

## Avaliação de diferentes métodos para estimativa de áreas marginais de cursos d'água na bacia do rio Ji-Paraná (RO)

Daniel de Castro Victoria<sup>1</sup>  
Julia Sanguinetti de Mello<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Monitoramento por Satélite  
Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão - 13070-115 - Campinas - SP, Brasil  
daniel@cnpm.embrapa.br; julia.san.mello@gmail.com

**Abstract.** Brazilian legislation considers river margins as environmental preservation areas that should not be used for agricultural production or other commercial activities. For small areas, where detailed cartographic data is available, the definition of these areas are simpler tasks however, Country wide estimates of protected area is still a matter of debate. For large area estimates, two main uncertainties occur. The lack of detailed cartographic data at suitable scales under-represents the river channels and thus, makes it difficult to estimate total river length. Also, marginal preservation areas are a function of channel width, an information often lacking but crucial for the correct estimation of protected areas in large river basins. Here, three methods for estimating marginal preservation areas are applied to the Ji-Paraná river basin (RO, Brazil) in order to evaluate the importance of channel width. The first considers a constant width along the entire river network for estimating preserved area. The second divides the basin according to the location of fluvimetric stations and prescribes different widths for each sub-basin while the third estimates channel width based on an area:width relationship. Total protected area for the three methods ranges from 2% to 21% of basin area, making it clear that channel width should be taken into account when estimating protected areas for large regions and that the methods and assumption used in defining such areas should be clearly stated in order to avoid precipitated conclusions.

**Palavras-chave:** preservation areas; environmental legislation; river margin; área de preservação permanente, legislação ambiental, margem de rio

### 1. Introdução

A legislação ambiental brasileira define as áreas de preservação permanente (APPs), que incluem locais com elevada declividade, entornos de nascentes, topos de morro e montanha e áreas marginais dos cursos d'água. Diversos trabalhos tem sido efetuados para identificar tais APPs em regiões de interesse (SANTOS et al., 2007; de OLIVEIRA et al., 2007; RIBEIRO et al., 2005; JACOVINE et al., 2008) porém, estimativas de abrangência nacional esbarram em limitações, principalmente relativas à falta de informações cartográficas adequadas. Tais dificuldades fazem com que avaliações em grande escala sejam cercadas de incertezas, pois certamente sofrerão de problemas relativos a qualidade cartográfica dos dados utilizados e deverão lançar mão de algumas suposições. Este é especificamente o caso das APPs nas margens de rios, onde suas dimensões dependem da largura dos cursos d'água na cota de maior inundação. A largura mínima das APPs nas margens dos rios deve ser “trinta metros, para o curso d'água com menos de dez metros de largura; cinquenta metros, para o curso d'água com dez a cinquenta metros de largura; cem metros, para o curso d'água com cinquenta a duzentos metros de largura; duzentos metros, para o curso d'água com duzentos a seiscentos metros de largura e quinhentos metros, para o curso d'água com mais de seiscentos metros de largura” (CONAMA, 2002).

A estimativa das APPs nas margens dos cursos d'água em escala nacional esbarra em duas dificuldades. Primeiramente existe a necessidade de um mapa hidrológico consistente, com cobertura para todo o território nacional. Porém, apesar da disponibilidade de mapeamentos detalhados para algumas regiões do País, o mapeamento da hidrografia nacional apresenta pequena escala cartográfica, o que significa que diversos cursos d'água podem não estar representados. Outra dificuldade é a estimativa da largura desses rios, informação imprescindível para a correta delimitação das APPs e que nem sempre esta disponível.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a importância de se considerar a largura dos canais

de drenagem na delimitação das APPs das margens dos cursos d'água em grandes bacias hidrográficas. Três procedimentos distintos foram aplicados aos rios pertencentes a bacia de drenagem do rio Ji-Paraná (RO). Foi constatada grande variação no total de áreas a serem preservadas na bacia, dependendo da forma como as larguras das APPs são calculadas, levando-se em conta ou não a largura dos canais de drenagem. Estes resultados deixam claro que a delimitação de APPs nas margens dos rios em grandes bacias hidrográficas deve necessariamente considerar as variações nas larguras dos canais.

## 2. Material e Métodos

A bacia de drenagem do rio Ji-Paraná (Figura 1) se localiza na região leste do estado de Rondônia, possui área de drenagem de 75.400 km<sup>2</sup> e descarga média anual de 700 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Situada no bioma Amazônia, esta bacia apresenta elevada alteração antrópica em seu trecho médio, com grandes extensões de pastagens, enquanto que em suas nascentes e no trecho final, grande parte da cobertura vegetal permanece intacta (Krusche et. al., 2005).

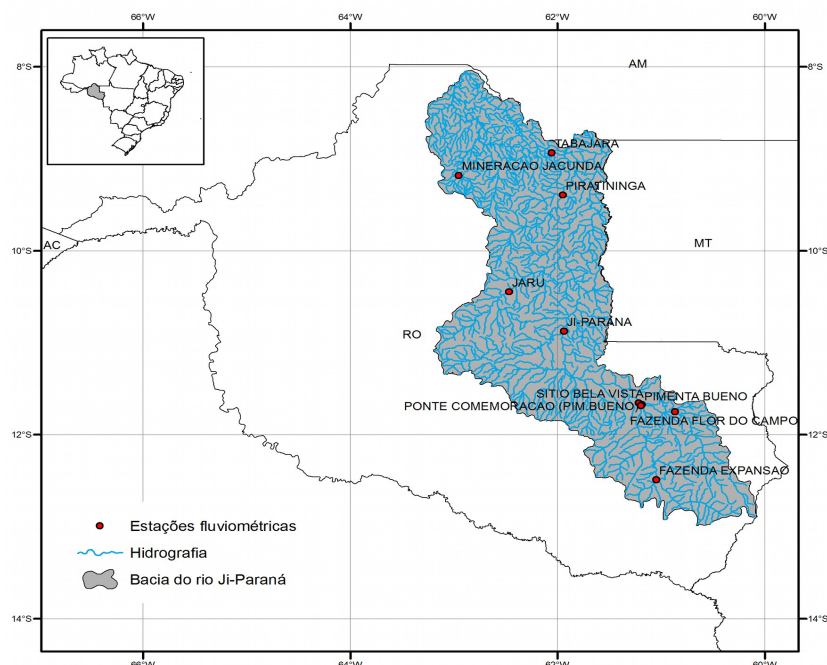


Figura 1. Bacia do rio Ji-Paraná, hidrografia na escala 1:1.000.000 e localização das estações fluviométricas da Agência Nacional de Águas.

As áreas de preservação foram estimadas a partir da rede hidrográfica da Agência Nacional de Águas (ANA), escala 1:1.000.000. Apesar de existirem cartas em escala mais detalhada (1:250.000), estas não estão prontamente disponíveis para todo o território nacional e apresentam algumas inconsistências na área de estudo, com brusca mudança na densidade de drenagem na parte central da bacia, efeito provavelmente causado pelo uso de cartas com escalas distintas. Desta forma, optou-se por trabalhar na escala menos detalhada. Além disso, os resultados obtidos a partir das cartas nesta escala podem ser comparados aos resultados de outro trabalho de quantificação das APPs em escala nacional (MIRANDA et al., 2008).

A delimitação de áreas marginais é uma operação simples encontrada nos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), conhecida como *buffer*, capaz de identificar os locais ao redor de um objeto. A dificuldade da delimitação para grandes áreas está na definição da largura destas faixas, as quais devem variar de acordo com a largura do curso d'água em sua cota máxima de inundação. A fim de avaliar a importância de se considerar a largura dos canais de drenagem, três formas distintas foram utilizadas para a definição das APPs nas

margens dos rios: 1) larguras constantes ao longo de toda a rede hidrográfica; 2) larguras constantes, porém diferenciadas por sub-bacias, ao longo da rede hidrográfica e 3) larguras variáveis de APPs, estimadas a partir da relação entre área de drenagem e largura do canal. Os diferentes métodos são descritos a seguir:

### 2.1. Largura constante em toda a rede de drenagem

Esta é a maneira mais simples de se definir as APPs ao longo da rede hidrográfica, assumindo que todos os rios se enquadram em uma mesma classe de largura e portanto, as áreas de preservação apresentam as mesmas dimensões. Foram delimitadas as APPs utilizando faixas marginais de 100, 200 e 500 metros. Estas dimensões foram escolhidas pois representam as larguras que devem ser aplicadas aos cursos com largura entre 50 a 200 m; de 200 a 600 m e acima de 600 m, respectivamente.

### 2.2. Largura constante, diferenciada por sub-bacia

As APPs foram delimitadas levando-se em consideração as informações de cota de vazão e perfil transversal de nove estações fluviométricas da bacia do rio Ji-Paraná (Tabela 1). Para cada uma das estações, foi identificada a cota máxima ocorrida durante todo o período de observação de dados, a qual foi cruzada com o perfil transversal da calha do rio, identificando a largura máxima do canal. As áreas de contribuição de cada estação (sub-bacias de drenagem) foram delimitadas e considerou-se que todos os cursos d'água pertencentes às sub-bacias apresentavam a mesma largura observada no exutório. A faixa de proteção marginal foi então definida para cada sub-bacia, de acordo com as larguras estabelecidas na legislação.

As sub-bacias foram delimitadas a partir do modelo digital de elevação do terreno (MDET) SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* (JARVIS et al., 2008), com 90 m de resolução espacial. A delimitação seguiu os procedimentos comumente empregados: preenchimento das falhas do MDET; cálculo da direção e acúmulo de fluxo; posicionamento dos exutórios nas linhas de maior acúmulo de fluxo e delimitação das bacias hidrográficas.

Tabela 1. Estações fluviométricas utilizadas, período com medidas de cota, cota máxima atingida e largura do canal na cota máxima

Estação fluviométrica	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Período de observação	Cota máxima (m)	Largura do canal (m)
Faz. Flor do Campo	4043	jan-83 a out-06	578	80
Ponte Comemoração	5940	jan-91 a dez-06	667	87
Faz. Expansão	3623	abr-83 a abr-98	568	56
Pimenta Bueno	10114	jun-80 a dez-06	916	98
Ji-Paraná	32806	jan-78 a dez-06	1042	253
Jaru	3836	jun-81 a out-06	877	80
Piratininga	4395	abr-84 a mai-06	824	75
Tabajara	60212	jan-78 a out-06	1038	306
Mineração Jacunda	1125	mar-83 a set-06*	756	136

\*Falha de 6 anos nos dados, entre 1997 a 2003

### 2.3. Largura constante, diferenciada por sub-bacia

A existência de relações exponenciais empíricas encontradas entre características da geometria hidráulica e da descarga ou área de drenagem de um curso d'água (RASERA, 2005; FINLAYSON e MONTGOMERY, 2003; KNIGHTON, 1999) permite estabelecer equações para a estimativa da largura dos canais. A partir dos dados das estações fluviométricas da ANA, foi estabelecida uma equação, específica para a bacia do rio Ji-Paraná, relacionando área de drenagem e largura do canal. Esta relação foi aplicada em cada trecho da rede hidrográfica na escala 1:1.000.000, obtendo a largura do canal e da faixa de proteção.

A definição da largura da faixa de proteção foi realizada para duas situações distintas. A primeira seguiu as larguras definidas na resolução CONAMA. Já a segunda contabilizou a área ocupada pela superfície d'água, uma vez que na rede hidrográfica utilizada, todos os rios estão representados por linhas simples. Apesar da superfície d'água não ser uma APP, esta contabilização visou estimar a área da bacia de drenagem indisponível para atividades agrícolas. Assim, a faixa de proteção foi calculada a partir dos valores presentes na resolução CONAMA, acrescida de metade da largura do curso d'água, estimada pela equação encontrada entre área e largura de canal. Em ambos procedimentos foi possível estimar uma faixa marginal variável ao longo da rede de drenagem, com menor largura nos rios de cabeceira, aumentando gradativamente ao longo da rede de drenagem.

### 3. Resultados e discussões

O total de APPs nas margens dos cursos d'água variou consideravelmente, dependendo do método utilizado. A Tabela 2 apresenta um resumo dos resultados obtidos em cada método, descritos a seguir.

Tabela 2. Área de preservação permanente e porcentagem da bacia destinada à preservação, obtida a partir dos diferentes métodos testados

Método	Área (km <sup>2</sup> )	% bacia
Fórmula	1.541	2,04%
Fórmula + larg. Rios	1.951	2,59%
Constante (100)	3.207	4,25%
Sub-bacias	5.448	7,22%
Constante (200)	6.400	8,48%
Constante (500)	15.876	21,04%

#### 3.1. Aplicação de largura constante em toda a rede de drenagem

Conforme esperado, as APPs estimadas a partir da aplicação de faixas constantes ao longo de toda a rede de drenagem mostraram grande variação em função da largura escolhida. O total de APPs variou de 3.207 km<sup>2</sup> (4,25% da bacia) a 15.876 km<sup>2</sup> (21,04% da bacia) para as faixas de 100 e 500 m, respectivamente. O total de APPs obtido aplicando-se faixas constantes com 500 m de largura é inferior ao total de APPs nas margens dos rios estimado para o estado de Rondônia por Miranda et al. (2008), de 30%.

A utilização de faixas de proteção constantes ao longo de toda a rede de drenagem consiste em uma operação de fácil realização, que pode ser aplicada à pequenas bacias, onde as dimensões dos canais não apresentam grandes variações. No entanto, para grandes bacias, estima-se que grande parte da rede de drenagem seja formada por rios menores. Para a bacia do rio Ji-Paraná, os rios de primeira a terceira ordem são dominantes (Ballester et al, 2003). Desta forma, a utilização de faixas constantes ao longo da rede hidrográfica não é apropriada para a estimativa das APPs em grandes áreas. Caso se tome o ponto final da bacia como indicativo da largura do canal, a APP será superestimada, pois irá delimitar faixas superdimensionadas aos rios menores, que representam grande parte da hidrografia. Por outro lado, ao tomarmos a largura dos rios menores para definição da faixa de proteção, a APP dos rios maiores será subestimada.

#### 3.2. Aplicação de largura constante, diferenciado por sub-bacia

A partir do MDET foram delimitadas as sub-bacias de cada uma das nove estações fluviométricas da ANA (Figura 2). O cruzamento do perfil transversal do canal com a cota de inundação máxima permitiu estabelecer a largura máxima dos canais e da faixa de preservação. Para as sub-bacias Mineração Jacunda, Piratininga, Jarú, Pimenta Bueno, Ponte

Comemoração e Fazendas Expansão e Flor do Campo, foram aplicadas faixas de preservação de 100 m. Já para as demais sub-bacias, foram aplicadas faixas 200 m. Para os rios à jusante da última estação fluviométrica (Tabajara) foi considerada faixa de preservação igual à dos cursos d'água pertencentes à sub-bacia Tabajara (200 m).

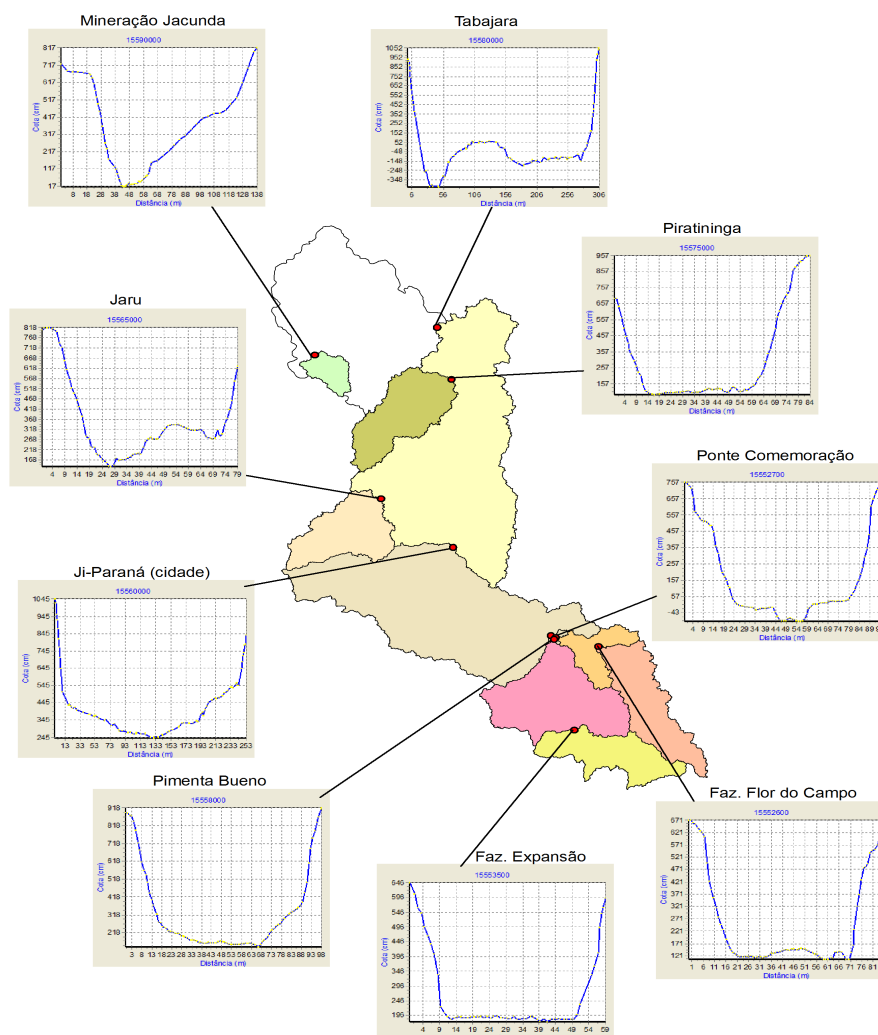


Figura 3. Perfil transversal das nove estações fluviométricas pertencentes à bacia do rio Ji-Paraná e suas respectivas áreas de contribuição

O total de APPs estimado foi de 5.448 km<sup>2</sup> (7,22% da bacia). Este valor se encontra entre o total de áreas estimadas a partir das faixas constantes de 100 e 200 m, respectivamente (Tabela 2). Isso porque em parte da bacia foi aplicada faixa constante de 100 m enquanto que no restante foi utilizada faixa com 200 m. Esta diferenciação entre sub-bacias permite adequar melhor as larguras dentro da rede hidrográfica porém, o total de APPs pode estar sendo superestimado pois a mesma largura de APP, adequada ao exutório de uma sub-bacia, é aplicada aos rios menores, de cabeceira. De fato, os mesmos problemas identificados anteriormente, na aplicação de faixas de preservação constante se repetem neste método pois, apesar da diferenciação por sub-bacias, ainda não são efetuadas as diferenciações entre rios maiores e menores, com a utilização de larguras excessivas nos rios de cabeceira.

### 3.3. Aplicação de largura variável em função da área de drenagem dos cursos d'água

Dados das nove estações fluviométricas foram utilizados para ajustar uma função de potência relacionando a área de drenagem com a largura do rio. Para esta análise os dados da

estação Mineração Jacunda não foram utilizados pois não permitiam o ajuste de uma equação significativa. No entanto, foi possível inserir os dados da estação Sítio Bela Vista (cod. ANA: 15559000; área: 16092; largura: 140) localizada após a confluência dos rios Pimenta Bueno e Comemoração. A estação Sítio Bela Vista não foi utilizada na análise das sub-bacias por estar muito próxima de outras duas estações fluviométricas. A equação obtida  $Largura_{(m)} = 0,747 * Área_{(km^2)}^{0,547}$ , mostrou-se significativa ( $r^2 = 0,94$ ; f de significação =  $6*10^{-6}$ ). A Figura 4 apresenta a relação obtida e os dados referentes às estações fluviométricas, com destaque para a estação Mineração Jacunda. O fato desta estação se destacar das demais pode significar um problema nos dados ou uma diferença na rede de drenagem desta sub-bacia. Características geomorfológicas da região ditam a forma da rede de drenagem (comprimento dos rios e bifurcações), as quais são representadas na equação empírica. Diferenças na geomorfologia podem fazer com que uma equação, válida para uma região, não possa ser aplicada a outra.

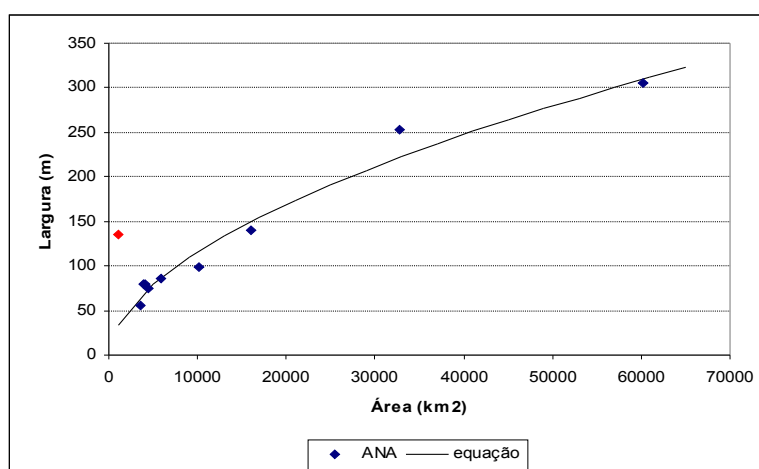


Figura 4. Relação área:largura para as estações fluviométricas presentes na bacia do rio Ji-Paraná. Dados da estação Mineração Jacunda (vermelho) não foram incluídos na análise. A regressão mostrou-se significativa

A equação obtida foi utilizada para estimar a largura de cada trecho dos cursos d'água representados na escala 1:1.000.000. As APPs foram então delimitadas de acordo com a largura do canal, resultado que difere significativamente da utilização de faixas (Figura 5). O total de áreas de preservação obtido a partir deste procedimento foi de 1.541 km<sup>2</sup> (2,04% da bacia). Como os rios na escala cartográfica utilizada são, em sua maioria, representados por linhas simples, foi também estimada a largura das APPs incluindo a superfície d'água (faixa de proteção = largura APP + ½ largura do canal), o que representaria a área indisponível para a agricultura. O total de APPs estimado foi de 1.951 km<sup>2</sup> (2,59% da bacia). Ambas estimativas estão muito abaixo do estimado a partir dos métodos que utilizam faixas de preservação constantes ao longo da rede de drenagem (Tabela 2). Desta forma, a delimitação das APPs nas margens dos cursos d'água em grandes áreas deve levar em consideração a variação na largura dos canais ao longo da rede de drenagem, sob risco de superestimar as áreas de preservação.

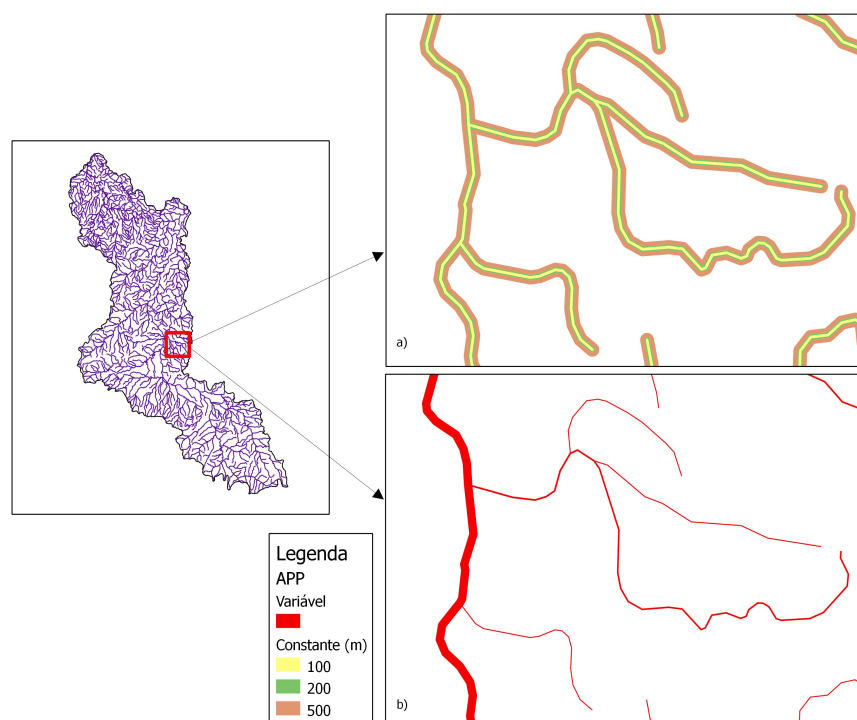


Figura 5. Detalhe das APPs nas margens dos rios, a) estimada a partir de faixas constantes de 100, 200 e 500 m de largura e b) aplicando faixa de largura variável. Nos rios menores, a utilização de faixas constantes superestima a área de proteção.

Assim como os métodos apresentados anteriormente, este também contém algumas limitações. A primeira diz respeito à disponibilidade de dados de estações fluviométricas, principalmente em regiões remotas onde o número de estações é reduzido. Além disso, nem todas as estações do banco de dados da ANA possuem registros do perfil do canal, impossibilitando a análise. Outra incerteza está no fato das estações serem preferencialmente posicionadas em locais mais estreitos, onde o rio geralmente não extravasa sua calha, o que pode resultar em subestimativas da largura dos canais. Avaliações mais detalhadas, identificando a largura dos canais em locais distintos, são necessárias para verificar a validade da equação que relaciona largura e área de drenagem. No entanto, a grande diferença encontrada entre os resultados que consideram ou não a largura dos canais deixa claro a necessidade de se utilizar faixas de proteção variável, principalmente quando se tratar de grandes bacias hidrográficas, caso contrário as estimativas podem ser superestimadas.

#### 4. Conclusões

Três métodos foram testados para avaliar a importância de se considerar a largura dos cursos d'água na delimitação das APPs nas margens dos rios. Foi constatado que, principalmente para grandes bacias, as APPs devem ser delimitadas utilizando-se larguras variáveis ao longo da rede de drenagem, sob pena de superestimativa das áreas de proteção.

A partir de dados de estações fluviométricas foi possível estabelecer uma relação empírica entre largura do canal e área de drenagem. Tal relação permitiu estimar a largura do canal em cada trecho da rede de drenagem, possibilitando a estimativa da APP nas margens dos rios, variando de acordo com a dimensão do canal.

A escala cartográfica utilizada neste trabalho não representa todos os cursos d'água, o que resulta em uma fonte de incertezas. Neste sentido, uma avaliação mais detalhada é necessária, utilizando escalas maiores, que representem um maior número de cursos e que avalie melhor a largura dos rios nas cabeceiras. No entanto, mesmo partindo de uma escala menos detalhada, é

possível concluir por este estudo que estimativas de APP para grandes bacias que desconsiderem a largura do canal de drenagem estão sujeitas a significativas incertezas.

Este trabalho serve como comparativo à outras estimativas feitas utilizando a mesma base de dados, evidenciando que inferências aparentemente não significativas, como a largura dos rios, podem resultar em grandes variações nos resultados finais. Portanto, a descrição dos procedimentos utilizados, juntamente com suas justificativas, devem sempre ser apresentados em trabalhos que avaliem as APPs, para que conclusões precipitadas não sejam tomadas.

### Referências Bibliográficas

Agência Nacional da Águas, Base de dados georeferenciadas, Disponível em: <[www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/](http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/)> Acesso em 22 de março de 2010.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). Resolução n. 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 maio 2002.

FINLAYSON, D. P.; MONTGOMERY, D. R. Modeling large-scale fluvial erosion in geographic information systems. *Geomorphology*, v. 53, n. 1-2, p. 147-164, 2003.

JACOVINE, L. A. G.; CORRÊA, J. B. L.; SILVA, M. L. D.; ET AL. Quantificação das áreas de preservação permanente e de reserva legal em propriedades da bacia do Rio Pomba-MG. *Revista Árvore*, v.32, p.269-278, 2008.

JARVIS A., H.I. REUTER, A. NELSON, E. GUEVARA. Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). 2008. Disponível em <<http://srtm.csi.cgiar.org>> Acesso em 10/out/2010.

KNIGHTON, A. D. Downstream variation in stream power. *Geomorphology*, v. 29, n. 3-4, p. 293-306, 1999.

KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V.; VICTORIA, R. L.; ET AL. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. *Acta Amazonica*, v. 35, n. 2, p. 197-205, 2005.

MIRANDA, E. E.; CARVALHO, C. A.; SPADOTTO, C. A.; HOTT, M. C.; OSHIRO, O. T.; HOLLER, W. A.; Alcance Territorial da Legislação Ambiental e Indigenista. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2008. Disponível em: <<http://www.alcance.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: 26 out. 2010.

OLIVEIRA, M. Z.; VERONEZ, M. R.; THUM, A. B.; REINHARDT, A. O.; BARETTA, L.; VALLES, T. H. A.; ZARDO, D.; SILVEIRA, L. K. Delimitação de Áreas de Preservação Permanente: um estudo de caso através de imagem de satélite de alta resolução associada a um Sistema de Informação Geográfica (SIG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4119-4128. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.21.53>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

RASERA, M. D. F. F. L. O papel das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, em rios da bacia do Ji-Paraná (RO), no ciclo regional do carbono, 7.2005. Dissertação (Mestrado em Ciências), Piracicaba, SP: Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M. S.; GLERIANI, J. M. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. *Revista Árvore*, v. 29, p. 203-212, 2005.

SANTOS, S. B.; ALMEIDA, R. A.; DUPAS, F. A. Conflito de uso do solo nas áreas de preservação permanente da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, São Lourenço/MG - uma contribuição para a preservação dos mananciais de água mineral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4217-4224. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.01.18.47>>. Acesso em: 20 nov. 2010.