

ENSINO, SAÚDE E AMBIENTE

Serviços ecossistêmicos e a água: uma abordagem para o ensino superior

Ecosystem services and water: higher education approach

Servicios ecosistémicos y agua: un enfoque para la enseñanza superior

Carla Daniela Câmara;¹ * Eduardo Borges Lied;¹ Maria do Carmo Calijuri² 

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, PR, Brasil

² Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil

Palavras-chave:

serviços hidrológicos;
engenharia ambiental;
diretrizes curriculares;
serviços ecossistêmicos;
estratégias de ensino.

Resumo: Os conceitos de serviços ecossistêmicos (SE) podem oferecer uma abordagem valiosa para fundamentar argumentos em torno da tomada de decisão na gestão dos problemas ambientais. Apesar do crescente interesse pelo tema, a inserção desses conceitos para o ensino superior tem sido escassa pela falta de percepção da importância desses conteúdos para a formação de engenheiros. O objetivo deste trabalho foi pesquisar junto aos projetos pedagógicos dos cursos de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, a forma como os currículos contemplam os conteúdos relacionados aos SE associados à água. O levantamento identificou 35 unidades curriculares afetas ao tema. A partir disso, utilizando referências da literatura especializada, foram sugeridas abordagens que auxiliam o docente na inserção dos SE na estrutura dos conteúdos identificados, por meio de uma visão mais integrada na formação de engenheiros. Paralelamente, a abordagem proposta vem ao encontro dos objetivos das novas diretrizes curriculares nacionais para os cursos de engenharia.

Keywords:

hydrological services;
environmental
engineering; curriculum
guidelines; ecosystem
services; teaching
strategies.

Abstract: Ecosystem service (ES) concepts can provide valuable approaches to substantiate arguments focused on decision-making in management processes set for environmental issues. Despite the growing interest in this topic, the introduction of these concepts in higher education remains incipient due to lack of perception about the important role played by these contents in engineers' training. The aim of the current study is to investigate the way discipline matrices address contents focused on ESs associated with water, along with pedagogical projects of Environmental Engineering courses at Federal Technological University of Paraná - UTFPR. The herein conducted survey identified 35 didactic units associated with this topic. In light of the foregoing, approaches to help professors to introduce ES in the structure of the identified contents were herein suggested based on references available in the specialized literature, by taking into consideration a more integrated perspective about engineers' training. Furthermore, the herein proposed approach met the aims of the new national curriculum guidelines for engineering courses.

* Endereço para correspondência: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. Avenida Brasil, 4232 - Parque Independência, Medianeira, PR - Brasil. CEP: 85884000. E-mails: camara@utfpr.edu.br, eduardolied@utfpr.edu.br, calijuri@sc.usp.br



Palabras clave: servicios hidrológicos; ingeniería ambiental; directrices curriculares; servicios de los ecosistemas; estrategias didácticas.

Resumen: Los conceptos de servicios ecosistémicos (SE) pueden ofrecer un enfoque valioso para apoyar argumentos en torno a la toma de decisiones en la gestión de problemas ambientales. A pesar del creciente interés en el tema, la inclusión de estos conceptos en la educación superior ha sido escasa debido a la falta de conciencia de la importancia de este contenido para la formación de ingenieros. El objetivo de este estudio fue analizar los proyectos pedagógicos de los cursos de Ingeniería Ambiental de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná (UTFPR) para conocer la forma en que los currículos incluyen contenidos relacionados con la SE asociada al agua. El estudio identificó 35 unidades curriculares sobre el tema. A partir de ahí, utilizando referencias de la literatura especializada, se sugirieron abordajes para ayudar a los profesores a incluir la SE en la estructura de los contenidos identificados, por medio de una visión más integrada en la formación de ingenieros. Al mismo tiempo, el enfoque propuesto responde a los objetivos de las nuevas directrices curriculares nacionales para los programas de ingeniería.

Introdução

A discussão sobre a importância dos ecossistemas para o suporte e manutenção da sociedade humana teve início no final da década de 1960 (Ferraz *et al.*, 2019), mas no Brasil ainda há uma lacuna entre o conhecimento sobre o tema e a sua incorporação na gestão dos recursos naturais. Dentre os exemplos dessa falta de conexão entre o conhecimento e a gestão, podemos citar a mudança no código florestal em 2012, que permitiu a redução da extensão das áreas de preservação permanente a serem restauradas nas adjacências dos corpos d'água, evidenciando a restrita influência do conhecimento científico na legislação ambiental do país (Dala-Corte *et al.* 2020). Essa alteração implica diretamente sobre a qualidade e a quantidade de água disponível para abastecimento das populações. No entanto, a percepção sobre tais serviços ainda é reduzida. Lima e Bastos (2019) concluíram que essa percepção exige conhecimentos científicos para serem compreendidos, e que a educação formal é um fator importante para fomentar essa percepção.

Desses fatos observa-se a necessidade de iniciativas que contribuam para inserção do conceito de SE no dia-a-dia dos cidadãos, para que sejam capazes de identificar a relação entre os SE e a provisão de produtos essenciais no cotidiano, como a água. Adicionalmente, o reconhecimento da necessidade de implementação do conhecimento sobre os SE no cumprimento da Agenda 2030, contemplando a busca pelo alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), constitui um argumento contemporâneo para a capilarização deste conhecimento, atingindo as diferentes áreas da gestão dos recursos naturais. De acordo com Kronemberger (2019) a Agenda 2030 “abrange temas ligados às dimensões ambiental, social, econômica e institucional do desenvolvimento sustentável”. Os 17 ODS constituem uma agenda mundial para a elaboração e a implementação de políticas públicas que tem como objetivo guiar a humanidade até 2030. Entre eles podemos citar alguns que apresentam aderência aos SE hidrológicos, podendo ser potencializados pela sua provisão: Fome zero e agricultura sustentável, Saúde e bem-estar, Água potável e saneamento, Cidades e comunidades sustentáveis, Ação contra a mudança global do clima,

Vida na água, Vida terrestre. Um dos caminhos para essa inserção pode ser por meio da atuação dos profissionais da área ambiental, que trabalham em diferentes setores da sociedade. Dentre eles, existe um potencial significativo para os engenheiros ambientais.

Para refletir sobre a capacitação de tais profissionais nessa difusão, vale destacar os resultados da pesquisa realizada por Parron *et al.* (2019), com o objetivo de identificar disciplinas que abordassem os conteúdos “serviços ecossistêmicos” ou “serviços ambientais” em instituições de ensino superior no Brasil. Nas 51 instituições públicas que fizeram parte do estudo, a pesquisa apontou 93 disciplinas nas quais os referidos temas são contemplados. Os cursos de graduação que ofertaram a maior parte delas foram Gestão Ambiental (14 disciplinas); Engenharia Ambiental (13); Ciências Biológicas (12) e Engenharia Florestal (11). Em relação à localização dessas instituições, 17 estavam no Sudeste, oferecendo 34 das disciplinas identificadas, 14 no Nordeste contemplando 27 delas, nove no Sul com 15 disciplinas, oito no Norte com 10 disciplinas e três no Centro Oeste, ofertando sete delas.

Concentrados principalmente nas áreas de domínio da Mata Atlântica, os serviços majoritariamente abordados pelos estudos Parron *et al.* (2019) compreenderam: comprometimento das funções da biodiversidade nos ecossistemas, sequestro de carbono e suas implicações em termos do clima e, por último, a água.

A água é um recurso cuja disponibilidade apresenta estreita ligação com os ecossistemas naturais, notadamente as florestas. Nesse sentido, a gestão integrada floresta-água constitui uma poderosa estratégia para garantir os serviços ecossistêmicos que viabilizam sua provisão, tanto em termos de regularidade nas vazões dos rios como na qualidade da água. Os processos que garantem a provisão desses serviços são descritos a seguir.

A interceptação é o primeiro processo pelo qual a água da chuva passa na bacia hidrográfica. Nas áreas florestais, ela se encaminha por várias rotas: interceptação, que corresponde à fração da chuva que fica retida na copa das árvores e retorna à atmosfera sem atingir o solo, precipitação interna que compreende a água que chega a atravessar o dossel e o escoamento pelo tronco das árvores. Entende-se por precipitação efetiva toda precipitação que chega ao solo (Arcova; Cicco; Rocha, 2003). De acordo com Bruijnzeel (1990) estima-se que nas florestas tropicais a interceptação é responsável por 4,5 a 24% do ciclo hidrológico; a precipitação interna varia de 75 a 96% e o escoamento pelos troncos das árvores representa 1 a 2 % da precipitação.

A quantidade de água da chuva que pode vir a ser recurso hídrico renovável na bacia é governada também pela evaporação da superfície do solo e dos corpos d'água, além da quantidade de água que é retirada do solo pelas plantas e lançada na atmosfera (transpiração). Assim, o volume anual de água renovável fornecido por uma bacia será tanto maior quanto

menores forem as perdas de água para a atmosfera, englobando a interceptação e a transpiração (Honda; Durigan, 2017). A somatória dessas perdas é chamada de evapotranspiração.

A paisagem da bacia hidrográfica é um elemento fundamental na consolidação de estratégias que garantam o suprimento de água para a população. Nesse contexto está o papel da vegetação na redistribuição da água da chuva, e do solo, nos processos de infiltração, armazenamento de água e na recarga dos aquíferos. As estratégias contemplam a identificação das áreas de saturação hídrica da microbacia também tem papel fundamental. Attanasio *et al.* (2012), destacam que estas áreas situam-se principalmente ao longo das margens dos cursos d'água e nas cabeceiras da rede de drenagem; ou mesmo em porções de áreas saturadas encontradas em pontos elevados de encostas, a depender da topografia e das condições de transmissividade do solo (Zakia; Righetto; Lima, 2006; Lima, 2003) e nas concavidades de terrenos para as quais convergem as linhas de fluxo.

Também chamadas de zonas ripárias, elas constituem ecossistemas que desempenham funções relacionadas à geração do escoamento direto em microbacias, ao aumento da capacidade de armazenamento e à manutenção da qualidade da água. Promovem estabilidade das margens dos rios, equilíbrio térmico da água e formação de corredores ecológicos. Trata-se de uma área dinâmica, que pode se expandir ou contrair-se – a depender da quantidade e intensidade das precipitações – sendo por isso chamada de Área Variável de Afluência (Hewlett; Hibbert, 1967). Lima (2008) destaca a importância de que estas áreas críticas estejam sempre adequadamente protegidas com cobertura vegetal.

Na escala da paisagem, uma das estratégias para a conservação de parte desses ecossistemas é a manutenção das áreas de preservação permanente (Brasil, 2012). Todavia, Zákia *et al.* (2009) já destacavam que não há coincidência entre as faixas de preservação previstas na legislação e as áreas ripárias. Enquanto a lei exige uma faixa de preservação de largura uniforme ao longo dos cursos d'água, as áreas realmente importantes para a proteção das microbacias e dos recursos hídricos se encontram agrupadas de maneira diferente.

Mas não é possível obter uma proteção efetiva da água simplesmente realizando o plantio de espécies características de zonas ripárias em áreas de preservação permanente, mas sim manejando bacias hidrográficas como um todo (Salemi *et al.*, 2011). Diante do exposto e considerando a relevância do tema na formação dos engenheiros ambientais, o presente estudo teve como objetivos:

a) pesquisar junto aos projetos pedagógicos dos cursos de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) quais disciplinas contemplam o tema em tela; b) identificar, junto ao planejamento dessas disciplinas, os conteúdos relacionados aos serviços ecossistêmicos hidrológicos; c) sugerir abordagens que possibilitem ao docente a

inserção dos serviços ecossistêmicos ao trabalhar tais conteúdos; d) oportunizar o desenvolvimento de uma das características esperadas do perfil do egresso, bem como de uma das competências previstas nas novas Diretrizes Curriculares Nacionais do curso de graduação em engenharia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANTENEDORAS DE ENSINO SUPERIOR, 2019), sendo elas: “adotar perspectivas multidisciplinares e transdisciplinares em sua prática” e “realizar a avaliação crítico-reflexiva dos impactos das soluções de Engenharia nos contextos social, legal, econômico e ambiental”.

Método

O método utilizado foi exploratório-descritivo, consolidado por meio de pesquisa bibliográfica e documental. A identificação das disciplinas foi realizada com a leitura dos documentos intitulados “informações da disciplina” disponíveis nos sítios eletrônicos dos cursos (UTFPR, 2017). A aderência dos conteúdos programáticos ao tema foi definida por meio dos seguintes critérios (Quadro 1):

Quadro 1 - Critérios para a seleção de disciplinas

Critério	Descrição
1. Apresentam termos específicos de serviços ecossistêmicos	Ocorrência das terminologias: 1.1 serviços ecossistêmicos 1.2 serviços ambientais
2. Englobam processos e ciclos responsáveis pela provisão de serviços ecossistêmicos hidrológicos	2.1 Processos e ciclos: ciclo hidrológico, redistribuição da água da chuva (interceptação, precipitação interna, escoamento pelo tronco), evapotranspiração, infiltração, armazenamento de água, escoamento direto, estabilização das margens dos rios, regularização das vazões, purificação da água, percolação, redução da erosão, balanço hídrico. 2.2 Componentes do ecossistema: bacia hidrográfica, zonas ripárias, área variável de afluência, serapilheira, cobertura vegetal, solo, dossel ²
3. Contemplam métodos e/ou ações que impulsionam a provisão de serviços ecossistêmicos hidrológicos	3.1 Restauração da vegetação; práticas adequadas de conservação do solo; manejo da paisagem; 3.2 Lei 12.651 (Brasil, 2012) que institui o novo código florestal, no que se refere às áreas de preservação permanente); 3.3 Lei 14.119 (Brasil, 2021) que institui a política nacional de pagamento por serviços ambientais, no que se refere à possibilidade de pagamento pelas seguintes ações: conservação e recuperação de mata nativa, conservação de remanescentes em áreas urbanas, manejo sustentável de áreas agropecuárias, conservação e melhoria da quantidade e qualidade da água, recuperação e recomposição da cobertura nativa em áreas degradadas, manutenção de áreas cobertas por vegetação nativa ³

¹ Fontes: Arcova, Cicco e Rocha (2003), Attanasio *et al.* (2012), Honda e Durigan (2017); Rares e Brandimate (2014), Gjorup *et al.* (2015) e Grip, Fritsch e Bruijnzeel (2005).

² Fontes: Arcova *et al.* (2020), Arcova, Cicco e Rocha (2003), Attanasio *et al.* (2012), Moura *et al.* (2009), Zákia (2009), Lima (2008) e Hewlett e Hibbert (1967).

³ Fontes: Brasil (2012, 2021), Honda e Durigan (2017).

Fonte: os autores

Resultados

No Quadro 2 são apresentados os conjuntos de disciplinas por área e seu enquadramento aos critérios de seleção adotados.

Quadro 2 - Resumo das disciplinas selecionadas conforme critérios de classificação.

Unidade curricular	Período	Termos ⁽¹⁾	Processos ⁽²⁾	Métodos ⁽³⁾
Ecologia Básica	1			
Ecologia Geral				
Hidrologia Aplicada	2			
Climatologia				
Ecologia Básica	3			
Geomorfologia	4			
Ecologia aplicada				
Ecologia	5			
Hidrologia				
Uso e Conservação do Solo				
Climatologia				
Geomorfologia Ambiental	6			
Hidrologia Aplicada				
Restauração Florestal				
Uso e Conservação do Solo				
Manejo De Recursos Naturais	7			
Climatologia				
Gerenciamento e Tratamento de Água de Abastecimento				
Gerenciamento e Tratamento de Esgoto Sanitário				
Reuso de Água				
Recuperação de Ecossistemas Aquáticos				
Sistema de Gestão Ambiental				
Gerenciamento de Recursos Hídricos				
Manejo de Recursos Naturais	8			
Hidrologia				
Recuperação de Áreas Degradadas				
Recuperação de Áreas Degradadas				
Gerenciamento de Recursos Hídricos	9			
Gestão e Tratamento de Efluentes Líquidos				
Gerenciamento e Tratamento de Água				
Manejo de Recursos Naturais				
Restauração Ambiental	9			
Valoração Econômica de Recursos Ambientais				
Arborização Urbana				
Gerenciamento e Tratamento de Efluentes	9			
Total	35	3	19	17

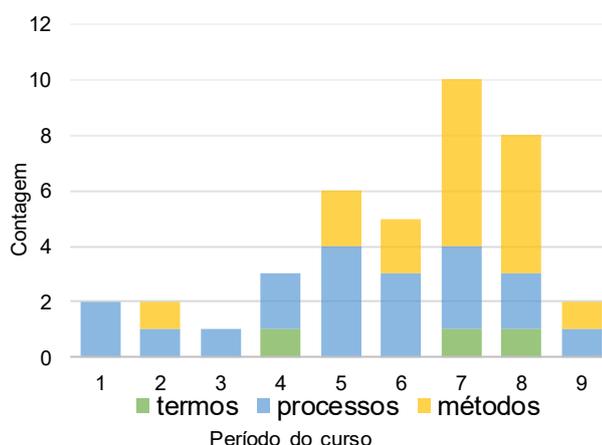
(1) Apresentam os termos “serviços ecossistêmicos” ou “serviços ambientais”; (2) Englobam ciclos e processos responsáveis pela provisão de serviços ecossistêmicos hidrológicos; (3) Contemplam métodos e/ou ações que impulsionam a provisão de serviços ecossistêmicos hidrológicos

Fonte: os autores

Foram identificadas 35 disciplinas que contemplam a abordagem dos Serviços Ecossistêmicos (SE) em seus conteúdos (Quadro. 2). Desse total, apenas três disciplinas apresentam o termo “serviço ambiental ou serviço ecossistêmico” em seu conteúdo programático. Foi possível também classificar 19 disciplinas que englobam processos responsáveis pela provisão de SE hidrológicos e 17 que contemplam métodos e/ou ações que impulsionam a provisão de SE hidrológicos (Quadro 2). Os resultados indicam que a temática é pouco abordada conceitualmente nas matrizes curriculares. Esse panorama reforça a importância de se contemplar esse tipo de conteúdo nas matrizes curriculares de cursos de graduação.

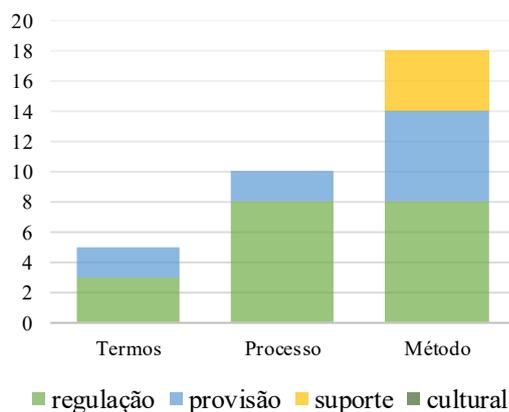
Em relação à classificação proposta pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA), o levantamento junto às matrizes curriculares constatou que as disciplinas que englobam os SE estão distribuídas em oito períodos e contemplam de maneira mais frequente os serviços de regulação (58%), seguida por provisão (30%), suporte (12%) e cultural (0%). Nas Figuras 1 e 2 são apresentados números que foram sistematizados de acordo com a classificação pela da MEA.

Figura 1. Distribuição das disciplinas identificadas por período do curso de acordo com os critérios de inclusão considerados no presente estudo.



Fonte: os autores.

Figura 2. Tipos de serviços ecossistêmicos identificados nas disciplinas de acordo com classificação proposta pela Avaliação Ecosistêmica do Milênio.



Fonte: os autores.

Compreende-se que o conhecimento explícito acerca do serviço ecossistêmico como recurso ambiental é fundamental para auxiliar na formação de engenheiros com perfis mais críticos diante dos problemas de gestão ambiental cada vez mais complexos e desafiadores. Portanto, se faz necessária uma abordagem integrada através da tematização de unidades curriculares a partir de um ponto ainda pouco explorado nas matrizes curriculares: os SE associados à água.

No Quadro 3 estão relacionadas as disciplinas que apresentam os termos “serviços ecossistêmicos” ou “serviços ambientais” na ementa ou nos respectivos conteúdos programáticos.

Quadro 3 - Disciplinas que apresentam os termos “serviços ecossistêmicos” ou “serviços ambientais”.

Disciplina	Termo	Serviço Ecosistêmico	Exemplos de abordagem
Ecologia Aplicada (EA)	Exemplos de serviços ambientais dos ecossistemas florestais.	Provisão (1), regulação (2)	(1,2) Rares e Brandimarte (2014)
Valoração econômica de recursos ambientais (VERA)	Valoração econômica de serviços ecossistêmicos.	Provisão (1), Regulação (2)	(1) Grizzetti <i>et al.</i> (2016) (2) Jiang, Dinar e Hellegers (2018) Piaggio e Siikamäki (2021)
Sistema de Gestão Ambiental (SGA)	Valoração de danos ambientais e de Serviços Ecosistêmicos	Regulação (2)	(2) Jiang, Dinar e Hellegers (2018) Piaggio e Siikamäki (2021)

Fonte: os autores.

O Quadro 3 além de apresentar os termos utilizados, propõe referências de abordagem ao tema de acordo com as respectivas disciplinas. Rares e Brandimarte (2014) citam SE prestados pelo Parque Estadual da Cantareira: proteção de ambientes aquáticos pela vegetação; manancial de água para a região metropolitana de São Paulo. O artigo constitui um exemplo para a abordagem de SE na disciplina de EA, podendo subsidiar também uma discussão sobre a importância das Unidades de Conservação na provisão desses serviços.

O levantamento identificou que as disciplinas de VERA e SGA apresentam conteúdos relacionados ao uso de métodos de valoração econômica de SE. De forma geral, essas unidades curriculares permitem demonstrar aos alunos que o valor gerado pela manutenção dos SE por vezes é maior que o valor associado aos custos decorrentes de eventual necessidade de implantação de ações de recuperação de ambientes poluídos (passivos ambientais). Por exemplo, essa abordagem pode ser aplicada na valoração de projetos de tratamento de esgoto, para o qual é feito um investimento com o objetivo de eliminar o lançamento do esgoto *in natura* nos corpos hídricos, a fim de evitar os custos relacionados a poluição destes, e por consequência, busca-se reduzir o risco de comprometimento dos SE de purificação da água (regulação), conforme demonstrado por Jiang, Dinar e Hellegers (2018) e Piaggio e Siikamäki (2021).

O Quadro 4 descreve as disciplinas que englobam processos, ciclos ou componentes do ecossistema associados à provisão de SE hidrológicos na ementa ou nos conteúdos programáticos.

Quadro 4 - Disciplinas que englobam processos, ciclos ou componentes do ecossistema associados à provisão de SE hidrológicos. (continua)

Disciplina	Processos, ciclos ou componentes do ecossistema associados à provisão dos SE.	Serviço Ecossistêmico	Exemplos de abordagem
Ecologia, Ecologia Básica (EB)* e Ecologia Geral (EG).	Ciclos biogeoquímicos: ciclo da água	Regulação	Fearnside (2006), Santos, Oliveira e Ferreira Filho (2022)
Climatologia (CM)**.	Evaporação (1), evapotranspiração, influência da vegetação no clima (2)	Regulação	(1) Saenz <i>et al.</i> (2014) e Saenz e Mulligan (2013) (2) Rocha <i>et al.</i> (2017)

Disciplina	Processos, ciclos ou componentes do ecossistema associados à provisão dos SE.	Serviço Ecosistêmico	Exemplos de abordagem
Hidrologia (HD)*, Hidrologia aplicada (HA)*.	Papel da zona ripária no escoamento direto (1) Ciclo hidrológico (2), balanço hídrico (3), bacia hidrográfica (4), precipitação (5), evapotranspiração (6), infiltração (7), infiltração e armazenamento no solo (8). Escoamento superficial (9) relações solo-planta-atmosfera (10).	Provisão, regulação	(1) Zarnott <i>et al.</i> (2020). (2 a 10) Tonello e Dias (2018).
Uso e conservação do solo (UCS)*.	Influência da cobertura vegetal nos processos erosivos (1), infiltração e início do escoamento superficial (2).	Regulação	(1) Martins <i>et al.</i> (2021) (2) Rodrigues e Santini Junior (2021)
Gerenciamento e tratamento de água (GTA)*	Gestão de recursos hídricos	Provisão	Grizzetti <i>et al.</i> (2016); Ávila-García <i>et al.</i> (2020)
Gerenciamento e tratamento de esgoto sanitário (GTES)	Autodepuração	Regulação	Silva, D. <i>et al.</i> (2020) Piaggio e Siikamäki (2021)
Gestão e tratamento de efluentes líquidos (GTEL)	Dispersão física de efluentes	Regulação	Silva, D. <i>et al.</i> (2020) Piaggio e Siikamäki (2021)
Gerenciamento e tratamento de efluentes (GTE)	Impacto da poluição hídrica Autodepuração dos cursos d'água	Regulação	Silva, D. <i>et al.</i> (2020) Piaggio e Siikamäki (2021)
Geomorfologia ambiental (GA)*	Vertentes/encostas: processos erosivos e movimentos de massa Avaliação, prevenção, correção e monitoramento de processos erosivos	Regulação	Hu, Wu e Li (2019) Chen <i>et al.</i> (2020) Ávila-García <i>et al.</i> (2020)

* Ocorrência de 2 disciplinas de mesma nomenclatura;

** Ocorrência de 3 disciplinas de mesma nomenclatura.

Fonte: os autores.

Uma abordagem relacionando o ciclo da água com as mudanças climáticas e seus efeitos na economia pode ser elaborado a partir das informações presentes nos trabalhos de Fearnside (2006) e Santos, Oliveira e Ferreira Filho (2022). Em 2006, Fearnside alertava para a ameaça do desmatamento da Amazônia sobre os SE, entre eles, a ciclagem da água. Na ocasião, o autor citava o volume de água liberado para a atmosfera pela evapotranspiração da floresta e sua participação na precipitação local e em outras regiões do país e da América do Sul. O texto alertava para a necessidade de frear o desmatamento, sob a pena de

consequências socioeconômicas futuras. No artigo de Santos, Oliveira e Ferreira Filho (2022), potenciais impactos socioeconômicos são investigados por meio de cenários desenvolvidos com dados do quinto relatório do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC). São apresentados efeitos negativos na economia e no bem-estar dos brasileiros, notadamente nas regiões Centro-Oeste e Nordeste. Esse panorama, apresentado nas disciplinas de Ecologia (E, EB, EG), em geral nos semestres iniciais, além de introduzir os SE, pode motivar os estudantes oferecendo uma visão abrangente dos conteúdos em estudo.

Um importante serviço prestado pelos ecossistemas florestais é tratado por Rocha *et al.* (2017): a evapotranspiração. Os autores relatam que do total da precipitação que cai na bacia amazônica, cerca de 20% decorre da evapotranspiração local. Dessa forma, essa umidade contribui para o regime de precipitação em outras áreas do continente. Ao reportar o processo em uma escala mais abrangente e por meio de dados numéricos, o artigo subsidia o docente a explorar o conteúdo “evapotranspiração” na disciplina de climatologia, utilizando-se de cenários atuais e futuros.

Outra discussão sobre SE hidrológicos na disciplina de CM pode se dar com base nos artigos de Saenz *et al.* (2014) e Saenz e Mulligan (2013), englobando os conteúdos de evaporação e evapotranspiração. Tendo como foco as florestas nebulares, são destacados os efeitos dessa vegetação na entrada de água em bacias hidrográficas devido à sua baixa evapotranspiração e também pelo processo da precipitação oculta. Por meio do mapeamento de barragens situadas à jusante dessas florestas ao longo do mundo - inclusive no Brasil Arcova *et al.* (2016) - os autores destacam seu papel na produção de energia e a oportunidade para implementação de estratégias de pagamentos por esses serviços.

A revisão feita por Tonello e Dias (2018) aborda as relações entre as florestas e a água, destacando as implicações da restauração florestal sobre os processos que fazem parte do ciclo hidrológico na escala da microbacia hidrográfica. Embora tenha como foco a restauração florestal, o artigo traz uma descrição abrangente do papel da floresta na provisão de recursos hídricos, ao explicar sua influência nos diferentes compartimentos do sistema solo-plantas-atmosfera. Contemplando processos que vão desde o dossel até o lençol freático, o trabalho constitui um texto propício para a inserção dos serviços de provisão, regulação e suporte nas disciplinas de HD.

Outro serviço regulador ligado à disponibilidade de água é aquele prestado pela vegetação que recobre as zonas ripárias na geração de escoamento direto em microbacias. O entendimento desse processo constitui um requisito essencial para que o estudante compreenda a necessidade de restauração de áreas de preservação permanente. Nesse sentido,

a abordagem quantitativa de Zarnnot *et al.* (2020) fornece elementos mais concretos ao docente que ministra HD, viabilizando uma discussão amparada na exemplificação.

Uma possibilidade para discutir o tema “influência da cobertura vegetal nos processos erosivos” (UCS) e abordar as implicações da cobertura vegetal nas áreas de preservação permanente seria com base no artigo de Martins *et al.* (2021). No trabalho, três cenários com diferentes usos do solo e taxas de erosão foram elaborados com uso do modelo SWOT. O objetivo foi estimar os percentuais de redução na produção de sedimentos na bacia com a recuperação da vegetação de áreas de preservação permanente (APP) nas diferentes larguras previstas pela Lei 12.651 (Brasil, 2012). Os resultados possibilitariam discutir aspectos relacionados ao serviço regulador prestado por diferentes tipos de cobertura vegetal e sobre papel da legislação nesse contexto.

Uma associação bem ilustrada entre “infiltração” e “início do escoamento superficial” (UCS) foi descrita no artigo de Rodrigues e Santini Junior (2021). Os autores simularam a instalação de técnicas compensatórias em uma bacia hidrográfica, com o intuito de verificar o potencial de atenuação das inundações. São apresentados os percentuais de atenuação dos picos de vazão, bem como os tempos de resposta da microbacia aos eventos de chuva simulando a aplicação de trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, jardins de chuva e telhados verdes.

No contexto da disciplina de GTA, é possível evidenciar a forma como os SE deteriorados estão relacionadas à gestão inadequada dos recursos hídricos. A formação do currículo em engenharia deve preparar o profissional para compreender que o fornecimento seguro de água para a população requer políticas de uso e ocupação do solo que considerem soluções de base florestal, práticas agrícolas sustentáveis e o desenvolvimento de redes de distribuição eficientes de água (Ávila-García *et al.*, 2020; Grizzetti *et al.*, 2016).

Com relação aos serviços de purificação da água o levantamento identificou 3 unidades curriculares que possuem inter-relação com esse eixo temático. Portanto, é possível propor abordagens com visões mais integradas para tratar o tema dos SE no escopo das ementas. Por exemplo, as disciplinas de GTEL, GTES e GTE (Quadro 4) apresentam um contingente de conteúdos onde são ministrados conceitos e aplicações relacionados aos serviços sanitários, como o despejo de efluentes líquidos em corpos hídricos. O docente desta disciplina teria condições de ministrar o referido conteúdo sob a perspectiva dos SE relacionados aos processos de depuração que os corpos hídricos exercem ao receber carga poluidora oriunda de despejos de esgotos domésticos e industriais. Daniel Silva *et al.* (2020) estudaram diversos efeitos prejudiciais nos ecossistemas aquáticos que as descargas de águas residuais das indústrias de laticínios podem causar, incluindo um declínio na biodiversidade devido à evasão de espécies.

No âmbito da Geomorfologia, os trabalhos desenvolvidos por Hu, Wu e Li (2019), Chen *et al.* (2020) e Ávila-García *et al.* (2020) demonstram a possibilidade de se estruturar abordagens que correlacionem positivamente o controle da erosão do solo e a produção de água. Os resultados apresentados por esses autores permitem concluir que a degradação da cobertura do solo afeta a capacidade das florestas de fornecer SE de água. No Quadro 5 são apresentadas as disciplinas que contemplam algumas das estratégias que impulsionam os serviços hidrológicos.

Quadro 5 - Disciplinas que contemplam estratégias que impulsionam a provisão de SE hidrológicos na ementa ou nos respectivos conteúdos programáticos. (continua)

Disciplina	Estratégias que impulsionam a provisão de SE hidrológicos.	Serviço Ecossistêmico	Exemplos de abordagem
Uso e conservação do solo (UCS)*.	Planejamento em bacia hidrográfica (1), Práticas de manejo e conservação do solo (2), práticas conservacionistas (3).	Provisão. Regulação.	(1,2,3) Leal <i>et al.</i> (2019)
Recuperação de áreas degradadas (RAD)*	Aspectos legais da RAD (1), Projetos de RAD (2). Caracterização de passivos ambientais (3).	Regulação	(1, 2) Brasil (2021), (3) Jardim e Bursztyn (2015)
Manejo de Recursos Naturais (MRN)**	Mata ciliar e preservação de nascentes (1). Manejo de recursos florestais (2). Manejo de recursos hídricos (3).	Provisão. Regulação. Suporte	(1, 2, 3) Honda e Durigan (2017)
Restauração florestal (RF)	Legislação aplicada à restauração florestal (1). Áreas de preservação (2) permanente, Adequação ambiental de propriedades rurais (3). Vegetação ciliar (4)	Provisão. Regulação, Suporte.	(1) Seganfredo <i>et al.</i> (2019) (1,2,3) Nascimento, Alves e Souza (2019)
Restauração ambiental (RA)	Ecologia da paisagem (1), Restauração de ecossistemas (2), Práticas e políticas públicas para a restauração ecológica (3)	Provisão. Regulação. Suporte.	(1) Seganfredo <i>et al.</i> (2019) (2) Lisboa, Cielo-Filho e Câmara (2021), Tonello e Dias (2018) (3) Jardim e Bursztyn (2015)
Arborização urbana (AU)	Planejamento da arborização urbana (1), Planejamento de áreas verdes (2),	Regulação.	(1,2) Arcova <i>et al.</i> (2020). (1,2) Silva, L. <i>et al.</i> (2010).
Gerenciamento de Recursos Hídricos (GRH)	Cobrança pelo uso da água (1) Formas de gestão hídrica (2)	Provisão. Regulação. Suporte.	(1,2) Magalhães e Barbosa Júnior (2019). (1,2) Souza; Richter e Costa (2019). (2) Doherty <i>et al.</i> (2014)

Disciplina	Estratégias que impulsionam a provisão de SE hidrológicos.	Serviço Ecosistêmico	Exemplos de abordagem
Reúso de água (REU)	Sistemas de reúso de água; tecnologia de reúso de água	Provisão	Estelrich <i>et al.</i> (2021) Zulu, Toyota e Misawa (1996)
Recuperação de Ecossistemas Aquáticos (REA)	Métodos físicos, químicos e biológicos de recuperação de ecossistemas aquáticos	Regulação	Thom <i>et al.</i> (2016)

* Ocorrência de 2 disciplinas de mesma nomenclatura.

** Ocorrência de 3 disciplinas de mesma nomenclatura.

Fonte: os autores.

Na disciplina de UCS, as estratégias para impulsionar a provisão de água podem ser abordadas em diferentes escalas. Nesse sentido, Leal *et al.* (2019) desenvolveram um estudo que aborda essas possibilidades, tendo como unidade de planejamento a bacia hidrográfica. Nela, áreas prioritárias para a aplicação de práticas de manejo e conservação de solo, incluindo diferentes práticas conservacionistas são apresentadas com o objetivo de conservar o solo e a água. Englobando uma visão integrada de diferentes componentes da bacia hidrográfica, o trabalho possibilita ainda a integração da disciplina com unidades curriculares da área de sistemas de informação geográfica. Adicionalmente, elenca classes de prioridade para restauração florestal em áreas de preservação permanente, constituindo uma condição favorável para o desenvolvimento de atividades interdisciplinares que tenham como objetivo fomentar SE de provisão.

Já para a unidade curricular MRN, a abordagem pode ter como ênfase a relação entre a preservação de nascentes e a qualidade da água, tal como foi sugerido no trabalho de Honda e Durigan (2017). Estes autores destacam que, se o SE esperado com a restauração do ecossistema é a qualidade da água, as intervenções de restauração devem priorizar a recuperação do solo e da vegetação nos locais mais frágeis, nas áreas descobertas e nos trechos da bacia sujeitos a maior escoamento superficial e, portanto, expostos a maiores riscos de erosão e assoreamento, como nascentes e terrenos inclinados.

Seganfredo *et al.* (2019) observaram que a adequação de uma bacia hidrográfica no Oeste do Paraná à Lei de Proteção da Vegetação Nativa implicaria na restauração de uma área reduzida, mas haveria um ganho expressivo em termos de conectividade funcional. Discutir tais resultados nas disciplinas de RF e RA permitiria uma abordagem dos conteúdos “ecologia da paisagem”, “restauração de ecossistemas” e “áreas de preservação permanente” em termos

do SE de suporte “conservação da biodiversidade”. Dessa forma, ampliaria a perspectiva sobre os potenciais SE prestados pelas florestas ripárias.

Vale destacar, relativamente aos “aspectos legais da recuperação de áreas degradadas” bem como “projetos de recuperação de áreas degradadas” (conteúdos de RAD), a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (Brasil, 2021). Tais serviços, de acordo com a Lei, englobam um conjunto de ações entre as quais está a “recuperação e recomposição da cobertura vegetal nativa de áreas degradadas por meio do plantio de espécies nativas e sistemas agroflorestais”, que estão em sintonia com os temas da disciplina, permitindo um olhar sob o aspecto da valorização econômica dessas ações.

Referindo-se a adequação ambiental de propriedades rurais, Nascimento, Alves e Souza (2019) apresentam a possibilidade de restaurar áreas de preservação permanente com uso de sistemas agroflorestais. Essa abordagem tem aderência tanto com RF como RA, oferecendo estratégias para favorecer o serviço de provisão de água concomitantemente ao cumprimento da lei e com geração de renda familiar.

Dois dos conteúdos propostos em RA podem ser abordados com base no trabalho de Lisboa, Cielo-Filho e Câmara (2021) e Jardim e Bursztyn (2015): “Restauração de ecossistemas” e “Práticas e políticas públicas para a restauração ecológica”. Os primeiros apontam a restauração passiva como estratégia para restauração ecológica do ecossistema ripário, atestando que práticas de gestão de recursos hídricos, podem impulsionar a provisão de água. Em termos de “políticas públicas”, Jardim e Bursztyn (2015) descrevem o projeto Conservador das Águas, primeira iniciativa no qual uma Lei municipal brasileira regulamenta o pagamento por SE hidrológicos. O artigo permite também uma abordagem sobre “passivos ambientais”, presente em RA e RAD.

O planejamento da arborização urbana (AU) e de áreas verdes urbanas são temas que comportam uma abordagem relativa ao serviço regulador de redistribuição de chuvas. O estudo feito por Arcova *et al.* (2020) pode instigar a reflexão dos acadêmicos acerca da inclusão desse serviço ao escolher espécies para arborização. Os autores estimaram a interceptação das chuvas em plantio de *Tibouchina mutabilis* (Vell.) Cogn (quaresmeira) espécie com grande potencial paisagístico. Já o potencial da arborização como estratégia para diminuir enchentes fez parte do experimento de Luzia Silva *et al.* (2010), que estudaram o processo de interceptação por *Caesalpinia pluviosa* DC (sibipiruna) e *Tipuana tipu* O. Kuntze (tipuana), amplamente utilizadas na arborização urbana.

Uma sugestão para a discussão do tema “cobrança pelo uso da água” na disciplina de GRH é dada por Magalhães e Barbosa Júnior (2019). O artigo oferece parâmetros para valoração do serviço ecossistêmico de proteção aos mananciais, associando conceitos de

hidrologia e economia. Adicionalmente, utiliza-se de uma estratégia de pagamento prevista no Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (Lei 9.985 [Brasil, 2000]): a contribuição financeira para a conservação da UC por todos aqueles que fazem uso de recursos hídricos dela provenientes. Souza, Richter e Costa (2019) também abordam a necessidade de valorização das UCs no Brasil e o papel do PSA para a viabilizar a manutenção dos SE nessas áreas. Ambos os trabalhos subsidiam o conteúdo “formas de gestão hídrica”.

Em relação à disciplina REA, os pesquisadores Thom *et al.* (2016) sugerem que os SE sejam a abordagem para impulsionar os programas de restauração e conservação de ecossistemas. Por exemplo, o *National Research Council* concluiu que o sucesso do Programa de Recuperação do Rio Missouri na recuperação de espécies ameaçadas de extinção dependia do fornecimento de sedimentos e da dinâmica deste sistema fluvial.

A considerar os elevados padrões atuais de uso da água e a possibilidade de reuso com o objetivo de minimizar a pressão sobre os mananciais, a disciplina de REU se constitui em unidade estratégica na construção do perfil do engenheiro ambiental. A partir da premissa que o reuso pode ser amplamente utilizado para suplementar o abastecimento de água em diferentes cenários, noções acerca deste tópico são fundamentais, pois utiliza-se o conhecimento acadêmico em torno das soluções de tecnologia em engenharia em favor da resolução de conflitos relacionados à competição pelos escassos recursos hídricos.

Contribuição da temática dos SE para as Diretrizes Curriculares Nacionais

As Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) desempenham um papel fundamental na orientação do percurso formativo dos estudantes de Engenharia Ambiental. No entanto, a inserção e abordagem de temas específicos, como os serviços ecossistêmicos e a água, dentro dessas diretrizes requer uma análise detalhada para compreender sua influência na formação desses profissionais.

Uma análise minuciosa das DCNs revela que, embora existam referências gerais à importância da interdisciplinaridade e da integração de aspectos socioambientais nos currículos de Engenharia, a especificidade da inclusão dos serviços ecossistêmicos e da gestão da água pode não ser claramente delineada.

Nesse sentido, a essência do perfil delineado pelas DCNs juntamente com uma sólida formação técnica, pode ser enriquecida pela abordagem dos SE. Por exemplo, a característica do perfil definida pelo aspecto “*I - ter visão holística e humanista, ser crítico, reflexivo, criativo, cooperativo e ético e com forte formação técnica*”, presente nas Diretrizes Curriculares Nacionais, pode ser contemplada na formação de engenheiros ambientais sob a perspectiva dos SE. A inserção dos SE de forma mais estruturada nos currículos, fará com que

os alunos tenham a possibilidade de estudar a temática ambiental dentro de uma percepção mais holística. Por meio da apropriação do conhecimento mais integrado às diversas dimensões, os futuros engenheiros serão capazes de propor soluções mais criativas, caracterizadas por maior senso crítico e reflexivo da realidade (“*III - ser capaz de (...) analisar e resolver, de forma criativa, os problemas de Engenharia*”). A proposta de construção deste perfil valendo-se do conhecimento dos SE encontra fundamentos a partir da noção de que a origem e a solução dos problemas ambientais estão relacionadas a diversas dimensões (sociais, econômicas, políticas, ecológicas, etc.). Portanto, consideramos a abordagem através dos SE como a ferramenta de conexão entre essas dimensões.

No sentido de se apropriar do processo de ensino-aprendizagem baseado nos SE, as disciplinas de Climatologia, Hidrologia e Ecologia são fundamentais. Por meio delas, foi visto ser possível observar as inter-relações, temporal e espacial, existentes entre os componentes do ambiente a partir de uma abordagem holística, que considera tanto os aspectos sociais e a subordinação aos meios físicos e biológicos.

No aspecto de “*V - considerar os aspectos globais, políticos, econômicos, sociais, ambientais, culturais e de segurança e saúde no trabalho*”, para a atuação dos profissionais da engenharia, vale destacar que, no âmbito mundial, os SE emergem como um dos principais instrumentos para ajudar na solução dos desafios associados a sustentabilidade das atividades econômicas, principalmente aquelas que estão intimamente ligadas ao uso da água. Portanto, disciplinas como Gestão de Recursos Hídricos assumem relevância, pois através da abordagem pelos SE é possível trazer à tona os diferentes horizontes do problema da água. “*III - ser capaz de (...) formular, analisar (...), os problemas de Engenharia*”. Em uma formação em que os SE sejam reconhecidos como elementos principais na formulação de hipóteses e cenários, os alunos serão capazes de problematizar adequadamente as inúmeras situações. Neste sentido, os conteúdos de valoração econômica contemplados nas disciplinas de VERA e SGA cumprem essa função, pois possuem ementas orientadas ao exercício de monetizar as externalidades ambientais, fazendo com que recursos invisíveis ao sistema econômico possam ser considerados na formulação de cenários e alternativas. A abordagem dos SE possui natureza multidisciplinar e transdisciplinar, pois envolve múltiplas áreas do conhecimento para alcançar o devido entendimento dos fenômenos, evitando-se ser compreendidos de forma isolada. Portanto, os SE proporcionam campo ideal para o desenvolvimento do item “*IV - adotar perspectivas multidisciplinares e transdisciplinares em sua prática*” presente nas DCNs.

Em relação às disciplinas que contemplam estratégias que impulsionam a provisão de SE hidrológicos, observa-se que na identificação dessas unidades estão os termos “uso,

recuperação, manejo, restauração, gerenciamento, arborização”, que de acordo com a taxonomia de Biggs e Collis (1982), caracterizam um nível elevado em termos dos resultados de aprendizagem esperados dos acadêmicos. Nesse contexto, ampliar a perspectiva sobre os conteúdos estudados com a inserção dos SE, constitui uma oportunidade singular para a consolidação de uma das características esperadas do egresso de engenharia: *“realizar a avaliação crítico-reflexiva dos impactos das soluções de Engenharia nos contextos social, legal, econômico e ambiental”*.

Embora não seja explicitamente mencionado nas diretrizes, o reconhecimento dos serviços ambientais enquanto atributos naturais do ecossistema está intrinsecamente ligado à compreensão dos impactos das soluções de engenharia propostas em diversos domínios (ambiental, social, econômico, legal).

Contudo, para viabilizar esse reconhecimento, é imprescindível considerar a preparação dos docentes diante das mudanças curriculares propostas. Os educadores precisam ser capacitados para abordar os serviços ecossistêmicos e a gestão da água de forma eficiente, integrando abordagens pedagógicas inovadoras que promovam o pensamento crítico e a análise interdisciplinar.

Nesse contexto, um mecanismo que proporcionaria ao docente a possibilidade de consubstanciar o conhecimento sobre os serviços ecossistêmicos hidrológicos no exercício de ensino dos conteúdos abordados poderia se dar na formação continuada. Esta formação, que por sua vez faz parte da evolução constante da prática da docência, careceria ainda de associações diretas entre as potenciais transformações que a inserção dos conhecimentos sobre os serviços ecossistêmicos hidrológicos poderia concretizar no meio social.

No sentido de gerar tais associações como mecanismos didáticos que impulsionam transformações no âmbito do ensino-aprendizagem, a formação continuada tem como alternativa aliar a abordagem dos SE hidrológicos aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que vem atender à agenda 2030.

Um roteiro instrucional para docentes da engenharia ambiental que possibilite a exemplificação dos efeitos diretos da conservação dos SE ligados à água no alcance dos ODS promoveria a ativação de uma postura comprometida com a transformação social. Destaca-se que nas 37 disciplinas afetas ao tema dos SE identificadas no presente estudo, os processos e métodos exemplificados por meio dos artigos selecionados podem subsidiar o alcance dos ODS, notadamente os listados a seguir: Fome zero e agricultura sustentável, Saúde e bem-estar, Água potável e saneamento, Cidades e comunidades sustentáveis, Ação contra a mudança global do clima, Vida na água, Vida terrestre.

Conclusões

O estudo apontou 35 unidades curriculares dos cursos de Engenharia Ambiental da UTFPR com potencial para inserir o tema SE Hidrológicos. Ao trabalhar esses temas a partir de abordagens baseadas na literatura especializada, considera-se possível ao docente a inserção dos SE durante a exploração de conteúdos específicos, já presentes nas ementas das referidas disciplinas. Por meio de uma visão mais integrada na formação de engenheiros, objetivos previstos nas novas diretrizes curriculares nacionais para os cursos de engenharia podem ser alcançados.

No âmbito do trabalho docente, a elaboração de um roteiro que associe os SE aos ODS possibilitaria uma visão abrangente e reflexiva sobre a contribuição da temática dos Serviços Ecossistêmicos no caminho para o alcance dos ODS.

Sobre as autoras e sobre o autor

Carla Daniela Câmara

<http://lattes.cnpq.br/0570959951385312>

Possui graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade Estadual de Londrina (1995), mestrado em Ciências Florestais pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo (1999) e doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (2004). Tem experiência em Hidrologia Florestal, área na qual atuou como consultora no Programa de Monitoramento Ambiental em Microbacias do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (1999 a 2007) e como pesquisadora do Instituto Florestal (2007 a 2009). Atualmente é professora associada da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Atua na área de Manejo de Recursos Naturais com ênfase nos seguintes temas: Restauração Florestal, Áreas Verdes Urbanas.

Eduardo Borges Lied

<http://lattes.cnpq.br/5028430253887652>

Graduado em Engenharia Ambiental pela Uniamérica (2009). Mestrado (2012) e Doutorado (2018) em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, com área de concentração em Desenvolvimento de Processos. Professor Adjunto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. Docente e pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da UTFPR, Câmpus Curitiba. Tem experiência no desenvolvimento de materiais funcionais, com ênfase em coatings antimicrobianos e fotocatalíticos. Já atuou nos seguintes temas: controle ecotoxicológico de efluentes, processo físico-químico e simulação fluidodinâmica.

Maria do Carmo Calijuri

<http://lattes.cnpq.br/5354138488334805>

Possui graduação em Ciências Biológicas (1982), Licenciatura e Bacharelado, e Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais (1985) pela Universidade Federal de São Carlos, doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento (1988) e Livre-Docência (1999) pela Universidade de São Paulo. É professora da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, desde 1989 e Professora Titular, na mesma Instituição desde 2004. Bolsista de Pesquisa do CNPq desde 1990, tem experiência na área de Ecologia Aquática atuando, principalmente, nos seguintes temas: áreas alagadas, rios, manejo de reservatórios com vistas à resiliência e sustentabilidade de recursos hídricos; e, cultivo e utilização de microrganismos objetivando bioprodutos e tratamento de efluentes. Participou e coordenou vários projetos de pesquisas, inclusive 3 projetos temáticos da FAPESP. Formou 34 Doutores e 44 Mestres, 11 supervisões de pós-doutorado, além de bolsistas de Iniciação Científica. Publicou 8 livros e vários artigos em níveis nacional

e internacional. Exerceu a função de Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento (2001 a 2006), Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental (1995 a 2000) e Presidente da Comissão de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos/USP (2002 a 2007). Foi membro da Câmara de Normas e Recursos e do Conselho de Pós-Graduação - CoPGr/USP (2002 a 2007) e presidente e vice presidente da Comissão de Ética da Universidade de São Paulo (2014 a 2018). Foi diretora da Escola de Engenharia de São Carlos/USP de fevereiro/2007 a fevereiro/2011.

Como citar este artigo:

ABNT

CÂMARA, Carla Daniela; LIED, Eduardo Borges; CALIJURI, Maria do Carmo. Serviços ecossistêmicos e a água: uma abordagem para o ensino superior. **Ensino, Saúde e Ambiente**, Niterói, v. 17, e57872, 2024. <https://doi.org/10.22409/resa2024.v17.a57872>

APA

Câmara, C. D., Lied, E. B., & Calijuri, M. C. (2024). Serviços ecossistêmicos e a água: uma abordagem para o ensino superior. *Ensino, Saúde e Ambiente*, 17, e57872. <https://doi.org/10.22409/resa2024.v17.a57872>

Copyright:

Copyright © 2024 Câmara, C. D., Lied, E. B., & Calijuri, M. C. Este é um artigo em acesso aberto distribuído nos termos da Licença Creative Commons Atribuição que permite o uso irrestrito, a distribuição e reprodução em qualquer meio desde que o artigo original seja devidamente citado.

Copyright © 2024 Câmara, C. D., Lied, E. B., & Calijuri, M. C. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original article is properly cited.

Editora responsável pelo processo de avaliação:

Luiza Rodrigues de Oliveira

Referências

ARCOVA, Francisco Carlos Soriano; CICCIO, Valdir de; ROCHA, Paulo Augusto Bueno. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - SP. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 257-262, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000200014>

ARCOVA, Francisco Carlos Soriano *et al.* Ocorrência de nevoeiros em uma microbacia experimental na Serra do Mar, Cunha, SP. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 12, v. 18, p. 327-348, jan./jun. 2016. Disponível em <http://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/44956/28727> Acessado em 4 jun.2024.

ARCOVA, Francisco Carlos Soriano *et al.* Transprecipitação e interceptação da chuva em área reflorestada com *Tibouchina mutabilis* Cogn. na Serra do Mar. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 222-240, 2020. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14264>. Acesso em: 4 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANTENEDORAS DE ENSINO SUPERIOR. **Resolução nº 2, de 24 de abril de 2019**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. 2019. Disponível em: <https://abmes.org.br/arquivos/legislacoes/Resolucao-CNE-CES-002-2019-04-24.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2024.

ATTANASIO, Cláudia Mira *et al.* A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p.493-501, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052013005000001>

ÁVILA-GARCÍA, Daniela *et al.* Impacts of alternative land-use policies on water ecosystem services in the Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello watershed, Mexico. **Ecosystem Services**, v. 45, art. 101179, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101179>

BIGGS, John; COLLIS, Kevin. **Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy**. New York: Academic Press, 1982.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 4 jun. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 4 jun. 2024.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 14.119, de 14 de janeiro de 2021**. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nºs 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/114119.htm. Acesso em: 4 jun. 2024.

BRUIJNZEEL, Leendert Adriaan. The hydrological cycle in moist tropical forest. *In: _____*. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review**. Amsterdam: IAHS, 1990. p. 5-38.

CHEN, Dengshuai *et al.* Quantifying water provision service supply, demand and spatial flow for land use optimization: A case study in the YanHe watershed. **Ecosystem Services**, v. 43, art. 101117, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101117>

DALA-CORTE, Renato *et al.* Thresholds of fresh water biodiversity in response to riparian vegetation loss in the Neotropical region. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, n. 7, p. 1391-1402, 2020. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.13657>

DOHERTY, Edel *et al.* Valuing ecosystem services across water bodies: Results from a discrete choice experiment. **Ecosystem Services**, v. 7, p. 89-97, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.09.003>

ESTELRICH, Miquel *et al.* Feasibility of vertical ecosystem for sustainable water treatment and reuse in touristic resorts. **Journal of Environmental Management**, 294, art. 112968, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112968>

FEARNSIDE, Philip. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672006000300018>

FERRAZ, Rodrigo Peçanha Demonte *et al.* **Marco referencial em serviços ecossistêmicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

GJORUP, Ana Feital *et al.* Análise de procedimentos para seleção de áreas prioritárias em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos. *Ambiente e Água*, v. 11, n. 1, p. 225-238, 2015. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1782>

GRIP, Harald; FRITSCH, J. M.; BRUIJNZEEL, Leendert Adriaan. Soil and water impacts during forest conversion and stabilisation to new land use. *In*: BONELL, Michael; BRUIJNZEEL, Leendert Adriaan (ed.). **Forests, water and people in the humid tropics: past, present and future hydrological research for integrated land and water management**. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. p. 561-589.

GRIZZETTI, Bruna *et al.* Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science & Policy*, v. 61, p. 194-203, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>

HEWLETT, John; HIBBERT, A. R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. *In*: Sopper, W.E.; Lull, H.W. (ed). **Forest hydrology**. New York: Pergamon, 1967. p. 275-290.

HONDA, Eliane; DURIGAN, Giselda. A restauração de ecossistemas e a produção de água. *Hoehnea*, v. 44, n. 3, p. 315-327, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-8906-82/2016>

HU, Tian; WU, Jiansheng; LI, Weifeng. Assessing relationships of ecosystem services on multi-scale: A case study of soil erosion control and water yield in the Pearl River Delta. *Ecological Indicators*, v. 99, p. 193-202, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.066>

JARDIM, Mariana, BURSZTYN, Maria Augusta. Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG). *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 20 n. 3, p. 353-360, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000106299>

JIANG, Yu; DINAR, Ariel; HELLEGERS, Petra. Economics of social trade-off: Balancing waste water treatment cost and ecosystem damage. *Journal of Environmental Management*, v. 211, p. 42-52, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.047>

KRONEMBERGER, Denise Maria Penna. Os desafios da construção dos indicadores ODS globais. *Ciência e Cultura*, v. 71 n. 1, p. 40-45, 2019. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602019000100012>

LEAL, Mariana *et al.* Definição de áreas prioritárias à conservação de solo e água na bacia do Itanguá, Capão Bonito - SP, Brasil. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 2, p. 531-544, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509826749>

LIMA, Flávia Pereira; BASTOS, Rogério Pereira. Perceiving the invisible: formal education affects the perception of ecosystem services provided by native areas. *Ecosystem Services*, v. 40, article 101029, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101029>

LIMA, Walter de Paula. Relações hidrológicas em matas ciliares. *In*: HENRY, Raoul (ed.). **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: Rima, 2003. p. 301-312.

LIMA, Walter de Paula. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, dez. 2008. Disponível em: https://www.ipef.br/publicacoes/acervohistorico/informacoestecnicas/hidrologia_florestal_aplicada_ao_manejo_de_bacias_hidrograficas.aspx. Acesso em: 4 jun. 2024.

LISBOA, Thais de Fátima Balbino; CIELO-FILHO, Roque; CÂMARA, Carla Daniela. Applicability of monitoring protocols developed for active restoration projects in the evaluation of passive restoration of a subtropical riparian forest in Brazil. **Tropical Ecology**, v. 62, p. 17-26, 2021. <http://dx.doi.org/10.1007/s42965-020-00120-7>

MAGALHÃES, Ronaldo José Ferreira; BARBOSA JÚNIOR, Antenor Rodrigues. O valor do serviço de proteção de mananciais. **Eng. Sanit. Ambi.**, v. 24, n. 5, p. 1049-1060, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522019142492>

MARTINS, Wander Araujo *et al.* Reduction of sediment yield by riparian vegetation recovery at distinct levels of soil erosion in a tropical watershed. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, e028220, 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202145028220>

MOURA, Albert Einstein Spindola Saraiva de *et al.* Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na Bacia do Prata, Recife, PE. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 461-469, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000300008>

NASCIMENTO, Denise Reis; ALVES, Livia Freitas; SOUZA, Maria Lucimar. Implantação de sistemas agroflorestais para a recuperação de áreas degradadas de preservação permanente em propriedades rurais da região da Transamazônica, Pará. **Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento**, v. 13, n. 2, p. 103-120, 2019. <http://dx.doi.org/10.18542/raf.v13i2.8711>

PARRON, Lucilia Maria *et al.* Research on ecosystem services in Brazil: a systematic review. **Revista Ambiente e Água**, v. 14, n. 3, e2263, 2019. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2263>

PIAGGIO, Matías; SIIKAMÄKI, Juha. The value of forest water purification ecosystem services in Costa Rica. **Science of The Total Environment**, v. 789, art. 147952, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147952>

RARES, Cássia; BRANDIMARTE, Ana Lucia. O desafio da conservação de ambientes aquáticos e manutenção de serviços ambientais em áreas verdes urbanas: o caso do Parque Estadual da Cantareira. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 111-128, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000200008>

ROCHA, Vinícius Machado *et al.* Reciclagem de precipitação na bacia amazônica: o papel do transporte de umidade e da evapotranspiração da superfície. **Rev. bras. meteorol.**, v. 32, n. 3, p. 387-398, jul.-set. 2017. <https://doi.org/10.1590/0102-77863230006>

RODRIGUES, Gisele; SANTINI JUNIOR, Maurício. Avaliação do emprego de técnicas compensatórias na sub-bacia urbana Ribeirão do Santa Rita, do município de Fernandópolis, SP. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 26, n. 2, p. 231-237, mar. /abr.2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/9V36bWTnZDWSjHSDMKsKYMp/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 4 jun. 2024.

SAENZ, Leonardo *et al.* The role of cloud forest restoration on energy security. **Ecosystem Services**, v. 9, p. 180-190, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.06.012>

SAENZ, Leonardo; MULLIGAN, Mark. The role of cloud affected forests (CAFs) on water inputs to dams. **Ecosystem Services**, v. 5, p. 69-77, 2013
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.02.005>

SALEMI, Luiz Felipe *et al.* Aspectos hidrológicos da recuperação florestal de áreas de preservação permanente ao longo dos corpos de água. **Revista do Instituto Florestal**, v. 23, n. 1, p. 69-80, 2011. <https://doi.org/10.24278/2178-5031.2011231286>

SANTOS, Cárilton; OLIVEIRA, Aryeverton; FERREIRA FILHO, Joaquim Bento. Potential impacts of climate change on agriculture and the economy in different regions of Brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 60, n. 1, e220611, 2022.
<https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220611>

SEGANFREDO, Diogo *et al.* Landscape Ecology in a Watershed of the Ocoy River, Wester Paraná State, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, e20150279, 2019.
<https://doi.org/10.1590/2179-8087.027915>

SILVA, Daniel. *et al.* Predicting zebrafish spatial avoidance triggered by discharges of dairy wastewater: an experimental approach based on self-purification in a model river. **Environmental Pollution**, v. 266, part. 2, art. 115325, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115325>

SILVA, Luzia Ferreira da *et al.* Interceptação da chuva por duas espécies arbóreas em áreas verdes urbanas. **CERNE**, v. 16, n. 4, p. 547-555, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602010000400014>

SOUZA, Silvia; RICHTER, Monika; COSTA, Alexander. Unidades de Conservação, serviços ambientais e o pagamento por serviços ambientais: uma análise a partir da REBIO Tinguá. **Espaço & Geografia**, v. 22, n. 1., p. 189-220, 2019. <https://doi.org/10.26512/2236-56562019e40161>

THOM, Ronald *et al.* Adaptive management of large aquatic ecosystem recovery programs in the United States. **Journal of Environmental Management**, v. 183, part. 2, p. 424-430, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.001>

TONELLO, Kelly; DIAS, Herly. Does exist some relationship between restoration and hidrology of forests ecosystems? **Agri. Res. & Tech.**, v. 13, n. 4, art. 555894, 2018.
<http://dx.doi.org/10.19080/ARTOAJ.2018.13.555894>

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Matriz e Docentes**: Campus Medianeira. Engenharia ambiental. 6 dez. 2017. Disponível em:
<https://www.utfpr.edu.br/cursos/coordenacoes/graduacao/medianeira/md-engenharia-ambiental/matriz-e-docentes>. Acesso em: 2 jun. 2021

ZÁKIA, Maria José *et al.* Delimitação da zona ripária em uma microbacia. **Revista Agrogeoambiental**, v 1, n. 1, p. 51-61, abr. 2009. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v1n12009235>

ZAKIA, Maria José; RIGHETTO, Antonio; LIMA, Walter de Paula. Delimitação da zona ripária em uma microbacia. In: LIMA, Walter de Paula.; ZAKIA, Maria José (org.). **As florestas plantadas e a água**: implementando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: RIMA, 2006. p. 89-106.

ZARNOTT, Daiane *et al.* The influence of riparian areas on direct surface runoff of precipitation events. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 4, e20180220, 2020.
<https://doi.org/10.1590/2179-8087.022018>

ZULU, Giveson; TOYOTA, Masaru; MISAWA, Shin-ichi. Characteristics of water reuse and its effects on paddy irrigation system water balance and the rice land ecosystem. **Agricultural Water Management**, v. 31, n.3, p. 269-283, 1996. Disponível em:
<https://ideas.repec.org/a/eee/agiwat/v31y1996i3p269-283.html> Acesso em: 4 Jun. 2024.