

Jequitibá, como discussões em um contexto macro, sobre gestão de bacias hidrográficas e serviços ambientais.

As especificidades do tema, tratadas nas palestras, estão resumidas nos capítulos.

## Palestras

### Serviços Ambientais: introdução ao tema

*Mônica Matoso Campanha, João Herbert Moreira Viana*

#### Conceito e Classificação

A compreensão de que o homem depende de processos da natureza não é nova. Mas com o desenvolvimento das sociedades e o crescimento da população, tem aumentado a necessidade de se produzir mais e com isso a exploração da natureza avançou em condições preocupantes para a limitação do uso dos recursos naturais.

O conceito de serviços ambientais (SA) ou serviços ecossistêmicos (SE), como “os benefícios que as pessoas obtêm da natureza, direta ou indiretamente, através dos ecossistemas” foi inicialmente definido pela “Avaliação Ecosistêmica do Milênio” (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Esta iniciativa, que reuniu a comunidade científica mundial entre 2001 e 2005, definiu os conceitos, dividiu os SA em quatro categorias e avaliou as consequências da mudança nos ecossistemas para o bem-estar humano.

Alguns autores separam o termo “serviços ecossistêmicos”, sendo aqueles serviços prestados pelos ecossistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), ou seja, a natureza trabalha (presta serviços) para a manutenção da vida e de seus processos, de “serviços ambientais”, quando a ação antrópica pode favorecer a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços prestados pelos ecossistemas (Muradian et al., 2010), como na condução de manejo conservacionista de solo e água, práticas de restauração florestal, entre outras. Entretanto, ambos os conceitos ajudaram a melhorar a discussão da relação homem-meio ambiente na medida que reconhece a contribuição da natureza e os seus serviços e identifica as interdependências entre os atores envolvidos, suas atividades e seus impactos no meio ambiente. O conceito de serviços ecossistêmicos (ES) se tornou importante, pois destaca as formas como as pessoas e a natureza estão conectadas (Potschin; Haines-Young, 2017).

As categorias dos SA estabelecidas pela Avaliação Ecosistêmica do Milênio são: Suporte, Provisão, Regulação e Cultural (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; De Groot et al., 2017).

**Serviços de Provisão** - Essa categoria engloba todos os materiais providos pelos ecossistemas, sejam alimentos (frutos, raízes, animais, mel, vegetais); fibras, como algodão; matérias-primas para construção e combustível (madeira, biomassa); água potável; recursos genéticos e medicinais, ornamentais.

**Serviço de Regulação** - Relacionam-se às características regulatórias dos processos ecossistêmicos, como a manutenção da qualidade do ar, a regulação climática, o controle de erosão, a purificação e regulação do fluxo de água, a autodepuração da água (processo de degradação de nutrientes contidos nos corpos hídricos em função de fontes de poluição, geralmente esgotos), a regulação de pragas na agricultura, a polinização e a mitigação de danos naturais.

**Serviços Culturais** - Representam os benefícios não materiais que os ecossistemas oferecem, como as atividades de recreação, física ou mental, o turismo ecológico, os estudos sobre os processos naturais, a apreciação da natureza, e o enriquecimento espiritual.

**Serviços de Suporte** - Esses serviços ecossistêmicos são necessários para que os outros serviços existam; de maneira indireta e em longo prazo eles correspondem à formação de solo, ciclagem de nutrientes, produção de oxigênio, ciclo da água, e habitats para os seres vivos. Também englobam a variedade genética que é responsável pela biodiversidade de espécies em um local.

### **Serviços ambientais prestados pelas áreas naturais de florestas e pela agricultura**

A disposição da vegetação e a estrutura dos ecossistemas originais foram modificadas tanto pela agricultura (incluindo aqui atividades agrícola, pecuária e florestal) como pelo estabelecimento de áreas urbanas, que provocaram o redesenho de paisagens, posicionando remanescentes de ecossistemas naturais não manejados intercalados entre um mosaico de usos da terras, onde margeiam, principalmente, as terras agrícolas (Power, 2010). A conversão dos ecossistemas naturais para a agricultura impacta a capacidade dos sistemas naturais, como as florestas, de produzir importantes serviços ecossistêmicos, podendo afetar a qualidade e a quantidade de SE que estes ecossistemas podem fornecer (Stallman, 2011).

A agricultura depende, para seu desempenho, de inúmeros serviços ambientais, que geralmente não são percebidos pela sociedade. Tais serviços ambientais podem tanto ser fornecidos pelas áreas naturais não antropizadas que circundam os agroecossistemas, como serem favorecidos pelo manejo das atividades no meio rural (Power, 2010). Os agroecossistemas (ou a agricultura) são considerados tanto consumidores como fornecedores de serviços ambientais (Swinton et al., 2007; Turetta et al., 2016). Neste sentido, a estrutura espacial da paisagem influencia fortemente a magnitude destes serviços ecológicos para os ecossistemas agrícolas. Daí a importância da gestão integrada de Bacias Hidrográficas.

Alguns serviços ambientais são essenciais para a produção ou substituem ou reduzem a quantidade de insumos necessários na agricultura (Power, 2010; Wiggering et al., 2016). As disponibilidades de recursos genéticos e água doce são os serviços ecossistêmicos de provisão principalmente usufruídos pela agricultura. A polinização e o controle biológico são importantes serviços ecossistêmicos de regulação que são fornecidos por áreas naturais em paisagens agrícolas. Estas áreas fornecem habitat e alimento para diversos animais, principalmente insetos, que se movem para os agroecossistemas (Tscharntke et al., 2005).

Áreas preservadas de ecossistemas naturais também podem purificar a água e regular seu fluxo, fornecendo água em quantidade e qualidade para o crescimento das plantas e produção animal e consumo humano (Power, 2010; Wiggering et al., 2016). A vegetação perene em ecossistemas naturais como as florestas pode regular a captura, a infiltração, a retenção e o fluxo de água pela paisagem (Power, 2010). A disponibilidade de água nos agroecossistemas depende não apenas da infiltração e do fluxo, mas também da retenção de umidade do solo. O armazenamento de água no solo é regulado pela cobertura vegetal, características do solo, como a presença de matéria orgânica do solo e a comunidade biótica do solo (bactérias, fungos, minhocas, etc.). A prevenção da erosão pode ser feita pela arquitetura das plantas na superfície do solo ou abaixo dele e pela cobertura do solo, que nas matas é composta principalmente pela serrapilheira e na agricultura é constituída pelas plantas de interesse cultivadas. O favorecimento da infiltração da água da chuvas

assim como o controle da erosão também podem acontecer em ambientes produtivos, na medida que se adotem práticas agrícolas que favoreçam estes processos (Turetta et al., 2016).

Na agricultura, cujo principal objetivo é a obtenção de renda com a produção, seja vegetal ou animal, os serviços de provisão de alimentos, fibras e madeira são os mais característicos e perceptíveis (Robertson et al., 2014; Wiggering et al., 2016). Entretanto, o gerenciamento apropriado das práticas de manejo agrícola na propriedade rural pode melhorar a capacidade dos agroecossistemas de fornecer uma ampla gama de serviços ecossistêmicos (Power, 2010; Stallman, 2011).

Manutenção da fertilidade do solo (Zhang et al., 2007); prevenção e controle da erosão contribuindo para a regulação do fluxo de água (Robertson et al., 2014); apoio à regulação climática, com sequestro de carbono (Turetta et al., 2016); além de controle biológico (Dale; Polasky, 2007), estão entre os serviços de regulação que podem ser fornecidos pela agricultura. A gestão de habitats dentro do agroecossistema também pode fornecer os recursos necessários para polinizadores ou inimigos naturais (Swinton et al., 2007; Tschardt et al., 2005; Robertson et al., 2014).

As práticas de manejo na agricultura também influenciam o potencial de “desserviços” da agricultura, quando indicam a ocorrência de processos prejudiciais à natureza (Zhang et al., 2007). Estas práticas podem incluir a perda de habitat para conservação da biodiversidade pelo desmatamento; perda de nutrientes, sedimentação de cursos d’água causados pelo favorecimento à erosão principalmente em áreas declivosas; contaminação do solo, da água e de pessoas com pesticidas e fertilizantes e emissões de gases de efeito estufa (Power, 2010). No entanto, o gerenciamento adequado pode melhorar muitos dos impactos negativos da agricultura, enquanto oferece a produção agropecuária.

## **Serviços Ambientais Hídricos**

Os serviços ambientais hídricos estão relacionados aos componentes do ciclo hidrológico, especialmente aqueles que podem ser diretamente afetados pelas atividades humanas. Destacam-se aqui os sistemas solo/saprolito e os sistemas de aquíferos, também denominados “Critical zone” (Field et al., 2015), conjunto responsável pela regulação dos fluxos e de qualidade da água nos ecossistemas terrestres. Por conseguinte, são responsáveis por serviços de provisão (água potável), regulação (fluxos hídricos, controle de erosão, purificação e regulação do fluxo de água, autodepuração da água), culturais (atividades de recreação, turismo ecológico) e suporte (ciclagem de nutrientes, ciclo da água), conforme vários autores (Finvers, 2008; Dominati et al., 2010, 2014; Thomsen et al., 2012; Prado et al., 2016).

O solo é parte integral do ciclo hidrológico, sendo a porção física responsável pela partição das águas da precipitação. A água precipitada pode retornar diretamente à atmosfera ao se evaporar da superfície do solo ou por via da evapotranspiração das plantas. Pode também se infiltrar no solo ou escorrer, gerando os fluxos superficiais que se dirigem aos talwegues. O solo funciona como sistema tampão, controlando a quantidade de escoamento superficial e mitigando o efeito das enchentes (Finvers, 2008; Dominati et al., 2010; Thomsen et al., 2012). Ao se infiltrar, parte desta água pode ser retornada à superfície pelas raízes das plantas, parte vai ficar retida de forma transiente nos poros do solo e parte vai continuar a se deslocar até atingir a superfície freática. Assim, a água pode continuar a percolar verticalmente até atingir os lençóis subterrâneos, ou se mover lateralmente até pontos de surgência, passando novamente a fluir na superfície (Watanabe; Ortega, 2011; Prado et al., 2016).

Ao se infiltrar e ao percolar o solo e a porção intemperizada das rochas, a água interage com as matrizes mineral e orgânica deles, sofrendo alterações físico-químicas em sua composição.

Nesse processo, podem ocorrer a adsorção e a retenção de elementos químicos diversos que são carregados pela água, como colóides e íons em solução. Assim, o solo exerce a função de regulação da qualidade de água, tanto superficial como subterrânea (Dominati et al., 2010; Thomsen et al., 2012; Dominati et al., 2014).

Em condições naturais, estes processos são dependentes de características intrínsecas daqueles componentes, como a condutividade hidráulica, a capacidade de retenção de água e a capacidade de sorção e de liberação de elementos químicos pela matriz porosa. Assim, a provisão de serviços é limitada por essa condição natural, e em geral é bastante restrita a capacidade técnica de se incrementar esses serviços no conjunto dos sistemas. Um ponto importante está relacionado à capacidade de retenção e purificação da água pelo conjunto solo/saprolito, que é limitada e pode ser ultrapassada por sobrecarga com fontes de poluição pontuais, como esgotos ou vazamentos industriais (Finvers, 2008; Dominati et al., 2010, 2014; Thomsen et al., 2012).

No entanto, uma parte essencial do processo é muito suscetível de alterações por atividades humanas, aquela relacionada à superfície do solo. Esta é justamente a interface responsável pela partição entre as águas que infiltram e as que escorrem superficialmente, e onde alterações no uso e manejo podem alterar o comportamento em relação à condição natural. Parte considerável dos projetos de pagamentos por serviços ambientais está direcionada a ações que visam manter ou recuperar perdas em serviços ambientais relacionados à infiltração e recarga de água (Power, 2010), especialmente em áreas rurais, como o Programa “Produtor de água”, da ANA (Chaves et al., 2004).

## Referências

- BURKHARD, B.; MAES, J. (Ed.). **Mapping ecosystem services**. Sofia: Pensoft Publishers, 2017. 374 p. (Advanced Books, v. 1).
- CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 36, p. 26-43, 2014.
- CHAVES, H. M. L.; BRAGA, B.; DOMINGUES, A. F.; SANTOS, D. Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do Programa do Produtor de Água (ANA): teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 9, n. 3, p. 5-14, 2004.
- DAILY, G. C. (Ed.). **Nature's services: societal dependence on natural ecosystems**. Washington, DC: Island Press, 1997.
- DALE, V. H.; POLASKY, S. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. **Ecological Economics**, v. 64, n. 2, p. 286-296, 2007.
- DE GROOT, R. S.; BRAAT, L.; COSTANZA, R. A short history of the ecosystem services concept. In: BURKHARD, B.; MAES, J. (Ed.). **Mapping ecosystem services**. Sofia: Pensoft Publishers, 2017. p. 31-34. Disponível em: <<https://ab.pensoft.net/article/12837/>>. Acesso em: 8 abr. 2019.
- DOMINATI, E.; MACKAY, A.; GREEN, S.; PATTERSON, M. A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: a case study of pastoral agriculture in New Zealand. **Ecological Economics**, v. 100, p. 119-129, 2014.
- DOMINATI, E.; PATTERSON, M.; MACKAY, A. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. **Ecological Economics**, v. 69, p. 1858-1868, 2010.

FERNANDES, M. R. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**: fundamentos e aplicações. Belo Horizonte: Sociedade Mineira de Engenheiros Agrônomos, 2010. 232 p.

FIELD, J. P.; BRESHEARS, D. D.; LAW, D. J.; VILLEGAS, J. C.; LÓPEZ-HOFFMAN, L.; BROOKS, P. D.; CHOROVER, J.; BARRON-GAFFORD, G. A.; GALLERY, R. E.; LITVAK, M. E.; LYBRAND, R. A.; MCINTOSH, J. C.; MEIXNER, T.; NIU, G.-Y.; PAPUGA, S. A.; PELLETIER, J. D.; RASMUSSEN, C. R.; TROCH, P. A. Critical zone services: expanding context, constraints, and currency beyond ecosystem services. **Vadose Zone Journal**, v. 14, n. 1, v. 14, n. 1, vzj2014.10.0142, 2015.

FINVERS, M. A. **Application of e2DPSIR for analysis of soil protection issues and an assessment of British Columbia's soil protection legislation**. 2008. 303 f. Thesis (Master of Science) - Cranfield University, Bedford, 2008.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being**: synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005. 137 p. Disponível em: <<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2019.

MURADIAN, R.; CORBERA, E.; PASCUAL, U.; KOSOY, N.; MAY, P. H. Reconciling theory and practice: an alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 1202-1208, 2010.

POTSCHIN, M.; HAINES-YOUNG, R. From nature to society. In: BURKHARD, B.; MAES, J. (Ed.). **Mapping ecosystem services**. Sofia: Pensoft Publishers, 2017. p. 36-43. Disponível em: <<https://ab.pensoft.net/article/12837/>>. Acesso em: 8 abr. 2019.

POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of The Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2959-2971, 2010.

PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; MONTEIRO, J. M. G.; SCHULER, A. E.; VEZZANI, F. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, A. P. de; VIANA, J. H. M.; PEDREIRA, B. da C. C. G.; MENDES, I. de C.; REATTO, A.; PARRON, L. M.; CLEMENTE, E. de P.; DONAGEMMA, G. K.; TURETTA, A. P. D.; SIMÕES, M. Current overview and potential applications of the soil ecosystem services approach in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1021-1038, set. 2016.

ROBERTSON, G. P.; GROSS, K. L.; HAMILTON, S. K.; LANDIS, D. A.; SCHMIDT, T. M.; SNAPP, S. S.; SWINTON, S. M. Farming for ecosystem services: an ecological approach to production agriculture. **BioScience**, v. 64, n. 5, p. 404-415, 2014.

STALLMAN, H. R. Ecosystem services in agriculture: determining suitability for provision by collective management. **Ecological Economics**, v. 71, p. 131-139, 2011.

SWINTON, S. M.; LUPI, F.; ROBERTSON, G. P.; HAMILTON, S. K. **Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits**. **Ecological Economics**, v. 64, n. 2, p. 245-252, 2007.

THOMSEN, M.; FABER, J. H.; SORENSEN, P. B. Soil ecosystem health and services: evaluation of ecological indicators susceptible to chemical stressors. **Ecological Indicators**, v. 16, p. 67-75, 2012.

TSCHARNTKE, T.; KLEIN, A. M.; KRUESS, A.; STEFFAN-DEWENTER, I.; THIES, C. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity: ecosystem service management. **Ecological Letters**, v. 8, n. 8, p. 857-874, 2005.

TURETTA, A. P. D.; TONUCCI, R.; MATTOS, L. M. de; AMARO, G.; BALIEIRO, F. de C.; PRADO, R. B.; SOUZA, H. A. de; OLIVEIRA, A. P. de. An approach to assess the potential of agroecosystems in providing environmental services. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1051-1060, 2016.

WATANABE, M. D. B.; ORTEGA, E. Ecosystem services and biogeochemical cycles on a global scale: valuation of water, carbon and nitrogen processes. **Environmental Science & Policy**, v. 14, n 6, p. 594-604, 2011.

WIGGERING, H.; WEIßHUNN, P.; BURKHARD, B. Agrosystem services: an additional terminology to better understand ecosystem services delivered by agriculture. **Landscape**, v. 49, n. 1, p. 1-15, 2016.

ZHANG, W.; RICKETTS, T. H.; KREMEN, C.; CARNEY, K.; SWINTON, S. M. Ecosystem services and dis-services to agriculture. **Ecological Economics**, v. 64, n. 2, p. 253-260, 2007.

## **Indicadores de qualidade de sub-bacias hidrográficas que se relacionam com a gestão de bacias para prover e valorar serviços ambientais**

*Thomaz Correa e Castro da Costa*

### **Introdução**

Microbacias são compartimentos geográficos apropriados para medir serviços ambientais relacionados ao recurso hídrico para avaliar a produção de água em qualidade e quantidade, por meio do monitoramento hidrológico. Além da geomorfologia que determina as características da microbacia, a cobertura vegetal, a produção agropecuária e a ocupação urbana interferem nesse processo. Outros serviços ambientais, relacionados a cobertura vegetal, podem ser mensurados e também integrados em microbacias.

As características geomorfológicas que definem formas de bacias, permeabilidade, energia cinética da água no terreno e interligação de fluxos hídricos podem ser parametrizadas por meio de indicadores, que são variáveis mensuráveis. Essas variáveis representam indiretamente o efeito dos fatores que podem auxiliar na gestão de bacias, tanto para criar metodologias de valoração de SAs como para executar medidas que otimizem estes serviços.

Dentre os indicadores que caracterizam microbacias, tem-se a Densidade de Drenagem (DD) (km/ha), que se distribui de forma agregada. Quanto maior a DD, maior o risco de processos erosivos. Ou seja, para garantir a produção de água em microbacias com DD alta, deveria ser exigida maior proteção em relação a cobertura vegetal, conservação do solo, e restrições a ocupação urbana, por exemplo, que poderia inclusive, sobrepujar os parâmetros estabelecidos pelo código florestal, referentes a reserva legal e áreas de preservação permanente. Na Figura 1 abaixo é dado um exemplo da distribuição da DD no Estado do Rio de Janeiro. Regiões da Serra do Mar e da Mantiqueira são as que apresentam maiores DD.