

Mapeamento e avaliação dos serviços ecossistêmicos entre 1985 e 2019 na sub-bacia hidrográfica do Arroio Passo Fundo (Guaíba/RS)

Mapping and assessment of ecosystem services between 1985 and 2019 in the Arroio Passo Fundo watershed (Guaíba / RS)

Sumirê da Silva Hinata ¹ 

Luis Alberto Basso ² 

José Gomes dos Santos ³ 

Palavras-chave:

Classes de cobertura e uso do solo
Projeto MapBiomias
Dinamica EGO
Função ecossistêmica
Cenários futuros

Resumo

O objetivo principal deste estudo consiste em analisar os Serviços Ecossistêmicos fornecidos na Sub-Bacia Hidrográfica do Arroio Passo Fundo, localizada no município de Guaíba/RS. Para analisar as transições ocorridas nas classes de uso e cobertura do solo no intervalo de tempo compreendido entre 1985 e 2019 foram utilizados os dados da Coleção 5 do Projeto MapBiomias, bem como as transformações ocorridas nesse intervalo de 34 anos, que subsidiaram a elaboração de um cenário tendencial para os anos de 2030 e 2050, através do software livre Dinamica EGO. Os resultados mostram que a sub-bacia forneceu em torno de US\$ 21.020.441 em Serviços Ecossistêmicos em 1985, com diminuição para US\$ 19.635.767 em 2019, e um valor estimado em US\$ 19.059.616 no cenário tendencial de 2050. A alteração mais evidente foi a conversão de áreas de Formação campestre para o cultivo de soja. A identificação das classes de uso e cobertura do solo associadas aos múltiplos Serviços Ecossistêmicos é uma alternativa eficaz para que gestores públicos e tomadores de decisão elaborem estratégias, proativas e eficientes, para melhoria da qualidade ambiental da sub-bacia.

Keywords:

LULC classification
MapBiomias Project
Dinamica EGO
Ecosystem function
Scenarios for land use

Abstract

This article analyzes the Ecosystem Services provided in the Arroio Passo Fundo watershed, located in Guaíba City/RS. To analyze the transitions that occurred in land use and land cover classes between 1985 and 2019, MapBiomias Collection 5 Project data were used, as well as the transformations that occurred in this interval of 34 years, which supported the elaboration trend scenario for 2030 and 2050, through the free software Dinamica EGO. The results show that watershed provided around US\$ 21,020,441 in Ecosystem Services in 1985, decreasing to US\$ 19,635,767 in 2019, and an estimated value of US \$ 19,059,616 in the 2050 trend scenario. The most evident change was the conversion of grassland to soy bean cultivation. The identification of land use and land cover classification associated with multiple Ecosystem Services is an effective alternative for public managers and decision makers to develop proactive and efficient strategies for improving the environmental quality in the watershed.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. sumire.hinata@ufrgs.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. luis.basso@ufrgs.br

³ Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. jgs@ci.uc.pt

INTRODUÇÃO

A avaliação ambiental considerando os Serviços Ecossistêmicos (SE) é uma abordagem inovadora e em expansão em muitos países, ainda incipiente no Brasil. Os SE são as características, funções ou processos ecológicos que contribuem direta ou indiretamente para o bem-estar humano, ou seja, os benefícios que as pessoas obtêm do funcionamento dos ecossistemas (COSTANZA et al., 1997, 2017; MAES et al., 2012, 2013; MEA, 2005) e incluem ecossistemas naturais e modificados pela ação antrópica como fonte de recursos de SE.

A classificação dos SE associada ao uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do Arroio Passo Fundo (SBHAPF) utilizou como base a Coleção 5 do Projeto Mapbiomas (2020), onde foram observadas as variações entre o ano de 1985 e 2019. Com base nessas transições ocorridas no intervalo de 34 anos, foi possível simular o cenário tendencial para os anos de 2030 e 2050, através do *software* livre Dinamica EGO 5.0 (2020) que permite a avaliação de questões ambientais através da composição de um modelo de simulação espacialmente explícito, possibilitando a evolução de diferentes cenários com base na situação ambiental (RODRIGUES; SOARES-FILHO; COSTA, 2007). O ano de 2030 foi selecionado por ser o horizonte para os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil da Organização das Nações Unidas (ONU),

especialmente o Objetivo 15 – Vida terrestre que visa “Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”, e 2050 por ser referência para a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005).

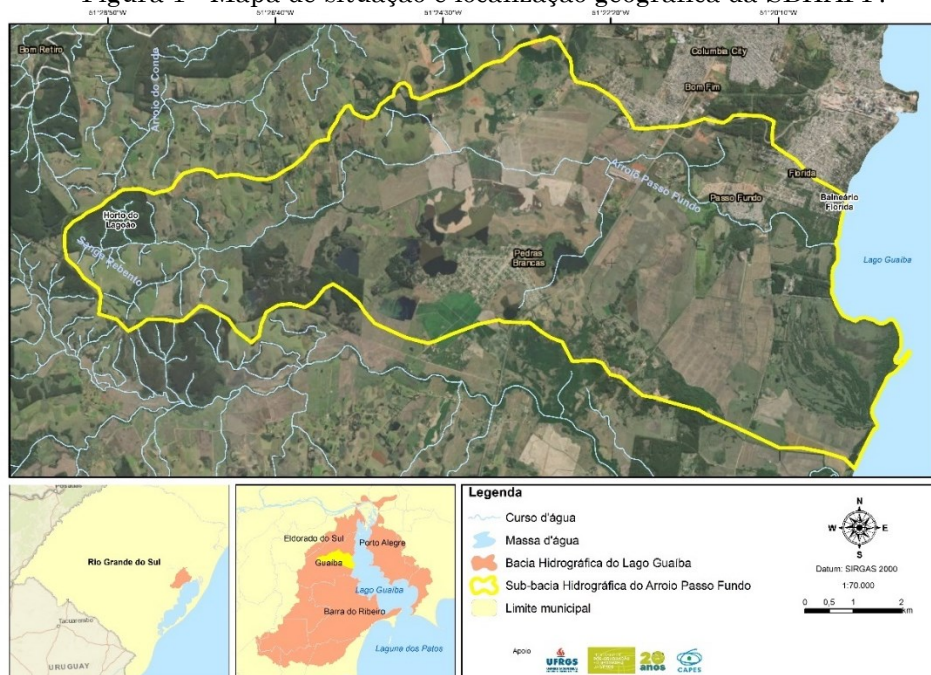
O Dinamica EGO permite estimar as mudanças de uso e ocupação do solo no intervalo dos próximos 34 anos, e correlacionar às alterações nos SE na SBHAPF, sendo esta abordagem empregada em outros trabalhos de alteração de uso e cobertura do solo correlacionadas aos SE (BACHI et al., 2020; WOLDEYOHANNES et al., 2020).

Utilizar os SE como indicadores de alteração da qualidade ambiental, com base em dados de uso e cobertura do solo, pode ser uma importante ferramenta para subsidiar políticas públicas e auxiliar gestores para monitorar a SBHAPF, bem como qualquer outra região que disponha de mapeamento.

Área de estudo

A SBHAPF localiza-se entre as coordenadas geográficas 30°07'17"S, 30°12'09"S, 51°18'28" W e 51 29'24" W (Figura 1), e está localizada em toda sua extensão no município de Guaíba/RS. Com uma área de aproximadamente 75,7 km² (DRH/SEMA, 2016) inserida no Bioma Pampa, a SBHAPF limita-se a leste pelo Lago Guaíba e está inserida na Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba.

Figura 1 - Mapa de situação e localização geográfica da SBHAPF.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Em relação às nascentes do Arroio Passo Fundo há o predomínio de área rural no entorno e presença de áreas de silvicultura. As áreas destinadas a agropecuária próximas ao curso médio, observadas em 2002, continuam sendo exploradas por este uso: se antes foi relatada a presença de barragens ilegais e ausência de mata ciliar e conseqüente erosão em Área de

Preservação Permanente (APP) ao longo do Arroio Passo Fundo (GUERRA *et al.*, 2002), atualmente a degradação permanece, incluindo relatos de atividade industrial com despejo irregular de produtos químicos (Figura 2), que tem agravado a situação de poluição do curso d'água a jusante e trazido sérias conseqüências à saúde da população.

Figura 2 - Trecho do APF (Guaíba/RS) comprometido pelo despejo irregular da atividade industrial (Coordenadas geográficas 30°09'29"S, 51°20'19"W).



Fonte: os autores (2019).

A SBHAPP possui elevado potencial para atividades voltadas à recreação, ao turismo, às atividades culturais, esportivas e de observação da paisagem, especialmente na área

denominada Balneário Florida (Guaíba/RS) na porção nordeste da sub-bacia (Figura 1) junto à orla do Lago Guaíba (Figura 3).

Figura 3 - Balneário Florida (Guaíba/RS) destinada ao turismo e recreação de moradores e visitantes (Coordenadas geográficas 30°09'15"S, 51°19'20"W).



Fonte: os autores (2019).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados para o mapeamento da área de estudo são provenientes da Coleção 5 do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias), que gerou uma série histórica de mapas anuais produzidos a partir da classificação pixel a pixel de imagens de satélites da série Landsat com resolução de 30 metros (MAPBIOMAS, 2020).

Serviços Ecossistêmicos (SE)

O conceito de SE tem sido discutido desde que adquiriu maior relevância e passou a estar presente em muitas publicações após 1997. Os problemas relacionados a mudanças nestes serviços afetam o bem-estar humano de várias formas. Os componentes do bem-estar, vividos e percebidos pelas pessoas, são dependentes da situação, refletindo a geografia local, a cultura e as circunstâncias ecológicas (MEA, 2005).

Os serviços ecossistêmicos não estão ligados exclusivamente às atividades humanas relacionadas à natureza, mas envolvem aspectos voltados ao desenvolvimento socioeconômico, porque esses serviços são a base para que os ecossistemas naturais e as espécies a ele vinculadas possam sustentar e preencher a vida humana.

O desconhecimento do tema relacionado ao fornecimento de bens e serviços providos pelos ecossistemas induz a sociedade e os gestores públicos de maneira geral à negligência. Estima-se que haja uma valoração dos serviços ecossistêmicos à medida que os impactos de ações humanas sobre o meio ambiente se intensifiquem, e os custos e investimento em tecnologias se tornem mais aparentes. Os SE são absolutamente essenciais à civilização, mas a vida urbana moderna torna obscura sua existência (DAILY, 1997).

Nas últimas décadas estudos se propuseram a estimar o valor de uma ampla variedade de SE. Costanza et al. (1997) foram precursores ao apresentar o valor dos serviços ecossistêmicos no planeta e estimar valores para os SE por unidade de área por bioma. Além desse estudo, uma pluralidade de outros trabalhos se dedicam ao tema nos mais distintos lugares (BAGSTAD; SEMMENS; WINTHROP, 2013; CABRAL et al., 2016; DE LIMA et al., 2018; HERNÁNDEZ-BLANCO et al., 2020; LEITÃO; SANTOS; ARAGÃO, 2017; MAES et al., 2013; MARTINEZ-HARMS et al., 2017).

A categorização proposta por Costanza et al. (2017) faz uma abordagem integradora, relacionando o capital natural, social, construído

e humano necessário para produzir esses serviços, e considera: a) Serviços de provisão ou abastecimento; b) Serviços de regulação; c) Serviços culturais; e d) Serviços de suporte, os quais foram agrupados em 17 principais categorias.

A importância do trabalho de Costanza et al. (1997) resultou na estimativa do valor total global da extensão dos serviços ecossistêmicos e no esquema de classificação com essas categorias principais que representam o uso global da terra. À época, os autores estimaram que os ecossistemas fornecem pelo menos US\$ 33 trilhões em serviços anualmente ao planeta, e concluíram que os SE fornecem uma parcela importante da contribuição total para o bem-estar humano.

A adoção de valores monetários para avaliação de SE pode induzir a uma interpretação negativa quanto à monetização da natureza, mas Kubiszewski et al. (2017) sustentam que a avaliação dos SE em unidades monetárias não está em conflito com outras abordagens ao considerar sua importância, mas representa uma informação adicional que pode complementar outras abordagens.

Valorar os serviços ecossistêmicos não é a mesma coisa que mercantilizá-los para o comércio em mercados privados. A maioria dos serviços ecossistêmicos traduz-se em bens públicos, o que significa que a privatização e os mercados convencionais funcionam mal, se é que funcionam. No entanto, conhecer o valor dos serviços ecossistêmicos é útil para sua gestão eficaz, que em alguns casos pode incluir incentivos econômicos, como aqueles usados no sistema de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) bem-sucedido da Costa Rica (COSTANZA, 2006).

Observação e projeção do uso e cobertura do solo

As alterações de uso e cobertura do solo foram analisadas com base no limite da SBHAPF, sendo 1985 o ano mais antigo e 2019 o mais recente disponibilizados pelo Projeto MapBiomias. Esses arquivos, disponíveis em formato *raster*, foram convertidos em *shapefile* no *software* ArcGis 10.5, onde foram calculadas as áreas de cada polígono das classes de uso e cobertura do solo.

A SBHAPF se encontra inteiramente inserida no Bioma Pampa e compreende as classes Floresta Natural (Formação Florestal); Floresta Plantada; Campo Alagado e Área Pantanosa; Formação Campestre; Infraestrutura Urbana; Outras Áreas não

Vegetadas; Outras Lavouras Temporárias; Soja; e Corpos d'água (Rios e Lagos).

Os cenários tendenciais para 2030 e 2050 foram simulados no *software* Dinamica EGO (SOARES-FILHO; RODRIGUES; COSTA, 2009), que permite a modelagem de mudanças ambientais através da investigação de trajetórias de paisagens e dinâmica de fenômenos espaciais. Os modelos de simulação espacialmente explícitos permitem identificar causas e processos que atuam sobre os sistemas ambientais, e consequentemente verificar como ocorre a evolução em diferentes cenários, considerando variáveis socioeconômicas, políticas e ambientais (RODRIGUES; SOARES-FILHO; COSTA, 2007).

O Dinamica EGO usa um método de inferência estatística para estimar a probabilidade de conversão entre as categorias de uso e cobertura do solo sob um conjunto de variáveis explicativas e observações de mudanças de uso e cobertura do solo anteriores, enquanto os padrões espaciais da mudança de categorias de uso e cobertura do solo são produzidos pelo princípio de funcionamento que governa autômatos celulares (WOLDEYOHANNES et al., 2020). Os autômatos celulares são sistemas espaciais dinâmicos, que têm por base a ideia de que o estado de uma célula (*pixel*) da matriz depende do estado prévio das células que se encontram dentro de uma determinada vizinhança, de acordo com um conjunto de regras de transição (ROCHA, 2012).

A abordagem pelos autômatos celulares permite aos usuários definir ou editar

parâmetros para controlar o tamanho médio e a variância da mancha (*patch*) que conduzem a transição das classes de uso e cobertura do solo, podendo ser convertido de uma abordagem puramente automática para uma abordagem orientada por tendências (WOLDEYOHANNES et al., 2020).

Neste estudo, além dos mapas do ano inicial (1985) e final (2019), foram incorporados os mapas de hipsometria, declividade, litologia e geologia, necessários para que o modelo pudesse calcular os pesos de evidência para produzir o mapa de probabilidades de transição. Não foram incorporados ao modelo variáveis socioeconômicas, políticas e ambientais, assumindo-se que a sub-bacia será alterada sem influência de fatores exógenos.

De posse dos dados das áreas calculadas para os anos de 1985 e 2019, e dos cenários tendenciais de 2030 e 2050, as classes de uso e cobertura foram correlacionadas aos SE seguindo os valores propostos por Costanza et al. (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uso e cobertura do solo observado e projetado na sub-bacia do APF

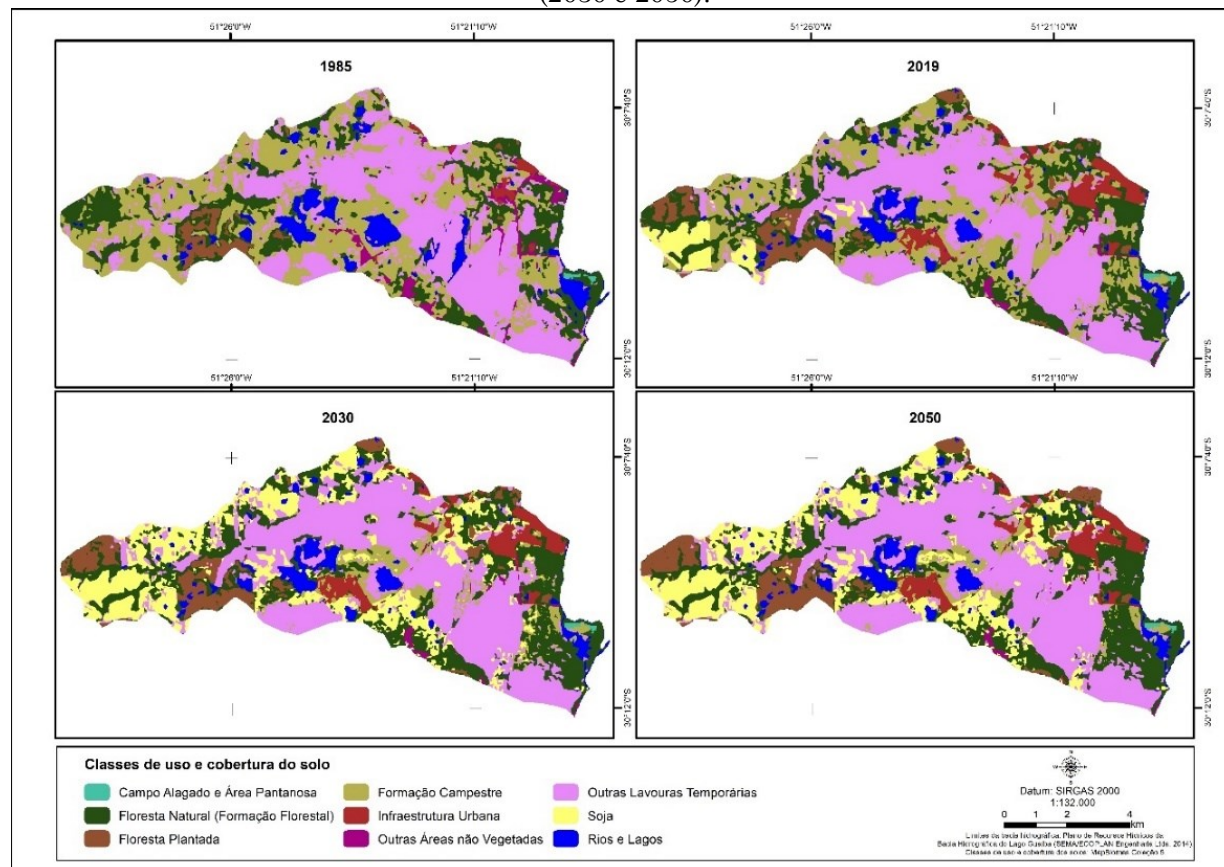
A sub-bacia do APF apresentou nove tipos de classes de uso e cobertura do solo que se transformaram significativamente de 1985 até 2019 (Tabela 1 e Figura 4).

Tabela 1 - Uso e cobertura do solo na sub-bacia do APF observado (1985 e 2019) e tendencial (2030 e 2050).

Classes de uso e cobertura do solo	Área (km ²)								Mudanças			
	1985	%	2019	%	2030	%	2050	%	19852019	20192030	19852050	20192050
Campo Alagado e Área Pantanosa	0,12	0,16	0,13	0,17	0,12	0,16	0,12	0,16	0,00	-0,01	0,00	-0,01
Floresta Natural	15,25	20,14	18,10	23,91	18,32	24,20	17,84	23,57	2,86	0,22	2,60	-0,26
Floresta Plantada	1,92	2,53	3,91	5,16	4,45	5,88	5,48	7,24	1,99	0,54	3,57	1,58
Formação Campestre	24,51	32,38	17,54	23,16	4,15	5,48	2,88	3,81	-6,98	-13,39	-21,63	-14,65
Infraestrutura Urbana	0,64	0,85	3,29	4,35	3,60	4,76	3,84	5,07	2,65	0,31	3,20	0,55
Outras Áreas Não Vegetadas	2,00	2,64	0,72	0,95	0,51	0,67	0,29	0,38	-1,28	-0,21	-1,71	-0,43
Outras Lavouras Temporárias	26,47	34,97	25,70	33,94	26,48	34,98	27,12	35,82	-0,78	0,78	0,64	1,42
Soja	0,00	0,00	2,75	3,64	14,46	19,10	14,51	19,17	2,75	11,71	14,51	11,76
Rios e Lagos	4,80	6,33	3,57	4,72	3,61	4,77	3,61	4,77	-1,22	0,04	-1,18	0,04
Total Geral	75,71	100	75,70	100	75,70	100	75,70	100	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Figura 4 - Mapeamento do uso e cobertura do solo na SBHAPF observado (1985 e 2019) e tendencial (2030 e 2050).



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

As transformações observadas de 1985 a 2019 (Figura 5) evidenciam que as áreas ocupadas pela classe Outras lavouras temporárias (excetuando-se a soja) foram predominantes, cobrindo 26,47 km² (34,97%) da área em 1985 e 25,70 km² (33,94%) em 2019, com retração de -1,03% no período.

A classe Formação Campestre ocupou segunda colocação em 1985, cobrindo 24,51 km² (32,38%) da área da sub-bacia e, ainda que tenha garantido a terceira maior colocação em termos de ocupação em 2019 (23,16%), sofreu redução de -6,98 km² (-9,21%) no período, cedendo espaço principalmente para as classes Soja e Outras Lavouras Temporárias.

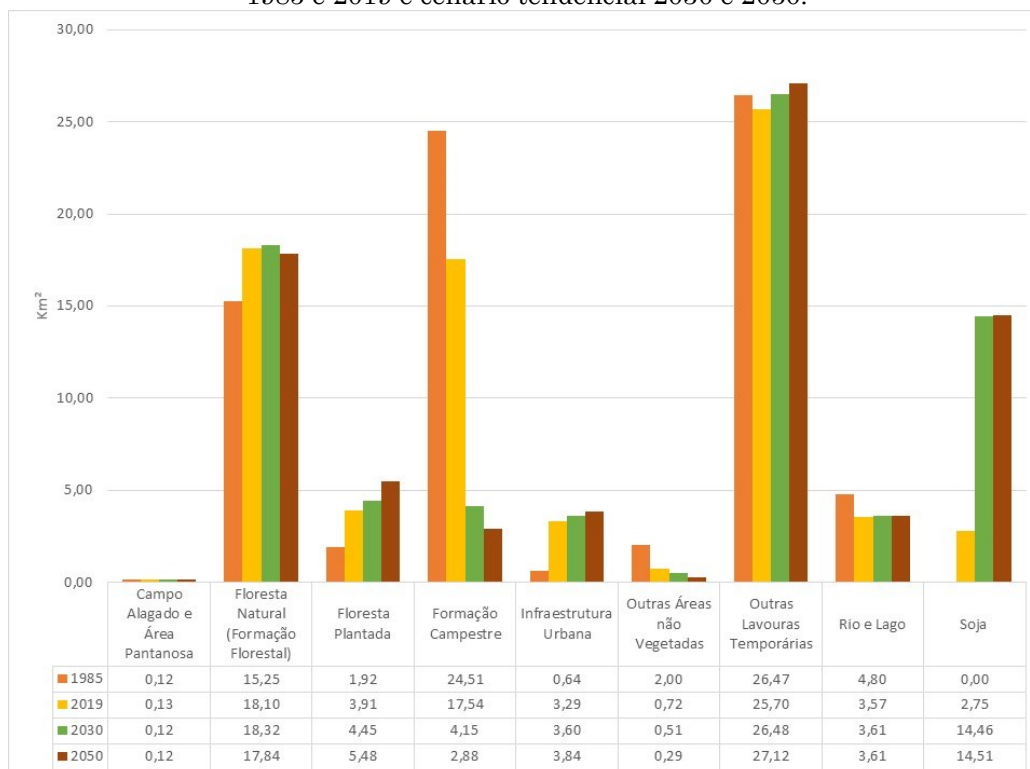
A classe Floresta Natural avançou 2,86 km² (3,77%) no período, ocupando 15,25 km² (20,14%) em 1985 e 18,10 km² (23,91%) em 2019. Esta formação é composta por vegetação com predomínio de espécies arbóreas, mas não necessariamente representam áreas preservadas ou com vegetação nativa. Os dados levantados pelo Projeto MapBiomias apontaram que pelo menos 9,3% de toda a vegetação natural do Brasil é secundária, ou seja, são áreas que já foram desmatadas e convertidas para uso antrópico pelo menos uma vez (MAPBIOMAS,

2020). Pelo grau de antropização existente na sub-bacia, infere-se que a classe Floresta Natural seja composta por vegetação secundária.

Ainda que o crescimento desta classe tenha sido pequeno, ele foi superior ao avanço da Floresta Plantada, que ocupou 1,92 km² (2,53%) em 1985 e 3,91 km² (5,16%) da área total da sub-bacia em 2019, um aumento de 2,63% no período. Na porção oeste da sub-bacia fica mais evidente o avanço da Floresta Plantada, onde a silvicultura se faz presente na área de plantio conhecida como Horto do Lagoão (Figura 1), pertencente a uma das maiores indústrias de celulose, papel e produtos de papel do estado (RIO GRANDE DO SUL, 2019). Este crescimento na SBAPF foi relativamente moderado em comparação às florestas plantadas no Bioma Pampa, que cresceram 4,9 vezes no mesmo período (MAPBIOMAS, 2020).

A partir de 2013 a classe Soja irrompeu em áreas na porção oeste da sub-bacia, antes destinadas a Outras Lavouras Temporárias e Formação Campestre, e em 2019 ocupou 2,75 km² (3,64%) da área da sub-bacia.

Figura 5 - Distribuição das classes de uso e cobertura do solo segundo o MapBiomias para os anos 1985 e 2019 e cenário tendencial 2030 e 2050.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A classe Infraestrutura Urbana apresentou expansão significativa: em 1985 ocupava 0,64 km² da área total da sub-bacia, passando a ocupar uma área de 3,29 km² em 2019, aumento observado especialmente na parte nordeste da SBHAPF (bairros Florida e Passo Fundo), que é uma área contígua à sede do município de Guaíba, e na porção centro-sul (bairro Pedras Brancas).

Em relação ao cenário tendencial, a classe Outras Lavouras Temporárias seguiu predominante, cobrindo 26,48 km² em 2030 e 27,12 km² em 2050.

A expansão mais significativa corresponde a conversão de áreas de Formação Campestre para áreas destinadas à classe Soja. Em 2019, a Formação Campestre ocupou 17,54 km² da área da sub-bacia (23,16%), e para 2030 e 2050 o cenário tendencial mostrou uma diminuição dessa classe, para 4,15 km² e 2,88 km², respectivamente, correspondendo a uma retração de -14,65% de 2019 a 2050. Em contrapartida, a classe Soja, que ocupou 2,75 km² em 2019, apresentou no cenário tendencial uma expansão considerável, saltando para 14,46 km² (19,10%) em 2030 e 14,51 km² (19,17%) em 2050, um aumento de 11,76% da área total da sub-bacia entre 2019 a 2050.

O cenário tendencial também apontou expansão da classe Floresta Plantada, que

passaria de 3,91 km² em 2019 para 4,45 km² em 2030 e 5,48 km² em 2050, uma expansão de 1,58% entre 2019 e 2050. Pelo cenário tendencial esse aumento ocorreria sobre áreas de Floresta Natural.

Ainda que a área da classe Infraestrutura Urbana tenha aumentado 3,5% entre 1985 a 2019, o cenário tendencial mostrou uma expansão moderada, passando de uma ocupação de 4,35% em 2019 para 5,07% em 2050, um aumento de 0,55%.

Avaliação dos serviços ecossistêmicos na SBHAPF

Os SE na SBHAPF foram avaliados com base nos valores propostos inicialmente por Costanza et al. (1997), considerando-se os totais em área por hectare para as classes de uso e cobertura do solo do Projeto MapBiomias observados em 1985 e 2019 e projetados para 2030 e 2050 na sub-bacia. Os SE foram correlacionados a essas classes, obtendo-se o valor por tipo de serviço, o total por classe de uso e cobertura do solo e o valor total em dólares americanos (US\$) atualizados conforme a taxa de inflação para aquele país no ano de 2020, (Tabela 2).

Tabela 2 - Valor global médio anual dos serviços ecossistêmicos para a SBHAPF (1985, 2019 e 2050).

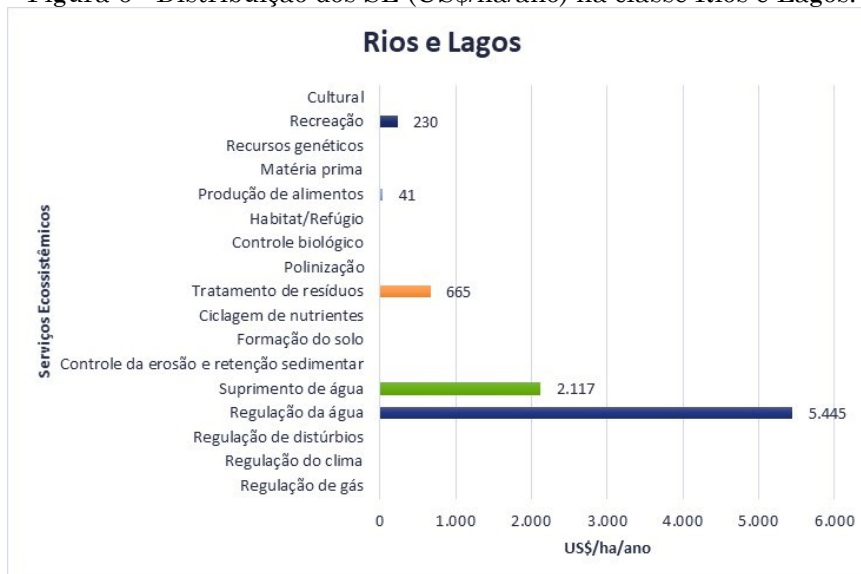
Classes de uso e cobertura do solo	Serviços Ecossistêmicos (valor em US\$ para o ano 2020*, ha/ano) (adaptado de COSTANZA et al., 1997)																	Área na SBHAPF (ha)			Valor total (total SE x área em ha) (em US\$ de 2020)		
	1 Regulação de gás	2 Regulação do clima	3 Regulação de distúrbios	4 Regulação da água	5 Suprimento de água	6 Controle da erosão e retenção sedimentar	7 Formação do solo	8 Ciclagem de nutrientes	9 Tratamento de resíduos	10 Polinização	11 Controle biológico	12 Habitat/Refúgio	13 Produção de alimentos	14 Matéria prima	15 Recursos genéticos	16 Recreação	17 Cultural	Valor total SE (ha/ano)	1985	2019	2050	1985	2019
Campo Alagado e Área Pantanosa	673		18.390	76	19.304			4.214			1.115	119	124		1.247	4.473	49.736	12	13	12	596.829	646.565	596.829
Floresta Natural		566	13	15	20	622	25	2.342	221			81	800	104	284	5	5.100	1.525	1.810	1.784	7.777.988	9.231.579	9.098.971
Floresta Plantada		224					25		221	10		127	64		91	5	767	192	391	548	147.279	299.928	420.360
Formação Campestre	18			8		74	3		221	64	58				5		620	2.451	1.754	288	1.519.032	1.087.059	178.491
Infraestrutura Urbana																		64	329	384			
Outras Áreas não Vegetadas																		200	72	29			
Outras Lavouras Temporárias										36	61		137				234	2.647	2.570	2.712	618.551	600.558	633.740
Soja										36	61		137				234	x	275	1.451	-	64.262	339.070
Rios e Lagos				13.830	5.377			1.689					104		584		21.585	480	357	361	10.360.762	7.705.816	7.792.156
Total																					21.020.441	19.635.767	19.059.616

*A taxa de inflação nos Estados Unidos entre 1984 e 2020 foi de 154,01%, o que se traduz em um aumento total de US \$ 1,54. Isso significa que 1 dólar em 1984 equivale a 2,54 dólares em 2020. Em outras palavras, o poder de compra de \$ 1 em 1984 é igual a \$ 2,54 hoje. A taxa média de inflação anual foi de 2,55%. Fonte: Inflation Tool (2020). As células sombreadas indicam os serviços que não ocorrem ou são considerados insignificantes. Células em branco indicam falta de informação disponível.

Os resultados indicaram que a SBHAPF forneceu em torno de US\$ 21.020.441 em SE em 1985. A maior parte dos serviços ecossistêmicos foi fornecida pela classe Rios e lagos (US\$ 10.360.762), sendo o principal a Regulação da água (Figura 6), que em 1985 correspondia a

US\$ 6.638.544. A função deste serviço concentra-se na regulação dos fluxos hidrológicos, fundamentais para a provisão de água para a agricultura, os processos industriais e o abastecimento da área urbana na sub-bacia.

Figura 6 - Distribuição dos SE (US\$/ha/ano) na classe Rios e Lagos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Ainda na classe Rios e lagos, o SE Suprimento de água também teve destaque na sub-bacia (24,91%), pois qualquer alteração em seu funcionamento impacta diretamente as condições do Arroio Passo Fundo, acentuando ou minimizando os problemas associados à qualidade deste corpo hídrico. Este SE forneceu US\$ 2.581.046 em 1985, com queda para US\$ 1.919.653 em 2019. O cenário tendencial projetado para 2050 prevê aumento na área da classe Rios e lagos, levando ao incremento dos valores para este período.

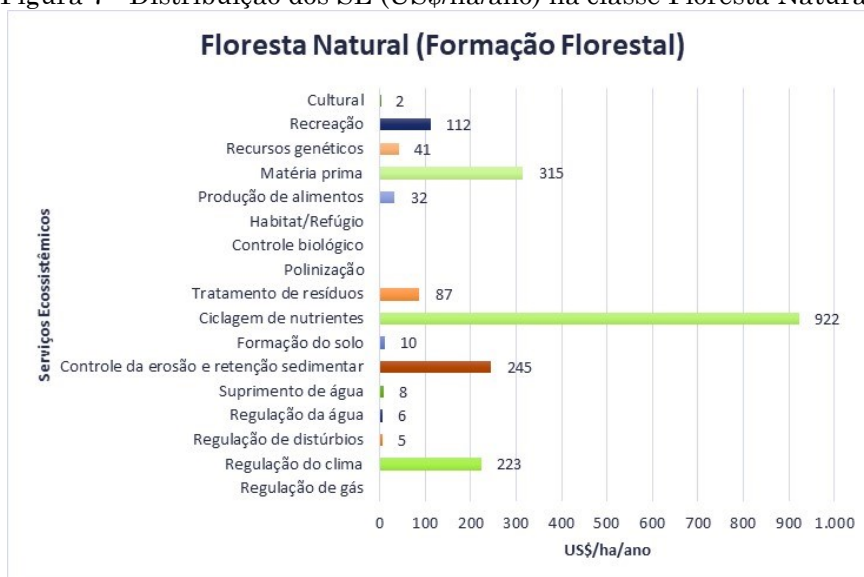
A classe Rios e lagos desempenha papel importante também no serviço de Recreação. Ainda que o mapeamento dos SE contemple somente as áreas dentro dos limites da sub-bacia em análise, os serviços de recreação e culturais (incluindo também aspectos religiosos e de apreciação da paisagem) estão fortemente relacionados aos usos e aos vínculos existentes entre a população local e visitantes e o Lago Guaíba.

As classes caracterizadas por florestas fornecem uma variedade de SE, como manutenção da estabilidade geofísica do terreno, redução da erosão dos solos e purificação do ar. As árvores são importantes

nos processos de armazenamento de água, desempenhando um papel crítico na evapotranspiração, além de fornecer caminhos para retenção de água em reservatórios subsuperficiais. Como resultado, obtém-se um fluxo de água constante a jusante, redução nos eventos de inundação e um estoque médio maior de abastecimento de água disponível. As florestas também oferecem serviços de regulação do clima em escala local e global. Chuvas locais podem ser reduzidas como resultado do desmatamento, uma vez que o armazenamento de água e a evapotranspiração são diminuídos. As florestas também promovem valores associados à manutenção de espécies e diversidade genética (COSTANZA et al., 1998).

A classe Floresta Natural forneceu valor correspondente a US\$ 7.777.988 em 1985, US\$ 9.231.579 em 2019 e US\$ 9.098.971 no cenário tendencial de 2050. A variação no valor entre 1985 a 2019 foi de 0,19%, e entre 2019 para 2050 houve queda de - 0,01%. Dentro dessa classe, a Ciclagem de nutrientes foi o SE preponderante (Figura 7), destacou-se também o fornecimento de Matéria-prima, o Controle da erosão e retenção sedimentar e a Regulação do clima

Figura 7 - Distribuição dos SE (US\$/ha/ano) na classe Floresta Natural.

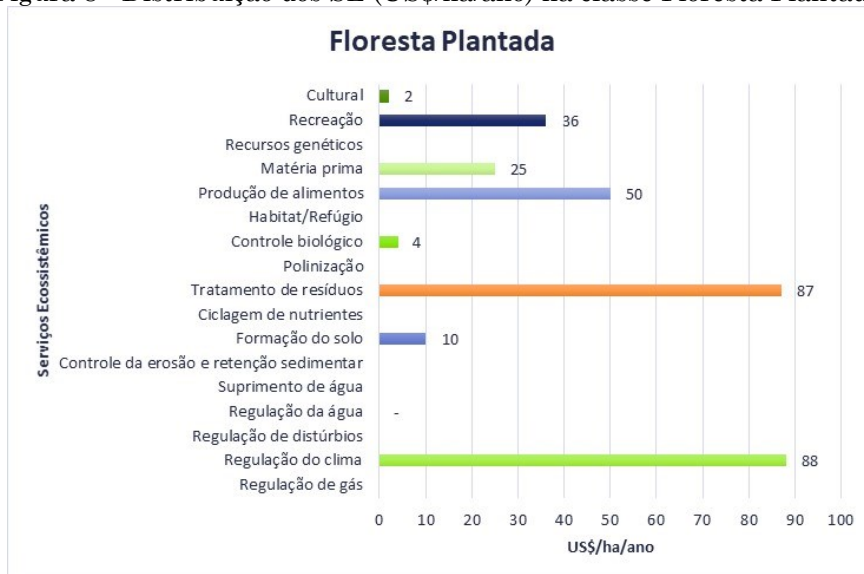


Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Já o valor da classe Floresta Plantada cresceu 1,04% no período compreendido entre 1985 a 2019, e entre 2019 a 2050 prevê-se que tenha crescimento de 0,40%, passando de US\$ 299.928 para US\$ 420.360. Comparando-se a

Floresta Natural e a Floresta Plantada, observa-se que, a segunda fornece menor quantidade de tipos de SE e, conseqüentemente, menor valor por área em termos gerais (Figura 8).

Figura 8 - Distribuição dos SE (US\$/ha/ano) na classe Floresta Plantada.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Serviços como Regulação de distúrbios, Regulação e Suprimento de água, Controle da erosão e retenção sedimentar, Ciclagem de nutrientes e Recursos genéticos não são fornecidos pela classe Floresta Plantada em comparação com a Floresta Natural. Em contrapartida, há maior oferta de Controle Biológico e Produção de alimentos. Quanto ao SE Matéria prima, a Floresta Plantada fornece madeira para indústria moveleira, celulose,

papel, carvão vegetal e biomassa, e o mercado tem investido em novas tecnologias para aproveitamento total da floresta.

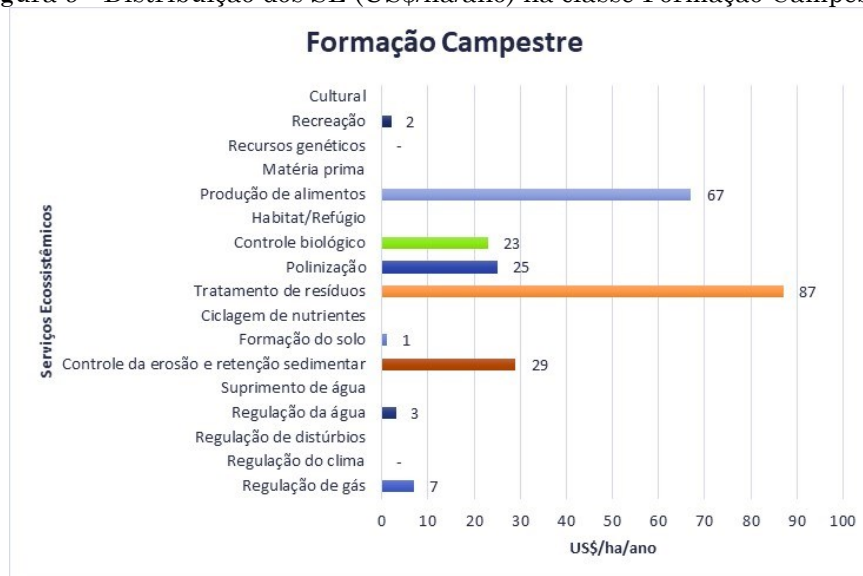
Ainda que dentro da SBHAPF a classe Campo alagado e área pantanosa tenha oscilado entre 12 e 13 ha nos anos observados, é notória a importância em termos de valores da produção dos SE totais por hectare, que correspondeu a US\$ 49.736.

A classe Formação Campestre apresentou as maiores perdas no período, passando de 2.451 ha em 1985 para 1.754 ha em 2019, com queda ainda maior para o cenário tendencial de 2050, correspondente a 288 ha. A diminuição em área desta classe se reflete conseqüentemente na redução dos SE oferecidos. A Formação Campestre é composta por vegetação com predomínio de estrato herbáceo graminoide, fortemente associada à paisagem do Bioma Pampa. Essa diminuição representa uma variação de -0,28% entre 1985 a 2019 no

fornecimento de serviços ecossistêmicos, o qual representa -US\$ 431.973, e no cenário tendencial essa retração é ainda maior, com queda de -0,84% entre 2019 a 2050, que equivale a -US\$ 908.568.

A classe Formação Campestre tem a maior parte dos seus serviços concentrados no Tratamento de resíduos (Figura 9), cuja função ecossistêmica principal consiste em recuperar nutrientes móveis e remover ou decompor excesso de nutrientes.

Figura 9 - Distribuição dos SE (US\$/ha/ano) na classe Formação Campestre.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Também se destaca a classe Produção de alimentos, que tem como função a produção primária bruta extraída como alimento e corresponde na sub-bacia à produção de cultivos e agricultura de subsistência. A Formação Campestre é a principal classe fornecedora do SE Polinização, provendo polinizadores para produção de populações de plantas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo avaliou as transições ocorridas nas classes de uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do Arroio Passo Fundo entre os anos de 1985 a 2019, com projeção do cenário tendencial para 2030 e 2050, correlacionando cada classe com os Serviços Ecossistêmicos propostos pela classificação de Costanza et al. (1998). Esta avaliação em termos de quantidade de área e tipos de SE é uma abordagem em expansão em muitos países, mas ainda pouco empregada no Brasil.

A proposta de valores atribuídos a cada SE não tem pretensão de ser incontestável ou absoluta, visto que os mesmos não são globalmente homogêneos, mas são uma aproximação que permite medir os serviços no tempo e no espaço, e tem como objetivo orientar a elaboração de políticas públicas, incentivos e tecnologias que estimulem uma melhor gestão dos benefícios que as pessoas obtêm do funcionamento dos ecossistemas. Atribuir valores ao serviço prestado não significa precificar a natureza ou colocá-la à venda em mercados destinados a este fim, mas trata de trazer um significado e evidenciar a importância de cada serviço fornecido para fins de monitoramento e perda desse benefício que parece estar à disposição de forma ilimitada.

As limitações da escala de mapeamento do Projeto MapBiomass não permitem uma averiguação com detalhe acurado da sub-bacia, mas foram suficientes para uma avaliação ambiental, considerando-se que os dados são gratuitos, de fácil acesso e disponíveis para qualquer gestor público ou analista ambiental, o

que permite fazer uma avaliação ao longo do tempo e traçar metas que podem ser monitoradas através do indicador de alteração das classes de uso e ocupação do solo. O recorte espacial pode ser tanto uma bacia hidrográfica como outro limite administrativo.

Outra limitação inerente ao método é a exclusão do Lago Guaíba como parte da sub-bacia, visto que têm importância ímpar nos SE de Recreação e Cultural. Estes serviços são contemplados de forma parcial na classe Rios e Lagos e Floresta Natural, que são adjacentes à orla, mas em tese teriam que ser muito melhor valorados pelas relações existentes entre a população local e os benefícios oferecidos pelo lago.

De maneira geral, a SBHAPF possui aptidão para o uso agrícola, visto que as maiores ocupações ocorreram nas categorias Outras lavouras temporárias, Floresta Natural e, mais recentemente, a intensa ocupação pelas lavouras de soja. Como pode ser observado nos resultados, a alteração mais significativa corresponde à conversão de áreas de Formação Campestre para áreas destinadas à classe Soja, ressaltando-se que a primeira abriga todos os elementos que particularizam o pampa na região.

A área da classe Floresta plantada aumentou no período considerado, bem como a Floresta natural. A silvicultura tem presença marcante na região e correntemente é alvo de conflitos, mas os dados avaliados na área de estudo evidenciam que o aumento da classe Floresta plantada não está avançando necessariamente sobre a Floresta natural. Há uma tendência de que as Florestas plantadas acarretem diminuição da pressão sobre as Florestas naturais, com o avanço de tecnologias e eficiência de manejo. A metodologia proposta não avalia a polinização na classe Floresta plantada, mas é de conhecimento público que a principal empresa responsável pela silvicultura na sub-bacia realiza trabalho com apicultores que colocam suas colmeias sem nenhum custo junto aos plantios de eucalipto.

O problema mais urgente da SBHAPF está relacionado à diminuição da qualidade de água, consequência da falta de saneamento, despejos industriais inadequados e expansão urbana desordenada próximos a área a jusante do arroio Passo Fundo, o que leva a perda gradativa de SE como a Regulação e suprimento de água, Tratamento de resíduos e Recreação. Estes serviços devem receber atenção especial e os ecossistemas degradados devem ser reabilitados, através da proteção da mata ciliar, implantação de saneamento básico para a totalidade da população e medidas de

fiscalização mais efetivas por parte dos órgãos públicos para atividade industrial poluidora. Essas ações precisam ser consideradas no futuro, pois devem trazer como resposta aumento do capital natural e dos SE na sub-bacia, e podem ser medidos e monitorados através da classificação disponibilizada pelo Projeto MapBiomass.

Ainda que existam muitas formas de monitoramento e diferentes indicadores de avaliação, os SE apontam uma solução de fácil acesso e utilização, que pode ser utilizada sem custos por parte de gestores públicos, permitindo que alguma iniciativa seja tomada de forma imediata, sem deixar a situação se agravar ou ficar estagnada.

Por fim, observa-se que o cenário tendencial não significa uma predição absoluta do futuro para os anos previstos, mas trazem uma representação de uma condição provável se medidas adequadas não forem tomadas. Para esta avaliação, faz-se necessária a inclusão de condutores de mudança para avaliação de diferentes cenários.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- BACHI, L. et al. Cultural Ecosystem Services (CES) in landscapes with a tourist vocation: Mapping and modeling the physical landscape components that bring benefits to people in a mountain tourist destination in southeastern Brazil. **Tourism Management**, [s. l.], v. 77, n. May 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2019.104017>
- BAGSTAD, K. J.; SEMMENS, D. J.; WINTHROP, R. Comparing approaches to spatially explicit ecosystem service modeling: A case study from the San Pedro River, Arizona. **Ecosystem Services**, [s. l.], v. 5, p. 40–50, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.07.007>
- CABRAL, P. et al. Assessing the impact of land-cover changes on ecosystem services: A first step toward integrative planning in Bordeaux, France. **Ecosystem Services**, [s. l.], 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.08.005>

- COSTANZA, R. Nature: ecosystems without commodifying them. **Nature**, [s. l.], v. 443, n. 7113, p. 749, 2006. <https://doi.org/10.1038/443749b>
- COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 3–15, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(98\)00020-2](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00020-2)
- COSTANZA, R. et al. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Services**, [s. l.], v. 28, p. 1–16, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature** 387, 253–260.1997. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- DAILY, G. C. **Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems**. Island Preed. Washington D.C.: [s. n.], 1997.
- DE LIMA, A. D. S. et al. Ecosystem-based information as a support tool to the integrated coastal management of the Santa Catarina Island, Brazil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 44, p. 20–35, 2018. <https://doi.org/10.5380/dma.v44i0.54947>
- DINAMICA EGO. Centro de Sensoriamento Remoto / Universidade Federal de Minas Gerais - Brasil. 2020. Disponível em: <https://csr.ufmg.br/dinamica/>. Acesso em: 01 set 2020.
- DRH/SEMA. Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. **Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba**. Relatório Final Síntese e SIG - Revisão 01. 2016. Disponível em: http://comitedolagoguaiba.com.br/wp-content/uploads/2017/08/Relat%C3%B3rio_Final_Sintese_Rev01_completo-comp.pdf. Acesso em: 01 fev 2019.
- GUERRA, T. et al. **Diagnóstico Ambiental da bacia hidrográfica do arroio Passo Fundo**, município de Guaíba, RS. Porto Alegre, p. 111, 2002. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/lagoguaiba/eventos/MostraTrabalhos/trabalhos/21-arroio%20passo%20fundo.pdf>. Acesso em: 22 out. 2019.
- HERNÁNDEZ-BLANCO, M. et al. Future scenarios for the value of ecosystem services in Latin America and the Caribbean to 2050. **Current Research in Environmental Sustainability**, [s. l.], v. 2, p. 100008, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2020.100008>
- INFLATION TOOL. Value of 1984 US Dollars today. 2020. Disponível em: <https://www.inflationtool.com/us-dollar/1984-to-present-value?amount=1>. Acesso em: 01 dez 2020.
- KUBISZEWSKI, I. et al. The future value of ecosystem services: Global scenarios and national implications. **Ecosystem Services**, [s. l.], v. 26, p. 289–301, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.05.004>
- LEITÃO, L. C. R.; SANTOS, J. G. dos; ARAGÃO, M. A. de S. **Mapeamento e Avaliação de Serviços dos Ecossistemas do sítio de Importância Comunitária “Dunas De Mira, Gândara e Gafanhas”**. IV Simpósio Brasileiro de Geomática - II Jornadas Lusófonas - Ciências e tecnologias de Informação Geográfica. Presidente Prudente-SP: [s. n.], 2017. <https://doi.org/10.22533/at.ed.1111928036>
- MAES, J. et al. **Mapping and assessment of ecosystems and their services: An analytical framework for ecosystem assessments under Action 5 of the EU Biodiversity Strategy to 2020**. [S. l.: s. n.], 2013. <https://doi.org/10.2779/12398>
- MAES, J. et al. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. **Ecosystem Services**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 31–39, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.004>
- MARTINEZ-HARMS, M. J. et al. Scenarios for land use and ecosystem services under global change. **Ecosystem Services**, [s. l.], v. 25, p. 56–68, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.021>
- MEA. Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington, DC: [s. n.], 2005. Disponível em: <http://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.aspx>. Acesso em: 02 mar. 2020.
- PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 5 (1985-2019) da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2020. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>. Acesso em: 01 set 2020.
- RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul**. Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão. Departamento de Planejamento Governamental. 4 ed. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão, 2019. 125 p. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/inicial>. Acesso em 15 jan 2021.
- ROCHA, J. (2012). **Sistemas complexos, modelação e geosimulação da evolução de padrões de uso e ocupação do solo**. Tese de doutorado, Geografia (Ciências da Informação Geográfica), Universidade de Lisboa, Instituto

de Geografia e Ordenamento do Território, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10451/6772> . Acesso em: 20 jan 2021.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. de S. **Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3089-3096. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228624479_Dinamica_EGO_uma_plataforma_para_modelagem_de_sistemas_ambientais Acesso em: 22 nov. 2020.

SOARES-FILHO, B. S.; ARAÚJO, A. A.; CERQUEIRA, G. C. **DINAMICA – Um software para simulação de dinâmica de paisagens**. II Workshop Tratamento de imagens, [s. l.], p. 3, 2001. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/software_demos/Dinamica/soares.pdf Acesso em: 22 nov. 2020.

SOARES-FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. **Modeling environmental**

dynamics with Dinamica EGO. Instituto de Geociências - Centro de Sensoriamento Remoto, [s. l.], n. October, p. 114, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Tao_Guo/282782423_Dinamica_EGO_guidebookpdf/links/561c711108aea80367243fdc.pdf Acesso em: 14 jul. 2020.

WOLDEYOHANNES, A.; COTTER, M.; BIRU, W.D.; KELBORO, G. Assessing Changes in Ecosystem Service Values over 1985–2050 in Response to Land Use and Land Cover Dynamics in Abaya-Chamo Basin, Southern Ethiopia. **Land**, [s. l.], v. 9, p. 37, 2020. <https://doi.org/10.3390/land9020037>

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Sumirê da Silva Hinata concebeu o estudo, coletou, analisou os dados e redigiu o texto. Luis Alberto Basso orientou, analisou os dados e redigiu o texto. José Gomes dos Santos analisou os dados e redigiu o texto.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.