

## Tamanho e localização da Reserva Legal e da Área de Preservação Permanente em microbacias hidrográficas e produção de sedimentos

Rafael Mingoti<sup>1</sup>  
Carlos Alberto Vettorazzi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo - USP/ESALQ  
Departamento de Engenharia de Biosistemas  
Caixa Postal 9 – 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil  
ramingoti@uol.com.br, cavettor@esalq.usp.br

**Abstract.** With the intense debate between landowners and public agencies about the amount of área with Forest cover needed in didderent regions, there has been na increase in the need of technical data serving as arguments. One of the criteria to assess the effect of forest cover, regarding the protection of water resources and soil that the forest provides, is the sediment yield. Therefore, this study aimed at to evaluate the reduction in sediment yield in watersheds with different types of relief and different sizes and locations of forest cover in the Corumbataí riverbasin, SP, using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS environment. Eighteen watersheds were chosen in three slope classes, and 20 land-use scenarios were established in order to analyze the influence of the size of the PPA (Permanent Preservation Area) and the size and location of the LR (Legal Reserve) on the sediment yield. The results showed that: the effect of forest cover in reducing the annual erosion varies depending on the slope of the watershed; the width of the PPA should be determined taking into account the slope of the watershed; and LR should be located along PPA, since those characteristics yield better effects in reducing the annual erosion.

**Palavras-chave:** Erosion, GIS, RUSLE, Legal Reserve, Permanent Preservation Area, Erosão, SIG, RUSLE, Reserva Legal, Área de Preservação Permanente.

### 1. Introdução

O papel das florestas na vida das populações, no habitat de um incontável número de espécies de plantas e animais, na manutenção do ciclo hidrológico (adicionando água à atmosfera através do processo da transpiração), é compreendido há muito tempo. Entretanto, somente nas últimas décadas é que a influência das florestas sobre o clima, ar, água, solo, saúde e aspectos psicológicos dos homens ganharam real importância, porque começaram a aparecer consequências negativas na qualidade de vida. O aumento da população trouxe consigo um impacto no ambiente, exercendo grandes pressões sobre a atmosfera e, especialmente, sobre os recursos florestais, que proporcionam múltiplos usos para o homem. A destruição de florestas causou problemas sérios para o equilíbrio da biosfera, como erosão eólica, hídrica, degeneração do solo e poluição do ar.

Com o objetivo de estabelecer a quantidade e a forma de preservação das florestas brasileiras, em 1965 foi publicado o Código Florestal. Por meio desse instrumento legal foram criadas as Áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal que, por sua vez, especificam para diferentes regiões do país qual é a quantidade de floresta que se deve preservar. Mesmo considerando o estado de praticamente nenhuma conservação das florestas, após a publicação do Código Florestal iniciou-se uma discussão, que não parou de se intensificar até o momento atual, entre proprietários e órgãos públicos, sobre a quantidade de área com cobertura florestal que se deve conservar em diferentes regiões, pois os proprietários alegam que adquiriram a terra em um estado de completo desmatamento e estão tendo prejuízos para recompor a vegetação nativa, enquanto que, por outro lado, o Governo e as entidades ambientais afirmam que as exigências da legislação vigente são o mínimo necessário para a manutenção da sustentabilidade dos ecossistemas, incluindo a presença humana, com suas atividades agrícolas e industriais.

Uma das funções da cobertura florestal nativa nas propriedades rurais, ao longo dos cursos d'água, segundo o Código Florestal, é a diminuição dos processos erosivos e a

diminuição da deposição de sedimentos nos cursos d'água. O estudo desses processos erosivos, envolvendo medições de todas as variáveis envolvidas em uma ampla escala é, na maioria das vezes, impossível de ser conduzido, devido ao longo prazo em projetos pilotos e altos custos em medições e monitoramento (Pessoa, 1997). Por isso, cada vez mais estão sendo desenvolvidos, e revisados, modelos hidrológicos em ambiente SIG para prever o impacto das atividades agrícolas na qualidade da água.

Considerando a necessidade de maiores informações sobre o impacto das atividades agrícolas na qualidade da água foi elaborado este estudo, que tem como objetivo geral analisar a produção de sedimentos em microbacias hidrográficas com diferentes relevos e diferentes tamanhos e localizações da cobertura florestal.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo foi a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí, localizada na porção centro-leste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°04'46" S e 22°41'28" S e os meridianos 47°26'23" W e 47°56'15" W, com aproximadamente 170.000 ha, sendo que a maior parte de suas terras encontra-se na Depressão Periférica Paulista (Valente, 2005). Seu perímetro é de aproximadamente 301,52 km, tendo 63,72 km de extensão no direção Norte-Sul e 26,80 km (maior largura) na direção Leste-Oeste. É uma sub-bacia do Rio Piracicaba, estando situada à sua margem direita. O relevo da bacia é representado, segundo Koffler (1993), principalmente por duas modalidades: (1) Morrotes alongados e espigões; e Colinas médias e amplas. A Bacia do Rio Corumbataí tem aproximadamente 46% de sua área ocupada com Argissolos; 30% com Latossolos; 22% com Neossolos; 0,56% com Gleissolos; 0,41% com Nitossolos; e apenas 0,28% com Chernossolos. Valente e Vettorazzi (2003), com base no mapa de uso e cobertura do solo produzido para o ano de 2000, citam que, na área da bacia, existem apenas 11% de floresta nativa e 1,25% de cerrado "lato sensu" e que essa vegetação remanescente encontra-se altamente fragmentada. Comentam ainda que a pastagem representa, aproximadamente, 44% do uso do solo, e a cana-de-açúcar corresponde a aproximadamente 26% da área total da bacia.

Os mapas digitais utilizados fazem parte do banco de dados cartográfico do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia de Biosistemas da ESALQ/USP. A partir desses mapas foram geradas as informações necessárias para o cálculo da RUSLE.

Utilizando o mapa das curvas de nível e pontos cotados e o software IDRISI Kilimanjaro, foi feita a triangulação das informações desse mapa e, com isso, elaborado o Modelo Digital do Terreno (MDT) da área necessária ao estudo. Utilizando o MDT gerado, calculou-se a declividade de cada pixel da área do mapa e, posteriormente, calculou-se a declividade média de cada microbacia da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí. Para a separação das microbacias em três grupos diferentes foram utilizados os seguintes critérios: 1) Microbacias de relevos suaves: declividade média de 0% a 8%; foram selecionadas com declividade ao redor de 5%; 2) Microbacias de relevos intermediários: declividade média de 8% a 20%; foram selecionadas com declividade ao redor de 15%; e 3) Microbacias de relevos declivosos: declividade média acima de 20%; foram selecionadas com declividade acima de 20%. Foram então selecionadas 18 microbacias, em três situações diferentes de relevo quanto à declividade média (seis microbacias para cada classe de relevo), com áreas ao redor de 200 ha.

Para atingir o objetivo deste trabalho foram gerados cenários de uso do solo, de modo a avaliar o efeito da cobertura florestal na redução da erosão anual. A cobertura florestal utilizada foi a prevista em lei, com as variações apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características dos cenários avaliados.

Cenário	Tamanho da APP	Tamanho da R.L.	Posição da Reserva Legal
1	= a legislação	= a legislação	parte alta da Microbacia
2	= a legislação	2x a legislação	parte alta da Microbacia
3	= a legislação	metade da legislação	parte alta da Microbacia
4	2x a legislação	= a legislação	parte alta da Microbacia
5	2x a legislação	2x a legislação	parte alta da Microbacia
6	2x a legislação	metade da legislação	parte alta da Microbacia
7	metade da legislação	= a legislação	parte alta da Microbacia
8	metade da legislação	2x a legislação	parte alta da Microbacia
9	metade da legislação	metade da legislação	parte alta da Microbacia
10	= a legislação	= a legislação	ao redor da APP
11	= a legislação	2x a legislação	ao redor da APP
12	= a legislação	metade da legislação	ao redor da APP
13	2x a legislação	= a legislação	ao redor da APP
14	2x a legislação	2x a legislação	ao redor da APP
15	2x a legislação	metade da legislação	ao redor da APP
16	metade da legislação	= a legislação	ao redor da APP
17	metade da legislação	2x a legislação	ao redor da APP
18	metade da legislação	metade da legislação	ao redor da APP
19		100% floresta nativa	
20		100% pastagem	

A cobertura do solo foi padronizada para pastagem no restante da área de cada microbacia que não estiver ocupada com floresta nativa, conforme os cenários acima (nas áreas de APP e RL). Isto foi feito para fim de análise comparativa com os cenários definidos referentes à cobertura florestal (quantidade e localização), evitando assim a grande diferença no uso do solo que as microbacias apresentam entre si originalmente.

Para realizar um índice de redução da erosão nas microbacias estudadas, foi determinado qual o máximo potencial de redução da erosão por meio da diferença entre a erosão anual proporcionada em cada microbacia com o uso de 100% de floresta nativa e com o uso de 100% de pastagem. Para isto ser possível, foram criados mais dois cenários: 19) Considerando toda a microbacia coberta por floresta nativa; e 20) Considerando toda a microbacia coberta por pastagem.

Para a edição dos cenários foram utilizados os mapas das microbacias selecionadas e o mapa da hidrografia da Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí em formatos DWG no software A9CAD. Após a edição foi gerado um arquivo DWG para cada cenário, que foi exportado para o software IDRISI Kilimanjaro em formato vetorial. Em seguida foi feita a conversão para o formato raster e, por fim, foram feitas reclassificações de modo a gerar os mapas de Fator C e Fator P para cada cenário. Esses mapas foram gerados com pixel de 5mx5m.

Os valores de Fator C e P utilizados estão apresentados na Tabela 2, enquanto que, na Tabela 3 estão os valores de erodibilidade utilizados para reclassificar o mapa de solos. Os valores das duas tabelas foram adaptados de Bertoni e Lombardi Neto (1990).

Tabela 2 - Características dos cenários avaliados.

Uso e Cobertura do Solo	Fator C	Fator P
Floresta Nativa	0,004	0,200
Pastagem	0,030	0,500

Tabela 3 - Valores de erodibilidade utilizados para as classes de solo da área de estudo

Classes de Solo	Erodibilidade (Fator K da RUSLE)
Latossolos	0,0175
Argissolos	0,0350
Nitossolos	0,0296
Neossolos	0,0296
Gleissolos	0,0000
Chernossolos	0,0175

O índice de erosividade da chuva foi calculado utilizando os dados das estações pluviométricas na região de estudo e a metodologia proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1999).

Após a criação de todos os mapas necessários para o cálculo, em todos os cenários, da erosão anual, foi utilizado o módulo RUSLE do software IDRISI Kilimanjaro para o cálculo da erosão anual por pixel, em todas as microbacias para todos os cenários.

### 3. Resultados e Discussão

Com o objetivo de melhor comparar os efeitos dos diferentes cenários e de seus fatores (tamanho da APP, tamanho e localização da RL), foi gerado o índice chamado de Redução Relativa da perda de solo anual. Esta redução relativa é a comparação de quanto o cenário reduziu a erosão anual em comparação com o potencial, que foi determinado pela diferença entre a erosão anual produzida com as microbacias cobertas totalmente com pasto e elas totalmente cobertas com floresta nativa. A eq. (1) resume a metodologia para a geração deste índice:

$$RR = \left( \frac{E_i - E_F}{E_P - E_F} \right) * 100 \quad (1)$$

Em que: RR é a Redução Relativa da perda de solo anual, em %;  $E_i$  é a erosão anual média (de todas as microbacias) para o  $i$ -ésimo cenário, em  $Mg.ha^{-1}.ano^{-1}$ ;  $E_F$  é a erosão anual média (de todas as microbacias) para o cenário onde as microbacias foram consideradas com 100% de floresta nativa, em  $Mg.ha^{-1}.ano^{-1}$ ; e  $E_P$  é a erosão anual média (de todas as microbacias) para o cenário onde as microbacias foram consideradas com 100% de pastagem, em  $Mg.ha^{-1}.ano^{-1}$ .

Foram analisadas as médias de todas as microbacias em cada cenário, que estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Redução relativa da perda de solo anual média para cada cenário e classe de declividade.

Cenário	baixa declividade	média declividade	alta declividade	média
1 *	22%	31%	26%	27%
2	44%	47%	53%	48%
3	11%	15%	11%	13%
4	32%	38%	36%	35%
5	56%	61%	58%	58%
6	21%	29%	16%	22%

Cenário	baixa declividade	média declividade	alta declividade	média
7	18%	18%	21%	19%
8	39%	42%	51%	44%
9	7%	10%	9%	9%
10 *	33%	35%	20%	29%
11	57%	58%	38%	51%
12	19%	22%	12%	18%
13	44%	50%	25%	40%
14	80%	82%	50%	71%
15	31%	35%	16%	28%
16	28%	29%	18%	25%
17	52%	56%	35%	48%
18	14%	16%	9%	13%
média	34%	37%	28%	33%

(\*) cenários que estão em acordo com a legislação vigente.

Os cenários 1 e 10, que estão em acordo com a legislação vigente, promoveram uma redução relativa de 26% e 29%, respectivamente. Observa-se que a redução relativa destes cenários apresenta valores intermediários, atingindo menos de 30% do potencial de redução de erosão que seria possível em uma microbacia.

Os cenários 6 e 14, que têm maior área de cobertura florestal, apresentaram os maiores valores, 58% e 70%, respectivamente, enquanto que os cenários 9 e 18, que tem a menor área de cobertura florestal, apresentaram os menores valores, 9% e 13%, respectivamente. Estes resultados estão de acordo com os valores dos fatores C e P utilizados na RUSLE.

A Tabela 5 apresenta o resumo dos resultados de redução relativa obtidos, por classe de declividade e por fator estudado (tamanho da APP, tamanho e localização da RL).

Tabela 5 – Redução relativa da perda de solo anual por classe de declividade para cada fator analisado

Cenário	Redução relativa da perda de solo anual (%)		
	baixa declividade	média declividade	alta declividade
APP = a legislação	31	35	27
APP = o dobro da legislação	44	49	34
APP = metade da legislação	26	28	24
RL = a legislação	29	55	17
RL = o dobro da legislação	33	58	21
RL = metade da legislação	24	48	12
RL na parte alta	28	32	31
RL na parte baixa	40	43	24
média geral	34	37	28

Observa-se que na classe de declividade alta dos cenários estudados ocorreu um menor valor na redução relativa da perda de solo anual. Esta informação está de acordo com Fujihara (2002), que afirma que o fator LS (declividade e comprimento da rampa) é um dos mais importantes na erosão anual.

A Figura 1 apresenta os resultados de redução relativa por tamanho da APP e para cada classe de declividade.

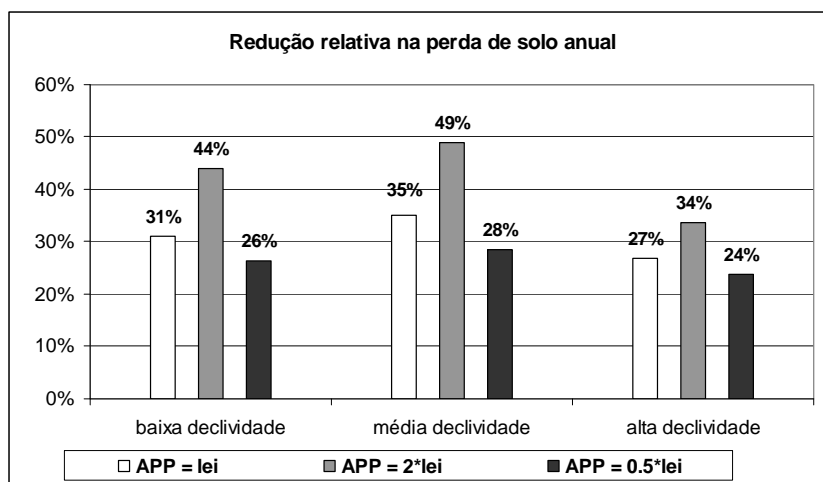


Figura 1 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de tamanho da APP para cada classe de declividade.

Destaca-se que quando a APP teve tamanho igual ou na metade do da legislação, os valores médios de redução relativa da perda de solo anual foram bem próximos, 31% e 26%, respectivamente, enquanto que para a APP no dobro do valor da legislação a redução média foi de 42%.

Na Figura 2 são apresentados os resultados de redução relativa por tamanho da RL e para cada classe de declividade.

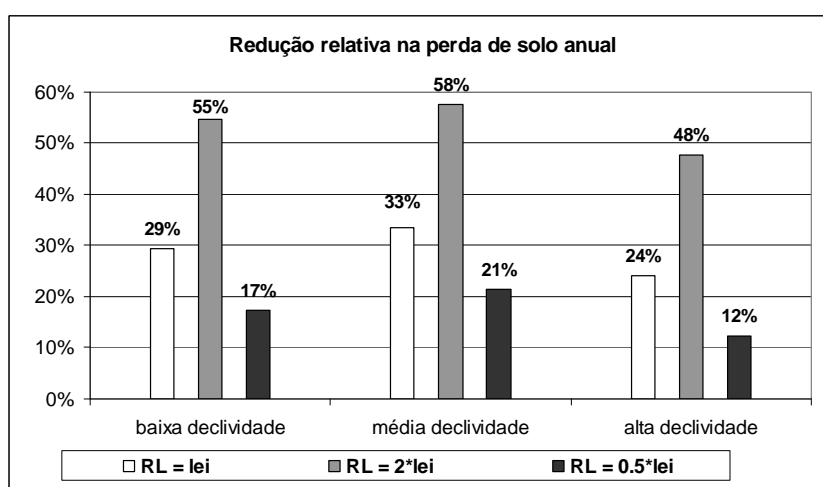


Figura 2 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de tamanho da RL para cada classe de declividade.

A redução relativa da perda de solo apresentou uma tendência de proporcionalidade linear direta para o tamanho da RL. Isto pode ser creditado à maior cobertura florestal que a RL representa na microbacia, quando comparada à cobertura da APP.

A Figura 3 apresenta os resultados de redução relativa por localização da RL e para cada classe de declividade.

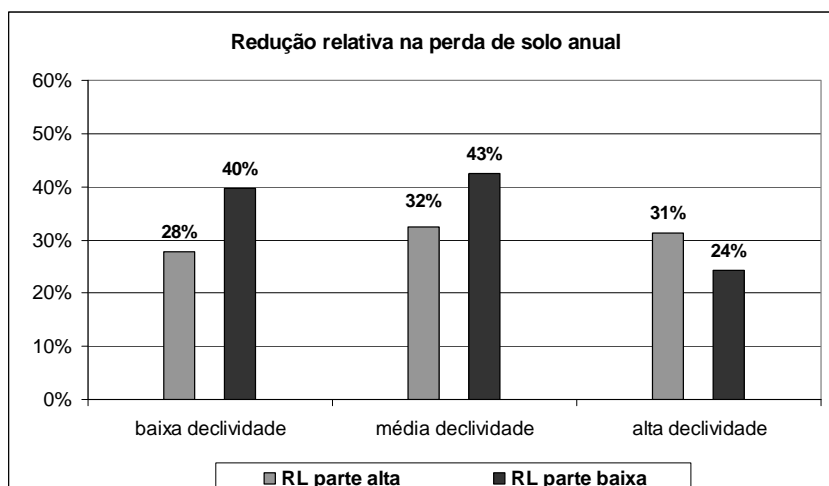


Figura 3 - Redução relativa da perda de solo anual média por cenário de localização da RL para cada classe de declividade.

Quando a RL está localizada na parte baixa da microbacia, ou seja, ao redor da APP, temos uma redução relativa da perda de solo anual maior do que com a RL na parte alta desta. Isto apenas não é observado nas microbacias com classe de declividade alta, onde o resultado se inverteu, o que está associado à configuração destas, pois quando a RL está na parte baixa, as áreas sem cobertura florestal estão associadas a rampas mais declivosas.

Vários autores (Moster, 2007; Ilhardt et al., 1999; Zakia, 1998; Lima e Zakia, 2004; Attanasio, 2004) mostram a importância da manutenção de uma cobertura florestal ao redor dos cursos d'água maior do que o exigido pela legislação vigente para a APP, para a proteção de toda a zona ripária. A redução relativa da erosão anual apresentada na Figura 4 vem concordar com estes autores, quando a declividade média das microbacias for de até 20%.

Sparoveck et al. (2002) corroboram também com estes resultados, pois afirmaram que, para um estudo de caso em Piracicaba, a largura ideal da faixa da zona ripária seria de 52 m, o que traria uma remoção de sedimentos maior do que a proporcionada pela largura exigida pela legislação (30 m).

Entretanto, como as áreas próximas aos cursos d'água geralmente apresentam menores declividades do que as áreas do restante da bacia hidrográfica, este resultado não está confirmando os de Machado (2002) e Moro (2005), pois segundo esses autores a alocação da cobertura florestal nas áreas de maior declividade é que traria maiores reduções na formação de sedimentos.

#### 4. Conclusões

O efeito da cobertura florestal na redução da erosão anual é variável em função da declividade média da microbacia.

Há uma proporção linear entre o tamanho da Reserva Legal - RL e a redução na erosão anual, ou seja, quanto maior a RL maior a redução na erosão anual.

A largura da faixa de APP deve ser determinada levando-se em consideração a declividade da microbacia e a RL deve estar localizada ao longo da APP, pois estas características trazem melhores efeitos na redução da erosão anual. A legislação atual proporcionou uma redução de menos de 30% do potencial de redução na erosão anual que se pode ter em uma microbacia hidrográfica.

#### Agradecimentos

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal e Ensino Superior - CAPES - pela concessão da bolsa de estudo ao primeiro autor.

## Referências Bibliográficas

- Attanasio, C.M. Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordagem hidrológica na busca da sustentabilidade. 2004. 193 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- Barbosa, A. O desmatamento no Brasil: uma questão histórica. Brasil Escola, 2009. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/brasil/o-desmatamento-no-brasil-uma-questao-historica.htm>>. Acesso em: 15 abr. 2009.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.
- Fujihara, A.K. Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento. 2002. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- Ilhardt, B.L.; Verry, E.S.; Palik, B.J. Defining riparian areas. In: Verry, E.S.; Dolloff, C.A.; Hornbeck, J.W. (Ed.). **Riparian management in forests of the Continental Eastern United States (Hardcover)**. Washington: National Academy Press, 1999. chap. 2, p. 23-42.
- Koffler, N.F. Uso das terras da bacia do Rio Corumbataí em 1990. **Geografia**, Rio Claro, v. 18, n. 1, p. 135-150, 1993.
- Lima, W.P.; Zakia, M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: Rodrigues, R.R.; Leitão Filho, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP; FAPESP, 2004. cap. 3, p. 33-44.
- Machado, R.E. Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. 2002. 154 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- Moro, M.A. Utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos. 2005. 100 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- Moster, C. Avaliação hidrológica da zona ripária através da análise da água subterrânea ao longo das vertentes de uma microbacia experimental. 2007. 82 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- Pessoa, M.C.P.Y.; Luchiari, A.J.; Fernandes, E.N.; Lima, M.A. **Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para análise de impactos ambientais das atividades agrícolas**. Documentos EMBRABA CNPMA. v. 8, 83p. Jaguariúna: EMBRAPA, CNPMA, 1997.
- Sparovek, G.; Ranieri, S.B.L.; Gassner, A.; De Maria, I.C.; Schnug, E.; Dos Santos, R.F.; Joubert, A. A conceptual framework for the definition of the optimal width of riparian forests. **Agricultural, Ecosystems and Environment**. Amsterdam, v. 90, p. 169–175, 2002.
- Valente, R.O.A. Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG. 2005. 121 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- Valente, R.O.A.; Vettorazzi, C.A. **Mapeamento do uso e cobertura do solo na bacia do Rio Corumbataí, SP**. Circular Técnica IPEF, Piracicaba, n. 196, 9 p., maio 2003.
- Zakia, M.J.B. Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: Implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas. 1998. 98 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.