

Artigo de Pesquisa

Cenários para a Atividade de Mineração de Areia no Lago Guaíba, Sul do Brasil

Scenarios for Sand Mining Activity in Guaíba Lake, South of Brazil

Guilherme Gastal de Castro RAMOS¹ , Fernando Comerlato SCOTTÁ² ,
Tatiana Silva da SILVA^{1,2}  & Júlia Nyland do Amaral RIBEIRO³ 

¹ Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, Brasil. E-mail: guilherme.gastal@ufrgs.br.

² Laboratório de Modelagem, Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.509-900, Porto Alegre, Brasil. E-mail: fernandoscotta.sema@gmail.com, tatiana.silva@ufrgs.br.

³ Laboratório de Gestão Costeira Integrada, Universidade Federal de Santa Catarina. Rua Roberto Sampaio Gonzaga, s/n, CEP 88.040-900, Florianópolis, Brasil. E-mail: julianylandar@gmail.com

Resumo: O Lago Guaíba, localizado na região Metropolitana de Porto Alegre, é o principal manancial para os municípios próximos. Nas últimas décadas, o sedimento de fundo foi explorado para fornecimento de areia ao mercado de construção civil. No entanto, a atividade de mineração foi paralisada após denúncias de danos ambientais. Assim, a retomada da mineração ficou condicionada ao prévio zoneamento do Lago Guaíba. O presente estudo visa contribuir à proposição deste zoneamento, ao estruturar as informações espaciais sobre o Lago Guaíba e, posteriormente, utilizando o modelo ecossistêmico InVEST - *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* para propor a modelagem de diferentes cenários de zoneamento para mineração. Os diferentes cenários consideraram de forma mais ou menos restritiva aspectos físicos e ambientais do lago. Os pontos que notadamente atraem atividades humanas foram inseridos no modelo na forma de *Hotspots*. Para avaliação da sobreposição de usos, obteve-se mapas de Frequência de Sobreposição de Uso e de Importância de Usos. Frente aos cenários desenvolvidos, as áreas sem restrições e com menores graus de importância para as outras ações humanas foram consideradas mais aptas para a prática de mineração. O Cenário A, ou Conservacionista, apresentou restrições em 76% da área de estudo, o Cenário B, Desenvolvimentista, em 28% e o Cenário C, de Gestão, em 50,1%. Os resultados gerados apresentam, de forma integrada, os principais aspectos a serem observados na proposição de um zoneamento da mineração para o Lago Guaíba, podendo vir a auxiliar no processo de tomada de decisão.

Palavras-chave: Zoneamento da Mineração, Cenários, Serviços Ecossistêmicos, Sistemas de Informação Geográfica.

Abstract: Guaíba lake, located near the Metropolitan Region of Porto Alegre, is the main source of raw water for the nearby municipalities. In the last decades, the bottom sediment was exploited to provide sand to the region's construction market. However, the mining activity was paralyzed after complaints of environmental damage. Therefore, the continuity of the activity was conditioned to the previous Guaíba lake zoning. The present study intends to contribute to this zoning proposal, structuring spatial information about Guaíba lake and later, using InVEST ecosystem models - Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs to propose the modeling of distinct zoning scenarios for sand mining activity. The different scenarios considered, in different levels of restrictiveness, physical and environmental aspects of the lake. Points that attract human activities were inserted into the model as *Hotspots*. To evaluate the overlapping use, we obtained maps of Frequency of Overlapping Use and Use Importance. In view of the developed scenarios, the areas with no restrictions and with lower degrees of importance for human activities were considered more suitable for the mining activity. Scenario A, or Conservationist, presented mining restrictions in 76% of the study area. Scenario B, Developmental, resulted in 28% of mining restriction. And, finally, Scenario C, Management, resulted in 50.1% of mining restriction. The results present in an integrated way the main aspects to be observed in the proposition of a mining zoning for Guaíba Lake, supporting the decision-making process.

Keywords: Mining Zoning, Scenarios, Ecosystem Services, Geographic Information Systems.

1. Introdução

O Lago Guaíba possui importância histórica, econômica e cultural para Porto Alegre e região metropolitana. A concentração populacional e a importância econômica da região geram a necessidade de gestão e conciliação das diferentes atividades que o afetam direta e indiretamente.

Dentre as diversas atividades e usos do Lago Guaíba, a mineração de areia se destaca por ser a operação com elevado interesse por parte de empreendedores do ramo (Ramos *et al.*, 2017), mas com potencial de impacto ambiental bastante alto (Santos, 2008), principalmente, porque a mineração revolve o sedimento de fundo que compõe importantes sistemas deposicionais de poluentes como metais pesados e, possuem um papel importante na remobilização de contaminantes nos sistemas aquáticos (Ikem *et al.*, 2003).

Até 2023, a operação de mineração no Lago Guaíba aguarda, entre outras determinações, que seja feito o zoneamento do Lago Guaíba para esta finalidade. Este zoneamento deverá levar em consideração aspectos físicos do Lago Guaíba, como sua hidrodinâmica e sedimentologia, aspectos socioeconômicos, como os conflitos com as demais atividades humanas desenvolvidas, e aspectos bióticos, como os potenciais impactos sobre ictiofauna e fauna bentônica, entre outros.

O presente estudo utilizou a Gestão com Base Ecológica (GBE) como metodologia central para a análise integrada das informações disponíveis. Esta metodologia, uma tradução livre do inglês *Ecosystem-based management*, tem como objetivo geral a manutenção dos recursos naturais de uma forma integrada, reconhecendo as conexões entre os diferentes elementos dos ecossistemas, incluindo os seres humanos (McLeod & Leslie, 2009) e os processos responsáveis por produzir os serviços ecossistêmicos e proporcionar benefícios sociais (Arkema *et al.*, 2015). Neste

contexto, o presente trabalho visa mapear os atuais usos e propor uma análise de cenários da aptidão ambiental do Lago Guaíba para a mineração de areia.

Este trabalho tem como objetivo identificar as áreas mais aptas para a mineração de areia através de um modelo espacial de base ecossistêmica, bem como apresentar uma proposta ao zoneamento do Lago Guaíba para mineração de areia na forma de cenários.

Como objetivos específicos, podem ser elencados:

1. Criar uma estrutura analítica em sistema de informação geográfica contendo os diferentes usos e os parâmetros relevantes à aptidão da mineração;
2. Avaliar os conflitos de uso com base na sua sobreposição espacial, ponderada com base em critérios sócios ambientais;
3. Gerar diferentes Cenários de distribuição espacial das áreas aptas para mineração de areia;
4. Encaminhar os resultados as órgãos ambientais competentes.

1.1 Background

A extração de areia é considerada uma atividade de interesse social conforme o Código Florestal Brasileiro, Lei 12651/2012 (BRASIL, 2012). A exploração de areia nas áreas do Lago Guaíba e do rio Jacuí desempenha um papel de extrema importância, uma vez que essas localidades estão em proximidade imediata da Região Metropolitana de Porto Alegre, que é o principal polo consumidor do Rio Grande do Sul. Essa atividade assume uma dimensão fundamental devido à sua ligação direta com a demanda do mercado regional.

A mineração de areia do rio Jacuí esteve no centro de polêmicas, tendo sido responsabilizada por danos ambientais, o que levou a diversas intervenções por parte dos órgãos fiscalizadores, incluindo o aumento nas medidas de controle, automação na forma de fiscalização e até a suspensão das atividades por longos períodos (e.g. GLOBO, 2014). Tal situação produziu uma ação civil pública que trata dos danos ambientais ao rio Jacuí, e por sua vez exigiu um Plano de Zoneamento Ecológico-Econômico elaborado pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM), determinado em sentença (TRF4, 2022).

Na situação de extração de areia em leito de rio ou lago, uma draga extrai a areia e outros materiais presentes no fundo do rio, utilizando a água como veículo. A areia bombeada fica depositada na draga ou é enviada através de tubulações diretamente ao silo, enquanto a água retorna ao rio juntamente com sedimentos finos. O volume de água bombeado é praticamente todo devolvido ao rio, com exceção de uma pequena parcela agregada à areia (Santos, 2008). A fim de cumprir as boas práticas ambientais, as águas utilizadas no processo devem ser direcionadas para bacias de decantação, visando garantir a retenção dos sedimentos carregados, em vez de serem devolvidas diretamente ao rio.

Os principais impactos advindos da operação da extração de areia em leito submerso, conforme Nogueira (2016) e Tobias *et al.* (2010), incluem a elevação da turbidez no curso d'água, alteração da calha original, possibilidade de interferência na hidrodinâmica dos lagos ou rios, contaminação da água em função de óleos e graxas utilizadas na embarcações, eliminação de áreas de refúgios da fauna aquática, impacto

visual e aumento dos riscos de acidentes em função do fluxo de embarcações. Há também impactos positivos, como a diminuição do assoreamento dos cursos d'água e o aumento da oferta de areia na região.

No ano de 2016 foi divulgado o Zoneamento Ambiental para Atividade de Mineração no Lago Guaíba, estudo realizado por uma Equipe Técnica formada por Técnicos da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA), do Comitê do Lago Guaíba, e da Fundação de Economia Estatística (FEE) com base nos diversos estudos para licenciamento ambiental da fase de Licença Prévia de Mineração e de Licença de Operação (LO) de Pesquisa Mineral apresentados pelos empreendedores à FEPAM. Como resultado, este Zoneamento apresentou, em função de uma análise integrada, as áreas disponíveis para mineração. Esta proposta até o momento não foi aprovada como solução definitiva em termos de zoneamento da atividade no Lago Guaíba, deixando a questão em aberto.

Por outro lado, estudos como a caracterização textural dos sedimentos de fundo do Lago Guaíba (Laybauer, 2002), padrão de ondas (Nicolodi *et al.*, 2010) e sedimentação (Bachi, 2000; Nicolodi *et al.*, 2010), cujos resultados de distribuição da granulometria de fundo foram confirmados outros estudos (Andrade *et al.*, 2018; 2019; Scottá *et al.*, 2019), fornecem subsídios para uma análise espacial do Lago Guaíba capaz de indicar, ao menos, áreas onde não deve ocorrer a mineração, seja pelo elevado teor de contaminantes ou pela inexistência de teor de areia no substrato que justifique a sua extração.

Além disso, a identificação espacial dos atuais usos pode ser utilizada como ferramenta auxiliar na tomada de decisões por parte dos órgãos reguladores do setor da mineração e do meio ambiente. As informações espacializadas referentes às zonas de restrição à operação minerária, bem como das áreas de reserva mineral de melhor qualidade e menor potencial poluidor, podem ser utilizadas também pelos empreendedores do ramo de mineração. O conhecimento prévio e divulgação destas informações pode evitar o investimento em pesquisa e prospecção de reservas minerais em áreas não indicadas para a atividade devido à sensibilidade ambiental ou em função de conflitos com outras ações.

2. Área de estudo, Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

O Lago Guaíba é um corpo hídrico com 496 km² de extensão, localizado na porção leste do estado do Rio Grande do Sul (RS), a oeste da capital Porto Alegre. Este lago banha também os municípios de Eldorado do Sul, Guaíba, Barra do Ribeiro e Viamão. Palco de diversos usos e ligado culturalmente à região, é o principal manancial que garante o abastecimento de água para a população dos municípios citados (ANA, 2021). A área de estudo é delimitada pelo início do Delta do Jacuí, ao norte, e pelo início da Lagoa dos Patos, ao sul, conforme Figura 1.

O Lago Guaíba é formado pelo encontro das águas dos rios Jacuí, dos Sinos, Caí e Gravataí. Recebe também as águas dos arroios situados às suas margens, abrangendo uma área de drenagem de 84.763 Km², ou seja, cerca de 30% do território do Rio Grande do Sul (SEMA, 2012). A área drenada pelo Lago Guaíba é justamente a mais densamente habitada do Estado, com aproximadamente 6,5 milhões de habitantes, que respondem por quase 70% de todo o PIB estadual (Nicolodi *et al.*, 2010).

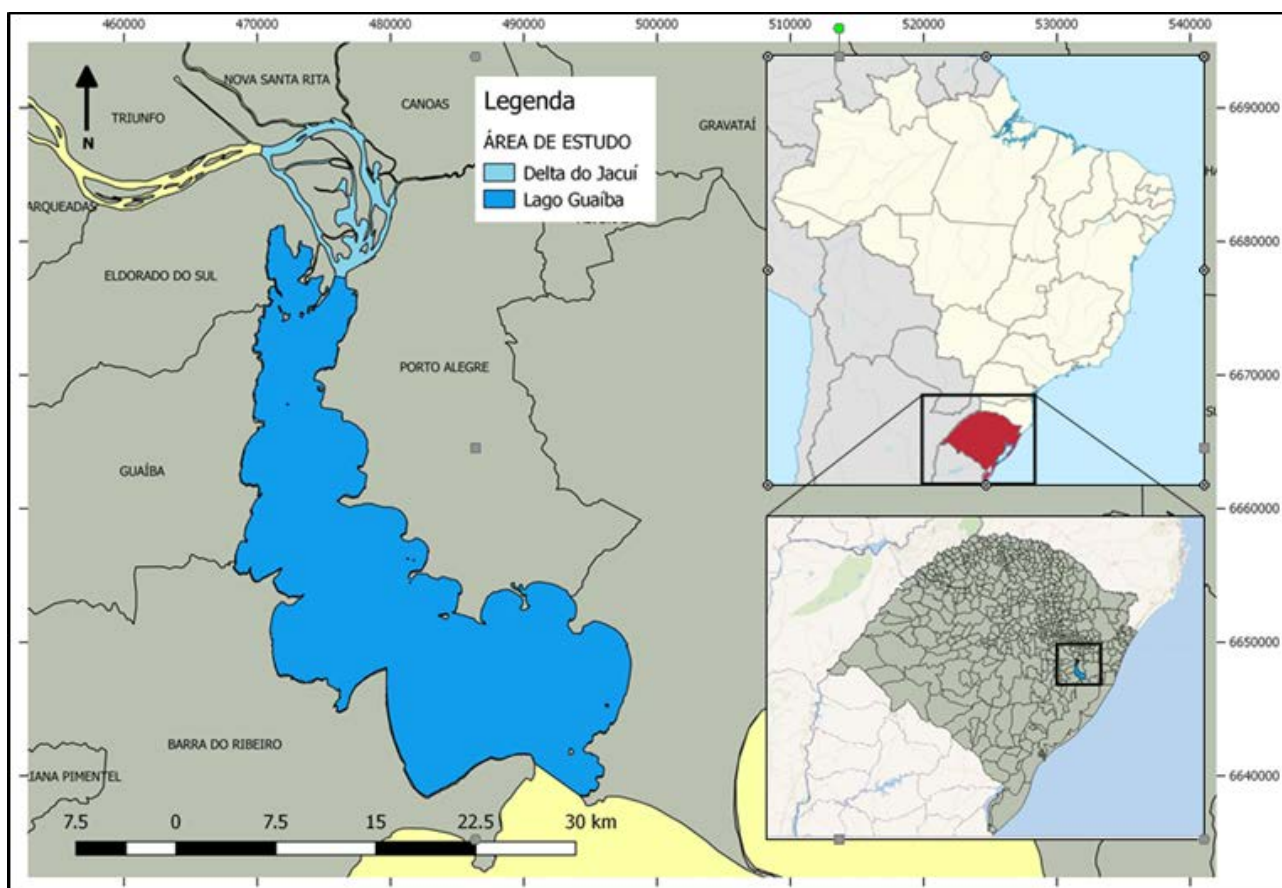


Figura 1. Localização da área de estudo. Projeção UTM 22S, datum Sirgas 2000. Fonte: IBGE.

Figure 1. Location of the study area. UTM 22S projection, Sirgas 2000 datum. Source: IBGE.

Em contraste às porções altamente urbanizadas e industrializadas, encontram-se ambientes de alto valor cênico e que exercem importantes funções ecológicas. A importância ecológica local fica demonstrada pela existência de cinco unidades de conservação próximas, criadas com o intuito de prover a manutenção dos serviços ecossistêmicos/ambientais locais (SEMA, 2018).

2.2 Método e Desenvolvimento

A metodologia proposta tem como plano de fundo a gestão com base ecossistêmica, adotando como conceito central a definição de MEA (2003; 2005), que conceitua os serviços ecossistêmicos como benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Através desta abordagem, objetiva-se fazer a manutenção dos ecossistemas em que o empreendimento da mineração estará inserida, com ênfase nos seus aspectos ambientais e socioeconômicos.

Assim, os diferentes cenários são gerados segundo uma visão antropocêntrica, partindo-se dos seguintes princípios: (1) as variações em termos de restrições ambientais têm como critérios os parâmetros que refletem a maior ou menor oferta de serviços ambientais; (2) a sobreposição de uso é um indicador de competição por serviço ambiental, e considera-se para fins de ponderação, a importância relativa das atividades.

2.2.1 Fontes das Informações

Os dados e informações espaciais utilizados neste estudo possuem diversas fontes, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Fonte das Informações geográficas.

Chart 1. Source of Geographic Information.

Dado de entrada	Modelo onde o dado foi utilizado	Formato	Referência
Operação Portuária Porto de Porto Alegre	<i>Overlapping Use</i>	Lista de Coordenadas	SPH (SUPRG) / Decreto Federal de 03/06/2015
Operação Portuária TUP CMPC	<i>Overlapping Use</i>	Lista de Coordenadas	LO FEPAM 05144 / 2016-DL / WebPortos (FEPAM,2016)
Massa D'água Lago Guaíba e Delta do Jacuí	Restrições dos Cenários	<i>Shapefile</i>	PBHLG (ECOPLAN, 2016)
Estruturas de Saneamento PISA	Restrições dos Cenários	<i>Shapefile</i>	PBHLG (ECOPLAN, 2016)
Canal de Navegação	Restrições dos Cenários	<i>Shapefile</i>	PBHLG (ECOPLAN, 2016)
Linha de Navegação de Passageiros CATSUL	Restrições dos Cenários	<i>Shapefile</i>	PBHLG (ECOPLAN, 2016)
Esporões	Restrições dos Cenários	<i>Shapefile</i>	PBHLG (ECOPLAN, 2016)
Enquadramento Proposto PBHLG	Restrições dos Cenários	<i>Shapefile</i>	PBHLG (ECOPLAN, 2016)
Pontos de Captação de Água Bruta	Restrições dos Cenários	<i>Shapefile</i>	PBHLG (ECOPLAN, 2016)
Margens (60 m)	Restrições dos Cenários	<i>Shapefile</i>	PBHLG (ECOPLAN, 2016)
Balneários	<i>Overlapping Use</i>	Lista de Coordenadas	Google Earth / Google Maps
Marinas e Clubes Náuticos	<i>Overlapping Use</i>	Lista de Coordenadas	Google Earth / Google Maps
Colônias de Pescadores	<i>Overlapping Use</i>	Lista de Coordenadas	Google Earth / Google Maps
Pontos Turísticos e Pontes	<i>Overlapping Use</i>	Lista de Coordenadas	Google Earth / Google Maps
Cais de Navegação Comercial	<i>Overlapping Use</i>	Lista	Google Earth / Google Maps
Cais de Transporte de Passageiros	<i>Overlapping Use</i>	Lista	CATSUL (2017)
Locais considerados bons/ótimos para Pesca	<i>Overlapping Use</i>	Lista de Coordenadas	Rech da Silva (2007)
Divisão Municipal	Imagem de Fundo	<i>Shapefile</i>	IBGE
Distribuição Granulométrica do Sedimento de Fundo	Restrições dos Cenários	<i>Shapefile</i>	PBHLG (ECOPLAN, 2016) / Adaptado de Laybauer & Bidone, 2001
Poligonais de Direitos Minerários	Conclusões	<i>Shapefile</i>	Agência Nacional de Mineração (ANM, 2018)
Batimetria	Conclusões	<i>Raster</i>	Nicolodi (2007)

Todas as informações foram reunidas em um banco de dados em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), disponível para consulta através do servidor do Laboratório de Modelagem Ricardo Norberto Ayup Zouain – Labmodel, do Instituto de Geociências da UFRGS.

2.2.2 Delimitação dos Sistemas Ambientais

Para que seja possível obter as informações necessárias para o estabelecimento da Gestão com Base Ecosistêmica, Asmus (2015) propõe um *Road Map* com as seguintes etapas: (1) identificar os ecossistemas; (2) mapear, modelar, simular os ecossistemas; (3) identificar riscos e problemas (perdas de serviços ecossistêmicos ou de sua qualidade); (4) valorar os ecossistemas com base na percepção de valor de seus usuários (atores sociais); (5) identificar os espaços de gestão; e (6) integrar modelos e propostas com a política pública de gestão ambiental.

Na porção aquática do Lago Guaíba foram definidos sistemas ambientais levando em consideração os ambientes sedimentares propostos por Nicolodi *et al.* (2010), a batimetria e o canal de navegação. Estes são os critérios considerados mais importantes enquanto indicadores de função e estrutura de sistema.

2.2.3 Modelo de Aptidão em SIG e Geração de Cenários

A área de exclusão à operação de mineração compreende uma distância de 60 m da margem em direção ao interior do corpo hídrico, baseado no zoneamento prévio proposta pela SEMA (2016). As informações utilizadas no modelo incluem as estruturas de saneamento como emissário de esgoto doméstico e de efluentes, o canal de navegação, a Área de Proteção Ambiental (APA) do Delta do Jacuí, locais onde a granulometria dos sedimentos de fundo for composta por elevados teores de lama, os esporões e as porções do lago enquadradas como Classe 1 no Plano de Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba (PBHLG). Variações destes critérios básicos serão avaliadas para três diferentes cenários.

Dados obtidos em projeções distintas foram reprojitados para o Datum Sirgas 2000, projeção UTM, utilizando o *software QGIS*. Os dados vetoriais foram transformados em dados matriciais compatíveis com o *software TerrSet®* para execução da modelagem de conflito de usos no módulo *Overlapping Use* do *Ecosystem Services Modeler*. Como saídas são gerados os mapas de importância e de frequência de ações. O mapa de importância das atividades é considerado inversamente proporcional à aptidão da área para mineração de areia, de modo que as áreas menos utilizadas serão consideradas mais aptas para a prática da mineração (Fig. 2). Foi calculada a média do mapa de importância delimitado para cada polígono contínuo dos sistemas ambientais da porção aquática do Lago Guaíba de modo a verificar quais os sistemas ambientais apresentam maior concentração de atividades e conseqüente disputa por serviços ecossistêmicos.

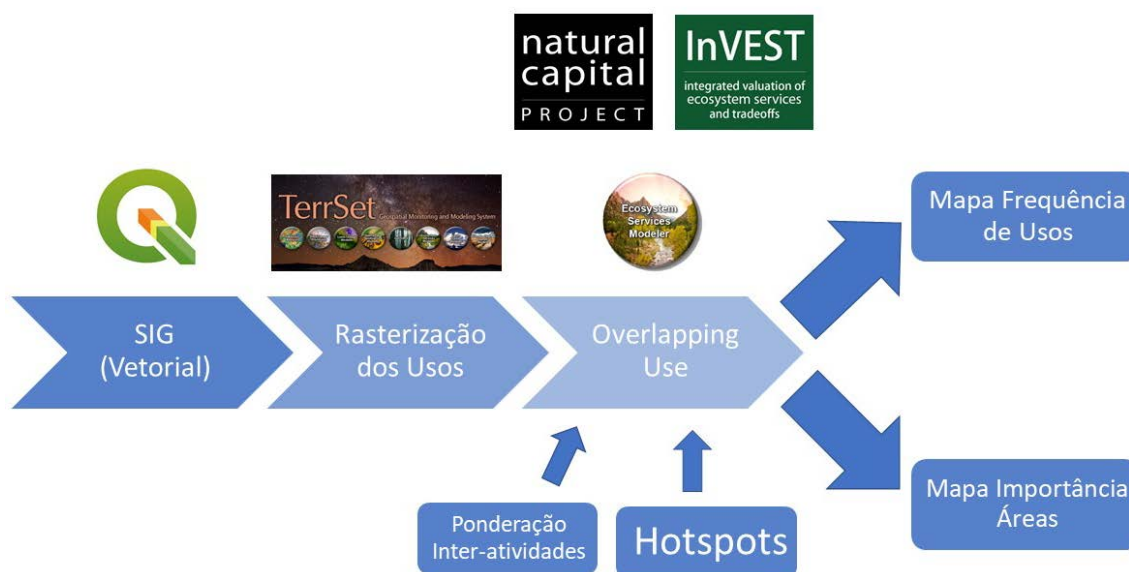


Figura 2 - Fluxograma da metodologia da aplicação do modelo *OverlappingUse*.

Figure 2 - Methodology Flowchart of *OverlappingUse* Model Application.

Foram delimitados três diferentes cenários de restrição à mineração: Cenário A - Conservacionista; Cenário B - Desenvolvimentista; Cenário C - De Gestão. O Cenário A, ou Conservacionista, apresenta o maior grau de restrição à mineração, principalmente por considerar todas as restrições básicas e uma faixa mais ampla de granulometria de sedimentos de fundo como áreas inaptas para a atividade de mineração. Também será o único a considerar o Enquadramento Proposto no PBHLG como Classe 1 como restrição à mineração. Este é, portanto, o cenário que privilegia a conservação da qualidade da água do Lago Guaíba em detrimento de área superficial disponibilizada para mineração.

O Cenário B, ou Desenvolvimentista, apresenta o menor grau de restrição à mineração. Este cenário considera restrita às áreas de mineração que possuem sedimentos de fundo predominantemente na faixa de granulometria lama, representando 90% ou mais do total. Não considera restrições em função do Enquadramento Proposto no PBHLG, mas mantém como restrições o canal de navegação, as rotas de navegação de passageiros, as estruturas de saneamento do PISA e a faixa de 60 m a partir das margens do Lago Guaíba. É, portanto, o cenário onde a maior área superficial estaria disponível para mineração.

O Cenário C, ou Cenário de Gestão, é um intermediário entre os Cenários A e B. Neste cenário, além das restrições básicas (margens, canal de navegação, linhas de navegação de passageiros, estruturas de saneamento) são considerados os esporões e as áreas de granulometria de sedimentos de fundo entre 50 e 100% de lama como inaptos para a mineração.

Os resultados são apresentados, para cada cenário, inicialmente, apenas com a delimitação de cada tipo de restrição empregada. Posteriormente, são apresentadas as diferentes restrições aglutinadas como áreas de exclusão da atividade, enquanto as áreas sem restrições aparecem com a representação *fuzzy*, compostas por variações contínuas de aptidão.

2.2.4 Modelo *Overlapping Use*

Para a análise de sobreposição dos usos foi utilizado o modelo *Overlapping Use* presente no InVEST (2017), acrônimo para *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*, desenvolvido pelo *Natural Capital Project* (STANFORD UNIVERSITY, 2016). O nível de importância de cada uso frente aos demais é definido com base em pesos inter-atividade, utilizando o indicador de importância socioeconômica da atividade presente na metodologia já desenvolvida e aplicada no estudo de Nyland (2018).

Para a utilização do modelo *Overlapping Use*, todas as informações espaciais que estavam no formato *Shapefile* foram transformadas em formato matricial no *TerrSet®*, referenciados ao Datum Sirgas 2000 em coordenadas UTM, com tamanho do *pixel* de 25 m.

As atividades inseridas como polígonos no modelo *Overlapping Use* foram: Pesca, ações e operações Portuárias, Navegação de Passageiros e o Canal de Navegação. A prática pesca foi considerada como realizada em toda a área de estudo, com base nas informações dos trabalhos de Villamil *et al.* (1996); Garcez & Sanchez-Botero (2005); Pasquotto (2005); Rech da Silva (2007); Feistauer (2012), Paula (2013) e Fontoura *et al.* (2019).

As demais ações foram inseridas na análise através dos *Hotspots*. No modelo *Overlapping Use* existe a possibilidade de inserção de pontos de notável interesse para atividades humanas. Estes pontos interferem apenas no Mapa de Importância Relativa das Atividades e não influenciam no Mapa de Frequência das Atividades.

No Lago Guaíba, os pontos que notadamente atraem ações e ocupações humanas incluem os balneários, os cais de navegação comercial, os terminais de transporte de passageiros, as colônias de pescadores, as marinas e clubes náuticos, os pontos considerados como relevantes para pesca e os pontos turísticos. Os pontos de interesse para pesca inseridos no modelo foram quatro pontos classificados como bons/ótimos de acordo com a opinião de pescadores da região obtida em Rech da Silva (2007).

2.2.5 Sistema de Ponderação de Pesos das Atividades

As atividades realizadas no Lago Guaíba e inseridas no modelo tiveram seus pesos estabelecidos considerando a sua importância socioeconômica através da metodologia Nyland (2018) adaptada, a qual já havia sido empregada no estudo de Modelos Ecosistêmicos aplicados no Baixo Estuário da Lagoa dos Patos. Considerou-se que quanto mais distantes das áreas típicas das atividades humanas e de seus respectivos pontos de concentração, ponderadas entre si através de sua importância socioeconômica, mais aptas foram consideradas as áreas para mineração.

As diferentes atividades receberam uma pontuação de 1 a 5. Sendo a pontuação 1 destinada à ação menos importante e 5 à atividade mais importante com relação aos critérios socioeconômicos apresentados no Quadro 2. As pontuações obtidas foram posteriormente introduzidas no modelo *Overlapping Use* do software *TerrSet®*, que junto com a ocorrência de *Hotspots*, determinou o grau de importância relativa das atividades do Lago Guaíba.

Quadro 2. Critérios de ponderação das atividades quanto à importância socioeconômica.

Chart 2. Weighting criteria for activities in terms of socioeconomic importance.

	CATEGORIAS	IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DA ATIVIDADE				
PESO	INDICADORES SOCIOECONÔMICOS	Potencial de Arrecadação de Impostos	Geração de Renda Local	Exclusividade Social da Atividade	Escala de Influência da Atividade	Número de Atores Envolvidos com a Atividade
1	CRITÉRIOS	Não Gera	Não Gera	Não há dificuldade para troca de atividade	Pontual	Um Ator
2		Baixo	Baixa	Pouca dificuldade para troca de atividade	Local	Dois Atores
3		Médio	Média	Média Dificuldade para troca de atividade	Regional	Três Atores
4		Alto	Alta	Alta dificuldade para troca de atividade	Nacional	Quatro Atores
5		Muito Alto	Muito Alta	Impossibilidade de troca de atividade	Global	Cinco ou Mais Atores

3. Resultados e Discussões

3.1. Sistemas ambientais

Os sistemas ambientais são definidos e compostos por multicritérios: ambientes sedimentares propostos por Nicolodi (2007), batimetria e o canal de navegação. Obteve-se um mosaico de áreas correspondentes às diferentes categorias (baixios, zonas intermediárias e canal aquaviário) dos sistemas ambientais delimitados para a área de abrangência do Lago Guaíba, que incluiu o sistema fluvial do Delta do Jacuí. A seguir estes sistemas são definidos de acordo com suas características principais:

- Baixios

Os baixios são as regiões de baixa profundidade em mares, lagoas/lagoas e estuários. Suas formas de fundo podem estar submersas ou semi-submersas, estando em constante alteração morfológica devido à alta influência hidrodinâmica. Podem ter influência da ação do vento, sendo que quanto maior a influência do vento, maior sua variação ao longo do tempo e maior migração de nutrientes e sedimentos do fundo para regiões próximas à superfície. No Lago Guaíba, os baixios foram diferenciados de acordo com seu tipo de fundo. O fundo deposicional é o mais constante: devido à baixa velocidade de escoamento e a moderada profundidade da área, seus sedimentos e

nutrientes não se deslocam. O fundo erosional é o mais variável: a alta velocidade de escoamento e a baixíssima profundidade possibilitam o deslocamento de sedimentos e nutrientes ao longo da coluna da água. O fundo transicional é o meio termo entre os anteriores, a velocidade do escoamento e a profundidade variam (Nicolodi *et al.*, 2010).

De forma simplificada, esse sistema pode ser caracterizado como regiões de baixa profundidade em lagunas, lagoas e estuários.

- Zonas Intermediárias

Esse sistema se diferencia dos baixios pela maior profundidade e a ação do vento e geração da onda, sendo assim, possui os mesmos tipos de fundo em termos de comportamento hidrossedimentológico, porém com a altura da coluna da água superior. O tipo de fundo erosional é pouco encontrado, visto que a dissipação da energia é maior.

De maneira simplificada, esse sistema pode ser caracterizado como regiões de média/alta profundidade em lagunas, lagoas e estuários.

- Canal Aquaviário

Sistema constituído por hidrovias, percursos pré-determinados para o tráfego sobre água, onde é realizado o transporte de mercadorias e pessoas. As hidrovias de interior podem ser rios, lagos e lagoas navegáveis que receberam algum tipo de melhoria/sinalização/balizamento para que um determinado tipo de embarcação possa trafegar com segurança por esta via, segundo a Secretaria dos Portos (MTPA, 2018). Geralmente localizados nas regiões de maior profundidade nos rios, lagos e lagoas. De maneira simplificada, esse sistema pode ser caracterizado como os percursos pré-determinados para o tráfego sobre água.

Observou-se a predominância de águas intermediárias no Lago Guaíba, em comparação aos sistemas de baixios. Aproximadamente 83% da área aquática se caracteriza pelo sistema ambiental intermediário. Além disso, em sua maioria os sistemas intermediários foram identificados como sistemas de fundo transicional, ou seja, com moderada vulnerabilidade à erosão por ondas.

A distribuição dos sistemas de baixios é bastante ampla ao longo de todas as margens. A margem oeste destaca-se por apresentar os maiores grupamentos de baixios. Esta condição está relacionada às dinâmicas da geomorfologia lacustre nesta área, como a formação dos esporões silto-arenosos – um processo natural de compartimentalização do Lago Guaíba. É necessário destacar a pequena distribuição de baixios deposicionais, atendendo cerca de 2% da área aquática. Estas feições estão presentes no Saco Santa Cruz (a configuração bem delineada do Lago Guaíba) e nos sacos adjacentes aos canais tributários internos do Delta do Jacuí, originários de canais abandonados em processo de colmatagem.

Na Figura 3 está apresentada a distribuição destes Sistemas Ambientais Aquáticos. Esta delimitação dos Sistemas Ambientais Aquáticos foi utilizada para a definição de uma média de aptidão ambiental à mineração em cada área de características semelhante do Lago Guaíba. O percentual de ocupação de cada sistema no Lago Guaíba é apresentado no Quadro 3.

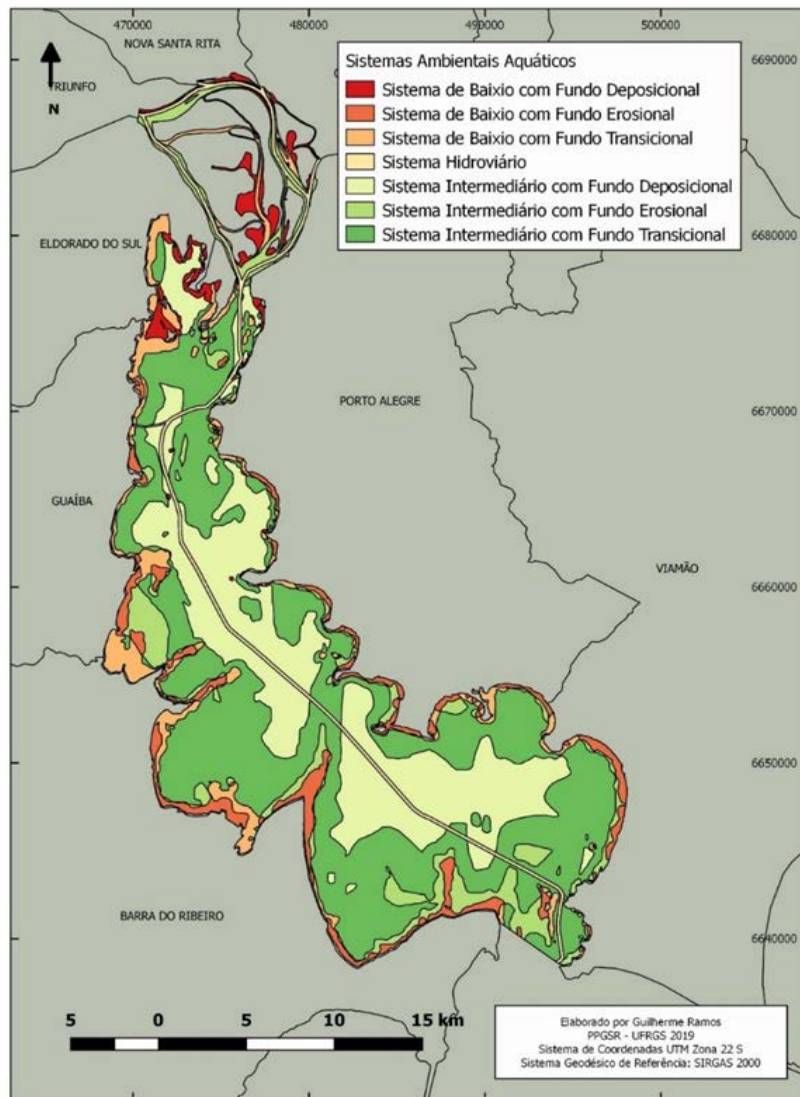


Figura 3 - Sistemas Ambientais Aquáticos.
 Figure 3 - Aquatic Environmental Systems.

Quadro 3. Distribuição dos sistemas ambientais do Lago Guaíba.

Chart 3. Distribution of the environmental systems of Lake Guaíba.

SISTEMA	ÁREA	% DA ÁREA TOTAL	DISTRIBUIÇÃO
Sistema de baixo com fundo erosional	30 km ²	6,1%	Ampla
Sistema de baixo com fundo transicional	30 km ²	6,1%	Ampla
Sistema de baixo com fundo deposicional	9 km ²	1,8%	Pequena, com grupamentos no norte
Sistema intermediário com fundo erosional	40 km ²	8,2 %	Ampla
Sistema intermediário com fundo transicional	223 km ²	45,5%	Ampla e predominante
Sistema intermediário com fundo deposicional	142 km ²	29%	Ampla e predominante
Sistema Aquaviário	16 km ²	3,3%	Concentrada

3.2 Mapa de Frequência e Importância Relativa dos Usos do Lago Guaíba

Foram utilizadas as informações georreferenciadas das ocupações desenvolvidas sobre o Lago Guaíba para obtenção dos mapas de Frequência e Importância Relativa dos Usos do Lago Guaíba, sendo as atividades ponderadas de acordo com a sua importância socioeconômica. O empreendimento Portuário incluiu as Bacias de Evolução e demais áreas do Porto de Porto Alegre, o Terminal de Uso Privado da CMPC, localizado no município de Guaíba. A Figura 4 apresenta a disposição espacial destas atividades.

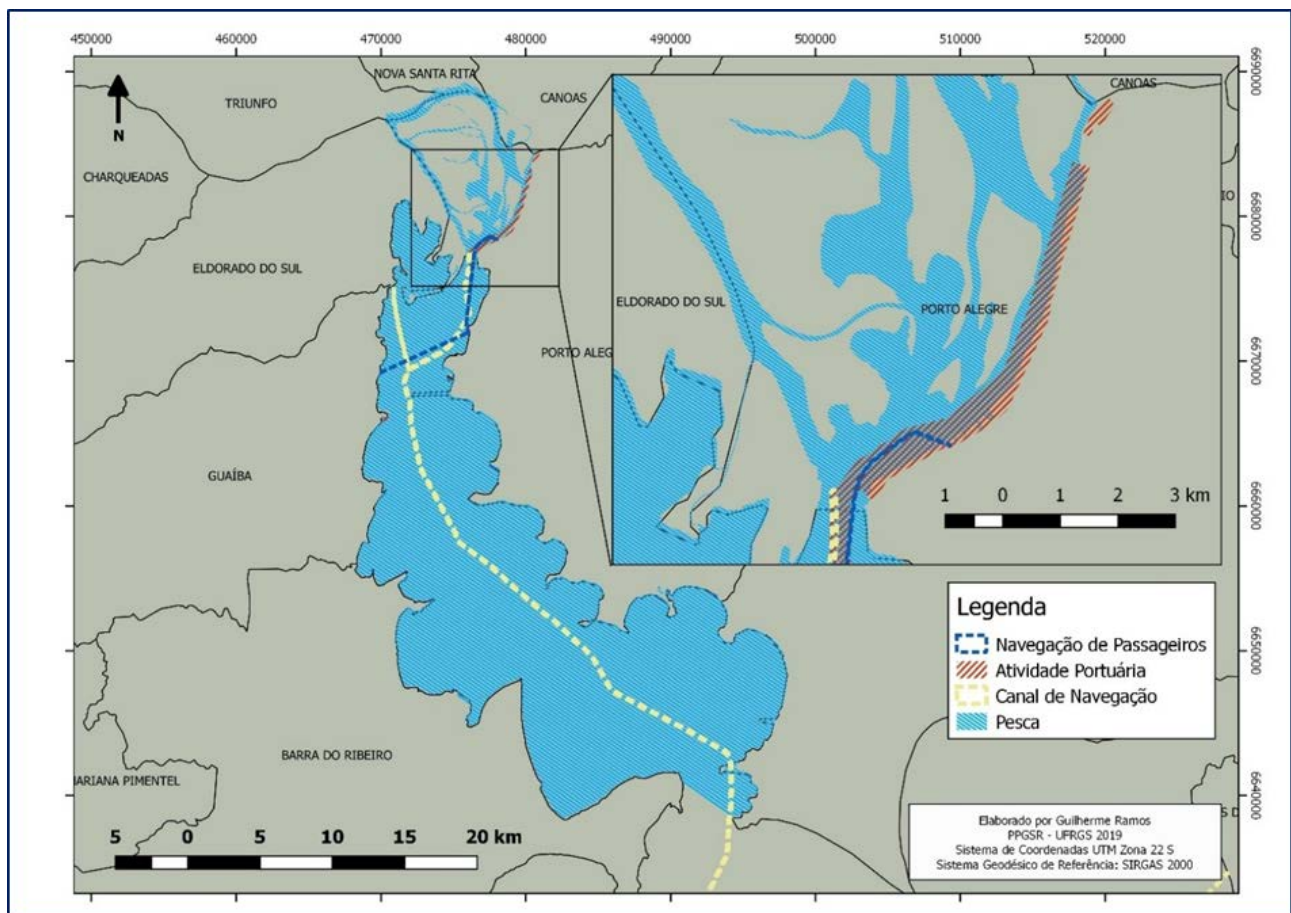


Figura 4 - Atividades humanas inseridas como polígonos no modelo de sobreposição de usos.

Figure 4 - Human activities inserted as polygons in the use overlap model.

Os resultados da aplicação destes critérios de ponderação estão apresentados no Quadro 4.

De acordo com esta metodologia, a atividade Portuária/Navegação Comercial recebeu pontuação 4. As atividades de Navegação de Passageiros e Lazer receberam pontuação 3 e a atividade Pesca recebeu pontuação 2. O resultado da ponderação final de importância 391 interatividades foi utilizado na tabela do modelo *Overlapping Use* do *TerrSet*[®] e influenciou no mapa de Importância Relativa dos Usos.

Quadro 4. Ponderação das atividades do Lago Guaíba quanto a sua importância socioeconômica.

Chart 4. Pondering of Guaíba Lake activities in terms of their socioeconomic importance.

Categoria	1 - Importância Socioeconômica da Atividade no Lago Guaíba			
	Usos			
Indicador Socioeconômico	Pesca	Portuário/Navegação Comercial	Navegação Passageiros	Lazer (Uso Recreativo e Esportes Náuticos)
Potencial de Arrecadação de Impostos	1	5	4	3
Geração de Renda Local	3	3	4	3
Exclusividade Social da Atividade	3	4	2	2
Escala de Influência da Atividade	2	5	3	3
Número de Atores Envolvidos com a Atividade	2	4	3	3
Média	2.2	4.2	3.2	2.8
Ponderação Final	2	4	3	3

Como resultado da aplicação do modelo *Overlapping Use* foram obtidos os mapas de Frequência (Fig. 5), e de Importância Relativa dos Usos do Lago Guaíba (Figura 6). O mapa de Frequência aponta o somatório de atividades sobrepostas em um mesmo *pixel*. Nesta fase foram consideradas as práticas de pesca, navegação comercial, navegação de passageiros e operações portuárias. A Frequência das atividades consideradas variou de 1 a 3. Sendo o valor máximo 3, atingido na Região Portuária de Porto Alegre, onde ocorre a sobreposição de ações: Pesca, Portuária e Navegação de Passageiros.

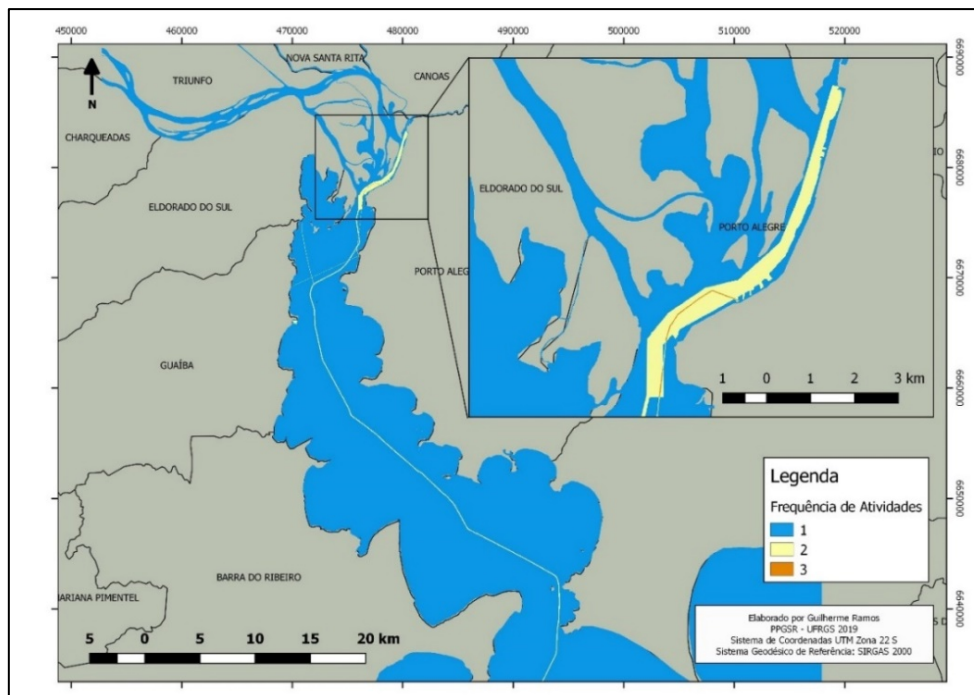


Figura 5. Mapa de Frequência de Usos do Lago Guaíba.

Figure 5. Guaíba Lake uses frequency Map.

Foram, então, inseridos no modelo os pontos de relevante atividade humana, os *Hotspots*, representado áreas de lazer, pesca, cais de navegação comercial e de passageiros, balneários, marinas e clubes náuticos e pontos de relevância paisagística, obtendo assim a representação gráfica de Importância Relativa de Usos do Lago Guaíba (Fig. 6).

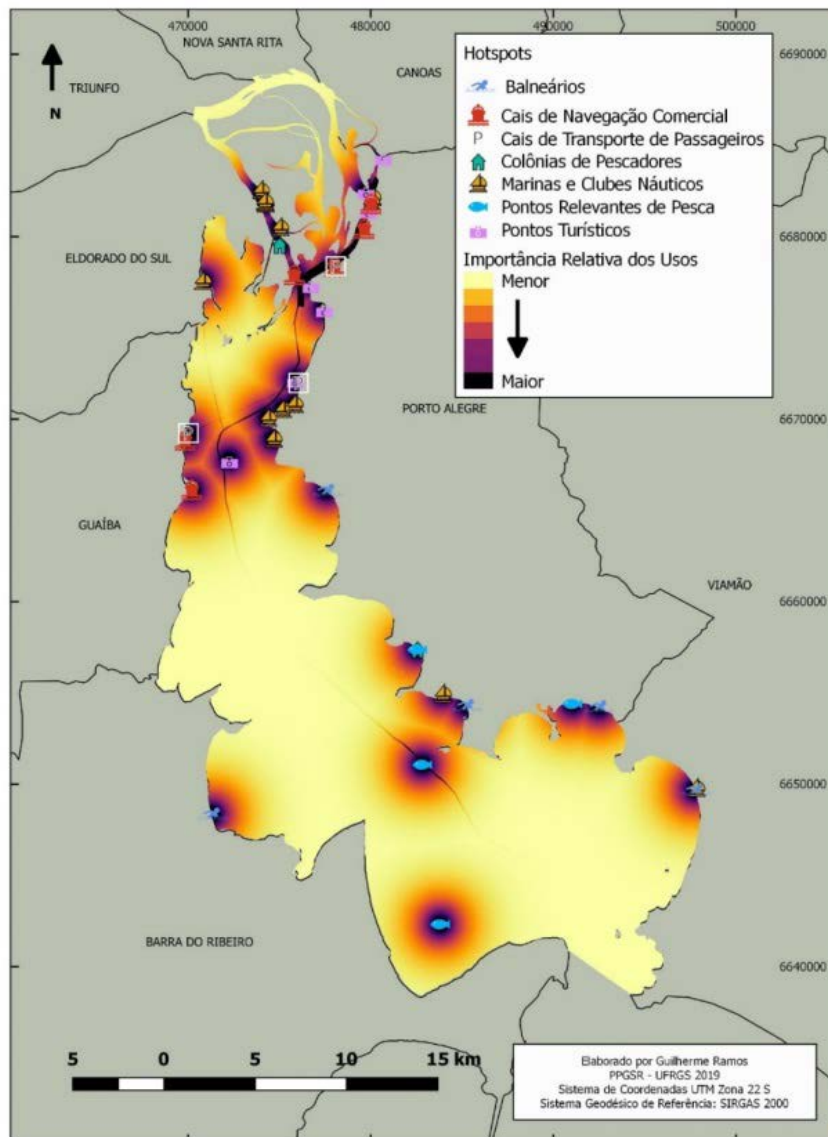


Figura 6. Mapa de *Hotspots* sobreposto ao mapa de importância relativa de usos do Lago Guaíba.

Figure 6. *Hotspots* map overlaid on Guaíba Lake uses relative importance map.

Os *Hotspots* inseridos no modelo geram um raio de influência com decaimento proporcional à distância. Nas regiões onde não havia superposição de mais de uma atividade este raio atinge no máximo 3 km. O alcance deste raio é determinado pelo fator β que foi inserido nesse modelo do *TerrSet*[®] com valor igual a 1. A taxa de decaimento (β) padrão do modelo é dada pelo valor $\beta = 0,025$. Quanto maior for o valor β utilizado, mais aumenta o raio de interferência dos *Hotspots* no mapa de importância de usos. Optou-se por utilizar um valor maior para fornecer mais peso aos *Hotspots* e adotar uma atitude mais conservacionista independente do cenário.

Para fins de aplicação ao zoneamento da mineração, as áreas de maior importância para atividades humanas foram consideradas as menos aptas para a atividade de mineração.

Também foi calculada a média da aptidão à mineração em cada Sistema Ambiental. Desta forma, é possível analisar quais as porções do Lago Guaíba que possuem características semelhantes em termos de ambiente sedimentar e batimetria e apresentam melhor aptidão à mineração no que se refere à menor intensidade de usos.

Pode ser notado na Figura 7 que os sistemas mais aptos à mineração através desta análise são os sistemas de baixios e sistemas intermediários com fundo erosional localizados na porção oeste, próximo à região sul do município de Guaíba, além do sistema intermediário com fundo erosional na porção sul próxima à Lagoa dos Patos.

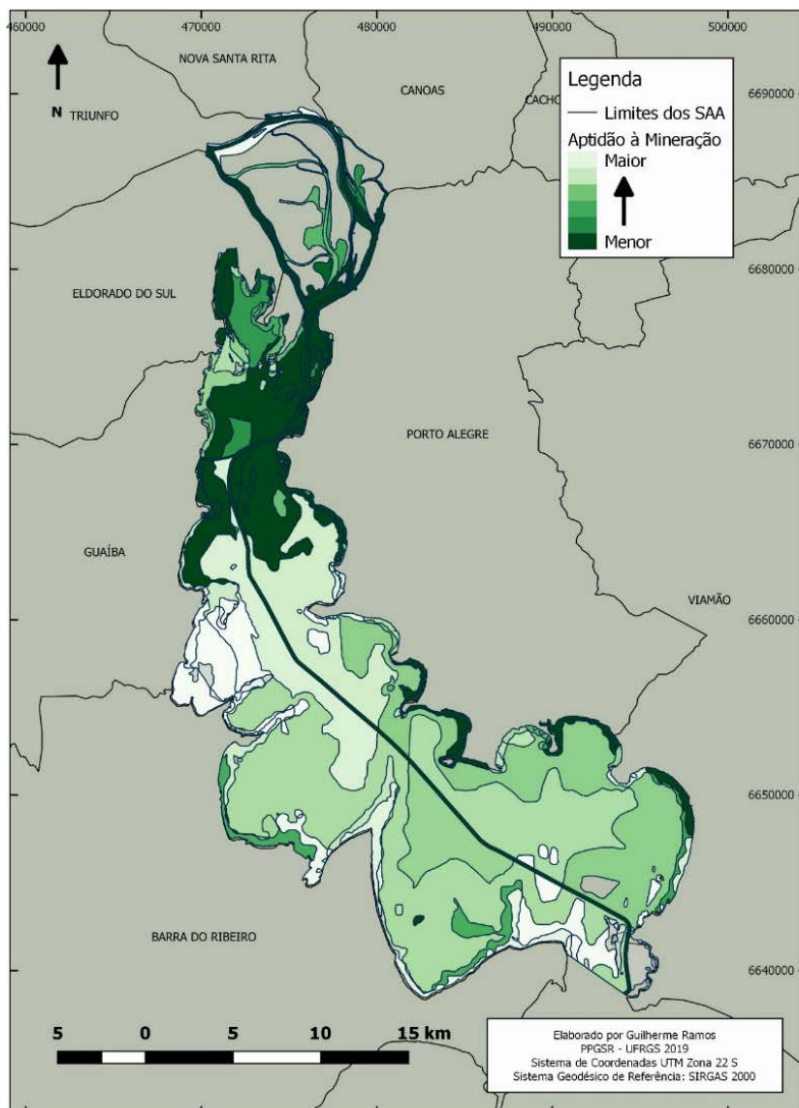


Figura 7 - Aptidão à mineração média em cada poligonal de Sistema Ambiental Aquático.

Figure 7 - Average mining skills in each polygonal of Aquatic Environmental System.

Os diferentes cenários de restrição à mineração foram sobrepostos ao mapa de importância de usos. Em todos os cenários restrições básicas foram impostas como a distância de 60 m das margens, o raio de 400 m dos pontos de captação de água bruta

para abastecimento das estações de tratamento de água, o canal de navegação, as rotas de transporte de passageiros da empresa Catsul, as áreas ocupadas pelo emissário subaquático do PISA e a área da APA do Delta do Jacuí. Estas restrições foram baseadas no zoneamento prévio proposto por SEMA (2016) e são impostas a qualquer cenário de mineração de areia no Lago Guaíba ocupam 25,26 km², o equivalente a 4,9% da área de estudo. Não ficam explícitos nos mapas os diferentes decaimentos de importância por distância de cada atividade e isso se deve à escala trabalhada. Questões como a granulometria dos sedimentos de fundo e a presença de esporões tiveram diferentes alocações em cada cenário.

3.3 Cenário A - Conservacionista

No cenário conservacionista foram considerados os critérios mais rigorosos para a restrição da prática de mineração. Além das restrições básicas (Fig. 8-A), também foram consideradas como restrições os locais dos esporões conforme delimitadas no PBHLG, as zonas onde se pretende alcançar qualidade da água Classe 1 no âmbito do PBHLG, a área da APA do Delta do Jacuí e as regiões onde o sedimento de fundo é composto em mais de 10% na granulometria lama. Somadas, a restrição corresponde a 390,6 km², ou seja, 76% da área de estudo.

Sobrepondo as restrições deste cenário ao mapa de importância relativa de usos do Lago Guaíba obteve-se o mapa final de aptidão à mineração do Cenário A (Fig. 8-B).

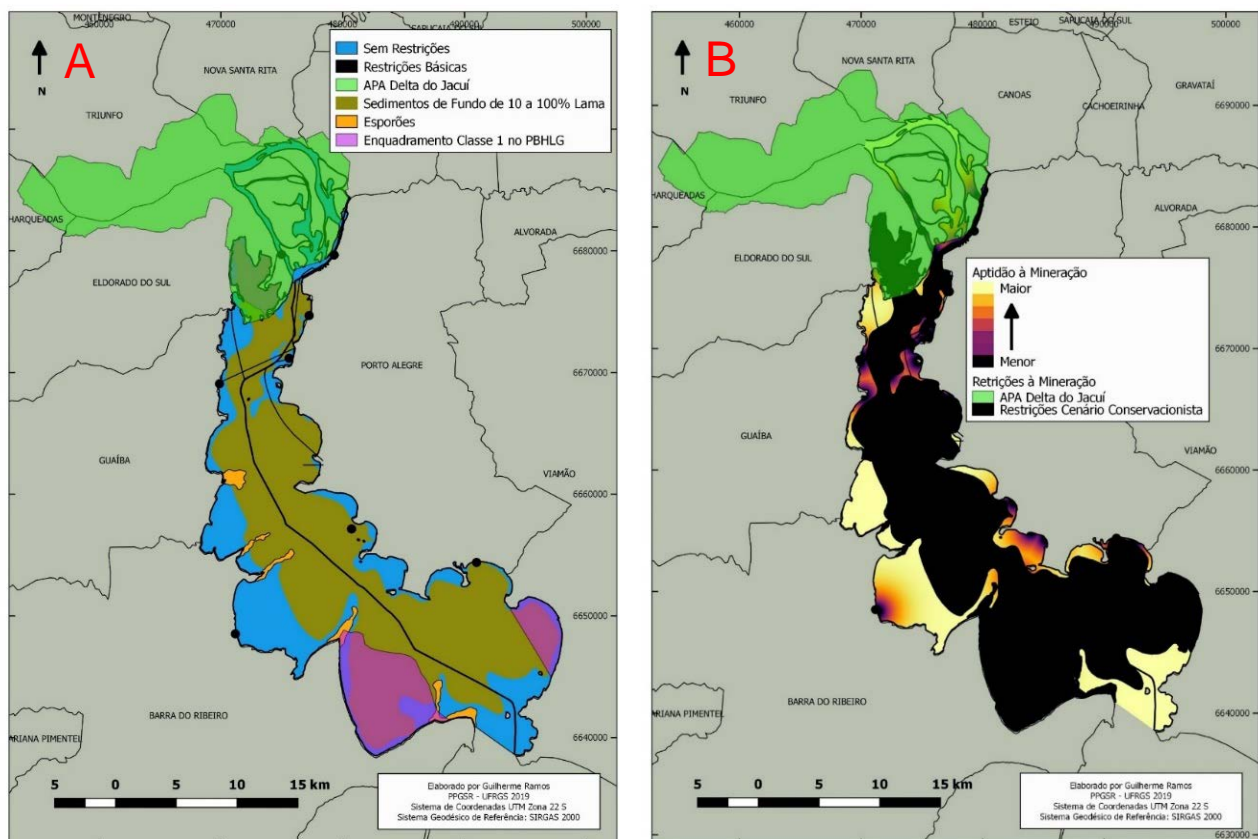


Figura 8. A) Restrições à mineração no Cenário Conservacionista; B) Cenário A de aptidão à mineração de areia no Lago Guaíba.

Figure 8. A) Conservationist scenario mining restrictions; B) Sand mining suitability scenario A in Guaíba Lake.

3.4 Cenário B – Desenvolvimentista

O cenário desenvolvimentista apresenta o menor nível em termos de restrições ambientais para delimitação das áreas de bloqueio à mineração. Neste cenário, além das restrições básicas, foram consideradas como restrições à mineração apenas a área da APA do Delta do Jacuí e as regiões onde o sedimento de fundo é composto em 90% ou mais na granulometria lama (Fig. 9-A). Somadas, as áreas de restrição deste cenário correspondem à 144,08 km², ou seja, 28% da área de estudo.

Sobrepondo as restrições deste cenário ao mapa de importância relativa de usos do Lago Guaíba obteve-se o mapa final de aptidão à mineração do Cenário B (Fig. 9-B).

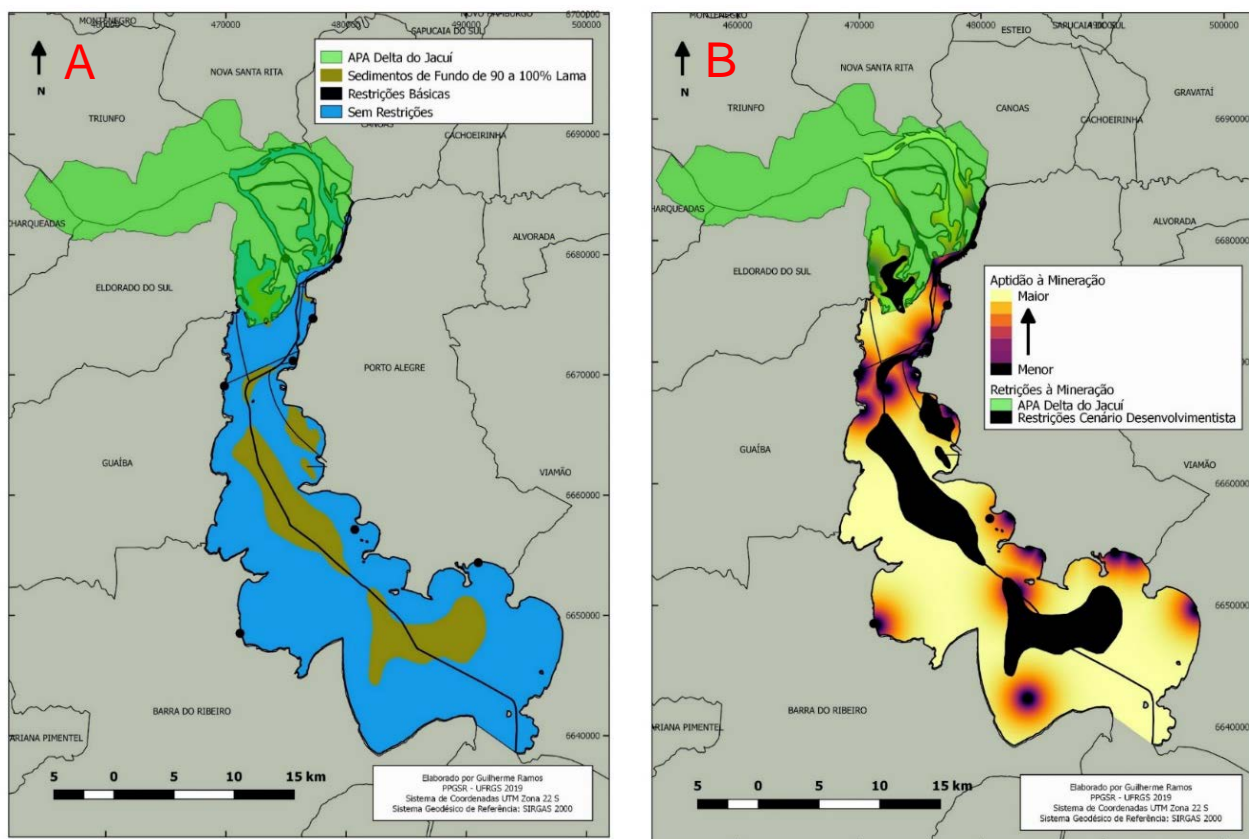


Figura 9. A) Restrições à mineração no cenário desenvolvimentista; B) Cenário B de aptidão à mineração de areia no Lago Guaíba.

Figure 9. A) Developmentalist scenario mining restrictions; B) Sand mining suitability scenario B in Guaíba Lake.

3.5 Cenário C - Gestão

No cenário de Gestão buscou-se um equilíbrio entre restrições ambientais e maior liberação de frentes de lavra de areia. Além das restrições básicas, foram consideradas como restrições à mineração as áreas de esporões conforme delimitadas no PBHLG, a área da APA do Delta do Jacuí e as regiões onde o sedimento de fundo tem composição entre 50 e 100% na granulometria lama (Fig. 10-A). Somadas, as restrições correspondem a 527,55 km², ou seja, 50,1% da área de estudo.

Sobrepondo as restrições deste cenário ao mapa de importância relativa de usos do Lago Guaíba obteve-se o mapa final de aptidão à mineração do Cenário C (Fig. 10-B).

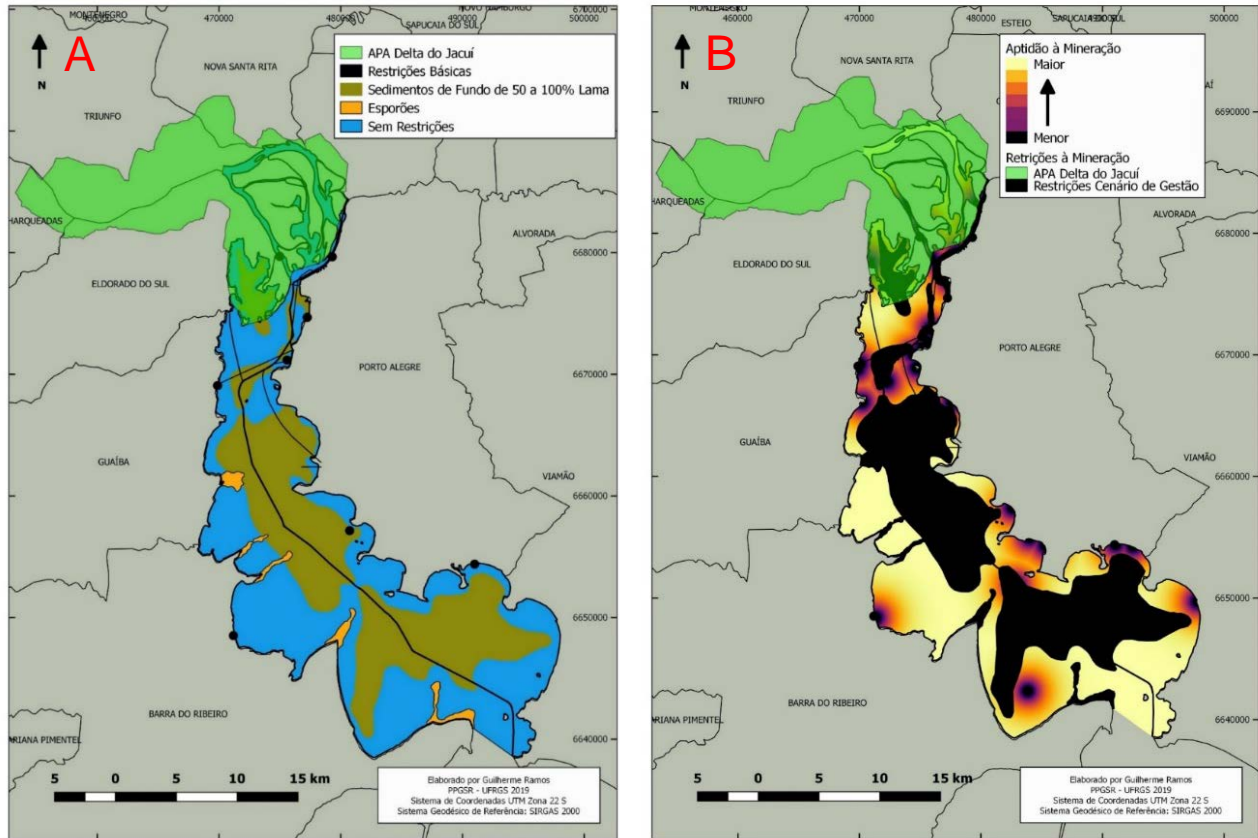


Figura 10. A) Restrições à mineração no cenário de Gestão; B) Cenário C de aptidão à mineração de areia no Lago Guaíba.

Figure 10. A) Management scenario mining restrictions; B) Sand mining suitability scenario C in Guaíba Lake.

3.6 Comparação do Cenário de Gestão (Cenário C) com as Áreas de Interesse dos Empreendedores

A estrutura de banco de dados espaciais desenvolvida com as diversas fontes de informação foi utilizada também para comparação entre os requerimentos e títulos minerários existentes sobre o Lago Guaíba e as Zonas de Restrição à Mineração desenvolvidas, como demonstra a Figura 11.

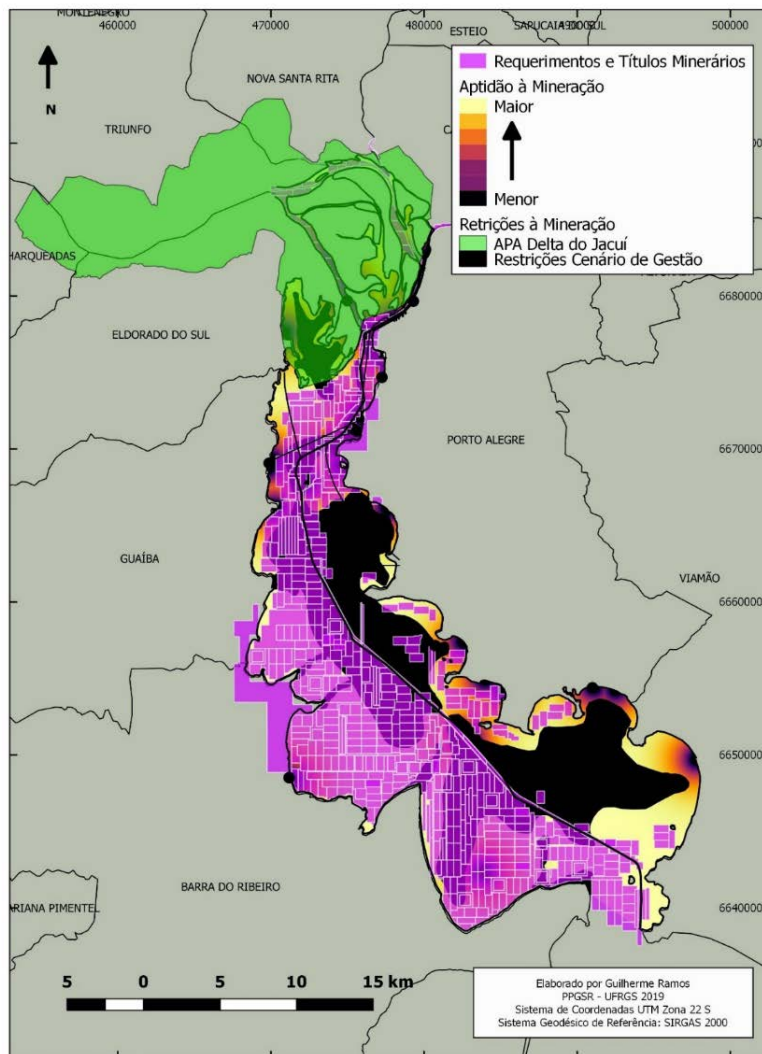


Figura 11. Requerimentos e títulos minerários em comparação com a zona de restrição de uso do Cenário C - Gestão.

Figure 11. Mining permits' polygons compared to scenario C (Management) use restriction zone.

Dos 635 requerimentos de títulos minerários, 374 estão, ao menos em parte, sobrepostos a áreas de restrição previstas no Cenário de Gestão. Este resultado é considerado relevante ao demonstrar a quantidade expressiva de títulos minerários que requerem uso em áreas inadequadas, seja por serem conflitantes com outros usos ou por estarem em locais de maior potencial de impactos ambientais negativos, como áreas de margem e de sedimento de fundo de granulometria fina, que têm maior probabilidade de apresentar contaminação. Ressalta-se que Agência Nacional de Mineração não levam em consideração as restrições ambientais, ou seja, os polígonos de títulos minerários são apenas requerimentos processuais e não atividade em si.

Em relação ao zoneamento do Lago Guaíba para mineração desenvolvido pela SEMA (2016), os resultados apresentam aspectos semelhantes, uma vez que fatores físicos como a distribuição do sedimento de fundo, os emissários de efluentes, o canal de navegação e os locais de captação de água bruta são itens que estavam presentes em ambas as propostas de zoneamento de mineração. Dentre os três cenários propostos, o cenário C, de Gestão, foi o que mais se assemelhou à proposição da SEMA. No entanto,

as propostas de zoneamento diferem, principalmente porque o zoneamento da SEMA não considerou as rotas de transporte de passageiros, as atividades portuárias, as marinas e clubes náuticos e tampouco os pontos de relevância para prática de pesca (com exceção das colônias de pescadores).

Quanto às unidades de conservação, o presente estudo incluiu nos três cenários apenas a restrição da APA do Delta do Jacuí, porque já engloba totalmente a área do Parque Estadual Delta do Jacuí e porque as demais UCs próximas não se sobrepõem diretamente ao Lago Guaíba, apenas suas Zonas de Amortecimento ou o raio de 10 km.

3.7 Discussões a Respeito das Sobreposições de Usos

A análise de frequência de atividades apresentou resultados semelhantes aos obtidos por Trindade (2018) que também utilizou o modelo *Overlapping Use* do InVEST para análise de sobreposição de usos no Lago Guaíba. No entanto, as divergências nos resultados se devem aos dados de entrada e da opção de Trindade por apresentar resultados com base em zonas de planejamento, enquanto o presente estudo apresentou os resultados de sobreposição *pixel a pixel*. Além disso, Trindade (2018) considerou que toda a massa de água do Lago Guaíba é utilizada para atividade de lazer, enquanto no presente estudo optou-se por incluir esta ocupação apenas como *Hotspots* e não com áreas delimitadas. A opção do uso dos *Hotspots* justifica-se uma vez que a atividade ocorre de forma esparsa por toda a massa de água do Lago, mas com maior intensidade ao redor de balneários, marinas e clubes náuticos.

Também pode ser traçado um paralelo dos resultados obtidos quanto à sobreposição de atividades com o trabalho de Nyland (2018) que aplicou uma metodologia semelhante na análise de sobreposição de usos no Baixo Estuário da Lagoa do Patos (BELP), Lagoa Mangueira e na Lagoa Mirim, no extremo sul do RS. Nyland (2018), ao aplicar o sistema de ponderação de importância socioeconômica das atividades, obteve peso 4,2 para as atividades de Navegação e Portuária sendo estas consideradas as mais importantes em uma escala de 0 a 5. Esta pontuação de 4,2 também foi obtida para a atividade Portuária/Navegação Comercial no Lago Guaíba. As ações de pesca e lazer obtiveram 2,2 e 2,8 respectivamente na ponderação inter-atividades para o Lago Guaíba, enquanto receberam 2,6 e 3 no trabalho de Nyland. Estas ponderações interferem no resultado dos mapas de importância das atividades, mas não no mapa de frequência. As variações das ponderações de importância de usos nas diferentes áreas de estudo demonstram que a metodologia é capaz de captar a diferença de contexto socioeconômico entre a RMPA e de Rio Grande, esta capacidade fica evidenciada no exemplo da atividade de pesca que é mais desenvolvida e, portanto, recebeu uma ponderação maior, no BELP do que no Lago Guaíba.

Quanto à sobreposição de usos, assim como neste estudo, Nyland (2018) obteve valores máximos para a Frequência de Ocorrência de Usos igual a três no BELP, estando estes valores máximos relacionados a áreas portuárias onde pode ocorrer a sobreposição com atividades de pesca e lazer. Na Lagoa Mirim também há até três usos sobrepostos. Essa sobreposição ocorre tanto em uma área da Lagoa Mirim, em que há divisão de espaço entre os usos de pesca, navegação e a ilha da unidade de conservação Estação Ecológica (ESEC) do Taim, quanto na Lagoa Mangueira com sobreposição da pesca, do lazer e da ESEC.

Ao contrário da sobreposição de usos de Nyland (2018) e Trindade (2018), o presente estudo não considerou as poligonais de mineração cadastradas na ANM como

atividades humanas, já que a prática de mineração está paralisada no Lago Guaíba e também porque a sua inclusão influenciaria o resultado que visa justamente avaliar as melhores possibilidades de locação da atividade minerária reduzindo os conflitos com as demais ocupações humanas.

3.8 Discussões sobre a Geração de Cenários

Em todos os cenários desenvolvidos foi verificado que a granulometria do sedimento de fundo exerceu uma influência muito grande nas áreas de restrição à mineração. O que é esperado e explicado em função do potencial de acúmulo de contaminantes, que é maior nos sedimentos de menor granulometria localizados nos pontos de maior profundidade do lago, conforme apontaram os estudos de Bachi (2000), Laybauer & Bidone (2001), Laybauer (2002) e Nicolodi *et al.* (2010). Além disso, a granulometria de interesse para mineração é a porção areia, de forma que neste aspecto há um alinhamento entre viabilidade ambiental e técnica, já que maiores percentuais de lama não são desejáveis em nenhum dos casos.

Os cenários A e B têm por objetivo demonstrar as abordagens mais extremadas do tema, a fim de melhor balizar a proposição de um cenário intermediário, aqui chamado de Cenário de Gestão (Cenário C). Na comparação do Cenário C com os títulos minerários verificou-se que a maior parte dos títulos minerários requeridos estão objetivando áreas consideradas, dentro do âmbito do Cenário C, como inadequadas para extração de areia.

3.9 Limites do Estudo e Recomendações

Este estudo foi desenvolvido com Base Ecosistêmica, o que lhe confere uma visão com objetivo de melhor aproveitamento e compartilhamento dos serviços ambientais e focada principalmente nos aspectos socioeconômicos da questão da atividade de mineração. Para fins de uma avaliação ambiental mais abrangente devem ser considerados complementarmente aspectos hidrossedimentológicos capazes de indicar quais alterações e em que intensidade estas poderiam ocorrer se forem reiniciadas as atividades de mineração.

O aporte de sedimentos calculado com base na taxa de sedimentação de fundo no Lago Guaíba também é um fator importante a ser considerado, pois delimita um parâmetro quantitativo de areia a ser explorado de forma sustentável, sendo este um fator que está além da questão locacional prevista nos zoneamentos, mas que pode ser verificado em futuros levantamentos batimétricos e controlado nos planos de lavra a serem apresentados aos órgãos reguladores.

Segundo o estudo de Nicolodi (2007), o padrão de ondas tem influência direta nos padrões de sedimentação no Lago Guaíba, sendo a batimetria um fator fundamental para todo o sistema, já que ela, ao mesmo tempo, influencia e é influenciada pela ação das ondas. Portanto, a mineração, caso permitida, poderá causar modificações na dinâmica do corpo hídrico como um todo. Por este motivo, também é de fundamental importância que se mantenham e até se intensifiquem as orientações presentes nas LOs emitidas pela FEPAM para mineração de areia em outros corpos hídricos, no sentido de que a operação da draga deverá ser realizada de forma regular quanto ao rebaixamento do leito, evitando-se a formação de depressões isoladas e/ou atingir cotas além das estabelecidas na LO da área para a lavra de areia. Também é de fundamental importância, que seja utilizado o sistema de monitoramento, regulamentado pela

Resolução 116/2006 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA, 2006) e que prevê o monitoramento em tempo real das dragas licenciadas com desligamento automático no caso de tentativa de operação fora da poligonal previamente delimitada no processo de licenciamento ambiental, a exemplo do monitoramento existente para a atividade no rio Jacuí, disponibilizado no site da FEPAM (2019). Aliado à implementação do zoneamento da mineração no Lago Guaíba, o monitoramento expedito permitirá, inclusive, o controle social da atividade, uma vez que os dados estejam disponíveis na internet e abertos ao público.

No caso específico da solução de eventuais conflitos entre mineração e o uso do Lago para atividades de lazer, além das restrições espaciais, uma alternativa para diminuir os conflitos é optar por restrições temporais da mineração, já que a mineração pode se concentrar nos dias de semana, enquanto as atividades de lazer tendem a ocorrer de forma mais intensa nos finais de semana e dias não úteis.

Restrições temporais também são uma alternativa importante na mediação de conflitos com a atividade de pesca. O período de defeso da Região Sul e Sudeste do Brasil e ao qual estão submetidos os pescadores do Fórum Delta do Jacuí e do Lago Guaíba, vai de 1º de novembro a 31 de janeiro (Paula, 2013). Analogamente, poderia ser estabelecido como período de paralisação também da atividade de mineração com objetivo de resguardar a reprodução da ictiofauna e desenvolvimento dos alevinos.

4. Conclusões

A elaboração de modelo espacial com base ecossistêmica permitiu a construção de uma análise integrada em diversos fatores (ambientais e atividades humanas), identificação e avaliação de conflitos, bem como a construção de cenários de mineração com proposições distintas (simulações conservacionistas e desenvolvimentistas).

O Zoneamento da mineração de areia no Lago Guaíba é um caso emblemático. Até o momento, apesar das diferentes pressões, não se encontrou uma solução harmoniosa e definitiva. Esta questão corre o risco de se arrastar por mais tempo assim como no caso do estudo de Outeiro *et al.* (2015) no Chile, onde os planos para um Planejamento Espacial efetivo ainda permanecem sem solução em razão da falta de disposição política das instituições governamentais para alcançar o consenso entre as partes interessadas com visões e interesses conflitantes, e algum acordo entre partes privadas e organizações sociais (Outeiro *et al.*, 2015).

Apesar disso, conforme forem desenvolvidos novos estudos ou aumentar o nível de detalhamento das informações espaciais disponíveis a base de dados atual poderá ser ampliada e novos cenários poderão ser gerados.

Considera-se que a análise dos cenários de mineração com ênfase nas atividades humanas desenvolvidas e áreas de restrições é um importante passo no sentido do desenvolvimento de um zoneamento que permita a retomada do exercício da mineração. Sozinho, entretanto, não garante a sustentabilidade da atividade e não é capaz de evitar completamente os impactos negativos potenciais. São necessários acompanhamento e fiscalização dos órgãos competentes para evitar práticas poluidoras e a exploração excessiva desse recurso mineral. Espera-se que os resultados do presente trabalho venham a contribuir ao processo de tomada de decisão com foco no Lago Guaíba, em especial no que tange aos conflitos da mineração com as demais atividades desenvolvidas neste corpo hídrico.

Agradecimentos: Agradecemos ao Laboratório de Modelagem de Bacias Ricardo Ayup-Zouain, onde a pesquisa foi desenvolvida, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado acadêmico que permitiu o desenvolvimento deste estudo.

Contribuições dos Autores: "Concepção, T.S.S. e G.G.C.R.; metodologia, G.G.C.R. e T.S.S.; software, G.G.C.R. e J.N.A.R.; preparação de dados, G.G.C.R. e J.N.A.R.; escrita do artigo, G.G.C.R.; revisão, F.C.S.; supervisão, F.C.S. e T.S.S. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito".

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2021. *Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano*. Disponível em: <file:///C:/Users/Fernando/Downloads/ANA_ATLAS_Aguas_AbastecimentoUrbano2021.pdf>. Acesso em: 06 maio 2023.

Andrade, L.C.; Tiecher, T.; De Oliveira, J.S.; Andrezza, R.; Inda, A.V. & Camargo, F.A.O. 2018. Sediment pollution in margins of the Lake Guaíba, Southern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190: 3. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6365-9>

Andrade, L.C.; Sodrzeieski, P.A.; Scottá, F.C.; Tiecher, T.; Morris, L.; Andrezza, R. & Camargo, F.A.O. 2019. Geoaccumulation of Heavy Metals in the Sediment of Lake Guaíba Transitional Waters, Southern Brazil. *Environmental Engineering Science*, 36(10): 1315-1322. <https://doi.org/10.1089/ees.2019.0147>

ANM. Agência Nacional de Mineração. Sistema de Informações Geográficas da Mineração - SIGMINE. *Layer Processos Minerários*. Disponível em: <<http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>>. Acesso em: 12 mai. 2018.

Arkema, K.K.; Verutes, G.M.; Wood, S.A.; Clarke-Samuels, C.; Rosado, S.; Canto, M.; Rosenthal, A.; Ruckelshaus, M.; Guannel, G.; Toft, J.; Faries, J.; Silver, J. M.; Griffin, R. & Guerry, A.D. 2015. Embedding ecosystem services in coastal planning leads to better outcomes for people and nature. *PNAS*, 112(24): 7390-7395. <https://doi.org/10.1073/pnas.1406483112>

Asmus, M.L. 2015. Gestão com Base Ecológica Aplicada à Ambientes Marinhos e Costeiros. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 12. São Lourenço. Texto palestrante.

Bachi, F.A.; Barboza, E.G. & Toldo Jr., E.E. 2000. Estudo da sedimentação do Guaíba. *Ecos*, 17: 32-35.

BRASIL. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 maio 2012. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 05 ago. 2023.

CATSUL. *Pontos de Embarque*. Disponível em: <<https://www.travessiapoaguaiba.com.br/site/default.asp?TroncoID=945181&SecaoID=739250&SubsecaoID=0>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

CONSEMA. Conselho Estadual do Meio Ambiente. 2006. *Resolução N ° 116/2006*. Dispõe sobre critérios de Licenciamento Ambiental do uso de equipamento de dragagem em atividades de mineração em corpos hídricos.

ECOPLAN. 2016. *Plano de Bacia do Guaíba - Relatório Final Síntese (RS) e SIG - REVISÃO 01*.

Feistauer, L.B.H. 2012. *Análise das ações de educação ambiental no Parque Estadual Delta do Jacuí*. Porto Alegre. 36p. Trabalho de conclusão de curso em Ciências Biológicas Licenciatura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/54445>

FEPAM. 2016. *LO Nº 05144/2016-DL*, Processo nº 6519-05.67/13.3.

FEPAM. 2019. *Sistema on line de rastreamento de dragas*. Disponível em: <http://ww3.fepam.rs.gov.br/licenciamento/area4/mapa_dragas.asp>. Acesso em: 01 ago. 2019.

- Fontoura, N.F.; Schulz, U.H.; Alves, T.P.; Silveira, T.C.L.; Pereira, J.J. & Antonetti, D.A. 2019. How Far Upstream: A Review of Estuary-Fresh Water Fish Movements in a Large Neotropical Basin. *Frontiers in Marine Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00039>
- Garcez, D.S. & Sanchez-Botero, J.I. 2005. Comunidades de pescadores artesanais no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Atlântica*, 27:17-29.
- GLOBO. 2014. *Governo diz que não tem alternativa ao Rio Jacuí para extração de areia*. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2013/06/governo-diz-que-nao-tem-alternativa-ao-rio-jacui-para-extracao-de-areia.html>>. Acesso em: 06 maio. 2023.
- Ikem, A.; Egiebor, N.O. & Nyavor, K. 2003. Trace Elements in Water, Fish and Sediment from Tuskegee Lake, Southeastern Usa. *Water, Air, & Soil Pollution*, 149: 51-75. <https://doi.org/10.1023/A:1025694315763>
- InVEST. 2017. Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs. *User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford. Disponível em: <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/overlap_analysis.html?highlight=overlap%20analysis>. Acesso em: 24 ago. 2017.
- Laybauer, L. 2002. *Estudo de risco ambiental e da dinâmica sedimentológica e geoquímica da contaminação por metais pesados nos sedimentos do Lago Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre. 253. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Laybauer, L. & Bidone, E.D. 2001. Caracterização Textural dos Sedimentos de Fundo do Lago Guaíba (sul do Brasil) e sua Importância em Diagnósticos Ambientais. *Pesquisas em Geociências*, 28(1): 13-26. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.20164>
- MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2003. *Ecosystem and Human Well-Being: a framework for assessment*. Washington: Island Press. 266 p.
- MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington: Island Press. 155 p.
- McLeod, K. & Leslie, H. 2009. *Ecosystem-based Management for the Oceans*. Washington. Island Press. 393p.
- MTPA. 2018. *Secretaria dos Portos*. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/transporte-aquaviario-relevancia.html>>. Acesso em: 05 de jun. 20178.
- Nicolodi, J.L. 2007. *O padrão de ondas no Lago Guaíba e sua influência nos processos de sedimentação*. Porto Alegre, 195p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/10817>
- Nicolodi, J.L.; Toldo Jr., E.E. & Farina, L. 2010. Dinâmica e ressuspensão por ondas no Lago Guaíba (RS, Brasil) e implicações nos locais de captação de água para abastecimento humano. *Pesquisas em Geociências*, 37(1): 25-39. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.17726>
- Nyland, J.A.R. 2018. *Aplicação de Modelos Ecosistêmicos em Sistemas de Lagoas Costeiras como Suporte à Gestão*. Porto Alegre. 213f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/174176>
- Outeiro, L.; Häussermann, V.; Viddi, F.; Hucke-Gaete, R.; Försterra, G.; Oyarzo, H.; Kosiel, K. & Villasante, S. 2015. Using ecosystem services mapping for marine spatial planning in southern Chile under scenario assessment. *Ecosystem Services*, 16: 341-353. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.03.004>
- Pasquotto, V.F. 2005. *Pesca artesanal no Rio Grande do Sul: os pescadores de São Lourenço do Sul e suas estratégias de reprodução social*. Porto Alegre. 164p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/7029>
- Paula, C.Q. 2013. *Gestão Compartilhada dos Territórios da Pesca Artesanal: Fórum Delta do Jacuí (RS)*. Porto Alegre. 129p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/78031>
- Ramos, G.G.; Silva, T.S. & Asmuz, M.L. 2017. Subsídios técnicos para a gestão de usos em ambientes aquáticos: o caso da mineração no Lago Guaíba. Resumo. *Anais: X ENCOGERCO 2017*.

Rech da Silva, T. 2007. *Geograficidade, percepção e saberes tradicionais dos pescadores do Lago Guaíba, Porto Alegre, R.S.* Porto Alegre. 156p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/17596>

Santos, D.N. 2008. *Extração de areia e dinâmica sedimentar no alto curso do rio Paraná na região de Porto Rico, PR.* Guarulhos. Dissertação de Mestrado, Universidade Guarulhos. <http://tede.ung.br/handle/123456789/123>

Scottá, F.C.; Andrade, M.M.; Silva Junior, V.O.; Oliveira, N.; Weschenfelder, J.; Bortolin, E. & Nunes, J.C. 2019. Padrões geocústicos do fundo e subfundo do rio Guaíba e suas relações como os processos sedimentares e hidrodinâmicos. *Revista Brasileira de Geofísica*, 37(1): 1-16. <https://doi.org/10.22564/rbgf.v37i1.1991>

SEMA. Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. 2012. *Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado do Rio Grande do Sul - Ano 2009/2010.* Secretaria do Meio Ambiente - Departamento de Recursos Hídricos. Porto Alegre. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/relatorio-rh>>. Acesso em: 06 maio 2023.

SEMA. Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. 2016. *Zoneamento Ambiental para Atividade de Mineração no Lago Guaíba.* Disponível em: <<http://amaguaiba.org/wp-content/uploads/2016/07/ZONEAMENTO-LAGO-GUAIBA-SEMA.pdf>>. Acessado em: 01 ago. 2017.

SEMA. Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. 2018. *Elaboração do Zoneamento Ecológico-Econômico do Rio Grande do Sul (ZEE-RS). Produto 25 – Diagnóstico do Lago Guaíba e margens adjacentes, com ênfase em aspectos hidrodinâmicos e suas implicações.* Não publicado.

STANFORD UNIVERSITY. *Natural Capital Project.* 2016. Disponível em: <<https://naturalcapitalproject.stanford.edu/>>. Acesso em: 06 ago. 2023.

Tobias, A.; Rocha, A.; Ferreira, F. & Sousa, M. 2010. Avaliação dos Impactos Ambientais Oriundos da Extração de Areia no Rio Piracanjuba – Município de Silvana – GO. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, 6(11): 1-8.

Trindade, B.O. 2018. *Análise de Sobreposição de Usos no Lago Guaíba como Suporte ao Zoneamento Ecológico-Econômico.* Porto Alegre. 55f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/181053>

TRF4 - Tribunal Regional Federal da 4ª Região (TRF4). 2022. *FEPAM apresenta Plano de Zoneamento do Rio Jacuí.* Disponível em: <https://www.trf4.jus.br/trf4/controlador.php?acao=noticia_visualizar&id_noticia=16604>. Acessado em: 08 ago. 2023.

Villamil, C.M.B.; Lucena, C.A.S.; Calone, R.G. & Santos, G.O. 1996. Peixes de importância comercial capturados no lago Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. *FEPAGRO*, 10: 5-19.