**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de drenagens e
nascentes**

Raoni Wainer Duarte Bosquilia

**Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre em Ciências. Área de
concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas**

**Piracicaba
2014**

Raoni Wainer Duarte Bosquilia
Engenheiro Agrônomo

Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de drenagens e nascentes

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PETERSON RICARDO FIORIO**

**Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre em Ciências. Área de
concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas**

Piracicaba
2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Bosquilia, Raoni Wainer Duarte

Geotecnologias aplicadas ao mapeamento de drenagens e nascentes / Raoni Wainer Duarte Bosquilia . - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014.

136 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2014.
Bibliografia.

1. SIG 2. Recursos Hídricos 3. Meio-ambiente I. Título

CDD 526.0285
F521g

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo dom da vida e pela incondicional força e ajuda.

À minha namorada Samira Gaiad Cibim de Camargo por todo o carinho, compreensão, amor e companheirismo em todos os momentos de minha vida.

Aos meus pais, Sebastião e Liane, ao meu irmão Renan e à toda minha família pelo apoio e amor que sempre me passaram.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e à Universidade de São Paulo pelas ótimas condições de estudo oferecidas e pela oportunidade de aprender cada dia mais, tanto na graduação quanto na pós-graduação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Peterson Ricardo Fiorio pela amizade, confiança, orientação, apoio, compreensão e por todo conhecimento compartilhado.

Aos professores Sérgio Nascimento Duarte, Christopher Neale, Carlos Alberto Vettorazzi, Silvio Frosini de Barros Ferraz, Rafael Mingoti e Silvio Sandoval Zocchi, que de, alguma forma, fizeram parte desse trabalho.

Aos amigos de pós-graduação Juliano Araújo Martins, Pedro Paulo da Silva Barros, Magda Zuleta, Rodrigo Muniz, Marcelo Anselmo e todos os pós-graduandos da Topografia e Geoprocessamento da ESALQ/USP que estiveram presente durante toda essa jornada.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biossistemas, em especial à Davilmar, Lucia, Hamilton, Jesuíno, Angela e Beatriz.

Ao Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP por autorizar o uso do programa ESRI/ArcGIS 10.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio na concessão da bolsa de estudos.

Por fim, agradeço à todos que, de uma forma ou de outra, fizeram parte da realização desse sonho.

“Cada sonho que você
deixa pra trás, é um
pedaço do seu futuro que
deixa de existir.”

Steve Jobs

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO GERAL	13
2 COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE MAPEAMENTO AUTOMÁTICO DE DRENAGENS E NASCENTES NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CEVEIRO	23
Resumo	23
Abstract	23
2.1 Introdução	24
2.2 Material e Métodos	25
2.3 Resultados e Discussão	39
2.4 Conclusão	47
Referências	48
3 DIFERENTES PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO NO MAPEAMENTO VISUAL DE DRENAGENS E NASCENTES NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CEVEIRO	51
Resumo	51
Abstract	51
3.1 Introdução	52
3.2 Material e Métodos	53
3.3 Resultados e Discussão	68
3.4 Conclusão	74
Referências	75
4 COMPARAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO NO MAPEAMENTO AUTOMÁTICO DE DRENAGENS E NASCENTES EM AMOSTRAS CIRCULARES	79
Resumo	79
Abstract	79
4.1 Introdução	80
4.2 Material e Métodos	81
4.3 Resultados e Discussão	95
4.4 Conclusão	103
Referências	104

5 COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES IMAGENS DE SATÉLITE NO MAPEAMENTO VISUAL DE DRENAGENS E N ASCENTES EM AMOSTRAS CIRCULARES.....	107
Resumo	107
Abstract.....	107
5.1 Introdução.....	108
5.2 Material e Métodos	109
5.3 Resultados e Discussão	123
5.4 Conclusão.....	127
Referências.....	128
ANEXOS.....	131

RESUMO

Métodos de mapeamento de drenagens e nascentes utilizando geotecnologias

O presente trabalho avaliou diferentes métodos de mapeamento de drenagens e nascentes, tanto por métodos automáticos de delimitação quanto por métodos manuais (visuais), utilizando geotecnologias, em dois diferentes cenários: Microbacia Hidrográfica do Córrego do Cerveiro (MHC) e amostras circulares em locais com diferentes Densidades de Drenagem no município de Piracicaba/SP. Em todas as metodologias estudadas, utilizou-se as drenagens e nascentes existente nas cartas topográficas do IGC/SP, escala 1:10.000, como base para as comparações, analisando-se dois fatores: Comprimento das Drenagens (CD) e Número de Nascentes (NN), sendo as análises realizadas apenas em caráter quantitativo. Para o mapeamento automático de drenagens e nascentes, primeiramente, foram avaliados dois modelos distintos (D8 e D-Infinity) para um Modelo Digital de Terreno (MDT) da MHC gerado a partir da hipsometria das cartas 1:10.000. Posteriormente, foram avaliados outros MDTs nas amostras circulares, dois de origem orbital (SRTM e ASTER) e dois provenientes das curvas de nível de cartas 1:10.000 e 1:50.000. Para o mapeamento manual (visual) de drenagens e nascentes, primeiramente, avaliou-se os valores de CD e NN para a MHC obtidos por meio de fotografias aéreas, imagens dos satélites SPOT 5/Ikonos e imagens do *Google Earth*® (satélite QuickBird 2). Posteriormente, realizou-se a análise, para as amostras circulares, utilizando três imagens de satélite com diferentes resoluções espaciais: SPOT 5/Ikonos, QuickBird 2 (*Google Earth*®) e Landsat 8.

Palavras-chave: SIG; Recursos Hídricos; Meio-ambiente

ABSTRACT

Drainages and springs mapping methods using geotechnology

This study evaluated various drainages and springs mapping methods, both automatic delineation methods and manual methods (visual), using geotechnology, in two different scenarios: Ceveiro's Watershed and circular samples at sites with different drainage densities in Piracicaba/SP. In all studied methods, were used the existing drainages and springs on IGC/SP topographic maps, scale 1:10,000, as a basis for comparisons, analyzing two factors: Length of Drainage (LD) and Number of Springs (NS). All analyses were performed only on quantitative character. For automatic mapping of drainages and springs, first, were evaluated two different models (D8 and D-Infinity) for a Digital Terrain Model (DTM) of MHC, generated from 1:10.000 IGC maps. Later, were evaluated other DTMs in circular samples: two from orbital sources (SRTM and ASTER) and two from topographic maps with scale 1:10,000 and 1:50,000. For manual (visual) mapping, first, were evaluated the values of LD and NS for MHC obtained from aerial photographs and images from SPOT 5/Ikonos satellites and *Google Earth*® software (QuickBird 2 images). Subsequently, the analysis was performed for the circular samples, using three satellite images with different spatial resolutions: SPOT 5/Ikonos, QuickBird 2 (*Google Earth*®) and Landsat 8.

Keywords: GIS; Water resources; Environment

1 INTRODUÇÃO GERAL

A água é o bem mais importante para a vida na Terra, e, devido a isso, a preocupação com os recursos hídricos vem aumentando cada vez mais na sociedade. Está-se tomando consciência de que todos os recursos de água potável não estavam tendo a devida importância: pensava-se apenas no lucro e desprezava-se todo o cuidado com esse bem maior.

Uma bacia hidrográfica pode ser definida como uma unidade física, caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo divisor de águas. Moldan e Cerny (1994) definem uma microbacia, do ponto de vista hidrológico, como a menor unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d'água e paisagem circundante.

A microbacia hidrográfica deve ser utilizada como unidade básica para o planejamento conservacionista do meio ambiente. Fitz (1999) ressalta a necessidade de investir na preservação e recuperação dos recursos naturais porque as ações, que se tem visto até hoje, são individuais com nenhum ou pequenos resultados. Tendo como possível situação futura gerar o empobrecimento do homem do campo pela baixa produtividade, que pode culminar no abandono das atividades rurais e na busca de melhores condições de vida nas áreas urbanas.

A bacia do Paraná, situada na parte central do planalto meridional brasileiro, é essencialmente planáltica. O rio Paraná, formado pela fusão dos rios Grande e Paranaíba, separa os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, Paraná e Mato Grosso do Sul e, na foz do Iguaçu, serve de fronteira entre Brasil, Argentina e Paraguai. Nessa bacia, encontra-se a maior população e a maior produção econômica do País. Da mesma forma, ocorrem as maiores pressões sobre o meio ambiente (TUCCI; HESPANHOL; CORDEIRO NETTO, 2001).

Inserida na bacia do Paraná está a bacia do rio Tietê. Nesta bacia, localiza-se a bacia do rio Piracicaba, onde encontra-se a Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHC), que tem sido alvo de diversos trabalhos (FIORIO, 1998; FIORIO *et al.*, 1999; WEILL, 1999; WEILL; SPAROVEK, 2008; OLIVEIRA, 2012; BARROS, 2012).

A crescente preocupação com recursos hídricos vem sendo demonstrada por meio de ações governamentais voltadas a este setor, com a elaboração de planos diretores de bacias hidrográficas, onde atuam os comitês de bacias, que são consideradas as unidades fundamentais de gestão dos recursos hídricos.

Segundo Alves et al. (2008), nessas unidades, a falta de informações necessárias para entender os fenômenos naturais de maneira ampla e integrada, contribui para a ocorrência de desequilíbrios ambientais (ALVARENGA; PAULA, 2000; SOUZA; FERNANDES, 2000).

Boken et al. (2004) afirmaram que a disponibilidade de recursos hídricos é limitada e sua demanda cresceu com o aumento populacional, de forma a determinar disputas pelo direito de uso de quotas de água, sendo que as principais fontes de recursos hídricos disponíveis ao sustento humano não excedem 90.000 km³ ou 0,26% da água doce da Terra (SHIKLOMANOV, 1998). Para Salinger (2005), esse valor poderia ser suficiente para uma demanda global de 5.000 km³ por ano, porém há a necessidade de se considerar que existe a variabilidade da distribuição de água ao longo da superfície terrestre.

Segundo Tucci, Hespanhol e Cordeiro Netto (2001), os recursos hídricos superficiais gerados no Brasil representam 50% do total dos recursos da América do Sul e 11% do recursos mundiais, totalizando 168.870 m³/s. A distribuição desses recursos no País e durante o ano não é uniforme, destacando-se os extremos do excesso de água na Amazônia e as limitações de disponibilidade no Nordeste. A Amazônia brasileira representa 71,1% do total gerado da vazão no Brasil e, portanto 36,6 % do total gerado na América do Sul e 8% em nível mundial.

Pinto *et al.* (2004) ressaltaram que a água potável acessível é relativamente escassa e, sem dúvida, essa escassez será um dos principais problemas ambientais a serem enfrentados pela população mundial nas próximas décadas. Tal fato pode ser percebido conforme o Relatório das Organizações das Nações Unidas (ONU), que prevê que a água será um recurso escasso para este milênio e, daqui a 3 décadas, a carência de água vai afetar 2/3 da população mundial, o equivalente a 5,5 bilhões de pessoas (ALMEIDA; DUARTE; ARAÚJO, 2000).

A exploração desordenada dos recursos naturais, a expansão urbana e o uso indiscriminado de fertilizantes, corretivos e agrotóxico vem provocando inúmeros

problemas ambientais, principalmente em áreas de nascentes, alterando a qualidade e quantidade de água drenada pela bacia hidrográfica.

Para Calheiros *et al.* (2004) entende-se por nascente o afloramento do lençol freático, que vai dar origem a uma fonte de água de acúmulo (represa), ou cursos d'água (regatos, ribeirões e rios). Em virtude de seu valor inestimável dentro de uma propriedade agrícola, deve ser tratada com cuidado todo especial.

As nascentes exercem inúmeras funções de importância na natureza, que vão desde a retenção de água no sistema de armazenamento subterrâneo, passando pelo abastecimento hídrico de populações animais, vegetais e humanos. É de fundamental importância para o nível de quantidade e qualidade da água, contribuindo para a manutenção das espécies ou, em outras palavras, da vida.

Pinto *et al.* (2004) afirmaram que a quantidade de água das nascentes de uma bacia hidrográfica podem ser alteradas por diversos fatores, destacando-se a declividade, o tipo de solo e o uso da terra, principalmente das áreas de recarga, pois influenciam no armazenamento da água subterrânea e no regime da nascente e dos cursos d'água.

Desta forma, com a crescente preocupação com o meio ambiente e com o avanço rápido da tecnologia, os métodos de mapeamento dos recursos naturais foram se tornando cada vez mais necessários para que a proteção dos cursos d'água e das nascentes pudessem ser realizadas com maior frequência, agilidade e menor tempo. Com isso, o uso de fotografias aéreas e imagens de satélite para o mapeamento das drenagens e das Áreas de Preservação Permanente (APPs), principalmente para áreas maiores e que dificilmente seriam mapeadas em campo, vem se tornando a grande ferramenta para realização desses trabalhos.

Câmara *et al.* (2009) citaram que, desde 1960, a forma de coleta das informações sobre a superfície terrestre sofreu grande impacto com o desenvolvimento da tecnologia em informática. Segundo Alves e Carvalho (2007), tal advento tem contribuído com as metodologias empregadas em estudos ambientais oferecendo maior agilidade, objetividade, consistência e precisão na tomada de decisões geoespaciais, sobretudo a partir da década de 70. O processamento de informações geográficas, ou seja, desenvolvidos em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que é uma ferramenta fundamental nas análises qualitativas e quantitativas na caracterização do objeto de estudo.

Para Star e Estes (1990), a definição de SIG é: a união entre um sistema de banco de dados projetados para trabalhar com dados georreferenciados e um conjunto de operações que fornecem capacidade analítica para tais dados.

O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfa numéricas, mas também por meio de sua localização espacial que oferecem ao administrador (planejador, urbanista, geólogo, engenheiro etc.) uma maior agilidade dentro de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, inter-relacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum - a localização geográfica (LIPORACI *et al.*, 2003).

Nesse contexto, Nowatzki, Santos e De Paula (2010) citam que a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser uma excelente ferramenta, visto que os mapeamentos podem ser realizados com maior precisão e ser utilizado em diversos tipos de estudos.

O geoprocessamento se utiliza de artifícios matemáticos e computacionais para o tratamento da informação geográfica, sendo utilizado em diversas áreas na análise de recursos naturais, comunicação, cartografia, transportes, energia e planejamento urbano e regional. Os softwares utilizados permitem, por meio de análises complexas, integrar dados de diversas fontes ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA; DAVIS, 2001).

Rodrigues *et al.* (2001) ressaltam a importância da utilização de Sistemas de Informação Geográfica na confecção de mapas, tal utilização é vantajosa devido à rapidez e pelo conjunto de alternativas de integração dos dados de atributos e dados espaciais no processamento e manipulação da base de dados.

Nesse contexto, Alves *et al.* (2008) mapearam as nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, em Lavras-MG, com base em fotos aéreas verticais para verificar a distribuição espacial de algumas variáveis ambientais nas nascentes. Os resultados obtidos mostraram que foi possível representar e caracterizar a distribuição espacial nas nascentes, sendo o Sistema de Informações Geográficas de suma importância para realização do mesmo. Neste trabalho, as fotografias foram interpretadas com o auxílio de um estereoscópio de bolso, o qual

forneceu uma visão tridimensional do terreno, com base na metodologia de Rocha (1985) e Pinto (2003).

Roig *et al.* (2009) fizeram uma avaliação bem sucedida do uso e cobertura da terra em um área da APA da Bacia do Rio São Bartolomeu-DF utilizando imagens do satélite SPOT5, sendo que essa imagem foi importante para a melhor definição dos alvos pretendidos.

Simon e Trentin (2009), em busca de alternativas em imagens para a elaboração de séries temporais de uso da terra, procuraram avaliar as potencialidades das imagens do programa *Google Earth*®. Foram apresentadas duas aplicações destas imagens na identificação de padrões recentes de uso da terra e, de forma geral, as imagens do *Google Earth*® se mostraram adequadas para tal fim, já que no programa existiam algumas datas diferentes de imagens para os locais estudados.

Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma representação numérica da distribuição espacial de um relevo da superfície terrestre, usualmente estimado pela sua cota ou altitude.

Atualmente, com o emprego de novas técnicas computacionais, associadas aos modernos SIGs, tornou-se possível elaborar Modelos Digitais de Terreno (MDTs) (COELHO, 2008), destacando a arquitetura do relevo (estruturas, modelados, redes de drenagem, entre outros) de uma determinada área (VALERIANO, 2008; SILVA, 2003).

Assim, Roa e Kamp (2007) utilizaram MDTs ASTER e SRTM na cordilheira de Mérida, Venezuela, e concluíram que ambos são capazes de reproduzir um modelo topográfico útil e aproveitável do relevo da área de estudo, tendo como base para decisão a diferença de resolução espacial de ambos.

Nesse contexto, Sobrinho *et al.* (2010) consideram que, para o processo de delimitação automática de bacias hidrográficas em SIG, são utilizadas informações de relevo por meio de um MDT, que pode ser obtido por meio de imagens de satélite ou pela interpolação de curvas de nível extraídas de cartas topográficas.

Porém, as cartas topográficas nem sempre estão disponíveis para boa parte do território nacional, sendo necessário desenvolver novos métodos e descobrir novos produtos (imagens de satélite, MDTs, fotografias aéreas, etc.) que possam ser utilizados em substituição de tais cartas.

Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo principal comparar diferentes métodos e produtos utilizados para o mapeamento de drenagens e nascentes com cartas topográficas, escala 1:10.000, na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHC) e em amostras circulares dispostas em áreas do município de Piracicaba/SP com diferentes densidades de drenagem, para, assim, ser possível verificar prováveis substitutos à essas cartas, já que, para a maior parte do Brasil, tais cartas não estão disponíveis.

Referências

- ALMEIDA, D.S.; DUARTE, A.J.; ARAÚJO, R.P. Projeto de recuperação de matas ciliares e nascentes da bacia do Rio dos Mangues. In: CONGRESSO DE EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6, Porto Seguro, 2000. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000. p.575-576.
- ALVARENGA, M.I.N.; PAULA, M.B. Planejamento conservacionista em microbacias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, Epamig, v.21, n.207, p.55-64, 2000.
- ALVES, T.M.; CARVALHO, T.M. Técnicas de sensoriamento remoto para classificação e quantificação do sistema lacustre do rio Araguaia entre Barra do Garças e foz do rio Cristalino. **Revista Geográfica Acadêmica**, Goiânia, UFG, v.1, n.1, p.79-94, 2007.
- ALVES, M.C.; BOTELHO, S.A.; PINTO, L.V.A.; POZZA, E.A.; de OLIVEIRA, M. S.; FERREIRA, E.; ANDRADE, H. Variabilidade espacial de variáveis geobiofísicas nas nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.5, p.527–535, 2008.
- BARROS, P.P. da S. **Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro**. 2012. 126p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-20092012-082454/>>. Acesso em: 06 jun.2013.
- BOKEN, V.K.; HOOGENBOOM, G.; HOOK, J.E.; THOMAS, D.L.; GUERRA, L.C.; HARRISON, K.A. Agricultural water use estimation using geospatial modeling and a geographic information system. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.67, n.3, p.185-189, 2004.
- CALHEIROS, R. de O.; TABAI, F.C.V.; BOSQUILIA, S.V.; CALAMARI, M. **Preservação e recuperação das nascentes (de água e de vida)**. Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá – CTRN. Piracicaba, 2004.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 05 out. 2013.

CÂMARA, G.; DAVIS JUNIOR, C.A.; MONTEIRO, A.M.V.; PAIVA, J.A.; D'ALGE, J.C. **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações**. São José dos Campos: INPE. 1999. 104p.

COELHO, A.L.N. Uso de dados SRTM como ferramenta de apoio ao mapeamento geomorfológico de bacia de médio grande porte. **Revista Geográfica Acadêmica**, Goiânia, UFG, v.2 n.2 p. 138-153, 2008.

FIORIO, P.R. **Cronologia do uso da terra e seu impacto no ambiente da Microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro da Região de Piracicaba, SP**. 1998. 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

FIORIO, P.R.; DEMATTÊ, J.A.; MELEM JÚNIOR, N.J.; MAZZA, A.M. Potencialidade do uso da terra na microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro na região de Piracicaba. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1273-1280, 1999.

FITZ, P.R. Manejo de microbacias hidrográficas a partir da utilização das técnicas de geoprocessamento: um estudo de caso: a área piloto do programa pró-guaíba. In: CONFERENCIA IBEROAMERICANA SOBRE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, 7, 1999, Mérida. **Anais...** Disponível em: <http://www.unilasalle.edu.br/canoas/assets/upload/manejo_mbh.pdf>. Acesso em: 03 out. 2013.

LIPORACI, S.R.; RÖHM, S.A.; PEDRO, F.G.; CEREDA JUNIOR, A. Comparação entre diferentes técnicas digitais para elaboração do modelo digital do terreno e da carta de declividades, com aplicação em mapeamento geológico-geotécnico e análise ambiental. **Holos Environment**, Rio Claro, v.3, n.2, p.85-102, 2003.

MOLDAN, B.; CERNY, J. Small catchment research. In: **Biogeochemistry of small catchment: a tool for environmental research**. Chicester: John Wiley, 1994. p. 1-29.

NOWATZKI, A.; SANTOS, L.J.C.; DE PAULA, E.V. Utilização do Sig na Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP's) na Bacia do Rio Sagrado (Morretes/PR). **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, n.1, p. 107-120, 2010.

OLIVEIRA, J.S. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solo em ambiente SIG**. 2012. 103p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-31052012-075705/publico/Julio_Storion_Oliveira_versao_revisada.pdf>. Acesso em: 06 ago.2013.

PINTO, L.V.A. **Caracterização física da sub-bacia do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG, e propostas de recuperação de suas nascentes.** 2003. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

PINTO, L.V.A.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 197-206, jun. 2004.

ROA, J.; KAMP, U. Modelos de elevación digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Una introducción y análisis comparativo en la cordillera de Mérida-Venezuela. **Revista Geográfica Venezolana**, Caracas, v. 49, n. 1, p. 11-42, 2007.

ROCHA, J.S.M. **Manual de interpretação de aerofotogramas.** 2.ed. Santa Maria: UFSM, 1985. 83p.

RODRIGUES, J.B.T.; ZIMBACK, C.R.L.; PIROLI, E.L. Utilização de Sistemas de Informação Geográfica na avaliação do uso da Terra em Botucatu. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 675-681, 2001.

ROIG, H.L.; BAYMA, A.P.; SOARES NETO, G.B.; MENEZES, P.H B.J.; SANTOS, R. P. Adequação de uma área situada na APA de São Bartolomeu-DF à legislação ambiental. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO 14, 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009. p. 6133-6140.

SALINGER, M.J. **Climate variability and change: Past, present and future – an overview.** Climatic Change, Dordrecht, v.70, n.1/2, p.9-29, 2005.

SHIKLOMANOV, I.A. **World water resources: A new appraisal and assessment for the 21st Century.** Paris: UNESCO-IHP Publication, UNESCO, 1998. 38p.

SILVA, A.B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos.** Campinas, SP: Editora UNICAMP, 2003. 232p.

SIMON, A.L.H.; TRENTIN, G. Elaboração de cenários recentes de uso da terra utilizando imagens do *Google Earth*. **Ar@cne. Revista electrónica de recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales.** Barcelona: Universidad de Barcelona, nº 116, 2009. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/aracne/aracne-116.htm>>. Acesso em: 03 out. 2013.

SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação automática de Bacias Hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, 2010.

SOUZA, E.R.; FERNANDES, M.R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, Epamig, v.21, n.207, p.15-20, 2000.

STAR, J.; ESTES, J. **Geographic Information Systems: an introduction.** New Jersey: Prentice Hall, 1990. 297p.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O.M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001. 156p.

VALERIANO, M.M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). **Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.72-104.

WEILL, M.A.M. **Estimativas da Erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) através do índice de tempo de vida**. 1999. 100p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

WEILL, M.A.M.; SPAROVEK, G. Estudo da erosão na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP). I - Estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo EUPS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 801-814, 2008.

2 COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE MAPEAMENTO AUTOMÁTICO DE DRENAGENS E NASCENTES NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CEVEIRO

Resumo

A determinação da rede de drenagem por meio de Modelos Digitais de Terreno vem se tornando um método cada vez mais importante e utilizado. Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo comparar dois diferentes modelos de mapeamento automático de drenagens: D-8 e D-Infinity na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHC). Utilizou-se a rede de drenagem presente em cartas topográficas do IGC/SP, escala 1:10.000, como base para comparação no trabalho. O modelo foi gerado a partir das curvas de nível com equidistância de 5 metros presente nessas cartas. Para uma melhor comparação entre os métodos, foram analisados dois fatores: comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN), sendo as análises realizadas apenas em caráter quantitativo. Para a avaliação do CD, utilizou-se o resultado da MHC como um todo para ser possível uma avaliação prévia dos produtos estudados. Já para a avaliação de NN foram dispostas vinte e nove amostras circulares de 0,5 km de raio e obteve-se os resultados pela utilização do coeficiente de correlação de concordância de Lin. Para os dois parâmetros estudados, os resultados dos modelos se apresentaram diferentes das cartas, porém as drenagens se apresentaram semelhantes visualmente às cartas topográficas. Quanto às nascentes, os métodos não apresentaram nenhuma correlação com as cartas, já que foram geradas muitas ramificações na rede de drenagem. Mesmo assim, os modelos automáticos de mapeamento de rede de drenagem se mostraram boas ferramentas para determinar cursos d'água principais e suas bacias.

Palavras-chave: Direção de Fluxo; Fluxo Acumulado; TauDEM

Abstract

Determine drainage through Digital Terrain Models has become an increasingly important and used method. Thus, this study aimed to compare two different models of automatic mapping of drains: D8 and D-Infinity for Ceveiro's Watershed. Was used the drainage network of IGC/SP topographic maps, scale 1:10.000, as a basis for comparison. The model was generated from the 5 meters contours present in those maps. For a better comparison between the methods, were analyzed two factors: length of drainage and number of springs. Analyses were performed only on quantitative character. To evaluate the length of drainage, we used the results of the whole Ceveiro's Watershed to be possible a prior assessment of the studied products. So, for number of spring's analysis, were placed twenty-nine circular samples with 0.5 km of radius and performed a Lin's concordance correlation coefficient. For both parameters, the results of the models were different from the topographic map but the watercourses generated by the models were visually similar to topographic maps. As for the springs, the methods showed no correlation with the topographic map, since were generated many branches in the drainage network.

However, these models for automatic mapping of drainage proved great tools to determine main waterways and their watersheds.

Keywords: Flow Direction; Flow Accumulation; TauDEM

2.1 Introdução

A preocupação com os recursos hídricos tem cada vez mais se materializado por meio de ações governamentais voltadas a este setor, com a elaboração de planos diretores de manejo em bacias hidrográficas, que são consideradas as unidades fundamentais de estudo para a Hidrologia e para a conservação do meio ambiente (ALVES, 2000).

Atualmente, com o emprego de novas técnicas computacionais, associadas aos modernos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tornou-se possível elaborar Modelos Digitais de Terreno (MDT) (COELHO, 2008), destacando a arquitetura do relevo (estruturas, modelados, redes de drenagem, entre outros) de uma determinada área (VALERIANO, 2008; SILVA, 2003).

Os mapeamentos das drenagens de uma bacia, a partir de Modelos Digitais de Terreno, apresentam-se bem semelhantes e compatíveis com aqueles obtidos por métodos manuais, que se apresentam mais trabalhosos e com uma subjetividade maior, dependendo do fotointérprete (JENSON; DOMINGUE, 1988).

Nesse contexto, Sobrinho *et al.* (2010) consideram que, para o processo de delimitação automática de bacias hidrográficas em SIG, são utilizadas informações de relevo por meio de um MDT, que pode ser obtido pela interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica, ou por meio de imagens de sensores remotos.

Alguns algoritmos de delimitação automática dos cursos d'água já são conhecidos e consolidados, como o Método das Oito Possíveis Direções de Fluxo (D8) (O'CALLAGHAN; MARK, 1984); porém Tarboton (1997) desenvolveu um outro algoritmo, chamado de D-Infinity (Método da Direção do Fluxo Múltiplo), que tem se mostrado um modelo mais acurado na determinação da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Tesfa *et al.* (2011) utilizaram o modelo D-Infinity, dentro do programa TauDEM, apresentado por Tarboton (1997), para, além de determinar os cursos

d'água, calcular outros parâmetros hidrológicos e topográficos como possíveis variáveis para cálculos de perda de solo.

Com a demanda crescente por dados ambientais e estudos das Áreas de Preservação Permanente, a delimitação dos cursos d'água e das nascentes de uma bacia poderia ser realizada por métodos mais rápidos, eficientes e com menor grau de subjetividade.

Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo comparar e avaliar a rede de drenagem das cartas 1:10.000 do IGC com dois modelos automáticos de delimitação de cursos d'água e de nascentes na MHC.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Localização da área de estudo

A Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHC) está localizada na margem direita do Rio Piracicaba, dentro do município de Piracicaba, Estado de São Paulo (Figura 1), possuindo uma área total de 21,8 km² (1,56% da área total do município). Está situada entre as coordenadas de latitudes 22°37'00" S e 22°40'00" S e de longitudes 47°43'00" O e 47°47'00" O e é limitada a montante pelo bairro de Santana e a jusante pelo distrito de Ártemis, sendo o referido córrego um dos afluentes diretos do Rio Piracicaba.

Figura 1 - Localização da Microbacia Hidrográfica do Ceuveiro (MHC)

2.2.2 Clima

O clima da região é o Cwa segundo Köppen, definido como mesotérmico subtropical com inverno seco e verão chuvoso, temperaturas do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio não excede 18°C, como também observado por Oliveira (2012). As chuvas concentram-se nos meses de outubro a março, apresentando uma precipitação média anual de 1.250mm, e o período seco de abril a setembro. Na Figura 2, estão representadas as precipitações médias acumuladas entre os anos de 1917 e 2010, mês a mês.

Figura 2 - Precipitação média mensal entre os anos de 1917 e 2010

2.2.3 Relevo

O relevo na MHC caracteriza-se por apresentar morros em cotas variando entre 460 e 580 m de altitude, com classes de relevo ondulado. A declividade predominante nas encostas é de 10 a 15% e nos topos de 5%. As áreas com declividades menores que 2% se encontram em pequenas várzeas e topos de alguns morros, constituindo menos de 5% da área total, como observado por Fiorio (1998).

2.2.4 Vegetação

A vegetação original foi mapeada por Fiorio (1998) e classificada como Floresta mesófila semidecídua, com ocorrência de ripárias nas margens dos cursos d'água. Atualmente essas vegetações são praticamente inexistentes, estando restritas a algumas partes da rede de drenagem que compõe o Córrego do Ceveiro e nas partes mais íngremes do relevo.

2.2.5 Geologia e Material de Origem

A MHC está inserida na bacia do Paraná e apresenta coluna estratigráfica representada por sedimentos do Grupo São Bento e Grupo Passa Dois (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT, 1981). As rochas encontradas são:

arenitos da Formação Piramboia e intrusivas básicas da Formação Serra Geral, ambas do Grupo São Bento e por siltitos, argilitos e folhelhos da Formação Corumbataí do Grupo Passa Dois.

As rochas da Formação Corumbataí, dão origem a cerca de 67% dos solos da bacia que ocorrem principalmente às margens do Ceveiro e ao lado esquerdo da bacia (sentido de observação montante à jusante). Nos topos, à direita da bacia, encontram-se com mais frequência os solos originados da Formação Piramboia. A Formação Serra Geral, constituída por intrusões básicas, ocorre com maior intensidade na cabeceira da bacia, recobrando a Formação Piramboia.

2.2.6 Solos

Segundo Silva (2000), a MHC possui 8 ordens de solos: ALISSOLOS, ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NITOSSOLOS, CHERNOSSOLOS, CAMBISSOLOS, NEOSSOLOS e GLEISSOLOS. A disposição dessas classes é apresentada na Figura 3.

Assim, observou-se os seguintes subgrupos: ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abrupticos, ALISSOLOS CRÔMICOS Argiluvicos abrupticos arenicos e ALISSOLOS CRÔMICOS Argiluvicos abrupticos lépticos; ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupticos arênicos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupticos lépticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos arênicos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos lépticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupticos Ta, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupticos lépticos; ARGISSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos; LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos típicos, LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos arênicos abrupticos e LUVISSOLOS CRÔMICOS Órticos abrupticos; NITOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos argissólicos e NITOSSOLO VERMELHO Eutróficos típicos; CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS Órticos típicos; CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Alumínicos lépticos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos lépticos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos típicos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb eutróficos lépticos e CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos típicos; NEOSSOLO

LITÓLICOS álico típicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Eutróficos chernossólicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Distróficos típicos álicos e NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos; NEOSSOLOS FLÚVICOS Tb Eutróficos; GLEISSOLOS HÁPLICOS Indiscriminados e NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS os quais surgem devido a degradação acelerada de algumas vertentes da microbacia, por erosão, depósitos coluviais recentes soterrando solos próximos aos rios e várzeas, então o autor sugeriu a criação dessa subordem.

Figura 3 - Mapa de solos detalhado da MHC conforme Silva (2000)

2.2.7 Mapa de solos

Barros (2012) digitalizou o mapa de solos detalhado apresentado por Silva (2000), converteu-o no programa IMPIMA para o formato do SPRING, registrou-o via modo tela tendo como referência as cartas 1:10.000 e digitalizou-o via modo matricial no programa SPRING. Foi feita uma reclassificação e um reagrupamento de acordo com o novo sistema brasileiro de classificação de solos, segundo

Embrapa (2006), utilizando a função *reclass* via linguagem LEGAL conforme Figura 4.

Figura 4 - Representação do mapa de solos reagrupados da MHC, apresentado por Barros (2012)

2.2.8 Cartas planialtimétricas

As cartas topográficas (planialtimétricas) tem a função de auxiliar na elaboração de diversos tipos de trabalho, como mapeamentos de declividade, mapeamento hipsométrico, ajudar interpretar o relevo de bacias, e também no mapeamento de drenagens. Tais mapas contém toda a rede de drenagem e todas as isolinhas de altimetria, auxiliando assim no mapeamento e localização de nascentes. Foram utilizadas nesse trabalho, para compor toda a MHC (Tabela 1), seis cartas topográficas na escala 1:10.000 confeccionadas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) do Estado de São Paulo.

Tabela 1 - Folha, numeração e articulação das cartas topográficas 1:10.000 que compõem toda a MHC

Folha	Numeração	Articulação
Córrego do Limoeiro	SF-23-Y-A-IV-1-NE-F	069/087
Vila Olímpia	SF-23-Y-A-IV-2-NO-E	069/088
Estância Lago Azul	SF-23-Y-A-IV-1-SE-B	070/087
Córrego das Ondas	SF-23-Y-A-IV-2-SO-A	070/088
Ártemis	SF-23-Y-A-IV-1-SE-D	071/087
Santa Terezinha do Piracicaba	SF-23-Y-A-IV-2-SO-C	071/088

Essas cartas foram confeccionadas a partir de levantamentos aerofotogramétricos realizados pela Terra Foto S.A. Atividades de Aerolevantamentos no ano de 1978, com reambulação em campo entre 1978 e 1979. As curvas de nível são equidistantes em 5 metros. A projeção originalmente utilizada nas cartas é a Universal Transversa Mercator (UTM), DATUM Córrego Alegre e referência vertical do Marégrafo de Imbituba, SC.

As cartas foram digitalizadas e importadas ao software ArcGIS 10 (ESRI, 2010), georreferenciadas por meio dos pontos de controle presentes, reprojatadas para o DATUM SIRGAS 2000 e assim vetorizadas as curvas de nível (incluindo os pontos cotados) e hidrografia (Figura 5), para que fosse possível mapear e quantificar o número de nascentes presentes nas cartas, para assim serem comparadas com os métodos estudados.

Figura 5 - Mapa extraído a partir das cartas topográficas 1:10.000, contendo as curvas de nível, os pontos cotados e a hidrografia presente na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHC)

2.2.9 Checagem de Campo

Utilizando as nascentes obtidas por intermédio das cartas topográficas do IGC 1:10.000, realizou-se uma checagem de campo a fim de confirmar a existência e localização dessa nascentes. Assim, gerou-se um mapa para ser aplicado em campo (Figura 6).

Figura 6 - Mapa de localização das nascentes para checagem de campo obtidas por intermédio das cartas topográficas

Das 128 nascentes presentes nas cartas, locou-se 63 delas no mapa de campo (aproximadamente 50%). As fotos e os pontos de GPS utilizados no campo estão apresentados no ANEXO A.

2.2.10 Modelo Digital de Terreno (MDT)

Para elaboração do MDT, utilizaram-se as mesmas cartas topográficas, digitalizando as curvas de nível, hidrografia e pontos cotados para formato vetorial, tendo essas curvas equidistância vertical de 5 em 5 metros. Posteriormente, utilizou-se a função *TOPO TO RASTER* do SIG ArcGIS 10 (ESRI, 2010), que é um interpolador especificamente desenhado para a criação de Modelos Digitais de Terreno, por intermédio de isolinhas de altimetria (curvas de nível). Assim, gerou-se uma grade regular de 5m, ou seja, *pixels* de 5x5 metros.

2.2.11 Modelos Automáticos de Determinação de Drenagens e Nascentes (D8 e Dinf)

Quando um MDT é gerado, alguns *pixels* podem apresentar um valor muito diferente dos seus vizinhos, causado pela alta declividade local. Para se corrigir essa possível imperfeição do método de interpolação, utilizou-se a ferramenta *PIT REMOVE* (preenchimento de depressões), do programa TauDEM (TARBOTON, 2010). Assim, essas depressões foram preenchidas pela média das cotas dos *pixels* vizinhos, gerando um MDT mais consistente.

Com o MDT pronto para aplicação dos modelos, utilizou-se a metodologia de determinação de drenagens para os dois algoritmos a serem estudados (D8 e D-Infinity).

O fluxograma apresentado na Figura 7 resume todas as etapas realizadas no trabalho.

Figura 7 - Etapas realizadas na obtenção dos resultados

2.2.11.1 Direção de Fluxo (Flow Direction)

A Direção de Fluxo define as relações hidrológicas entre pontos diferentes dentro de uma bacia hidrográfica (RENNÓ *et al.*, 2008). A continuidade topológica para as Direções de Fluxo é, conseqüentemente, necessária para que uma drenagem funcional possa existir (SOBRINHO *et al.*, 2010).

Em um MDT, o escoamento superficial está relacionado com o valor da cota de cada *pixel*. Assim, os vários algoritmos podem representar as direções de fluxo da água sobre o terreno.

A determinação da rede de drenagem no modelo hidrológico é realizada com a definição da direção de fluxo em cada célula, assumindo-se que o escoamento da

água segue da célula considerada para suas células vizinhas (PAZ; COLLISCHONN; TUCCI, 2005).

Seguindo as direções de fluxo, obtém-se a quantidade de células a montante que drenam para cada uma das células a jusante. No algoritmo D-8 (oito possíveis direções de fluxo) (O'CALLAGHAN; MARK, 1984) (Figura 8), as direções de fluxo são representadas na forma de grade regular, cujo valor de cada célula corresponde a uma das 8 direções possíveis. A obtenção da direção de fluxo em cada *pixel* pode ser realizada por procedimentos automatizados, o qual atribui o sentido do escoamento de um *pixel* para um de seus oito vizinhos com base na diferença de cota ponderada pela distância entre eles. Como resultado, a cada *pixel* é atribuído um número indicativo de uma das oito direções de fluxo possíveis. Seguindo as direções de fluxo, obtém-se a quantidade de células a montante que drenam para cada uma das células a jusante, determinando o fluxo acumulado de drenagem.

Figura 8 - Modelo D8: (a) Direções possíveis de um *pixel*; (b) Cota de cada *pixel*, em metros; (c) Direção do escoamento para a célula com menor cota

Fonte: Adaptado de Turcote *et al.* (2001)

Porém, esse método apresenta muitas imperfeições e acaba se concentrando apenas nos canais principais, desconsiderando que a água pode escoar para várias direções (TARBOTON, 1997).

Tarboton (1997) estudou o método das oito direções possíveis e encontrou diversas inconsistências, apresentando um escoamento superficial bastante concentrado nos grandes cursos d'água (Figura 9). Assim, desenvolveu-se um algoritmo de infinitas possibilidades de direções de fluxo (D-Infinity), que supera as limitações do método D-8. O D-Infinity (TARBOTON, 1997) calcula as infinitas possibilidades de direções de fluxo da água a partir de facetas triangulares em uma

janela de 3x3 *pixels*. Dessa forma, a distribuição do fluxo é proporcional entre os *pixels* subjacentes de acordo com a declividade de cada faceta triangular (Figura 10).

Figura 9 - Comparação visual entre os dois algoritmos de modelagem de escoamento superficial. Adaptado de Tarboton (1997)

Figura 10 - Método D-Infinity proposto por Tarboton (1997)

Fonte: Tarboton (1997).

Assim, as direções de fluxo foram calculadas pelos dois métodos, e, a partir desses mapas, foi possível obter-se o Fluxo Acumulado, para cada modelo.

2.2.11.2 Fluxo Acumulado (Flow Accumulation)

O Fluxo Acumulado é o par âmetro que determina por onde o fluxo direcionado se acumulará, permitindo a locação da rede de drenagem e a delimitação automática da bacia hidrográfica. Este processo compara cada *pixel* com seus oito vizinhos e determina, por meio da Direção de Fluxo, quantas células drenam para a célula à jusante, acumulando os dados para cada *pixel* do *raster*, e determinando por onde haverá um maior acúmulo de água, até o exutório da bacia. Geralmente, o exutório de uma bacia hidrográfica é a sua foz, mas também pode ser uma barragem, uma estação de coleta de dados hidrológicos ou qualquer ponto de interesse a ser estudado.

Para Valeriano (2008), o Fluxo Acumulado, também conhecido como Área de Contribuição, apresenta obtenção complexa, seja de forma manual ou computacional, uma vez que reúne, além de características do comprimento de rampa (conexão com divisores de água a montante), a curvatura horizontal (confluência e divergência das linhas de fluxo).

Sobrinho *et al.* (2010 adaptado de TURCOTE *et al.* (2001)) apresentaram um exemplo de determinação do Fluxo Acumulado (Figura 11), onde é possível observar a formação dos caminhos preferenciais de fluxo da água que originam a rede hidrográfica.

Figura 11 - Exemplo de determinação do Fluxo Acumulado, apresentado por Sobrinho *et al.* (2010 adaptado de TURCOTE *et al.*, 2001)

Utilizando o método acima apresentado, calculou-se o Fluxo Acumulado (Área de Contribuição) para os dois métodos, pela função *Contribution Area*, no programa

TauDEM (TARBOTON, 2010). A partir disso, pode-se delimitar as drenagens pelo *Threshold*.

2.2.11.3 Delimitação das Drenagens pelo *Threshold* (Stream Definition by Threshold)

A ferramenta Delimitação das Drenagens pelo *Threshold* utiliza o mapa resultante do Fluxo Acumulado e transforma todo *pixel* que apresentar seu valor acumulado maior que o determinado pelo usuário (*Threshold*) para o valor 1 do novo mapa. Todos os *pixels* que tiverem um valor menor que o *Threshold* são automaticamente transformados para o valor 0, sendo dessa forma considerados como o fundo preto do mapa final (TARBOTON, 1997).

No presente estudo, utilizou-se a localização das nascentes existentes nas cartas topográficas do IGC, em escala 1:10.000, para serem cruzadas com os mapas de Fluxo Acumulado, obtendo-se, assim, a média de acúmulo de água nos *pixels* onde se encontram as nascentes. Esse valor é denominado de *Threshold*, e é diferente para cada método, já que apresentam metodologias diferentes de obtenção. Para regiões onde não existam cartas topográficas para cálculo da média dos pontos das nascentes, imagens de satélite podem servir como base para tal.

2.2.12 Elaboração de amostras circulares

Para ser possível uma amostragem e uma análise estatística, foram dispostas 29 amostras circulares de 0,5 km de raio (Figura 12), cada uma com 0,785 km² de área, totalizando 18,43 km² dentro da MHC (86,12% da área total da MHC).

Figura 12 - Amostras circulares realizadas para cada método analisado: (a) Cartas Topográficas IGC; (b) Método D8; (c) Método D-Infinity

2.2.13 Estatística – Comparação dos Resultados

Para uma melhor comparação entre os métodos, foram analisados dois fatores quantitativos: Comprimento das Drenagens (CD) e Número de Nascentes (NN).

Para o parâmetro CD, também estudado por Petsch, Monteiro e Bueno (2012), Fernandes *et al.* (2012) e Reckziegel e Robaina (2006), obteve-se o valor para toda a Microbacia Hidrográfica do Ceveiro para ser possível uma avaliação prévia dos métodos estudados.

Já para o NN, utilizou-se o coeficiente de correlação de concordância proposto por Lin (1989) aplicado às 29 amostras circulares. Este coeficiente foi criado especialmente para verificar se metodologias diferentes de quantificação de substâncias são equivalentes. Em seu trabalho, Lin (1989) mostrou que sua metodologia é superior a métodos como: o da comparação de médias; o da regressão linear e o do coeficiente de correlação linear de Pearson.

Assim, resolveu-se aplicar tal coeficiente para que pudesse ser realizada a análise dos resultados quantitativos finais de comparação do parâmetro NN entre os dois métodos automáticos e as cartas topográficas.

2.3 Resultados e Discussão

Na checagem de campo, das 63 nascentes propostas, 33 nascentes foram encontradas, mesmo que, às vezes, bem distantes do local previamente obtido nas cartas topográficas 1:10.000 (que foram elaboradas em 1978); 14 delas não foram encontradas, nem próximas, do local indicado; em 16 delas não foi possível ter acesso ao local. Ainda, foi encontrada uma outra nascente, não indicada no mapa original, que foi alocada no mapa final de checagem de campo (ANEXO A).

Pelo fato da MHC apresentar 67,9% do seu uso e ocupação do solo com a monocultura da cana-de-açúcar (BARROS, 2012), a maior parte das nascentes encontraram-se deslocadas do local originalmente proposto pelas cartas, principalmente pelo fato desta monocultura contribuir na retração da mata ciliar ao redor dessas nascentes (MACHI; CUNHA, 2007).

Assim, com essa dificuldade encontrada em campo, resolveu-se utilizar as cartas topográficas 1:10.000 sem nenhuma alteração como base para a comparação

com os outros métodos, já que estas são documentos oficiais utilizados por vários órgãos públicos do Estado de São Paulo.

Ao se realizar o cruzamento da camada das nascentes das cartas topográficas com os mapas de Fluxo Acumulado, obteve-se a média de acúmulo de água nos *pixels* onde se encontram as nascentes. Assim, obteve-se, para o método D8, um *Threshold* médio de 200. Já o método D-Infinity apresentou um *Threshold* médio de 800.

A partir dos *Thresholds* determinados para cada método, obteve-se o *raster* final com os cursos d'água para os dois métodos, comparados visualmente com os obtidos por meio das cartas topográficas, conforme é apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Detalhe da comparação entre as drenagens delimitadas usando *Threshold*: (a) Método D8; (b) Método D-Infinity, tendo como base as drenagens das cartas topográficas do IGC 1:10.000

Pela análise da Figura 13, é possível observar que as drenagens principais da bacia foram bem determinadas por ambos métodos, como também observaram Petsch, Monteiro e Bueno (2012) e Silva e Kobiyama (2004).

O Comprimento de Drenagem (CD) obtido pela aplicação de cada método apresenta-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Comprimento de Drenagem (CD) da MHC para cada método estudado

Métodos	Comprimento de Drenagem (m)	Comparação com as cartas (%)
Cartas	74.265,821	100,00
D8	120.585,083	162,15
D-Infinity	96.373,116	129,59

Interpretando-se os resultados da Tabela 2, observa-se que os dois métodos estudados (D8 e D-Infinity) superestimaram o CD. Para o método D8, houve um acréscimo de 62,15% do comprimento total presente nos cursos d'água extraído das cartas. Já para o método D-Infinity, houve um acréscimo menor, de 29,59% do total presente nas cartas. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que os modelos automáticos geram muito mais ramificações nos cursos d'água quando comparado às cartas (Figura 13), como observaram Petsch, Monteiro e Bueno (2012).

Também, quando os modelos determinam automaticamente as drenagens, naquele *pixel*, a água acumulada teoricamente formaria um curso d'água (perene, efêmero ou intermitente), o que pode não ter ocorrido no campo, já que muitos outros fatores contribuem para a formação e caminhamento dos cursos d'água, como o uso do solo e outras interferências naturais e antrópicas (VANZELA et. al, 2010). Também, nas cartas topográficas 1:10.000 do IGC são consideradas apenas as drenagens perenes do local. Nos modelos, todo local onde há um acúmulo de água é considerado um curso d'água, independente da época do ano.

Comparando-se os dois modelos, o modelo D-Infinity apresentou um resultado de CD menor que o D8, principalmente pelo fato do modelo D-Infinity realizar as direções de drenagem não retilíneas, fazendo com que muitos cursos d'água, que pelo modelo D8 mostraram-se paralelos, se unissem em um único curso; assim, considerando esse aspecto, o D-Infinity mostra-se mais próximo às cartas.

Já quanto ao Número de Nascentes (NN), obteve-se as nascentes das 29 amostras circulares propostas para esse parâmetro (Figura 14), para os dois modelos automáticos estudados (Tabela 3).

Tabela 3 - Número de Nascentes (NN) obtido por cada método para cada amostra circular

Amostras Circulares	Cartas IGC	Método D8	Método D-Infinity
1	0	18	9
2	2	23	10
3	4	13	7
4	2	25	19
5	0	18	8
6	5	19	11
7	6	11	7
8	6	17	8
9	3	22	11
10	0	16	9
11	2	22	6
12	6	13	6
13	2	25	10
14	6	18	10
15	1	24	14
16	3	10	6
17	4	15	5
18	7	18	8
19	4	10	6
20	4	14	7
21	4	15	8
22	11	22	16
23	4	15	9
24	3	20	7
25	3	7	2
26	7	14	10
27	5	11	8
28	4	8	6
29	2	7	5

Figura 14 - Amostras circulares dispostas sobre a MHC para a aplicação do coeficiente de correlação de concordância de Lin para o Número de Nascentes (NN): (a) Cartas Topográficas IGC; (b) Método D8; (c) Método D-Infinity

Analisando os resultados da Tabela 3, observou-se que os modelos automáticos superestimaram os valores de NN, para a grande maioria das amostras circulares. Isso demonstra, como observado por Petsch, Monteiro e Bueno (2012), que os modelos automáticos estudados criam uma grande quantidade de ramificações e como, no presente trabalho, assumiu-se como nascente todo início de um curso d'água de primeira ordem, o resultado foi um NN superestimado para a grande maioria das amostras, quando comparados às Cartas 1:10.000.

Pela análise dos resultados de NN na Tabela 3, observou-se que o modelo D-Infinity apresentou resultados mais próximos ao das cartas (como na amostra 12, por exemplo), quando comparado ao modelo D8.

Assim, aplicou-se o coeficiente de correlação de concordância proposto por Lin (1989) ao resultado de NN das 29 amostras circulares (Figura 15).

Figura 15 - Coeficientes de correlação de concordância de Lin (–) para o parâmetro NN entre as cartas topográficas do IGC e os dois métodos automáticos e respectivos intervalos de 95% de confiança

A Figura 15 apresenta os coeficientes observados para o NN entre as cartas topográficas do IGC e os dois métodos automáticos (D8 e D-Infinity), e respectivos intervalos de 95% de confiança. Analisando-se a mesma, observa-se que nos dois métodos estudados o intervalo de confiança incluiu o valor 0, ou seja, quando não se há evidências para dizer que essas metodologias são equivalentes à padrão. Sendo assim, o método D8 apresentou o coeficiente -0,0181, mostrando assim que, por ter apresentado um resultado negativo, o método D8 pode ser considerado totalmente diferente das cartas para o NN (LIN, 1989; ZAR, 1999). Já o método D-Infinity apresentou o coeficiente 0,0467, resultado muito próximo de 0 (nível de significância 5%), mostrando que esse método também está muito próximo de ser considerado totalmente diferente do padrão.

Com o resultado de NN para cada amostra, elaborou-se gráficos de dispersão (Figura 16) das 29 amostras circulares comparando os resultados obtidos pelos dois métodos às nascentes existentes nas cartas (Tabela 3).

Figura 16 - Gráficos de dispersão e da reta de equação $y = x$ dos dois métodos automáticos de determinação de nascentes para NN

Analisando-se a Figura 16, observou-se que os resultados obtidos pelo método D-Infinity se aproximaram mais da reta de equação $y = x$ do que o método D8, ou seja, o número de nascentes observadas nas amostras circulares para o método D-Infinity se aproximaram mais do observado nas cartas do que pelo método D8, como observa-se na Tabela 3.

Assim, interpretando-se os resultados de NN, foi possível concluir que, para quantificar o número de nascentes em uma bacia, nenhum dos dois métodos automáticos se assemelhou, quantitativamente, às cartas, como observa-se na Figura 17.

Figura 17 - Detalhe do mapa final dos três métodos estudados: (a) Cartas Topográficas IGC escala 1:10.000; (b) Método D8; (c) Método D-Infinity

Os métodos automáticos de determinação apresentaram muitas nascentes e ramificações na rede de drenagem que não foram observadas nas cartas topográficas do IGC. Isso se deve ao fato dos modelos não considerarem diferença entre épocas chuvosas e secas, apresentando, assim, todas as nascentes perenes (contínuas durante todo o ano), intermitentes (existem apenas na estação chuvosa do ano) e efêmeras (surgem apenas durante uma chuva, permanecendo por apenas alguns dias) que deveriam existir naquele relevo. Já nas cartas, apenas as nascentes perenes normalmente são consideradas. Outro motivo dessa diferença, quanto ao NN, se deve ao fato dos modelos terem apresentado escoamentos laterais em cursos d'água mais espessos, principalmente no método D8, contabilizando um maior número de nascentes do que realmente deveria ser obtido.

Mesmo assim, apesar de, quantitativamente, os métodos automáticos terem apresentado diferenças em relação às cartas topográficas do IGC, esta metodologia automática pode ser considerada uma ferramenta de grande utilidade na determinação de drenagens em regiões onde não se dispõe de outro método para tal uso, visto que foram determinadas drenagens principais da MHC muito semelhantes ao padrão.

2.4 Conclusão

Para o parâmetro Comprimento de Drenagem (CD), os métodos D-Infinity e D8 superestimaram, respectivamente, 29,59% e 62,15% do valor de CD extraído das cartas, porém, em ambos os métodos, as drenagens principais se apresentaram, visualmente, bem semelhantes às existentes nas cartas 1:10.000.

Para o parâmetro Número de Nascentes (NN), concluiu-se que ambos os métodos automáticos foram considerados, estatisticamente, em nível de 95% de confiança, diferentes das cartas, não sendo recomendável a quantificação do NN por métodos automáticos de delimitação de drenagens.

Referências

ALVES, S.C. A água como elemento fundamental da paisagem em microbacias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, Epamig, v.21, n.207, p.9-14, 2000.

BARROS, P.P. da S. **Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro**. 2012. 126p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111143/tde-20092012-082454/>>. Acesso em: 06 jun.2013.

COELHO, A.L.N. Uso de dados SRTM como ferramenta de apoio ao mapeamento geomorfológico de bacia de médio grande porte. **Revista Geográfica Acadêmica**, Goiânia, UFG, v.2, n.2, p. 138-153, 2008.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**, versão 10. Software. 2010.

FERNANDES, M.C.; AVELAR, A.S.; MENEZES, P.M.L.; COELHO-NETTO, A.L. Comparação do uso de superfície real e planimétrica para análises do índice de eficiência de drenagem: um estudo de caso no Maciço da Tijuca – RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v. 13, n.1, p.29 – 37, 2012.

FIORIO, P.R. **Cronologia do uso da terra e seu impacto no ambiente da Microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro da Região de Piracicaba, SP**. 1998. 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**: escala 1:500.000. v.1 (texto) e v.2 (mapa). Governo do estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. 1981.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering Remote Sensing**, Bethesda, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.

LIN, L I-K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, Washington, v. 45, p. 255–268, 1989.

MACHI, D.A.; CUNHA, C.M.L. da. Caracterização dos elementos físicos da bacia do córrego Santo Antônio (Rio Claro/SP). **Revista Sociedade & Natureza (Online)** [online]. v.19, n.2, p. 139-151, 2007.ISSN 1982-4513.

O'CALLAGHAN, J.F.; MARK, D.M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, New York, v. 28, p. 323-344, 1984.

OLIVEIRA, J.S. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solo em ambiente SIG**. 2012. 103p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-31052012-075705/publico/Julio_Storion_Oliveira_versao_revisada.pdf>. Acesso em: 06 ago.2013.

OLIVEIRA, A.H.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; KLINKE NETO, G.; SILVA, M.A. da; ARAÚJO, E.F. de. Consistência hidrológica de modelos digitais de elevação (MDE) para definição da rede de drenagem na sub-bacia do horto florestal Terra Dura, Eldorado do Sul, RS. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1259-1268, 2012.

PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Geração de direções de fluxo para modelagem hidrológica de grande escala. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, 2005. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2005, On-line. Disponível em: <http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/Paz_et_al_SBRH_2005c.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2013.

PETSCH, C.; MONTEIRO, J.B.; BUENO, M.B. Análise comparativa da acuracidade da rede de drenagem gerada automaticamente e extraída de carta topográfica estudo de caso no município de Ponta Grossa – PR. **Revista Geonorte**, Manaus, v.2, n.4, p.1195–1205, 2012.

RECKZIEGEL, E.W.; ROBAINA, L.E.S. Estudo de parâmetros morfométricos do relevo e da rede de drenagem da área situada entre os rios Jaguari e Ibicuí no município de São Vicente do Sul – RS. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6, 2006.. **Anais...** Goiânia: UFGO, 2006, On-line. Disponível em: <www.ufsm.br/lageolam/arquivos/Reckziegel_E.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2013.

RENNÓ, C.D.; NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; SOARES, J.V.; HODNETT, M.G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M.J. Hand, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.112, n.9, p.3469-3481, 2008.

SILVA, A.B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora UNICAMP, 2003. 232p.

SILVA, E.F. da. **Mapas de solos produzidos em escalas e épocas distintas**. 2000. 177p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SILVA, R.V.; KOBIYAMA, M. Delineamento automático da rede de drenagem em bacias hidrográficas com ênfase em trechos de zero ordem. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 21., 2004. São Pedro-SP. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 2004, On-line. Disponível em: <www.labhidro.ufsc.br/Artigos/b295.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2013.

SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação automática de Bacias Hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, 2010.

TARBOTON, D. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, Washington, v.33, n.2, p. 309-319, 1997.

TARBOTON, D. TAUDem: **Terrain Analysis Using Digital Elevation Models. ArcGIS Extension**. Versão 5.1. Utah State University. 2010. On-line. Disponível em: <<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5.0/index.html>>. Acesso em: 01 Nov. 2012.

TESFA, T.K.; TARBOTON, D.G.; WATSON, D.W.; SCHREUDERS, K.A.T.; BAKER, M.E.; WALLACE, R.M. Extraction of hydrological proximity measures from DEMs using parallel processing. **Environmental Modelling and Software**, Oxford, v.26, 12, p. 1696-1709, 2011.

TURCOTTE, R.; FORTIN, J.P.; ROUSSEAU, A.N.; MASSICOTTE, S.; VILLENEUVE, J.P. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.240, n.3, p.225-242, 2001.

VALERIANO, M.M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). **Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.72-104.

VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO, R.A.M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p.55-64, 2010.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. 5 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 944p.

3 DIFERENTES PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO NO MAPEAMENTO VISUAL DE DRENAGENS E NASCENTES NA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO CEVEIRO

Resumo

O uso de imagens de satélite e fotografias aéreas vem se tornando cada vez mais comuns na obtenção de dados ambientais, como os cursos d'água e nascentes. Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo comparar três diferentes produtos utilizados no mapeamento visual de drenagens e nascentes: um mosaico de imagens do satélite SPOT/Ikonos, imagens do programa *Google Earth®* e fotografias aéreas, na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHC). Utilizou-se a rede de drenagem presente em cartas topográficas do IGC/SP, escala 1:10.000, como base para comparação no trabalho. Para uma melhor comparação entre os produtos, foram analisados dois fatores: comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN), sendo as análises realizadas apenas em caráter quantitativo. Para a avaliação do CD, utilizou-se o resultado da MHC como um todo para ser possível uma avaliação prévia dos produtos estudados. Já para a avaliação do NN foram dispostas vinte e nove amostras circulares de 0,5 km de raio e obteve-se os resultados pela utilização do coeficiente de correlação de concordância de Lin. Para o CD, a imagem do satélite SPOT apresentou maior semelhança com as cartas 1:10.000, apresentando 1,43% acima do CD existente nas cartas. Para o NN, houve uma maior semelhança entre os produtos estudados, tendo a fotografia aérea apresentado o valor mais alto do coeficiente, sendo esse o produto analisado que apresentou maior equivalência com o valor das nascentes obtidas nas cartas.

Palavras-chave: SIG; Fotografias aéreas; *Google Earth®*; SPOT

Abstract

The use of satellite images and aerial photography is becoming increasingly common in obtaining environmental data, such as streams and springs. Thus, the present study aimed to compare three different products used in the visual mapping of drainages and springs: a mosaic of images from SPOT/Ikonos satellite, *Google Earth®* images and aerial photographs, for Ceveiro's Watershed. Were used the drainage network present in the IGC topographic maps scale 1:10,000 as a basis for comparison in the study. For a better comparison between the products, were analyzed two factors: length of drainage and number of springs. Analyses were performed only on quantitative character. To evaluate the length of drainage, we used the results of the whole Ceveiro's Watershed to be possible a prior assessment of the studied products. So, for number of spring's analysis, were placed twenty-nine circular samples with 0.5 km of radius and performed a Lin's concordance correlation coefficient. For length of drainage, SPOT image showed greater resemblance to the 1:10.000 topographic maps, with 1.43% above the existing drainage length in these maps. To the number of springs, there was a greater similarity between the products, with aerial photographs springs showed the highest coefficient value, which is the analyzed product with the highest similarity to the value obtained from the IGC maps.

Keywords: GIS; Aerial Photographs; *Google Earth®*; SPOT

3.1 Introdução

A disponibilidade de recursos hídricos como um todo é limitada e sua demanda cresceu com o aumento populacional, de forma a determinar disputas pelo direito de uso de quotas de água (BOKEN *et al.*, 2004). As principais fontes de recursos hídricos disponíveis ao sustento humano não excedem 90.000 km³ ou 0,26% da água doce da Terra (SHIKLOMANOV, 1998). Pinto *et al.* (2004) ressaltou que a água potável acessível é relativamente escassa e, sem dúvida, essa escassez foi um dos principais problemas ambientais a serem enfrentados pela população mundial nas próximas décadas. Tal fato pode ser percebido conforme o Relatório das Organizações das Nações Unidas (ONU), que prevê que a água foi um recurso escasso para este milênio e, daqui a 3 décadas, a carência de água vai afetar 2/3 da população mundial, o equivalente a 5,5 bilhões de pessoas (ALMEIDA; DUARTE; ARAÚJO, 2000).

Uma bacia hidrográfica pode ser definida como uma unidade física, caracterizada como uma área de terra drenada por um determinado curso d'água e limitada, perifericamente, pelo divisor de águas. Moldan e Cerny (1994) definem uma microbacia, do ponto de vista hidrológico, como a menor unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água como: atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d'água e paisagem circundante.

Alves e Carvalho (2007) afirmaram que, para a proteção do meio ambiente, o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem contribuído com as metodologias empregadas em estudos ambientais oferecendo maior agilidade, objetividade, consistência e precisão na tomada de decisões geoespaciais, sobretudo a partir da década de 70. O processamento de informações geográficas, ou seja, desenvolvidos em ambiente de SIG, é uma ferramenta fundamental nas análises qualitativas e quantitativas na caracterização do objeto de estudo. Para Nowatzki, Santos e De Paula (2010), a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser uma excelente ferramenta, visto que os mapeamentos podem ser realizados com maior precisão e ser utilizado em diversos tipos de estudos.

Nesse contexto, Alves *et al.* (2008) mapearam as nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, em Lavras-MG, com base em fotos aéreas

verticais para verificar a distribuição espacial de algumas variáveis ambientais nas nascentes. Os resultados obtidos mostraram que foi possível representar e caracterizar a distribuição espacial nas nascentes, sendo o Sistema de Informações Geográficas de suma importância para realização do mesmo. Neste trabalho, as fotografias foram interpretadas com o auxílio de um estereoscópio de bolso, o qual forneceu uma visão tridimensional do terreno, com base na metodologia de Rocha (1985) e Pinto (2003).

Roig *et al.* (2009) fizeram uma avaliação bem sucedida do uso e cobertura da terra em um área da APA da Bacia do Rio São Bartolomeu-DF utilizando imagens do satélite SPOT5, sendo que essa imagem foi importante para a melhor definição dos alvos pretendidos.

Simon e Trentin (2009), em busca de alternativas em imagens para a elaboração de séries temporais de uso da terra, procuraram avaliar as potencialidades das imagens do programa *Google Earth®*. Foram apresentadas duas aplicações destas imagens na identificação de padrões recentes de uso da terra e, de forma geral, as imagens do *Google Earth®* se mostraram adequadas para tal fim, já que no programa existiam algumas datas diferentes de imagens para os locais estudados.

Assim sendo, o objetivo do presente trabalho foi o de comparar diferentes produtos de sensoriamento remoto com cartas topográficas de escala 1:10.000 no mapeamento visual de drenagens e nascentes, verificando possíveis semelhanças desses produtos com as cartas, já que estas estão disponíveis apenas para uma pequena parte do país, existindo uma necessidade de se encontrar métodos e produtos equivalentes às cartas topográficas, para os mais variados fins.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Localização da área de estudo

A Microbacia Hidrográfica do Córrego do Cerveiro (MHC) está localizada na margem direita do Rio Piracicaba, dentro do município de Piracicaba, Estado de São Paulo (Figura 1), possuindo uma área total de 21,8 km² (1,56% da área total do município). Está situada entre as coordenadas de latitudes 22°37'00" S e 22°40'00" S e de longitudes 47°43'00" O e 47°47'00" O e é limitada a montante pelo bairro de

Santana e a jusante pelo distrito de Ártemis, sendo o referido córrego um dos afluentes diretos do Rio Piracicaba.

Figura 1 – Localização da Microbacia Hidrográfica do Ceuveiro (MHC)

3.2.2 Clima

O clima da região é o Cwa segundo Köppen, definido como mesotérmico subtropical com inverno seco e verão chuvoso, temperaturas do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio não excede 18°C, como também observado por Oliveira (2012). As chuvas concentram-se nos meses de outubro a março, apresentando uma precipitação média anual de 1.250mm, e o período seco de abril a setembro. Na Figura 2, estão representadas as precipitações médias acumuladas entre os anos de 1917 e 2010, mês a mês.

Figura 2 - Precipitação média mensal entre os anos de 1917 e 2010

3.2.3 Relevo

O relevo na MHC caracteriza-se por apresentar morros em cotas variando entre 460 e 580 m de altitude, com classes de relevo ondulado. A declividade predominante nas encostas é de 10 a 15% e nos topos de 5%. As áreas com declividades menores que 2% se encontram em pequenas várzeas e topos de alguns morros, constituindo menos de 5% da área total, como observado por Fiorio (1998).

3.2.4 Vegetação

A vegetação original foi mapeada por Fiorio (1998) e classificada como Floresta mesófila semidecídua, com ocorrência de ripárias nas margens dos cursos d'água. Atualmente essas vegetações são praticamente inexistentes, estando restritas a algumas partes da rede de drenagem que compõe o Córrego do Ceveiro e nas partes mais íngremes do relevo.

3.2.5 Geologia e Material de Origem

A MHC está inserida na bacia do Paraná e apresenta coluna estratigráfica representada por sedimentos do Grupo São Bento e Grupo Passa Dois (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT, 1981). As rochas encontradas são:

arenitos da Formação Piramboia e intrusivas básicas da Formação Serra Geral, ambas do Grupo São Bento e por siltitos, argilitos e folhelhos da Formação Corumbataí do Grupo Passa Dois.

As rochas da Formação Corumbataí, dão origem a cerca de 67% dos solos da bacia que ocorrem principalmente às margens do Ceveiro e ao lado esquerdo da bacia (sentido de observação montante à jusante). Nos topos, à direita da bacia, encontram-se com mais frequência os solos originados da Formação Piramboia. A Formação Serra Geral, constituída por intrusões básicas, ocorre com maior intensidade na cabeceira da bacia, recobrimdo a Formação Piramboia.

3.2.6 Solos

Segundo Silva (2000), a MHC possui 8 ordens de solos: ALISSOLOS, ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NITOSSOLOS, CHERNOSSOLOS, CAMBISSOLOS, NEOSSOLOS e GLEISSOLOS. A disposição dessas classes é apresentada na Figura 3.

Assim, observou-se os seguintes subgrupos: ALISSOLOS CRÔMICOS Argilúvicos abrupáticos, ALISSOLOS CRÔMICOS Argiluvicos abrupáticos arenicos e ALISSOLOS CRÔMICOS Argiluvicos abrupticos lépticos; ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupáticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Aluminícos abrupáticos arênicos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Alumínicos abrupticos lépticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupáticos arênicos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupáticos lépticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos abrupáticos Ta, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupáticos, ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS Eutróficos abrupáticos lépticos; ARGISSOLOS VERMELHOS Eutróficos típicos; LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos típicos, LUVISSOLOS CRÔMICOS Pálicos arênicos abrupáticos e LUVISSOLOS CRÔMICOS Órticos abrupáticos; NITOSSOLOS VERMELHOS Eutróficos argissólicos e NITOSSOLO VERMELHO Eutróficos típicos; CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS Órticos típicos; CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Alumínicos lépticos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos lépticos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Ta Eutróficos típicos, CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb eutróficos lépticos e CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb Eutróficos típicos; NEOSSOLO

LITÓLICOS álico típicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Eutrófico típicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Eutróficos chernossólicos, NEOSSOLO LITÓLICOS Distróficos típicos álicos e NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos típicos; NEOSSOLOS FLÚVICOS Tb Eutróficos; GLEISSOLOS HÁPLICOS Indiscriminados e NEOSSOLOS INDIFERENCIADOS os quais surgem devido a degradação acelerada de algumas vertentes da microbacia, por erosão, depósitos coluviais recentes soterrando solos próximos aos rios e várzeas, então o autor sugeriu a criação dessa subordem.

Figura 3 - Mapa de solos detalhado da MHC conforme Silva (2000)

3.2.7 Mapa de solos

Barros (2012) digitalizou o mapa de solos detalhado apresentado por Silva (2000), converteu-o no programa IMPIMA para o formato do SPRING, registrou-o via modo tela tendo como referência as cartas 1:10.000 e digitalizou-o via modo matricial no programa SPRING. Foi feita uma reclassificação e um reagrupamento de acordo com o novo sistema brasileiro de classificação de solos, segundo

Embrapa (2006), utilizando a função *reclass* via linguagem LEGAL conforme Figura 4.

Figura 4 - Representação do mapa de solos reagrupados da MHC, apresentado por Barros (2012)

3.2.8 Cartas planialtimétricas

As cartas topográficas (planialtimétricas) tem a função de auxiliar na elaboração de diversos tipos de trabalho, como mapeamentos de declividade, mapeamento hipsométrico, ajudar interpretar o relevo de bacias, e também no mapeamento de drenagens. Tais mapas contém toda a rede de drenagem e todas as isolinhas de altimetria, auxiliando assim no mapeamento e localização de nascentes. Foram utilizadas nesse trabalho, para compor toda a MHC (Tabela 1), seis cartas topográficas na escala 1:10.000 confeccionadas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) do Estado de São Paulo.

Tabela 1 - Folha, numeração e articulação das cartas topográficas 1:10.000 que compõem toda a MHC

Folha	Numeração	Articulação
Córrego do Limoeiro	SF-23-Y-A-IV-1-NE-F	069/087
Vila Olímpia	SF-23-Y-A-IV-2-NO-E	069/088
Estância Lago Azul	SF-23-Y-A-IV-1-SE-B	070/087
Córrego das Ondas	SF-23-Y-A-IV-2-SO-A	070/088
Ártemis	SF-23-Y-A-IV-1-SE-D	071/087
Santa Terezinha do Piracicaba	SF-23-Y-A-IV-2-SO-C	071/088

Essas cartas foram confeccionadas a partir de levantamentos aerofotogramétricos realizados pela Terra Foto S.A. Atividades de Aerolevantamentos no ano de 1978, com reambulação em campo entre 1978 e 1979. As curvas de nível são equidistantes em 5 metros. A projeção originalmente utilizada nas cartas é a Universal Transversa Mercator (UTM), DATUM Córrego Alegre e referência vertical do Marégrafo de Imbituba, SC.

As cartas foram digitalizadas e importadas ao software ArcGIS 10 (ESRI, 2010), georreferenciadas por meio dos pontos de controle presentes, reprojetaas para o DATUM SIRGAS 2000 e assim obteve-se digitalizadas todas as suas curvas de nível (incluindo os pontos cotados) e hidrografia (Figura 5), para que fosse possível mapear e quantificar o número de nascentes presentes nas cartas, para assim poderem ser comparadas com os produtos estudados.

Figura 5 - Mapa extraído a partir das cartas topográficas 1:10.000, contendo as curvas de nível, os pontos cotados e a hidrografia presente na Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHC)

3.2.9 Checagem de Campo

Utilizando as nascentes obtidas por meio das cartas topográficas do IGC 1:10.000, realizou-se uma checagem de campo a fim de confirmar a existência e localização dessa nascentes. Assim, gerou-se um mapa para ser aplicado em campo (Figura 6).

Figura 6 - Mapa de localização das nascentes para checagem de campo obtidas por meio das cartas topográficas

Das 128 nascentes presentes nas cartas, locou-se 63 delas no mapa de campo (aproximadamente 50%). As fotos e os pontos de GPS utilizados no campo estão apresentados no ANEXO A.

3.2.10 Fotografias Aéreas

Para a confecção do mapa de drenagem da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC), foram utilizadas Fotografias Aéreas da região (Tabela 2), todas de um voo realizado no ano de 2005. Assim, com o auxílio de um estereoscópio de espelho, cada par fotográfico foi utilizado para se marcar os pontos de controle e traçar a rede hidrográfica em acetato, tendo as nascentes sido mapeadas até o final da vegetação arbórea visível ou até a calha d'água observada. O acetato com a rede de drenagem foi digitalizado e importado para o ambiente SIG (ArcGIS 10) (ESRI, 2010), registrando via tela, utilizando pontos de controle presentes nas cartas 1:10.000 do IGC (como estradas e o próprio contorno da área de contribuição da MHC) e digitalizando em vetores. Todos os mapas gerados nesse trabalho foram

transformados para o DATUM SIRGAS 2000, que é o DATUM oficial para uso no Brasil atualmente.

Tabela 2 - Características das fotografias aéreas para composição do par estereoscópico para a MHC

Foto	Faixa	Escala	Latitude	Longitude
9384	29 ^a	1:30.000	22°39'41"S	47°41'27"W
9385	29 ^a	1:30.000	22°39'39"S	47°43'04"W
9386	29 ^a	1:30.000	22°39'37"S	47°44'40"W
9387	29 ^a	1:30.000	22°39'36"S	47°46'17"W

Fonte: Barros (2012).

Assim, com o mapa da rede de drenagem confeccionado, obteve-se as nascentes presentes nas Fotografias Aéreas da área da MHC. Com esses dados, comparou-se os resultados, estatisticamente, por meio do coeficiente de correlação de concordância proposto por Lin (1989), com a metodologia considerada padrão para ser comparada neste trabalho (cartas topográficas 1:10.000).

3.2.11 Imagens de Satélite

O uso de imagens de satélite como meio de se obter dados remotos diversos vem se tornando cada dia mais difundido, tanto no meio científico como em áreas comerciais. Para isso, utilizou-se dois tipos diferentes de imagens de satélite para se obter o mapa de drenagem e, por fim, o mapa das nascentes contidas na MHC. Para padronizar os trabalhos, as nascentes foram mapeadas até o final da vegetação arbórea visível ou até a calha dos cursos d'água observada.

3.2.11.1 Imagens Satélite SPOT 5

No presente trabalho foi utilizado um mosaico de imagens do satélite francês SPOT 5 (SEMAE, 2011) do ano de 2010 (Figura 7), com 5 metros de resolução espacial (Tabela 3) e com uma composição em cor natural RGB e um fusão com a banda PAN já realizada. Como algumas áreas dessas imagens SPOT apresentaram alto índice de nuvens, utilizou-se recortes de imagens Ikonos (Tabela 4), com 1 metro de resolução espacial na imagem fusionada, para compor a imagem. Esse mosaico de imagens SPOT foi importado ao ambiente SIG (ArcGIS

10) (ESRI, 2010) e convertido para o DATUM SIRGAS 2000. Assim, com esse mosaico de imagens, também foi feito o mapeamento dos cursos d'água e das nascentes pelo método de vetorização em tela para uma posterior comparação com o resultados das cartas.

Tabela 3 - Características das imagens do Satélite francês SPOT 5

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
HRG	PAN	0.48 - 0.71µm	5 m	26 dias	60 x 60 km	8 bits
	B1	0,50 - 0,59µm	10 m			
	B2	0,61 - 0,68µm				
	B3	0,78 - 0,89µm				
	SWR	1,58 - 1,75µm	20 m			

Tabela 4 - Características das imagens do Satélite Ikonos

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
PAN	PAN	0,45 - 0,90μm	1 m	2,9 dias	11 x 11 km	11 bits
MS	Azul	0,45 - 0,52μm	4 m	1,5 dia		
	Verde	0,52 - 0,60μm				
	Vermelho	0,63 - 0,69μm				
	IV próximo	0,76 - 0,90μm

Figura 7 - Mosaico de imagens fusionadas do satélite SPOT 5 e Ikonos para a Microbacia do Ceveiro (MHC)

3.2.11.2 Imagem do programa *Google Earth®*

Com a grande facilidade de acesso da sociedade ao *Google Earth®*, resolveu-se realizar o mapeamento das drenagens e nascentes no próprio software *Google Earth®*, pelo método da digitalização da imagem em tela. Posteriormente, as drenagens e nascentes foram exportadas para arquivos KMZ e importados para o ArcGIS 10 (ESRI, 2010) para finalização do mapa de drenagens e nascentes e comparação com as cartas.

A imagem utilizada no programa na região estudada é proveniente do catálogo de imagens da *DigitalGlobe®* (identificador 1010010004704001), obtida por intermédio do sensor QuickBird 2 (fusionada com banda pancromática), com data de obtenção 09 de agosto de 2005, possuindo uma resolução espacial original considerada alta (0,61 metros), ou seja, com uma alta capacidade de se observar o alvo pretendido.

Figura 8 - Imagem do *Google Earth*® para a Microbacia do Ceveiro (MHC)

3.2.12 Metodologia aplicada

A metodologia aplicada está representada no fluxograma das etapas de trabalho presente na Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma geral do trabalho: mapeamento manual (visual) dos cursos d'água e nascentes da MHC utilizando diferentes produtos

Conforme fluxograma apresentado na Figura 9, no presente trabalho pretendeu-se verificar a possível diferença no mapeamento de drenagens e nascentes utilizando fotografias aéreas e imagens de satélite de diferentes resoluções espaciais com as cartas topográficas do IGC 1:10.000.

3.2.13 Elaboração de amostras circulares

Para ser possível uma amostragem e uma análise estatística, foram dispostas 29 amostras circulares de 0,5 km de raio (Figura 10), cada uma com 0,785 km² de área, totalizando 18,43 km² dentro da MHC (86,12% da área total da MHC).

Figura 10 - Amostras circulares realizadas para cada método analisado: (a) (a) Cartas Topográficas IGC; (b) Fotografias aéreas; (c) Imagem Google Earth®; (d) Imagem Satélite SPOT 5/Ikonos

3.2.14 Estatística – Comparação dos Resultados

Para uma melhor comparação entre os métodos, foram analisados dois fatores quantitativos: Comprimento das Drenagens (CD) e Número de Nascentes (NN).

Para o parâmetro CD, também estudado por Petsch, Monteiro e Bueno (2012), Fernandes *et al.* (2012) e Reckziegel e Robaina (2006), obteve-se o valor integralmente na Microbacia Hidrográfica do Cerveiro para ser possível uma avaliação prévia dos métodos estudados.

Já para o NN, utilizou-se o coeficiente de correlação de concordância proposto por Lin (1989) aplicado às 29 amostras circulares. Este coeficiente foi criado especialmente para verificar se metodologias diferentes de quantificação de substâncias são equivalentes. Em seu trabalho, Lin (1989) mostrou que sua metodologia é superior a métodos como: o da comparação de médias; o da regressão linear e o do coeficiente de correlação linear de Pearson.

Assim, resolveu-se aplicar tal coeficiente para que pudesse ser realizada a análise dos resultados quantitativos finais de comparação do parâmetro NN entre os três produtos analisados e as cartas topográficas.

3.3 Resultados e Discussão

Na checagem de campo, das 63 nascentes propostas, 33 nascentes foram encontradas, mesmo que, às vezes, bem distantes do local previamente obtido nas cartas topográficas 1:10.000 (que foram elaboradas em 1978); 14 delas não foram encontradas, nem próximas, do local indicado; em 16 delas não foi possível ter acesso ao local. Ainda, foi encontrada uma outra nascente, não indicada no mapa original, que foi alocada no mapa final de checagem de campo (ANEXO A).

Pelo fato da MHC apresentar 67,9% do seu uso e ocupação do solo com a monocultura da cana-de-açúcar (BARROS, 2012), a maior parte das nascentes encontraram-se deslocadas do local originalmente proposto pelas cartas, principalmente pelo fato desta monocultura contribuir na retração da mata ciliar ao redor dessas nascentes (MACHI; CUNHA, 2007).

Assim, com essa dificuldade encontrada em campo, resolveu-se utilizar as cartas topográficas 1:10.000 sem nenhuma alteração como base para a comparação com os outros métodos, já que estas são documentos oficiais utilizados por vários órgãos públicos do Estado de São Paulo.

Deste modo, realizou-se o mapeamento dos cursos d'água presentes na Microbacia Hidrográfica do Cerveiro por meio de vetorização em tela no programa ArcGIS (ESRI, 2010) para os três produtos analisados.

Os valores de Comprimento de Drenagem (CD) obtidos por intermédio de cada produto estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Comprimento de Drenagem (CD) da MHC para cada produto estudado

Métodos	Comprimento de Drenagem (m)	Comparação com as cartas (%)
Cartas	74.265,821	100,00
Fotografia aérea	92.533,105	124,43
<i>Google Earth®</i>	89.459,624	120,30
SPOT 5/Ikonos	75.427,569	101,43

Interpretando-se os resultados de CD, observa-se que as drenagens obtidas por intermédio da imagem do satélite SPOT 5 apresentaram resultados semelhantes ao das cartas, tendo superestimado o comprimento dos cursos d'água em apenas 1,43%. Os outros dois produtos estudados (fotografias aéreas e *Google Earth®*) superestimaram mais o Comprimento de Drenagem. Para as fotografias aéreas, houve um acréscimo de 24,43% do comprimento total presente nos cursos d'água extraído das cartas. Já para o *Google Earth®*, houve um acréscimo ligeiramente menor, de 20,30% do total presente nas cartas.

Esse resultado muito semelhante de CD obtido por intermédio da imagem do satélite SPOT 5/Ikonos com as cartas é de que essa imagem possui uma resolução espacial média, fazendo com que alguns detalhes não sejam detectados, quando comparada à imagem do *Google Earth®* e às fotografias aéreas, que são produtos com maior riqueza de detalhes, diferenciando-se mais das cartas.

Outro fator que pode ser considerado é de que a imagem SPOT data do ano de 2010, enquanto as imagens do *Google Earth®* e as Fotografias Aéreas são datadas de 2005. Assim, pode ser possível que tenha havido alguma alteração no ambiente durante esses anos, reduzindo o CD com a retração das nascentes e das matas ciliares.

Quanto ao Número de Nascentes (NN), obteve-se as nascentes das 29 amostras circulares propostas para esse parâmetro (Figura 11), para os três produtos estudados (Tabela 6).

Figura 11 - Amostras circulares dispostas sobre a MHC para a aplicação do coeficiente de correlação de concordância de Lin para o Número de Nascentes (NN): (a) Cartas Topográficas IGC; (b) Fotografias aéreas; (c) Imagem Google Earth®; (d) Imagem Satélite SPOT 5

Tabela 6 - Número de Nascentes (NN) obtido por cada produto de sensoriamento remoto para cada amostra circular

Amostras Circulares	Cartas IGC	Fotografia aérea	SPOT 5	Google Earth®
1	0	4	4	5
2	2	5	6	6
3	4	6	4	6
4	2	1	1	1
5	0	1	3	3
6	5	9	13	10
7	6	8	9	12
8	6	6	1	8
9	3	9	0	5
10	0	2	0	3
11	2	7	5	7
12	6	7	7	9
13	2	12	10	12
14	6	8	3	6
15	1	2	2	1
16	3	4	6	2
17	4	7	7	8
18	7	9	6	8
19	4	5	4	5
20	4	7	4	6
21	4	9	11	12
22	11	14	6	7
23	4	6	8	5
24	3	4	4	4
25	3	3	2	2
26	7	7	12	11
27	5	6	8	6
28	4	4	3	4
29	2	2	2	2

Analisando os resultados da Tabela 6, observou-se que os três produtos estudados se aproximaram dos valores de NN presentes nas cartas, para a grande maioria das amostras circulares. O resultado obtido corrobora com o trabalho realizado por Viel *et al.* (2013), que mapearam nascentes por meio das imagens do Google Earth® em Monte Belo do Sul/RS com êxito, checando-as em campo posteriormente e concluindo que foi possível realizar o mapeamento de nascentes por meio de imagens de satélite.

Assim, aplicou-se o coeficiente de correlação de concordância proposto por Lin (1989) ao resultado de NN das 29 amostras circulares (Figura 12).

Figura 12 - Coeficientes de correlação de concordância (–) para o parâmetro NN entre as cartas topográficas do IGC e os três produtos de sensoriamento remoto e seus respectivos intervalos de 95% de confiança

A Figura 12 apresenta os coeficientes observados nos resultados de NN entre as cartas topográficas do IGC e os três produtos utilizados na interpretação visual, e respectivos intervalos de 95% de confiança. Analisando-se a mesma, observa-se que em nenhum dos produtos estudados o intervalo de confiança incluiu o valor 0, ou seja, quando não se há evidências para dizer que essas metodologias são equivalentes à padrão. Sendo assim, as nascentes obtidas por meio das imagens SPOT e do *Google Earth*® apresentaram coeficientes de correlação de concordância 0,33 e 0,37, significativamente diferentes de 0 (nível de significância 5%), respectivamente, porém com valores que podem ser considerados baixos, segundo literatura (LIN, 1989; ZAR, 1999). O produto analisado que apresentou a maior equivalência do NN com as cartas topográficas foi o da fotografia aérea, com coeficiente 0,51, também significativo e mais elevado que os demais, sendo esse

método considerado o mais eficiente estudado na obtenção do NN.

Com o resultado de NN para cada amostra, elaborou-se gráficos de dispersão (Figura 13) das 29 amostras circulares comparando os resultados obtidos pelos três diferentes produtos às nascentes existentes nas cartas (Tabela 6).

Figura 13 - Gráficos de dispersão e da reta de equação $y = x$ dos três produtos utilizados na interpretação visual de nascentes

Analisando-se a Figura 13, observou-se que os resultados obtidos pelas fotografias aéreas se aproximaram mais da reta de equação $y = x$ do que os dois outros produtos, ou seja, o número de nascentes observadas nas amostras circulares para as fotografias se aproximaram mais do observado nas cartas do que pelas imagens SPOT e *Google Earth*®, como observa-se na Tabela 6. Também, pela análise da Figura 13 e da Tabela 6, observou-se que a imagem do satélite SPOT apresentou, em 8 das 29 amostras, um resultado de NN menor do que as cartas; isso foi causado pela menor resolução espacial desse produto, fazendo com que menos objetos fossem observados (CRÓSTA, 1992).

Assim, interpretando-se os resultados de NN, foi possível concluir que, para quantificar o número de nascentes em uma bacia, os três produtos analisados podem ser considerados como possíveis de se obter esse parâmetro, já que a estatística mostrou que os mapas de nascentes obtidos por cada método não foram, estatisticamente, diferentes das cartas.

3.4 Conclusão

Os produtos de sensoriamento remoto analisados no mapeamento visual de drenagens e nascentes apresentaram resultados, quantitativamente, para ambos os parâmetros estudados (CD e NN), semelhantes às cartas topográficas IGC escala 1:10.000, sendo esses produtos adequados para uso em áreas onde não se possuam cartas topográficas com escalas semelhantes à estudada, servindo como métodos alternativos na elaboração de mapas hidrológicos e de mapas de nascentes para os mais variados trabalhos, inclusive para aceitação de órgãos públicos que utilizam Cartas Topográficas como referência.

Para o CD, a imagem do satélite SPOT apresentou maior semelhança com as cartas 1:10.000, apresentando apenas 1,43% acima do CD existente nas cartas.

Para o NN, houve uma maior semelhança entre os produtos estudados, tendo a fotografia aérea apresentado o valor mais alto do coeficiente, sendo esse o produto analisado que apresentou maior equivalência com o valor das nascentes obtidas nas cartas.

Referências

ALMEIDA, D.S.; DUARTE, A.J.; ARAÚJO, R.P. Projeto de recuperação de matas ciliares e nascentes da bacia do Rio dos Mangues. In: CONGRESSO DE EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6., Porto Seguro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000. p.575-576.

ALVES, T.M.; CARVALHO, T.M. Técnicas de sensoriamento remoto para classificação e quantificação do sistema lacustre do rio Araguaia entre Barra do Garças e foz do rio Cristalino. **Revista Geográfica Acadêmica**, Goiânia, UFG, v. 1, p.79-94, 2007.

ALVES, M.C.; BOTELHO, S.A.; PINTO, L.V.A.; POZZA, E.A.; de OLIVEIRA, M. S., FERREIRA, E., ANDRADE, H. Variabilidade espacial de variáveis geobiofísicas nas nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.5, p.527–535, 2008.

BARROS, P.P. da S. **Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro**. 2012. 126p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-20092012-082454/>>. Acesso em: 06 ago. 2013.

BOKEN, V.K.; HOOGENBOOM, G.; HOOK, J.E.; THOMAS, D.L.; GUERRA, L.C.; HARRISON, K. A. Agricultural water use estimation using geospatial modeling and a geographic information system. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.67, n.3, p.185-189, 2004.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, IG/UNICAMP, 1992. 164p.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**, versão 10. Software. 2010.

FERNANDES, M.C.; AVELAR, A.S.; MENEZES, P.M.L.; COELHO-NETTO, A.L. Comparação do uso de superfície real e planimétrica para análises do índice de eficiência de drenagem: um estudo de caso no Maciço da Tijuca – RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Uberlândia, v.13, n.1, p.29 – 37, 2012.

FIORIO, P.R. **Cronologia do uso da terra e seu impacto no ambiente da Microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro da Região de Piracicaba, SP**. 1998. 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**: escala 1:500.000. v.1 (texto) e v.2 (mapa). Governo do estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1981.

LIN, L.I-K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, Washington, v. 45, p. 255–268, 1989.

MACHI, D.A.; CUNHA, C.M.L. da. Caracterização dos elementos físicos da bacia do córrego Santo Antônio (Rio Claro/SP). **Revista Sociedade & Natureza (Online)** [online]. v.19, n.2, p. 139-151, 2007.ISSN 1982-4513.

MOLDAN, B.; CERNY, J. Small catchment research. In: **Biogeochemistry of small catchment**: a tool for environmental research. Chicester: John Wiley, 1994. p. 1-29.

NOWATZKI, A.; SANTOS, L.J.C.; de PAULA, E.V. Utilização do Sig na Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP's) na Bacia do Rio Sagrado (Morretes/PR). **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.22, n. 1, p.107-120, 2010.

OLIVEIRA, J.S. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solo em ambiente SIG**. 2012. 103p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-31052012-075705>>. Acesso em: 06 Ago. 2013.

PETSCH, C.; MONTEIRO, J.B.; BUENO, M.B. Análise comparativa da acuracidade da rede de drenagem gerada automaticamente e extraída de carta topográfica estudo de caso no município de Ponta Grossa – PR. **Revista Geonorte**, Manaus, v.2, n.4, p.1195–1205, 2012.

PINTO, L.V.A. **Caracterização física da sub-bacia do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG, e propostas de recuperação de suas nascentes**. 2003. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

PINTO, L.V.A.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 197-206, jun. 2004.

RECKZIEGEL, E.W.; ROBAINA, L.E.S. Estudo de parâmetros morfométricos do relevo e da rede de drenagem da área situada entre os rios Jaguari e Ibicuí no município de São Vicente do Sul – RS. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6, 2006.. **Anais...** Goiânia: UFGO, 2006, On-line. Disponível em: <www.ufsm.br/lageolam/arquivos/Reckziegel_E.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2013.

ROCHA, J.S.M. **Manual de interpretação de aerofotogramas**. 2.ed. Santa Maria: UFSM, 1985. 83p.

ROIG, H.L.; BAYMA, A.P.; SOARES NETO, G.B.; MENEZES, P.H.B.J.; SANTOS, R.P. Adequação de uma área situada na APA de São Bartolomeu-DF à legislação ambiental. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...**Natal, 2009. p. 6133-6140.

SEMAE. **Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos do Município de Piracicaba/SP**. Piracicaba, 2011.

SHIKLOMANOV, I.A. **World water resources**: A new appraisal and assessment for the 21st Century. Paris:UNESCO-IHP Publication, UNESCO, 1998. 38p.

SILVA, E.F. da. **Mapas de solos produzidos em escalas e épocas distintas**. 2000. 177p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SIMON, A.L.H.; TRENTIN, G. Elaboração de cenários recentes de uso da terra utilizando imagens do *Google Earth*. **Ar@cne**. *Revista electrónica de recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, nº 116, 2009. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/aracne/aracne-116.htm>>. Acesso em: 03 out. 2013.

VIEL, J.; ARRUDA, D.C.; BERRETA, M.S.R.; FANTIN, M.L.; FARIAS, A.R.; HOFF, R. Geotecnologias e aprendizagem espacial em ambiente educacional: o mapeamento de nascentes utilizando técnicas de geoprocessamento por meio de softwares livres. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2013. p. 2650-2656.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. 5 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 944p.

4 COMPARAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO NO MAPEAMENTO AUTOMÁTICO DE DRENAGENS E NASCENTES EM AMOSTRAS CIRCULARES

Resumo

A determinação da rede de drenagem por meio de Modelos Digitais de Terreno (MDT) vem se tornando um método cada vez mais importante e utilizado. Deste modo, o presente trabalho avaliou a aplicação de um modelo automático de determinação de drenagens e nascentes para quatro MDTs de origem distintas, tendo como base drenagens e nascentes existentes nas cartas topográficas do IGC/SP escala em 1:10.000. Utilizou-se, para geração dos MDTs, isolinhas de altimetria (curvas de nível) das cartas 1:10.000 do IGC/SP e das cartas 1:50.000 do IBGE e obteve-se dois outros MDTs de sensores a nível orbital: ASTER e SRTM. Para uma melhor comparação entre os produtos, foram analisados dois fatores: comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN), sendo as análises realizadas apenas em caráter quantitativo. Para tanto, foram dispostas três amostras circulares de 2,75 km de raio em diferentes áreas do município de Piracicaba/SP, onde eram observadas densidades de drenagem diferentes, e, portanto, relevos diferentes. Assim, para ambos os parâmetros estudados, concluiu-se que a resolução espacial dos MDTs foi a característica de maior importância para o detalhamento dos mapas resultantes da aplicação do método automático de determinação de drenagem, sendo essa a principal característica a ser observada em um MDT na aplicação de tal método.

Palavras-chave: Cartas topográficas; SRTM; ASTER

Abstract

The determination of the drainage network through a Digital Terrain Model (DTM) has become an increasingly important and used method. Thus, the present study evaluated the implementation of an automatic model for determining drainages and springs to four DTMs of different origin, based on the existing drainages and springs in the topographic maps of IGC scale 1:10,000. Thus, was used for the generation of DEMs, contours lines of the IGC maps with scale 1:10.000 and IBGE maps with scale 1:50.000 and obtained two other orbital DTMs: ASTER and SRTM. For a better comparison between the products, were analyzed two factors: length of drainage and number of springs. Analyses were performed only on quantitative character. Therefore, three circular samples of 2.75 km radius were placed in different areas of Piracicaba/SP where observed different drainage densities thus different reliefs. For both parameters studied, was concluded that the spatial resolution of the DTMs was the most important feature to the maps details resulting from the automatic method application. Thus, this is the main feature that must be observed in a DTM when applying this method.

Keywords: Topographic maps; SRTM; ASTER

4.1 Introdução

A diminuição da disponibilidade de água nos recursos hídricos está se tornando uma preocupação crescente em muitos países, devido às fontes de água potável estarem perto do esgotamento, principalmente pelos processos de degradação da qualidade e quantidade da água (DOS SANTOS; PEREIRA FILHO, 2010). Há uma necessidade urgente de se estudar e de se desenvolver novos métodos que facilitem e agilizem o trabalho de mapeamento de cursos d'água, para a conservação do meio ambiente.

Rudorff *et al.* (2007) afirmaram que o sensoriamento remoto tem contribuído muito para o estudo dos mais diversos ambientes do planeta, ajudando a ampliar a compreensão das estruturas ecossistêmicas e de suas interações.

Assim, com o emprego dessas novas técnicas computacionais, associadas aos modernos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tornou-se possível elaborar Modelos Digitais de Terreno (MDT) (COELHO, 2008), destacando a arquitetura do relevo (estruturas, modelados, redes de drenagem, entre outros) de uma determinada área (VALERIANO, 2008; SILVA, 2003).

Os mapeamentos das drenagens de uma bacia, a partir de Modelos Digitais de Terreno, apresentam-se bem semelhantes e compatíveis com aqueles obtidos por métodos manuais, que são mais trabalhosos e com uma subjetividade maior, dependendo do fotointérprete (JENSON; DOMINGUE, 1988).

Sobrinho *et al.* (2010) consideram que, para o processo de delimitação automática de bacias hidrográficas em SIG, são utilizadas informações de relevo por meio de um MDT, que pode ser obtido pela interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica, ou por meio de produtos de sensores remotos.

Roa e Kamp (2007) utilizaram MDTs obtidos por intermédio dos sensores ASTER e SRTM na cordilheira de Mérida, Venezuela, e concluíram que ambos são capazes de reproduzir um modelo topográfico útil e aproveitável do relevo da área de estudo, tendo como base para decisão a diferença de resolução espacial de ambos.

Com a demanda crescente por dados ambientais e estudos das Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água, a delimitação automática das drenagens e nascentes de uma bacia pode ser de grande valia no auxílio a um mapeamento mais rápido, eficiente e com menor grau de subjetividade.

Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar Modelos Digitais de Terreno (MDTs) de diferentes origens, aplicados a um modelo automático de delimitação de drenagens e nascentes, para três amostras circulares de 2,75 km de raio, em diferentes áreas do município de Piracicaba/SP onde são observadas densidades de drenagem e relevos diferentes, para posterior comparação entre os modelos e com cartas topográficas escala 1:10.000.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Localização da área de estudo

O município de Piracicaba situa-se na porção central do Estado (Figura 1), possuindo uma área total de 1.378,02 km².

Foram escolhidas 3 amostras circulares de 2,75 km de raio (área de cada amostra igual a 2.375,71 ha) em regiões do município de Piracicaba-SP (Figura 1) onde houvesse densidades de drenagem diferentes (utilizando a hidrografia presente nas cartas 1:10.000 do IGC/SP) e, conseqüentemente, um relevo diferente a ser avaliado.

Figura 1 - Localização geográfica do município de Piracicaba no Estado de São Paulo e localização espacial das amostras circulares dentro do município

4.2.2 Clima

O clima da região é o Cwa segundo Köppen, definido como mesotérmico subtropical com inverno seco e verão chuvoso, temperaturas do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio não excede 18°C, como também observado por Oliveira (2012). As chuvas concentram-se nos meses de outubro a março, apresentando uma precipitação média anual de 1.250mm, e o período seco de abril a setembro. Na Figura 2, estão representadas as precipitações médias acumuladas entre os anos de 1917 e 2010, mês a mês.

Figura 2 - Precipitação média mensal entre os anos de 1917 e 2010

4.2.3 Relevo

O relevo na região caracteriza-se por apresentar morros em cotas variando entre 460 e 820m de altitude, com classes de relevo ondulado. A declividade predominante nas encostas é de 6 a 12%. As áreas com classe de declividade de 0 a 3% encontram-se nas áreas de várzea e próximas aos rios, representando uma boa parte do município (44,21% do total), como observado em SEMAE (2011).

4.2.4 Vegetação

A vegetação original na região é do tipo Floresta Mesófila Semidecídua, com ocorrência de ripárias nas margens dos cursos d'água, conforme mapeado por SEMAE (2011). Essa vegetação nativa ocupa 14,85% da área total do município.

4.2.5 Geologia e Material de Origem

O município de Piracicaba está inserido na grande bacia do Paraná e apresenta coluna estratigráfica representada por sedimentos do Grupo São Bento, Grupo Passa Dois e Grupo Tubarão (IPT, 1981).

O Grupo Passa Dois, no município de Piracicaba, é representado pelas Formações Irati, Corumbataí e Teresina, disposto numa faixa Norte-Sul e em sequência, entre os Grupos Tubarão e São Bento.

Já o Grupo São Bento, no município, é representado, conforme mapeamento realizado por SEMAE (2011), entre as litologias sedimentares, pelas Formações Piramboia, Serra Geral e Botucatu, das quais a primeira possui maior área de distribuição regional.

As classes de geologia presentes nas três amostras circulares selecionadas para o estudo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de geologia presentes nas amostras circulares

Grupos Geológicos	Classe de Geologia	Código	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
			Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Grupo São Bento	Formação Pirambóia	TJp	2.375,71	100,00	2.375,71	100,00	0,00	0,00
	Formação Serra Geral	Jksg	0,00	0,00	0,00	0,00	896,14	37,72
Grupo Passa Dois	Formação Corumbataí	Pc	0,00	0,00	0,00	0,00	309,71	13,04
	Formação Irati	Pi	0,00	0,00	0,00	0,00	615,63	25,91
	Formação Teresina	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	554,23	23,33
Total		-	2.375,71	100,00	2.375,71	100,00	2.375,71	100,00

4.2.6 Solos

Utilizando o mapeamento de solos realizado pela equipe técnica do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e os conceitos e legendas do novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (2013), as três amostras circulares utilizadas no presente trabalho apresentam as classes de solo conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Unidades de mapeamento de solo contidas nas três amostras circulares

Classe de Solo	Código	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Argissolo Vermelho-Amarelo	PVA	1.208,40	50,86	1.327,01	55,86	0,00	0,00
Neossolo Quartzarênico	NQ	257,60	10,84	893,41	37,61	0,00	0,00
Neossolo Flúvico	RU	909,71	38,29	117,29	4,94	0,00	0,00
Latossolo Vermelho-Amarelo	LVA	0,00	0,00	38,01	1,60	0,00	0,00
Latossolo Vermelho	LV	0,00	0,00	0,00	0,00	2.065,58	86,95
Gleissolo Háplico	GX	0,00	0,00	0,00	0,00	310,13	13,05
Total	-	2.375,71	100,00	2.375,71	100,00	2.375,71	100,00

4.2.7 Cartas planialtimétricas 1:10.000

As cartas topográficas (planialtimétricas) são essenciais no auxílio a mapeamentos da declividade, da rede de drenagem e hipsométricos, e dessa forma se apresentam como um subsídio para a interpretação do relevo nas amostras circulares, pois os mesmos contêm importantes informações morfométricas pretendidas nesse estudo.

Assim, foram utilizadas, no presente trabalho, seis cartas na escala de 1:10.000, duas para cada amostra circular, conforme Tabela 3, do Plano Geográfico do Estado de São Paulo elaborados pela Divisão de Geografia da Coordenadoria de Ação Regional da Secretaria de Economia e Planejamento do Governo de São Paulo.

Tabela 3 - Folha, numeração e articulação das cartas topográficas 1:10.000 que compõem as amostras circulares

Amostra	Folha	Numeração	Articulação
1	Tanquinho	SF-23-Y-A-IV-2-NE-C	068/090
	Usina Capuava	SF-23-Y-A-IV-2-NE-E	069/090
2	Bairro do Paredão Vermelho	SF-23-Y-A-IV-1-SO-D	071/085
	Bairro Monjolado	SF-23-Y-A-IV-1-SO-F	072/085
3	Ibitiruna	SF-23-Y-A-IV-3-NO-A	073/084
	Ribeirão dos Patos	SF-23-Y-A-IV-3-NO-C	074/084

As cartas foram confeccionadas a partir de levantamentos aerofotogramétricos realizados pela Terra Foto S.A. Atividades de Aerolevantamentos no ano de 1978, com reambulação em campo entre 1978 e 1979. As curvas de nível são equidistantes em 5 metros. A projeção originalmente utilizada nas cartas é a Universal Transversa Mercator (UTM), DATUM Córrego Alegre e referência vertical do Marégrafo de Imbituba, SC.

As cartas foram digitalizadas e importadas ao software ArcGIS 10 (ESRI, 2010), georreferenciadas por meio dos pontos de controle presentes, reprojeta para o DATUM SIRGAS 2000 e, assim, obteve-se digitalizadas todas as suas curvas de nível (incluindo os pontos cotados) e a hidrografia (Figura 3), para que fosse possível mapear e quantificar, automaticamente, pelo modelo, o comprimento de drenagem (CD) e o número de nascentes (NN) em cada amostra circular; assim CD e NN obtidos puderam ser comparados com os dados existentes nas cartas para uma prévia validação do modelo automático utilizado.

Figura 3 - Mapas extraídos a partir das cartas topográficas 1:10.000, contendo as curvas de nível, os pontos cotados e a hidrografia de cada amostra circular

Observando-se a representação em curvas de nível (Figura 3), percebe-se que, quanto maior for a inclinação do terreno, mais próximas se encontram as curvas de nível (isolinhas de altimetria). Inversamente, elas serão tanto mais afastadas quanto mais suave for o declive (GUERRA, 2006). Deste modo, na Figura

3, observa-se que a amostra 1 apresenta uma concentração de curvas de nível bem mais elevada que a amostra 3, por exemplo, sendo a primeira área mais declivosa.

Para o presente estudo, posteriormente à validação do método automático, utilizou-se a hidrografia e as nascentes presentes nas cartas topográficas 1:10.000 como base para a comparação com os resultados obtidos pelos outros MDTs aplicados ao método automático, já que estas são documentos oficiais utilizados por vários órgãos públicos do Estado de São Paulo, como a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) e o DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica).

4.2.8 Amostras circulares e densidade de drenagem

Foram dispostas três amostras circulares de 2,75 km de raio, tendo cada amostra uma área de 2.375,71 ha, em regiões do município de Piracicaba-SP (Figura 3) com diferentes densidades de drenagem (DD) e, consequentemente, um relevo diferente a ser avaliado.

A utilização de amostras circulares se justifica por serem amostras de mesma área e tamanho, facilitando a análise de DD, como fizeram Demattê, Borges e Pfeifer (1993).

Para Christofolletti (1980), a densidade de drenagem (DD) é reconhecida como uma das mais importantes variáveis na análise morfométrica das bacias hidrográficas, representando o grau de dissecação topográfica e expressando a quantidade disponível de canais de escoamento. Essa variável reflete a influência das características topográficas, litológicas, pedológicas, climáticas e da cobertura vegetal do local, incluindo a influência antrópica; além disso permite saber se a bacia tem uma boa drenagem ou não, e assim a sua tendência para a ocorrência de cheias (CHRISTOFOLETTI, 1979, 1981).

A DD (km/km^2) é calculada pela divisão do comprimento total de todos os segmentos (L) pela área da bacia (A) (Eq. 1). Pode variar de 0,5 km/km^2 (para bacias mal drenadas devido a elevada permeabilidade ou à precipitação escassa) até 3,5 km/km^2 (para bacias excepcionalmente bem drenadas, ocorrendo em áreas com elevada precipitação ou muito impermeáveis), segundo literatura (CHRISTOFOLETTI, 1980).

$$DD = \frac{L}{A} \quad (1)$$

Em que:

DD - Densidade de Drenagem, km/km²;

L - Comprimento total de drenagem, km; e

A - Área da Bacia ou amostra circular, km².

As características da hidrografia obtida por meio das cartas para as três amostras circulares estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características do comprimento de drenagem (CD) e da Densidade de Drenagem (DD) para as três amostras circulares

Amostras circulares	CD (m)	DD (km/km ²)
1	85.786,731	3,611
2	51.178,696	2,154
3	24.605,280	1,036

Assim, no presente trabalho, a densidade de drenagem foi utilizada para que fossem selecionadas, visualmente, três áreas com as maiores diferenças morfológicas possíveis, para que os produtos e métodos analisados fossem aplicados aos mais variados tipos de relevo, dentro do município de Piracicaba.

4.2.9 Modelo Digital de Terreno (MDT)

Para o presente trabalho, obteve-se dois MDTs provenientes de sensores orbitais (ASTER - *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* e SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*) e dois MDTs gerados por intermédio das isolinhas de altimetria presentes em cartas topográficas (cartas topográficas 1:10.000 – IGC/SP e cartas topográficas 1:50.000 – IBGE), com o intuito de mapear drenagens e nascentes pelo modelo automático existente no programa ArcGIS 10 (ESRI, 2010) e compará-las às cartas topográficas do IGC.

4.2.9.1 ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)

A missão ASTER foi realizada em uma ação conjunta dos governos dos Estados Unidos e do Japão. O instrumento ASTER está a bordo do satélite Terra que faz parte do Sistema de Observação da Terra (*Earth Observing System* - EOS) e transporta, também, outros quatro sensores, MODIS, MOPIT, MISR e CERES.

Os MDTs gerados pela missão ASTER apresentam uma resolução espacial de 30 metros (*pixels* de 30x30 metros).

4.2.9.2 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)

A missão SRTM foi realizada em uma cooperação entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NGA (*Agência Nacional de Inteligência Geoespacial*), ambas dos Estados Unidos. A Missão SRTM consiste em um sistema de radar especialmente modificado, que voou a bordo do ônibus espacial Endeavour durante os 11 dias da missão STS-99, em Fevereiro de 2000. Para adquirir os dados de altimetria estereoscópica, a SRTM contou com dois reflectores de antenas de radar. Um reflector-antena estava separado do outro 60 metros, graças a um extensor que ampliava a envergadura do *shuttle* no espaço.

Os MDTs gerados pela missão SRTM apresentam uma resolução espacial de 90 metros para a região do estudo (*pixels* de 90x90 metros).

4.2.9.3 Modelos Digitais de Terreno (MDT) gerados por intermédio das cartas topográficas

Para a geração dos MDTs, utilizaram-se as isolinhas de altimetria presentes nas cartas planialtimétricas, extraindo-as para formato vetorial, tendo essas curvas equidistância vertical de 5 em 5 metros, para as cartas 1:10.000 do IGC/SP, e de 20 em 20 metros para as cartas 1:50.000 do IBGE. Posteriormente, utilizou-se a função *TOPO TO RASTER* do SIG ArcGIS 10 (ESRI, 2010), que é um interpolador especificamente desenhado para a criação de Modelos Digitais de Terreno, por intermédio de isolinhas de altimetria (curvas de nível). Assim, gerou-se uma grade regular de 5 metros, ou seja, *pixels* de 5x5 metros para o MDT proveniente das curvas das cartas 1:10.000, e uma grade regular de 20 metros (*pixels* de 20x20 metros) para o MDT proveniente das curvas das cartas 1:50.000, relacionando

assim o tamanho do *pixel* gerado em cada escala de carta com a equidistância vertical da mesma.

As cartas planialtimétricas de escala 1:10.000 do IGC utilizadas para obtenção do MDT foram as mesmas apresentadas na Tabela 3.

As cartas planialtimétricas de escala 1:50.000 do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) utilizadas no presente estudo para obtenção das isolinhas de altimetria para posterior geração do MDT estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Numeração, Nome e Folha das cartas topográficas 1:50.000 que compõem as amostras circulares

Amostra	Numeração	Nome	Folha
1	250	São Pedro	SF-23-M-III-1
2	251	Piracicaba	SF-23-M-III-2
3	278	Ibitiruna	SF-23-M-III-3

Essas cartas em escala 1:50.000 foram confeccionadas a partir de levantamentos aerofotogramétricos realizados pela VASP Aerofotogrametria S.A. no ano de 1969. As curvas de nível são equidistantes em 20 metros. A projeção originalmente utilizada nas cartas é a Universal Transversa Mercator (UTM), DATUM Córrego Alegre e referência vertical do Marégrafo de Imbituba, SC.

4.2.10 Modelo automático de determinação de drenagens

No presente trabalho, utilizou-se o Modelo Automático de Determinação de Drenagens existente no programa ArcGIS 10 (ESRI, 2010), por meio da ferramenta *Spatial Analyst Tools/Hydrology*.

A metodologia utilizada na obtenção da rede de drenagem e das nascentes a partir de um MDT é apresentada na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma da metodologia da geração automática da rede de drenagem utilizada

Quando um MDT é gerado, alguns *pixels* podem apresentar um valor muito diferente dos seus vizinhos, causado pela alta declividade local. Para se corrigir essa possível imperfeição do método de interpolação, utilizou-se a ferramenta *Fill* (preenchimento de depressões). Assim, essas depressões foram preenchidas pela média das cotas dos *pixels* vizinhos, gerando um MDT mais consistente.

Assim, com os quatro MDTs prontos para aplicação do modelo, utilizou-se a metodologia de determinação de drenagens ilustrada na Figura 4 para realização do trabalho.

4.2.10.1 Direção de Fluxo (Flow Direction)

A Direção de Fluxo define as relações hidrológicas entre pontos diferentes dentro de uma bacia hidrográfica (RENNÓ *et al.*, 2008). A continuidade topológica para as Direções de Fluxo é, conseqüentemente, necessária para que uma drenagem funcional possa existir (SOBRINHO *et al.*, 2010).

Em um MDT, o escoamento superficial está relacionado com o valor da cota de cada *pixel*. Assim, o algoritmo pode representar as direções de fluxo da água sobre o terreno.

A determinação da rede de drenagem no modelo hidrológico é realizada com a definição da direção de fluxo em cada célula, assumindo-se que o escoamento da

água segue da célula considerada para suas células vizinhas (PAZ; COLLISCHONN; TUCCI, 2005).

Seguindo as direções de fluxo, obtém-se a quantidade de células a montante que drenam para cada uma das células a jusante. No algoritmo utilizado no programa ArcGIS 10 (ESRI, 2010), as direções de fluxo são representadas na forma de grade regular, cujo valor de cada célula corresponde a uma das 8 direções possíveis. A obtenção da direção de fluxo em cada *pixel* pode ser realizada por procedimentos automatizados, o qual atribui o sentido do escoamento de um *pixel* para um de seus oito vizinhos, com base na diferença de cota ponderada pela distância entre eles. Como resultado, a cada *pixel* é atribuído um número indicativo de uma das oito direções de fluxo possíveis. Seguindo as direções de fluxo, obtém-se a quantidade de células a montante que drenam para cada uma das células a jusante, determinando o fluxo acumulado de drenagem (Figura 5).

Figura 5 - Direção de Fluxo utilizada pelo programa ArcGIS 10: (a) Direções possíveis de um *pixel*; (b) Cota de cada *pixel*, em metros; (c) Direção do escoamento para a célula com menor cota

Fonte: Adaptado de Turcote *et al.* (2001).

Assim, as direções de fluxo foram calculadas para cada uma das três amostras circulares com os quatro MDTs de diferentes origens, e, a partir desses mapas, foi possível obter-se o Fluxo Acumulado.

4.2.10.2 Fluxo Acumulado (Flow Accumulation)

O Fluxo Acumulado é o parâmetro que determina por onde o fluxo direcionado se acumulará, permitindo a locação da rede de drenagem e a delimitação automática da bacia hidrográfica. Este processo compara cada *pixel* com seus oito vizinhos e determina, por meio da Direção de Fluxo, quantas células

drenam para a célula à jusante, acumulando os dados para cada *pixel* do *raster*, e determinando por onde haverá um maior acúmulo de água, até o exutório da bacia. Geralmente, o exutório de uma bacia hidrográfica é a sua foz, mas também pode ser uma barragem, uma estação de coleta de dados hidrológicos ou qualquer ponto de interesse a ser estudado (TUCCI, 1997).

Para Valeriano (2008), o Fluxo Acumulado, também conhecido como Área de Contribuição, apresenta obtenção complexa, seja de forma manual ou computacional, uma vez que reúne, além de características do comprimento de rampa (conexão com divisores de água a montante), a curvatura horizontal (confluência e divergência das linhas de fluxo).

Sobrinho *et al.* (2010 adaptado de TURCOTE *et al.* (2001)) apresentaram um exemplo de determinação do Fluxo Acumulado (Figura 6), onde é possível observar a formação dos caminhos preferenciais de fluxo da água que originam a rede hidrográfica.

Figura 6 - Exemplo de determinação do Fluxo Acumulado, apresentado por Sobrinho *et al.* (2010 adaptado de TURCOTE *et al.*, 2001)

Utilizando o método apresentado, calculou-se o Fluxo Acumulado (*Flow Accumulation*) para todas as amostras e MDTs, pela função *Flow Accumulation*, no programa ArcGIS 10 (ESRI, 2010). A partir disso, pode-se delimitar as drenagens pela utilização da ferramenta Con (*Conditional*).

4.2.10.3 Delimitação das drenagens pela ferramenta Con (*Conditional*)

A ferramenta Con utiliza o mapa resultante do Fluxo Acumulado e transforma todo *pixel* que apresentar seu valor acumulado, maior que o determinado pelo usuário, para o valor 1 do novo mapa. Todos os *pixels* que tiverem um valor menor que o determinado pelo usuário são automaticamente transformados para o valor 0, sendo dessa forma considerados como o fundo preto do mapa final.

No presente estudo, para cada MDT e amostra circular, os valores limites utilizados na ferramenta Con foram determinados utilizando-se da rede de drenagem existente nas cartas topográficas do IGC 1:10.000 como base para testes de valores. Esses valores foram testados um por um até os mapas gerados automaticamente apresentarem suas nascentes próximas as das cartas. Na inexistência de cartas para uma determinada área, a rede hidrográfica gerada por intermédio de imagens de satélite e fotografias aéreas podem servir de base para tal.

Com isso, após todos os mapas com as redes de drenagem terem sido gerados com os valores testados, extraiu-se as informações obtidas em formato *raster* para arquivos vetoriais pela ferramenta *Stream to Feature*.

4.2.11 Metodologia aplicada

A metodologia aplicada está representada no fluxograma das etapas de trabalho presente na Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma geral do trabalho: mapeamento automático dos cursos d'água e nascentes das amostras circulares utilizando diferentes MDTs

Conforme fluxograma apresentado na Figura 7, no presente trabalho, resolveu-se avaliar e validar o método automático escolhido e, assim, verificar a diferença do mapeamento automático de drenagens e nascentes utilizando MDTs de diferentes origens com os dados existentes nas cartas topográficas do IGC 1:10.000 e avalia-los entre eles.

4.2.12 Comparação dos Resultados

A partir dos mapas contendo os cursos d'água em arquivo vetorial obtidos por cada MDT estudado, foi possível realizar a quantificação do comprimento de drenagem (CD), e, conseqüentemente, da densidade de drenagem (DD), e do número de nascentes (NN) para cada uma das três amostras circulares.

Primeiramente, aplicou-se o método automático na determinação de CD e NN para o MDT gerado por intermédio das curvas de nível das cartas do IGC 1:10.000 e comparou-se os resultados com os existentes nas próprias cartas, com a finalidade de verificação e validação do método utilizado.

Posteriormente, utilizou-se os resultados obtidos das três amostras circulares de cada MDT para comparação com os dados existentes nas cartas 1:10.000. Além disso, avaliou-se os resultados dos MDTs entre eles, com o intuito de verificar a similaridade dos produtos estudados.

4.3 Resultados e Discussão

A partir de testes de valores para cada MDT e amostra circular utilizando a rede de drenagem das cartas 1:10.000 como base, foram obtidos os valores utilizados na ferramenta Con, observados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores utilizados na ferramenta Con, para cada MDT e amostra circular

MDTs	Amostras circulares		
	1	2	3
ASTER	100	250	500
Cartas 1:10.000	800	2500	4500
Cartas 1:50.000	125	275	525
SRTM	50	100	200

Pela análise da Tabela 6, observam-se valores bem distintos entre os MDTs e entre as amostras circulares. Um dos fatores que explicam essa ocorrência é de que como o fluxo acumulado gera o número de *pixels* acumulando para um determinado ponto, quanto menor o *pixel*, mais *pixels* estarão acumulados nesse ponto. Outro fator que explica tais diferenças de valores é de que as amostras foram alocadas em regiões com diferentes relevos e declividades, provocando uma diferença no acúmulo das células entre os terrenos.

Para a validação do método automático, utilizou-se os resultados obtidos pela aplicação do modelo ao MDT gerado utilizando as curvas de nível presentes nas cartas 1:10.000 com os dados presentes nessas cartas (Figura 8). Esses dados estão apresentados na Tabela 7.

Figura 8 - Amostras circulares contendo as drenagens automaticamente geradas para o MDT obtido a partir das cartas 1:10.000 e tendo como base a hidrografia existente nas cartas topográficas do IGC 1:10.000

Tabela 7 - Densidade de drenagem (DD), comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN) presentes nas cartas 1:10.000 e gerados pelo método automático para o MDT obtido a partir das mesmas cartas para validação do método automático

Amostras Circulares	Dados presentes nas cartas			Modelo Automático		
	DD (km/km ²)	CD (m)	NN	DD (km/km ²)	CD (m)	NN
1	3,611	85.786,731	196	3,476	82.582,704	283
2	2,154	51.178,696	88	1,966	46.698,023	88
3	1,036	24.605,280	21	1,325	31.489,249	38

Pela análise da Tabela 7 e da Figura 8, interpretando-se os resultados de DD e de CD, o método automático de determinação de drenagens estudado se mostrou válido para o estudo com os outros MDTs, por ter apresentado seu resultado bastante próximo do obtido diretamente das cartas, tanto visualmente quanto quantitativamente para as três amostras circulares analisadas, como também observaram Petsch, Monteiro e Bueno (2012); ressalta-se que é possível um aperfeiçoamento do número limite de geração do *raster* final na ferramenta Con, realizando mais repetições e tentativas na obtenção desse limite, para se obter um resultado ainda mais condizente com o padrão. Essa pequena diferença entre o método automático e o existente nas cartas se deve ao modelo automático apresentar um maior número de ramificações na rede de drenagem, causando assim um aumento no CD e, conseqüentemente, na DD.

Para o NN, o modelo automático superestimou os resultados para as amostras 1 e 3, enquanto para a amostra 2 os resultados foram exatamente iguais, não existindo, assim, um padrão para os resultados obtidos. Com isso, foi possível avaliar que, para o parâmetro NN, o modelo automático não é eficiente na determinação de nascentes, já que esse modelo apresentou muitos escoamentos laterais em drenagens mais espessas e ramificações excessivas em início de cursos d'água, contabilizando um maior número de nascentes do que realmente deveria ser obtido.

Assim, a partir da geração dos mapas para cada MDT estudado, obteve-se o *raster* final e, posteriormente, o mapa vetorizado com os cursos d'água para as três amostras circulares, comparados visualmente com os existentes nas cartas topográficas 1:10.000, conforme é apresentado nas Figuras de 9 a 11. Também, obteve-se os resultados, para cada MDT estudado, da aplicação do método automático de determinação de drenagens e nascentes, apresentados nas Tabelas de 8 a 10.

Figura 9 - Amostras circulares contendo as drenagens automaticamente geradas para o MDT, obtido a partir das cartas 1:50.000, e tendo como base a hidrografia existente nas cartas topográficas do IGC 1:10.000

Tabela 8 - Densidade de drenagem (DD), comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN) gerados pelo método automático para o MDT proveniente das cartas topográficas do IBGE 1:50.000 e dados presentes nas cartas 1:10.000

Amostras	Cartas 1:50.000			Dados cartas 1:10.000		
Circulares	DD (km/km ²)	CD (m)	NN	DD (km/km ²)	CD (m)	NN
1	2,028	48.172,893	124	3,611	85.786,731	196
2	1,509	35.856,788	48	2,154	51.178,696	88
3	1,049	24.925,275	24	1,036	24.605,280	21

Figura 10 - Amostras circulares contendo as drenagens automaticamente geradas para o MDT, obtido a partir do sensor ASTER, e tendo como base a hidrografia existente nas cartas topográficas do IGC 1:10.000

Tabela 9 - Densidade de drenagem (DD), comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN) gerados pelo método automático para o MDT proveniente do sensor ASTER e dados presentes nas cartas 1:10.000

Amostras	ASTER			Dados cartas 1:10.000		
Circulares	DD (km/km ²)	CD (m)	NN	DD (km/km ²)	CD (m)	NN
1	1,864	44.286,315	67	3,611	85.786,731	196
2	1,151	27.346,160	27	2,154	51.178,696	88
3	0,952	22.627,238	15	1,036	24.605,280	21

Figura 11 - Amostras circulares contendo as drenagens automaticamente geradas para o MDT, obtido a partir do sensor SRTM, e tendo como base a hidrografia existente nas cartas topográficas do IGC 1:10.000

Tabela 10 - Densidade de drenagem (DD), comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN) gerados pelo método automático para o MDT proveniente do sensor SRTM e dados presentes nas cartas 1:10.000

Amostras	SRTM			Dados cartas 1:10.000		
Circulares	DD (km/km ²)	CD (m)	NN	DD (km/km ²)	CD (m)	NN
1	0,821	19.503,963	18	3,611	85.786,731	196
2	0,516	12.264,921	7	2,154	51.178,696	88
3	0,339	8.042,298	4	1,036	24.605,280	21

Analisando-se as Tabelas de 8 a 10, observou-se, que, pelo método automático, a maior parte dos resultados não apresentou semelhanças quantitativas com os dados existentes nas cartas topográficas 1:10.000, com exceção dos dados

do MDT das cartas 1:50.000 e do sensor ASTER para a amostra 3; porém, não há nenhum fator específico que explique esses resultados semelhantes, já que para o sensor SRTM, os resultados da amostra 3 também se mostraram muito diferentes dos apresentados pelas cartas 1:10.000.

Com isso, percebeu-se, que, quanto mais detalhada a origem do MDT (ou seja, quanto menor o tamanho do *pixel* original), mais detalhado foi o mapa de drenagem, e, conseqüentemente, teve o resultado de CD e DD mais próximo às cartas 1:10.000 (Figuras de 9 a 11).

Para o NN, como já determinado na validação do método, não há nenhum indício de que essa metodologia automática possa ser utilizada na quantificação de nascentes; porém, observaram-se maiores NN para o MDT obtido por intermédio das cartas 1:50.000, quando comparado aos MDTs dos sensores orbitais. Essa diferença deve-se ao fato de que as cartas são elaboradas por intermédio de fotografias aéreas, trazendo uma maior riqueza de detalhes na origem dos dados, quando comparada aos MDTs dos sensores ASTER e SRTM, que apresentam resoluções espaciais de 30 e 90 metros, respectivamente, sendo essas consideradas resoluções espaciais mais baixas, já que, quanto maior o tamanho do *pixel*, menos objetos serão observados (CRÓSTA, 1992).

Pela análise das Tabelas de 8 a 10 e pelas Figuras de 9 a 11, observou-se que, visualmente e quantitativamente, gerou-se muito menos nascentes e drenagens quanto menor o detalhamento dos dados no MDT, sendo essa característica (detalhamento do mapa de origem dos dados) de suma importância (BARBARISI *et al.*, 2011; HOTT; GUIMARÃES; MIRANDA, 2005) na elaboração de mapas de drenagem e quantificação do número de nascentes em uma bacia.

Já quanto a comparação entre os MDTs estudados, obteve-se o resultados automáticos, que estão apresentados nas Tabelas de 11 a 13 e Figuras de 12 a 14.

Figura 12 - Amostras circulares contendo as drenagens automaticamente geradas para os MDTs obtidos a partir das cartas 1:50.000 e do sensor ASTER

Tabela 11 - Densidade de drenagem (DD), comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN) gerados pelo método automático para os MDTs provenientes das cartas 1:50.000 e do sensor ASTER

Amostras	Cartas 1:50.000			ASTER		
	DD (km/km ²)	CD (m)	NN	DD (km/km ²)	CD (m)	NN
1	2,028	48.172,893	124	1,864	44.286,315	67
2	1,509	35.856,788	48	1,151	27.346,160	27
3	1,049	24.925,275	24	0,952	22.627,238	15

Figura 13 - Amostras circulares contendo as drenagens automaticamente geradas para os MDTs obtidos a partir das cartas 1:50.000 e do sensor SRTM

Tabela 12 - Densidade de drenagem (DD), comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN) gerados pelo método automático para os MDTs provenientes das cartas 1:50.000 e do sensor SRTM

Amostras	Cartas 1:50.000			SRTM		
Circulares	DD (km/km ²)	CD (m)	NN	DD (km/km ²)	CD (m)	NN
1	2,028	48.172,893	124	0,821	19.503,963	18
2	1,509	35.856,788	48	0,516	12.264,921	7
3	1,049	24.925,275	24	0,339	8.042,298	4

Figura 14 - Amostras circulares contendo as drenagens automaticamente geradas para os MDTs obtidos a partir dos sensores ASTER e SRTM

Tabela 13 - Densidade de drenagem (DD), comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN) gerados pelo método automático para os MDTs provenientes dos sensores ASTER e SRTM

Amostras	ASTER			SRTM		
Circulares	DD (km/km ²)	CD (m)	NN	DD (km/km ²)	CD (m)	NN
1	1,864	44.286,315	67	0,821	19.503,963	18
2	1,151	27.346,160	27	0,516	12.264,921	7
3	0,952	22.627,238	15	0,339	8.042,298	4

Pela análise das Tabelas de 11 a 13 e das Figuras de 12 a 14, observou-se que, para CD e DD, os MDTs provenientes das cartas topográficas do IBGE 1:50.000 e do sensor ASTER se mostraram bastante semelhantes, sendo esses produtos equivalentes na geração de drenagens para grandes áreas. Já os

resultados de CD e DD obtidos a partir de dados do sensor SRTM se mostraram diferentes de todos os outros MDTs analisados.

Para NN, os três MDTs se mostraram diferentes entre si, sendo esse resultado muito dependente do detalhamento dos dados originais, já que, quanto mais detalhado, mais ramificações o método automático criará no mapa final.

4.4 Conclusão

O método automático estudado foi validado com êxito na determinação de CD e DD utilizando as curvas de nível e hidrografia das cartas topográficas escala 1:10.000, porém não se mostrou válido na determinação do NN nas amostras estudadas, já que, pelo método automático estudado, os mapas de drenagem apresentaram muitas ramificações, não havendo um padrão na quantificação do referido parâmetro.

Os resultados obtidos da aplicação do modelo automático dos três MDTs avaliados (cartas 1:50.000, ASTER e SRTM) se mostraram diferentes dos valores presentes nas cartas 1:10.000 para todos os parâmetros estudados, sendo esse resultado totalmente dependente do detalhamento dos dados de origem dos MDTs.

Os resultados de CD e DD provenientes do sensor ASTER e das cartas 1:50.000 se mostraram semelhantes quantitativamente e visualmente, sendo esses produtos equivalentes na geração de drenagens para grandes áreas.

Referências

BARBARISI, B.F.; MORAES, F.M.; TOMASIELLO, D.B.; ORTIZ, M.J.; MORAES, A. R. Comparação entre diferentes escalas de mapeamento de APP de Topo de Morro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1614-1619. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A48S7S>>. Acesso em: 02 nov. 2013.

BARROS, P.P. da S. **Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro**. 2012. 126p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-20092012-082454/>>. Acesso em: 06 Ago. 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979. 106p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 200p.

CHRISTOFOLETTI, A. A variabilidade espacial e temporal da densidade de drenagem. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 21, n. 42, p. 3-22, dez. 1981.

COELHO, A. L. N. Uso de dados SRTM como ferramenta de apoio ao mapeamento geomorfológico de bacia de médio grande porte. **Revista Geográfica Acadêmica**, Goiânia, UFG, v.2, n.2, p. 138-153, 2008.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 164p.

DEMATTÊ, J.A.M.; BORGES, M.H.; PFEIFER, R.M. Aerofotos convencionais e imagens orbitais TM/LANDSAT no mapeamento morfopedológico em Santa Bárbara D'Oeste (SP). **Scientia Agricola**, Piracicaba, Braz. [online]. 1993, v.50, n.3, p. 372-382. ISSN 0103-9016.

DOS SANTOS, F.C.; PEREIRA FILHO, W. Sensoriamento remoto aplicado aos estudos de ambientes aquáticos continentais. In: **Reflexões sobre a Geografia do Rio Grande do Sul: Temas em Debate**. Santa Maria: UFSM, 2010. p. 209-222.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**, versão 10. Software. 2010.

GUERRA, A.T. **Novo dicionário geológico/geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 648p.

HOTT, M.C.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E.E. Um método para a determinação automática de áreas de preservação permanente em topos de morros para o Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p.16-21. Disponível em: <http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/newsdownload/artigos_resumos%20anais%20eventos/apc_12sbsr05_umetodo_hott.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2013.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo:** escala 1:500.000. v.1 (texto) e v.2 (mapa). Governo do estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. 1981.

JENSON, S.K.; DOMINGUE, J.O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering Remote Sensing**, Bethesda, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.

OLIVEIRA, J.S. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solo em ambiente SIG.** 2012. 103p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-31052012-075705>>. Acesso em: 06 Ago. 2013.

PAZ, A.R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Geração de direções de fluxo para modelagem hidrológica de grande escala. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005. João Pessoa. **Anais...**, 2005, On-line. Disponível em: <http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/Paz_et_al_SBRH_2005c.pdf>. Acesso em: 23 Ago. 2013.

PETSCH, C.; MONTEIRO, J.B.; BUENO, M.B. Análise comparativa da acuracidade da rede de drenagem gerada automaticamente e extraída de carta topográfica estudo de caso no município de Ponta Grossa – PR. **Revista Geonorte**, Manaus, v.2, n.4, p.1195–1205, 2012.

RENNÓ, C.D.; NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; SOARES, J.V.; HODNETT, M.G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M.J. Hand, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.112, n.9, p.3469-3481, 2008.

ROA, J.; KAMP, U. Modelos de elevación digital (MED) a partir de sistemas satelitales. Una introducción y análisis comparativo en la cordillera de Mérida-Venezuela. **Revista Geográfica Venezolana**, Caracas, v. 49, n. 1, p. 11-42, 2007.

RUDORFF, C.M.; NOVO, E.M. L.M.; GALVÃO, L.S.; PEREIRA FILHO, W. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 269-280, 2007.

SEMAE. **Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos do Município de Piracicaba/SP**. Piracicaba, 2011.

SILVA, A.B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas, SP: Editora UNICAMP, 2003. 232p.

SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação automática de Bacias Hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, 2010.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997. 943p.

TURCOTTE, R.; FORTIN, J.P.; ROUSSEAU, A.N.; MASSICOTTE, S.; VILLENEUVE, J.P. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.240, n.3, p.225-242, 2001.

VALERIANO, M.M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). **Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.72-104.

5 COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES IMAGENS DE SATÉLITE NO MAPEAMENTO VISUAL DE DRENAGENS E NASCENTES EM AMOSTRAS CIRCULARES

Resumo

O uso de imagens de satélite vem se tornando cada vez mais comum na obtenção de dados ambientais, como os cursos d'água e as nascentes. Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo comparar três diferentes produtos utilizados no mapeamento manual (visual) de drenagens e nascentes: um mosaico de imagens do satélite SPOT, imagens do programa *Google Earth*® e uma imagem do satélite Landsat 8; cada produto com uma resolução espacial diferente. Utilizou-se a rede de drenagem presente em cartas topográficas de Piracicaba/SP, escala 1:10.000, como base para comparação no trabalho. Para uma melhor comparação entre os produtos, foram analisados dois fatores: comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN), sendo as análises realizadas apenas em caráter quantitativo. Para tanto, foram dispostas três amostras circulares de 2,75 km de raio em diferentes áreas do município de Piracicaba/SP aonde fossem observadas densidades de drenagem (DD) diferentes e, portanto, relevos diferentes. Para o parâmetro CD, a imagem do satélite SPOT apresentou maior semelhança com as cartas 1:10.000 nas amostras com maior DD. Para a amostra com a menor DD, a imagem do *Google Earth*® se mostrou mais próxima. Para a quantificação do NN, houve uma maior semelhança entre os produtos estudados, sendo esse resultado totalmente dependente da resolução espacial (nível de detalhamento) do produto estudado. Assim, concluiu-se que é possível utilizar qualquer um dos produtos analisados na elaboração de mapas hidrológicos e de nascentes, para os mais variados trabalhos, inclusive para aceitação de órgãos públicos que utilizam as cartas topográficas como referência.

Palavras-chave: SPOT 5; *Google Earth*®; Landsat 8

Abstract

The use of satellite images is becoming increasingly common in obtaining environmental data, such as streams and springs. Thus, the present study aimed to compare three different products used in the visual mapping of drainages and springs: a mosaic of images from SPOT satellite, *Google Earth*® images and a Landsat 8 image, each product with a different spatial resolution. Were used the drainage network present in the IGC topographic maps scale 1:10,000 as a basis for comparison in the study. For a better comparison between the products, were analyzed two factors: length of drainage and number of springs. Analyses were performed only on quantitative character. Therefore, three circular samples of 2.75 km radius were placed in different areas of Piracicaba/SP where observed different drainage densities thus different reliefs. For the parameter length of drainage, the SPOT satellite image showed greater resemblance to the 1:10.000 maps in the samples with higher Drainage Density (DD). For the sample with the lowest DD, the image of *Google Earth*® was closer. To the number of springs, there was a greater similarity between the studied products, and this result was entirely dependent of the

spatial resolution (level of detail) of the image. Thus, was concluded that it is possible to use any of the analyzed products to make hydrological and springs maps, including acceptance of public agencies that use the topographic maps as reference.

Keywords: SPOT 5; *Google Earth*®; Landsat 8

5.1 Introdução

A crescente preocupação com os recursos hídricos e com o meio ambiente tem cada vez mais se materializado por meio de ações governamentais voltadas a este setor, como a elaboração de planos diretores de manejo de bacias hidrográficas e diversos programas voltados para a conservação do meio ambiente (ALVES, 2000).

Alves e Carvalho (2007) afirmaram que, para a proteção do meio ambiente, o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem contribuído com as metodologias empregadas em estudos ambientais, oferecendo maior agilidade, objetividade, consistência e precisão na tomada de decisões geoespaciais, sobretudo a partir da década de 70. O processamento de informações geográficas, ou seja, aquelas desenvolvidas em ambiente de SIG, é uma ferramenta fundamental nas análises qualitativas e quantitativas na caracterização do objeto de estudo.

Para Nowatzki, Santos e D e Paula (2010), a utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser uma excelente ferramenta, visto que os mapeamentos podem ser realizados com maior precisão e ser utilizados em diversos tipos de estudos. Rudorff et al. (2007) afirmaram que o sensoriamento remoto tem contribuído muito para o estudo dos mais diversos ambientes do planeta, ajudando a ampliar a compreensão das estruturas ecossistêmicas e de suas interações.

Nesse contexto, Roig *et al.* (2009) fizeram uma avaliação bem sucedida do uso e cobertura da terra, em um área da APA da Bacia do Rio São Bartolomeu-DF, utilizando imagens do satélite SPOT 5, sendo que essa imagem foi importante para a melhor definição dos alvos pretendidos.

Simon e Trentin (2009), em busca de alternativas em imagens para a elaboração de séries temporais de uso da terra, procuraram avaliar as potencialidades das imagens do programa *Google Earth*®. Foram apresentadas duas aplicações destas imagens na identificação de padrões recentes de uso da terra e, de forma geral, as imagens do *Google Earth*® se mostraram adequadas para

tal fim, já que no programa existiam algumas datas diferentes de imagens para os locais estudados.

Já Bittencourt *et al.* (2013) utilizaram técnicas de sensoriamento remoto, como uma classificação supervisionada utilizando o algoritmo classificador MaxVer, para monitorar o processo de arenização presente no município de Quaraí, Rio Grande do Sul, utilizando imagens dos satélites Landsat 5 e 8, tendo obtido resultados confiáveis e muito próximos entre as imagens avaliadas.

Kalaf *et al.* (2013) compararam o posicionamento original de seis cenas ortorretificadas do satélite Landsat 8, abrangendo todo o Estado do Rio de Janeiro, com bases cartográficas 1:2.000 e 1:25.000 e verificaram que estas cenas apresentaram uma correspondência exata com as bases comparadas, dispensando esforços de correção geométrica para o usuário final.

Assim sendo, o presente trabalho teve o objetivo de comparar imagens de satélite com diferentes resoluções espaciais no mapeamento visual de drenagens e nascentes com cartas topográficas do IGC, escala 1:10.000, para três amostras circulares de 2,75 km de raio, em diferentes áreas do município de Piracicaba/SP, onde são observadas densidades de drenagem e relevos diferentes, para, assim, avaliar a possibilidade da utilização do mapeamento gerados por meio destas imagens de satélite na substituição de cartas topográficas exigidas por órgãos de regulamentação dos recursos hídricos.

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Localização da área de estudo

O município de Piracicaba situa-se na porção central do Estado (Figura 1), possuindo uma área total de 1.378,02 km².

Foram escolhidas 3 amostras circulares de 2,75 km de raio (área de cada amostra igual a 2.375,71 ha) em regiões do município de Piracicaba-SP (Figura 1) onde há densidades de drenagem diferentes (utilizando a hidrografia presente nas cartas 1:10.000 do IGC/SP) e, conseqüentemente, um relevo diferente a ser avaliado.

Figura 1 - Localização geográfica do município de Piracicaba no Estado de São Paulo e localização espacial das amostras circulares dentro do município

5.2.2 Clima

O clima da região é o Cwa segundo Köppen, definido como mesotérmico subtropical com inverno seco e verão chuvoso, temperaturas do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio não excede 18°C, como também observado por Oliveira (2012). As chuvas concentram-se nos meses de outubro a março, apresentando uma precipitação média anual de 1.250mm, e o período seco de abril a setembro. Na Figura 2, estão representadas as precipitações médias acumuladas entre os anos de 1917 e 2010, mês a mês.

Figura 2 - Precipitação média mensal entre os anos de 1917 e 2010

5.2.3 Relevo

O relevo na região caracteriza-se por apresentar morros em cotas variando entre 460 e 820m de altitude, com classes de relevo ondulado. A declividade predominante nas encostas é de 6 a 12%. As áreas com classe de declividade de 0 a 3% encontram-se nas áreas de várzea e próximas aos rios, representando uma boa parte do município (44,21% do total), como observado em SEMAE (2011).

5.2.4 Vegetação

A vegetação original na região é do tipo Floresta Mesófila Semidecídua, com ocorrência de ripárias nas margens dos cursos d'água, conforme mapeado por SEMAE (2011). Essa vegetação nativa ocupa 14,85% da área total do município.

5.2.5 Geologia e Material de Origem

O município de Piracicaba está inserido na grande bacia do Paraná e apresenta coluna estratigráfica representada por sedimentos do Grupo São Bento, Grupo Passa Dois e Grupo Tubarão (IPT, 1981).

O Grupo Passa Dois, no município de Piracicaba, é representado pelas Formações Irati, Corumbataí e Teresina, disposto numa faixa Norte-Sul e em sequência, entre os Grupos Tubarão e São Bento.

Já o Grupo São Bento, no município, é representado, conforme mapeamento realizado por SEMAE (2011), entre as litologias sedimentares, pelas Formações Piramboia, Serra Geral e Botucatu, das quais a primeira possui maior área de distribuição regional.

As classes de geologia presentes nas três amostras circulares selecionadas para o estudo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de geologia presentes nas amostras circulares

Grupos Geológicos	Classe de Geologia	Código	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
			Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Grupo São Bento	Formação Pirambóia	TJp	2.375,71	100,00	2.375,71	100,00	0,00	0,00
	Formação Serra Geral	Jksg	0,00	0,00	0,00	0,00	896,14	37,72
Grupo Passa Dois	Formação Corumbataí	Pc	0,00	0,00	0,00	0,00	309,71	13,04
	Formação Irati	Pi	0,00	0,00	0,00	0,00	615,63	25,91
	Formação Teresina	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	554,23	23,33
Total			2.375,71	100,00	2.375,71	100,00	2.375,71	100,00

5.2.6 Solos

Utilizando o mapeamento de solos realizado pela equipe técnica do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) e os conceitos e legendas do novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da EMBRAPA (2013), as três amostras circulares utilizadas no presente trabalho apresentam as classes de solo conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Unidades de mapeamento de solo contidas nas três amostras circulares

Classe de Solo	Código	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Argissolo Vermelho-Amarelo	PVA	1.208,40	50,86	1.327,01	55,86	0,00	0,00
Neossolo Quartzarênico	NQ	257,60	10,84	893,41	37,61	0,00	0,00
Neossolo Flúvico	RU	909,71	38,29	117,29	4,94	0,00	0,00
Latossolo Vermelho-Amarelo	LVA	0,00	0,00	38,01	1,60	0,00	0,00
Latossolo Vermelho	LV	0,00	0,00	0,00	0,00	2.065,58	86,95
Gleissolo Háplico	GX	0,00	0,00	0,00	0,00	310,13	13,05
Total	-	2.375,71	100,00	2.375,71	100,00	2.375,71	100,00

5.2.7 Cartas planialtimétricas 1:10.000

As cartas topográficas (planialtimétricas) são essenciais no auxílio a mapeamentos da declividade, da rede de drenagem e hipsométricos; apresentam-se como um subsídio para a interpretação do relevo nas amostras circulares, pois os mesmos contêm importantes informações morfométricas pretendidas nesse estudo.

Assim, foram utilizadas, no presente trabalho, seis cartas na escala de 1:10.000, duas para cada amostra circular, conforme Tabela 3, do Plano Geográfico do Estado de São Paulo elaborados pela Divisão de Geografia da Coordenadoria de Ação Regional da Secretaria de Economia e Planejamento do Governo de São Paulo.

Tabela 3 - Folha, numeração e articulação das cartas topográficas 1:10.000 que compõem as amostras circulares

Amostra	Folha	Numeração	Articulação
1	Tanquinho	SF-23-Y-A-IV-2-NE-C	068/090
	Usina Capuava	SF-23-Y-A-IV-2-NE-E	069/090
2	Bairro do Paredão Vermelho	SF-23-Y-A-IV-1-SO-D	071/085
	Bairro Monjolado	SF-23-Y-A-IV-1-SO-F	072/085
3	Ibitiruna	SF-23-Y-A-IV-3-NO-A	073/084
	Ribeirão dos Patos	SF-23-Y-A-IV-3-NO-C	074/084

Essas cartas foram confeccionadas a partir de levantamentos aerofotogramétricos realizados pela Terra Foto S.A. Atividades de Aerolevantamentos no ano de 1978, com reambulação em campo entre 1978 e 1979. As curvas de nível são equidistantes em 5 metros. A projeção originalmente utilizada nas cartas é a Universal Transversa Mercator (UTM), DATUM Córrego Alegre e referência vertical do Marégrafo de Imbituba, SC.

As cartas foram digitalizadas e importadas ao software ArcGIS 10 (ESRI, 2010), georreferenciadas por meio dos pontos de controle presentes e reprojeta- das para o DATUM SIRGAS 2000; obteve-se, assim, digitalizada a hidrografia (Figura 3), para que fosse possível mapear e quantificar o comprimento de drenagem (CD) e número de nascentes (NN) presentes nas cartas em cada amostra circular, para poderem ser comparadas com as imagens de satélite estudadas.

Figura 3 - Mapas extraídos a partir das cartas topográficas 1:10.000 contendo a hidrografia e a densidade de drenagem (DD) observada em cada amostra circular

Para o presente estudo, resolveu-se utilizar a hidrografia e as nascentes presentes nas cartas topográficas 1:10.000 como base para a comparação com os produtos utilizados na determinação visual de drenagens e nascentes aplicados, já que estas cartas são documentos oficiais utilizados por vários órgãos públicos do Estado de São Paulo, como a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) e o DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica).

5.2.8 Amostras Circulares e Densidade de Drenagem

Foram dispostas três amostras circulares de 2,75 km de raio, tendo cada amostra uma área de 2.375,71 ha, em regiões do município de Piracicaba-SP (Figura 3) com diferentes densidades de drenagem (DD) e, consequentemente, um relevo diferente a ser avaliado.

A utilização de amostras circulares se justifica por serem amostras de mesma área e tamanho, facilitando a análise de DD, como fizeram Demattê, Borges e Pfeifer (1993).

Para Christofolletti (1980), a densidade de drenagem (DD) é reconhecida como uma das mais importantes variáveis na análise morfométrica das bacias hidrográficas, representando o grau de dissecação topográfica e expressando a quantidade disponível de canais de escoamento. Essa variável reflete a influência das características topográficas, litológicas, pedológicas, climáticas e da cobertura vegetal do local, incluindo a influência antrópica; além disso permite saber se a bacia tem uma boa drenagem ou não, e assim a sua tendência para a ocorrência de cheias (CHRISTOFOLETTI, 1979, 1981).

A DD (km/km²) é calculada pela divisão do comprimento total de todos os segmentos de cursos d'água (L) pela área da bacia (A) (Eq. 1). Pode variar de 0,5 km/km² (para bacias mal drenadas, devido a elevada permeabilidade ou à precipitação escassa) até 3,5 km/km² (para bacias excepcionalmente bem drenadas, ocorrendo em áreas com elevada precipitação ou muito impermeáveis), segundo literatura (CHRISTOFOLETTI, 1980).

$$DD = \frac{L}{A} \quad (1)$$

Em que:

DD - Densidade de Drenagem, km/km²;

L - Comprimento total de drenagem, km; e

A - Área da Bacia ou amostra circular, km².

As características da hidrografia obtidas por meio das cartas para as três amostras circulares estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características do comprimento de drenagem (CD) e da densidade de drenagem (DD) para as três amostras circulares

Amostras circulares	CD (m)	DD (km/km ²)
1	85.786,731	3,611
2	51.178,696	2,154
3	24.605,280	1,036

Assim, no presente trabalho, a DD foi utilizada para que fossem selecionadas três áreas com as maiores diferenças morfológicas possíveis, visando tornar os produtos e métodos analisados aplicados aos mais variados tipos de relevo, dentro do município de Piracicaba.

5.2.9 Imagens de Satélite

O uso de imagens de satélite como meio de se obter dados remotos diversos vem se tornando cada dia mais difundido, tanto no meio científico como em áreas comerciais. Para isso, utilizou-se dois tipos diferentes de imagens de satélite para se obter o mapa de drenagem e, por fim, o mapa das nascentes contidas na MHC. Para padronizar os trabalhos, as nascentes foram mapeadas até o final da vegetação arbórea visível ou até a calha dos cursos d'água observada.

5.2.9.1 Imagens Satélite SPOT

No presente trabalho foi utilizado um mosaico de imagens do satélite francês SPOT 5 (SEMAE, 2011) do ano de 2010 (Figura 4), com 5 metros de resolução espacial (Tabela 5) e com uma composição em cor natural RGB e um fusionamento com a banda PAN já realizada. Como algumas áreas dessas imagens SPOT apresentaram alto índice de nuvens, utilizou-se recortes de imagens Ikonos (Tabela 6), com 1 metro de resolução espacial na imagem fusionada, para compor a imagem. Esse mosaico de imagens SPOT foi importado ao ambiente SIG (ArcGIS 10) (ESRI, 2010) e convertido para o DATUM SIRGAS 2000. Assim, com esse mosaico de imagens, também foi feito o mapeamento dos cursos d'água e das nascentes pelo método de vetorização em tela, em cada amostra circular (Figura 5), para uma posterior comparação com o resultados das cartas.

Tabela 5 - Características das imagens do Satélite francês SPOT 5

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
HRG	PAN	0,48 - 0,71 μ m	5 m			
	B1	0,50 - 0,59 μ m				
	B2	0,61 - 0,68 μ m	10 m	26 dias	60 x 60 km	8 bits
	B3	0,78 - 0,89 μ m				
	SWR	1,58 - 1,75 μ m	20 m			

Tabela 6 - Características das imagens do Satélite Ikonos

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
PAN	PAN	0,45 - 0,90 μ m	1 m	2,9 dias		
MS	Azul	0,45 - 0,52 μ m				
	Verde	0,52 - 0,60 μ m				
	Vermelho	0,63 - 0,69 μ m	4 m	1,5 dia	11 x 11 km	11 bits
	IV próximo	0,76 - 0,90 μ m

Figura 4 - Mosaico de imagens fusionadas do satélite SPOT 5 e Ikonos para as amostras circulares dispostas sobre o município de Piracicaba/SP

Figura 5 - Detalhe de cada amostra circular com o mosaico de imagens fusionadas do satélite SPOT 5 e Ikonos

5.2.9.2 Imagem do programa *Google Earth*®

Com a grande facilidade de acesso da sociedade ao *Google Earth*®, resolveu-se realizar o mapeamento das drenagens e nascentes no próprio software *Google Earth*®, pelo método da digitalização da imagem em tela. Posteriormente, as drenagens e nascentes foram exportadas para arquivos KMZ e importados para o ArcGIS 10 (ESRI, 2010) para finalização do mapa de drenagens e nascentes e comparação com as cartas.

As imagens utilizadas no programa nas regiões das amostras circulares são provenientes do catálogo de imagens da *DigitalGlobe*®, todas obtidas por meio do sensor QuickBird 2 (fusionada com banda pancromática), possuindo uma resolução espacial original considerada alta (0,61 metros), ou seja, com uma alta capacidade de se observar o alvo pretendido.

Para as amostras circulares propostas no presente estudo, as imagens existentes no *Google Earth*® (Figuras 6 e 7) são datadas de 07 de Setembro de 2011 para as amostras 1 e 2, e de 13 de Junho de 2007 para a amostra 3.

Figura 6 - Imagem do *Google Earth*® para as amostras circulares dispostas sobre a região do município de Piracicaba/SP

Figura 7 - Detalhe de cada amostra circular com a imagem do programa *Google Earth*®

5.2.9.3 Imagem Landsat 8

Com o lançamento do Landsat 8 no dia 11 de Fevereiro de 2013, surgiu uma nova e gratuita opção de obtenção de imagens de satélite disponíveis para todo o planeta. Tendo em vista esse fato, obteve-se uma imagem do Landsat 8 para ser incluída na análise, já que, a partir de agora, deverá ser esta a grande fonte de dados orbitais disponíveis sem custo.

Assim, obteve-se uma imagem que compreendeu a região das amostras circulares no município de Piracicaba/SP (Órbita/*Path* 220; Ponto/*Row* 76), datada de 06 de Julho de 2013.

Importada a imagem ao SIG ArcGIS 10 (ESRI, 2010), utilizou-se as bandas 2, 3 e 4 na geração de uma composição colorida cor natural, com 30 metros de resolução espacial (Tabela 7). Posteriormente, realizou-se um fusionamento da banda 8 (Pancromática) com a composição colorida obtida anteriormente, resultando em uma imagem fusionada em coloração natural, com 15 metros de resolução espacial (Figuras 8 e 9).

Tabela 7 - Características do satélite Landsat 8

Bandas Espectrais	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)
Banda 1 – Coastal aerosol	0.43 – 0.45	30
Banda 2 – Blue	0.45 – 0.51	30
Banda 3 – Green	0.53 – 0.59	30
Banda 4 – Red	0.64 – 0.67	30
Banda 5 – Near Infrared (NIR)	0.85 – 0.88	30
Banda 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Banda 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Banda 8 – Panchromatic	0.50 – 0.68	15
Banda 9 – Cirrus	1.36 – 1.38	30
Banda 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
Banda 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

Figura 8 - Imagem fusionada do satélite Landsat 8 para as amostras circulares dispostas sobre a região do município de Piracicaba/SP

Figura 9 - Detalhe de cada amostra circular com a imagem fusionada do satélite Landsat 8

5.2.10 Metodologia aplicada

A metodologia aplicada está representada no fluxograma das etapas de trabalho presente na Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma geral do trabalho: mapeamento manual (visual) dos cursos d'água e nascentes das amostras circulares utilizando diferentes produtos

Conforme o fluxograma apresentado na Figura 10, no presente trabalho estudou-se a possível diferença no mapeamento das drenagens e nascentes utilizando imagens de satélite de diferentes resoluções espaciais com as cartas topográficas do IGC 1:10.000.

5.2.11 Comparação dos Resultados

Para uma melhor comparação entre os métodos, foram analisados os fatores quantitativos comprimento das drenagens (CD), e, conseqüentemente, densidade de drenagem (DD) e número de nascentes (NN).

Para os dois parâmetros estudados, foram analisados e comparados resultados absolutos de cada produto nas três amostra circulares.

5.3 Resultados e Discussão

Realizou-se o mapeamento dos cursos d'água presentes nas amostras circulares por meio de vetorização em tela, no programa ArcGIS (ESRI, 2010), para os três produtos analisados (Figuras de 11 a 13).

Figura 11 - Amostras circulares contendo as drenagens obtidas a partir das imagens do *Google Earth®*, tendo como base a hidrografia existente nas cartas topográficas do IGC 1:10.000

Figura 12 - Amostras circulares contendo as drenagens obtidas a partir das imagens do satélite SPOT 5, tendo como base a hidrografia existente nas cartas topográficas do IGC 1:10.000

Figura 13 - Amostras circulares contendo as drenagens obtidas a partir das imagens do satélite Landsat 8, tendo como base a hidrografia existente nas cartas topográficas do IGC 1:10.000

Os valores de CD, em metros, e da variação, em porcentagem, em relação à hidrografia existente nas cartas topográficas do IGC escala 1:10.000 obtidos por meio de cada produto estão apresentados na Tabela 8. Na Tabela 9 estão apresentados os resultados de DD, em km/km², obtidos por intermédio de cada imagem de satélite.

Tabela 8 - Comprimento de Drenagem (CD) nas amostras circulares para cada produto estudado, em metros, e a variação do resultado de cada produto em relação ao existente nas Cartas Topográficas 1:10.000, em %

Amostras circulares	Cartas	Imagens de Satélite					
	1:10.000	Google Earth®		SPOT 5		Landsat 8	
	CD (m)	CD (m)	%	CD (m)	%	CD (m)	%
1	85.786,731	103.754,668	20,94	87.963,802	2,54	71.246,023	-16,95
2	51.178,696	59.050,863	15,38	52.889,672	3,34	46.478,513	-9,18
3	24.605,280	25.450,407	3,43	20.729,241	-15,75	19.008,742	-22,75

Tabela 9 - Densidades de drenagem (DD) existentes nas cartas 1:10.000 e obtidas por intermédio das imagens de satélite, para cada amostra circular

Amostras Circulares	Cartas	Imagens de Satélite		
	1:10.000 DD (km/km ²)	Google Earth® DD (km/km ²)	SPOT 5 DD (km/km ²)	Landsat 8 DD (km/km ²)
1	3,611	4,367	3,703	2,999
2	2,154	2,486	2,226	1,956
3	1,036	1,071	0,873	0,800

Interpretando-se os resultados de CD e DD (Tabelas 8 e 9), observa-se que as drenagens obtidas por intermédio da imagem do satélite SPOT 5 apresentaram os resultados mais semelhantes aos das cartas 1:10.000, para as amostras circulares 1 e 2, superestimando os valores em 2,54% e 3,34%, respectivamente. Já para a amostra 3, os resultados obtidos por meio da imagem do satélite SPOT 5 subestimou o valor existente nas cartas 1:10.000 em 15,75%. Para as drenagens obtidas pelas imagens do *Google Earth*®, para as três amostras circulares, houve uma superestimação dos valores; porém, para a amostra circular 3, houve uma superestimação de apenas 3,43% do valor apresentado nas cartas, sendo esse o método que mais se aproximou das cartas na amostra 3, que possui a menor DD. Para a imagem do Landsat 8, as três amostras apresentaram valores menores que os existentes nas cartas, principalmente pelo fato dessa imagem apresentar *pixels* de 15x15 metros (15 metros de resolução espacial), sendo essa imagem aquela com menor riqueza de detalhes, dentre todos os produtos estudados no presente trabalho.

Uma das explicações plausíveis para esse resultado muito semelhante do CD obtido por meio da imagem do satélite SPOT 5 com as cartas nas amostras circulares 1 e 2 (amostras com maiores DD) é a de que essa imagem possui uma resolução espacial de 5 metros, sendo ela intermediária entre as outras duas imagens estudadas, não apresentando tanta riqueza de detalhes como a imagem do *Google Earth*®, que é uma imagem que possui resolução espacial de menos de 1 metro, nem tão poucos detalhes como a imagem do Landsat 8 que possui uma resolução espacial de 15 metros. As cartas topográficas do IGC 1:10.000 foram elaboradas a partir de fotografias aéreas, com escala 1:35.000, no ano de 1979,

sendo esta uma escala com uma riqueza de detalhes intermediária. Por isso, o produto com riqueza de detalhes intermediária apresentou os comprimentos dos canais de drenagem mais semelhantes às cartas nas amostras com as maiores densidades de drenagem.

Para a amostra circular 3, onde a DD é baixa, ou seja, há menos rios em uma mesma área, foi necessária uma imagem com maior riqueza de detalhes para serem encontrados e delimitados todos os cursos d'água. Sendo assim, as imagens obtidas pelo *Google Earth®* apresentaram o melhor resultado na amostra circular com a menor DD.

Para o parâmetro NN, estão apresentados, na Tabela 10, os resultados obtidos da quantificação e da variação, em porcentagem, em relação às cartas IGC 1:10.000, obtidas por cada produto.

Tabela 10 - Número de nascentes (NN) nas amostras circulares para cada produto estudado e a variação do resultado de cada produto em relação ao existente nas cartas topográficas 1:10.000, em %

Amostras circulares	Cartas 1:10.000 NN	Imagens de Satélite					
		<i>Google Earth®</i>		SPOT 5		Landsat 8	
		NN	%	NN	%	NN	%
1	196	272	38,78	239	21,94	136	-30,61
2	88	115	30,68	122	38,64	59	-32,95
3	21	26	23,81	13	-38,10	11	-47,62

Analisando a Tabela 10, para o NN, foram observados resultados relativamente próximos aos existentes nas cartas, mas também dependentes da resolução espacial do produto avaliado. Para a imagem do *Google Earth®*, pela sua resolução espacial melhor e por ser uma imagem com mais riqueza de detalhes, foram encontradas, para as amostras 1, 2 e 3, respectivamente, 38,78%, 30,68% e 23,81% de nascentes além das existentes nas cartas.

Para a imagem do satélite SPOT 5, observou-se uma superestimação do NN nas duas amostras circulares com maior DD (1 e 2), com 21,94% e 38,64%, respectivamente. Já para a amostra 3, que possui uma DD considerada baixa, o resultado obtido subestimou os valores encontrados nas cartas em 38,10%. Assim, a

resolução espacial da imagem SPOT 5 (5 metros), foi insuficiente para localização e mapeamento de todas as nascentes.

Já para a imagem do satélite Landsat 8, assim como no parâmetro CD, observou-se que todos os resultados de NN subestimaram os valores de nascentes encontrados nas cartas, principalmente pelo fato dessa imagem apresentar *pixels* de 15x15 metros (15 metros de resolução espacial), não sendo possível a visualização de todas as nascentes existentes na resolução citada.

Com isso, observa-se que é possível realizar a quantificação de nascentes utilizando imagens de satélite, como fizeram Viel *et al.* (2013), que mapearam nascentes utilizando imagens do *Google Earth®* em Monte Belo do Sul/RS, checando-as em campo posteriormente, com êxito.

5.4 Conclusão

Os produtos utilizados para o mapeamento visual de drenagens e nascentes no presente trabalho (imagem do satélite Landsat 8, imagens do satélite SPOT 5 e imagens do programa *Google Earth®*) apresentaram, quantitativamente, semelhanças com o produto utilizado como padrão nesse trabalho (cartas topográficas do IGC 1:10.000), com variações dependentes da resolução espacial do produto avaliado.

O produto com melhor resolução espacial (*Google Earth®*) superestimou todos os resultados para dois parâmetros estudados (CD e NN), sendo que esta imagem apresentou os resultados mais próximos às cartas para a amostra circular com menor DD.

O produto com resolução espacial intermediária (SPOT 5) apresentou os melhores resultados de CD para as amostras circulares com maiores DD.

Já o produto com a menor resolução espacial (Landsat 8) subestimou todos os resultados obtidos para os dois parâmetros estudados.

Dependendo do nível de detalhamento do mapa pretendido e da resolução espacial do produto existente, pode ser possível utilizar qualquer um dos produtos analisados na elaboração de mapas hidrológicos e de nascentes para os mais variados trabalhos, inclusive para aceitação de órgãos públicos que utilizam cartas topográficas como referência.

Referências

- ALVES, S.C. A água como elemento fundamental da paisagem em microbacias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, Epamig, v.21, n.207, p.9-14, 2000.
- ALVES, T.M.; CARVALHO, T.M. Técnicas de sensoriamento remoto para classificação e quantificação do sistema lacustre do rio Araguaia entre Barra do Garças e foz do rio Cristalino. **Revista Geográfica Acadêmica**, Goiânia, UFG, v.1, n.1, p.79-94, 2007.
- BARROS, P.P. da S. **Análise de diferentes cenários para adequação ambiental da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro**. 2012. 126p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111143/tde-20092012-082454/>>. Acesso em: 06 Ago. 2013.
- BITTENCOURT, A.; PAROLI, E.N.; VIER, L.P.; FACCO, D.S.; BENEDETTI, A.C. P. Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento do processo de arenização no município de Guaraí - Rio Grande do Sul, entre 1996 e 2013. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 4., 2013. Rio de Janeiro. **Anais...** Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbg/trabalhos/90/13/sensoriamento-remoto-aplicado-ao-monitoramento-do-processo-de-arenizacao-no-municipio-de-quarai_1373670324.pdf>. Acesso em: 05 out. 2013.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979. 106p.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 200p.
- CHRISTOFOLETTI, A. A variabilidade espacial e temporal da densidade de drenagem. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 21, n. 42, p. 3-22, dez. 1981.
- DEMATTÊ, J.A.M.; BORGES, M.H.; PFEIFER, R.M. Aerofotos convencionais e imagens orbitais TM/LANDSAT no mapeamento morfopedológico em Santa Bárbara D'Oeste (SP). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, Braz. [online]., v.50, n.3, p. 372-382, 1993.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**, versão 10. Software. 2010.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**: escala 1:500.000. v.1 (texto) e v.2 (mapa). Governo do estado de São Paulo. Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. 1981.

KALAF, R.; BRASILEIRO, R.; CARDOSO, P.V.; CRUZ, B.M.C. Landsat 8: Avanços para mapeamento em mesoescala. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO, 4., 2013. Rio de Janeiro. **Anais...** Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbg/trabalhos/90/51/resumo-geotec-roberta-raissa-1_1374611841.pdf>. Acesso em: 05 out. 2013.

NOWATZKI, A.; SANTOS, L.J.C.; DE PAULA, E.V. Utilização do Sig na Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP's) na Bacia do Rio Sagrado (Morretes/PR). **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.22, n.1, p.107-120, 2010.

OLIVEIRA, J.S. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solo em ambiente SIG**. 2012. 103p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-31052012-075705>>. Acesso em: 06 Ago. 2013.

ROIG, H.L.; BAYMA, A.P.; SOARES NETO, G.B.; MENEZES, P.H.B.J.; SANTOS, R. P. Adequação de uma área situada na APA de São Bartolomeu-DF à legislação ambiental. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** 2009. p. 6133-6140.

RUDORFF, C.M.; NOVO, E.M.L.M.; GALVÃO, L.S.; PEREIRA FILHO, W. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 269-280, 2007.

SEMAE. **Plano Municipal de Gestão de Recursos Hídricos do Município de Piracicaba/SP**. Piracicaba, 2011.

SIMON, A.L.H.; TRENTIN, G. Elaboração de cenários recentes de uso da terra utilizando imagens do *Google Earth*. **Ar@cne**. *Revista electrónica de recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales*. Barcelona: Universidad de Barcelona, nº 116, 2009. Disponível em: <<http://www.ub.es/geocrit/aracne/aracne-116.htm>>. Acesso em: 03 out. 2013.

VIEL, J.A.; ARRUDA, D.C.; BERRETA, M.S.R.; FANTIN, M.L.; FARIAS, A.R.; HOFF, R. Geotecnologias e aprendizagem espacial em ambiente educacional: o mapeamento de nascentes utilizando técnicas de geoprocessamento por meio de softwares livres. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...**, 2013. p. 2650-2656.

ANEXOS

ANEXO A – Relatório fotográfico e mapa utilizado na checagem de campo das nascentes da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro

Figura 1 - Remanescente florestal alterado pela cultura da cana-de-açúcar

Figura 2 - Afloramento do lençol freático deslocado do local original

Figura 3 - Dificuldade encontrada em campo: afloramento contornando o remanescente florestal; local da nascente deslocado do ponto original pela interferência antrópica

Figura 4 - Remanescente florestal rodeado de cana-de-açúcar em estado avançado de desenvolvimento

Figura 5 - Córrego do Ceveiro visto a partir de ponte

Figura 6 - Mapa utilizado na checagem de campo, escaneado