

MELISSA GABRIELY S. SIMÕES

**IMPACTOS DA MINERAÇÃO SOBRE OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS: UMA
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

SANTO ANDRÉ - SP

2022

MELISSA GABRIELY S. SIMÕES

**IMPACTOS DA MINERAÇÃO SOBRE OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS: UMA
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia)
apresentado à Universidade Federal do ABC
(UFABC), como parte dos requisitos para obtenção
do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Luis Enrique Sánchez

Co-orientador: Prof. Dr. Márcio de Souza Werneck

SANTO ANDRÉ - SP

2022

Universidade Federal do ABC

MELISSA GABRIELY S. SIMÕES

**IMPACTOS DA MINERAÇÃO SOBRE OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS: UMA
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Conceito: _____

Banca Avaliadora:

Prof.(a) Dr.(a): _____

Assinatura: _____

Prof.(a) Dr.(a): _____

Assinatura: _____

Prof.(a) Dr.(a): _____

Assinatura: _____

Data da apresentação oral: _____

Às minhas avós, Hilda e Dalila, exemplos de amor, força e peças-chave da minha história.

AGRADECIMENTOS

Durante a minha jornada na UFABC senti na pele a importância de uma rede de apoio. Sem dúvidas, não conseguiria chegar até aqui sem a presença de algumas pessoas em minha vida.

Gostaria de agradecer primeiramente o meu orientador Prof. Dr. Luis Enrique Sánchez por me guiar em cada etapa da execução desse trabalho e também por acreditar que seria possível com o tempo que tínhamos.

Ao Prof. Dr. Márcio de Souza Werneck, por aceitar o convite para ser meu co-orientador e ter sido sempre acessível e disposto a fazer dar certo.

À minha ex-gestora de estágio, Josianne, por me apoiar ainda nos primeiros passos desse trabalho e por me motivar e acreditar em mim desde o começo.

À banca examinadora, por participar da avaliação do meu trabalho nesse momento final da minha jornada como graduanda.

Aos meus pais e minha irmã que sempre me incentivaram a estudar, me deram suporte e vibraram comigo a cada pequena conquista na minha trajetória acadêmica.

Ao meu namorado Matheus e minha melhor amiga Isabelle que estiveram ao meu lado em cada decisão tomada ao longo dos 6 anos na UFABC e foram peças fundamentais para que eu não desistisse desse trabalho.

E a todos os amigos e familiares que estiveram comigo durante essa jornada e me incentivaram de alguma forma.

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAIS E MÉTODOS	11
3. RESULTADOS	14
3.1 Características gerais dos artigos	14
3.2 SE e impactos	16
3.3 Causa da mudança de SE como resultado da mineração	20
4. DISCUSSÃO	22
4.1 Metodologia de avaliação de SE	22
4.2 Comparação com os resultados de Boldy et al. (2021)	23
4.3 Novas abordagens encontradas	24
4.4 Limitações na análise de dados	26
5. CONCLUSÃO	27
6. REFERÊNCIAS CITADAS	28
ANEXO - Referências Suplementares	31

RESUMO

Atividades de mineração causam diversos impactos sobre ecossistemas e os benefícios que estes fornecem à sociedade, os serviços ecossistêmicos (SE). Compreender como a mineração impacta SE é importante para determinar abordagens de gestão para abordar esses impactos segundo a hierarquia de mitigação. O presente trabalho buscou analisar as pesquisas sobre os impactos da mineração sobre SE e identificar temas relevantes para o futuro avanço do conhecimento a partir de uma revisão sistemática da literatura. Foram identificados 40 artigos entre novembro de 2020 e setembro de 2022 que somam mais de 200 conexões entre mineração e SE. A discussão foi feita a partir da análise dos impactos listados de acordo com o critério da “Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade” (TEEB) de modo a identificar os tópicos mais frequentes de pesquisa e a indicação de lacunas ou temas para os quais se considera preciso fazer avançar o conhecimento.

Palavras-chave:

Serviços Ecossistêmicos; Mineração; Revisão Sistemática da Literatura; Ecossistema.

1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas sustentam as necessidades humanas provendo benefícios (Rosa, 2014), que são conhecidos como “serviços ecossistêmicos” (SE). Esse termo engloba as relações entre a natureza, atividade econômica e o bem-estar humano, além dos atributos físicos que compõem o capital natural (TEEB, 2010). Esses conceitos ajudam a sociedade a reconhecer os diversos benefícios fornecidos pela natureza. A escassez ou abundância de bens e SE em uma região é determinada pelo biótopo, pela biocenose e pelas forças motrizes a que o ecossistema está sujeito (Gonzalez-Morales, 2022). A manutenção dos estoques de capital natural permite o fornecimento sustentável de fluxos futuros de serviços ecossistêmicos e, portanto, contribui para assegurar o bem-estar humano. Entretanto, os recursos obtidos do meio ambiente, que muitas vezes são considerados como permanentes - como água, alimentos e minérios - se por um lado contribuem direta ou indiretamente para a sobrevivência e qualidade de vida dos seres vivos, por outro sofrem influência do desenvolvimento da sociedade.

A mineração possui um ciclo de vida de cinco fases (Figura 1) em que desde a exploração e desenvolvimento até o pós-fechamento, impacta os sistemas sociais e ambientais (Boldy, 2021). Essa atividade, em particular, tem efeito direto na modificação da paisagem e na diminuição da oferta de SE locais (Rosa, 2014; Gastauer et al., 2019) já que muitas vezes implica supressão de vegetação, exposição do solo aos processos erosivos com alterações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, além da emissão de gases poluentes (Mechi, 2010). Sendo assim, a modificação de áreas naturais resultante das atividades de mineração tem o potencial de impactar os quatro componentes principais da cadeia de SE – oferta, demanda, fluxo e benefícios - de diferentes maneiras (Boldy, 2021). Considera-se que o capital natural (estoque de ecossistemas naturais) compõe

a oferta, assim como o capital humano e social (necessidades e preferências sociais, cultura, educação etc) influenciam na demanda. A relação entre esses dois aspectos define o que se chama de fluxo, cuja dinâmica resulta em benefícios para a sociedade.

Figura 1 - Etapas do ciclo de vida de um projeto de mineração



Fonte: dos próprios autores

Por se tratar de uma área de grande importância para suprir as necessidades da vida moderna, com tecnologias e bens de consumo (Rosa, 2014) há uma crescente demanda pela expansão das operações de mineração. Como resultado, se tem uma maior produção e a necessidade de expansão das instalações de armazenamento de rejeitos. Por atuar no próprio local e em ecossistemas adjacentes, atividades de mineração desafiam constantemente a capacidade de resiliência do ecossistema, isto é, sua habilidade de continuar a fornecer serviços em condições ambientais adversas (TEEB, 2010).

Considerando a mineração como um processo dinâmico, a oferta e demanda por SE também podem variar entre as especificidades da operação (Boldy et al., 2021). Fatores como tipo, estágio da mina e paisagem circundante influenciam a magnitude e a significância dos

impactos ambientais. Aplicar o conceito de serviços ecossistêmicos à avaliação desses impactos, é uma forma de realizar uma análise integrada das consequências que um determinado projeto pode causar aos serviços ecossistêmicos e conseqüentemente à qualidade de vida da população (Rosa, 2019).

A literatura sobre esses impactos é crescente, mas ainda há poucos trabalhos que analisem os processos de mudança de uso da terra nas regiões mineradas e seus reflexos nos SE resultantes de operações de mineração (Boldy et al., 2021; Silva et al., 2021). Da mesma forma que se sabe pouco sobre os efeitos do processo de mitigação adotado na prática.

O objetivo deste trabalho é de analisar, a partir de uma revisão sistemática, as pesquisas sobre os impactos da mineração sobre serviços ecossistêmicos e identificar temas relevantes para o futuro avanço do conhecimento para determinar especificamente: (1) características gerais dos artigos, incluindo o ano de publicação, país de origem e tipo de mina escolhida, (2) quais componentes dos SE são estudados e como eles são impactados e (3) a causa da mudança de SE como resultado da mineração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A revisão sistemática utilizou procedimentos habituais empregados nesse tipo de levantamento (Carbuloni et al, 2017; Tranfield, Denyer e Smart, 2003) e foi desenvolvida em duas etapas, que compreendem sete passos (Quadro 1).

Quadro 1: Sistematização dos passos metodológicos da revisão

Etapa	Passo metodológico
1ª Etapa – Planejamento da revisão	Passo 0 – Identificação da necessidade de revisão
	Passo 1 – Preparação da proposta de revisão
	Passo 2 – Desenvolvimento do protocolo da revisão
2ª Etapa – Condução da revisão	Passo 3 – Identificação da pesquisa
	Passo 4 – Seleção dos estudos
	Passo 5 – Avaliação da qualidade dos estudos
	Passo 6 – Seleção de informações e monitoramento do progresso
	Passo 7 – Síntese de informações

Fonte: dos próprios autores

A pesquisa atualizou a revisão de Boldy et al. (2021) acerca dos impactos da mineração sobre os serviços ecossistêmicos. Neste trabalho foram identificadas lacunas de conhecimento - apontando para uma ausência de artigos que avaliem toda a cadeia de componentes do SE ao longo da vida da mina - e discutidas estratégias para gerenciar e avaliar SE afetados por operações de mineração.

Para a busca de referências, foram utilizadas duas bases de dados: Scopus e Web of Science. De forma a garantir a obtenção de uma ampla série de artigos foi feita a combinação

das palavras-chave: “ecosystem service*” AND (mining OR mine). Estabeleceu-se um filtro de artigos publicados em inglês, com limite de publicação até setembro de 2022 justamente para obter novos artigos publicados desde o trabalho de Boldy - o que resultou em 768 artigos únicos, sendo 250 publicados entre novembro de 2020 e o limite proposto. Foram excluídos ainda 44 artigos, com foco em 'mineração de dados' ou que incluíram apenas os termos de pesquisa em questão em suas referências. Os 206 artigos restantes foram lidos para obter apenas aqueles que forneceram evidências de conexão entre mineração e serviços ecossistêmicos por meio de uma avaliação de impactos direta.

Foram selecionados 40 artigos com 208 conexões únicas entre mineração e serviços ecossistêmicos, ou seja, relações entre esses dois aspectos mencionadas nos artigos. Essas conexões foram analisadas em três critérios (Quadro 2), reproduzindo a pesquisa de Boldy et al. (2021), de forma a explorar tendências da pesquisa científica, identificar as características das minas estudadas e avaliar essas conexões.

Em seguida, foram identificados os temas mais frequentes de pesquisa e a indicação de lacunas ou temas para os quais é preciso fazer avançar o conhecimento. Foi também averiguado se as lacunas apontadas por Boldy et al. (2021) vêm sendo abordadas nos artigos mais recentes.

Quadro 2: Descrição dos critérios de análise

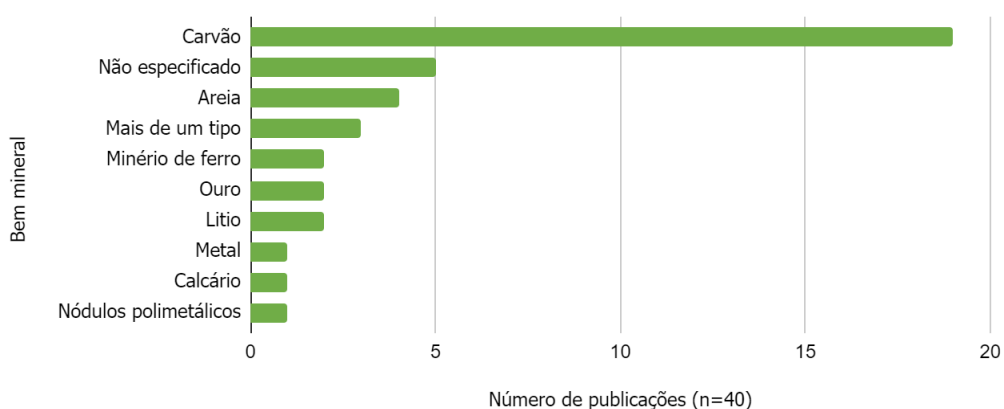
Critérios de Revisão	Indicador	Descrição
Características gerais dos artigos	Ano	Ano da publicação
	Periódico	Nome do jornal científico
	País do primeiro autor	Nome do país do primeiro autor da publicação
	Palavras-chave	Palavras-chave escolhidas pelo autor
	Escala geográfica do estudo	<ul style="list-style-type: none"> Local: abrangendo impactos em escala do local da mina ou cidades individuais Regional: abrangendo impactos na bacia hidrográfica em escala subnacional Nacional: abrangendo impactos em escala nacional
	Tipo de bem mineral	Produto primário produzido pela mina estudada
SE e impactos	Grupos de SE considerados	<ul style="list-style-type: none"> Provisão: resultados materiais ou de energia advindos dos ecossistemas Regulação: serviços que os ecossistemas fornecem quando agem como reguladores Cultural: benefícios não-materiais que as pessoas obtêm a partir do contato com ecossistemas Suporte: sustentam quase todos os outros serviços
	Impacto nos SE	<ul style="list-style-type: none"> Positivo: o SE melhorou como resultado da mineração Negativo: o SE piorou como resultado da mineração Pouco claro: Não houve conclusão sobre as implicações da mineração no SE
Causa da mudança de ES como resultado da mineração	Estágio de mineração de cada conexão entre ES e mineração	<ul style="list-style-type: none"> Mineração ativa: etapa de construção da mina ou de extração de minerais Pós-mineração: etapa de fechamento da mina (reabilitação e restauração da paisagem) ou no caso de mina abandonada

Fonte: Boldy et al. (2021)

Analisando as palavras-chave escolhidas pelo autor, notou-se um número expressivo de artigos (n=19) que utilizou “mine” ou “mining” (‘mina’ ou ‘mineração’, respectivamente), apontando, de forma clara, para um foco em atividades de mineração ao longo do estudo. Entretanto, o termo “serviços ecossistêmicos” se mostrou ainda timidamente difundido entre os artigos, muitas vezes, sendo nomeado de outras formas ou citado de forma indireta. Dos 40 artigos, 9 escolheram para palavras-chave os termos “rehabilitation”, “restoration” e “revitalization” (‘reabilitação’, ‘restauração’ e ‘revitalização’, respectivamente) dando ênfase para atividades de recuperação de áreas afetadas por operações de mineração.

Dezenove artigos tiveram a mineração de carvão como foco, superando com uma larga vantagem outros tipos de bens minerais como areia (4 artigos), minério de ferro, lítio e ouro (2 artigos cada). Cinco trabalhos não explicitaram o tipo de *commodity* e três avaliaram mais de um tipo (Gráfico 1). A maioria dos trabalhos focaram em mineração de superfície a céu aberto e impactos acima do solo. 4 artigos abordaram a extração de minerais do fundo do mar. Todos evidenciaram o aumento na demanda por metais críticos e o esgotamento de depósitos minerais terrestres para justificar a procura por esse tipo de mineração

Gráfico 1 - Bem mineral produzido na mina estudada

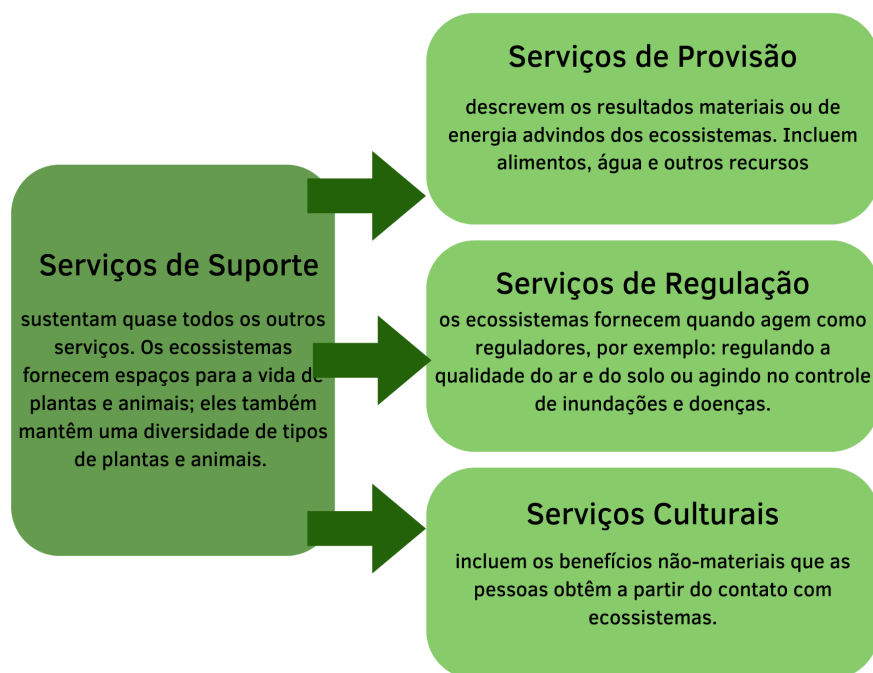


Fonte: dos próprios autores.

3.2 SE e impactos

Em 2005, a Avaliação Ecosistêmica do Milênio, definiu quatro categorias de serviços ecossistêmicos (SE), são elas: serviços de provisão, serviços de regulação, serviços culturais e serviços de suporte (Figura 3). Dentro dos 40 artigos selecionados, foram identificadas 208 conexões entre mineração e SE e os impactos listados de acordo com a Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade (TEEB) foram avaliados (Quadro 3).

Figura 3 - Tipos de Serviços Ecossistêmicos



Fonte: dos próprios autores.

A maioria dos artigos (n = 31) investigou duas ou mais conexões entre mineração e serviços ecossistêmicos, enquanto 22,5% mediram apenas uma única relação. Daqueles identificados, os serviços de regulação foram os mais encontrados (100 conexões em 29 artigos), com destaque para os impactos em relação à prevenção de erosão (n = 37) e

sequestro e armazenamento de carbono (n = 32). Os serviços culturais foram os menos medidos (n = 10).

Metade das conexões avaliadas (n = 104) refletiam relações negativas entre mineração e SE, enquanto 37% eram positivas e 13% foram pouco claras - as causas são discutidas nas próximas seções deste trabalho. Os serviços de regulação tiveram mais impactos positivos do que negativos (n = 46), contrário do que acontece para serviços de provisão, de suporte e culturais.

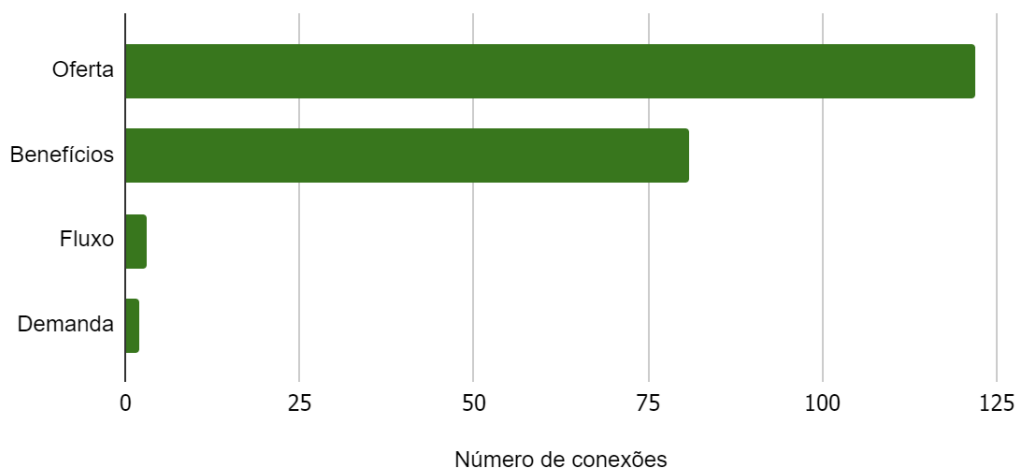
Quadro 3 - Conexões com serviços ecossistêmicos e suas presenças nas publicações

Tipos de SE (Classificação TEEB)	Número de estudos	Número de conexões	Impacto Positivo	Impacto Negativo	Impacto Pouco Claro
Serviços de Provisão	19	58	19	36	3
Alimentos	3	9	2	7	0
Matéria Prima	6	15	5	9	1
Água	9	33	12	20	1
Recursos Medicinais	1	1	0	0	1
Serviços de Regulação	29	100	49	41	10
Clima e Qualidade do Ar	2	4	1	2	1
Sequestro e Armazenamento de Carbono	7	32	13	16	3
Moderação de Eventos Extremos	5	13	7	6	0
Tratamento de Efluentes	4	10	3	7	0
Prevenção contra erosões e manutenção da fertilidade	8	37	23	9	5
Polinização	2	3	2	1	0
Controle Biológico	1	1	0	0	1
Serviços de Suporte	17	28	5	16	7
Habitats para espécies	16	28	5	16	6
Manutenção da diversidade genética	1	0	0	0	1
Serviços culturais	10	22	7	11	4
Recreação e saúde física e mental	3	6	1	5	0
Turismo	4	9	4	4	1
Contemplanção estética	2	5	2	2	1
Experiência espiritual	1	2	0	0	2

Fonte: dos próprios autores.

Nenhum dos estudos identificados na revisão mediu os impactos em todos os quatro componentes de SE da cadeia, o que seria importante para entender o impacto total nos SE. Entretanto, notou-se que a oferta foi o mais medido entre eles (n = 122) para avaliar os impactos resultantes da mineração, seguido de benefícios, fluxo e demanda (Gráfico 2). Diferentes métodos foram utilizados para determinar as variações nos serviços ecossistêmicos resultantes das atividades de mineração. Métodos econômicos estiveram mais relacionados às mudanças no benefício dos SE, da mesma forma que aqueles que mediram diretamente as alterações físicas no ambiente foram mais usados no que diz respeito à oferta de SE. Por outro lado, uma quantidade significativa de métodos únicos (n=7) foram usados para avaliar mudanças na oferta de serviços de regulação ('Sequestro e Armazenamento de Carbono' e 'Moderação de Eventos Extremos').

Gráfico 2 - Conexões por componentes de SE

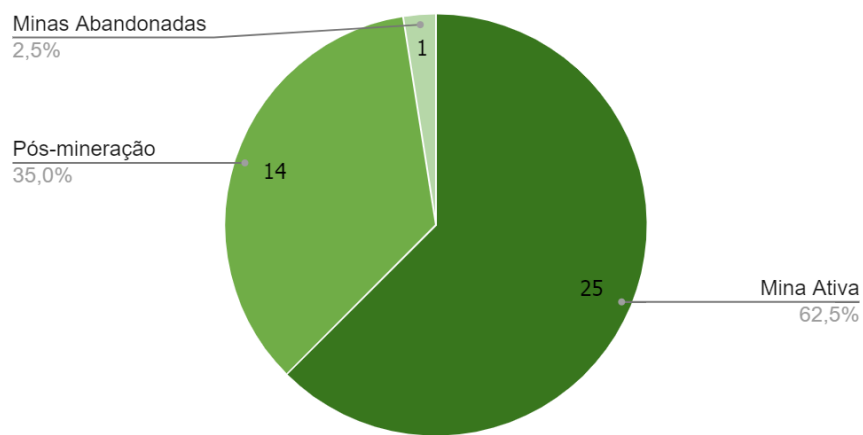


Fonte: dos próprios autores.

3.3 Causa da mudança de SE como resultado da mineração

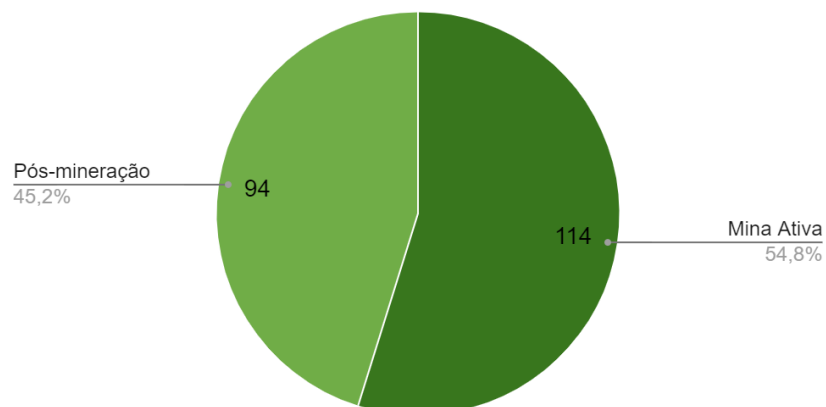
As conexões na maior parte das vezes refletiam impactos do estágio de mineração ativa (n = 114) (Gráfico 3), sendo esse o foco de 25 estudos, enquanto 15 tratavam de minas em fechamento ou abandonadas (Gráfico 4). Apenas um dos 40 estudos analisou os impactos de uma mina abandonada.

Gráfico 3 - Estágio de mineração avaliado por estudo



Fonte: dos próprios autores.

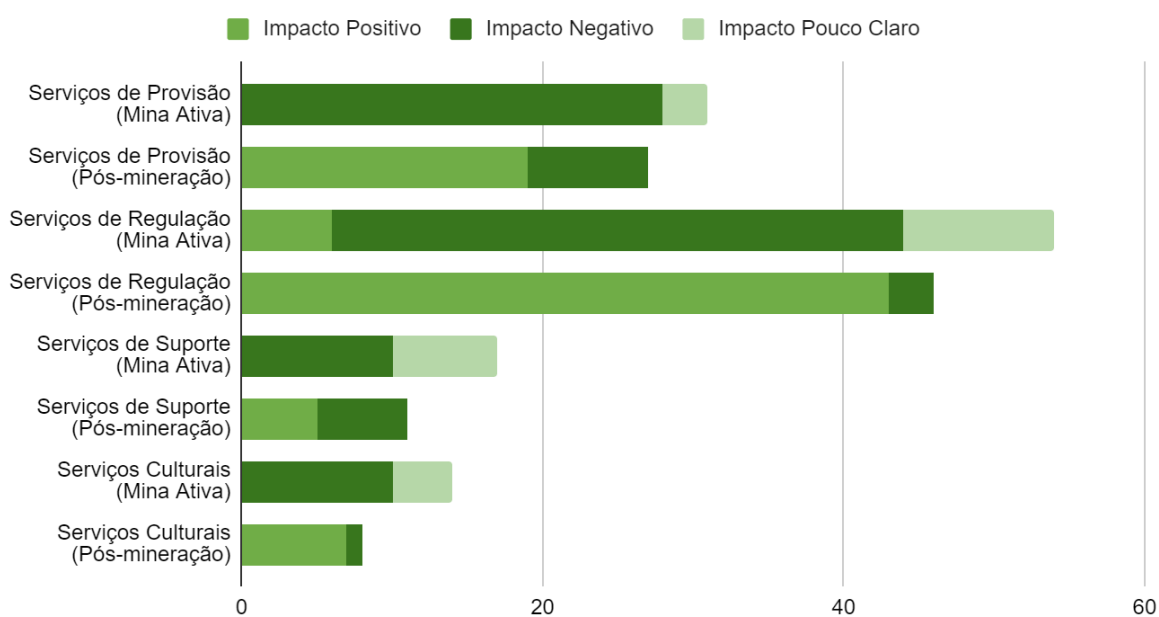
Gráfico 4 - Estágio de mineração avaliado por conexão



Fonte: dos próprios autores.

Predominantemente, os impactos positivos para SE estiveram relacionados ao estágio de pós-mineração (n = 71), enquanto que os impactos negativos foram associados mais vezes às etapas de mina ativa (n = 86) (Gráfico 5). Analisando os tipos de SE, notou-se que os serviços de provisão e regulação são impactados negativamente no período de operação ativa por meio de alterações no uso e exposição do solo aos processos erosivos. Nos esforços de fechamento de mina, com as atividades de reabilitação, os serviços regulatórios, de forma geral, foram mais positivamente impactados (n = 40).

Gráfico 5 - Impactos nos SE como resultado da mina ativa vs. pós-mineração



Fonte: dos próprios autores.

4. DISCUSSÃO

4.1 Metodologia de avaliação de SE

Há uma certa diversidade de abordagens para avaliação dos impactos nos SE resultantes das atividades de mineração, já notado por Boldy et al. (2021), devido à falta de definições e classificações consistentes para descrever o conceito de serviços ecossistêmicos. Analisando os artigos, não fica clara uma orientação sobre como determinar em qual SE direcionar esforços ao avaliar especificamente os impactos da mineração.

A avaliação de impactos e também a análise de resultados de processos de recuperação de áreas degradadas estão quase sempre estritamente relacionados ao monitoramento de parâmetros biofísicos - tais como índices de vegetação e topografia do solo - sem avaliar o benefício social resultante (Rosa, 2019). A falta de acordo sobre as definições mostra ter muita influência nas disparidades entre os métodos metodológicos. Isso se mantém como um desafio para saber se os resultados obtidos nesta revisão refletem as reais consequências da extração mineral nos SE.

Abordar a avaliação de impactos de forma interdisciplinar, de modo a acomodar o conceito ao longo de processos já estabelecidos, considerando valores biofísicos, sociais e econômicos em todas as categorias de SE (provisão, regulação, suporte e culturais) se mostra como forma de tornar a metodologia mais robusta. Ao incluir SE nas avaliações de impacto ambiental os resultados melhoram, por meio da identificação de impactos adicionais e estratégias de mitigação. Isso facilita o envolvimento das partes interessadas e afetadas, com o planejamento da coleta e análise de dados e com a estruturação dos resultados em um banco de dados integrado.

Crescem iniciativas e esforços da indústria para gerenciar SE com aplicações de usar uma abordagem SE para gestão de mineração (Rosa et al., 2018). Entretanto, ainda faltam pesquisas para estabelecer toda a extensão dos impactos da mineração no SE, lacunas de pesquisa e limitações na interpretação dos dados podem medir o potencial de políticas de gestão ambiental nas operações de mineração para mitigar os impactos sobre SE.

4.2 Comparação com os resultados de Boldy et al. (2021)

Este trabalho atualizou a revisão de Boldy et al. (2021) acerca dos impactos da mineração sobre os serviços ecossistêmicos. De maneira geral, os resultados seguiram as tendências encontradas anteriormente. Tanto em 2021 quanto em 2022 o número de artigos publicados se manteve acima de 11, com destaque para 2021 que foi o ano de publicação de 26 dos 40 artigos selecionados nesta revisão. A China se manteve com o predomínio de origem das publicações ($n = 16$), o que pode ser associado à intensa mineração de carvão no país. Essa *commodity* permaneceu como a mais estudada dentre as publicações, o que gera reflexões sobre as tendências (mais detalhes no item 4.4).

Os impactos negativos sobre SE ocorrem em grande parte durante a fase de operação de uma mina, enquanto os impactos positivos são devidos às atividades pós-mineração (reabilitação/restauração). Este resultado já era esperado e assim como discutido por Boldy et al. (2021) não se trata de uma tendência surpreendente, devido ao impacto destrutivo das atividades de mineração sobre o meio ambiente. Atividades de reabilitação, restauração e revitalização foram o foco de 9 artigos, sendo trabalhadas com menos protagonismo também em outros trabalhos, o que reflete uma expressiva demanda por esse tipo de estudo. Entretanto, mesmo com um alto número de conexões encontradas, com base na análise dos artigos não fica clara a duração dos impactos, sejam eles positivos ou negativos.

No caso do processo de pós-fechamento, fica claro os efeitos de curto prazo para os SE como resultado dos esforços de reabilitação e restauração, mas deve-se demandar esforços de pesquisa de acompanhamento para estabelecer toda a extensão dos impactos de longo prazo para o SE em ambientes de mineração.

A partir da análise dos 40 artigos identificados, nota-se o surgimento de estudos sobre extração mineral no fundo do mar e mineração ilegal, que não haviam sido encontrados por Boldy e serão discutidos com mais detalhes no próximo tópico.

4.3 Novas abordagens encontradas

A extração de minerais do fundo do mar dos oceanos é de interesse crescente para investidores, mineradoras e alguns estados costeiros (Miller, 2021). Visa coletar recursos metálicos no fundo do mar para ajudar a atender ao aumento da demanda global causada pelo crescimento da população de forma a reduzir as pressões sobre a terra (Gilron, 2022). Os depósitos minerais marinhos com grande potencial incluem principalmente depósitos de sulfetos polimetálicos, nódulos polimetálicos, crostas ricas em cobalto, fosforitos e lamas ricas em elementos de terras raras (Sakellariadou, 2021). Diante dessa oportunidade, alguns artigos debateram sobre os impulsionadores, barreiras e facilitadores para mineração em alto mar, principalmente de nódulos polimetálicos (Hyman, 2022).

As principais preocupações do ramo estão associadas aos seus impactos ambientais, que, por mais que ainda sejam pouco avaliados, espera-se que sejam altamente prejudiciais, podendo gerar consequências para além das áreas mineradas (Miller, 2021). Além disso, esse tipo de extração mineral pode causar conflitos com diferentes partes interessadas, como pesca, proprietários de cabos de comunicação, parques eólicos *offshore* e turismo (Sakellariadou, 2021). Miller (2021) forneceu relações sobre a visão de que a mineração no

fundo do mar é necessária para fornecer minerais para a revolução da energia verde *versus* os possíveis impactos negativos sobre serviços ecossistêmicos relacionados. Levando em conta a necessidade de desenvolvimento de uma estratégia de gestão sustentável dos oceanos, se mostra como estratégia potencial aplicar novas tecnologias para exploração e mineração de minerais em águas profundas, planejamento espacial marinho e uma estrutura regulatória para extração de minerais.

Gonzales-Morales (2022) estudou as consequências do abandono de instalações e rejeitos de uma mina de metal em uma área com intensa atividade cinegética, onde existe um reservatório utilizado para abastecimento de água para consumo humano e irrigação. Para isso, foram analisadas amostras de solo, lodo, vegetação e água, nas quais muitos metais(loides) ultrapassaram os níveis de referência genéricos. O território de estudo, que inclui duas bacias hidrográficas, teve instalações e resíduos abandonados sem quaisquer medidas de proteção ambiental. O abandono de áreas como essas, sem a devida gestão de resíduos, altera a oferta de SE devido à poluição local e difusa gerada, e seus efeitos podem ser amplificados pelas características do território. Além de ferramentas de gestão, visando a manutenção e/ou melhoria do SE, deve-se integrar as perspectivas sociais e ecológicas nas políticas ambientais e de saúde pública (Gonzales-Morales, 2022).

Um dos artigos também avaliou o impacto ambiental da extração de areia e os problemas associados à sua exploração ilegal. Leal (2021) indicou que a extração de areia em ritmo insustentável resulta em consequências adversas para a fauna e a flora. Além disso, afirma que as atividades de mineração ilícitas agravam os danos ambientais e resultam em conflitos, perda de impostos, trabalho ilegal e perdas na indústria do turismo. Dessa forma, à medida que o aumento do nível do mar associado às mudanças climáticas ameaça as áreas costeiras, a areia nas áreas costeiras desempenha um papel cada vez maior na determinação da quantidade de danos causados por inundações e erosões.

4.4 Limitações na análise de dados

Esta revisão identificou impactos positivos e negativos no SE como resultado da mineração, entretanto, a análise desses dados possui limitações. O nível de influência da especificidade de cada mineral no impacto não ficou claro devido a predominância da mineração de carvão (n = 19) nos resultados - o que vai ao encontro do que foi obtido por Boldy (2020). A extração de outros tipos de minerais como calcário (Ruiz et al, 2020), ouro (Barocas et al, 2021; Araujo-Flores, 2022) e minério de ferro (Lynggaard, 2020; Sousa, 2021; Xiong, 2022) terá impacto no SE, mas o número extremamente baixo de estudos de cada uma dessas *commodities* ainda não fornece evidências suficientes para estabelecer tendências. O mesmo acontece em relação às diferenças nos impactos entre os países, visto que predominaram estudos com origem na China, onde se há um foco justamente na mineração de carvão.

A mineração de carvão de superfície responde por cerca de 40% da produção global de carvão e é notória por seus inúmeros problemas ambientais e questões sociais associadas (Qun, 2022). A rápida industrialização impulsionada pelo carvão em economias de mercado emergentes, como China, Índia e África do Sul, intensifica as preocupações com suas consequências para o meio ambiente. Esse tipo de extração tem inúmeros impactos ambientais negativos, como o aumento da poluição do ar ambiente, poluição da água, biodiversidade de córregos e terrestre, e serviços ecossistêmicos degradantes, incluindo abastecimento, regulação e serviços culturais (Qun, 2021). Sendo assim, se faz necessário o incentivo ao desenvolvimento de metodologias interdisciplinares de avaliação de impactos ambientais e econômicos da mineração de carvão, de forma a ajudar a reduzir as emissões de carbono e promover o desenvolvimento sustentável regional.

5. CONCLUSÃO

Com esse trabalho de revisão sistemática, notou-se o crescimento da literatura que relaciona atividades de mineração a impactos sobre SE. Esse campo de pesquisa tem como desafios a falta de definições e classificações consistentes para descrever o conceito de serviços ecossistêmicos, assim como a divergência na metodologia nas avaliações de impactos, nem sempre apoiadas em abordagens interdisciplinares.

Uma série de limitações presentes na análise de dados, por mais que tenha sido encontrado um número expressivo de conexões positivas e negativas entre SE em diferentes etapas do ciclo de vida mina, mostram que ainda se trata de um campo de pesquisa pouco robusto. Entretanto, surgem focos de estudos recentes como a mineração no fundo do mar que levanta a necessidade de desenvolvimento de uma estratégia de gestão sustentável dos oceanos. Compreender quão duráveis são essas conexões entre mineração e SE por meio de pesquisas direcionadas apoiará gestão de ecossistemas pré e pós-mineração para SE e bem-estar humano.

6. REFERÊNCIAS CITADAS

ARAUJO-FLORES, J.M. Seasonality and aquatic metacommunity assemblage in three abandoned gold mining ponds in the southwestern Amazon, Madre de Dios (Peru). **Ecological Indicators**, v.125, 107455, 2021

BAROCAS, A.; FLORES, J.A.; PARDO, A.A.; MACDONALD, D.W.; SWAISGOOD, R.R. Reduced dry season fish biomass and depleted carnivorous fish assemblages in unprotected tropical oxbow lakes. **Biological Conservation**, v.257, 109090, 2021

BOLDY, R.; SANTINI, T.; ANNANDALE, M.; ERSKINE, P.D.; SONTER, L.J. Understanding the impacts of mining on ecosystem services through a systematic review. **The Extractive Industries and Society**, v.8, v. 1, p. 457-466, 2020.

CARBULONI, C.F; OLIVEIRA, J.B.; SANTOS, K.B.; RIVELINI-SILVA, A.C. Levantamento bibliográfico em revistas brasileiras de ensino: artigos sobre o conteúdo da tabela periódica. **ACTIO: Docência em ciências**, Curitiba - PR, v. 2, n. 1, p. 225 - 242, 2017

GASTAUER, M.; SOUZA FILHO, P.W.M.; RAMOS, S.J.; CALDEIRA, C.F., SILVA, J.R., SIQUEIRA, J.O.; FURTINI NETO, A.E. Mine land rehabilitation in Brazil: Goals and techniques in the context of legal requirements. **Ambio** v.48, p. 74–88, 2019

GONZALES-MORALES, M.; FERNANDEZ-POZO, L; RODRIGUEZ-GONZALES, MA. Threats of metal mining on ecosystem services. Conservation proposals. **Environ. Res.**, v. 214, 114036-, 2022

LEAL, W.; HUNT, J.; LINGOS, A.; PLATJE, J.; VIEIRA, L.W.; WILL, M.; GAVRILETEA, M.D. The Unsustainable Use of Sand: Reporting on a Global Problem. **Sustainability**, v.13, n.6, 3356 2021

LYNGGAARD, C.; YU, D.G.W.; OLIVEIRA, G.; CALDEIRA, C.F.; RAMOS, S.J.; ELLEGAARD, M.R.; GILBERT, M.T.P.; GASTAUER, M.; BOHMANN, K. DNA-Based

Arthropod Diversity Assessment in Amazonian Iron Mine Lands Show Ecological Succession Towards Undisturbed Reference Sites. **Front. Ecol. Evol.**, v.8, 590976. 2020

MECHI, A.; SANCHES, D.L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. *Estud. Av.*, v.24, n. 68, p. 209-220, 2010

MILLER, K.A. Challenging the Need for Deep Seabed Mining From the Perspective of Metal Demand, Biodiversity, Ecosystems Services, and Benefit Sharing. **Front. Mar. Sci.**, 2021

ROSA, J.C.S. Avaliação de impactos ambientais de um projeto de mineração: um teste metodológico baseado em serviços ecossistêmicos. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2014

ROSA, J.C.S. Planejamento e monitoramento da recuperação de áreas degradadas por mineração: um framework baseado no conceito de serviços ecossistêmicos. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2019

ROSA, J.C.S.; SANCHEZ, L.E., MORRISON-SAUNDERS, A. Getting to 'agreed' post-mining land use - an ecosystem services approach. *Impact Assess. Project Apprais.* v.36, n.3, p.220–229, 2018

TEEB (2010) A Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade: Integrando a Economia da Natureza. Uma síntese da abordagem, conclusões e recomendações do TEEB. Disponível em: https://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Reports/Synthesis%20report/TEEB_Sintese-Portugues.pdf

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. Introduction: the need for an evidence- informed approach. **British Journal of Management**, v.14, n. 3, p. 207-222, 2003.

XIONG, Y., LI H.; FU M.; MA X.; Wang L. Evaluation of Ecosystem Service Change Patterns in a Mining-Based City: A Case Study of Wu'an City. **Land**, v. 11, 895, 2022

ANEXO - Referências Suplementares

AHIRWAL, J.; PANDEY, V.C. Restoration of mine degraded land for sustainable environmental development. **Restoration Ecology**, v. 29, 2021

ARAUJO-FLORES, J.M. Seasonality and aquatic metacommunity assemblage in three abandoned gold mining ponds in the southwestern Amazon, Madre de Dios (Peru). **Ecological Indicators**, v.125, Junho 2021

ASSUMMA, V; BOTTERO, M; CAPRIOLI, C; DATOLA, G; MONDINI, G. Evaluation of Ecosystem Services in Mining Basins: An Application in the Piedmont Region (Italy). **Sustainability**, 2022

BAROCAS, A.; FLORES, JA; PARDO, A.A.; MACDONALD, D.W.; SWAISGOOD, R.R. Reduced dry season fish biomass and depleted carnivorous fish assemblages in unprotected tropical oxbow lakes. **Biological Conservation**, v.257, 109090, 2021

CHIAPPERO, M.F.; VAIERETTI, MV; IZQUIERDO, AE. A baseline soil survey of two peatlands associated with a lithium-rich salt flat in the Argentine Puna: physico-chemical characteristics, carbon storage and biota. **Mires Peat**, v.27, 2021

DE VALCK, J.; WILLIAMS, G.; KUIK, S. Does coal mining benefit local communities in the long run? A sustainability perspective on regional Queensland, Australia. **Resources Policy**, v.71, 2021

EVANS, M.J.; KAY, K; PROCTOR, C.; THOMAS, C.J.; MALCOM, J.W .Linking mountaintop removal mining to water quality for imperiled species using satellite data. **PLoS One**, Novembro 2021

FERRER, L.M.; RODRIGUEZ, D.A.; FORTI, M.C.; CARRIELLO, F. The anthropocene landscape and ecosystem services in the closure of sand mining: Paraíba do Sul River basin – Brazil. **Resources Policy**, v.74, 2021

GILRON, G.; SMITH, S.. Implications of deep-seabed mining on marine ecosystems-Introduction to a special series of papers. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v.18, 2022

GONZÁLES-GONZÁLES, A.; CLERICI, N.; QUESADA, B. Growing mining contribution to Colombian deforestation. **Environ. Res. Lett.**, 2021

GONZALES-MORALES, M; FERNANDEZ-POZO, L; RODRIGUEZ-GONZALES, M.A. Threats of metal mining on ecosystem services. Conservation proposals. **Environ. Res.**, 2022

GUAN, J.; YU, P. Does Coal Mining Have Effects on Land Use Changes in a Coal Resource-Based City? Evidence from Huaibei City on the North China Plain. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 2021

HONSCHA, L.C; CAMPOS, A.S.; TAVELLA, R.A.; RAMIRES, P.F.; VOLCAO, L.M.; HALICKI, P.C.B.; PECH, T.M.; BERNARDI, E.; RAMOS, D.F.; NIEMEYER, J.C.; BAISCH, P.R.M.; BAISCH, A.L.M.; DA SILVA, F.M.R. Bioassays for the evaluation of reclaimed opencast coal mining areas. **Environmental Science and Pollution Research**, v.28, p. 26664–26676

HOU, H.P.; DING, Z.Y.; ZHANG, S.L.; GUO, S.C.; YANG, Y.J.; CHEN, Z.X.; MI, J.X.; WANG, X. Huping et al. Spatial estimate of ecological and environmental damage in an underground coal mining area on the Loess Plateau: Implications for planning restoration interventions. *Journal of Cleaner Production*, v.287, 2021

HYMAN, J.; STEWART, R.A.; SAHIN, O; CLARKE, M.; CLARK, M.R. Visioning a framework for effective environmental management of deep-sea polymetallic nodule mining: Drivers, barriers, and enablers. **Journal of Cleaner Production**, v.337, 2022

JIANG, D.M.; LI, X.S.; WANG, Y.X.; BIAN, Z.F.; ZHANG, J.; FAN, H.P. Coordinating urban construction and coal resource mining based on equilibrium value between coal reserve and land resource in coal cities. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v.12, 2021

LEAL, W.; HUNT, J; LINGOS, A; PLATJE, J; VIEIRA, LW; WILL, M; GAVRILETEA, MD. The Unsustainable Use of Sand: Reporting on a Global Problem. **Sustainability**, v.13, n.6, 3356 2021

LI, J; LIANG, J.X.; WU, Y.; YIN, S.Q.; YANG, Z.; HU, Z.Q. Quantitative evaluation of ecological cumulative effect in mining area using a pixel-based time series model of ecosystem service value. **Ecological Indicators**, v.120,, 2021

LI, X.H.; LEI, S.G.; LIU, Y.; CHEN, H.; ZHAO, Y.B.; GONG, C.A.; BIAN, Z.F.; LU, X.G. Evaluation of Ecological Stability in Semi-Arid Open-Pit Coal Mining Area Based on Structure and Function Coupling during 2002–2017. **Remote Sensing**, 2021

LIU, H.L.; WU, Q.; CHEN, J.X.; WANG, M.J.; ZHAO, D.; DUAN, C. Environmental Impacts Related to Closed Mines in Inner Mongolia. **Sustainability**, 2021.

LIU, W.; CHEN, G. Evolution of Ecosystem Service Value and Ecological Storage Estimation in Huainan Coal Mining Area. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.107, p. 1243–1249, 2021

LYNGGAARD, C.; YU, DGW; OLIVEIRA, G; CALDEIRA, CF; RAMOS, SJ; ELLEGAARD, MR; GILBERT, MTP; GASTAUER, M; BOHMANN, K. DNA-Based Arthropod Diversity Assessment in Amazonian Iron Mine Lands Show Ecological Succession Towards Undisturbed Reference Sites. **Front. Ecol. Evol.**, v.8, 590976. 2020

MA, Q; WU, J.G.; HE, C.Y.; FANG, X.N. The speed, scale, and environmental and economic impacts of surface coal mining in the Mongolian Plateau. **Resources, Conservation and Recycling**, v.173, Outbro 2021

MILLER, K.A. Challenging the Need for Deep Seabed Mining From the Perspective of Metal Demand, Biodiversity, Ecosystems Services, and Benefit Sharing. **Front. Mar. Sci.**, 2021

MOJSES, M.; PETROVIC, F; BUGAR, Gl. Evaluation of Land-Use Changes as a Result of Underground Coal Mining-A Case Study on the Upper Nitra Basin, West Slovakia. **Water**, 2022

PETAVRATZI, E.; SANCHEZ-LOPEZ, D.; HUGHES, A.; STACEY, J.; FORD, J; BUTCHER, A. The impacts of environmental, social and governance (ESG) issues in achieving sustainable lithium supply in the Lithium Triangle. **Mineral Economics**, v.35, p. 673–699, 2022

REICHELT-BRUSHETT, A.; HEWITT, J; KAISER, S; KIM, R.E.; WOOD, R Deep seabed mining and communities: A transdisciplinary approach to ecological risk assessment in the South Pacific. **Integr. Environ. Assess. Manag.**, v.3, 2022

RUIZ, F.; CHERUBIN, M.R.; FERREIRA, T.O.. Soil quality assessment of constructed Technosols: Towards the validation of a promising strategy for land reclamation, waste management and the recovery of soil functions. **Journal of Environmental Management**, v. 276, 2020

SAKELLARIADOU, F.; GONZALEZ, F.J.; HEIN, J.R.; RINCON-TOMAS, B.; ARVANTIDIS, N; KUHN, T. Seabed mining and blue growth: exploring the potential of marine mineral deposits as a sustainable source of rare earth elements (MaREEs) (IUPAC Technical Report). **Pure and Applied Chemistry**, v.94, 2022

SETIAWAN, I.E.; ZHANG, Z.Y.; CORDER, G.; MATSUBAE, K. Evaluation of Environmental and Economic Benefits of Land Reclamation in the Indonesian Coal Mining Industry. **Resources-Basel**, Junho 2021

SOUZA, B.A.; ROSA, J.C.S.; SIQUEIRA-GAY, J.; SANCHEZ, L.E. Mitigating impacts on ecosystem services requires more than biodiversity offsets. **Land Use Policy**, v.105, 2021

VALLIERE, J.M.; ALVAREZ, J.R.; CROSS, A.T.; LEWANDROWSKI, W.; RIVIERA, F; STEVENS, J.C.; TOMLINSON, S.; TUDOR, E.P.; SAN WONG, W.; YONG, J.W.H.;

VENEKLAAS, E.J. Restoration ecophysiology: an ecophysiological approach to improve restoration strategies and outcomes in severely disturbed landscapes. **Restoration Ecology**, v.30, 2021

WU, Z.Y.; LUO, K.Y.; ZHAO, Y.H.; LECHNER, A.M.; WU, J.S.; ZHU, Q.L.; SHA, W.; WANG, Y.L. Zhenyu et al. Modelling regional ecological security pattern and restoration priorities after long-term intensive open-pit coal mining. **Science of The Total Environment**, v.835, 2022

WU, J.S.; ZHU, Q.L.; QIAO, N.; WANG, Z.Y.; SHA, W.; LUO, K.Y.; WANG, H.L.; FENG, Z. Ecological risk assessment of coal mine area based on source-sink landscape theory e A case study of Pingshuo mining area. *Journal of Cleaner Production*, v.295, 2021

XIAO, W.; CHEN, W.; DENG, X. Coupling and coordination of coal mining intensity and social-ecological resilience in China. **Ecological Indicators**, v.131, 2021

XIANG, H.X.; WANG, Z.M.; MAO, D.H.; ZHANG, J.; ZHAO, D.; ZENG, Y.; WU, B.F. Hengxing, et al. Surface mining caused multiple ecosystem service losses in China. **Journal of Environmental Management**, v.290, 2021

XIONG Y.; LI H.; FU M.; MA X.; WANG, L. Evaluation of Ecosystem Service Change Patterns in a Mining-Based City: A Case Study of Wu'an City. **Land**, 2022

YANG, H.; ZHAI, G.; ZHANG, Y.. Ecological vulnerability assessment and spatial pattern optimization of resource-based cities: A case study of Huaibei City, China. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v.27, p. 606-625, 2021

YANG, K.; WANG, S.F.; CAO, Y.G.; LI, S.P.; ZHOU, W.X.; LIU, S.H.; BAI, Z.K. Ecological Restoration of a Loess Open-Cast Mining Area in China: Perspective from an Ecological Security Pattern. **Forests**, 2022

ZHANG, L.J.; ZHOU, X.; ZHOU, Y.; ZHOU, J.; GUO, J.W.; ZHAI, Z.H.; CHEN, Y.; S.U., X.Y.; YING, L.X.; WANG, L.W.; QIAO, Y. Surface coal mining impacts on land use change

and ecological service value: a case study in Shengli coalfield, Inner Mongolia.

International Journal of Coal Science & Technology, v.9, 2022