Capítulo 9

Importância das florestas ripárias na melhoria da qualidade da água em bacias hidrográficas: estudos de caso na região central do estado de São Paulo

Donato Seiji Abe
Jorge Luiz Rodrigues Filho
Leandro Contri Campanelli
Corina Sidagis-Galli
Douglas Murillo Marrara
Ricardo Milanetti Degani
Fernando Souza Soares
Benjamim Mattiazzi
José Galizia Tundisi

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

ABE, DS., *et al.* Importância das florestas ripárias na melhoria da qualidade da água em bacias hidrográficas: estudos de caso na região central do estado de São Paulo. In: MORAES, MEB., and LORANDI, R., orgs. *Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas* [online]. Ilhéus, BA: Editus, 2016, pp. 183-196. ISBN 978-85-7455-443-3. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

CAPÍTULO 9

Importância das florestas ripárias na melhoria da qualidade da água em bacias hidrográficas: estudos de caso na região central do estado de São Paulo

Donato Seiji Abe
Jorge Luiz Rodrigues Filho
Leandro Contri Campanelli
Corina Sidagis-Galli
Douglas Murillo Marrara
Ricardo Milanetti Degani
Fernando Souza Soares
Benjamim Mattiazzi
José Galizia Tundisi

Introdução

O conceito de bacia hidrográfica como unidade de pesquisa e gerenciamento é resultado de longa evolução, iniciada com a implementação do conceito de carga por Vollenweider (1968) e consolidada com os estudos de Likens (1984, 1992), a partir de experimentos realizados em pequenas bacias hidrográficas na Floresta Experimental de Hubbard-Brook, nos Estados Unidos. Nesses estudos, verificou-se, por exemplo, a interconexão entre os processos envolvidos nessa unidade, como o transporte de fósforo e nitrogênio do ecossistema terrestre para o ecossistema aquático (LIKENS; BORMANN, 1974), ou seja, as características do ecossistema terrestre, tais como litologia, cobertura vegetal e uso e ocupação do solo, exercem forte influência sobre as variáveis dos corpos de água receptores inseridos na mesma bacia hidrográfica (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2010).

Como exemplo, o desmatamento de florestas naturais e de áreas alagadas reduz drasticamente a retenção de solo e de nitrogênio e fósforo na bacia

de drenagem, causando um aumento da carga destes nos corpos receptores. Da mesma forma, grandes áreas agrícolas e de pastagens são responsáveis por elevadas taxas de exportação de nutrientes para os corpos de água, resultantes do incremento do aporte destes somado à redução da retenção hídrica na bacia de drenagem quando comparada a áreas de floresta. Carpenter et al. (1998) verificaram que 82% de nitrogênio e 83% de fósforo são provenientes de cargas difusas de áreas rurais nos Estados Unidos. No Brasil, estima-se que houve um aumento em 33% da produção agropecuária na última década, o que remete a um aumento da mesma ordem de grandeza na transferência de produtos químicos para os corpos de água (SHIGAKI; SHARPLEY; PROCHNOW, 2006).

Florestas ripárias

As florestas ripárias (mata ciliar e mata de galeria) que acompanham os cursos de água desempenham funções ecológicas, sociais e econômicas importantes nas bacias hidrográficas. O ciclo da água, a composição química da água de drenagem, o transporte de matéria orgânica para os cursos de água e a intensidade do escoamento superficial e da descarga dos aquíferos dependem diretamente das condições da vegetação ripária, sua preservação e suas diversidade e densidade (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2010).

Todo o conjunto de processos ecológicos sustentado pelas florestas ripárias tem componentes econômicos fundamentais, tais como: renovação da qualidade da água, controle e recarga dos aquíferos e da água reposta por evapotranspiração; controle de sedimentação dos ecossistemas aquáticos e, portanto, preservação do volume de água; suprimento de matéria orgânica para a fauna íctia e manutenção dos estoques e diversidade dessa fauna, e diversidade da fauna terrestre e refúgio para esta, além de zona de reprodução (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2010).

Em áreas urbanas, as florestas ripárias e bosques também exercem papéis muito importantes por suas funções ecológicas, sociais, culturais, estéticas, históricas e turísticas (MATTIAZZI, 2009). Apesar de serem fisicamente limitados, esses sistemas prestam serviços essenciais, tais como a regularização hidrológica e redução das enchentes, a manutenção do microclima, a manutenção da fauna, a contenção de processos erosivos e a estabilização de encostas (SBPC, 2011). A vegetação presente nesses sistemas atenua a temperatura do ar, resultando em maior conforto térmico

nos arredores, reduz os níveis de ruído, além de possibilitar lazer, ou seja, diminui os impactos ambientais da urbanização. Portanto, a criação ou recuperação desses espaços, bem como a sua manutenção, são fundamentais para o bem-estar da população.

Os serviços ecossistêmicos das florestas ripárias demonstrados neste capítulo são baseados em dois estudos de caso realizados na região central do estado de São Paulo: uma floresta fica localizada na área urbana de São Carlos, referente à um bosque recuperado por uma associação de moradores de um bairro; e a outra, localizada na bacia do ribeirão do Lobo, nos municípios de Brotas e Itirapina, referente a simulações de alterações da cobertura vegetal baseada nas premissas do atual Código Florestal (BRASIL. Lei 12.651/12).

Recuperação florestal e melhoria da qualidade da água em córrego urbano

Um bom exemplo de recuperação de bosque urbano foi executado por uma associação de moradores de um bairro da cidade de São Carlos, localizado na região Central do estado de São Paulo (MATTIAZZI; FIGUEIREDO; KLEFASZ, 2011). No bairro Parque Santa Marta, há uma extensa área pública municipal denominada Bosque Cambuí, com aproximadamente 40.000 m² (Figura 1). Até o início da década de 1990, a área era constituída predominantemente por gramíneas, com a presença de poucas espécies arbóreas nativas encontradas em um fragmento de mata ripária junto ao córrego do Cambuí. Nessas condições, o córrego vinha sofrendo um processo contínuo de assoreamento em função dos processos erosivos na microbacia, além de sofrer impactos frequentes, como deposição de entulhos, pastagem de animais e queimadas intencionais frequentes.

Em 1993, por iniciativa de um grupo de moradores motivado a criar uma paisagem mais agradável para o bairro, a área do bosque do Cambuí foi sendo delimitada e arborizada gradualmente. Em 1998, sob a coordenação de Benjamin Mattiazzi, Professor da Universidade Federal de São Carlos, e de outros especialistas, a associação de moradores propôs a criação do projeto de recuperação da mata ciliar dos mananciais urbanos Santa Maria do Leme e Cambuí. Estabeleceu-se uma parceria entre a associação de moradores e o Departamento de Política de Áreas Verdes da Secretaria Municipal de Obras e Serviços Públicos, a partir da qual foram plantadas 1.500 mudas de espécies nativas até 1999.

A área sofreu pequenos incêndios nos anos subsequentes, mas foi

gradualmente recuperada com plantio de mais 4.300 mudas de espécies predominantemente nativas até 2002. Após várias melhorias no sistema de drenagem, na cobertura do solo, no controle de pragas e incêndios, bem como a manutenção da área a partir da parceria entre a associação dos moradores e a prefeitura municipal, a floresta foi gradualmente se estabelecendo, sobretudo no período entre 2012 e 2014; com alterações visíveis na retenção de umidade no solo, na contenção de erosão, na diminuição do assoreamento dos rios e na mudança do microclima. Atualmente, o bosque conta com 83% de plantas de espécies nativas e 17% de espécies exóticas.

Para avaliar a consequência da recuperação da floresta ripária no córrego Cambuí, um estudo foi conduzido entre 2012 e 2014, com coletas a jusante e a montante (Figura 1), visando avaliar as possíveis alterações na qualidade da água em decorrência do aumento da capacidade de retenção de nutrientes. A primeira campanha foi realizada em setembro de 2012, e a segunda campanha foi realizada após dois anos, em agosto de 2014, com a vegetação já bastante consolidada.

FIGURA 1 – Localização do córrego do Cambuí na microbacia do córrego Santa Maria do Leme, área urbana de São Carlos-SP, e os pontos de amostragem de água

Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 2, estão apresentados os gráficos das concentrações de condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez, nitrogênio total Kjeldahl, fósforo total e *Escherichia coli*, obtidas nos pontos a montante (próximo à nascente) e a jusante (próximo à foz) do córrego do Cambuí nas campanhas de setembro de 2012 e agosto de 2014. Ao comparar os valores observados no ponto a montante com o ponto a jusante, verifica-se uma nítida capacidade de depuração da água para algumas variáveis em ambos os períodos: condutividade, nitrogênio total Kjeldahl e *Escherichia coli* sofreram um decaimento, e o oxigênio dissolvido sofreu um aumento da montante para a jusante do córrego Cambuí. Porém, a capacidade de depuração da floresta ripária tornou-se ainda mais evidente ao comparar os valores das variáveis de qualidade da água obtidos em setembro de 2012 com os valores obtidos em agosto de 2014 para ambos os pontos. Com o maior estabelecimento da floresta ripária em 2014, ela passou a exercer uma capacidade muito maior de depuração, o que demonstra a grande importância desses fragmentos na melhoria da qualidade da água.

Recentemente, o bosque do Cambuí e outras áreas de fragmentos remanescentes foram incluídos no Plano Diretor de São Carlos como Áreas de Especial Interesse Ambiental (AEIA), as quais constituem um corredor biológico urbano que permite a manutenção da biodiversidade dos ecossistemas.

Esse exemplo demonstra que participações comunitárias bem coordenadas e com apoio do poder executivo são capazes de recuperar patrimônios ambientais de extrema relevância em áreas urbanas.

FIGURA 2 – Concentrações de condutividade, oxigênio dissolvido, turbidez, nitrogênio total Kjeldahl, fósforo total e *Escherichia coli* obtidas nos pontos a montante (próximo à nascente) e a jusante (próximo à foz) do córrego do Cambuí nas campanhas de setembro de 2012 e agosto de 2014. *Escherichia coli* foi quantificada apenas em agosto de 2014

Elaboração: Donato Seiji Abe.

Fonte: Dados da pesquisa.

Consequências da redução de florestas ripárias para a qualidade da água

Por causa de sua reconhecida importância, as florestas ripárias eram protegidas como Áreas de Preservação Permanente (APP) pela Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965 (BRASIL. Lei 4.771/1965), pela Medida Provisória 2.166-67, de 24 de agosto de 2001 (BRASIL. Medida Provisória

2166-67/2001) e pela Resolução CONAMA 303, de 20 de março de 2002 (BRASIL. Resolução CONAMA 303/2002). Porém, a recente alteração do Código Florestal pela Lei Federal 12.651/2012 (BRASIL. Lei 12.651/2012) que vislumbrava a permissão da substituição parcial de áreas de florestas ripárias às margens dos cursos hídricos por atividades agrícolas, levantou profunda preocupação com a integridade dos ecossistemas aquáticos. Tal alteração poderia reduzir a ação das florestas ripárias na retenção de nutrientes, podendo resultar no aumento da eutrofização dos corpos de água, com consequências negativas para os usos múltiplos.

Visando avaliar possíveis alterações resultantes no uso da terra propostas pelo atual Código Florestal, Rodrigues Filho et al. (2015) estimaram as cargas difusas de nitrogênio total e fósforo total na bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo, localizada na região central do estado de São Paulo, para diferentes cenários de Áreas de Proteção Permanente na bacia, com base em coeficientes de exportação do Modelo de Correlação entre Uso do Solo e Qualidade da Água (MQUAL) (SÃO PAULO. SMA, 2003).

Os cenários utilizados no modelo foram:

- **Cenário 1** (cenário atual): com 30 m de floresta ripária em rios com até 50 m de largura.

- **Cenário 2** (conservador): com APP de 50 m em torno das nascentes e ao longo de ambas as margens de corpos de água.

- **Cenário 3:** baseado na emenda ao Código Florestal (Seção 3, Subsecção 7) de que não há obrigatoriedade de manter ou recuperar áreas de Reserva Legal em propriedades rurais com áreas inferiores a 4 módulos fiscais (cerca de 48 ha); seguindo essa premissa, áreas com vegetação natural (Reserva Legal) foram substituídas por áreas com atividades agrícolas. Este tipo de propriedade é predominante na bacia do ribeirão do Lobo. Por conseguinte, 20% da área total de bacia que correspondem à área indicada pela Lei Floresta de Reserva Legal foram subtraídas da área de vegetação natural e substituídas por áreas com atividades agrícolas.

As cargas difusas de Nitrogênio total (N total) e Fósforo total (P total) foram estimadas com base nos coeficientes de exportação do MQUAL versão 1.5 (SÃO PAULO. SMA, 2003). Valores quantitativos de taxas de geração de cargas difusas de N total e P total foram obtidos através de coeficientes de exportação (K_i), de acordo com classes distintas de uso do solo (Tabela 1) e o mapa.

TABELA 1 – Valores de coeficientes de exportação (K_i) para estimativa de cargas difusas de acordo com o uso do solo

Uso do solo e cobertura vegetal	Unidade	N total	P total
Reflorestamento	kg.km ² /dia	0,600	0,039
Urbano	kg.km ² /dia	1,274	0,034
vegetação nativa	kg.km ² /dia	0,600	0,039
floresta ripária	kg.km ² /dia	0,600	0,039
pastagem/campo	kg.km ² /dia	0,500	0,028
Agricultura	kg.km ² /dia	2,950	0,346
Várzea	kg.km ² /dia	-----	-----
corpo hídrico	kg.km ² /dia	-----	-----

Fonte: Dados da pesquisa.

O cálculo da taxa de geração de carga difusa foi baseado na seguinte equação:

$$\text{Carga difusa} = \sum (K_i \times A_i)$$

Em que: K_i = coeficiente de exportação de carga difusa de cada parâmetro ambiental para classes distintas de uso do solo; A_i = áreas distintas de uso de solo na bacia hidrográfica do ribeirão Lobo.

A identificação dos usos do solo produziu um mapa com cenário atual de cobertura composta por oito classes: reflorestamento, urbano, vegetação nativa, mata ciliar (APP), pastagem / campo, agricultura, vegetação de várzea e corpos hídricos (Figura 3). A região norte da bacia é caracterizada por uma grande área de vegetação nativa e uma considerável área de várzea em torno dos corpos de água. Na região oeste existem intensas atividades agrícolas e alguns corpos de água. Na região central há um mosaico de usos do solo e a região oriental é predominantemente destinada ao reflorestamento. A região sul é composta por pastagens, áreas agrícolas e poucas áreas de vegetação nativa remanescente. As áreas de APP da bacia são preservadas, com exceção da região sul.

FIGURA 3 – Mapas de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo no cenário atual (2013) e cenários 1, 2 e 3 e respectivas porcentagens de cobertura

Fonte: Rodrigues-Filho et al. (2015).

Nos mapas gerados no cenário 1 e, especialmente, no cenário 2, houve um incremento das áreas de APP em relação ao cenário atual (em amarelo). Alguns corpos de água, principalmente na região sul, passaram a apresentar áreas de preservação. No cenário 3, por outro lado, a substituição de áreas de vegetação nativa e de floresta ripária por áreas agrícolas resultou em um uso do solo mais uniforme.

Em relação às cargas difusas estimadas, houve pouca alteração entre os valores obtidos para os cenários 1 e 2 e o cenário atual (Figura 4). Por

outro lado, com a substituição das áreas de vegetação nativa e de floresta ripária por áreas agrícolas, seguindo a premissa do Código Florestal de que não há obrigatoriedade de manter ou recuperar áreas de Reserva Legal em propriedades rurais com áreas inferiores a quatro módulos fiscais, houve um incremento muito significativo das cargas de N total (73,6%) e de P total (68,6%) em relação ao cenário atual.

O estudo mostra, portanto, a grande importância da vegetação nativa e da floresta ripária para a qualidade da água da bacia hidrográfica do ribeirão do Lobo, as quais são capazes de reter fósforo e nitrogênio através da rápida ciclagem biogeoquímica, impedindo o seu transporte para sistemas aquáticos a jusante. Assim, o aumento do desmatamento dessas áreas, conforme evidenciado pelos resultados do cenário 3, resultariam no aumento da eutrofização do ribeirão do Lobo e, como consequência, na eutrofização do reservatório do Lobo/Broa, podendo tornar-se um sério problema, uma vez que o local é um importante polo turístico regional.

FIGURA 4 – Cargas difusas de Nitrogênio total e Fósforo total, geradas para os diferentes cenários e cobertura do solo na bacia do ribeirão do Lobo

Fonte: adaptado de Rodrigues-Filho et al. (2015).

Considerações Finais

Os estudos de caso apresentados no presente capítulo confirmam os importantes serviços ecossistêmicos prestados pelas duas florestas ripárias nas bacias hidrográficas, sobretudo na melhoria da qualidade da água dos corpos hídricos.

Ações que visam a manutenção e a recuperação desses compartimentos, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais, devem ser incentivados, uma vez que evitam o processo de eutrofização dos corpos hídricos, contribuem para a estabilidade dos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos e dão condições de sustentabilidade aos usos múltiplos da bacia.

Referências

- BRASIL. **Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965**. Dispõe sobre o Código Florestal Brasileiro. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em: 24 ago. 2015.
- BRASIL. **Lei 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre o Novo Código Florestal Brasileiro. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 14 jun. 2015.
- BRASIL. **Medida Provisória 2.166-67, de 24 de agosto de 2001**. Altera a Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/MPV/2166-67.htm>. Acesso em: 22 ago. 2015.
- BRASIL. **Resolução CONAMA 303, de 20 de março de 2002**. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites das Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 22 ago. 2015.
- CARPENTER, S. R. et al. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. **Ecological Applications**, Washington, v. 8, n. 3, p. 559-568, 1998.
- LIKENS, G. E. Beyond the shore line: a watershed-ecosystem approach. **Verh. Int. Ver. Limnol**, v. 22, p. 1-22, 1984.
- LIKENS, G. E. **The ecosystem approach. Its use and abuse. Excellence in Ecology**. Germany: Ecology Institute/Oldendorf-Luhe, 1992. v. 3.
- LIKENS, G. E.; BORMANN, F. H. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. **BioScience**, v. 24, n. 8, p. 447-56, 1974.
- MATTIAZZI, B. Bosques urbanos. **Jornal A Folha**, São Carlos, 3 out. 2009. Caderno Opinião., MATTIAZZI, B.; FIGUEIREDO, R. A.; KLEFASZ, A. **Ecologia, educação ambiental e participação comunitária**. Experiência de conservação do patrimônio público Bosques Santa Marta e Cambuí – São Carlos-SP. São Carlos: Rima, 2011.
- RODRIGUES-FILHO, J. L. et al. Alterations in land uses based on amendments to the Brazilian Forest Law and their influences on water quality of a watershed. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, n. 1, p. 125-134, 2015.

SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE – SMA. **Aplicação do MQUAL 1.5 na gestão de bacias hidrográficas e avaliação de cargas difusas.** Versão 1.5 do modelo de correlação do uso do solo/qualidade da água (MQUAL). São Paulo: SMA, 2003.

SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA – SBPC. **O Código Florestal e a ciência:** contribuições para o diálogo. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência/Academia Brasileira de Ciências, 2011.

SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.; PROCHNOW, L. I. Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: options for the future. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 2, p. 194-209, 2006.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 67-76, 2010.

VOLLENWEIDER, R. A. **Scientific fundamentals of eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication.** Technical Report n. DAS/CSI/68.27. Paris: Organization for Economic Co-Operation and Development, 1968.