



GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO AMBIENTAL DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GMA

SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS, REGULAÇÃO DE EROÇÃO DE SOLO E DISPONIBILIDADE HÍDRICA: UM ESTUDO NA USINA DE ITAIPU

**FABRICIO BARON MUSSI(1); MICHELLE PIRES CUBILLA PEREZ(1)
ITAIPU (1)**

RESUMO

O objetivo deste trabalho consistiu em mensurar o serviço ecossistêmico de regulação da erosão do solo para a usina hidrelétrica de Itaipu. Entende-se que a vegetação da faixa de proteção evita que os sedimentos sejam despejados no reservatório, mantendo suas condições de operação e sua vida útil, e contribuindo para a segurança hídrica. Medir o valor desse serviço ecossistêmico representa uma oportunidade para compreender os riscos causados pela escassez de recursos naturais (água e solo), bem como dimensionar e avaliar a magnitude de investimentos ambientais (custos e benefícios) e atuar preventivamente nas áreas de interesse.

PALAVRAS-CHAVE: Regulação da erosão do solo; Disponibilidade hídrica; Serviços ecossistêmicos; Usina de Itaipu.

1.0 INTRODUÇÃO

Inúmeras usinas hidrelétricas foram construídas em bacias hidrográficas para atender às necessidades de energia do país. No entanto, parte da literatura afirma que os benefícios econômicos decorrentes da implantação e operação dessas usinas hidrelétricas são superestimados, enquanto os efeitos negativos sobre a biodiversidade, a qualidade da água e as comunidades ribeirinhas são subestimados. Outra evidência dessa sobrevalorização refere-se ao encurtamento da expectativa de vida dos empreendimentos hidrelétricos quando estes estão alocados a jusante de outros, já que estes perdem sua antiga capacidade de aprisionar sedimentos com o passar do tempo (Mendes, 2020).

Muitas hidrelétricas elaboram seus programas de sustentabilidade norteados por questões econômicas e socioambientais, visando atuar em compensações ambientais, bem como na redução de impactos, e apoiar o desenvolvimento da região onde está instalada (Moreira et al., 2015). O processo de definir como priorizar os investimentos em programas de sustentabilidade, bem como a magnitude desses investimentos, ainda representa um desafio, de modo que um dos campos de estudos que podem contribuir para essas definições de alocação de recursos compreende a avaliação de serviços ecossistêmicos (Arias et al, 2011; Vogl et al., 2016).

Ao mensurar economicamente os serviços ecossistêmicos, governos e organizações poderão estabelecer um referencial para seus gastos relativos à preservação, e também para eventuais pagamentos por serviços ambientais. O termo “serviços ecossistêmicos” descreve uma abordagem que associa diretamente o meio ambiente à provisão de bem-estar humano, um conceito ao qual a geração de energia renovável está intrinsecamente ligada (Espécie et al., 2019).

Espécie et al. (2019) discorrem sobre a dependência que as usinas hidrelétricas possuem dos serviços ecossistêmicos. A relação entre a geração de energia hidrelétrica e a conservação do ecossistema na bacia hidrográfica é enfatizada em termos de oferta e demanda por serviços ecossistêmicos de regulação do fluxo de água e retenção de sedimentos (Guo et al., 2007), de modo que o uso correto do solo da bacia a montante pode estender a vida útil dos reservatórios (Schleiss et al., 2016). Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa consiste em mensurar o serviço ecossistêmico de regulação da erosão do solo para a usina hidrelétrica de Itaipu. Entende-se que a vegetação da faixa de proteção evita que os sedimentos sejam despejados no reservatório, mantendo suas condições de operação e sua vida útil (Capeche, 2005; Harrington et al., 2010). Medir o valor desses serviços ecossistêmicos é uma oportunidade para compreender os riscos causados pela escassez de recursos naturais (água e solo), bem como dimensionar e avaliar a magnitude dos investimentos (custos e benefícios) e atuar preventivamente nas áreas de interesse.

Trata-se, ainda, de uma oportunidade para pesquisas, uma vez que na revisão preliminar da literatura sobre o tema poucos estudos discutem a oferta de serviços ecossistêmicos e seus benefícios para as hidrelétricas no cenário brasileiro. Esta pesquisa pode contribuir para uma possível replicação da metodologia de avaliação de investimentos

ambientais e prospecção de cenários de uso do solo e atividades de conservação, com o propósito de preservar a capacidade de reservatórios. Neste trabalho, estimou-se que, para cada US \$ 1 investido em atividades de preservação ambiental, a hidrelétrica evita gastos - em decorrência do processo de dragagem - que variam de US \$ 8 (menor custo) a US \$ 520,65 (maior custo).

O informe se inicia com o referencial teórico e, na sequência, são apresentados os procedimentos metodológicos e os resultados. Por fim, são discutidas as considerações finais.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 O setor elétrico e as usinas hidrelétricas

O setor elétrico é considerado fundamental para o funcionamento de praticamente todos os demais setores de uma economia, de modo que a disponibilidade de energia determina a capacidade do país de prestar diversos serviços à sua população e de prosperar economicamente. Para efeito de comparação, 64% da matriz energética do Brasil vem da hidroeletricidade, enquanto essa fonte representa 16,4% da matriz mundial (EPE, 2019). A capacidade hidrelétrica do Brasil fica evidente quando observamos a disponibilidade de recursos hídricos em regiões com potencial de geração de energia: a segunda bacia brasileira mais importante em hidroeletricidade, a Bacia do Paraná, usa 72% do seu potencial total, enquanto a Bacia do São Francisco usa 65%. O percentual de utilização de países como França e Alemanha é de 100% e 83%, respectivamente (MME, 2020).

Alguns autores defendem que empreendimentos hidrelétricos impactam sobre os locais onde estão instalados e que é preciso observá-los, principalmente nas esferas social, econômica e ambiental. Nesse contexto, uma ampla discussão tem ocorrido sobre a necessidade das empresas abordarem a sustentabilidade não apenas como uma questão auxiliar, mas integrando-a aos processos de decisão estratégica (Moreira et al., 2015). Com base em uma revisão sistemática sobre hidrelétricas, Jiang, Quiang e Lin (2016) utilizaram uma análise bibliométrica da produção científica de 1994 a 2013, avaliando 1.726 artigos relacionados ao tema (altamente relacionados à energia hidrelétrica). As principais constatações foram: (i) a maioria dos temas esteve ligada aos períodos de pós-construção e ao início da operação, e não aos projetos de construção e às tecnologias utilizadas e; (ii) a prevalência de tópicos multidisciplinares.

2.2 Sustentabilidade e serviços ecossistêmicos

A maioria dos estudos a respeito das ações para a sustentabilidade promovidas pelas hidrelétricas considera avaliações de natureza econômica, social e ambiental (Liu et al., 2013). São considerados os impactos locais, restrições que tais empreendimentos podem gerar nos ecossistemas e nas comunidades próximas, mudanças na dinâmica dos habitats terrestres e aquáticos, deposição de sedimentos no leito dos rios, diminuição da biodiversidade, degradação da qualidade da água, etc. (Wang et al., 2010; Yuksel, 2010; Schleiss et al., 2016).

Jager e Smith (2008), por sua vez, afirmam que os reservatórios de grandes hidrelétricas operam em sistemas que visam maximizar as receitas obtidas com a comercialização da energia gerada, respeitando algumas licenças de uso do reservatório. No entanto, esses sistemas de otimização geralmente não consideram a saúde do ecossistema aquático. Segundo esses autores, ambas as situações devem ser conciliadas, afastando-se o trade-off existente entre a maximização da receita de geração e a preservação do reservatório. Harmonizar a eficiência da geração com a preservação do meio ambiente se tornaria mais razoável, considerando o fornecimento de valoração da água.

Além disso, os reservatórios precisam de manutenção para garantir sua vida útil. Segundo Yüksel (2009), os reservatórios perdem capacidade de armazenamento quando os sedimentos se acumulam nos riachos que os mantêm. Sycitski et al. (2005) estimam que aproximadamente 100 bilhões de toneladas de sedimentos ficaram presos nos reservatórios construídos nos últimos 50 anos. A sedimentação excessiva e o aprisionamento de sedimentos são problemas preocupantes na operação de barragens e na produção de energia, além de impactar os processos hidroecológicos, como o fornecimento de nutrientes para espécies de peixes e reconstrução de deltas a jusante.

Sobre este tema, cabe acrescentar que cerca de 20% da sedimentação nos reservatórios provém de processos naturais, como intemperismo de rochas, ao passo que 80% resulta do mau uso e ocupação irregular do solo, falta de rotação de culturas, falta de terraceamento, problemas nas estradas rurais, falta de mata ciliar e destruição da cobertura florestal (Arias et al., 2011). Ações para manutenção da cobertura florestal a montante de uma bacia hidrográfica contribuem para a economia e vida operacional de uma usina hidrelétrica (Hajramurni 2010; Arias et al., 2011) e constituem uma referência monetária para a alocação de investimentos e para o estabelecimento de parcerias para o pagamento de serviços ambientais.

A cobertura vegetal em bacias hidrográficas fornece dois importantes serviços ecossistêmicos: fornece a regulação do fluxo de água do rio, e contribui retenção de sedimentos. Um aspecto importante para a manutenção da vida útil do reservatório está associado à preservação da vegetação que o circunda - especialmente nas faixas de proteção (Guo et al., 2007; Schleiss et al., 2016).

A título de exemplo de estudos já realizados, cita-se:

- o trabalho de Intralawan et al. (2018): na avaliação dos potenciais benefícios e custos ambientais decorrentes da instalação dos projetos hidrelétricos no rio Mekong (Vietnã), os autores concluíram que a previsão de perda com pesca, descarga de sedimentos no rio, e a perda de nutrientes para a biodiversidade local superam os benefícios da geração de eletricidade e do controle de enchentes. Esses fatos - se analisados antecipadamente - poderiam ter paralisado a própria instalação dos empreendimentos hidrelétricos naquela localidade.
- A pesquisa de Cruz et al. (1988), os quais apresentaram uma metodologia para avaliar o impacto econômico da erosão em um reservatório de hidrelétrica nas Filipinas. Foram mensurados três desdobramentos negativos: (a) redução da vida útil; (b) capacidade de armazenamento reduzida; e (c) aumento dos custos de manutenção da estrutura física da barragem. Os resultados foram utilizados para estabelecer uma linha de base para um eventual esquema de pagamento pelo serviço ambiental de conservação florestal na parte a montante da bacia hidrográfica que abastece a usina hidrelétrica. Por fim, sugeriu-se um esquema analítico para demonstrar como a perda futura de receita futura pode ser evitada investindo uma quantia relativamente pequena de recursos na gestão de bacias hidrográficas.
- O trabalho de Arias et al. (2011), os quais indicam uma sequência de etapas para estimar os pagamentos pela conservação florestal perto de uma usina hidrelétrica no Camboja. Esse modelo, na interpretação dos autores, garante a conservação de uma área de interesse da hidrelétrica, protegendo o reservatório de eventual descarga de sedimentos, de forma que o custo da conservação da vegetação circundante possa ser visto como um investimento em energia hidrelétrica, por evitar que o reservatório perca sua capacidade de armazenamento de água.

Adota-se, nesse trabalho, a definição de “serviços ecossistêmicos” oferecida por Costanza et al. (1997), segundo o qual tais serviços consistem em benefícios para as populações humanas, direta ou indiretamente obtidos das funções ecossistêmicas. Para as hidrelétricas, consideram-se os seguintes serviços ecossistêmicos como os principais: provisão geral, provisão de água, regulação da qualidade de água, regulação da erosão de solo, regulação do clima, serviços culturais e de turismo (GVces, 2018). Neste informe, considerou-se a regulação da erosão do solo como o serviço ecossistêmico primário, por seu impacto na vida operacional e econômica de uma usina. No entanto, é preciso reconhecer que a presença de sedimentos também impacta a qualidade e quantidade de água do reservatório e pode aumentar os custos de manutenção das unidades geradoras.

Estudos voltados ao estudo da regulação da erosão do solo estão entre os mais difundidos ao se analisar a literatura sobre serviços ecossistêmicos relacionados a usinas hidrelétricas (Fu et al., 2014; Espécie et al., 2019). A maioria deles procura estimar as toneladas de sedimentos que entram no reservatório em um determinado período, nas condições em que se encontrava a vegetação e em que o solo era utilizado. Essas informações são comparadas com dados sobre a sedimentação evitada quando melhorias nos cuidados do solo e da vegetação foram implementadas na mesma área. A sedimentação evitada é interpretada como um custo que deixará de ser desembolsado pela hidrelétrica, relacionado ao custo da dragagem para retirada desse sedimento (em toneladas ou metros cúbicos) do leito do reservatório (Capeche, 2005; GVces, 2018). Nesse contexto, a regulação da erosão é interpretada como um serviço ecossistêmico prestado pela natureza, e os custos evitados com a dragagem constituem uma das referências para avaliação de investimentos ambientais e pagamentos por serviços ambientais a moradores de áreas de interesse das usinas hidrelétricas. Nas palavras de Oliveira et al. (2013, p.160) diversas pesquisas têm relatado a influência dos sistemas de manejo do solo e métodos de preparo nas taxas de erosão.

Em termos gerais, quanto maior a degradação agregada do solo causada pelo método de preparo do solo ou menos sistemas de manejo de conservação, maiores são as perdas de solo. Estudos também mostram que uma melhor proteção do solo proporciona menores perdas de solo devido à menor exposição do solo a agentes erosivos. Dessa forma, quanto mais as lavouras se desenvolvem, menos áreas de solo ficam desprotegidas. Ressalta-se que a vegetação florestal desempenha um papel na regulação da disponibilidade de água com base nas seguintes possibilidades: (i) viabilizar o armazenamento da água da chuva por meio da vegetação florestal e redistribuir essas águas pelas copas das árvores, galhos e troncos; (ii) mitigar o escoamento devido à existência da camada de húmus, camada herbácea e raízes das árvores; (iii) revigorar a permeabilidade do solo pela presença de macroporos devido ao sistema de raízes; (iv) limitar a água no solo por meio do processo de transpiração das plantas evitando deslizamentos de terra (Medeiros; Young, 2011).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A proposta de simular a valoração de serviços ecossistêmicos para a Usina Hidrelétrica de Itaipu foi considerada tendo em vista que seu Programa de Sustentabilidade está em vigor há mais de uma década, sendo reconhecido internacionalmente por sua contribuição para o desenvolvimento socioeconômico da região Oeste do Paraná, por sua participação no fornecimento de energia ao Brasil (cerca de 11% do país), e por suas práticas de gestão da água e conservação do solo. Seu reservatório tem 170 km de extensão e foram instaladas 20 unidades de geração de 700 MW cada. O Reservatório de Itaipu, com 1.350 km² de área alagada, é o sétimo maior do Brasil em superfície e tem o melhor indicador de uso de água para a produção de energia entre os grandes reservatórios brasileiros. Em Itaipu, a taxa de produção é de 10,4 MW por km² (ou seja, cada 0,1 km² de área inundada pode gerar 1 MW) (Itaipu, 2019).

A pesquisa foi realizada por meio da avaliação de documentos setoriais (PDE, 2020) os relatórios anuais da Usina. O objetivo desta fase foi obter informações sobre as ações abrangidas pelo programa de sustentabilidade relacionadas com o serviço ecossistêmico de regularização do solo. Ciente de que a erosão interfere na capacidade de armazenamento do reservatório, buscou-se ainda quantificar o valor do metro cúbico utilizado na geração de energia. Esse exercício se justifica pelo fato de que a conservação e disponibilidade da água não pode ser alcançada sem o devido cuidado com outros recursos naturais, pois o ciclo hidrológico reflete as condições, os usos e a ocupação do solo de onde provém a água, em suma, o ciclo da água depende dos benefícios da cobertura vegetal (Lima, 1996).

Em seguida, realizou-se um exercício de valoração com base na metodologia recomendada na literatura (Arias et al., 2011; GVces, 2018). Considerando os custos de reposição, foram estimados os gastos que seriam necessários para a recuperação do reservatório (em função da descarga de sedimentos). De acordo com GVces (2019, p. 99):

Método de Custo de Substituição é baseado na premissa de que os custos incorridos (ou estimados) para substituição, restauração ou substituição da quantidade ou qualidade de um serviço ecossistêmico constituem uma estimativa válida dos valores dos benefícios que tal serviço ecossistêmico fornece a empresa ou a sociedade. Assim, a perda deste serviço ecossistêmico representaria um ônus para a atividade da empresa ou da sociedade, o que se refletiria parcialmente no valor monetário que deveria ser pago pela reposição deste serviço [...]. Os custos relacionados com as compensações ambientais também são considerados neste método [...] e pode ser utilizado para estimar valores que estão associados a perdas que podem ocorrer no futuro (ex-ante), ou para estimar valores que estão associados a perdas que ocorreram no passado (ex-post).

Na sequência, procedeu-se com as seguintes etapas: projeções de erosão foram realizadas considerando três cenários de uso do solo (pastagem, plantio convencional e sistema de plantio direto); o acúmulo de sedimentos evitado no reservatório foi quantificado; os custos resultantes do processo de dragagem desses sedimentos foram calculados. Por fim, conforme recomendado por Arias et al. (2011), procedeu-se à avaliação da eventual receita não desembolsada devido ao acúmulo de sedimentos, tendo como referência o valor médio do metro cúbico de água utilizado na geração de energia.

Para obter o custo evitado, foram analisados os aspectos:

- i. Área total coberta pela vegetação da zona de proteção do reservatório;
- ii. O histórico de investimentos e ações realizados na região da zona de proteção do reservatório;
- iii. O atual padrão de perda de solo na região, em decorrência do avançado estágio de conservação em que se encontra a zona de proteção;
4. Potenciais perdas de solo em diferentes tipos de uso do solo: sem cobertura vegetal; com semeadura convencional; e com sistema de plantio direto;
- v. Avaliação dos custos de dragagem - máximos e mínimos - para retirada de sedimentos do reservatório;
- vi. Quantificação de eventuais receitas não auferidas devido ao acúmulo de sedimentos.

Em seguida, procedeu-se com a comparação entre esses custos e os investimentos realizados pela hidrelétrica, incluindo reflorestamento, plantio de mudas e conservação do solo. A representatividade dos investimentos foi definida considerando os custos de dragagem. Por fim, os dados foram apresentados aos gestores da usina hidrelétrica para serem validados.

4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

A figura a seguir apresenta as ações ambientais que foram consideradas nesta avaliação, levando em consideração seus objetivos e a justificativa para o seu desenvolvimento.

Ação	Objetivo	Justificativa
Gestão da vegetação da faixa de proteção do reservatório	<ul style="list-style-type: none"> - Recuperação, proteção e conservação das áreas protegidas (área de vegetação próxima ao reservatório); - Recuperação e conservação de áreas de preservação permanente, por meio da criação de corredores ecológicos que permitem o fluxo gênico da flora e fauna regional. 	Conservar e recuperar as áreas protegidas pertencentes à Usina de Itaipu, garantindo sua integridade biológica.
Manejo integrado de água e solo	<ul style="list-style-type: none"> - Práticas de conservação, como terraceamento agrícola, controle de voçorocas, adequação de estradas rurais, construção de cerca de isolamento de mata ciliar, reflorestamento, recuperação de nascentes de rios, plantio de mudas e proteção e recuperação de nascentes. 	Reduzir a geração de sedimentos de forma a manter a disponibilidade de água de boa qualidade e em quantidade suficiente para a produção de energia e outros usos.

Figura 4: Ações ambientais

Fonte: Elaborado com base em dados secundários.

Em relação à avaliação da descarga de sedimentos, foram considerados três cenários comuns de uso do solo em áreas próximas aos reservatórios, bem como o padrão de perda de solo reconhecido pela hidrelétrica, considerando a qualidade do solo daquela região e o estágio avançado de conservação das áreas.

Tabela 1:
Avaliação da descarga de sedimentos

Área total avaliada para estimar a erosão na faixa de proteção do reservatório	28,000 ha		
Diferentes usos do solo	Pastagem	Plantio convencional	Plantio direto
Padrões de erosão de solo (referência: equação universal de perda de solo)	175.80 t/ha/ano	26 t/ha/ano	13 t/ha/ano
Padrão de erosão na faixa de proteção (reconhecido pela hidrelétrica)	1.7 t/ha/ano		

Fonte: Elaborado com dados secundários

Com base nessas informações, foi realizada uma simulação de custos considerando a retirada de sedimentos do leito do reservatório. Nesta etapa, foram utilizadas referências de custo máximo e mínimo, identificadas na literatura (Bidone et al. 2009; Bueno, 2010; GVces, 2016).

Tabela 2:
Cálculo de custos:

Erosão (toneladas)	Erosão (t/ha/ano) x hectares da faixa de proteção	Erosão x custo de dragagem (por ton.)	Custo de dragagem/ano	
175.8 – 1.7 (tons)	174.10*28000	4,874,800*US\$ 650	US\$ 3.168 Bi	Custo máximo
26-1.7 (tons)	24.30*28000	680,400*US\$ 650	US\$ 442.26 Mi	
13 – 1.7 (tons)	11.30*28000	316,400*US\$ 650	US\$ 205.66 Mi	
Erosão (convertendo toneladas em m³)	Erosão (t/ha/ano) x hectares da faixa de proteção	Erosão x custo de dragagem (por m³)	Custo de dragagem/ano	
(175.8 – 1.7)/1.5	116.06*28000	3,249,680 * US\$ 15	US\$ 48.74 Mi	Custo mínimo
(26-1.7)/1.5	16.2*28000	453,600 * US\$ 15	US\$ 6.80 Mi	
(13 – 1.7)/1.5	7.533*28000	210,924 * US\$ 15	US\$ 3.16 Mi	

Fonte: Elaborado com base em dados secundários.

Conforme descrito nos relatórios anuais de Itaipu, o uso predominante do solo pelos agricultores ribeirinhos da região ocorre com a aplicação de técnicas de plantio direto. Essas técnicas são incentivadas pelo programa de sustentabilidade da hidrelétrica, por meio de ações executadas há mais de uma década, contemplando a assistência técnica rural e práticas de desenvolvimento rural sustentável.

Diante do exposto na tabela 2, é possível inferir que custos anuais da ordem de US\$ 3,16 milhões são evitados quando consideramos o menor custo de dragagem verificado na literatura. Nota-se que os custos com a retirada de sedimentos do reservatório seriam maiores no eventual uso do solo para pastagem ou com o emprego de técnicas convencionais de plantio.

Quando simulada a eventual receita não auferida por acúmulo de sedimentos, utilizando o valor do metro cúbico como unidade de referência, foram analisados o consumo de água, a geração (gigawatts-hora) e a receita nos últimos 11 anos. A tabela a seguir apresenta as informações que evidenciam a dependência da disponibilidade hídrica como insumo, uma vez que a redução de sua oferta pode ocasionar queda na geração. Nesse caso, sugere-se que a avaliação econômica reflita a perda de faturamento equivalente na eventual perda de capacidade de armazenamento do reservatório devido ao lançamento de sedimentos (GVces, 2018).

Tabela 3:

Histórico de consumo de água para geração e resfriamento, geração de energia e receita.

Ano	Total m ³	Geração (GWh)	Receita (US\$)	US\$/m ³
2010	302,463,122,458	85,303	3,450,500,000	0.01141
2011	326,072,700,058	91,523	3,384,400,000	0.01038
2012	344,836,101,658	97,533	3,703,500,000	0.01074
2013	349,534,447,258	97,878	3,760,100,000	0.01076
2014	309,180,808,858	87,165	3,680,400,000	0.01190
2015	314,828,344,858	88,575	3,680,800,000	0.01169
2016	369,998,719,258	102,335	3,811,500,000	0.01030
2017	336,476,556,058	95,682	3,729,703,000	0.01108
2018	333,253,836,058	96,586	3,699,900,000	0.01110
2019	265,395,069,057	79,445	3,586,800,000	0.01351
2020	252,101,869,083	76,842	3,566,800,000	0.01414

Fonte: Elaborado com base em dados secundários.

Com base na tabela 3, verifica-se que o valor médio do metro cúbico é de US \$ 0,0115, de forma que o consumo médio diário de água é de 872.762.534,16 m³ e a receita média diária é de US\$ 9.976 milhões. Nesse contexto, considera-se que a perda de capacidade de armazenamento de água que comprometa a disponibilidade desse insumo para geração pode afetar diretamente o faturamento da hidrelétrica. Embora a perda de receita não seja o ponto central deste trabalho, destaca-se a forte interface entre o serviço ecossistêmico de regulação da erosão do solo e o abastecimento de água (Lima, 1996; Medeiros & Young, 2011).

Os dados da tabela 3 também revelam trajetórias semelhantes entre o consumo de água e a geração de energia, reforçado pelo índice de correlação verificado nesta série histórica ($r = 0,986554$). Pode-se afirmar que, além da preservação do reservatório, é necessário vislumbrar os impactos positivos para a disponibilidade hídrica quando a vegetação e o solo adjacente são preservados. É importante observar que a água, como principal insumo para a geração hidrelétrica, passa por um momento de escassez em decorrência de uma série de fatores (regime de chuvas, condições precárias da vegetação próxima aos reservatórios, entre outros) que têm causado a redução da geração hidrelétrica nos últimos anos e consequente aumento das tarifas devido à participação crescente de outras fontes (térmicas, eólicas e outras) no abastecimento nacional. A figura a seguir destaca a vazão de água e a trajetória da geração de energia nos últimos anos para a usina de Itaipu.

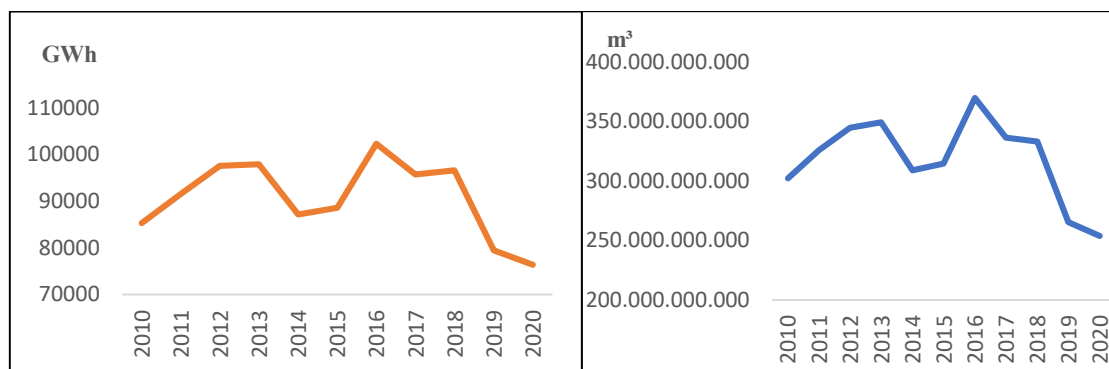


Figura 5: Geração de energia e consumo hídrico.

Figura 5:

Fonte: Elaborado com base em dados secundários.

Por fim, foram avaliados os investimentos do programa de sustentabilidade da hidrelétrica com foco em atividades que impactam diretamente na manutenção da vegetação e na conservação do solo, que são percebidas como evitando diretamente o afluxo de sedimentos ao reservatório. Os valores médios anuais são de US\$ 312.500 e US\$ 82.500, respectivamente, e sua soma representa aproximadamente 13% do menor custo anual evitado com dragagem e 0,011% da receita média anual. Com essas informações, estima-se que, para cada US\$ 1 investido nessas atividades, a hidrelétrica evita gastos futuros - em decorrência do processo de dragagem - que variam de US\$ 8 (menor custo) a US\$ 520,65 (custo mais alto).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi medir o serviço ecossistêmico de regulação da erosão do solo para a usina hidrelétrica de Itaipu. Verificou-se que o serviço ecossistêmico fornecido pelo solo e vegetação ao redor do reservatório tem impedido que altas descargas de sedimentos entrem no reservatório, corroborando estudos anteriores (Arias et al., 2011; Vogl et al. 2016). Esse benefício permite que a capacidade de armazenamento do reservatório seja mantida, evitando a redução de sua vida útil. Os custos anuais evitados com a retirada de sedimentos do reservatório, com uso do solo para plantio direto na região próxima ao reservatório, variam de US\$ 3,16 milhões a US\$ 205,66 milhões.

Com essas informações, e considerando a média dos desembolsos anuais da hidrelétrica na conservação da vegetação em áreas protegidas e manejo integrado de água e solo, atesta-se a viabilidade econômica de se manter as ações desenvolvidas, representando um investimento na preservação da capacidade de armazenamento do reservatório, sendo a água o principal insumo para a geração hidrelétrica. Se reconhece que essas atividades não são as únicas operacionalizadas pelo Programa de Sustentabilidade de Itaipu, mas foram interpretadas nesta pesquisa como sendo decisivas - segundo a literatura especializada (Oliveira, 2003; Capeche, 2005; Vogl et al. 2016) - para evitar o avanço da erosão no local.

Outro aspecto que não foi considerado no estudo, embora de grande importância, é o impacto de outros empreendimentos a montante do reservatório de Itaipu. O último levantamento realizado sinalizou que existem outros 156 reservatórios artificiais de diversos tamanhos e finalidades a montante da Itaipu (Mendes, 2020). Ao longo do tempo, à medida que esses reservatórios se tornam assoreados, eles perdem gradualmente sua capacidade de retenção de sedimentos, liberando cada vez mais a descarga de sedimentos para empreendimentos a jusante. Como consequência, os reservatórios a jusante ficam assoreados mais rápido do que o previsto e, portanto, também perdem sua eficiência de captura. Esse fenômeno é sinérgico e ocorre em todos os reservatórios da bacia hidrográfica ao mesmo tempo como um efeito dominó.

Dentre as possíveis contribuições de um exercício de valoração ecossistêmico, destacam-se: a possibilidade de ampliar o entendimento dos riscos decorrentes da sedimentação e eventual escassez de água; a possibilidade de melhor dimensionar os investimentos ambientais tendo em vista a magnitude dos serviços prestados pelo meio ambiente; e a oportunidade de a organização atuar preventivamente em áreas de interesse, como as do entorno do reservatório. Além disso, com essas informações, novas frentes de pesquisa podem ser abertas, como a utilização de medições monetárias realizadas como referência para projetos que incluem pagamentos por serviços ambientais a produtores locais do entorno interessados em preservar a vegetação. Nesse contexto, destacam-se iniciativas bem sucedidas dessa natureza realizadas por usinas hidrelétricas na Costa Rica, Venezuela e Colômbia. Essas usinas pagam pela conservação das bacias (Pagiola; Von Glehn & Taffarello, 2013).

É reconhecido, por fim, que este exercício de avaliação aponta dados relevantes para apoiar o processo de tomada de decisão de uma organização, no que diz respeito ao seu desempenho ambiental, embora aspectos como taxa de sedimentação, disposição de sedimentos a montante do reservatório, interferência de outros reservatórios a montante e características específicas do local não foram consideradas, sendo limitações desse estudo. Esses tópicos podem ser relevantes para estimativas de sedimentação e, sua inclusão, podem representar uma oportunidade para estudos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARIAS, M., COCHRANE, T., LAWRENCE, K., KILLEEN, T., & FARRELL, T. (2011). Paying the forest for electricity: A modelling framework to market forest conservation as payment for ecosystem services benefiting hydropower generation. *Environmental Conservation*, 38(4), 473-484.
- BIDONE, E.D.; SILVEIRA, R.P.; FIORI, C.S.; RODRIGUES, A.P.C.; PIRES, M.F.A; CASTILHOS, Z.C. (2009). Custo socioeconômico de dragagens portuárias. In: Boldrini, E. B.; Paula, E. V. (Orgs). *Gestão ambiental portuária*. Antonina: Ademadan, 2009.
- BUENO, R.I.S. (2010). Aproveitamento da areia gerada em obra de desassoreamento - caso: Rio Paraibuna/SP. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- CAPECHE, C. L. Processos erosivos em áreas da Usina Hidrelétrica Franca Amaral - Bom Jesus de Itabapoana. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005

- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253–260.
- ESPÉCIE, M.A.; CARVALHO, P.N.; PINHEIRO, M.F.B.; ROSENTHAL, V.M.; SILVA, L.A.F.; PINHEIRO, M.R.C.; ESPIG, S.A.; MARIANI, C.F.; ALMEIDA, E.M.; SODRÉ, F.N.G.A.S. (2019). Ecosystem services and renewable power generation: A preliminary literature review. *Renewable Energy*, 140: 39–51, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.076>.
- GVCES. (2016). Valoração Econômica de Serviços Ecossistêmicos Relacionados aos Negócios – Estudos de caso do ciclo 2015. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo. 41 p.
- GVCES. (2018). Aplicação das Diretrizes Empresariais para Valoração Econômica de Serviços Ecossistêmicos (DEVESE) e das Diretrizes Empresariais para valoração não econômica de Serviços Ecossistêmicos Culturais (DESEC) 1 para hidrelétricas. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, 52 p.
- GVCES. (2019) Diretrizes Empresariais de Valoração Econômica de Serviços Ecossistêmicos. Versão 3. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, 102p.
- GUO, Z., LI, Y., XIAO, X., ZHANG, L., & GAN, Y. (2007). Hydroelectricity production and forest conservation in watersheds. *Ecological Applications*, 17(6): 1557–1562. doi:10.1890/06-0840.1
- HAJRAMURNI, A. (2010). Makassar dam threatened by sediment, experts say. *The Jakarta Post*. May 21. Retrieved from: <http://www.thejakartapost.com/news/2010/05/21/makassardam-threatened-sediment-experts-say.html>. Acesso em: 01 de julho de 2020
- HARRINGTON, R., ANTON, C., DAWSON, T.P., DEBELLO, F., FELD, C.K., HASLETT, J.R., KLUVÁNKOVÁ-ORAVSKÁ, T., KONGOIANNI, A., LAVOREL, S., LUCK, G.W., ROUNSEVELL, M.D.A, SAMWAYS, M.J., SETTELE, J., SKOURTOS, M., SPANGENBERG, J.A., VANDEWALLE, M., ZOBEL, M., HARRISON, P.A. (2010). Ecosystem services and biodiversity conservation: concepts and a glossary. *Biodivers. Conserv.* 19: 2773–2790.
- INTRALAWAN, A., WOOD, D., FRANKEL, R., COSTANZA, R., & KUBISZEWSKI, I. (2018). Tradeoff analysis between electricity generation and ecosystem services in the Lower Mekong Basin. *Ecosystem Services*, 30: 27–35. doi:10.1016/j.ecoser.2018.01.007
- JAGER, H. I., & SMITH, B. T. (2008). Sustainable reservoir operation: can we generate hydropower and preserve ecosystem values? *River Research and Applications*, 24(3): 340–352. doi:10.1002/rra.1069
- JIANG, H.; QIANG, M. AND LIN, P. (2016). A topic modeling based bibliometric exploration of hydropower research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57(3): 226–237. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.194
- LIMA, W.P. (1996). Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas. Piracicaba. 315 p.
- LIU, J.; ZUO, J.; SUN, Z.; ZILLANTE, G.; CHEN, X. (2013) Sustainability in hydropower development – a case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19: 230–237. DOI: 10.1016/j.rser.2012.11.036.
- MEDEIROS, R.; YOUNG, C.E.F. (2011). Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional: Relatório Final. Brasília: UNEP-WCMC. 120p.
- MENDES, A. B. (2020). Ampliação da vida útil da UHE Itaipu devido à implantação da UHE Porto Primavera. *Anais do XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos*. Campinas, São Paulo. Retrieved from: <<https://anais.abrhidro.org.br/jobs.php?Event=98>>. Access on 12th July 2021.
- MOREIRA, J. M., CESARETTI, M. A., CARAJILESCOV, P., MAIORINO, J. R. (2015). Sustainability deterioration of electricity generation in Brazil. *Energy Policy*, 87(December): 334–346. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.09.021
- OLIVEIRA, A.H.; SILVA, M.L.N.; CURI, M.; AVANZI, J.C.; NETO, G.K.; & ARAÚJO, E.F. (2013). Water erosion in soils under eucalyptus forest as affected by development stages and management systems. *Ciência e Agrotecnologia*, 37 (2): 159–169.
- PAGIOLA, S.; VON GLEHN, S.S.; TAFFARELLO, D. (2013). Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil. São Paulo, SP: SMA/CBRN. 2013. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/publication/262636429_Experiencias_de_Pagamentos_por_Servicos_Ambientais_no_Brasil>. Acesso em: 01 de julho de 2020.
- SCHLEISS, A.J.; FRANCA, M.J.; JUEZ, C. & CESARE, G. (2016) Reservoir sedimentation. *Journal of Hydraulic Research*, 54(6): 595–614, Doi: 10.1080/00221686.2016.1225320
- Vogl, A.L.; Frank, P.J.D.; Wolny, S.; Johnson, J.A.; Hamel, P.; Narain, U.; Vaidya, A. (2016). Managing forest ecosystem services for hydropower production. *Environmental Science & Policy*, 61 (july): 221–229, doi:10.1016/j.envsci.2016.04.014
- WANG, G., FANG, Q., ZHANG, L., CHEN, W., CHEN, Z., & HONG, H. (2010). Valuing the effects of hydropower development on watershed ecosystem services: Case studies in the Jiulong River Watershed, Fujian Province, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 86(3): 363–368. doi:10.1016/j.ecss.2009.03.022
- YÜKSEL, I. (2010). Hydropower for Sustainable Water and Energy Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1): 462–469. DOI: 10.1016/j.rser.2009.07.025

DADOS DOS BIOGRÁFICOS



- (1) FABRICIO BARON MUSSI. Pós doutorando em Planejamento e Governança Pública (UTFPR), Doutor em Administração (PUC.PR), Mestre em Administração (UFPR), Economista (UFPR). Atua como gestor de contratos no Departamento de Reservatório e Áreas Protegidas da ITAIPU Binacional

(1) MICHELLE PIRES CUBILLA PEREZ. Trabalha há oito anos na Hidrelétrica Itaipu Binacional, Superintendência de Gestão Ambiental. Integra equipe multidisciplinar atuando na gestão e execução de projetos na área de conservação da biodiversidade. Possui graduação em Farmácia Bioquímica (UFSC, 2006), especialização em Microbiologia (UFPR, 2009), mestrado (2012) e doutorado (2016) em Biologia Celular e Molecular (UFPR). Realizou intercâmbio na University of California, EUA (UCDavis), onde desenvolveu projeto de doutorado sobre hemoparasitas em animais silvestres e integrou grupo de pesquisa em Ecologia de Doenças Infecciosas. Tem experiência nas áreas de Biologia Molecular, Biologia da Conservação e Gerenciamento de Projetos de P&D em uma perspectiva interdisciplinar.