



Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos

Tundisi, J.G. & Matsumura-Tundisi, T.M.

Biota Neotrop. 2010, 10(4): 67-76.

On line version of this paper is available from:

<http://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/en/abstract?article+bn01110042010>

A versão on-line completa deste artigo está disponível em:

<http://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/pt/abstract?article+bn01110042010>

Received/ Recebido em 28/10/2010 -

Revised/ Versão reformulada recebida em 03/10/2010 - Accepted/ Publicado em 05/11/2010

ISSN 1676-0603 (on-line)

Biota Neotropica is an electronic, peer-reviewed journal edited by the Program BIOTA/FAPESP: The Virtual Institute of Biodiversity. This journal's aim is to disseminate the results of original research work, associated or not to the program, concerned with characterization, conservation and sustainable use of biodiversity within the Neotropical region.

Biota Neotropica é uma revista do Programa BIOTA/FAPESP - O Instituto Virtual da Biodiversidade, que publica resultados de pesquisa original, vinculada ou não ao programa, que abordem a temática caracterização, conservação e uso sustentável da biodiversidade na região Neotropical.

Biota Neotropica is an electronic journal which is available free at the following site
<http://www.biotaneotropica.org.br>

A **Biota Neotropica** é uma revista eletrônica e está integral e gratuitamente disponível no endereço
<http://www.biotaneotropica.org.br>

Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos

José Galizia Tundisi^{1,2} & Takako Matsumura Tundisi¹

¹Instituto Internacional de Ecologia, Rua Bento Carlos, n. 750, CEP 13560-660, São Carlos, SP, Brasil

²Autor para correspondência: José Galizia Tundisi, e-mail: jgt.iie@iie.com.br

TUNDISI, J.G. & TUNDISI, T.M. **Potencial impacts of changes in the Forest Law in relation to water resources.** Biota Neotrop. 10(4): <http://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/en/abstract?article+bn01110042010>.

Abstract: Mosaics of vegetation, riparian forests, and wetlands have an important quantitative and qualitative role on the hydrological cycle. Riparian forests protect the water quality of rivers, lakes and reservoirs. Wetlands control floods, sedimentation and regulate the water quality by enhancing processes such as denitrification, phosphorus and heavy metal retention. Both ecosystems of transition are fundamental. The removal of wetlands and forests (riparian and mosaics of vegetation) affects environmental services of these ecosystems, causing loss of economic assets of the capital natural and accelerating degradation of rivers, lakes, reservoirs and the watersheds. Protection of these ecosystems of transition is thus fundamental for the development of agriculture. The loss of services affects society, human health, increasing costs of recovery and deteriorating human-ecological relationships.

Keywords: watersheds, riparian forests, wetlands, hydrological cycle, biogeochemical cycles, water quality, water quantity.

TUNDISI, J.G. & TUNDISI, T.M. **Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos.** Biota Neotrop. 10(4): <http://www.biotaneotropica.org.br/v10n4/pt/abstract?article+bn01110042010>.

Resumo: Florestas ripárias, mosaicos de vegetação e áreas alagadas têm papel fundamental na proteção dos recursos hídricos mantendo a qualidade da água em excelentes condições para abastecimento e recarregado aquíferos repondo, portanto, volumes substanciais de águas para o componente subterrâneo. A remoção de florestas ripárias e áreas alagadas têm um efeito extremamente negativo degradando a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, acelerando a sedimentação de lagoas, represas e rios, e diminuindo o estoque de água nas nascentes e aquíferos. Todos os serviços ambientais dos ecossistemas aquáticos ficam comprometidos com o desmatamento e remoção de áreas naturalmente alagadas, portanto a preservação destas áreas é essencial para regular tanto o ciclo hidrológico como os ciclos biogeoquímicos. A remoção destas áreas torna insustentável a agricultura em curto prazo.

Palavras-chave: bacias hidrográficas, florestas ripárias, áreas alagadas, ciclo hidrológico, biogeoquímica da água, qualidade da água, quantidade da água.

Introdução

1. A vegetação e o ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico depende fundamentalmente da reciclagem da água através da evaporação dos oceanos, da precipitação, da infiltração da água nos aquíferos e das reservas de água nos sistemas continentais (lagos, rios, represas e áreas alagadas). A evapotranspiração da vegetação é outro componente fundamental do ciclo hidrológico, pois repõe para a atmosfera água sob forma gasosa que é o resultado do papel ativo da vegetação no ciclo. Likens (1992) que determinou por muitos anos o papel da vegetação em uma reserva ecológica (Hubbard Brook, Estados Unidos) quantificou em 38% do total da precipitação a quantidade de vapor de água evapotranspirado pela vegetação. As relações da presença da vegetação no fluxo dos rios também foram quantificadas nestes estudos (Likens et al. 1990a) e ficou demonstrado que o volume de água dos rios mantém-se aproximadamente constante durante o ciclo estacional devido ao fator regulador da vegetação na quantidade de água escoada. Mas, além disto, há outras evidências que demonstram que a vegetação tem um papel relevante na qualidade da água dos rios, represas e lagos. Estudos de Matheus & Tundisi (1988) demonstraram que na bacia hidrográfica dos Rios Itaqueri e Lobo na região central do Estado de São Paulo a qualidade da água está diretamente relacionada com a presença da vegetação ripária e sua densidade ao longo do rio. Em regiões onde há uma floresta ripária bem conservada a condutividade elétrica que é um fator fundamental na medida da qualidade da água, é muito baixa ($< 20 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$). Em regiões com ausência de floresta ripária esta condutividade é muito mais elevada ($> 100 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) o que evidencia aumento da composição iônica de água, resultado da drenagem superficial.

Outras informações importantes decorrentes dos estudos em Hubbard Brook é que quando a floresta é perturbada e ocorre desmatamento os ciclos de fósforo e nitrogênio apresentam alterações significativas com aumento da concentração nos rios como resultados da perda superficial no solo (Likens et al. 1970). Em outras regiões este efeito também foi demonstrado (Vitousek et al. 1979).

Portanto, existe evidência científica relevante e de diferentes regiões temperadas e tropicais sobre o efeito de vegetação na regulação do ciclo hidrobiológico, tanto do ponto de vista de qualidade como de quantidade de água (Tundisi & Matsumura Tundisi 2008).

2. As florestas ripárias e sua importância econômica e ecológica

As florestas ripárias são um componente fundamental dos ecossistemas de rios, represas e lagos. Elas fazem parte do conjunto de estruturas e processos que são apresentados na Figura 1.

Nesta figura a componente floresta ripária é parte das características terrestres e também é consequência dos usos da vegetação pelas atividades humanas. O ciclo da água, a composição química da água de drenagem, o transporte de matéria orgânica para os rios, lagos represas, 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.

A Figura 2 mostra as principais características e processos relacionados com a floresta ripária. Sua importância ecológica e hidrológica é bem caracterizada pelos estudos já realizados e sintetizados por Rodrigues & Leitão Filho (2001). De particular interesse neste trabalho é o suporte geológico das florestas ripárias e na dinâmica dos processos hidrogeomorfológicos (Ab'Saber 2001). Mas todo o conjunto de processos ecológicos sustentado pelas florestas ripárias têm componentes econômicos fundamentais: *na renovação da qualidade da água; no controle e recarga dos aquíferos e na água reposta por evapotranspiração; no controle de sedimentação dos*

ecossistemas aquáticos e portanto, preservação do volume de água; no suprimento de matéria orgânica para a fauna ictica e manutenção dos estoques e diversidade dessa fauna; e na diversidade da fauna terrestre e refúgio para esta fauna, além de zona de reprodução, Likens, Borman (1974); Borman, Likens (1979); Mitsch, Jorgensen (1989); Tundisi & Matsumura-Tundisi (2008).

3. Os serviços ambientais dos ecossistemas aquáticos

Rios, lagos, represas artificiais tem um conjunto de serviços ambientais de altíssimo valor econômico e social. De acordo com Costanza et al. (1997) e MEA (2003) define-se serviços ambientais como aqueles de importância para o bem estar humano, com a capacidade para regular fluxos, produzir alimentos, suprir água, manter a biodiversidade, controlar doenças e proporcionar valores estéticos, culturais e espirituais.

A valoração destes serviços e sua diversidade e complexidade é um processo em andamento, tanto do ponto de vista científico como do ponto de vista de economia. O valor dos serviços ambientais deve se contrapor ao valor dos investimentos econômicos e da economia tradicional, representado por fluxos da capital, investimentos em infra-estrutura, preços de mercado, e valores comerciais (Maxwell & Constanza 1989). Estes serviços estão diretamente relacionados com o papel físico, químico e biológico, no conjunto de complexos fatores que regulam o funcionamento dos ecossistemas e tem um papel relevante na integração ecológica-econômica e repostas à perturbação.

A valoração econômica dos serviços ambientais é, portanto, uma etapa fundamental na quantificação dos principais processos que regulam e controlam o funcionamento dos ecossistemas e de relevância na bem estar humano.

Resultados e Discussão

1. Os impactos do desmatamento

As florestas ripárias e os mosaicos de vegetação nas bacias hidrográficas são um dos componentes fundamentais dos ciclos hidrogeoquímicos e do ciclo hidrológico. A remoção destas florestas tem impactos consideráveis na qualidade da água e nos serviços ambientais dos ecossistemas aquáticos (Tucci & Mendes 2006).

1.1. Impactos na qualidade da água

A qualidade da água é alterada substancialmente pela remoção da vegetação, especialmente a vegetação ripária. Em um estudo realizado em 10 microbacias hidrográficas do Estado de São Paulo ($< 50 \text{ km}^2$) (Secretaria de Meio Ambiente/Banco Mundial/IEGA, 2010) determinou-se a qualidade da água em áreas protegidas pela vegetação e em áreas desmatadas com o uso intensivo do solo.

Figura 3 apresenta os dados obtidos em uma área de nascente para uma série de variáveis de qualidade da água. Muito baixa condutividade elétrica ($12 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$), turbidez (11.8 NTU) amônio (NH_4^+), fósforo e nitrogênio total foram determinados, mostrando o papel importante quantitativo da vegetação de funcionar como “filtro” e sistema regulador (Likens 1992).

A Figura 4 mostra os resultados determinados no mesmo rio (Ribeirão do Lobo) em área desmatada e com o uso intenso do solo. Fica evidente o grande aumento na condutividade elétrica da água, turbidez, amônio, fósforo e nitrogênio total como resultado de remoção da vegetação e degradação da bacia hidrográfica. A deterioração da bacia hidrográfica e a remoção da vegetação modificaram substancialmente a qualidade da água no rio com várias consequências no abastecimento público e perda de serviços. Isto pode ser observado no gráfico do espectro de absorção de água filtrada em Millipore $0.45 \mu\text{m}$.

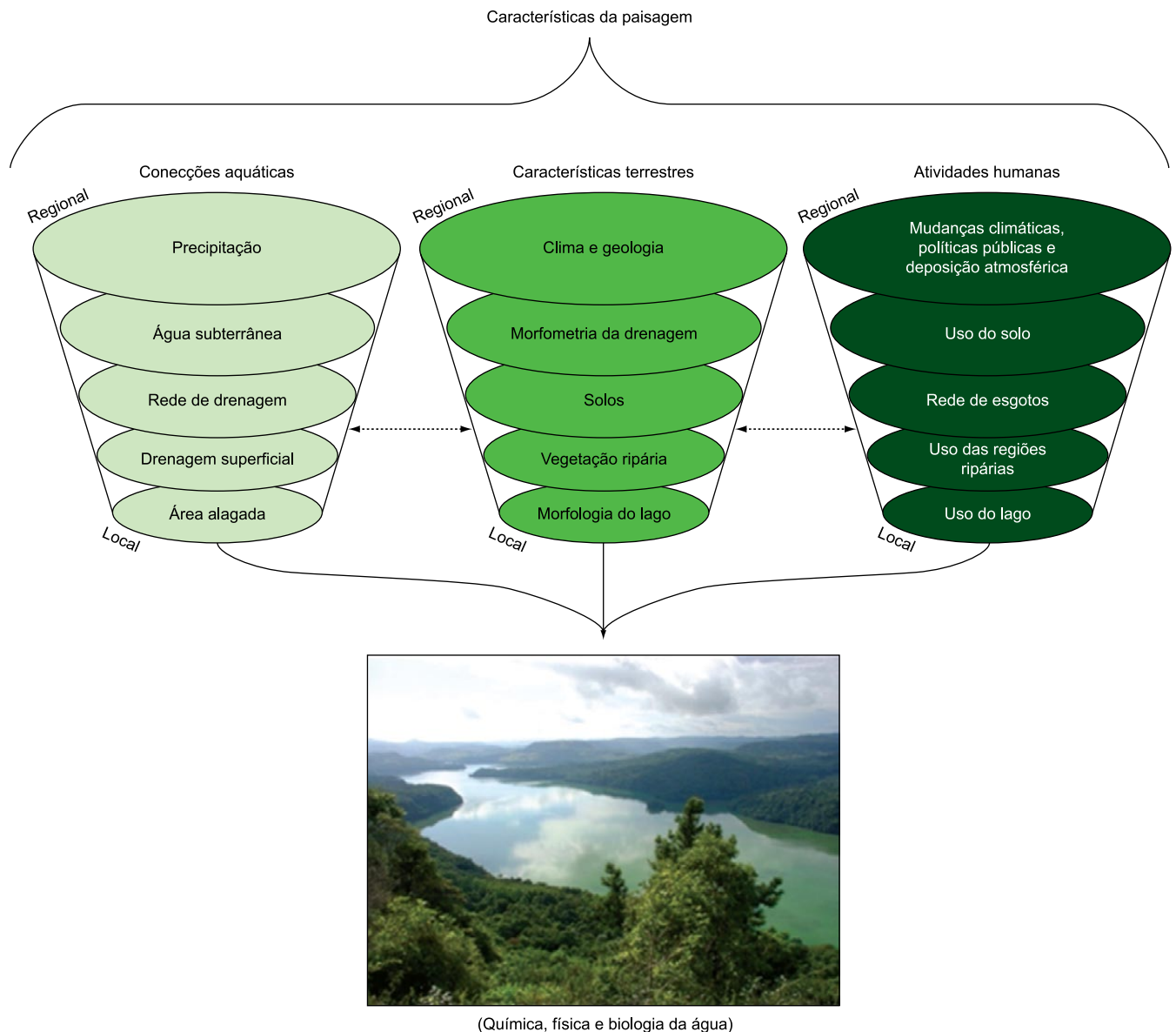


Figura 1. Interações entre componentes das Bacias Hidrográficas e suas consequências na qualidade da água. Modificado de: Sorano et al. (2009).

Figure 1. Watershed components interactions and its consequences to water quality. Modified from: Sorano et al. (2009).

1.2. Impactos nos serviços dos ecossistemas aquáticos

Os serviços ambientais dos sistemas aquáticos ficam comprometidos com a remoção da vegetação e o uso intensivo das bacias hidrográficas. O comprometimento atinge todos os principais serviços ambientais: a deterioração da qualidade da água aumenta substancialmente os custos do tratamento para abastecimento público. Áreas protegidas com mananciais de boa qualidade necessitam de pouco investimento em tratamento. Os custos deste tratamento podem chegar, no máximo, a R\$ 2,00 ou R\$ 3,00 por 1.000 m³ de água tratada (adição de cloro e flúor). Quando ocorre o desmatamento e aumenta a degradação dos mananciais este custo do tratamento pode chegar a R\$ 250,00 ou R\$ 300,00 por 1.000 m³. Isto decorre em função de necessidade do uso de floculantes, coagulantes e desinfetantes que devem ser adicionados para tornar a água potável. Além da deterioração dos serviços de abastecimento de água, há perda de serviços de recreação, turismo, pesca, com aumento da toxicidade e eutrofização. Estas duas consequências, aumento da toxicidade e do

potencial de eutrofização têm como resultado a perda da qualidade de água dos rios, lagos e represas e comprometimento dos serviços ambientais dos ecossistemas aquáticos (Figura 5).

2. As áreas alagadas e sua importância como sistemas reguladores e de controle

As áreas alagadas (Pântanos, áreas rasas inundadas com vegetação herbácea, fixa ou flutuante) cujo termo genérico em inglês – wetlands – engloba um conjunto grande de ecossistemas de transição em áreas continentais e costeiras, tem um papel fundamental na regulação de enchentes, nos ciclos biogeoquímicos e na conservação da biodiversidade (Patten et al. 1992a, b).

Os serviços ambientais das áreas alagadas são diversificados:

- Dissipação de forças erosivas.
- Função ecológica – são sistemas de transição entre ecossistemas terrestres e aquáticos.
- Controle de enchentes.

Esquema conceitual de uma área ripária

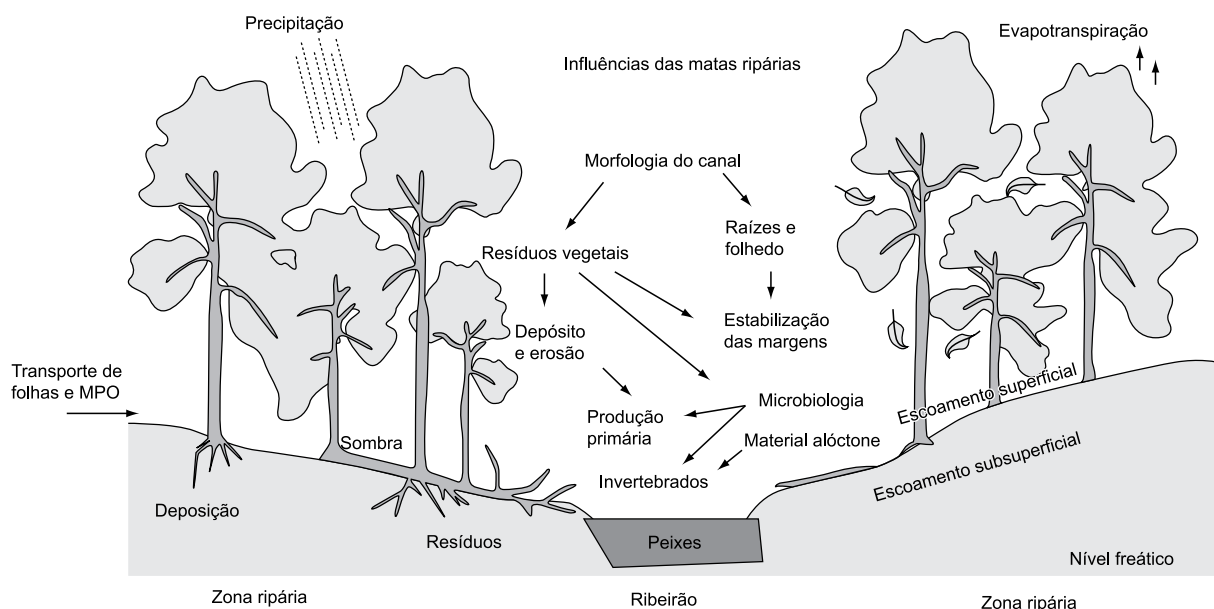


Figura 2. Principais processos dependentes das florestas ripárias. Fontes: modificado de Likens (1992); e Paula Lima & Zakia (2001).

Figure 2. Main processes that depend upon riparian vegetation. Source: modified from Likens (1992); and Paula Lima & Zakia (2001).

Ribeirão do lobo: Ponto 3 (Nascente)	
Parâmetros analisados	Resultado
Carbono inorgânico dissolvido (mg.L^{-1})	1,443
Carbono orgânico dissolvido (mg.L^{-1})	0,086
Carbono total dissolvido (mg.L^{-1})	1,529
Condutividade ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	12
Fósforo total ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	24,13
Material em suspensão inorgânico (mg.L^{-1})	6,8
Material em suspensão orgânico (mg.L^{-1})	2,7
Material em suspensão total (mg.L^{-1})	9,5
Nitrogênio total (NTK) (mg.L^{-1})	0,34
ORP	502,8
Oxigênio dissolvido (mg.L^{-1})	7,24
pH	6,25
Sólidos totais dissolvidos (mg.L^{-1})	9
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	21,21
Turbidez	11,8
Fluoreto ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	19,88
Cloresto (mg.L^{-1})	0,99
Nitrito ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	0,47
Brometo ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	0,12
Nitrato ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	96,10
Fosfato ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	0,02
Sulfato ($\text{mgSO}_4\text{-L}^{-1}$)	0,12
Lítio ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	0,25
Sódio (mg.L^{-1})	0,22
Amônio ($\mu\text{g-N.L}^{-1}$)	14,60
Potássio (mg.L^{-1})	0,44
Magnésio (mg.L^{-1})	0,32
Cálcio (mg.L^{-1})	0,32

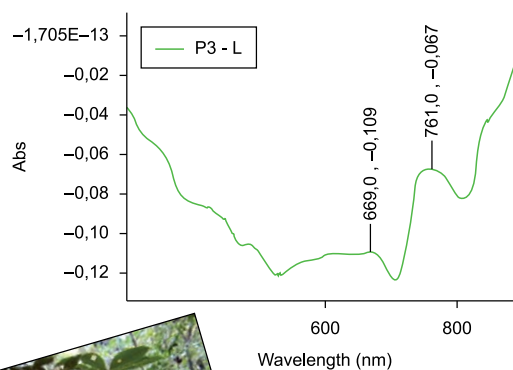


Figura 3. Composição química da água em rio de nascente protegida, Ribeirão do Lobo. A tabela apresenta dados da qualidade da água. O gráfico à direita apresenta o espectro de absorção da água filtrada com matéria orgânica dissolvida representada nos picos de 669 e 761 nm.

Figure 3. Chemical composition of the water of a river that has its spring protected by native vegetation, Ribeirão do Lobo. The table presents data on water quality. The chart at right shows the absorption spectrum of the filtered water with dissolved organic matter represented in the peak of 669 and 761 nm.

Ribeirão do lobo: Ponto 4 (Área desmatada; gado confinado; pecuária intensiva)	
Parâmetros analisados	Resultado
Carbono inorgânico dissolvido (mg.L ⁻¹)	4,537
Carbono orgânico dissolvido (mg.L ⁻¹)	1,521
Carbono total dissolvido (mg.L ⁻¹)	6,058
Condutividade (μS.cm ⁻¹)	47
Fósforo total (μg.L ⁻¹)	86,06
Material em suspensão inorgânico (mg.L ⁻¹)	2,46
Material em suspensão orgânico (mg.L ⁻¹)	0,76
Material em suspensão total (mg.L ⁻¹)	3,22
Nitrogênio total (NTK) (mg.L ⁻¹)	0,71
ORP	508
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,08
pH	7,28
Sólidos totais dissolvidos (mg.L ⁻¹)	33
Temperatura (°C)	23,12
Turbidez	118,2
Fluoreto (μg.L ⁻¹)	28,10
Cloreto (mg.L ⁻¹)	2,05
Nitrito (μg.L ⁻¹)	< 0,05
Brometo (μg.L ⁻¹)	0,06
Nitrato (μg.L ⁻¹)	167,31
Fosfato (μg.L ⁻¹)	0,18
Sulfato (mgSO ₄ .L ⁻¹)	0,22
Lítio (μg.L ⁻¹)	< 0,06
Sódio (mg.L ⁻¹)	0,76
Amônio (μg.N.L ⁻¹)	118,22
Potássio (mg.L ⁻¹)	1,26
Magnésio (mg.L ⁻¹)	0,10
Cálcio (mg.L ⁻¹)	1,97

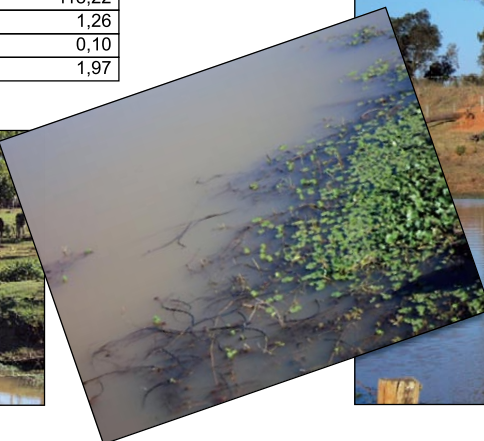
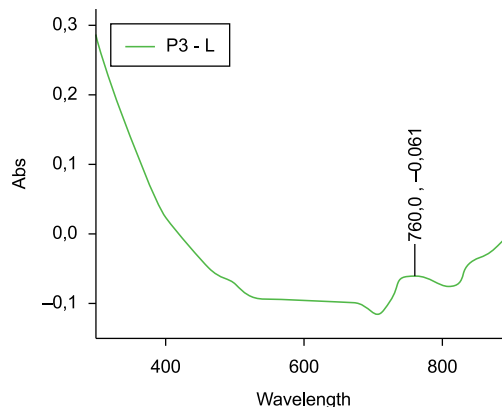


Figura 4. Composição química da água em rio impactado pela remoção da vegetação. A Tabela apresenta dados da qualidade da água. O gráfico à direita apresenta o espectro de absorção da água filtrada com matéria orgânica dissolvida representada no pico de 760 nm.

Figure 4. Chemical composition of the water of a river impacted by the removal of native vegetation. The table presents data on water quality. The chart at right shows the absorption spectrum of the filtered water with dissolved organic matter represented in the peak of 669 and 761 nm.

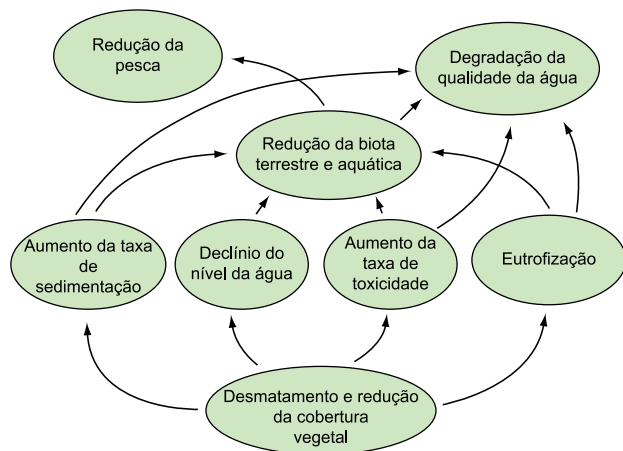


Figura 5. Comprometimento dos serviços ambientais devido ao desmatamento. Redução das florestas ripárias e da cobertura vegetal.

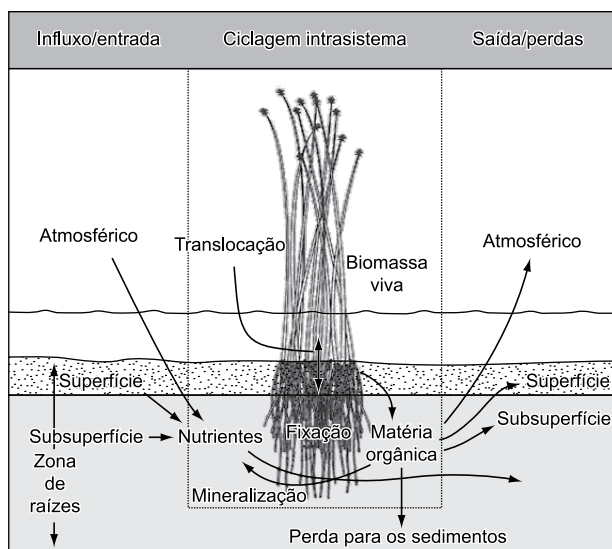
Figure 5. Damage to environmental services due to deforestation. Reduction of riparian forests and vegetation cover.

- Controle da qualidade das águas.
- Conservação e proteção da biodiversidade da fauna aquática e da fauna de transição entre sistemas terrestres e aquáticos.
- São áreas geralmente mais produtivas que ecossistemas terrestres e aquáticos, devido à aceleração dos ciclos.
- Proteção e conservação de espécies nativas, da vida selvagem e manutenção dos ciclos biogeoquímicos.
- Promoção de valores culturais estéticos e paisagísticos. Oportunidades culturais e de recreação.
- Áreas alagadas são fundamentais na recarga dos aquíferos. (Mitsch & Jorgensen 2004, Mitsch & Gosselink 2007, IIEGA et al. 2009).

Um componente dos serviços ambientais das áreas alagadas é a regulação dos ciclos biogeoquímicos representada na Figura 6 e que qualifica estes ecossistemas de transição a uma utilização cada vez maior para melhorar a qualidade da água, removendo fósforo, nitrogênio e metais pesados, de esgotos domésticos, efluentes agrícolas e industriais.

Áreas alagadas artificiais têm sido construídas em grande escala em países europeus e nos Estados Unidos para controlar a qualidade da água, barateando custos do tratamento convencional de águas residuais de esgotos domésticos e industriais.

Também a proteção de áreas alagadas para regulação de fluxos de nutrientes, enchentes e de proteção à biodiversidade nas bacias hidrográficas tem se intensificado. Em áreas urbanas a proteção de áreas alagadas tem auxiliado na contenção de enchentes, na regulação dos ciclos biogeoquímicos e na recuperação de pequenos rios urbanos, estimulando a biodiversidade aquática, a redução de eutrofização e da contaminação por metais pesados (Zalewski 2001, UNESCO, UNEP 2004).



Componentes dos ciclos biogeoquímicos da área alagada: influxos, perdas e ciclagem interna no ecossistema

Figura 6. Componentes do balanço de nutrientes de uma área alagada incluindo influxos, perdas e ciclo intrasistêmico. Fonte: modificado de Mitsch & Gosselink (2007).

Figure 6. Components of the nutrient balance of a wetland including inflows, losses and intrasystem cycle. Source: modified from Mitsch & Gosselink (2007).



Figura 7. Área alagada na região de São Carlos (Ribeirão do Feijão – Lat. 22° 11' 29.10" S / Long. 47° 54' 16.00" O).

Figure 7. Flooded área in the region of São Carlos (Ribeirão do Feijão – Lat. 22° 11' 29.10" S / Long. 47° 54' 16.00" W).

Costanza et al. (1997) estimaram o valor total dos serviços ambientais das áreas alagadas em US\$ 4.000 (quatro mil dólares americanos) /hectare/ano.

A Figura 7 mostra uma área alagada típica na região de São Carlos, onde ocorreram as nascentes de um dos rios que abastecem o município de São Carlos. A manutenção da excelente qualidade da água nesta região de cabeceiras deve-se a presença destas áreas alagadas com predominância de *Typha dominguis* (taboa).

A Figura 8 mostra área alagada à montante de represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa). Esta área alagada é fundamental para manter a qualidade da água na represa, caracterizada por baixa condutividade e baixa concentração de matéria orgânica, durante 40 anos.

Esta represa é utilizada para recreação, turismo e pesca esportiva e a manutenção da qualidade da água por 40 anos é, em grande parte, devido à presença desta área alagada nas cabeceiras.

A Figura 9 mostra a área alagada do Parelheiros na Região metropolitana de São Paulo. Esta área alagada tem o ciclo utilizado para a remoção de P e N da água de transposição da Represa Billings para a Represa Guarapiranga (4 m³/s).

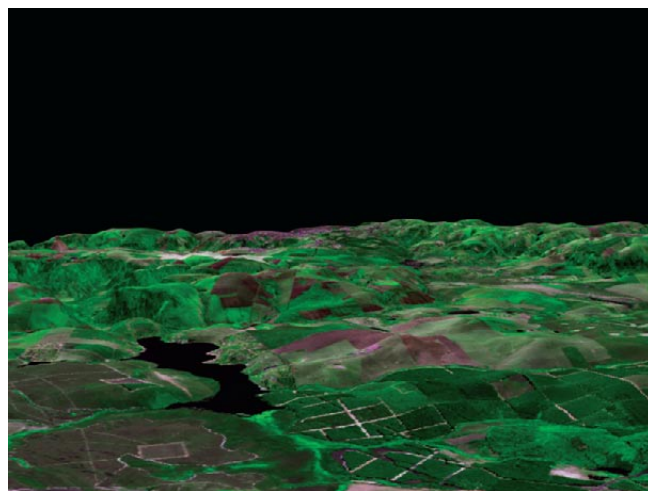


Figura 8. Área alagada à montante da Represa da UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa).

Figure 8. Flooded aea upstream of the dam UHE Carlos Botelho (Lobo/Broa).



Figura 9. O uso de áreas alagadas na Região Metropolitana de São Paulo (como exemplo, foto da área alagada do Parelheiros/RMSP), pode resolver inúmeros problemas de gestão de bacias hidrográficas em regiões urbanas.

Figure 9. The use of flooded area in the Metropolitan Region of São Paulo (as an example, photos of the flooded area of Parelheiros / MASP) may solve numerous problems of watershed management in urban areas

3. Remoção das áreas alagadas e seu impacto na quantidade e qualidade da água

A remoção das áreas alagadas para desenvolver atividades agrícolas, ou construção de infra-estrutura tem um elevado custo do ponto de vista ecológico, econômico e social. Como há uma ampla gama de serviços ambientais proporcionados pelas áreas alagadas, a remoção destes ecotones compromete os seguintes processos:

- A Recarga dos aquíferos fica comprometida;
- Perde-se biodiversidade de plantas e animais;
- A qualidade da água que sofre grandes alterações após drenar uma área alagada (redução na concentração de fósforo por absorção nas raízes e nos biofilmes de microorganismos desnitrificação devido a redução de nitratos e nitritos a óxido nítrico e nitrogênio gasoso, redução na concentração de metais pesados) (Abe et al. 2006);
- Aumentam as forças erosivas e o transporte de sedimentos comprometendo rios, lagos e represas; e
- Aumenta a mortalidade de peixes devido à descarga de material em suspensão em grandes quantidades interferindo no ciclo do oxigênio e reduzindo a conservação de oxigênio dissolvido na água.

Portanto, se houver algum fator positivo na drenagem e apropriação de áreas alagadas para aumentar a produção agrícola, não há dúvida que os efeitos negativos de remoção destas áreas alagadas são muito mais acentuados, pois atingem vários serviços ambientais simultaneamente; de especial importância quantitativa e qualitativa é a perda da capacidade tampão destes ecossistemas de transição e seu papel regulador e controlador do ciclo hidrológico e dos ciclos biogeoquímicos. (Patten et al. 1992a, b, Mitsch & Jorgensen 2004, Straskraba & Tundisi 2008).

3.1. Os custos econômicos do desmatamento e da remoção das áreas alagadas

O desmatamento e a remoção das áreas alagadas causam perdas econômicas relevantes quantificadas pelo valor dos serviços ambientais proporcionados pelas florestas ripárias e mosaicos de vegetação e nas áreas alagadas. O conjunto de serviços ambientais destes ecossistemas pode ser avaliado pelos benefícios relativos aos valores de conservação, valores sociais relacionados com os usos atuais e potenciais (por exemplo, a relevância destes serviços para a saúde humana); valores de consumo relacionados com os usos diretos do capital natural; fixação de carbono e, portanto, capacidade de retirar gases de efeito estufa para a atmosfera; conservação da biodiversidade

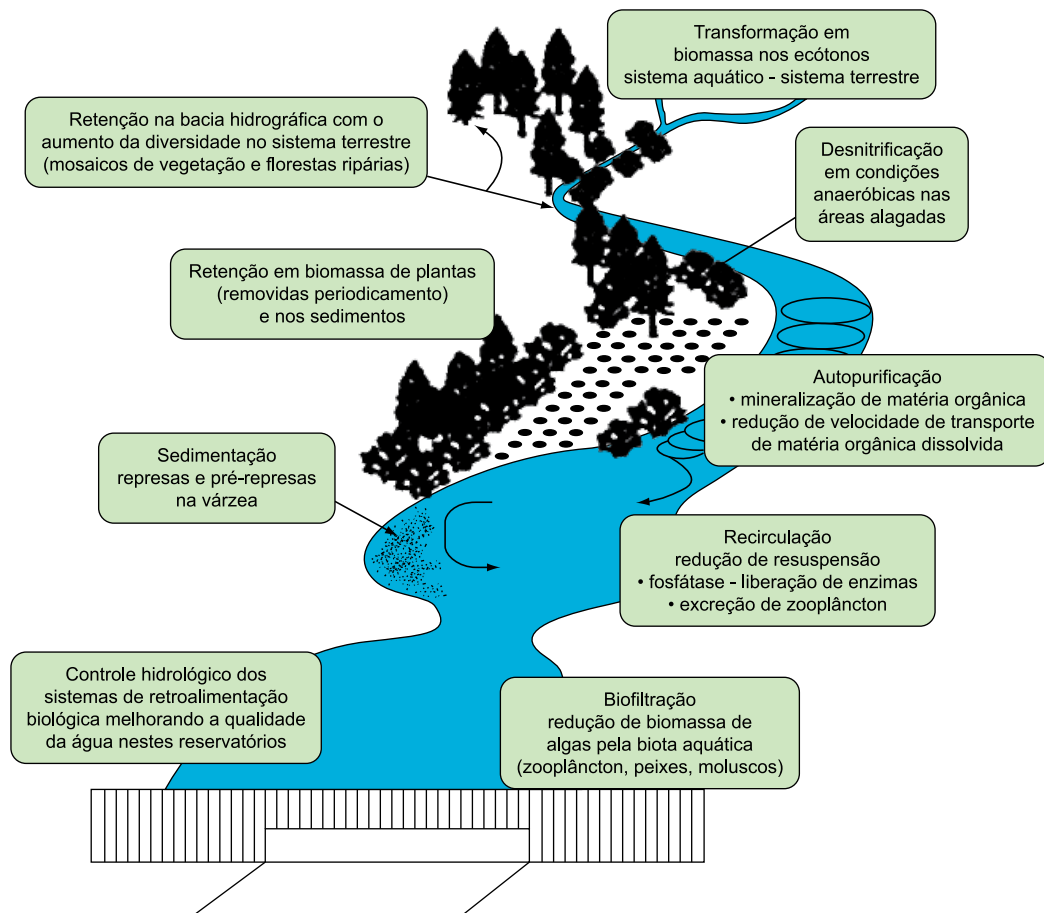


Figura 10. Modelo integrado de gestão de uma bacia hidrográfica com utilização de técnicas de ecoidrologia, controle hidrológico e aumento de sedimentação em regiões selecionadas. Quanto maior o número de ciclos, maior é o retardamento biogeoquímico e maior a capacidade de biofiltração e controle. Modificado de Zalewski (2000).

Figure 10. Integrated model management model of a river basin using techniques of ecoidrologia, hydrological control and increased sedimentation in selected regions. The greater the number of cycles, the greater the biogeochemical delay and greater the capacity of biofiltration and control. Modified from Zalewski (2000).

e capacidade de manter o processo evolutivo nos ecossistemas ripários e áreas alagadas (valores de existência e capacidade de duplicação e reprodução do material genético). De importância mais imediata é a capacidade de manter o ciclo hidrológico, a qualidade da água e repor por evapotranspiração a quantidade de água para a atmosfera e promover a recarga dos aquíferos. A Figura 9 sintetiza funções da vegetação ripária e sua interferência nos ciclos hidrológico e biogeoquímico.

Outra perda econômica muito significativa e imediata é o aumento no custo de tratamento de água dos mananciais que pode chegar a 20 ou 30 vezes mais por metro cúbico, dependendo da degradação dos mananciais e seu estado (Tundisi & Matsumura Tundisi 2010, no prelo).

Conclusões

A vegetação tem um papel crucial na regulação dos ciclos biológicos e biogeoquímicos nas bacias hidrográficas. O fluxo de água e nutrientes nas interfaces vegetação/solo/ água superficial/água subterrânea é vital para a manutenção sustentável dos ecossistemas naturais.

A estrutura de vegetação altera a energia potencial, reduz a erosão e altera a química da água de superfície e a química da água subterrânea.

A remoção da vegetação aumenta o transporte de sólidos em suspensão, aumenta a condutividade e degrada mananciais, aumentando os custos do tratamento da água para abastecimento.

Áreas alagadas são fundamentais como sistema tampão para controle de enchentes, redução de fósforo e nitrogênio, redução de metais pesados e toxinas de cianobactérias.

Áreas alagadas e florestas ripárias tem capacidade tampão reduzindo a poluição do ar, do solo e da água, proporcionando serviços ambientais de alto valor ecológico, econômico e social no controle dos processos naturais e funcionamento dos ecossistemas.

A valoração econômica destes serviços é fundamental importância para a implantação de projetos de economias verdes dando ênfase à conservação e superação destas estruturas de vegetação e áreas alagadas.

A preservação de florestas ripárias, mosaicos de vegetação e de áreas alagadas é de fundamental importância na gestão de bacias hidrográficas, contribuindo para a estabilidade dos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos e dando condições de sustentabilidade à agricultura. Remoção de vegetação e áreas alagadas para aumento de área agrícola comprometerá no futuro a reposição de água nos aquíferos, a qualidade de água superficial e subterrânea com custos econômicos, perda de solo, ameaças à saúde humana e degradação dos mananciais exigindo sistemas de tratamento mais sofisticados e de custo mais elevado em contraposição ao papel regulador dos ciclos naturais realizado pelas florestas e áreas alagadas. Sua remoção a curto prazo causará danos irreversíveis à quantidade e qualidade da água nas bacias hidrográficas e comprometerá a saúde humana e a produção de alimentos (Likens 1992).

A Figura 10, apresenta um modelo integrado de gestão de bacias hidrográficas utilizando-se técnicas de controle e os sistemas reguladores naturais possibilitando a regulação de fluxos e produção sustentável de biomassa sem remoção de estruturas e interferência excessiva nos processos.

Agradecimentos

Ao Programa Biota FAPESP pelo apoio. Contribuição do INCT (Instituto Acqua), INST, Nacional de Biodiversidade, Recursos Hídricos e Mineração.

Referências Bibliográficas

- AB'SABER A.N. 2001. O suporte geo-ecológico das florestas beiradeiras (ciliares). In Matas ciliares (R.R. Rodrigues & H. F. Leitão Filho). Conservação e recuperação. Edusp: FAPESP, p.15-25.
- ABE, D. S., MATSUMURA-TUNDISI, T., ROCHA, O. & TUNDISI, J.G. 2003. Denitrification and bacterial community structure in the cascade of six reservoirs on a tropical River in Brazil. *Hydrobiologia*, Baarn, Holanda, v.504.
- BORMANN, F.H. & LIKENS, G. E. 1979. Pattern and process in a forested ecosystem. Springer, New York, 253p.
- COSTANZA, R., d'ARGE, R., GROOT, R., FARBERK, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O'NEIL, R.V., PARUELO, J., RASKIN, R.G., SUTTONKK, P. & van den BEL, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- INSTITUTO INTERNACIONAL DE ECOLOGIA E GERENCIAMENTO AMBIENTAL – IIEGA, SECRETARIA DO VERDE E MEIO AMBIENTE – SVMA & PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO – PMSP. 2009. Manual de Gerenciamento de bacias hidrográficas. 134p.
- LIKENS, G. E. 1992. The ecosystem approach: its use and abuse. *Excellence in Ecology*. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe, Germany, v.3, 167p.
- LINKENS, G.E., BORMAN, F.H., JOHNSON, N.M., FISHER, D.W., PIERCE, R.S. 1970. Effects of Forest cut and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard-Brook watershed ecosystems. *Ecol. Manogr.* v. 40, n. 1. pp. 23-77.
- LIKENS, G.E. & BORMANN, F.H. 1974. Linkages between terrestrial and aquatic ecosystems. *BioScience*. v. 24, n. 8, pp. 447-56.
- LIKENS, G.E., HEDIN, L.O., BUTLER, T.J. 1990a. Some long term precipitation chemistry patterns of the Hubbard Brook Experimental Forest: extremes and averages. *Verh. Internat. Verein. Limol.* v. 24, n. 1. pp. 128-135.
- MASWELL, J. & CONSTANZA, R. 1989. An ecological, economics for ecological engineering. In *Ecological Engineering* (W. Mitsch & S.E. Jorgensen, eds.), p. 57-77.
- MATHEUS, C.E. & TUNDISI, J.G. 1988. Estudo físico químico e ecológico dos rios da bacia hidrográfica do Ribeirão e represa do Lobo. In *Limnologia e Ecologia de Represas*. (J.G. Tundisi, ed.). ACIESP; FAPESP; CNPq; UNEP; UNCRD, v.1, tomo 1, p.419-472. Série Monografias em Limnologia.
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT – MEA.. 2003. Ecosystems and human well bieng: a framework for assessment. Island Press, 245p.
- MITSCH W. & JORGENSEN, S.E. (eds.). 1989. *Ecological Engineering*. John Wiley & Sons, 472p.
- MITSCH, W.J. & JORGENSEN, S.E. 2004. *Ecological Engineering, and Ecosystem Restoration*. John Wiely & Sons, Hoboken, NY.
- MITSCH, W.J. & GROSSELINK, J.G. 2007. *Wetlands*. John Wiley & Sons, 582p.
- PATTEN, B.C., JORGENSEN, S.E., DUMONT, H., GOPAL, B., KVET, J., SVIREZHEV, Y., KORYACOV, P., LÖFLER, H. & TUNDISI, J.G. (eds.). 1992a. *Wetlands and shallow continental water bodies*. National and human relationships. SPB Academic Publishing, The Hague, Netherlands, v.1, 759p.
- PATTEN, B.C., JORGENSEN, S.E., DUMONT, H., GOPAL, B., KVET, J., SVIREZHEV, Y., KORYAVOV, P., LÖFLER, H. & TUNDISI, J.G. (eds.). 1992b. *Wetlands and shallow continental water bodies*. Case studies. SPB Academic Publishing, The Hague, Netherlands, v.2, 731p.
- PAULA LIMA W. & ZAKIA, M.J.B. 2001. Hidrobiologia de matas ciliares. In *Matas ciliares conservação e recuperação* (R.R. Rodrigues & H. F. Leitão Filho, eds.). Edusp; FAPESP, São Paulo, p33-44.
- RODRIGUES, R.R. & LEITÃO FILHO, H.F. (eds). 2001 *Matas ciliares: conservação e recuperação*. 2ª ed. EDUSP; FAPESP, São Paulo, 320p.

- STRASKRABA, M. & TUNDISI, J.G. 2008. Diretrizes para o gerenciamento de lagos. Gerenciamento da qualidade da água de represas. 2ª ed. ILEC/ IIE, v.9, 300p.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (Estado de São Paulo) & Banco Mundial. 2010. Estudos comparados em dez microbacias do Estado de São Paulo com a finalidade de implementar metodologias de conservação. IIEGA, 150p. 1º relatório.
- SORANO, P.A., WEBSTER, K.E., CHERUVELIL, K.S. & BREMIGAN, M.T. 2009. The lake landscape – context framework: linking aquatic connections, terrestrial features and human effects at multiple spatial scale. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, v.30, part 5, p. 695-700.
- TUCCI C. & MENDES, A.C. 2006. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. MMA; PNUD, 311p.
- TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 2008. *Limnologia*. Oficina de Textos, 632p.
- TUNDISI, J.G. & MATSUMURA-TUNDISI, T. 2010. Recursos hídricos no século 21. Oficina de Textos, (no prelo).
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP & UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION – UNESCO. 2004. Integrated watershed Management. *Ecohydrology & Phytotechnology Manual*. CHS, ICE, Poland. 246p.
- VITOUSEK, P.M., GOSZ, J.R., GRIES, C.C., MELILLO, J.M., RANERS, W.A., TODD, R.L. 1979. Nitrate loss from disturbed ecosystems. *Science* v. 204, pp. 469-474.
- ZALEWSKI, M. 2007. Ecohydrology in the face of the Anthropocene. v.7, n.2, p.99-100.
- ZALEWSKI, M. 2000. Ecohydrology-the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. *Guest Editorial, Ecological Engineering* 16:1-8.
- ZALEWSKI, M., BIS, B., FRANKIEWICZ, P., LAPINSKIA, M., PULCHALSKI, W. 2001. Riparian ecotone as a key factor for stream restoration. *Ecohydrology & Hydrobiology* 1(1-2) pp. 245-251.

Recebido em 28/10/2010

Versão reformulada recebida em 03/10/2010

Publicado em 05/11/2010

