é bastante útil nos estudos relacionados às questões ambientais, apresentando como vantagens mais comuns de sua utilização os dados que, uma vez inseridos no sistema, são manipulados com rapidez, permitindo análises (especialização e integração) de forma mais eficiente e o emprego de ferramentas matemáticas e estatísticas sofisticadas, resultando em produtos com menor subjetividade do que se fossem realizadas de forma manual. Além disso, o SIG pode integrar grandes bancos de dados, de diferentes setores, facilitar a disponibilidade, a atualização dos dados e a produção de mapas com rapidez, permitindo também a simulação de diferentes cenários.

No SIG ocorrem, em geral, os processos de entrada de dados, gerenciamento de dados, armazenamento e análise de dados. A partir daí são geradas informações que, em sua forma mais usual, são produtos cartográficos (cartas, gráficos e tabelas), que auxiliam ou dão subsídio aos usuários para uma tomada de decisão. Com o consenso na decisão



escolhida, ela é então colocada em ação, agindo sobre o mundo real e eventualmente modificando-o, necessitando, então, de novas aquisições de dados de uma realidade diferente e assim por diante.

A qualidade de dados e erros são assuntos que merecem uma consideração especial em SIG porque eles se relacionam ao dado espacial no formato digital e como esse é armazenado no computador. Conforme Miranda (2005), incertezas e erros são conceitos intrínsecos ao dado espacial e um entendimento do conceito de qualidade é muito importante, tornando-se necessária a identificação dos dados (diferentes fontes de dados) de acordo com seu grau de qualidade. Ainda segundo esse autor, a escala do mapa e sua conseqüente resolução desempenham papel importante na qualidade dos dados, sendo importante que a escala do mapa fonte combine com a resolução requerida pelo estudo que se deverá desenvolver.

Utilizar um SIG envolve aprender a pensar – aprender a pensar sobre os padrões, sobre o espaço e sobre os processos que agem no espaço. À medida que se aprende sobre os procedimentos específicos, eles freqüentemente serão encontrados no contexto das aplicações específicas e geralmente serão designados por nomes que sugerem essas aplicações típicas. Porém, deve-se resistir à tentação de categorizar essas rotinas. A maioria dos procedimentos tem aplicações muito mais gerais e pode ser utilizada de muitos modos inesperados e inovadores.

Exemplos com geoprocessamento na agricultura são apresentados por Assad e Sano (1998), com aplicações no contexto de fazenda experimental, de microbacia hidrográfica, municipal e de outras relacionadas ao ambiente rural. Já Mendes e Cirilo (2001) apresentam exemplos de aplicação de geoprocessamento em recursos hídricos e, em Silva e Zaidan (2004), são reunidos exemplos práticos do uso da tecnologia na análise ambiental, com enfoques na proteção ambiental, diagnose de áreas municipais e diagnósticos nacionais: Embora essas três publicações se destinem às diferentes áreas de aplicação, muitos desses exemplos utilizam bases temáticas comuns de informações de recursos naturais, evidenciando o aspecto de integração e da multidisciplinaridade. Esses aspectos são também característicos nos estudos de aplicação de geoprocessamento na gestão ambiental, como é o presente caso das áreas de afloramento do Aquífero Guarani ocupadas com atividades agrícolas.

O Aquífero Guarani encontra-se confinado em 90 % de sua superfície, e os 10 % restantes têm característica de aquífero livre e constituem sua principal área de recarga direta (CAMPOS, 2000). Tanto as faixas de recarga direta ou de afloramento do pacote arenoso quanto as áreas de recarga lenta são regiões de infiltração natural das águas, com elevada vulnerabilidade, sendo imperativo o controle das fontes de poluição aí existentes para que o aquífero possa ser utilizado ao longo das gerações (ROCHA, 1996). Nas áreas de recarga direta do Guarani ocorrem afloramentos de arenito, associados aos seus produtos de alteração. No Brasil, nas áreas de recarga direta estão presentes diferentes sistemas de produção agrícola (arroz irrigado, cana-de-açúcar, milho, soja, entre outros). Alguns desses sistemas são de agricultura intensiva, que utiliza grande quantidade de insumos. Dessa forma, é necessário o estudo da adequação do uso agrícola das terras, analisando de forma integrada a vulnerabilidade dos recursos naturais, de modo a subsidiar a gestão ambiental das áreas críticas quanto aos riscos de contaminação do aquífero.

Neste capítulo são apresentados dois estudos de caso, demonstrando a utilização do geoprocessamento como ferramenta integradora para o planejamento do uso agrícola das terras e a manutenção da qualidade das águas subterrâneas das áreas do Aquífero Guarani. Esses são resultados de dois projetos de pesquisa coordenados pela Embrapa Meio Ambiente, com a participação de diversas instituições parceiras.

## **Estudo da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Espriado, Ribeirão Preto, SP**

Uma abordagem integrada do planejamento e do gerenciamento dos recursos terrestres enfoca, entre outros aspectos, a necessidade de facilitar a alocação de terras a usos que proporcionem os maiores benefícios de forma sustentável, com a participação ativa nesse processo de tomada de decisão de todas as pessoas ou grupos afetados, por meio da aplicação de instrumentos de planejamento e gerenciamento (BRASIL, 1999).

Este estudo aborda alguns resultados do subprojeto Estabelecimento da Capacidade de Suporte das Terras (Sistema Embrapa de Gestão – SEG Embrapa 02.02.2.12.00,04) e do projeto Proposta de Ordenamento



Agroambiental das Áreas de Recarga do Aquífero Guarani: estudo de caso nos estados de São Paulo e Rio Grande do Sul. Como ponto de partida no planejamento, o estudo objetivou a determinação da aptidão agrícola da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Espriado, Ribeirão Preto, SP, compatibilizada com a exploração racional das águas. Essa avaliação das terras foi feita considerando o sistema de produção agrícola intensivo predominante na microbacia, ajustado para a vulnerabilidade das áreas de recarga do aquífero e para a metodologia de emprego de SIG.

A área de estudo possui aproximadamente 4.131 ha, com ocupação predominante da lavoura de cana-de-açúcar. São encontradas também pequenas áreas de matas ciliares marginais aos cursos d'água e campos higrofilos nas áreas mal drenadas das planícies de inundação.

O projeto do banco de dados foi estruturado no Sistema de Informação Geográfica (SIG) Idrisi 32, com sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), 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 m x 5 m.

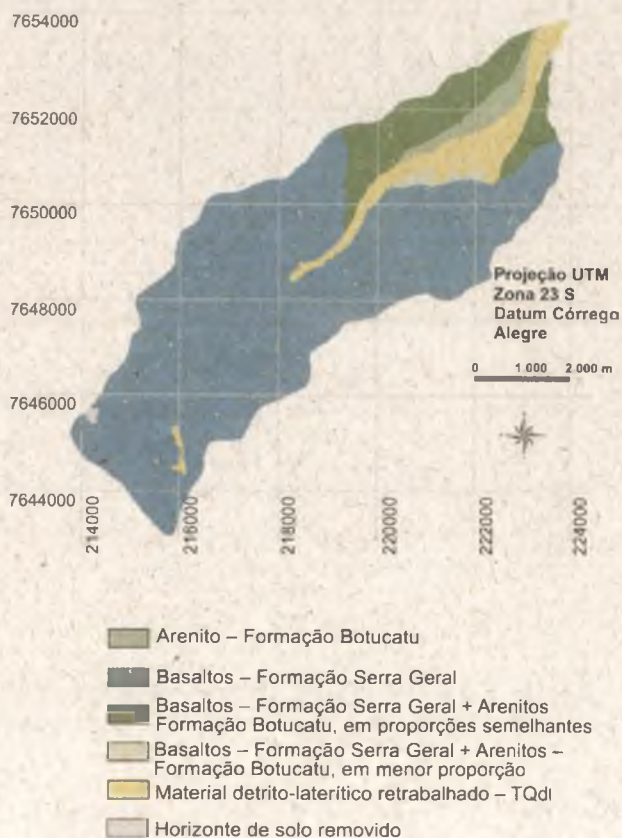
Foram utilizadas as seguintes informações como dados de entrada do SIG: cartas topográficas, na escala de 1:10.000, elaboradas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC) – Fazenda Santa Rita do Picadão (SF-23-V-C-I-2-SO-E), Fazenda Santa Maria (SF-23-V-C-I-2-SO-F), Fazenda São Tomás (SF-23-V-C-I-4-NE-B) e Córrego do Espriado (SF-23-V-C-I-4-NO-A) – o mapa de solos da microbacia na escala de 1:25.000 (MIKLÓS; GOMES, 1996) e o mapa de geologia na escala de 1:25.000 (IPT, 1994).

A entrada dos dados foi realizada com mesa digitalizadora e o software Cartalinx. O Modelo de Elevação Digital (MED) foi obtido pelo método de interpolação de triangulação linear, utilizando o software Surfer 8.02. Posteriormente, foi obtido o mapa de declividade em percentagem e classificado, a fim de se obter o mapa de classes de declive.

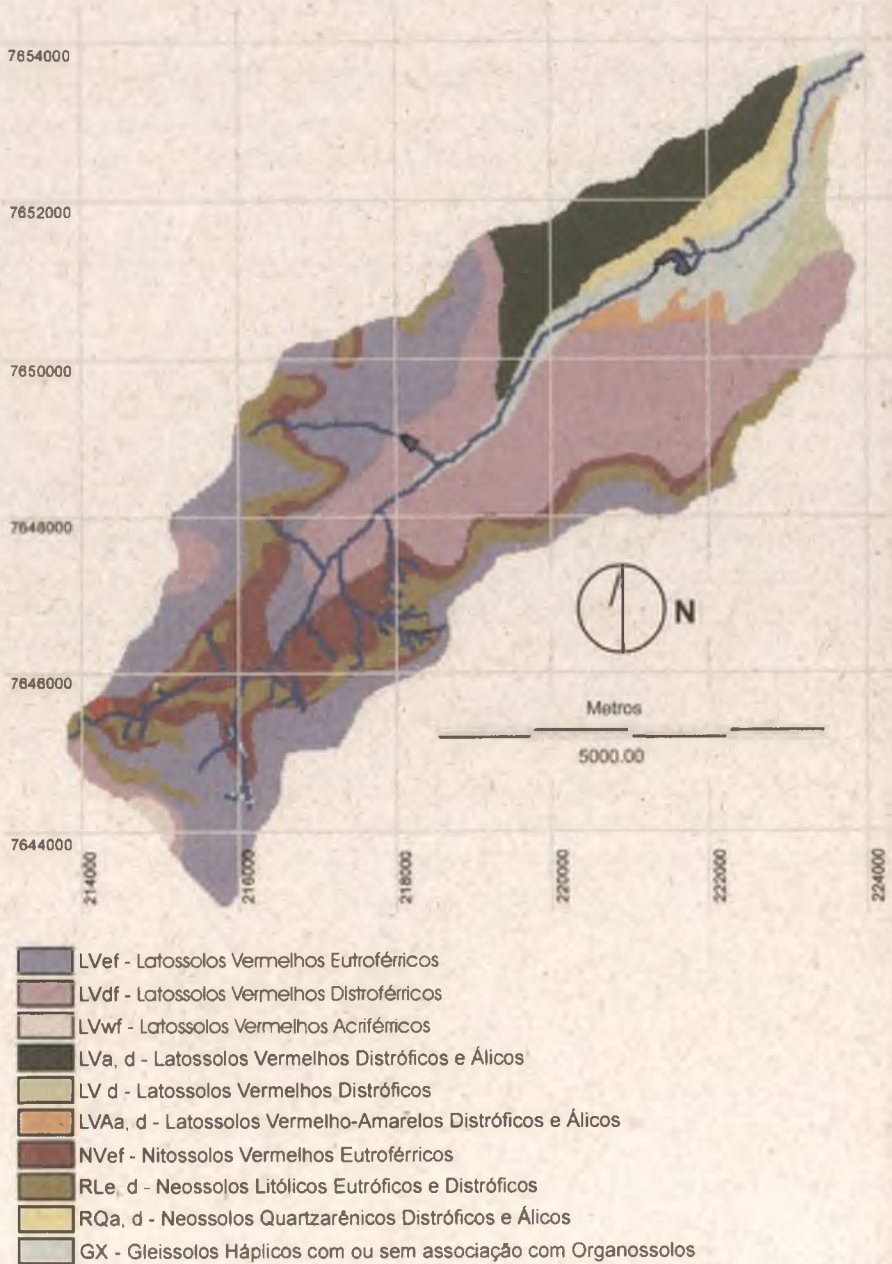
A avaliação da aptidão agrícola das terras foi feita com base no sistema proposto por Ramalho Filho e Beek (1995), considerando o sistema de produção agrícola intensivo predominante na microbacia, ajustado para a vulnerabilidade das áreas de recarga do aquífero e a metodologia de emprego de SIG proposta por Assad et al. (1998).

Na Microbacia do Córrego do Espraido predominam áreas de relevo plano a suave ondulado (0 % a 8 %), seguidas por áreas de relevo ondulado (8 % a 20 %). Predomina o material de origem de basaltos, com 76 % da área, seguida de basaltos e arenitos, em proporções semelhantes (12 %) (Fig. 1). Nessas áreas predominam Latossolos e Nitossolos (Fig. 2), que possuem aptidão boa ou regular para culturas em sistemas de produção intensivos (Fig. 3). Constata-se também a presença de Neossolos Quartzarênicos, que ocorrem em pequena faixa (123 ha). Esses solos desempenham um importante papel na recarga direta do aquífero devido à sua elevada permeabilidade. Entretanto, eles apresentam teor de argila muito baixo (< 15 %), o que lhes confere reduzida capacidade de retenção de cátions e ânions. Portanto, o uso agrícola intensivo desses solos deve ser restrito (Fig. 3), pois aumenta a vulnerabilidade do aquífero.

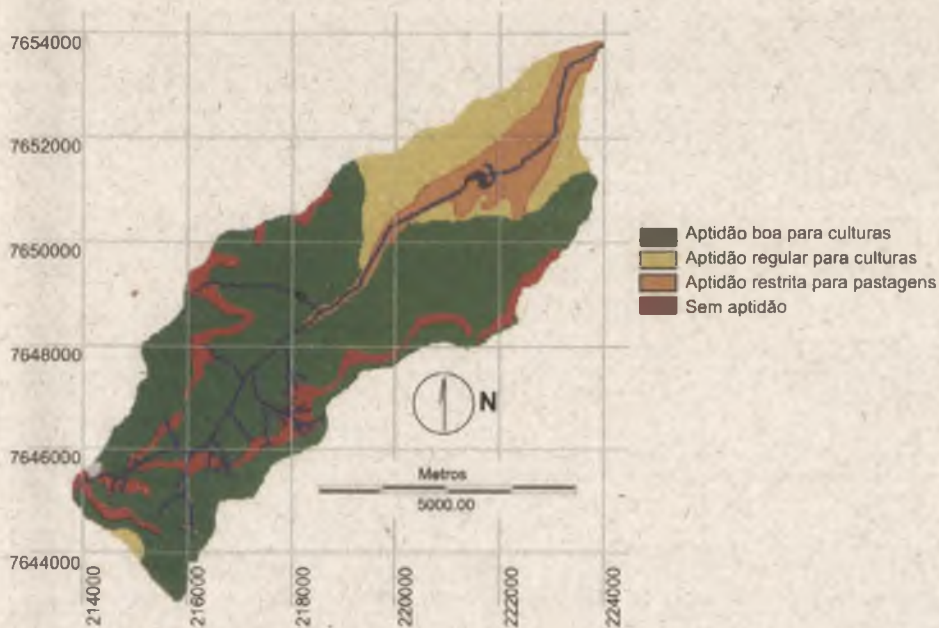
**Fig. 1.** Geologia da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Espraido, Ribeirão Preto, SP.







**Fig. 2.** Solos da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Espriado, Ribeirão Preto, SP.



**Fig. 3.** Aptidão agrícola da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Espraiado, Ribeirão Preto, SP.

A avaliação de aptidão agrícola de terras, em particular na área de abrangência do Aquífero Guarani, deve considerar tanto as potencialidades do solo, quanto o impacto que o uso agrícola pode causar na quantidade e na qualidade da água infiltrada.

### **Estudo na região das nascentes do Rio Araguaia, MT/GO**

Neste item serão apresentados alguns resultados do subprojeto Desenvolvimento de Critérios Agroecológicos para a tomada de decisão na ocupação racional de áreas agrícolas (Embrapa – Prodetab SEG 06.92.0.11.45.01), do projeto Manejo Agroecológico das Áreas de Recarga do Aquífero Guarani na região das nascentes do Rio Araguaia, GO/MT. Esses são resultados parciais, mas servem como exemplo de estruturação do trabalho com o emprego da ferramenta SIG.



Dentre os objetivos deste trabalho estão a determinação da aptidão agrícola da área de recarga do Aquífero Guarani na região das nascentes do Rio Araguaia, considerando a manutenção da qualidade das águas subterrâneas e a determinação das áreas críticas de maior vulnerabilidade nessa área.

A área de estudo abrange 51.850 ha, localizada sobre as folhas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:100.000, de Taquari (SE-22-V-C-V) e Baús (SE-22-Y-A-III), na região do Alto Rio Araguaia, nos municípios de Mineiros, GO, e de Alto Taquari, MT. Ela é delimitada pelas coordenadas em metros UTM X,Y (E 268.000, S 8.004.000) e X,Y (E 288.000, S 8.030.000).

A drenagem principal é o próprio Rio Araguaia, sendo que na sua margem esquerda, Município de Alto Taquari, MT, os principais cursos d'água são os córregos Araguinha e Furnas. Na margem direita, Município de Mineiros, GO, os principais cursos d'água são os córregos Buracão, Queixada, Cabeceira Alta e Ribeirãozinho.

Foram utilizadas as folhas topográficas de Taquari e Baús do IBGE, na escala de 1:100.000; imagem de alta resolução espacial georreferenciada Ikonos II de 7/6/2003 na banda pancromática (0,45  $\mu\text{m}$  a 0,90  $\mu\text{m}$ ) com um metro de resolução espacial e nas bandas multiespectrais B1 (azul – 0,45  $\mu\text{m}$  a 0,52  $\mu\text{m}$ ), B2 (verde – 0,52  $\mu\text{m}$  a 0,60  $\mu\text{m}$ ), B3 (vermelho – 0,63  $\mu\text{m}$  a 0,69  $\mu\text{m}$ ) e B4 (infravermelho – 0,76  $\mu\text{m}$  a 0,90  $\mu\text{m}$ ), com quatro metros de resolução; mapas geológicos do Projeto RADAMBRASIL (1983), Folha SE 22 de Goiás, na escala de 1:1.000.000; e dados de elevação do satélite Shuttle Radar Topography Mission – 90 (SRTM). Foram realizados trabalhos de campo para o levantamento de uso atual das terras para a imagem Ikonos. Foram também realizados o mapeamento geológico estrutural e o levantamento de solos.

O banco de dados foi criado no ambiente do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING 4.1), com projeto no sistema de projeção UTM e Datum SAD69, abrangendo a área de estudo e adjacências.

É essencial ao estudo da adequação do uso agrícola das terras analisar de forma integrada as informações dos recursos naturais, de modo a subsidiar a gestão ambiental das áreas críticas quanto aos riscos de contaminação

do aquífero. Desta forma, foram obtidas as informações na escala de 1:50.000 de toda a área de estudo do mapeamento das curvas de nível (Fig. 4), morfoestrutural, litoestrutural (Fig. 5), densidade de fraturas, geomorfologia e solos. Além disso, essas mesmas informações foram obtidas na escala de 1:25.000 em três áreas consideradas críticas, localizadas na Fazenda Babilônia, Fazenda Olho d'Água e Fazenda Dallas. O uso atual foi obtido em escala de 1:25.000 para toda a área, possibilitada pela alta resolução da imagem Ikonos.

Com a base de dados básicos estruturada é então possível realizar cruzamentos e operações de análise de álgebra dos dados, de forma a se obter outros produtos, como a aptidão agrícola das terras.

## **Conclusões**

O impacto das atividades agrícolas sobre o território é indiscutível, com conflito entre a necessidade de preservação ambiental e a produção agrícola. Dessa forma, esses estudos envolvem interações complexas entre a preservação dos recursos naturais e o desenvolvimento agrícola atual, pressionados cada vez mais pelos aspectos socioeconômicos.

Pode-se concluir que o emprego da ferramenta de SIG em estudos como este é muito importante, pois permite a integração de diversas informações de recursos naturais e a análise complexa delas. No entanto, destaca-se que aliada à ferramenta, é essencial a adoção de uma metodologia eficiente, de forma a se obter ganhos de conhecimentos, análises e integrações relativas ao ambiente. A importância do SIG é enfatizada como resultado da implementação de um bem projetado sistema de banco de dados.

Cabe ainda destacar que apesar do grande desenvolvimento tecnológico do SIG, existe ainda no Brasil um grave problema de falta de informação ou de base de dados espaciais confiáveis, por diversas razões, e que estudos como os apresentados aqui são de grande importância não somente para disponibilizar essas informações, mas também para o avanço do conhecimento nos estudos de planejamento do uso agrícola das terras nas áreas de recarga do Aquífero Guarani.



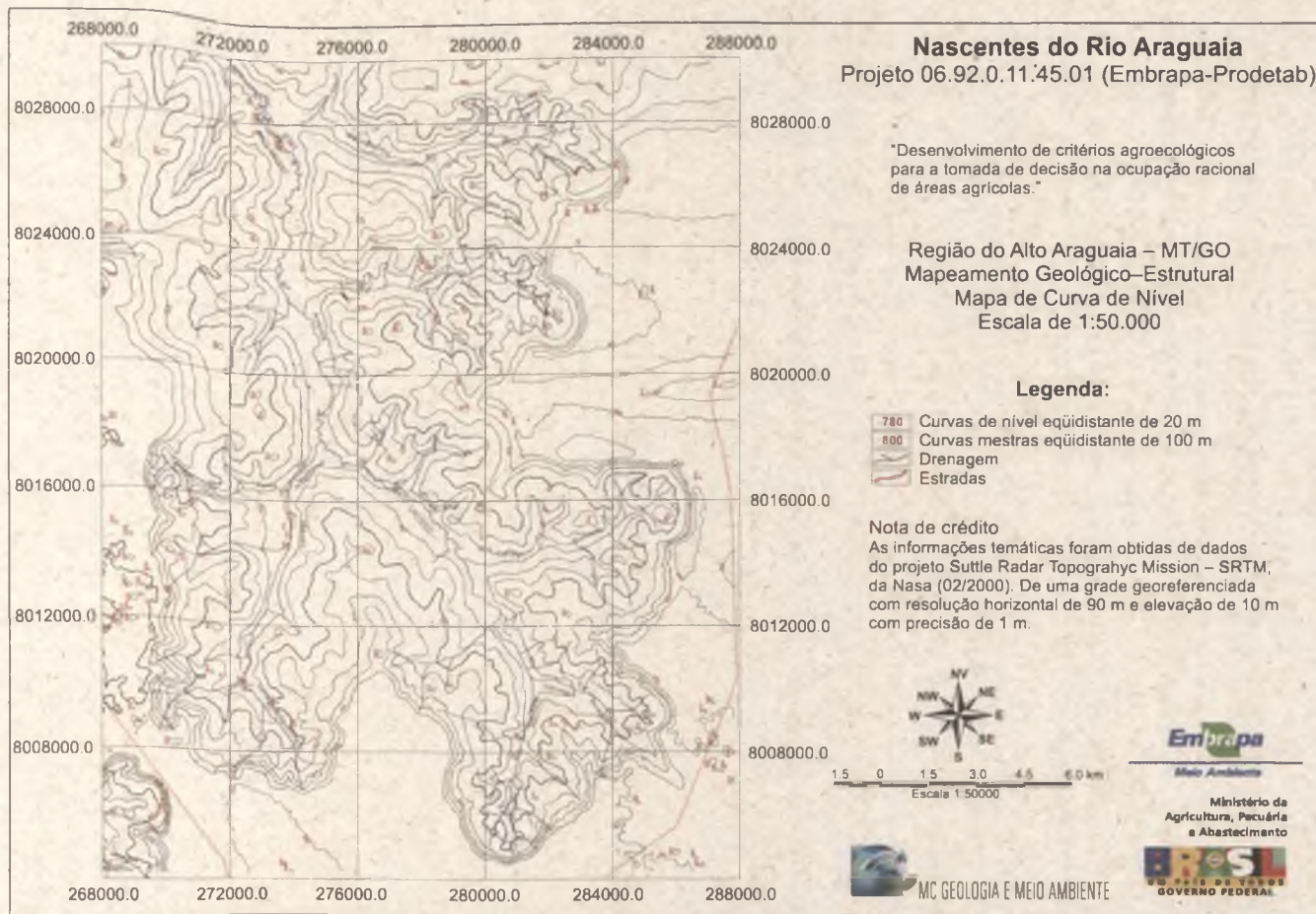


Fig. 4. Curvas de nível da área de estudo da região das nascentes do Rio Araguaia, MT/GO.

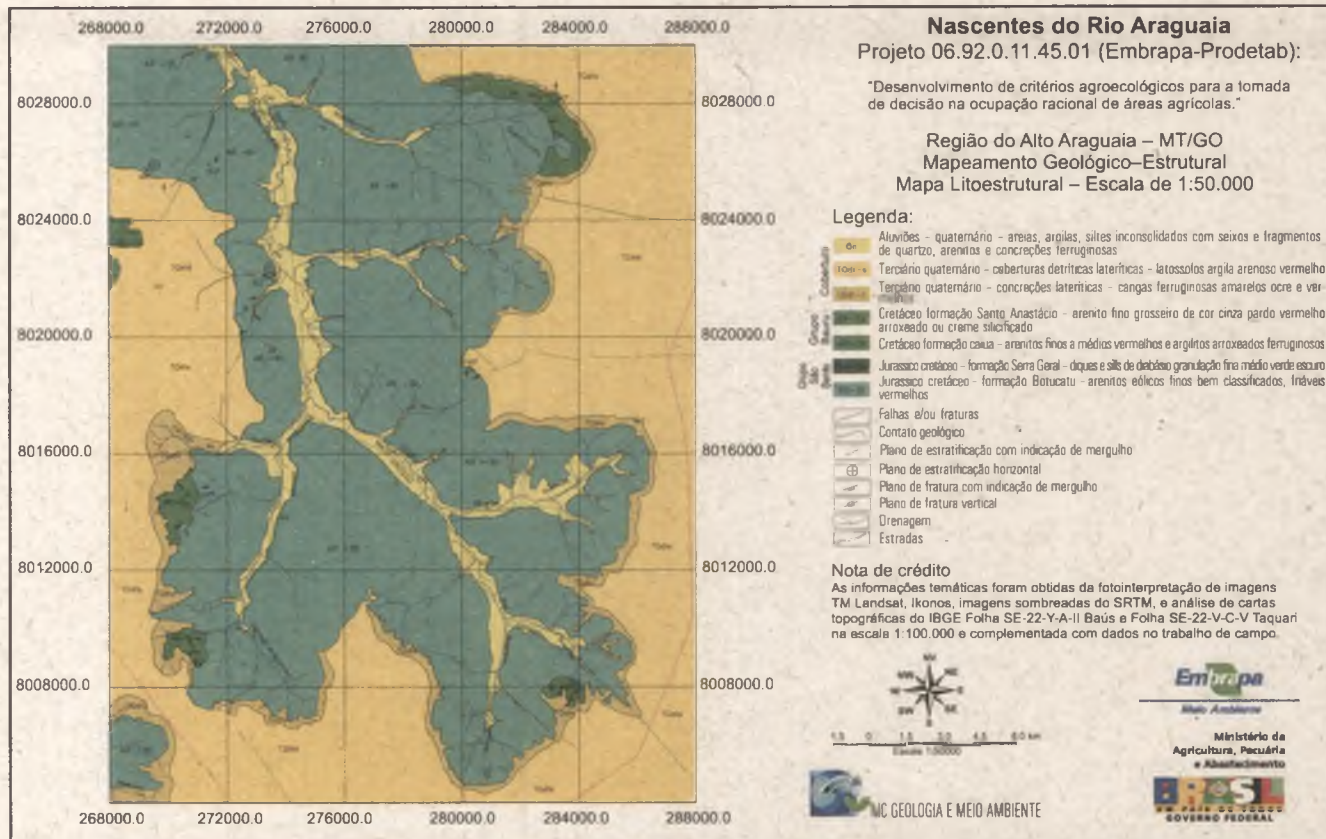


Fig. 5. Litoestrutura da área de estudo da região das nascentes do Rio Araguaia, MT/GO.



## Referências

- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, 1998. 434 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21**. Brasília, DF: MCT: MMA, 1999. 130 p. (Projeto PNUD BRA/94/016).
- CÂMARA, G.; MEDEIROS J. S. E. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, 1998. p. 3-11.
- CAMPOS, H. C. N. S. Modelación conceptual y matemática del Acuífero Guarani, Cono Sur. **Acta Geologica Leopoldensia**, São Leopoldo, v. 23, n. 4, p. 3-50, 2000.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Caracterização do potencial de contaminação das águas subterrâneas por agroquímicos**: hidrogeologia da microbacia. São Paulo, 1994. 15 p. (Relatório técnico, 32605).
- ASSAD, M. L. L.; HAMADA, E.; CAVALIERI, A. Sistema de informações geográficas na avaliação de terras para agricultura. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas**: aplicações na agricultura. Brasília, DF: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, 1998. p.191-232.
- MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos**: princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.
- MIKLÓS, A. A. de W.; GOMES, M. A. F. **Levantamento semidetalhado dos solos da bacia hidrográfica do Córrego do Espriado, Ribeirão Preto - SP**. Jaguariúna: Embrapa-CNPMA, 1996. 48 p. (Relatório técnico).
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425 p.
- PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SD.22 Goiás**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: MME, 1983. 768 p. (Levantamento de recursos naturais, 31).
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPIS, 1994. 65 p.
- ROCHA, G. A. **Mega reservatório de água subterrânea do Cone Sul**: bases para uma política de desenvolvimento e gestão. Curitiba: UFPR, 1996. 25 p.
- SILVA, A. B. **Sistemas de informações geo-referenciadas**: conceitos e fundamentos. Campinas: Editora da Unicamp, 1999. 236 p.
- SILVA, J. X. da; Z Aidan, R. T. (Org.). **Geoprocessamento e análise ambiental**: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 368 p.