



Análise de serviços ecossistêmicos na Avaliação de Impacto Ambiental: proposta e aplicação em um empreendimento minerário

Ecosystem Services Analysis in Environmental Impact Assessments: Proposal and Application in a Mining Project

Mariana Hortelani Carneseca LONGO^{1*}, Ricardo Ribeiro RODRIGUES²

¹ Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, SP, Brasil.

² Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, SP, Brasil.

* E-mail de contato: marihc@ipt.br

Artigo recebido em 24 de julho de 2017, versão final aceita em 14 de novembro de 2017.

RESUMO:

Considerando a inclusão da abordagem dos serviços ecossistêmicos na avaliação ambiental de empreendimentos, a partir de um estudo de caso em uma mineração de rocha fosfática, o presente estudo teve como objetivo responder a seguinte questão: quais impactos decorrentes da mineração mais interferem na oferta local de serviços ecossistêmicos? O método de análise utilizado foi fundamentado em um modelo de avaliação não monetária, com base nos padrões da atividade de mineração, bem como na capacidade das diferentes classes de uso e ocupação do solo em fornecer serviços ecossistêmicos. Dentre os 27 serviços potenciais a serem ofertados pela paisagem local, todos são afetados pelos impactos ambientais gerados pela mineração. A maior interferência ocorreu nos serviços diretamente relacionados ao bem-estar da população envolvida, que representam o provimento de recursos naturais e de informações e oportunidades, porém, no Estudo de Impacto Ambiental não estão descritas medidas mitigadoras ou programas sociais relacionados a estes serviços, o que demonstra que a abordagem empregada por este método de avaliação ambiental comumente utilizado não leva em consideração todos os aspectos relacionados ao bem-estar da população envolvida. Dentre os 32 impactos ambientais identificados, nove não interferiram no fornecimento de serviços ecossistêmicos e estes impactos estão relacionados a aspectos socioeconômicos, o que demonstra que o uso da abordagem de serviços ecossistêmicos na avaliação de impacto ambiental, com foco nos serviços potenciais ofertados localmente pela paisagem e sem levar em consideração a análise econômica da atividade, acaba por subdimensionar a interferência na esfera social e econômica. Recomenda-se inserir este método de análise na avaliação de impactos ambientais de empreendimentos e projetos, visto que esta ferramenta de avaliação baseada em serviços ecossistêmicos permite identificar conflitos e sinergias entre as atividades antrópicas e os ecossistemas, fornecendo subsídios para apontar medidas adicionais de mitigação de impactos e de compensação ambiental.

Palavras-chave: serviços ecossistêmicos; avaliação de impactos ambientais; mineração.

ABSTRACT: Taking into account the ecosystem services approach in the environmental project assessments and based on a case study of a rock phosphate mining operation, this study aims to answer the following question: which impacts resulting from mining most interfere with the local supply of ecosystem services? The method of analysis was based on a framework of non-monetary assessment itself based on the established patterns of the mining activity, as well as the ability of different land uses to provide ecosystem services. Among the 27 potential services offered by the local landscape, everyone is affected by the environmental impacts of the mining activity. Most interference occur in the services directly related to the welfare of the population involved, such as the provision of natural resources, information and opportunities, but the mitigation measures and social programs related to these services is not described in the Environmental Impact Study, which shows that the approach used by this environmental assessment method, commonly used, does not take into account all aspects related to the welfare of the population involved. Among the 32 identified environmental impacts, nine of them did not affect the provision of ecosystem services, and these impacts are related to socioeconomic aspects, which shows that the use of ecosystem services approach to environmental impact assessment, focusing on potential services offered locally by the landscape without taking into account the economic analysis of activity underestimates the interference in the social and economic sphere. The inclusion of the analysis of ecosystem services in the environmental impact assessment of projects is recommended, as the assessment tool based on ecosystem services allows us to identify synergies and conflicts between human activities and ecosystems, providing input to identify additional actions for impact mitigation and environmental compensation.

Keywords: ecosystem services; environmental impact assessment; mining.

1. Introdução

Os serviços prestados pelos ecossistemas apresentam um papel vital no bem-estar do homem. Embora alguns serviços sejam facilmente reconhecidos, tais como alimentos, madeira e água potável, outros podem ser menos aparentes. A redução ou perda de alguns destes serviços e dos benefícios que eles produzem podem gerar impactos socioeconômicos que reverberam além dos danos ambientais (Landsberg *et al.*, 2013).

Ainda que a importância dos serviços prestados pelos ecossistemas ao bem-estar humano seja reconhecida, as ferramentas comumente utilizadas de avaliação de impactos ambientais não avaliam, especificamente, os impactos decorrentes de um projeto sobre esses serviços, principalmente naqueles referentes às atividades de mineração, como é o caso do empreendimento analisado no presente estudo. Integrar os serviços ecossistêmicos na avaliação de impactos pode resultar em uma avaliação mais

compreensiva e realista dos impactos imediatos e em longo prazo (Landsberg *et al.*, 2013).

Segundo Rosa & Sánchez (2012), o recente desenvolvimento do conceito de serviços ecossistêmicos para aplicação em avaliação de impactos é uma tentativa de análise integrada do território que pretende superar as deficiências da abordagem tradicional da avaliação de impactos, frequentemente tida como demasiadamente descritiva e insuficientemente analítica. A relevância do tema sobre serviços ecossistêmicos para a avaliação ambiental está em considerá-los tanto como passivos quanto como ativos de empreendimentos, visto que nem sempre os serviços ecossistêmicos são considerados na avaliação de projetos, o que gera subvalorização, caso o projeto apresente externalidades positivas, ou supervalorização, caso apresente externalidades negativas.

O reconhecimento dos serviços e funções ecológicas existentes na paisagem que será impactada por um empreendimento permite, no momento do

planejamento e da avaliação da viabilidade ambiental, adaptar as atividades e os aspectos do projeto com o intuito de evitar maiores impactos negativos sobre os ecossistemas mais frágeis. Sendo assim, poderá ser possível propor medidas de mitigação que possam aumentar ou pelo menos manter o desempenho do projeto analisado, assim como melhorar a qualidade de vida dos grupos humanos afetados pelo projeto (Landsberg *et al.*, 2011; Baker *et al.*, 2013; Honrado *et al.*, 2013; Rosa & Sánchez, 2016; Veiga Lima *et al.*, 2016).

Diante desta contextualização, este estudo foi motivado pela seguinte questão: “Quais impactos decorrentes da mineração mais interferem na oferta local de serviços ecossistêmicos?”. Para responder esta questão, os objetivos do estudo foram: (1) Identificar os serviços ecossistêmicos potenciais associados aos diferentes usos e à ocupação do solo da área de estudo; (2) Avaliar como os impactos ambientais (positivos e negativos) decorrentes de uma atividade minerária interferem no potencial de oferta dos serviços ecossistêmicos identificados.

Além desta introdução, o texto a seguir está organizado em outras cinco seções. A próxima seção apresenta uma breve contextualização sobre a abordagem dos serviços ecossistêmicos no processo de avaliação ambiental. A seção 3 consiste na descrição de um método de avaliação dos impactos ambientais nos serviços ecossistêmicos. A quarta seção apresenta a área de estudo onde foi aplicado o método proposto na seção anterior. Na seção 5, discute-se sobre os resultados obtidos, ressaltando a relação dos impactos ambientais decorrentes da extração mineral e os serviços ecossistêmicos potencialmente fornecidos pela paisagem e, por fim, na seção 6, apresentam-se as principais conclusões do estudo.

2. Serviços ecossistêmicos no processo de avaliação ambiental

Dois níveis de avaliação são comumente reconhecidos: Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), aplicada no nível de projetos individuais, e Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), que é aplicada para políticas, planos e programas. Esse processo de avaliação já existe há mais de 40 anos e tem sido praticado na maioria dos países do mundo, tendo como princípio a orientação dos tomadores de decisão para uma melhor posição em relação ao desenvolvimento sustentável (Slootweg *et al.*, 2010).

A abordagem dos serviços ecossistêmicos na avaliação de impactos tem sido recomendada desde 2006 pela Convenção sobre a Diversidade Biológica – “Diretrizes voluntárias sobre avaliações de impacto que abrangem a biodiversidade” (CDB, 2006) e reforçada após a publicação dos Padrões de Desempenho sobre Sustentabilidade Socioambiental, da Corporação Financeira Internacional (IFC, 2012).

O foco no conceito de serviços ecossistêmicos fornece uma nova maneira para abordar o manejo do meio ambiente e para conectar natureza e sociedade em processos de avaliações, e o uso desta abordagem está se tornando dominante em todos os níveis de tomada de decisão com foco ambiental (Andrade *et al.*, 2012; IFC, 2012; Karjalainen *et al.*, 2013; Longo *et al.*, 2014; Veiga Lima *et al.*, 2016).

Baker *et al.* (2013), ao analisarem os prós e contras relativos à aplicação do conceito de serviços ecossistêmicos nas ferramentas tradicionais de avaliação ambiental (AIA e AAE), concluíram que os serviços ecossistêmicos fornecem um potencial valioso para o processo de avaliação, mas que se deve levar em consideração o contexto específico de como os serviços serão utilizados para ajudar a

resolver alguns dos problemas comuns decorrentes da prática de avaliação ambiental, já que existe a necessidade de reconhecer que às vezes o uso desta abordagem pode não ser apropriado caso não forneça um valor diferencial aos métodos tradicionais.

Se aplicado desde a análise do escopo até o acompanhamento do projeto, o uso de serviços ecossistêmicos na avaliação de impactos pode fornecer uma oportunidade para identificar conflitos e sinergias entre as atividades antrópicas e os ecossistemas, permitindo estabelecer diálogos e processos de negociação para aumentar os ganhos entre os beneficiários e evitar prejuízos, bem como para explorar os benefícios a longo prazo (Honrado *et al.*, 2013; Rosa & Sánchez, 2015), além de revelar medidas adicionais de mitigação de impactos, especialmente os sociais, e medidas de gestão de riscos operacionais (Landsberg *et al.*, 2013).

No entanto, observa-se que a abordagem dos serviços ecossistêmicos dentro de avaliações ambientais e de tomada de decisão introduz um novo nível de complexidade. Ainda existem muitos desafios na utilização dos serviços ecossistêmicos em avaliação de projetos, tais como: seleção e quantificação dos serviços ecossistêmicos a serem avaliados; compreensão das interações entre os serviços; preferências da sociedade no que diz respeito à gama de serviços; caracterização dos beneficiários; e seleção de uma escala específica para avaliação (Geneletti, 2011; Karjalainen *et al.*, 2013; Rosa & Sánchez, 2015).

O processo de avaliação ambiental concentra-se em uma área geográfica delimitada, enquanto os serviços ecossistêmicos são fornecidos e utilizados em diferentes escalas, que podem ser mais amplas do que os limites considerados no processo de avaliação (Geneletti, 2011). Os serviços ecossistêmicos são ofertados num intervalo de escalas espaciais e temporais, variando entre curto e longo

prazos e entre escalas local e global, o que indica que os processos ecológicos que os geram podem ocorrer em níveis distintos, tais como: abordagem global, bioma, paisagem, ecossistema, frações de ecossistemas (*plots*) e em nível de indivíduo (Hein *et al.*, 2006).

Ao mesmo tempo, a avaliação ambiental e a abordagem dos serviços ecossistêmicos podem afetar diferentes grupos de interesse (*stakeholders*), em vários níveis institucionais (internacional, nacional, estadual/provincial, municipal, família e individual). Sendo assim, além dos conflitos entre as escalas espacial e temporal, os problemas com as escalas ecológica e institucional reforçam a complexidade envolvida nos estudos de serviços ecossistêmicos em avaliações ambientais (Geneletti, 2011; Rosa & Sánchez, 2015), o que sugere que há uma necessidade premente de utilização de abordagens multiescalares (Hein *et al.*, 2006). A compreensão das diferentes escalas em que os serviços ecossistêmicos operam é um passo fundamental na construção de estratégias para sua gestão (Kremen, 2005).

Além da questão da escala, no procedimento de avaliação ambiental é essencial que o conhecimento e os valores dos grupos afetados e interessados (*stakeholders*) sejam refletidos nas várias etapas de análise. Abordar os serviços ecossistêmicos implica explorar os beneficiários destes serviços. Assim, uma grande questão é como os métodos clássicos de avaliação ambiental podem ser aprimorados para incluir os principais serviços ecossistêmicos e, ao mesmo tempo, levar em consideração os outros fatores ecológicos, socioculturais e econômicos, bem como os valores dos grupos sociais afetados e interessados (Karjalainen *et al.*, 2013).

Enfatizando a necessidade de se fazer uma análise holística dos serviços ecossistêmicos, Landsberg *et al.* (2011) desenvolveram uma ferramenta para incorporá-los no processo de avaliação de impacto

ambiental. O método de Análise de Serviços Ecosistêmicos para Avaliação de Impactos (ESR for IA) reconhece explicitamente as interações causais entre o desempenho de um projeto, o bem-estar humano e os agentes diretos e indiretos da mudança do ecossistema, e destaca a necessidade de realização de uma avaliação integrada dos impactos do projeto e da dependência deste projeto sobre os serviços ecossistêmicos, por meio do enfoque sistemático dos serviços ecossistêmicos nas diferentes fases do processo de avaliação (escopo, análise de impacto e mitigação).

Sendo assim, mesmo estando claro que a abordagem dos serviços ecossistêmicos apresenta um valor adicional às ferramentas de avaliação ambiental, focando nas estruturas e funções ecológicas que fornecem serviços e benefícios para o homem (Karjalainen *et al.*, 2013), tem-se a necessidade de mais esforços dedicados ao uso do conceito de serviços ecossistêmicos em estudos de avaliação ambiental, como AIA e AAE (Honrado *et al.*, 2013; Rosa & Sánchez, 2015).

3. Método de avaliação dos serviços ecossistêmicos

Quadros e métodos consistentes que relacionam a sociedade humana e a economia com avaliações ambientais e avaliações de impactos têm sido desenvolvidos nas últimas décadas (Van Beukering *et al.*, 2008; OECD, 2008; Landsberg *et al.*, 2011). Com ênfase na análise de serviços ecossistêmicos, os métodos da “Avaliação Ecosistêmica do Milênio” (MEA, 2003) e da “A Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade” (TEEB, 2010) estão entre os mais difundidos. A Avaliação Ecosistêmica do Milênio utiliza como ferramenta de avaliação o quadro FPEIR (Força motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta); já o TEEB explica a ligação entre

biodiversidade, serviços ecossistêmicos e bem-estar humano por meio de indicadores econômicos.

Embora a importância do manejo e da gestão do uso do solo seja reconhecida por ambos os métodos, este tema não é explicitamente incluído no processo de avaliação. Neste sentido, Van Oudenhoven *et al.* (2012) adaptaram os quadros tradicionais para incluir o ordenamento do território como sendo uma força motriz de alteração da paisagem, possibilitando a seleção de indicadores para avaliação dos efeitos da mudança do uso do solo sobre os serviços ecossistêmicos.

Os mesmos autores consideraram o conceito dos “serviços em cascata”, proposto por Haines-Young & Potschin (2010), que avalia a provisão dos serviços ecossistêmicos por meio de um caminho estruturado que vincula as propriedades do ecossistema com suas funções e serviços, podendo resultar em benefícios e valores para a sociedade. Definem também “Força motriz” como sendo os fatores naturais e induzidos pelo homem que podem influenciar tanto diretamente (ex.: mudanças climáticas e poluição ambiental) quanto indiretamente (ex.: mudanças demográficas e econômicas) a provisão dos serviços ecossistêmicos (Van Oudenhoven *et al.*, 2012).

Utilizando esta mesma abordagem como referencial para elaboração da metodologia de avaliação ambiental, o presente estudo considerou como força motriz (agente de mudança) os impactos ambientais decorrentes da exploração mineral e das atividades vinculadas na área de abrangência direta da atividade minerária.

O método de análise foi fundamentado em um modelo de avaliação não monetária com base em padrões das atividades humanas ao longo do tempo e do espaço, bem como na capacidade de diferentes classes de uso do solo em fornecer serviços ecossistêmicos. O método está organizado em duas etapas, de acordo com o esquema apresentado na Figura 1.

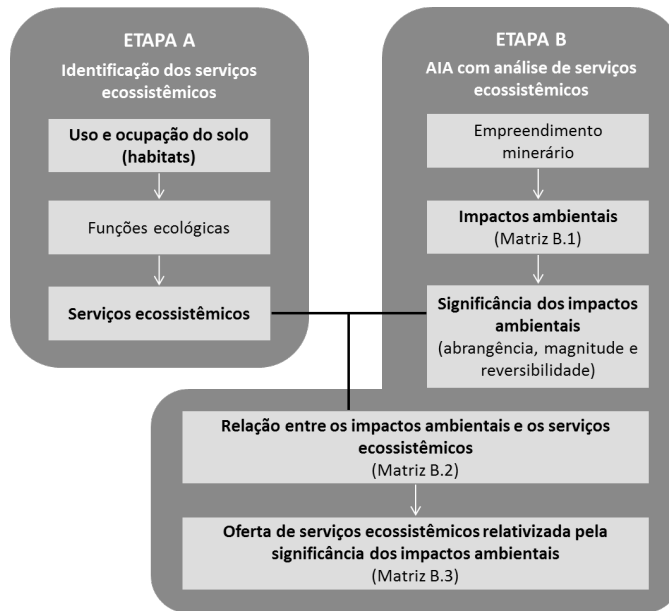


FIGURA 1 – Etapas correspondentes ao método de avaliação.

A Etapa A correspondeu à identificação dos serviços ecossistêmicos potenciais associados aos diferentes usos e ocupações do solo na paisagem utilizando o conceito proposto por Haines-Young & Potschin (2010), chamado “serviços em cascata”. Tal conceito avalia a oferta de serviços ecossistêmicos em um caminho estruturado, que liga as estruturas e os processos ecológicos de um lado e os elementos de bem-estar humano em outro, e, potencialmente, uma série de etapas intermediárias entre eles (Figura 2).

Ao seguir a ideia proposta no modelo de “serviços em cascata”, é interessante notar a maneira particular como a palavra “função” é utilizada, indicando a capacidade do ecossistema de proporcionar algo que é potencialmente útil ao homem (Potschin & Haines-Young, 2011). A mensagem principal que surge deste modelo é que não importa quantas etapas são envolvidas ou como é nomeada cada etapa, o objetivo fundamental é compreender

os mecanismos que ligam o sistema ecológico com o bem-estar humano.

Muitos serviços ecossistêmicos são fornecidos no nível de *habitats* e estão associados diretamente com uma classe particular de uso e ocupação do solo (Peh *et al.*, 2013). Diferentes padrões de uso e ocupação do solo fornecem uma específica gama de serviços ecossistêmicos, de acordo com a intensidade de uso e a proporção de paisagem inalterada (Larondelle & Haase, 2012). Neste sentido, diferentes tipos de cobertura do solo e suas condições caracterizam uma região, suas funções ecológicas e sua capacidade para fornecer um conjunto de bens e serviços ecossistêmicos (Folke *et al.*, 2004).

Larondelle & Haase (2012) preferiram utilizar o termo serviços ecossistêmicos potenciais, já que uma função do ecossistema se converte em um serviço quando surge a demanda pela função ou quando o serviço é o próprio resultado de um processo natural. Concordando com os autores, neste

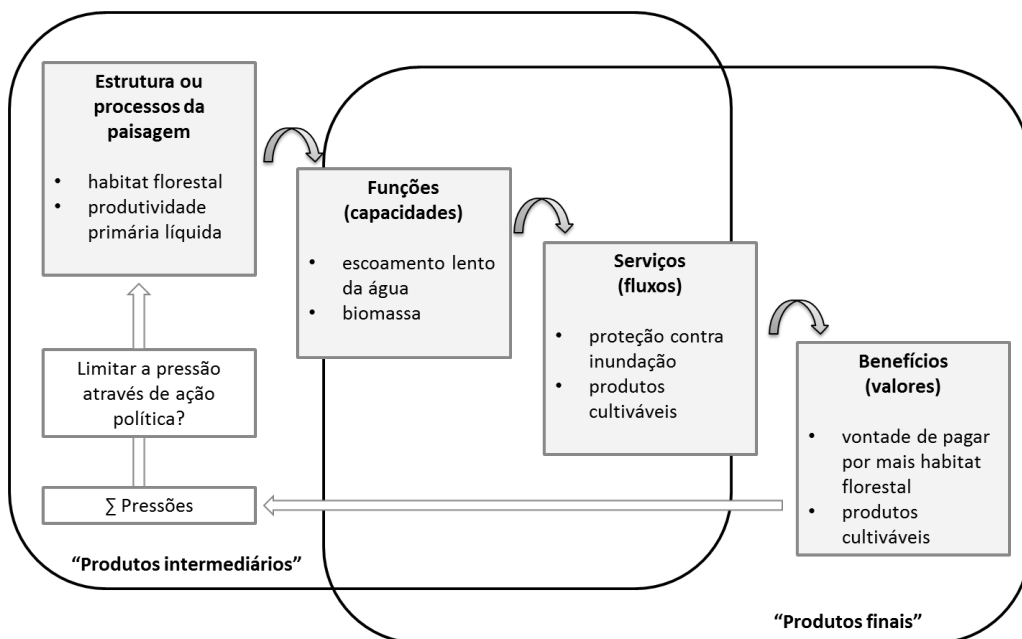


FIGURA 2 – Relação entre função dos ecossistemas e bem-estar do homem.
 FONTE: Adaptado de Haines-Young & Potschin (2010).

estudo serão considerados os serviços ecossistêmicos potenciais, independentemente da existência de demanda (Figura 3).

A partir da relação de serviços ecossistêmicos encontrados na literatura (Costanza *et al.*, 1997;

Daily, 1997; De Groot *et al.*, 2002; MEA, 2005; Brown *et al.*, 2007; Wallace, 2007; Bennett *et al.*, 2010; De Groot *et al.*, 2010; Maynard *et al.*, 2010; TEEB, 2010; Landsberg *et al.*, 2011; Lautenbach *et al.*, 2011; Burkhard *et al.*, 2012; Maes *et al.*, 2012),

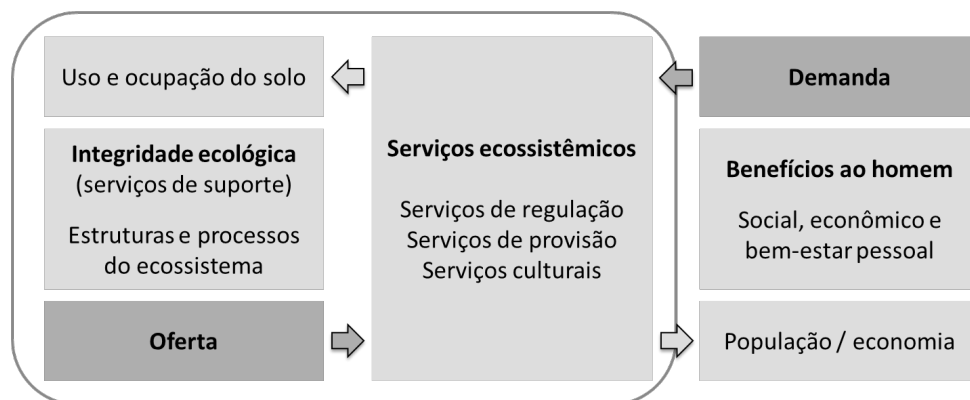


FIGURA 3 – Estrutura conceitual que liga a integridade dos ecossistemas, os serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano como oferta e demanda no meio ambiente. Em destaque está o foco de abordagem do estudo.
 FONTE: Adaptado de Burkhard *et al.* (2012).

foi elaborada uma lista de serviços ecossistêmicos relacionados à paisagem da área de estudo. Os serviços ecossistêmicos potenciais identificados foram agrupados em quatro categorias, conforme a classificação proposta por MEA (2003): serviços de suporte (integridade ecológica dos ecossistemas), serviços de provisão, serviços de regulação e serviços culturais.

A Etapa B correspondeu à avaliação sobre como os impactos ambientais decorrentes da atividade minerária interferem no potencial de oferta dos serviços ecossistêmicos elencados na Etapa A.

Para a identificação dos impactos ambientais decorrentes da extração mineral e de atividades vinculadas ao processo, bem como da futura desativação do complexo mineroquímico, adotou-se a orientação metodológica proposta por Sánchez & Hacking (2002), segundo a qual, durante esta etapa da análise, deve-se primeiro identificar os aspectos ambientais, correlacionando-os com as principais atividades que compõem o empreendimento, para em seguida identificar os impactos associados a cada aspecto ambiental. A identificação das corre-

ções foi feita com a ajuda de uma matriz (Matriz B.1), onde foram representados dois campos de interação: um entre atividades e aspectos ambientais e outro entre aspectos e impactos ambientais.

A identificação das atividades, aspectos e impactos ambientais se deu a partir das informações obtidas no Estudo de Impacto Ambiental (EIA), elaborado em 2009 pela Prominer Projetos (2009) em virtude da ampliação das áreas de lavra de rocha fosfática e das estruturas relacionadas (depósito de estéril, de subprodutos e de rejeitos).

Os impactos identificados foram classificados de acordo com seu caráter, que pode ser positivo, quando tende a acarretar melhoria na qualidade do meio ambiente, ou negativo, quando tende a acarretar declínio da qualidade do meio ambiente, bem como de acordo com a intensidade, as dimensões do espaço geográfico em que o impacto pode ocorrer e a possibilidade de reversão. Assim, foram considerados, respectivamente, os seguintes parâmetros: Magnitude, Abrangência e Reversibilidade, conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 – Critérios (parâmetros e pesos) para avaliar a significância dos impactos ambientais

Parâmetro		Classificação		
Nome	Descrição	Classe	Peso	Descrição
Magnitude	Refere-se à intensidade da alteração que o processo ou fator ambiental pode sofrer	Pequena	1	O impacto altera de forma imperceptível as características do meio ambiente
		Média	2	O impacto altera de forma pouco expressiva as características do meio ambiente
		Grande	3	O impacto altera de forma expressiva as características do meio ambiente
Abrangência	Refere-se ao espaço geográfico que pode ser atingido pelo impacto	Local	1	O impacto afeta a área do empreendimento e o entorno imediato
		Regional	2	O impacto ultrapassa a área do entorno imediato do empreendimento
		Global	3	O impacto afeta potencialmente todo o planeta
Reversibilidade	Refere-se à capacidade do sistema de retornar ao estado anterior	Reversível	1	O impacto cessa após o estímulo externo ou com adoção de medida de mitigação
		Irreversível	2	O impacto não cessa nem com a adoção de medida de mitigação

Para classificação dos impactos quanto a significância, para cada classe dos parâmetros foi dado um peso, variando de 1 (menor importância) até 3 (maior importância). Adotou-se como pressuposto o conceito de que todos os parâmetros considerados têm a mesma importância, ou seja, os pesos refletem a relativização no âmbito de cada parâmetro.

A identificação da significância do impacto se deu por meio da soma dos pesos resultantes da combinação das diferentes classes de parâmetro, conforme a régua de significância apresentada na Figura 4. Dado o total de três parâmetros considerados, o valor mínimo para cada impacto é 3 e o máximo é 8. O produto final desta etapa foi a relação dos impactos ambientais gerados pela atividade de mineração de acordo com o grau de significância.

Significância do impacto					
Baixa		Média		Alta	
3	4	5	6	7	8

FIGURA 4 – Pesos aplicados a cada classe de significância dos impactos.

Para a relação dos serviços ecossistêmicos identificados na Etapa A com os impactos ambientais avaliados acima, foi necessário, primeiramente, estimar a possibilidade da ocorrência de um impacto interferir na dinâmica das funções ecológicas e, portanto, no fornecimento de serviços ecossistêmicos. Assim, foi construída uma matriz de relação (Matriz B.2), onde em cada intersecção foi atribuído o valor referente à relação existente entre a ocorrência do impacto ambiental e a provisão dos serviços ecossistêmicos, de acordo com a escala: 0 (nulo) = não apresenta relação relevante; 1 = apresenta relação indireta; 2 = apresenta relação direta. Estes valores referem-se ao peso dado para cada relação analisada.

Posteriormente, foi construída outra matriz (Matriz B.3), que correlacionou os impactos e os serviços ecossistêmicos, considerando os valores de significância de cada impacto. A identificação da relação relativa se deu por meio da multiplicação dos pesos resultantes da matriz anterior (0, 1 ou 2) com os valores de significância de cada impacto (3 a 8). A partir da soma dos valores da matriz, pôde-se conhecer os impactos que potencialmente mais interferiram nos serviços ecossistêmicos oferecidos pela paisagem da área de estudo, bem como os serviços ecossistêmicos que sofreram mais interferências.

4. Área de estudo

O estudo foi conduzido no Complexo Minerquímico da Vale Fertilizantes - Unidade Cajati, SP. Para análise da paisagem local, foi considerada toda a área do empreendimento, com 17,91 km² (Figura 5). As atividades de lavra e beneficiamento mineral desta unidade vêm sendo desenvolvidas desde 1938, com a exploração de rocha fosfática (apatita) para produção de fertilizantes, ração animal e cimento.

O município de Cajati integra a Região de Governo (RG) de Registro, que é a menos industrializada do Estado de São Paulo e apresenta os mais baixos indicadores de desenvolvimento do Estado. Em 2000, menos de 70% da população vivia na área urbana. No setor agrícola, destaca-se a produção de banana, sendo esta RG responsável por 72,6% da produção estadual no ano de 2007, contando com uma área cultivada de 30.226 ha (Prominer Projetos, 2009).

Cajati é um exemplo típico de cidade que surgiu em função das atividades de mineração. De acordo com dados do censo demográfico de 2000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IB-

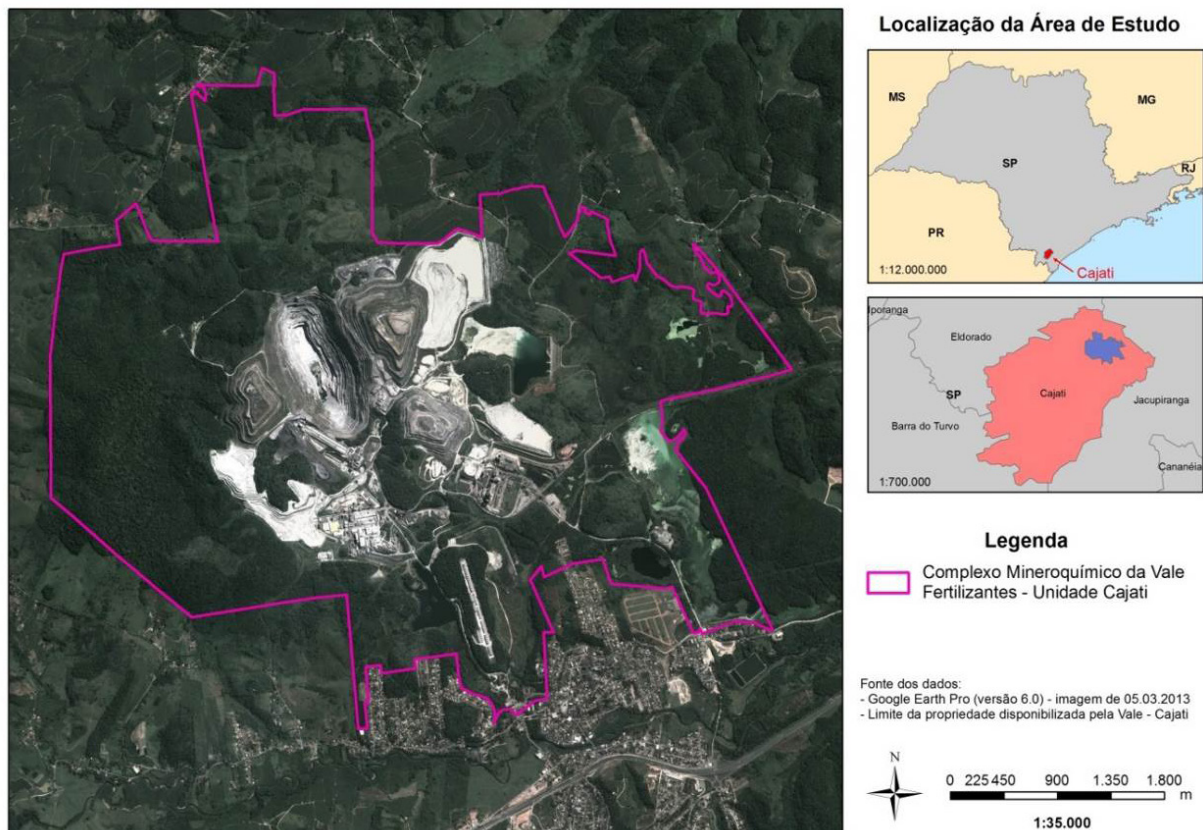


FIGURA 5 – Localização da área de estudo: Complexo Minerquímico da Vale Fertilizantes - Cajati, SP.

GE), com quase uma década de autonomia, Cajati contava com uma população de 29.227 habitantes e o município do qual foi desmembrado (Jacupiranga) registrava 17.041 habitantes (Prominer Projetos, 2009). Para 2016, o IBGE estimou uma população de 28.916 habitantes em Cajati.

Por outro lado, devido ao seu próprio isolamento em relação ao restante do Estado e por ter ficado à margem do ciclo do café, o principal responsável pela derrubada das matas nativas, a região na qual se localiza o município de Cajati conservou

muitas áreas com baixo grau de alteração antrópica (Sánchez, 1984), o que a torna uma das regiões mais importantes do Estado de São Paulo em termos de conservação da biodiversidade, pois apresenta o maior índice de vegetação natural remanescente (Kronka, 2007). Cajati possui uma área de aproximadamente 455 km², sendo que cerca de 42% do total (190 km²) é composto por vegetação nativa remanescente (Kronka *et al.*, 2005). Sendo assim, qualquer ocupação antrópica nessa região poderá produzir grandes impactos na biodiversidade local.

5. Resultados e discussão

A partir da identificação das classes de uso e ocupação do solo presentes na área de estudo (Tabela 2) e por meio de consulta na literatura,

foram selecionados 27 serviços ecossistêmicos com potencial de serem ofertados localmente pela paisagem, agrupados em quatro categorias: suporte (integridade ecológica), regulação, provisão e cultural (Tabela 3).

TABELA 2 – Classes de uso e ocupação do solo presentes na área do Complexo Minerquímico da Vale Fertilizantes, em Cajati, SP

Classes de uso e ocupação do solo	Descrição
Campo antrópico	Área com predomínio de vegetação herbácea rasteira, com diferentes tipos de manejo, incluindo áreas abandonadas e degradadas. Algumas áreas de pastagem apresentam uso esporádico com agricultura.
Campo úmido antrópico	Área com predomínio da taboa (<i>Typha</i> sp.), ocupando as planícies aluviais e as áreas inundadas artificialmente. Além da predominante taboa, ocorrem também os gêneros <i>Cyperus</i> e <i>Hedychium</i> .
Cava	Área de extração do minério, composta por taludes e bermas.
Cultura	Área de agricultura, com cultivo predominante de banana.
Estrutura de disposição	Área de disposição de rejeitos, em pilhas (estéril, gesso, magnetita e calcário) e em barragens (lama).
Instalação industrial	Área com instalações de infraestrutura e unidades de apoio.
Lago	Área correspondente a corpos d'água (lago, reservatório de água limpa).
Reflorestamento	Área com plantio de eucalipto para fins comerciais, que se encontra em condições diversas de manejo.
Solo exposto	Área com ausência de cobertura superficial do solo.
Vegetação em estágio pioneiro a inicial de regeneração	Área de vegetação com fisionomia campestre a florestal, com ocorrência desde o estrato herbáceo, podendo haver estratos arbustivos abertos ou fechados geralmente com até 2 m de altura, até estrato arbóreo, com árvores entre 1,5 e 8 m. A serrapilheira, quando presente, é descontínua ou incipiente. A diversidade de espécies é baixa, com poucas espécies dominantes, sendo tipicamente heliófitas, incluindo forrageiras, espécies exóticas e invasoras.
Vegetação em estágio médio a avançado de regeneração	Área de fisionomia florestal com presença de estratos de diferentes alturas, enquanto que o estrato superior é uniforme com árvores emergentes. Aparecem epífitas, trepadeiras e serrapilheira com variações de espessura. A diversidade é significativa e as espécies encontradas foram: copaíba (<i>Copaifera langsdorffii</i>), monjoleiro (<i>Senegalia polyphylla</i>), mamica-de-porca (<i>Zanthoxylum riedelianum</i>), canelas (<i>Ocotea</i> sp., <i>Nectandra</i> sp.), ipês (<i>Tabebuia</i> sp.; <i>Handroanthus</i> sp.), guapuruvu (<i>Schizolobium parahyba</i>), açoita-cavalo (<i>Luehea divaricata</i>), cedro (<i>Cedrela fissilis</i>), angico (<i>Anadenanthera</i> sp.) e pau-jacaré (<i>Piptadenia gonoacantha</i>).
Zona urbana	Área com estrutura urbana, caracterizada por concentração de núcleos populacionais.

TABELA 3 – Funções ecológicas e serviços ecossistêmicos potenciais identificados na área de estudo

Categoria	Função ecológica/ Processo ecológico	Serviços ecossistêmicos	Definição (exemplos)	Referências consultadas
Suporte (Integridade ecológica)	Formação do solo	S1. Manutenção da produtividade natural do solo	Papel dos processos naturais na formação do solo	1; 2; 3; 5; 8; 9; 10; 11
	Produção primária	S2. Manutenção da produção primária dos ecossistemas	Capacidade do ecossistema de fornecer energia utilizável (ex. produção primária) e de promover a ciclagem de nutrientes	1; 11; 13; 14
	Heterogeneidade abiótica	S3. Manutenção da diversidade biológica e genética	Importância dos ecossistemas de fornecer abrigo, alimentação e <i>habitats</i> para espécies. Manutenção do balanço ecológico e processos evolutivos	1; 3; 5; 7; 8; 10; 11; 13
	Acúmulo de matéria e energia	S4. Capacidade de armazenamento	Presença de nutrientes, energia e água no sistema e capacidade do sistema para armazená-los e para liberá-los quando necessário	2; 13
Regulação	Regulação do clima	R1. Manutenção de clima global favorável	Influência do ecossistema no clima global por meio da cobertura do solo e processos biogeoquímicos	1; 3; 4; 5; 7; 8; 9; 10; 11; 13; 14
	Regulação da composição atmosférica	R2. Manutenção da qualidade do ar	Capacidade do ecossistema para extrair elementos tóxicos e químicos da atmosfera	1; 2; 4; 5; 8; 9; 10; 11; 13; 14
	Regulação do clima	R3. Influência favorável no clima local	Influência do ecossistema no clima local por meio da cobertura do solo e processos biogeoquímicos	1; 3; 4; 5; 7; 8; 9; 10; 11; 13; 14
	Regulação de ameaças naturais	R4. Prevenção contra eventos extremos	Papel da cobertura do solo no amortecimento de eventos extremos (ex. inundação)	1; 2; 4; 5; 8; 9; 10; 11; 13
	Regulação do fluxo hidrológico	R5. Manutenção da drenagem, irrigação e precipitação natural	Papel da cobertura do solo na infiltração e liberação gradual da água e no estoque e retenção de água	1; 4; 5; 7; 8; 10; 11; 13
	Retenção do solo	R6. Controle de erosão e estabilização de sedimentos	Papel da cobertura do solo na estabilização da estrutura do solo	1; 2; 3; 4; 5; 7; 8; 10; 11; 13; 14
	Ciclagem da água	R7. Manutenção da qualidade da água	Papel dos processos bióticos e abióticos em remover impurezas da água (ex. filtração, purificação)	2; 4; 5; 7; 9; 10; 11; 12; 13
	Regulação da composição atmosférica	R8. Filtro de partículas de pó	Papel da cobertura do solo de remover e/ou não suspender partículas de pó da atmosfera	2; 11; 14
	Redução de ruído	R9. Atenuação da poluição sonora	Papel da cobertura do solo em atenuar os níveis de ruído	3; 9

(continua)

TABELA 3 - Conclusão

Regulação	Polinização	R10. Manutenção da polinização de plantas selvagens e cultivadas	Abundância e eficácia de agentes polinizadores	1; 2; 3; 4; 5; 8; 9; 10; 11; 12; 13
	Dispersão de sementes e propágulos	R11. Manutenção da regeneração natural de espécies	Presença de fontes de sementes e propágulos na paisagem	2; 5
	Controle biológico	R12. Controle de pestes e vetores de doenças	Controle de populações de pestes e vetores de doenças por meio das relações tróficas	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11
	Controle biológico	R13. Redução de herbivoria (dano em culturas)	Controle de populações de herbívoros por meio das relações tróficas	1; 3; 4; 6; 7; 8; 10; 11
Provisão	Provimento de recursos naturais	P1. Provisão de água para consumo	Presença de reservatórios e estoques de água para consumo	3; 4; 6; 8; 9; 10; 11; 13
	Provimento de recursos naturais	P2. Provisão de alimentos silvestres	Presença de vegetais e animais silvestres comestíveis (caça, pesca, coleta...)	1; 2; 3; 4; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 13
	Provimento de recursos naturais	P3. Provisão de alimentos cultivados	Presença de vegetais e animais cultivados comestíveis (agricultura, aquicultura, pecuária)	1; 2; 3; 4; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14
	Provimento de recursos naturais	P4. Provisão de recursos genéticos	Presença de espécies com potencial de uso genético (resistência a patógenos, saúde...)	1; 2; 3; 4; 8; 9; 10; 11
	Provimento de recursos naturais	P5. Provisão de recursos para usos bioquímicos e medicinais	Presença de espécies e componentes abiótico com potencial de uso químico e/ou medicinal	2; 3; 4; 8; 9; 10; 11; 13
	Provimento de recursos naturais	P6. Provisão de recursos como matéria-prima	Presença de componentes bióticos e abióticos com potencial de uso (combustível, ornamentos, energia não renovável, fibras, etc..)	1; 2; 3; 4; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 13; 14
Cultural	Provimento de informações e oportunidades	C1. Informação estética (apreciação da natureza)	Qualidade estética da paisagem baseada em diversidade estrutural, tranquilidade, beleza cênica	1; 2; 3; 4; 6; 8; 9; 10; 11; 13
	Provimento de informações e oportunidades	C2. Recreação	Características da paisagem atrativas para o turismo e atividades recreacionais	1; 2; 3; 4; 6; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14
	Provimento de informações e oportunidades	C3. Valores culturais, espirituais e religiosos	Características culturais e espirituais importantes da paisagem e de espécies	1; 3; 4; 6; 8; 9; 10; 11
	Provimento de informações e oportunidades	C4. Valores educacionais e científicos	Características educacionais e científicas com valores e interesses especiais	1; 2; 3; 6; 8; 9; 10; 11

Referências consultadas: (1) Costanza *et al.* (1997); (2) Daily (1997); (3) De Groot *et al.* (2002); (4) MEA (2005); (5) Brown *et al.* (2007); (6) Wallace (2007); (7) Bennett *et al.* (2010); (8) De Groot *et al.* (2010); (9) Maynard *et al.* (2010); (10) TEEB (2010); (11) Landsberg *et al.* (2011); (12) Lautenbach *et al.* (2011); (13) Burkhard *et al.* (2012); (14) Maes *et al.* (2012).

A Figura 6 apresenta a matriz de relação das atividades das principais fases do empreendimento minerário estudado (operação e desativação) com os aspectos ambientais responsáveis pelas mudanças das características dos meios físico, biótico e

antrópico (Matriz B.1). A partir da identificação destes aspectos ambientais (agentes de mudança), foi possível identificar os prováveis impactos decorrentes das atividades do Complexo Minerário Químico da Vale Fertilizantes - Unidade Cajati.

A avaliação da significância dos impactos revelou que, dentre os 32 impactos identificados, dos quais seis são positivos, 10 foram classificados com

significância alta. A Tabela 4 sintetiza os atributos de cada impacto ambiental identificado.

TABELA 4 – Avaliação da significância dos impactos ambientais das fases de operação e futura desativação do Complexo Minerquímico da Vale Fertilizantes, em Cajati

IMPACTOS	ABRANGÊNCIA	MAGNITUDE	REVERSIBILIDADE	SIGNIFICÂNCIA	
				Local (1) Regional (2) Global (3)	Pequena (1) Média (2) Grande (3)
Aceleração de processos erosivos		2	1		4
Afugentamento de fauna (incluindo espécies ameaçadas)		2	3		7
Alteração da morfologia do terreno		1	3		6
Alteração da qualidade das águas subterrâneas		2	2		6
Alteração da qualidade das águas superficiais		2	3		7
Alteração da qualidade do ar		2	1		5
Alteração da qualidade do solo		1	3		6
Alteração do nível e do fluxo das águas subterrâneas		1	2		5
Alteração do regime hidrológico		2	3		7
Alterações de microclima		1	1		4
Alterações de uso do solo		1	3		5
Alterações na disponibilidade hídrica		2	2		5
Composição de estoques de materiais passíveis de aproveitamento futuro*		1	3		6
Conflitos de interesses		2	1		4
Criação de <i>habitats</i> aquáticos*		1	2		5
Criação de <i>habitats</i> terrestres*		2	3		7
Danos a propriedades vizinhas		1	2		4
Deslocamento de pessoas		2	3		7
Especulação imobiliária		1	3		5
Eutrofização de drenagens		2	2		5
Ganho de área de mata nativa*		2	3		7
Incômodo e desconforto aos vizinhos		1	3		5
Manutenção da arrecadação tributária*		2	3		6
Manutenção do nível de renda local*		2	3		6
Perda de área de mata nativa		1	3		6
Perda de espécimes da fauna		2	3		7
Perda de <i>habitats</i> aquáticos		1	2		5
Perda de <i>habitats</i> terrestres		1	3		6
Redução da arrecadação tributária		2	3		7
Redução das reservas de recursos naturais não renováveis		3	3		8
Redução do nível de renda local		2	3		7
Risco de acidentes		2	1		4

* impactos positivos

FONTE: Adaptado de Prominer Projetos (2009).

A Figura 7 apresenta a matriz de relação (Matriz B.2) dos impactos ambientais decorrentes da extração mineral e das atividades vinculadas com os serviços ecossistêmicos potenciais identificados na paisagem. Esta matriz serviu de base para a elaboração da Matriz B.3 (Figura 8), que apresenta a significância relativa da ocorrência de um impacto interferir na dinâmica das funções ecológicas e, portanto, no fornecimento de serviços ecossistêmicos. O valor da significância relativa pode variar de 0 a 100, sendo que, quanto mais próximo de 100, maior é o potencial de interferência na oferta do serviço ecossistêmico.

Dentre os 27 serviços ecossistêmicos potenciais, todos foram afetados pelos impactos gerados pela atividade minerária. A alteração na extensão da área de mata nativa é o que mais influenciou no fornecimento destes serviços ecossistêmicos, já que tanto o impacto negativo “Perda de área de mata nativa” quanto o impacto positivo “Ganho de área de mata nativa” apresentaram os maiores valores de significância relativa (Figura 8).

O impacto negativo “Perda de área de mata nativa” está relacionado diretamente com as ações de supressão da vegetação decorrentes da expansão das áreas necessárias para disposição de estêreis e rejeitos resultantes da atividade minerária. Já o impacto positivo “Ganho de área de mata nativa” está relacionado às atividades de revegetação (plântio de espécies arbóreas) previstas no PRAD para recuperação das áreas degradadas.

O impacto “Ganho de área de mata nativa” apresentou maior valor de significância relativa se comparado com o impacto “Perda de área de mata nativa”, porém, considerando que a área de estudo encontra-se em uma das regiões mais importantes do Estado de São Paulo em termos de conservação da biodiversidade (Ribeiro *et al.*, 2009), pois apresenta os maiores valores de cobertura florestal em

bom estado de conservação (Kronka, 2007), é de se esperar que a perda destes remanescentes, resultante da atividade minerária, seja de maior relevância e, portanto, apresente um maior impacto ambiental para a região. Mesmo com a recuperação das áreas degradadas e, conseqüentemente, o aumento da área de floresta nativa na região, estas áreas não terão as mesmas condições e propriedades ecológicas (processos e componentes) que a formação florestal original, principalmente se for considerado que a atividade de extração mineral altera significativamente os componentes abióticos, que são difíceis de recuperar.

Segundo Honrado *et al.* (2013), análises explícitas para as categorias de serviços ecossistêmicos (suporte, regulação, provisão e culturais) permitem avaliações mais completas e específicas dos impactos, possibilitando assim o reconhecimento de *trade-offs* (trocas), bem como a priorização das medidas de mitigação e monitoramento dos impactos. Segundo os resultados obtidos neste estudo, nota-se que os impactos ambientais apresentaram, em média, maiores interferências nos serviços culturais, seguidos pelos de provisão e suporte, e em menor proporção nos serviços de regulação (Figura 8). Isto demonstra que a maior interferência da atividade minerária ocorre nos serviços diretamente relacionados ao bem-estar da população envolvida: provimento de recursos naturais (serviços de provisão) e provimento de informações e oportunidades (serviços culturais).

Individualmente, pode-se afirmar que os serviços de “Provisão de recursos como matéria-prima”, “Manutenção da diversidade biológica e genética” e “Provisão de alimentos silvestres” foram os mais afetados pelos impactos ambientais decorrentes do empreendimento aqui analisado e, neste caso, conhecer os beneficiários que utilizam e que, muitas vezes, dependem destes serviços ecossistêmicos permite melhor planejamento e priorização das ações de mitigação dos impactos, propondo opções

IMPACTOS	SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS																										
	Suporte				Regulação						Provisão				Cultural												
	S1	S2	S3	S4	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	P1	P2	P3	P4	P5	P6	C1	C2	C3	C4
Aceleração de processos erosivos	1	1																									
Afugentamento de fauna (incluindo espécies ameaçadas)			2											2	1	1	2		1	1			1	2	1	1	2
Alteração da morfologia do terreno	1	1	2				1	2	1			1						1				2	1	1	1	1	
Alteração da qualidade das águas superficiais		2	1								2					1		2	1	1			1	1	1	1	1
Alteração da qualidade das águas subterrâneas			1								2							2									
Alteração da qualidade do ar						2						2												2	2	2	1
Alteração da qualidade do solo	2	2	1								2							2	2			2		1	1	1	1
Alteração do nível e fluxo das águas subterrâneas				2			2	2									2										
Alteração do regime hidrológico		1	2				1	2	2	1					1		2	2	2			2	1	2	1		
Alterações de microclima						1	2																1	1			
Alterações de uso do solo	2	2	1	2	1	1	2	1	1	1							1	1	1			2	1	1	1	1	1
Alterações na disponibilidade hídrica		1	2				1	2	2	1					1		2	2	2			2	1	2	1		
Composição de estoques de materiais passíveis de aproveitamento futuro *				2																							
Conflitos de interesses																											
Criação de habitats aquáticos *			2	1			1	1	1	1								1				1	1	1	1	1	1
Criação de habitats terrestres *			2	2									1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	
Danos a propriedades vizinhas																											
Deslocamento de pessoas																											
Especulação imobiliária																											
Eutrofização de drenagens			1								2				1		2	1	1			1	1	1	1	1	1
Ganho de área de mata nativa *	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2		2	2	2	1	1	2
Incômodo e desconforto aos vizinhos																								1	2	1	
Manutenção da arrecadação tributária *																											
Manutenção da nível de renda local *																											
Perda de área de mata nativa	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	2	
Perda de espécimes da fauna			2											2	1	1	2		1	1		1	2	1	1	2	
Perda de habitats aquáticos			2												1			2	2			1	1	1	1	2	
Perda de habitats terrestres			2	2										1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	
Redução da arrecadação tributária																											
Redução das reservas de recursos naturais não renováveis				1																			2			1	
Redução do nível de renda local																											
Risco de acidentes																											

FIGURA 7 – Matriz B.2: Relação entre os impactos ambientais decorrentes da extração mineral e atividades vinculadas e os serviços ecossistêmicos potenciais identificados na paisagem. 0 (nulo) = não apresenta relação relevante; 1 = apresenta relação indireta; 2 = apresenta relação direta; * impactos positivos.

IMPACTOS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS												Significância relativa (por impacto)													
	Suporte			Regulação					Provisão					Cultural												
	S1 . Manutenção da produtividade natural do solo	S2 . Manutenção da produção primária dos ecossistemas	S3. Manutenção da diversidade biológica e genética	S4. Capacidade de armazenamento	R1. Manutenção de clima global favorável	R2. Manutenção da qualidade do ar	R3. Influência favorável no clima local	R4. Prevenção contra eventos extremos	R5. Manutenção da drenagem, irrigação e precipitação natural	R6. Controle de erosão e estabilização de sedimentos	R7. Manutenção da qualidade da água	R8. Filtro de partículas de pó		R9. Atenuação da poluição sonora	R10. Manutenção da polinização de plantas selvagens e cultivadas	R11. Manutenção da regeneração natural de espécies	R12. Controle de pragas e vetores de doenças	R13. Redução de herbivoria (dano em culturas)								
Ganho de área de mata nativa*	7	14	14	14	7	7	14	7	14	7	14	7	14	14	14	14	14	14	14	7	7	14	259	60,0		
Perda de área de mata nativa	6	12	12	12	6	6	12	6	12	6	12	6	12	12	12	12	12	12	12	6	6	12	222	51,4		
Alteração do regime hidrológico	7	7	14	14	7	7	14	14	7	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	7	7	14	154	35,6		
Criação de habitats terrestres*	6	7	14	14	7	7	14	14	7	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	7	7	14	147	34,0		
Perda de habitats terrestres	7	7	14	14	7	7	14	14	7	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	7	7	14	126	29,2		
Alteração de fauna (incluindo espécies ameaçadas)	7	7	14	14	7	7	14	14	7	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	7	7	14	119	27,3		
Perda de espécies de fauna	7	7	14	14	7	7	14	14	7	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	7	7	14	119	27,3		
Alterações de uso do solo	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	115	26,6		
Alterações na disponibilidade hídrica	5	5	10	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	110	25,5		
Alteração da qualidade do solo	6	12	12	12	6	6	12	6	12	6	12	6	12	12	12	12	12	12	12	6	6	12	96	22,2		
Alteração da morfologia do terreno	6	6	6	12	6	6	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	90	20,8		
Alteração da qualidade das águas superficiais	6	12	6	12	6	6	12	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	90	20,8		
Eutrofização de drenagens	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	65	15,0		
Perda de habitats aquáticos	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	60	13,9		
Aceleração de processos erosivos	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	55	12,7		
Alteração da qualidade do ar	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	40	9,3		
Criação de habitats aquáticos*	5	5	10	10	5	5	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	35	8,1		
Alteração do nível e fluxo das águas subterrâneas	5	7	7	7	5	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	40	9,3		
Alteração da qualidade das águas subterrâneas	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	32	7,4		
Redução das reservas de recursos naturais não renováveis	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	16	3,7		
Alterações de microclima	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	20	4,6	
Incômodo e desconforto aos vizinhos	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	2,3		
Composição de estoques de materiais passíveis de aproveitamento futuro*	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	12	2,8	
Redução do nível de renda local	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0	0,0	
Conflitos de interesses	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0,0	
Danos a propriedades vizinhas	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0,0	
Deslocamento de pessoas	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0,0	
Especulação imobiliária	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0,0		
Manutenção da arrecadação tributária*	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0,0		
Manutenção da nível de renda local	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	0	0,0		
Redução da arrecadação tributária	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0	0,0		
Risco de acidentes	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0,0		
Soma	58	89	146	91	18	32	56	71	77	45	82	23	19	54	53	68	54	85	133	115	39	160	129	125	118	127
Significância relativa (por serviços ecossistêmicos)	11,3	17,4	28,5	17,8	3,5	6,3	10,9	13,9	15,0	8,8	16,0	4,5	3,7	10,5	10,4	13,3	10,5	16,6	26,0	22,9	7,6	31,3	25,2	24,4	23,0	24,8
Significância relativa (por categoria de serviços ecossistêmicos)													18,6				24,4									

FIGURA 8 – Matriz B.3: Significância relativa dos impactos ambientais decorrentes da extração mineral e atividades vinculadas no fornecimento dos serviços ecossistêmicos potenciais identificados na paisagem. * impactos positivos.

socioeconômicas para o bem-estar da população afetada.

Vale ressaltar que estes serviços de provisão estão diretamente relacionados à ocorrência do ambiente florestal na paisagem (oferta de matéria-prima e alimentos silvestres) e que, como visto anteriormente, a “Perda de área de mata nativa” é o segundo impacto com maior valor de significância relativa, o que revela que esta atividade minerária, ao reduzir a extensão dos ecossistemas florestais na paisagem, compromete não só a oferta dos serviços de suporte e de regulação, que estão relacionados com os processos e funções ecológicas presentes no sistema, como também compromete diretamente o bem-estar da população envolvida, por interferir na oferta de alguns serviços de provisão.

De acordo com o EIA do empreendimento (Prominer Projetos, 2009), não consta no Plano de Gestão Ambiental nenhuma medida mitigadora ou programa social para atenuar os prejuízos relacionados aos serviços ecossistêmicos mais comprometidos pelos impactos ambientais. Isso demonstra que a abordagem empregada pelo método de avaliação ambiental utilizado, e que é o comumente aplicado, não levou em consideração todos os aspectos relacionados ao bem-estar da população envolvida ou não constatou a necessidade destas ações mitigadoras, pois não identificou beneficiários para isso.

Este fato também foi observado por Rosa & Sánchez (2016), que, ao aplicar a abordagem dos serviços ecossistêmicos na revisão do EIA de um empreendimento minerário em Minas Gerais, constataram que quatro de sete impactos identificados pela avaliação sociambiental não possuíam medidas mitigadoras no EIA, visto que as medidas propostas focavam no controle de mudanças biofísicas, sem considerar a comunidade local.

Ao avaliar exclusivamente os impactos ambientais decorrentes da atividade minerária, nota-se

que, dentre os 32 impactos identificados pelo EIA, nove não interferiram potencialmente no fornecimento de serviços ecossistêmicos na paisagem em estudo: “Conflitos de interesse”; “Danos a propriedades vizinhas”; “Especulação imobiliária”; “Manutenção da arrecadação tributária”; “Manutenção do nível de renda local”; “Risco de acidentes”; “Redução do nível de renda”, “Redução da arrecadação tributária”; e “Deslocamento de pessoas” (Figura 8), sendo que os três últimos impactos foram considerados de alta significância pela metodologia adaptada do EIA (Prominer Projetos, 2009). Em um estudo semelhante, Rosa & Sánchez (2016) também constataram que alguns impactos negativos identificados pelo EIA não foram considerados na avaliação de impactos com a abordagem dos serviços ecossistêmicos, pois não apresentavam uma relação homem-ecossistema.

Vale destacar que todos estes impactos estão relacionados a aspectos socioeconômicos, tais como manutenção de emprego, geração de taxas e tributos, dispensa de mão de obra, consumo de produtos, insumos e serviços. Isto demonstra que o uso da abordagem de serviços ecossistêmicos na avaliação de impacto ambiental de empreendimentos e projetos, com foco nos serviços potenciais ofertados localmente pela paisagem e sem levar em consideração a análise econômica da atividade, acaba por subdimensionar a interferência na esfera social e econômica.

Este fato evidencia que uma consideração adequada dos efeitos de um planejamento espacial sobre os serviços ecossistêmicos não pode ser limitada somente à análise do ambiente biofísico, mas também deve incluir questões socioeconômicas, o que também é destacado por outros autores (Slootweg *et al.*, 2003; Cowling *et al.*, 2008; Rounsevell *et al.*, 2010; Geneletti, 2011; Honrado *et al.*, 2013; Rosa & Sánchez, 2013, 2016).

6. Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo permitiram chegar às seguintes conclusões:

- Todos os serviços ecossistêmicos avaliados foram afetados pelos impactos ambientais previstos no EIA para a atividade minerária, sendo que a alteração na extensão da área de floresta nativa é o que mais influenciou no fornecimento de serviços ecossistêmicos potenciais;

- Considerando os serviços ecossistêmicos individualmente e agrupados por categoria, foi constatado que a maior interferência da atividade minerária ocorreu nos serviços diretamente relacionados ao bem-estar da população envolvida, que representam o provimento de recursos naturais (serviços de provisão: Provisão de recursos como matéria-prima; Provisão de alimentos silvestres; Provisão de alimentos cultivados) e provimento de informações e oportunidades (serviços culturais: Informação estética; Recreação; Valores culturais, espirituais e religiosos; Valores educacionais e científicos). No entanto, nenhuma medida mitigadora ou programa social para atenuar os prejuízos relacionados a estes serviços ecossistêmicos está descrita no Plano de Gestão Ambiental elaborado no EIA do empreendimento, o que demonstra que a abordagem empregada pelo método de avaliação ambiental utilizado, e que é o comumente aplicado no Brasil e globalmente, tende a não levar em consideração todos os aspectos relacionados ao bem-estar da população envolvida;

- A maioria dos impactos ambientais relacionados aos aspectos socioeconômicos não apresentou interferência direta na oferta de serviços ecossistêmicos, o que demonstra que o método utilizado de avaliação de impacto ambiental com foco nos serviços ecossistêmicos potenciais ofertados localmente

pela paisagem, sem levar em consideração a análise econômica da atividade e, principalmente, por não utilizar a abordagem da demanda (i.e., beneficiários) dos serviços ecossistêmicos identificados, acaba por subdimensionar a interferência nas esferas social e econômica.

De maneira geral, este estudo corrobora o argumento de que a análise de serviços ecossistêmicos pode ser relevante na avaliação de impactos ambientais de empreendimentos, visto que esta ferramenta de avaliação permite identificar conflitos e sinergias entre as atividades antrópicas e os ecossistemas, destacando, principalmente, os aspectos ambientais que interferem na oferta dos serviços ecossistêmicos que são diretamente ligados ao bem-estar da população local, como é o caso dos serviços de provisão e dos serviços culturais. No entanto, para obter melhor uso dessa ferramenta, deve-se considerar a análise da demanda dos serviços ecossistêmicos, ou seja, a identificação e a caracterização dos beneficiários, bem como a avaliação econômica e de desempenho do projeto por meio da análise de dependência da atividade sobre os serviços ecossistêmicos, como também sugerido por Landsberg *et al.* (2011) e Rosa & Sánchez (2015; 2016).

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e à empresa VALE S.A. pelo financiamento do Projeto de Pesquisa “Recuperação de áreas degradadas de mineração associando técnicas de bioengenharia de solos com a geração e manutenção de serviços ambientais” (Processo FAPESP nº 10/51233-7), desenvolvido por pesquisadores do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

Referências

- Andrade, D. C.; Romeiro, A. R.; Fasiaben, M. C. R.; Garcia, J. R. Dinâmica do uso do solo e valoração de serviços ecossistêmicos: notas de orientação para políticas ambientais. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 25, 53-71, 2012. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/made/article/view/26056/18573>>.
- Baker, J.; Sheate, W. R.; Phillips, P.; Eales, R. Ecosystem services in environmental assessment – help or hindrance? *Environmental Impact Assessment Review*, 40, 1-13, 2013.
- Bennett, L. T.; Mele, P. M.; Annett, S.; Kasel, S. Examining links between soil management, soil health, and public benefits in agricultural landscapes: an Australia perspective. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139, 1-12, 2010.
- Brown, T. C.; Bergstrom, J. C.; Loomis, J. B. Defining, valuing and providing ecosystem goods and services. *Natural Resources Journal*, 47, 329-376, 2007.
- Burkhard, B.; Kroll, F.; Nedkov, S.; Müller, F. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, 21, 17-29, 2012.
- Convenção da Diversidade Biológica (CBD). Impact assessment: Voluntary guidelines on biodiversity-inclusive impact assessment. VIII/28. Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. 2006. Disponível em: <<https://www.cbd.int/doc/publications/imp-bio-eia-and-sea.pdf>>. Acesso em: out. 2017.
- Costanza, R.; D'arge, R.; De Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neill, R. V.; Paruelo, J.; Raskin, R. G.; Sutton, P.; van den Belt, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-260, 1997.
- Cowling, R. M.; Egoh, B.; Knight, A. T.; O'Farrell, P. J.; Reyers, B.; Rouget, M.; Roux, D. J.; Welz, A.; Wilhelm-Rechman, A. An operational model for mainstreaming ecosystem services for implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105, 9483-9488, 2008.
- Daily, G. (Ed.). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystem*. Washington: Island Press, 1997. 392 p.
- De Groot, R. S.; Alkemade, R.; Braat, L.; Hein, L.; Willemen, L. Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning management and decision making. *Ecological Complexity*, 7, 260-272, 2010.
- De Groot, R. S.; Wilson, M. A.; Boumans, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393-408, 2002.
- Folke, C.; Carpenter, S.; Walker, B.; Scheffer, M.; Elmqvist, T.; Gunderson, L.; Holling, C. S. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 557-581, 2004.
- Geneletti, D. Reasons and options for integrating ecosystem services in strategic environmental assessment of spatial planning. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 7(3), 143-149, 2011.
- Haines-Young, R.; Potschin, M. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In: Raffaelli, D. G.; Frid, C. L. J. (Ed.). *Ecosystem ecology: a new synthesis*. New York: Cambridge University Press, 2010. Chap. 6, p.110-139.
- Hein, L.; van Koppen, K.; de Groot, R. S.; van Ierland, E. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics*, 57, 209-228, 2006.
- Honrado, J. P.; Vieira, C.; Soares, C.; Monteiro, M. B.; Marcos, B.; Pereira, H. M.; Partidário, M. R. Can we infer about ecosystem services from EIA and SEA practise? A framework for analysis and examples from Portugal. *Environmental Impact Assessment Review*, 40, 14-24, 2013.
- IFC (International Finance Corporation). *Performance Standards on Environmental and Social Sustainability*. Washington, DC: IFC. 2012.
- Karjalainen, T. P.; Marttunen, M.; Sarkki, S.; Rytönen, A. Integrating ecosystem services into environmental impact assessment: An analytic-deliberative approach. *Environmental Impact Assessment Review*, 40, 54-64, 2013.
- Kremen, C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 8, 468-479, 2005.
- Kronka, F. J. N. (Coord.). *Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo: regiões administrativas*

- de São José dos Campos (litoral), Baixada Santista e Registro. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente; Imprensa Oficial, 2007.
- Kronka, F. J. N.; Nalon, M. A.; Matsukuma, C. K.; Kanashiro, M. M.; Ywane, M. S. S.; Pavão, M.; Durigan, G.; Lima, L. P. R.; Guillaumon, J. R.; Baitello, J. B.; Borgo, S. C.; Manetti, L. A.; Barradas, A. M. F.; Fukuda, J. C.; Shida, C. N.; Monteiro, C. H. B.; Pontinhas, A. A. S.; Andrade, G. G.; Barbosa, O.; Soares, A. P.; Joly, C. A.; Couto, H. T. Z. *Inventário florestal da vegetação nativa do Estado de São Paulo*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente; Instituto Florestal; Imprensa Oficial, 2005.
- Landsberg, F.; Ozment, S.; Stickler, M. M.; Henninger, N.; Treweek, J.; Venn, O.; Mock, G. *Ecosystem services review for impact assessment: introduction and guide to scoping*. Washington: World Resources Institute, 2011.
- Landsberg, F.; Treweek, J.; Stickler, M. M.; Henninger, N.; Venn, O. *Weaving ecosystem services into impact assessment: a step-by-step method*. Abbreviated version 1.0. Washington: World Resources Institute, 2013.
- Larondelle, N.; Haase, D. Valuing post-mining landscapes using an ecosystem services approach: an example from Germany. *Ecological Indicators*, 18, 567-574, 2012.
- Lautenbach, S.; Kugel, C.; Lausch, A.; Seppelt, R. Analysis of historic changes in regional ecosystem service provisioning using land use data. *Ecological Indicators*, 11, 676-687, 2011.
- Longo, M. H. C. *Serviços ecossistêmicos e a atividade mineira: um estudo de caso no Vale do Ribeira, SP*. Piracicaba, Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2014.
- Maes, J.; Paracchini, M. L.; Zulian, G.; Dunbar, M. B.; Alkemade, R. Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity and habitat conservation status in Europe. *Biological Conservation*, 155, 1-12, 2012.
- Maynard, S.; James, D.; Davidson, A. The development of an ecosystem services framework for South East Queensland. *Environmental Management*, 45, 881-895, 2010.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). *Ecosystems and human well-being: a framework for assessment*. Washington: Island Press, 2003. 245 p.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington: Island Press, 2005. 137 p.
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). *Strategic environmental assessment and ecosystem services*. Paris, 2008. Disponível em: <<http://www.oecd.org/environment/environment-development/41882953.pdf>>. Acesso em: fev. 2014.
- Peh, K. S. H.; Balmford, A.; Bradbury, R. B.; Brown, C.; Butchart, S. H. M.; Hughes, F. M. R.; Stattersfield, A.; Thomas, D. H. L.; Walpole, M.; Bayliss, J.; Gowing, D.; Jones, J. P. G.; Lewis, S.L.; Mulligan, M.; Pandeya, B.; Stratford, C.; Thompson, J R.; Turner, K.; Vira, B.; Willcock, S.; Birch, J.C. Tessa: a toolkit for rapid assessment of ecosystem services at sites of biodiversity conservation importance. *Ecosystem Services*, 5, e51-e57, 2013.
- Potschin, M. B.; Haines-Young, R. H. Ecosystem services: exploring a geographical perspective. *Progress in Physical Geography*, 35, 575-594, 2011.
- Prominer Projetos. *Estudo de Impacto Ambiental – EIA: Bunge Fertilizantes, Cajati – SP (Processo SMA 13.623/03)*. São Paulo, 2009. 10 v. (Relatório elaborado para Bunge Fertilizantes S/A).
- Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Martensen, A.C.; Ponzoni, F.J.; Hirota, M.M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, 142, 1141-1153, 2009.
- Rosa, J. C. S.; Sánchez, L. E. Aspectos metodológicos da avaliação de impactos ambientais por meio de serviços ecossistêmicos. In: *Anais Eletrônicos do Congresso Brasileiro de Avaliação de Impactos*. São Paulo, 2012.
- Rosa, J. C. S.; Sánchez, L. E. Revisiting the EIS of a mining project using ecosystem services. In: *Proceedings of Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment*. Calgary, 2013. p. 1-5.
- Rosa, J. C. S.; Sánchez, L. E. Is the ecosystem service concept improving impact assessment? Evidences from recent international practice. *Environmental Impact Assessment Review*, 50, 134-142, 2015.
- Rosa, J. C. S.; Sánchez, L. E. Advances and challenges of incorporating ecosystem services into impact assessment. *Journal of Environmental Management*, 180, 485-492, 2016.

-
- Rounsevell, M. D. A.; Dawson, T. P.; Harrison, P. A. A conceptual framework to assess the effects of environmental change on ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 19, 2823-2842, 2010.
- Sánchez, L. E. Mineração ou preservação no Alto Vale do Ribeira/SP? *Ciência da Terra*, 10, 26-29, 1984.
- Sánchez, L. E.; Hacking, T. An approach to linking environmental impact assessment and environmental management systems. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 20, 25-38, 2002.
- Slootweg, R.; Rajvanshi, A.; Mathur, V. B.; Kolhoff, A. *Biodiversity in environmental assessment: enhancing ecosystem services for human well-being*. New York: Cambridge University Press, 2010.
- Slootweg, R.; Vanclay, F.; van Schooten, M. Integrating environmental and social impact assessment. In: Becker, H. A.; Vanclay, F. (Eds.). *The International Handbook of Social Impact Assessment: Conceptual and Methodological Advances*. Cheltenham: Edward Elgar, 2003. p. 56e73.
- TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). *Ecological and economics foundations*. Cambridge: Earthscan, 2010. 456 p.
- Van Beukering, P. J. H.; Slootweg, R.; Immerzeel, D. *Valuation of ecosystem services and strategic environmental assessment: influential case studies*. Utrecht: The Netherlands Commission for Environmental Assessment, 2008.
- Van Oudenhoven, A. P. E.; Petz, K.; Alkemade, R.; Hein, L.; De Groot, R. S. Framework for systematic indicator selection to assess effects of land management on ecosystem services. *Ecological Indicators*, 21, 110-122, 2012.
- Veiga Lima, F. A.; Almeida, F. B.; Torres, R. P.; Scherer, M. E. G. Modelo conceitual de avaliação de ameaças sobre serviços ecossistêmicos de sistemas de dunas. Estudo de caso: os campos de dunas da Ilha de Santa Catarina/SC, Brasil. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 38, 199-211, 2016.
- Wallace, K. J. Classification of ecosystem services: problems and solutions. *Biological Conservation*, 139, 235-246, 2007.
- Young, C. E. F. *Mecanismos de financiamento para a conservação no Brasil*. Grupo de Economia do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável/GEMA. Rio de Janeiro: Instituto de Economia – UFRJ, 2007. Disponível em: <http://www.ie.ufrj.br/gema/pdfs/Young_2007_mfcb.pdf>. Acesso em: mar. 2014.