

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

FACULDADE DE AGRONOMIA

CURSO DE ZOOTECNIA

CAIO PEGORINI

**MACROZONEAMENTO DA PISCICULTURA CONTINENTAL PARA O ESTADO
DO RIO GRANDE DO SUL UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS (SIG)**

Porto Alegre

2021

CAIO PEGORINI

**MACROZONEAMENTO DA PISCICULTURA CONTINENTAL PARA O ESTADO
DO RIO GRANDE DO SUL UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS (SIG)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Zootecnista, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Cesar Godoy

Co-orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

Porto Alegre

2021

CAIO PEGORINI

**MACROZONEAMENTO DA PISCICULTURA CONTINENTAL PARA O ESTADO
DO RIO GRANDE DO SUL UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES
GEOGRÁFICAS (SIG)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado à Faculdade de
Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para
obtenção do título de Zootecnista.

Data de aprovação: __/__/____

Prof. Dr. Leandro Cesar Godoy
Orientador

Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli
Co-orientador

Prof. Dr. Carlos Gustavo Tornquist
Membro da Banca

Porto Alegre

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente àqueles que possibilitaram a realização deste trabalho: ao professor Laurindo, que me orientou desde o início na sua disciplina de SIG, bem como seu aluno PIBIC Péterson, ao Marco Aurélio Rotta e seus apontamentos, e ao professor Leandro com sua dedicação.

Agradeço aos docentes, servidores e técnicos da Faculdade de Agronomia e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Sou grato também aos docentes que reconheceram potencial em mim e proporcionaram a realização de atividades extracurriculares ao longo da graduação: aos professores Leandro Cesar Godoy, Danilo Streit Jr. e aos integrantes do Laboratório de Reprodução e Conservação de Espécies Aquáticas da UFRGS; aos professores Paulo César do Nascimento e Carlos Gustavo Tornquist; aos professores João Carlos Coimbra, María Alejandra Pivel e aos integrantes do Laboratório de Microfósseis Calcários da UFRGS.

Um especial agradecimento aos colegas e às amigadas que fiz na graduação, a quem eu prezo inestimavelmente. Sou infinitamente grato por ter conhecido a Bruna Cony, o Matheus Fagundes, o Rodrigo Vogt, a Jéssica Pereira, a Bruna Garcia, a Edilaine Coelho, a Bárbara Mattana, o Willian Lehr, o Otávio Keller, a Aline Gimba e o Arisneto Cavalcante.

Por fim, gostaria de agradecer à minha família que me apoia desde o princípio, por proporcionar todas as condições necessárias, as quais, sem elas, este trabalho não seria possível.

Ao meu avô que me instigou e me acompanhou nessa jornada fornecendo conselhos, reflexões e debates, além de ter sido meu principal apresentador da realidade do campo, motivo pelo qual eu sou tão grato.

RESUMO

A aquicultura vem ganhando destaque no cenário agropecuário mundial em resposta à crescente demanda por pescados e derivados. Muitas vezes, entretanto, é associada a impactos relacionados à degradação de serviços ecossistêmicos e a conflitos de uso do solo e dos recursos hídricos, envolvendo problemas espaciais como a má seleção de locais para implantação do cultivo de organismos aquáticos. Para dar suporte ao desenvolvimento ordenado e sustentável da aquicultura no estado do Rio Grande do Sul, foi proposto o macrozoneamento da piscicultura continental, utilizando sistemas de informações geográficas. Dezesesseis parâmetros, “promotores” da atividade baseados no modelo de cultivo da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em viveiros escavados e tanques-rede, foram combinados em três submodelos com critérios ambientais, de infraestrutura e socioeconômicos. Utilizando o *software* ArcGIS 10.3.1, a combinação linear ponderada integrou todos os fatores, e, após a extração de Unidades de Conservação do modelo, foi produzido um mapa para a piscicultura continental, de acordo com uma Escala de aptidão. Os resultados mostram que a maior parte do território gaúcho possui boa aptidão para a piscicultura continental, e poucas áreas com aptidão “regular”. Receberam classe de aptidão “excelente” as regiões metropolitanas e arredores de Porto Alegre; ao longo do limite sul do Planalto Meridional (“Serra Geral”) de Triunfo a Rio Pardo e Candelária, no entorno de Santa Cruz do Sul; no noroeste do Estado próximo de São Luiz Gonzaga e Santo Ângelo; e regiões ao redor de Rio Grande, Pelotas e São Lourenço do Sul, na porção centro-sul da Planície Costeira. O macrozoneamento evidencia o potencial de desenvolvimento da piscicultura no estado, e que com o uso das geotecnologias é possível identificar a aptidão para aquicultura. Ainda assim, é um problema espacial complexo pois envolve as espécies consideradas e a definição de parâmetros preditores e a escolha de modelos adequados.

Palavras-chave: Aquicultura. Geotecnologias. Sistemas de Informações Geográficas. Zoneamento Aquícola. Seleção de Áreas para Aquicultura.

ABSTRACT

Aquaculture has gained prominence in the world's agriculture scenario, in response to the growing demand for fish and its products. However, it is often associated with undesirable impacts related to the degradation of ecosystem services and conflicts concerning the use of land and water resources, thereby involving spatial problems such as poor site selection for the implantation of aquaculture farming systems. To support the sustainable and well-ordered development of aquaculture in the state of Rio Grande do Sul, southern Brazil, a proposal for macro-zoning of inland fish farming was carried out, using geographic information systems (GIS). Sixteen parameters, considered "promoters" of the activity based on the model of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in land-based ponds and cages, were combined into three sub-models concerning environmental, infrastructure and socioeconomic criteria. Using ArcGIS 10.3.1, a weighted linear combination (WLC) technique integrated all the factors. Thus, after extracting federal and municipal Conservation Units (CUs) from the model, a map was produced, which represents the suitability for a inland fish farming in the Rio Grande do Sul state, according to an suitability scale. The map showed that most of the state's territory has good suitability for inland fish farming, with some areas possessing "regular" suitability. The "excellent" suitability stated areas covered the metropolitan region and surroundings of Porto Alegre; along the southern boundary of the Meridional Plateau ("Serra Geral") from Triunfo to Rio Pardo and Candelária, around Santa Cruz do Sul; in the northwest of the state near São Luiz Gonzaga and Santo Ângelo; and regions around Rio Grande, Pelotas and São Lourenço do Sul, in the south-central portion of the Coastal Plain. This way, macro-zoning highlights the potential for development of fish farming in the state, as well as the geotechnologies' accomplishment to identify suitable areas for aquaculture; despite concerning a complex spatial problem – as shown in the literature review on the use of geotechnologies and geoprocessing techniques for aquaculture zoning and selection of suitable areas for aquaculture.

Keywords: Aquaculture. Geotechnologies. GIS. Aquaculture zoning. Site selection for aquaculture.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: ESTADO-DA-ARTE DO USO DE GEOTECNOLOGIAS E GEOPROCESSAMENTO EM AQUICULTURA.....	13
2.1 AQUICULTURA.....	13
2.2 APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS EM AQUICULTURA.....	19
2.2.1 Zoneamento aquícola.....	22
2.3 TÉCNICAS DE ANÁLISE ESPACIAL UTILIZADAS EM GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO ZONEAMENTO AQUÍCOLA.....	24
2.3.1 Geoprocessamento e sistemas de informações geográficas	24
2.3.2 Técnicas de análise espacial em avaliação multicriterial para aquicultura e zoneamento aquícola.....	29
3. PROPOSTA DE MACROZONEAMENTO DA PISCICULTURA CONTINENTAL PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	37
3.1 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.1.1 Área de estudo	37
3.1.2 Considerações gerais.....	39
3.1.2.1 Espécie e modelo de produção.....	39
3.1.2.2 Fatores produtivos da cadeia da piscicultura	39
3.1.3 Análise multicriterial para seleção de áreas aptas para piscicultura continental	40
3.1.3.1 Definição e pesagem dos critérios, normalização, cálculo do índice de aptidão e mapeamento	40
3.1.3.2 Software SIG, aquisição e tratamento dos dados	42
3.1.3.3 Análise multicriterial: metodologia geral.....	44
3.2 RESULTADOS	46
3.2.1 Aptidão ambiental.....	47
3.2.2 Aptidão de infraestrutura	53
3.2.3 Aptidão Socioeconômica	57
3.2.3 Macrozoneamento de Aptidão da Piscicultura Continental no Rio Grande Do Sul	61
3.3 DISCUSSÃO	65
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura vem ganhando destaque no cenário agropecuário mundial, em resposta à crescente demanda por pescados e derivados (FAO, 2020). Segundo o Anuário Peixe-Br da Piscicultura, em 2020 o Brasil produziu 800 mil toneladas de peixes de cultivo (houve um crescimento de 5,9% em relação ao ano anterior), e a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) representa 60% desse volume (468 mil toneladas). Há a expectativa que, em 20 anos, o Brasil será o maior produtor mundial de peixes de cultivo, especialmente de tilápia.

Tal expectativa baseia-se nas condições ambientais e econômicas do país, consideradas favoráveis para a atividade: Disponibilidade de terras, recursos hídricos, clima favorável, e a participação de diversos agentes e elos produtivos da cadeia, incluindo fornecedores de insumos, frigoríficos, assistência técnica, profissionais, pesquisadores, entidades de classe e instituições públicas qualificadas.

Em 2020 o estado do Rio Grande do Sul apresentou um crescimento de 4,4% na produção de peixes de cultivo em relação ao ano anterior, atingindo mais de 26 mil toneladas. Dessas, a maior parte foram as carpas, seguidas de tilápia e de peixes nativos. Se comparado a outros estados como Santa Catarina, Paraná e São Paulo, está muito atrás no ranking da produção no país (Anuário Peixe-Br, 2021).

Em parte, é possível explicar esse desempenho por conta de motivos sociais e culturais, principalmente com relação à tilápia. De acordo com Siqueira (2016), a piscicultura está presente em grande parte das propriedades rurais no estado, em sistemas extensivos, de forma que, muitas vezes, a atividade é voltada para a subsistência. Poucas vezes a atividade possui caráter empresarial ou de maior relevância para os produtores rurais. Além disso, a cadeia produtiva da piscicultura comercial se estabeleceu no estado recentemente, de modo que determinadas contribuições ainda precisam ser realizadas para o seu desenvolvimento em território gaúcho.

Uma forma de analisar os desafios do desenvolvimento da aquicultura, particularmente sob o ponto de vista espacial, é utilizando ferramentas que dão grande

suporte ao planejamento e ordenamento territorial: os sistemas de informações geográficas (SIG).

Por conta da sua capacidade de realizar análises complexas, integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados geo-referenciados (Câmara e Davis, 2001), os SIGs são muito úteis em diversas aplicações de variadas atividades humanas. Por exemplo, na área ambiental e no monitoramento de desastres naturais (Barbosa et al., 2011); em empresas concessionárias de serviços como telefonia, energia ou saneamento (Tavares e Borges, 2018); em estudos econômicos associados à localização espacial (“*geomarketing*”) (Hellmann, 2009); em estudos geológicos e de prospecção mineral (Araújo, 2017); na identificação de áreas para indústrias (Rikalovic et al., 2014); em diversas aplicações na agricultura (Assad e Sano, 1998), e na aquicultura (Bonetti e Viann, 2016).

Em combinação com outras geotecnologias, os sistemas de informação geográfica são amplamente utilizados na identificação e seleção de áreas aptas para desenvolvimento da aquicultura, em diversas regiões do mundo. Propõe-se que conferem oportunidades da resolução de alguns dos mais relevantes problemas pertinentes à atividade aquícola: problemas sanitários; ambientais; produtivos; mercadológicos e de beneficiamento; financeiros e de políticas econômicas; conflitos sociais e resiliência frente a riscos de desastres naturais (Soto e Aguilar-Manjarrez, 2015).

Este trabalho trata da utilização de sistemas de informações geográficas e técnicas de Geoprocessamento na identificação de áreas aptas para a aquicultura, isto é, o zoneamento aquícola; focalizando numa aplicação prática para o estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

1.1 Objetivos

Objetivo Geral:

Realizar o macrozoneamento da piscicultura continental para o estado do Rio Grande do Sul.

Objetivos Específicos:

- Revisar sobre as abordagens empregadas em estudos envolvendo geotecnologias e aquicultura, em especial o zoneamento aquícola e a seleção de áreas aptas para aquicultura;
- Demonstrar a capacidade dos sistemas de informações geográficas em proporcionar um estudo de zoneamento aquícola; e
- Identificar e espacializar a aptidão para o cultivo de tilápia-do-nylo (*Oreochromis niloticus*) no Rio Grande do Sul, segundo critérios ambientais, de infraestrutura e socioeconômicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: ESTADO-DA-ARTE DO USO DE GEOTECNOLOGIAS E GEOPROCESSAMENTO EM AQUICULTURA

2.1 Aquicultura

A aquicultura é uma atividade humana milenar que foi desenvolvida ao longo dos séculos integrando as esferas natural, econômica, social e cultural. Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura), aquicultura é definida como:

“O cultivo de organismos aquáticos incluindo peixes, moluscos, crustáceos e plantas aquáticas. É necessário algum grau de intervenção humana para que os organismos sejam produzidos, tal como o estoque controlado, alimentação, proteção contra predadores, etc. Também implica em uma posse (propriedade) individual ou coletiva do estoque, um planejamento e operação dos sistemas, práticas, lugares, benfeitorias, produção e transporte.” (FAO - Fisheries & Aquaculture, 2021)

Graças ao progresso científico, observou-se um maior desenvolvimento da aquicultura nos séculos XX e XXI, e, como resultado, hoje essa atividade fornece mais do que a metade do volume de peixes, crustáceos e moluscos para consumo humano (52%), em relação à pesca (Cai e Zhou, 2019; FAO, 2020). Apesar disso, ainda está muito aquém em termos de desenvolvimento científico e tecnológico, se comparado, por exemplo, às criações animais tradicionais do ramo da agropecuária (Parker, 2012).

A partir da definição estabelecida pela FAO, a aquicultura integra o cultivo de organismos cujo ciclo de vida ocorre totalmente, ou, parcialmente em meio aquático. Portanto, ela inclui principalmente as atividades de: piscicultura, que diz respeito à criação de peixes (ex.: carpa-comum – *Cyprinus carpio*); carcinicultura, que diz respeito à criação de crustáceos, como lagostas, caranguejos e camarões (ex.: camarão-branco-do-pacífico – *Litopenaeus vannamei*); malacocultura, ou seja, o cultivo de moluscos, como mexilhões, vieiras e ostras (ex.: ostra-do-pacífico – *Crassostrea gigas*) e algicultura, isto é, o cultivo de microalgas e macroalgas (ex.: laminaria japônica ou kombu – *Laminaria japonica*). Aquicultura também engloba o

cultivo de anfíbios (ranicultura), como a rã-touro (*Lithobates catesbeianus*); e de répteis, i.e. os quelônios e jacarés.

Segundo a FAO (2020), em 2018, pela aquicultura foram produzidas no mundo 54,3 milhões de toneladas de peixes (principalmente as carpas, tilápia-do-nilo – *Oreochromis niloticus*, salmão-do-atlântico – *Salmo salar* e panga – *Pangasianodon hypophthalmus*); 9,4 milhões de toneladas de crustáceos (principalmente o camarão-branco-do-pacífico) e 17,7 milhões de toneladas de moluscos (principalmente as ostras do gênero *Crassostrea spp.*, ameijoia japonesa – *Ruditapes philippinarum* e vieiras) (Tabela 1). Também foram produzidas 32,4 milhões de toneladas de macroalgas.

Tabela 1. Produção de peixes, crustáceos e moluscos pela aquicultura em 2018, no mundo.

Grupos	Quantidade (ton)	%
Peixes	54,3	66,1
Moluscos	17,7	21,5
Crustáceos	9,4	11,4
total	82,1	100

Fonte: FAO, 2020

Para o escopo deste trabalho, cabe abordar outras classificações pertinentes à atividade de aquicultura.

O ambiente onde os organismos aquáticos são cultivados molda as condições de operação e planejamento dos sistemas, benfeitorias, práticas, produção e transporte.

Em aquicultura, os ambientes de cultivo são identificados como: continental, costeiro ou marinho; e se diferenciam de acordo com o lugar onde são realizadas as operações de cultivo e produção. Ou seja, se a atividade é desenvolvida em corpos hídricos interiores (denominando-se *aquicultura continental*) como rios, córregos, barragens e estruturas artificialmente construídas para abrigar estoques, como viveiros escavados de terra; ou, se em regiões na linha de costa ou próximo a elas na plataforma continental, como praias, estuários e fiordes. Também podem se

diferenciar de acordo com as características químicas da água utilizada na atividade, ou seja, se é água doce, salobra, ou marinha – esta também é chamada *maricultura*.

Na maricultura, os principais fatores levados em consideração no planejamento, dimensionamento e seleção de áreas para implantação de cultivos são as condições climáticas e hidrográficas (ex.: velocidade do vento e correntes marítimas) (Tidwell, 2012). Na aquicultura continental, diversos fatores influenciam esses processos, dentre eles, as características físico-químicas do solo, a qualidade e quantidade de água e a declividade (Proença e Bittencourt, 1994; Kutty e Pillay, 2005; Viann e Bonetti, 2016). Viveiros escavados utilizados em aquicultura continental muitas vezes são localizados em vales, leitos de rios, terras impróprias para a agricultura, pântanos, etc. Em alguns casos, a aquicultura continental também é praticada em águas salobras ou com maior grau de salinidade para produzir espécies naturalmente adaptadas ou tolerantes a tais ambientes.

A aquicultura continental contribui para a maior parte de animais aquáticos cultivados, principalmente em água doce – em 2018, a produção em aquicultura continental foi responsável por 86,5% dos peixes para consumo no mundo, com relação aos demais ambientes de cultivo (FAO, 2020). Viveiros escavados de terra são tradicionalmente o tipo mais comum utilizado em aquicultura continental, ainda que os *raceways*, tanques elevados e tanques-rede também sejam bastante utilizados onde as condições locais são favoráveis.

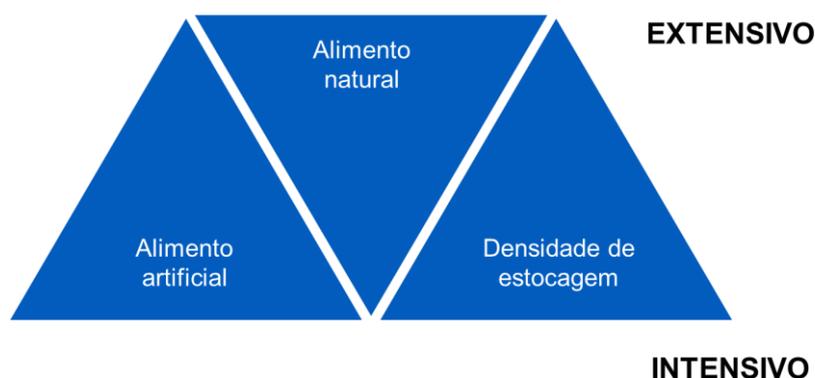
Além das características químicas, a temperatura da água também diferencia os sistemas de aquicultura e influencia suas condições de operação e planejamento. Os animais manejados em aquicultura são pecilotérmicos, o que significa que a temperatura interna de seus organismos depende da temperatura externa do ambiente em que se encontram. Dessa forma, é fundamental que o sistema de cultivo ofereça uma temperatura adequada para o seu desenvolvimento.

É possível agrupar os organismos aquáticos cultivados em aquicultura entre espécies temperadas, espécies tropicais e espécies de água morna. Espécies temperadas como a truta-arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), o salmão do atlântico e a ostra-do-pacífico são aquelas cujo desenvolvimento ótimo ocorre em águas com temperaturas abaixo de 20°C. Espécies de água morna, como a carpa-comum, o

bagre-do-canal (*Ictalurus punctatus*), o camarão-branco-do-pacífico e o camarão-gigante-da-malásia (*Macrobrachium rosenbergii*) possuem desenvolvimento ótimo em águas com temperaturas em torno de 30°C. Por fim, espécies tropicais são aquelas cujo desenvolvimento ótimo se dá em águas com temperaturas levemente acima de 30°C, a exemplo da tilápia-do-nylo, do tambaqui (*Colossoma macropomum*), do pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*), do cachara (*Pseudoplatystoma fasciatum*), dentre outros (Tidwell, 2012; Teixeira, 2006).

Além disso, os sistemas de produção aquícolas podem ser classificados de acordo com a intensificação da produção e o emprego de tecnologia, particularmente com relação ao uso de alimentação balanceada e à densidade de estocagem de animais (Figura 1). Nesse sentido, sistemas extensivos são aqueles que dependem totalmente dos processos ecológicos naturais (produção primária), utilizando assim, baixas densidades de estocagem – por exemplo, cultivo de peixes em lagos naturais. Sistemas semi-intensivos utilizam ração balanceada mas ainda com algum grau de dependência da alimentação natural, possuindo densidades médias de estocagem – por exemplo, cultivo de peixes em viveiros escavados artificialmente construídos, com um controle maior dos fluxos de entrada, e de saída (efluentes) de água. Sistemas intensivos e superintensivos utilizam exclusivamente ração balanceada, altas densidades de estocagem e buscam o controle total dos parâmetros importantes para o cultivo (qualidade de água) e dos fluxos de entrada e saída – por exemplo, sistemas de *raceways*, sistemas de recirculação (RAS: “*recirculating aquaculture systems*”) e tanques-rede. Essas subdivisões são empregadas principalmente para caracterizar sistemas em piscicultura (Crepaldi et al., 2006).

Figura 1. Intensificação do sistema de produção a partir do uso de alimentação balanceada e da densidade de estocagem.



Fonte: Adaptado de Cyrino (1996).

A intensificação da produção pode ser considerada uma alternativa à expansão das áreas para produção aquícola (Crepaldi et al., 2006), reduzindo assim, possíveis conflitos de uso da terra e dos recursos hídricos. Em um estudo realizado pela FAO/Banco Mundial (FAO, 2003), a intensificação foi elencada juntamente com outras quatro principais estratégias sugeridas para mitigar a pobreza no espaço rural: diversificação, êxito da agricultura, aumento da renda fora da propriedade e aumento do acesso à informação. Dentre elas, a diversificação, que inclui a aquicultura, foi considerada a estratégia mais promissora para redução da pobreza rural nos próximos anos.

A disseminação e a implantação das tecnologias disponíveis para intensificação da produção são limitadas por questões socioeconômicas e institucionais, dificultando o avanço da contribuição da aquicultura para o desenvolvimento rural (Crepaldi et al., 2006).

Ainda assim, a aquicultura, especialmente a aquicultura de pequena escala (Martínez-Espinosa, 2001), pode ser considerada uma importante aliada no aumento do acesso a alimentos de alto valor nutritivo e na redução da pobreza nas comunidades que a praticam, quando desenvolvida com o auxílio de políticas sociais e de sustentabilidade ambiental. Fernández (2005) identifica três grupos de aspecto socioeconômico na atividade da aquicultura: a *aquicultura de pequena escala* (ou de subsistência) é realizada por pequenos produtores ou unidades familiares, de maneira principalmente extensiva a semi-intensiva, voltada para o consumo próprio ou a diversificação da renda e da produção, e pouco acesso aos sistemas governamentais de acesso a crédito. A *aquicultura comercial* possui um grau maior de desenvolvimento tecnológico e de intensificação, é realizada exclusivamente com fins comerciais, tem maior acesso a crédito e pode ser uma atividade industrial de grande escala. Por fim, a *aquicultura dirigida à reposição de estoques* inclui atividades que envolvem a tentativa de proporcionar a repopulação de espécies nativas, aliada ao incremento da produção de alimentos, como proposto no trabalho de Gomes (2019).

A aquicultura como aliada ao desenvolvimento sustentável nos âmbitos social, econômico e ambiental vem atraindo a atenção da sociedade e dos agentes atuantes

na sua cadeia produtiva. No entanto, ainda são necessárias importantes contribuições, visto que são observados impactos indesejáveis em escalas locais, regionais e globais. Esses relacionam-se com a degradação de serviços ecossistêmicos, bem como com conflitos de uso do solo e dos recursos hídricos; insuflando debates sobre temas de grande relevância, dentre eles: uso exacerbado de substâncias químicas e drogas veterinárias prejudiciais ao ambiente; escape de espécies exóticas; degradação de habitats; impactos sociais e culturais em aquicultores e comunidades e, por fim, locais de cultivo mal-selecionados (FAO, 2021).

A escolha do local para implementação de um empreendimento aquícola é geralmente baseada nas espécies que serão cultivadas e suas tecnologias necessárias associadas ao cultivo, de acordo com os requerimentos do mercado e preferências de consumidores. Entretanto, a inversão dessa ordem também é válida: se for preferível condicionar o cultivo a um determinado local, então a seleção desse local será orientada através da determinação das espécies que nele podem ser cultivadas, assim como as tecnologias mais adequadas para sua utilização (Avault, 1996; Kutty e Pillay, 2005).

Se o local avaliado será adequado para o devido propósito (o cultivo de organismos aquáticos), isso dependerá prioritariamente de três grandes grupos de critérios: a(s) espécie(s) considerada(s); a tecnologia empregada; e, por fim, as características do local que propiciam a aptidão para o cultivo em questão. Tais características devem envolver fatores de aspecto ambiental (características dos solos, topografia, disponibilidade de recursos hídricos, características hidrológicas e climáticas, etc), logísticos (acesso a insumos, vias de transporte disponíveis, etc), econômicos e sociais (acesso a mercados consumidores, acesso a assistência técnica e mão-de-obra qualificada, etc). Todos esses três grandes grupos de critérios devem obedecer a exigências legais e ambientais para proporcionar uma atividade sustentável (Kutty e Pillay, 2005; Tidwell, 2012; Viann e Bonetti, 2016).

Os fatores importantes relativos às características de um local avaliado para implantação de um empreendimento aquícola possuem relações com diversas dimensões do espaço. Pois muitas vezes estão interligados a realidades ambientais e socioeconômicas de escala regional – p. ex., o acesso a vias de transporte e

fornecedores de insumos envolvem distâncias que já não dizem mais respeito à escala local do sítio avaliado para o empreendimento. Além disso, todos os fatores relacionam-se de forma complexa, entre si e também com outras realidades, humanas e ambientais, no espaço. Sendo assim, a avaliação de um local adequado para implantação de um empreendimento aquícola envolve uma análise das realidades e dos conceitos relativos ao *espaço geográfico*.

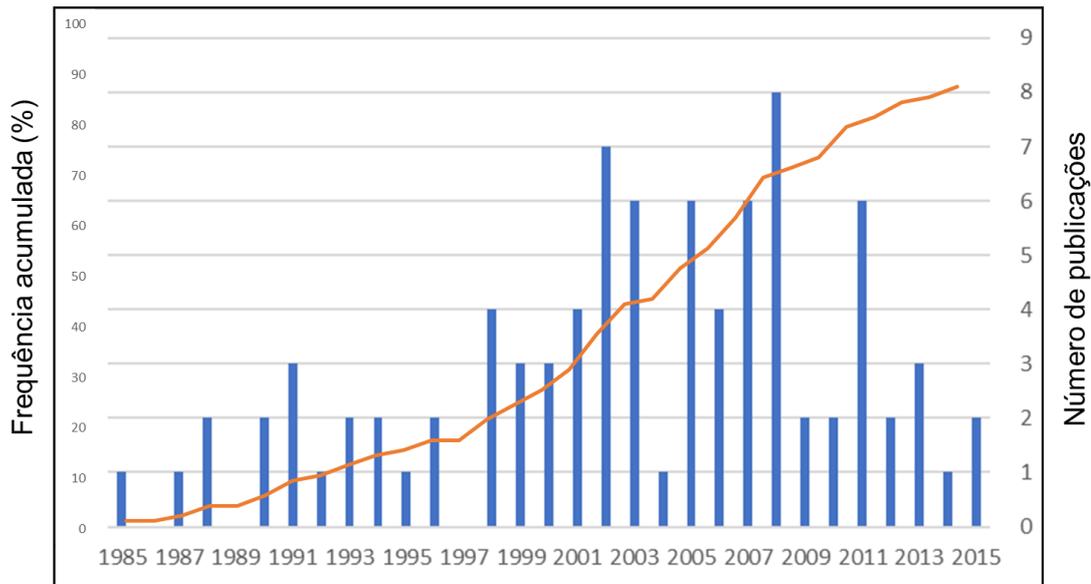
Por conta disso, observa-se nas últimas décadas um aumento da utilização de tecnologias que auxiliam a compreensão do espaço geográfico em suas variadas escalas e contextos. Estas tecnologias abarcam as *geotecnologias* e o *geoprocessamento*; e a sua utilização na avaliação de locais para implantação de empreendimentos aquícolas, i.e. na aptidão para a aquicultura, que remete ao assunto deste trabalho, será detalhada a seguir.

2.2 Aplicação de Geotecnologias em Aquicultura

As ciências, tecnologias e técnicas desenvolvidas nas últimas décadas para coletar, armazenar e processar as informações relativas ao espaço geográfico são denominadas geotecnologias. Dentre elas, é possível mencionar a topografia, a geodésia, o sensoriamento remoto, os bancos de dados geográficos, os sistemas de informações geográficas, etc. (Ferreira, 2006).

Segundo Viann e Bonetti (2016), na década de 1980 surgiram os primeiros estudos com aplicação de geotecnologias em aquicultura. O aumento do acesso a computadores pessoais e a evolução das técnicas de geoprocessamento proporcionaram um aumento significativo no número de publicações sobre esse tema na década seguinte, consolidando-se efetivamente como um domínio de pesquisa (Figura 2).

Figura 2. Quantidade de publicações e frequência acumulada (%) abordando geotecnologias aplicadas à aquicultura, levantados em uma plataforma da FAO, desde 1985.



Fonte: Adaptado de Viann e Bonetti (2016).

As pesquisas em aquicultura têm utilizado diferentes escalas geográficas, regiões de estudo e fisiografias. De acordo com os seus objetivos, podem abranger unidades particulares do espaço geográfico pertinentes ao interesse do desenvolvimento da atividade, como as costas litorâneas (Souza et al., 2012), uma bacia hidrográfica (Cota et al., 2021) ou um estuário (Gomes, 2019). Podem também, por exemplo, buscar selecionar áreas propícias para instalação de tanques-rede (Bueno et al., 2013). Seliger et al. (2021) constata que a maior parte das pesquisas focam no zoneamento em regiões (Aryal e Paudel, 2008; Falconer et al., 2016; Assefa e Abebe, 2018), em vez de países ou áreas supranacionais (Kapetsky e Nath, 1997; Gomes Ferreira et al., 2020).

Com relação aos ambientes de aquicultura, as pesquisas se diferenciam de acordo com o foco em aquicultura continental (interiorana) (Mcleod et al., 2002; Ssegane et al., 2012; Falconer et al., 2016), ou costeira e marinha (maricultura) (Buck e Langan, 2017; Gimpel et al., 2018). Além disso, podem voltar-se para uma espécie de cultivo específica (Salam et al., 2005); para um grupo de espécies que demandam condições de cultivo semelhantes, a exemplo da piscicultura tropical (Rotta et al., 2017) e temperada (Ross et al., 1993; Seliger et al., 2021); ou para a própria tipificação de um setor produtivo como um todo (Bachari e Laama, 2018). Nesse sentido,

diversas podem ser as considerações elencadas, dependendo do escopo e dos objetivos do estudo.

Com relação às geotecnologias, muitos estudos integram informações coletadas em levantamentos de campo, a partir da digitalização de produtos cartográficos, de imagens de satélites orbitais (Sensoriamento Remoto) e de bases de dados georreferenciados disponibilizados por instituições públicas e empresas, utilizando sistemas de informações geográficas (SIG) e técnicas de geoprocessamento (Völker e Scott, 2008; Freitas, 2011; Souza et al., 2012; Cota et al., 2021).

Viann e Bonetti (2016) observaram que as geotecnologias são utilizadas na aquicultura principalmente para: caracterizar ambientes aquícolas; avaliar o potencial para aquicultura (zoneamento); e selecionar sítios para aquicultura. A caracterização de ambientes aquícolas constitui uma abordagem descritiva, focada na compreensão do espaço geográfico no que diz respeito aos fatores, elementos, agentes ou processos pertinentes ao setor aquícola. Trata-se de uma análise associada ao mapeamento temático, e tem por objetivo fornecer informações acerca do ambiente aquícola representado (Kapetsy et al., 1998; Vianna et al., 2002; Freitas, 2011; Cota et al., 2021).

A avaliação do potencial de áreas para aquicultura, também designada como zoneamento aquícola, tem por objetivo identificar as áreas aptas à atividade a partir da utilização de modelos matemáticos e estatísticos. Tais análises costumam basear-se nos fatores empregados nos estudos de caracterização dos ambientes aquícolas retratados, geralmente elencando aqueles considerados de maior importância nos quesitos ambientais, sociais, econômicos, logísticos e legais. Resultam em mapas representando a distribuição espacial do potencial para a aquicultura em uma região, considerando os fatores utilizados no modelo (Kapetsky et al., 1990; Aguilar-Manjarrez e Ross, 1993; Völcker e Scott, 2008; Vianna e Novaes, 2011; Bachari e Laama, 2018).

A seleção de áreas é um processo decisório que envolve a gestão territorial ou a gestão costeira, bem como a participação de tomadores de decisão (administradores, gestores públicos, “*stakeholders*”, investidores, etc). É sustentada pela interpretação dos resultados obtidos na caracterização dos ambientes aquícolas

e nos modelos de avaliação do potencial; e voltada para a aplicação final a que se propõem (Vianna et al., 2012).

Na literatura, é possível encontrar trabalhos que tratam individualmente alguma das três abordagens referidas por Viann e Bonetti (2016). Entretanto, ambas estão intimamente relacionadas e quase podem ser consideradas etapas consecutivas de um escopo maior, e mais abrangente. Por exemplo, a seleção de áreas para aquicultura baseia-se em estudos preliminares que apresentam as áreas mais aptas para a atividade em uma determinada região. Da mesma forma, espera-se que trabalhos que buscam determinar áreas mais aptas utilizem uma caracterização prévia do ambiente aquícola examinado, como em Freitas (2011); Silva et al. (2011); Rotta et al. (2017) e Gomes (2019).

Dentre essas abordagens, o zoneamento aquícola tem sido amplamente desenvolvido no que diz respeito às metodologias empregadas e aos resultados alcançados, por tratar-se de um potencial suporte para a tomada de decisão, e por estar intimamente relacionado com as outras duas. Ele também vem atraindo especial atenção pela FAO (Soto e Aguilar-Manjarrez, 2015), em outros países (Hossain et al., 2007; Radiarta et al., 2011; Bachari e Laama, 2018; Seliger et al., 2021) por parte de pesquisadores brasileiros (Coelho e Torres, 1983; Silva, 2002; Vianna e Scott, 2009; Freitas, 2011) e instituições públicas brasileiras como a Embrapa.

2.2.1 Zoneamento aquícola

O Brasil possui, reconhecidamente, um grande potencial de desenvolvimento para a aquicultura. O território brasileiro possui aproximadamente 12% da água doce disponível no planeta (Tundisi e Tundisi, 2008), 5,5 milhões de hectares de reservatórios de água doce (ANEEL, 2011) e uma costa marítima com 8.400 km de extensão.

No desenvolvimento ordenado e sustentável da aquicultura, o zoneamento aquícola vem somando interesses por parte de instituições públicas brasileiras como a Embrapa (Simon e Weber, 2015) que definiu-o como uma nova variação da ferramenta de Zoneamento. Dentre outras variações já há muito tempo utilizadas e regulamentadas pela Política Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 1981) como, por

exemplo, o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), que estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade (Brasil, 2002); o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) que é utilizado em avaliações de financiamento agrícola e tem por objetivo evitar que adversidades climáticas coincidam com as fases mais sensíveis das culturas vegetais, minimizando assim as perdas agrícolas (Embrapa, 1995), dentre outros (Silva e Santos, 2004).

O zoneamento consiste numa ferramenta multidisciplinar de grande utilidade na sociedade moderna, pois identifica e quantifica as potencialidades específicas ou preferenciais dos subespaços ou subáreas de um território em estudo. O seu objetivo principal é realizar divisões e classificações do espaço, a partir da análise integrada entre fatores ecológicos, econômicos e sociais (IBGE, 1986). Dentre outras resoluções, permite identificar regiões ociosas e que poderiam estar produzindo, e auxiliar no dimensionamento ambiental das políticas de dimensionamento (Rosa, 1996); constituindo um instrumento fundamental para a organização do território.

Por sua vez, o zoneamento aquícola possui potencial para fornecer soluções face à complexidade da questão espacial da gestão do território, que envolvem múltiplos fatores influenciando a tomada de decisão. Pode contribuir para a formulação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento do setor, e também fornecer informações valiosas que concernem ao uso e ocupação do solo e dos recursos hídricos. Temática particularmente relevante no caso da maricultura, na qual os conflitos associados ao espaço costeiro envolvem os diversos usos, a expansão da mancha urbana e os interesses pela exploração do potencial aquícola, demandam estudos de zoneamento a fim de garantir o seu desenvolvimento econômico, social e ambiental (Ross et al., 2013).

Em documento publicado pela FAO (Soto e Aguilar-Manjarrez, 2015), os autores elencaram os seguintes problemas comuns na aquicultura que conferem oportunidades de sua resolução pelo zoneamento aquícola: problemas sanitários; ambientais; produtivos; mercadológicos e de beneficiamento; financeiros e de políticas econômicas; conflitos sociais e resiliência frente a riscos ambientais. O zoneamento aquícola também contribui para uma melhor coordenação entre agências públicas envolvidas no licenciamento e monitoramento de processos.

Estudos de zoneamento aquícola demonstram o potencial de uso de SIG e técnicas de Geoprocessamento para a identificação de áreas propícias para a aquicultura; além da geração de instrumentos que auxiliam na tomada de decisões legais e de gestão da atividade, na formulação de estratégias de desenvolvimento e políticas públicas para o setor, e no amparo a investidores interessados em promover a atividade; de maneira sustentável, respeitando as limitações e potencialidades do ambiente e reduzindo conflitos de uso do solo e dos recursos hídricos (Scott e Völcker, 2008; Freitas, 2011; Soto e Aguilar-Manjarrez, 2015; Laama e Bachari, 2018; Seliger et al., 2021).

O documento publicado pela Embrapa (Simon e Webber, 2015) enfatiza o promissor suporte que as geotecnologias e as técnicas de Geoprocessamento conferem para estudos de zoneamento aquícola:

“As geotecnologias agilizaram sobremaneira a realização de levantamentos dos aspectos físicos do ambiente, fornecendo maior funcionabilidade e consistência aos dados que subsidiam tomadas de decisão para zoneamentos aquícolas. O uso de SIG neste contexto funciona como um instrumento de compilação e processamento de informações geoespaciais, ora obtidas através de sensoriamento remoto, dados secundários georeferenciados e/ou aferições em campo, que quando submetidos a métodos geoestatísticos de interpolação, modelagens matemáticas e avaliações multicritério aperfeiçoam o processo de tomada de decisão de zoneamentos aquícolas.” (Simon e Webber, 2015, pg. 29).

2.3 Técnicas de Análise Espacial Utilizadas em Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Aquícola

2.3.1 Geoprocessamento e sistemas de informações geográficas

Segundo Câmara e Davis (2001), o Geoprocessamento pode ser entendido como “a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica” – isto é, informações de *algo* descrito e observado em um determinado *local* da superfície da Terra (Ferreira, 2006). Sob essa perspectiva, os sistemas de informações geográficas (SIG ou “GIS” em inglês, de “geographic information systems” são considerados as ferramentas computacionais do Geoprocessamento.

Sistemas de informações geográficas podem ser definidos como conjuntos de programas computacionais (*softwares*), equipamentos (*hardware*), recursos humanos, dados geográficos e metodologias (Figura 3), empregados na resolução de problemas que demandam a sua aplicação (Teixeira et al., 1995). As operações utilizando SIG envolvem a coleta, o armazenamento, a recuperação, o tratamento e a manuseio de dados espaciais georreferenciados – isto é, dados observáveis na superfície terrestre e que estão vinculados a um sistema de coordenadas geográficas. A partir dessas operações, são produzidas informações geográficas na forma de mapas, tabelas, gráficos, relatórios, etc.

Figura 3. Representação esquemática de um sistema de informações geográficas.



Fonte: Ferreira, 2006.

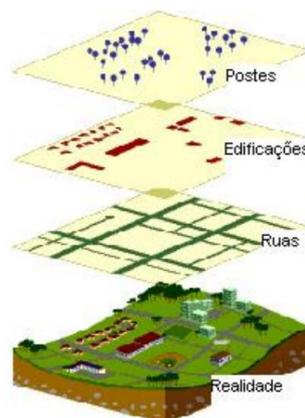
Um SIG é assim designado, pois lida com dados geográficos. Dados geográficos são um tipo especial de dados espaciais, visto que possuem quatro componentes fundamentais: uma componente espacial (a posição geográfica referenciada de um fenômeno, bem como sua geometria representada); uma componente não-espacial (a descrição alfanumérica e dos atributos relativos ao fenômeno); uma componente temporal (pois o fenômeno é representado em um determinado momento na sua forma e função) e, por fim, a componente relativa à documentação ou, os metadados (as “regras” que deverão ser consideradas para o correto uso do dado no computador).

Os SIGs são capazes de fornecer informações importantes pertinentes ao espaço geográfico. Contudo, para operar um SIG (ou um *software* de SIG), é preciso

que as informações do espaço geográfico presentes no “mundo real” sejam representadas em modelos de dados digitais para que sejam adequadamente utilizadas no ambiente computacional. Isso pode acarretar em importantes consequências: a redução das complexidades geométrica, temporal e holística do mundo real (Câmara e Monteiro, 2001; Ferreira, 2006). Conceitualmente, tal preocupação é abordada por Gomes e Velho (1995) em seu “paradigma dos quatro universos”, argumentando que o processo de tradução do “universo do mundo real” (entidades geográficas) para o ambiente computacional deveria buscar envolver uma íntegra converção em um “universo matemático” ou conceitual, posteriormente em um “universo de representação” (geométrica e alfanumérica), para que então as entidades sejam efetivamente aplicadas dentro de um “universo de implementação”.

No ambiente computacional dos *softwares* de sistemas de informações geográficas, são utilizados conjuntos de camadas temáticas para representar os elementos do espaço geográfico (Figura 4). A arquitetura dos *softwares* determina a estrutura e organização dessas camadas (também denominadas “planos de informação”). A totalidade do conjunto de camadas temáticas constitui um banco de dados geográficos, sendo que, abordagens tecnológicas modernas utilizam o conceito de “sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais” (SGBR), os quais aplicam um sistema de chaves que relaciona dados gráficos espaciais (geometrias e localizações) e dados descritivos associados (tabelas de atributos alfanuméricos) (Câmara et al., 1996).

Figura 4. Camadas temáticas (planos de informação) representando elementos geográficos, constituindo assim, um banco de dados geográficos.



Fonte: Ferreira, 2006.

A aquisição de dados geográficos é um processo fundamental na construção de um banco de dados geográficos utilizado em uma determinada aplicação. As geotecnologias são as principais ciências, técnicas e ferramentas utilizadas na coleta de dados geográficos, necessitando atentar-se para o detalhamento, precisão e acurácia dos dados, que devem ser compatíveis com os objetivos dos trabalhos que produzem informações geográficas com o SIG (Câmara e Davis, 2001; Ferreira, 2006).

Trabalhos utilizando Geoprocessamento para a caracterização, zoneamento aquícola ou identificação de áreas aptas para a aquicultura, utilizam dados fornecidos por sensores remotos orbitais, coletados em campo, digitalizados de produtos cartográficos e disponibilizados por instituições públicas e empresas, para a aquisição de dados geográficos, e subsequente construção de um banco de dados geográficos (Völker e Scott, 2008; Freitas, 2011; Souza et al., 2012; Cota et al., 2021).

Os dados geográficos deverão atentar-se para a compatibilidade do formato e/ou estrutura de dados, requerida para a produção de informações geográficas, de acordo com os seus objetivos. A aquisição de dados geográficos representa uma das etapas mais importantes na produção de informações geográficas, sendo necessário grande atenção com relação à qualidade, compatibilidade e aplicabilidade dos dados.

Segundo Davis e Câmara (2001), é possível agrupar os recursos oferecidos pelos *softwares* SIG em: entrada de dados; gerenciamento de informações; recuperação de informações; manipulação e análise, e exibição e produção de saídas. Para isso, é necessária a presença de componentes que possuam mecanismos de processamento de dados espaciais (permitindo a entrada, edição, análise, visualização e saída); de armazenamento e recuperação de dados espaciais e seus atributos (fornecidos pelos SGBDR); de seleção e consulta (para a “triagem” de informações as quais seja necessário buscar no banco de dados geográficos), além de uma interface amigável com o usuário.

Com relação ao manuseio e análise de dados, inúmeras são as possibilidades de operações conferidas pelas técnicas computacionais do Geoprocessamento. A “Álgebra de Mapas”, descrita por Tomlim (1990), fundamenta essas operações a partir de procedimentos de análise geográfica, permitindo a combinação de informações

entre conjuntos de camadas temáticas – as técnicas de análise geográficas envolvendo Álgebra de Mapas serão melhor detalhadas no subtópico a seguir.

Por vezes, a combinação de informações concedida por análise geográfica envolve processos matemáticos ou estatísticos. Por exemplo, certos estudos aplicando Geoprocessamento em aquicultura e zoneamento aquícola utilizam o método geoestatístico de análise de vizinhança “Krigagen” (Inverso do Quadrado da Distância) – utilizando o algoritmo IDW (Camargo, 1997), como em Vianna e Scott (2009) e Cota et al. (2021). Além disso, a manipulação de dados geográficos por vezes pode envolver a modelagem numérica de terreno, procedimento no qual, a uma região da superfície terrestre em estudo são computados valores relacionados à sua altimetria.

A partir dos recursos oferecidos pelos SIGs, é possível utilizá-los, ao menos, de três modos: produzindo mapas; efetuando análises espaciais de fenômenos e/ou realizando consultas como bancos de dados (geográficos) propriamente ditos, valendo-se dos recursos de armazenamento e recuperação de informações espaciais (Davis e Câmara, 2001).

Por lidar com informações não somente baseadas em características alfanuméricas (descritivas), como também no seu atributo espacial (localização geográfica), os sistemas de informações geográficas disponibilizam aos agentes tomadores de decisão uma visão diferenciada dos dados pertinentes ao seu ambiente de trabalho (Davis e Câmara, 2001).

Por conta disso, o uso de sistemas de informações geográficas e do Geoprocessamento vem crescendo aceleradamente, tendo em vista sua capacidade de gerenciamento de informações e suporte em análises complexas, tais como, o planejamento e ordenamento territorial, aos quais pode-se vincular, o zoneamento aquícola (Embrapa, 2015). Parafraseando Câmara e Davis (2001),

“Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, (...) pois, se ‘onde’ é importante para sua aplicação, então, Geoprocessamento é a sua ferramenta de trabalho.” (Davis e Câmara, 2001, pg. 1).

2.3.2 Técnicas de análise espacial em avaliação multicriterial para aquicultura e zoneamento aquícola

Na maior parte dos casos, o apoio na tomada de decisões utilizando sistemas de informações geográficas e Geoprocessamento é sustentado na combinação de dados geográficos. Dessa forma, é possível construir modelos e previsões, através da interação entre esses dados e da sua análise. A isso se chama “análise espacial”, e é o que diferencia os SIGs de outros sistemas de informações.

Em geoprocessamento, ao espaço é atribuída uma grandeza numérica, ao converter os dados em um espaço de referência [0.. 1], e ao processá-los por alguma combinação numérica. A cada localização é associado um valor que representa a variável de estudo. Com isso, é possível realizar uma sobreposição aritmética entre planos de informação, que representam os elementos do espaço a serem analisados (Câmara et al., 2001).

Dessa forma, obtém-se uma visão da variação contínua da variável em estudo (por exemplo: adequação a um cultivo, susceptibilidade ambiental, impacto social etc), constituindo uma “superfície de decisão” sob determinada gradação numérica. Isso é particularmente interessante para aplicações como o zoneamento aquícola, que requer a classificação do espaço em áreas mais ou menos adequadas para a atividade da aquicultura, levando em consideração aspectos ambientais, econômicos, sociais e legais (Kapetsky et al., 1998; Carswell et al., 2006). Permitindo a construção de cenários indicando os diversos compromissos de tomada de decisão (Câmara et al., 2001).

Eastman et al. (1995) define decisões como *escolhas entre alternativas* (de ações, hipóteses, localizações, objetos, etc). Portanto, racionalmente as decisões devem ser baseadas em um ou mais *critérios*, que por sua vez são atributos mensuráveis das alternativas em consideração. Decisões possuem uma *racionalidade* (um princípio ou objetivo), que, para ser atendida, tais critérios devem ser combinados e avaliados. (Eastman et al., 1999).

Problemas de cunho espacial na tomada de decisões, como o zoneamento aquícola, que têm em vista múltiplos critérios, recorrem principalmente ao processo de

avaliação multicriterial, ou AMC (Voogd, 1983). A avaliação multicriterial é uma das técnicas mais utilizadas em estudos de zoneamento aquícola e seleção de áreas em aquicultura (Hossain et al., 2009; Silva et al., 2011; Duapeto et al., 2015; Falconer et al., 2016; Gomes, 2019).

A AMC foca em identificar, originar e agregar classes de critérios que refletem as evidências (fatores e/ou critérios) consideradas para o modelo de decisão (Nath et al., 2000; Pérez et al., 2005). Os critérios avaliados podem tanto representar fatores contributivos (ou seja, parâmetros que expressam/realçam a aptidão), quanto restrições (parâmetros que limitam o uso das áreas para a atividade de aquicultura) (Nath et al., 2000). A integração desses critérios no SIG constrói o banco de dados geográficos no qual a avaliação é realizada. Assim, os planos de informação representando os critérios de aptidão podem ser combinados, resultando em um mapa de aptidão em que a tomada de decisão poderá ser embasada (Rotta et al., 2017; Gomes, 2019).

A fim de comparar os resultados, todas as evidências devem ser reclassificadas de acordo com uma escala comum (p. ex.: 0 – 1; 0 – 100; 0 – 255) (Eastman, 1999). Esse processo de reclassificação é chamado de “padronização” (*standardization*) (Voogd, 1982). Após, os critérios são combinados segundo modelos empíricos empregando técnicas de análise espacial, a fim de determinar a distribuição espacial da aptidão (Longdill et al., 2008).

As diferentes técnicas de análise espacial se distinguem de acordo com o seu alcance em relação às variedades de análise espacial possíveis (Viann e Bonetti, 2016). A seguir, descrevemos as principais técnicas de análise espacial empregadas em estudos de Geoprocessamento aplicado ao zoneamento aquícola e seleção de áreas para aquicultura, no que diz respeito aos processos de avaliação multicriterial.

Conceitualmente, um modelo de análise espacial produz informações geográficas de acordo com os relacionamentos definidos por uma função f , utilizando dados de entrada (Câmara et al., 2001):

$$\text{Saída} = f(\text{dados de entrada})$$

Em estudos de Geoprocessamento aplicado à aquicultura e zoneamento aquícola, os relacionamentos definidos pela função f são baseados em observações subjetivas do mundo real; sendo que, tais dados subjetivos podem amparar-se em métodos estatísticos, ou em opiniões de especialistas. Por esse motivo, os modelos utilizados são chamados de “modelos empíricos” (Laama e Bachari, 2018).

O princípio da metodologia consiste em descobrir as áreas aptas que satisfazem um determinado conjunto de critérios. Se esses critérios são definidos segundo regras determinísticas, então, no modelo, serão utilizados operadores de *álgebra booleana* (Bonham-Carter, 1994). O princípio dessa metodologia está relacionada com limites precisamente definidos, entre classes de critérios.

Essa metodologia resulta em mapas binários, ou seja, campos cuja expressão matemática dos valores ao longo de sua distribuição espacial atende apenas a duas possibilidades: : “0” (hipótese não satisfeita, i. e. sem aptidão) ou “1” (hipótese satisfeita, i. e. com aptidão). Com isso, somente podem ser atribuídas importâncias iguais na combinação entre critérios do banco de dados geográficos.

Isso implica em conjuntos de saída influenciados de maneira absoluta pelos critérios considerados; de maneira que esses critérios podem se inter-relacionar em extrema conformância, ou extrema discordância, dependendo do operador. Por esse motivo, não são indicados para modelos que examinam hipóteses envolvendo múltiplos critérios (Bonham-Carter, 1994; Eastman, 1999; Jiang e Eastman, 2000).

Estudos utilizando Geoprocessamento aplicado ao zoneamento aquícola e seleção de áreas para aquicultura têm utilizado álgebra booleana na identificação de áreas indiscutivelmente inaptas à atividade (Viann e Bonetti, 2016; Gomes, 2019). Estas áreas de caráter eliminatório podem consistir em restrições legais, ou ambientais.

Na contramão da natureza booleana, há as técnicas que abordam conjuntos utilizando inferência *fuzzy* – sendo também chamados “conjuntos nebulosos”. Nesses conjuntos, os limites entre as classes de critérios são identificados de forma inexata (Burrough e McDonnell, 1998). A inferência utilizando conjuntos *fuzzy* envolve probabilidades, crenças, possibilidades e plausibilidades. Por isso, confere um

lineamento mais adequado em modelos para fenômenos empíricos possuindo incerteza, ambiguidade e abstração na definição de classes de critérios (Bonissone e Decker, 1986; Burrough e McDonnell, 1988).

As propriedades dos conjuntos nebulosos conferem respostas promissoras na normalização de classes (Eastman, 1999), como demonstrado em Souza et al. (2012). Por exemplo, ferramentas pertinentes à lógica *fuzzy* possibilitam a transformação dos valores de conjuntos nebulosos para conjuntos de classes, a partir da operação conhecida como “sobreposição nebulosa” (*fuzzy overlay*). Esta permite uma transição mais flexível na definição entre áreas totalmente inaptas para áreas totalmente aptas, ou seja, são capazes de fornecer um gradiente suave de aptidão (Papadopoulou e Hatzichristos, 2019). Isso é possível graças à propriedade de limites inexatos entre classes, e pode apresentar análises mais realísticas acerca dos problemas espaciais em zoneamento (Malczewski, 1999).

Além disso, a sobreposição nebulosa é capaz de reproduzir a álgebra booleana, somando-se à propriedade de limites inexatos entre classes presente nos conjuntos nebulosos. Por exemplo, o operador “*fuzzy* mínimo” assemelha-se ao operador “E” (interseção) booleano, retornando para o valor mínimo pertencente às áreas das classes, sendo indicado para a identificação de classes pertinentes a regiões altamente restritivas (Eastman, 1999); enquanto que o operador “*fuzzy* máximo” assemelha-se ao operador booleano “OU” (união), proporcionando o efeito contrário e sendo indicado para situações altamente otimistas em que a existência de apenas um fator é o suficiente para identificar áreas aptas (Bonham-Carter, 1994).

Contudo, análises espaciais aplicando a lógica difusa ainda carecem de mais estudos, e a inferência *fuzzy* ainda não é reconhecidamente utilizada em avaliações multicriteriais (Jiang e Eastman, 2000).

Para embasar processos de tomada de decisão segundo análises multicriteriais, o mais adequado é uma abordagem que atribua importâncias relativas às evidências, ou seja, que haja uma ponderação entre critérios e fatores. Isso é possível graças à metodologia de *avaliação multicriterial ponderada*.

Eastman et al. (1999) considera a média ponderada como a técnica mais utilizada em trabalhos utilizando análise espacial. Também denominada *combinação linear ponderada* (“WLC”, de “weighted linear combination”), nessa metodologia os planos de informação de entrada dispostos como evidências (fatores), bem como suas categorias (critérios), recebem pesos diferentes conforme seu grau de importância relativa para com a hipótese considerada (aptidão para a atividade). O resultado será um mapa representando áreas que expressam diferentes “graus” de aptidão, e será influenciado pelos valores das importâncias relativas atribuídas às evidências.

A combinação linear ponderada é a metodologia mais comum em estudos utilizando Geoprocessamento aplicado ao zoneamento aquícola e seleção de áreas para aquicultura (Hossain et al., 2007; Falconer et al., 2016; Viann e Bonetti, 2016). Junto com ela, por vezes os resultados combinam uma operação booleana para definir restrições espaciais no modelo, seguindo a equação abaixo (Eastman, 1999):

$$\text{Aptidão} = \sum \omega_i X_i * \prod C_j$$

Em que: ω_i = peso atribuído ao critério i ; X_i = peso atribuído ao fator i ; C_j = restrição j .

Em comparação com o método booleano, o método da combinação linear ponderada permite uma maior flexibilidade no que se refere à combinação de planos de informação (Eastman, 1999), beneficiando assim, a construção do modelo de decisão. Contudo, a sua natureza linear permite que a atribuição de um peso baixo em um critério pode ser compensada com um peso alto em outro critério; uma propriedade denominada “*trade-off*” por Eastman (1996). O mesmo autor também apresenta o conceito de risco de decisão (“*decision risk*”), que diz respeito à eventual probabilidade de que uma evidência ou uma medida de peso possam carregar algum grau de erro através da racionalidade adotada no modelo de decisão.

Uma outra alternativa que busca mitigar esses efeitos, mas que ainda é incipiente em estudos de Geoprocessamento aplicado à aquicultura e zoneamento aquícola utilizando análise multi-criterial ponderada, é a *média ponderada ordenada* (“OWA”, de “ordered wighted average”) (Vianna e Scott, 2009). Apresentada pela primeira vez por Yager (1988), essa técnica se diferencia da combinação linear

ponderada pela presença de duas classes de pesos: pesos de compensação, equivalentes aos pesos da combinação linear atribuídos aos critérios e fatores; e após essa atribuição, os critérios e fatores são ranqueados aplicando-se pesos de ordenação (Eastman, 1999; Jiang e Eastman, 2000; Malczewski, 2006).

Há também a técnica de modelagem matemática conhecida como *alocação de terreno com múltiplos objetivos* (“Mola” ou “multi-objective decision-making” – conforme Eastman et al., 1998), na qual, os critérios e os pesos requeridos por cada objetivo levado em consideração para um determinado estudo de aptidão de área para aquicultura, serão, muito provavelmente, diferentes. Essa técnica utiliza lógica difusa e a sua aplicação é facilitada com o *software* SIG Idrisi (Viann e Bonetti, 2016).

É possível perceber que, além da própria identificação dos fatores e critérios, a determinação dos seus pesos compõem as etapas mais críticas no processo de construção do modelo de decisão, em avaliação multicriterial ponderada. Visto que, irão ditar a conformação dos dados de saída no modelo, alterando significativamente o resultado. Esse procedimento pode ser feito de duas maneiras: através de procedimentos heurísticos, segundo os quais, o modelo empírico de comportamento dos dados não está estabelecido rigorosamente; ou, utilizando lógica *fuzzy* para a padronização dos conjuntos de dados, como em Souza et al. (2012).

Bonetti e Viann (2016) identificam que, em estudos aplicando Geoprocessamento na aquicultura, muitos dos processos de construção dos modelos de decisão carecem de melhor identificação/detalhamento – mas costumam ser realizados através de procedimentos heurísticos, de caráter referenciado, individual ou em grupo. No primeiro tipo, estudos anteriormente realizados são utilizados como base para definir os pesos. No segundo, um indivíduo, geralmente o autor do estudo, define por conta própria os pesos de critérios e/ou fatores. No terceiro, os pesos são definidos a partir da opinião de um grupo de especialistas, técnicos, atores sociais ou agentes atuantes na cadeia – “stakeholders”.

No contexto das técnicas de análise espacial em avaliação multi-criterial ponderada, podem ser muito úteis algumas ferramentas de suporte à definição de pesos em fatores e/ou critérios. Dentre elas, talvez a mais promissora seja a técnica denominada *processo analítico hierárquico* (“AHP”, de “analytical hierarchy process”).

Proposta por Saaty (1977), essa técnica consiste na utilização de equações aritméticas, para a atribuição de pesos, entre evidências empregadas em um modelo racional de tomada de decisões.

Para isso, lança-se mão de uma lógica de comparação pareada (“*pairwise comparisons*”) na qual as diferentes evidências que influenciam a tomada de decisão são comparadas dois-a-dois, e a esse relacionamento é atrelado um fator de importância relativo, conforme uma escala pré-definida (Tabela 2). Assim, após atribuir-se o fator de importância relativo entre as evidências, tem-se uma matriz de comparações pareadas (Tabela 3), cuja operação aritmética vetorial deve obedecer a uma “razão de consistência” entre $[0,1]$ (0 indicaria a completa consistência teórica do fator atribuído), de forma a acatar um padrão mínimo de viabilidade concernindo os fatores de importância atribuídos.

Tabela 2. Escala propondo valores fixos para determinar fatores de importância (pesos) relativos aos relacionamentos entre evidências.

Grau de importância	Peso	Definição
Extrema	9	Um fator é mais importante que o outro na maior ordem possível
Demonstrada	7	Um fator é evidentemente mais importante que o outro, de forma demonstrada na prática
Essencial	5	Um fator é claramente mais importante que o outro
Moderada	3	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro
Igual	1	Os dois fatores possuem importância igual
Intermediária	2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos
	1/3, 1/5, 1/8...	A mesma ordem de importância é aplicada, porém em sentido diminutivo (ex: "um fator é significativamente <i>menos</i> importante que o outro")

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Tabela 3. Exemplo de uma matriz de comparações pareadas aplicadas a uma classe de fatores (neste caso, de âmbito “logístico”) em um estudo de zoneamento aquícola e seleção de áreas para *Crassostrea gigas*.

	Distância de portos	Dist. de áreas urbanas	Dist. de estradas	Pesos
Dist. de portos	1	3	5	0,619
Dist. de áreas urbanas	1/3	1	4	0,284
Dist. de estradas	1/5	1/4	1	0,096
Razão de Consistência = 0,07				

Fonte: Adaptado de Gomes (2019).

O modelo hierárquico construído com o auxílio da AHP consiste numa poderosa ferramenta de suporte para a organização e avaliação da importância relativa entre evidências, permitindo, inclusive, estimar a consistência dos julgamentos empíricos subjetivos utilizados na atribuição dos pesos. Ao possibilitar a obtenção de um conjunto ótimo de pesos que podem ser utilizados entre as evidências, essa metodologia proporciona um nível de abstração melhor fundamentado para o modelo de decisão (Saaty, 1980, 2008).

Sendo assim, o Geoprocessamento, investido de técnicas computacionais para o tratamento de informações espaciais por meio da Álgebra de Mapas, consiste numa valiosa ferramenta de suporte para os processos de tomada de decisão (Soares e Morávia, 2014). Estes processos necessitam levar em conta múltiplas evidências, sejam elas construtivas ou restritivas, a fim de acatar uma hipótese (i.e. a aptidão para aquicultura) de acordo com um modelo empírico; que pode ser elaborado utilizando diferentes metodologias para avaliação multicriterial. Tais metodologias, no entanto, possuem um objetivo em comum: produzir um mapa representando uma gradação ou ordenamento espacial, que, no caso do zoneamento aquícola, expressa a aptidão para o cultivo de organismos aquáticos, a partir dos critérios, fatores e seus respectivos pesos considerados.

Podemos concluir que as geotecnologias, sobretudo os sistemas de informações geográficas, juntamente com as técnicas de análise espacial disponibilizam um arcabouço instrumental significativo para estudos de zoneamento aquícola e seleção de áreas para aquicultura.

3. PROPOSTA DE MACROZONEAMENTO DA PISCICULTURA CONTINENTAL PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL UTILIZANDO SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

3.1 Material e Métodos

3.1.1 Área de estudo

O zoneamento aquícola pode ser realizado em diversas escalas, conforme o objetivo do estudo (por exemplo: análise em Bacia Hidrográfica, reservatório de hidrelétrica para implantação de tanque-rede, etc). É importante também a presença e disponibilidade de uma boa base de dados georreferenciada. Este trabalho pretende realizar o zoneamento a nível estadual, no Rio Grande do Sul. Dessa forma, a normalização das variáveis na análise multicriterial está condicionada à utilização de arquivos-base com diferentes resoluções espaciais, o que influencia a resolução espacial do produto final; e, portanto, será tratado neste trabalho como macrozoneamento (Rotta et al., 2017).

A análise em escala pequena se justifica pelo fato de a criação de espécies tropicais (como a tilápia, *Oreochromis niloticus*) no Estado, embora venha crescendo, ainda se encontra incipiente se comparada com outros Estados como no Paraná, São Paulo e Ceará, onde já se encontram cadeias produtivas bem estabelecidas há mais tempo (Anuário Peixe-BR da Piscicultura, 2021).

O Rio Grande do Sul está localizado no extremo meridional do Brasil, entre os paralelos 27°03'42" e 33°45'09" de latitude Sul, e 49°42'41" e 57°40'57" de longitude Oeste.

Segundo Köppen (1931), o clima é do tipo Subtropical, classificado com Mesotérmico Úmido; porém segundo estudos mais recentes como o de Rossato (2011, 2020), é possível distinguir quatro classificações ao longo do território gaúcho: Subtropical Pouco Úmido, Subtropical Medianamente Úmido, Subtropical Úmido e Subtropical Muito Úmido. Apresenta variações sazonais da temperatura, com verões quentes e invernos frios, mas também com verões quentes e invernos frescos, e

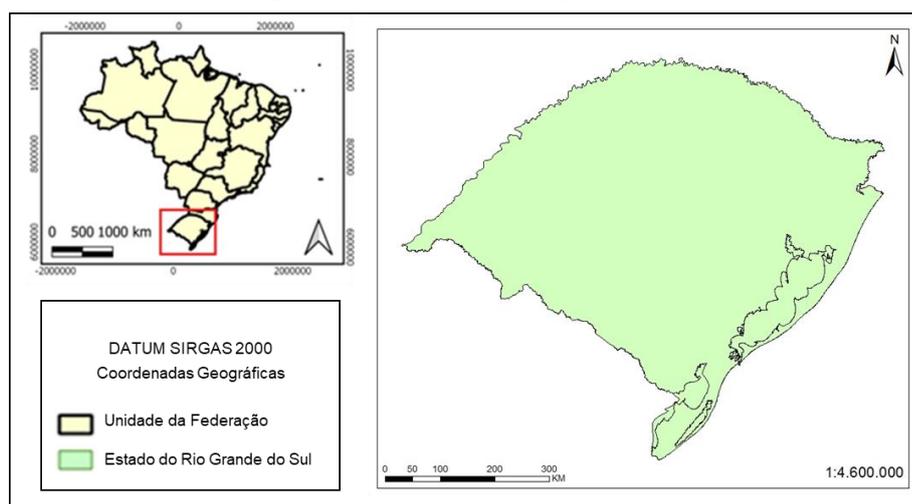
verões frescos e invernos frios (Rossato, 2011; 2020). As temperaturas médias variam entre 15 e 18°C, com mínimas de até -10°C e máximas de 40°C, dependendo da hipsometria da região, no Rio Grande do Sul as altitudes variam entre 0 e 1.398 m (município de São José dos Ausentes).

Possui uma distribuição relativamente equilibrada das precipitações ao longo do ano, devido às massas de ar oceânicas que o penetram; entretanto, possui um volume de chuvas diferenciado entre a região Sul, com precipitações médias entre 1.299 e 1.500mm, e as regiões Norte e Nordeste, com médias entre 1.500 e 1.800mm (Atlas Socioeconômico do RS, 2020).

Apresenta diferentes compartimentos de relevo: Planalto Meridional ao Norte; Cuesta da Haedo a Oeste; Depressão Central e Planícies Fluviais e/ou Fluviolacustres nas regiões centrais; Planalto Sul-Riograndense (Escudo Sul-rio-grandense) no centro-Sul; e a Planície Costeira envolvendo a Laguna dos Patos a Sudeste no estado (IBGE, 2000; Atlas Socioeconômico do RS, 2020).

Com relação aos recursos hídricos, trata-se de um dos Estados brasileiros com maior disponibilidade de águas superficiais, drenado por uma densa malha hidrográfica em 25 Bacias de Drenagem, constituindo três grandes Regiões Hidrográficas coletoras (Figura 5): a Bacia do Rio Uruguai, a do Guaíba e as Litorâneas (Rio Grande do Sul, 2018). Apresenta também, a maior variedade de solos do país, condicionada à ação climática e à complexa formação geológica no Estado (Streck et al., 2018).

Figura 5. Mapa de localização do RS.



3.1.2 Considerações gerais

3.1.2.1 Espécie e modelo de produção

Levando em consideração essas premissas ambientais, este trabalho propõe o macrozoneamento da piscicultura baseado em dois modelos: (a) criação em viveiros de terra escavados (VE), os quais necessitam de características de solo e relevo específicas para sua adequada instalação; e (b) criação em tanques-rede (TR), estruturas alocadas em reservatórios de hidrelétricas, açudes e grandes barragens.

Em relação à espécie considerada, a tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) foi utilizada como o arquétipo biológico. Como exercício, trabalhamos neste trabalho com a tilápia, uma espécie tropical, conhecendo previamente as limitações resultantes de zoneá-la para o estado do Rio Grande do Sul que é uma região Subtropical. Justificamos pela possibilidade de utilizar amparos tecnológicos para essa espécie disponibilizados pelas cadeias produtivas já consolidadas em outros estados, e que vêm se desenvolvendo, aos poucos, em território gaúcho. Tais amparos tecnológicos (“fatores produtivos”) serão citados a seguir. Além de possibilitar alguma extrapolação para outras espécies tropicais que se desenvolvem em condições ambientais semelhantes, como o tambaqui (*Colossoma macropomum*), o tambacu, o pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*), etc; cuja utilização, até o presente momento, não é expressivamente desenvolvida em um estado de tipologia climática Subtropical como o RS.

Dessa maneira, o presente trabalho dispõe-se a processar esses e outros fatores ambientais, juntamente com fatores logísticos e socioeconômicos para sintetizar um mapa final de aptidão para a piscicultura tropical continental no Estado do Rio Grande do Sul.

3.1.2.2 Fatores produtivos da cadeia da piscicultura

Para elaboração do macrozoneamento da piscicultura tropical no Rio Grande do Sul, este trabalho baseia o modelo da cadeia produtiva em fatores entendidos como “promotores” da atividade. Considera-se que, para o sustentável desenvolvimento da

piscicultura, esses fatores devem atender às necessidades biofísicas dos animais cultivados; bem como as necessidades práticas logísticas e relativas à infraestrutura presentes, necessárias para alocação e transformação de recursos; além das necessidades econômicas e sociais fundamentais para o produtor na atividade.

As características ambientais do território que se relacionam com as necessidades biofísicas dos animais cultivados são também aquelas que determinam a facilidade ou dificuldade de instalação de uma adequada estrutura de cultivo, tais como: temperatura média da região, regime de chuvas, declividade, tipo de solo, acesso à água de boa qualidade, etc.

As necessidades práticas logísticas e relativas à infraestrutura são aquelas determinadas, por exemplo, pela capacidade frigorífica na região, distância de produtores de alevinos e de fábricas de ração, acesso à energia elétrica (redes de alta tensão) e à malha viária (rodovias que proporcionam o transporte rápido de insumos e o escoamento da produção), bem como a distância a portos e aeroportos.

Por fim, as necessidades econômicas são traduzidas por fatores como a existência de associações e cooperativas na região, assistência técnica e extensão rural, acesso ao crédito, acesso a mercados, etc. Esses fatores foram considerados de modo a basear o modelo linear para a avaliação multicriterial ponderada neste trabalho, gerando os três grandes fatores de aptidão: “aptidão ambiental”, “aptidão de infraestrutura” e “aptidão socioeconômica”.

3.1.3 Análise multicriterial para seleção de áreas aptas para piscicultura continental

Para a seleção de áreas com atributos suficientes para se adequar ao objetivo de identificar as regiões mais aptas para a piscicultura continental, tais atributos foram avaliados e convertidos em critérios definidos de acordo com os modelos de cadeia produtiva descritas anteriormente.

3.1.3.1 Definição e pesagem dos critérios, normalização, cálculo do índice de aptidão e mapeamento

Esses critérios foram divididos em dois tipos: (1) os fatores de natureza contínua, que constituem um índice numérico relativo à aptidão para determinados atributos, por exemplo, distância de fábricas de ração, declividade, altimetria, etc; (2) as restrições, de natureza *Booleana*, que se aplicam à exclusão de certas áreas de consideração, por exemplo, Unidades de Conservação federais e estaduais, usos específicos do solo, etc; que serão tratadas ao final do trabalho.

Em cada fator, foram eleitos atributos considerados relevantes e cuja base de dados foi suficientemente disponível para aplicação em SIG. Para a normalização das variáveis, a cada atributo foi enquadrada uma Escala de classe de aptidão. A eleição desses atributos e a delimitação de suas escalas numéricas de classificação foram realizadas de forma empírica, segundo análises criteriosas, porém muitas vezes subjetivas, de acordo com especialistas no assunto e a literatura disponível. Essa Escala de aptidão seguiu aquela utilizada por Ramalho Filho e Pereira (Embrapa, 1999) com base no boletim da FAO (1977), nos mapas de aptidão de solos, acrescida de poucas modificações.

Assim, a Escala foi constituída por quatro classes de aptidão conforme descrito a seguir: (1) “Aptidão restrita – 1” (áreas não restringidas pela legislação, porém de menor potencial geral para a atividade, devido à maior dificuldade de acesso aos serviços, meios de produção ou fatores ambientais); (2) “Aptidão regular – 2” (áreas em princípio favoráveis para a atividade, porém com alguma dificuldade quanto aos meios de produção); (3) “Aptidão boa - 3” (áreas com boas condições de localização); e (4) “Aptidão excelente - 4” (áreas com as melhores condições de localização para a atividade quanto aos meios de produção).

Para a delimitação de regiões aptas para a piscicultura no Estado, foram eleitos três principais “fatores de desenvolvimento”, que são: “Aptidão Ambiental”, “Aptidão Infraestrutura” e “Aptidão Socioeconômica”. Cada um constitui um submodelo da análise geral, com a intenção de identificar a aptidão para desenvolvimento sustentável da piscicultura no Estado do Rio Grande do Sul, a partir de um Mapa de Aptidão para aquele submodelo. Uma vez apresentados os três submodelos, eles foram combinados nas ferramentas SIG e sintetizados em um Macrozoneamento de Aptidão para piscicultura continental no Rio Grande do Sul.

3.1.3.2 Software SIG, aquisição e tratamento dos dados

O *software* utilizado neste trabalho foi o Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS 10.3.1 e suas extensões ArcMap e ArcCatalog. Fornecido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) e adquirido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, licença Educacional, é amplamente utilizado na elaboração de mapas e gerenciamento de dados geográficos. A extensão ArcCatalog é um gerenciador de dados e operações que permite pesquisar, criar e organizar dados geográficos e alfanuméricos. Dentre suas inúmeras atribuições específicas, ressalta-se a conversão de dados para diferentes formatos e a criação, edição e visualização da informação espacial relativa aos dados apresentados. A extensão ArcMap permite realizar tarefas de criação de mapas e edição para análise dos dados, segundo diferentes escalas e objetivos, proporcionando a realização de análises espaciais em mapas e criando interações que relacionam gráficos, tabelas, fotografias, imagens e elementos cartográficos.

Neste trabalho, foram utilizadas ferramentas de análise espacial, em operações como: conversão de *raster* e polígono; recorte, junção e geração de classificação quanto à proximidade ("*Buffer*"); extração de *raster*; intersecção simétrica de *shapes*; além da geração de mapa de declividade a partir de imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com resolução espacial de 90 m (Weber et al., 2004).

Como este trabalho propõe uma análise a nível de Rio Grande do Sul, os mapas gerados estarão apresentados em escala 1:4.600.000. O sistema de referência geodésico adotado é o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul), adotado oficialmente, no ano de 2005, como o *datum* geodésico padrão para o Brasil pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Os dados foram adquiridos a partir de diversos órgãos públicos e páginas da web que disponibilizam tabelas e arquivos tipo *shapefile* para *download*, tais como: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); Instituto de Assistência Técnica e Extensão Rural do RS (EMATER/RS-Ascar); Ministério do Meio Ambiente (MMA); Agência Nacional de Águas (ANA); Divisão de Processamento de Imagens, do Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais (DPI/INPE); Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA); Fundação de Economia e Estatística (FEE); e Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia (LABGEO/UFRGS).

Os dados *raster* consistiram em um modelo digital de elevação do Estado do Rio Grande do Sul, mosaico elaborado a partir de dados do SRTM disponibilizados pelo Labgeo-UFRGS (do qual se apropriou o mapa de Altimetria do RS), e um mapa da declividade no Rio Grande do Sul gerado a partir deste modelo digital de elevação.

Para o Submodelo do fator Aptidão Socioeconômica, foi feita uma conversão dos dados não espaciais, coletados e disponibilizados pela EMATER/RS-Ascar, em dados espaciais (*shapefiles*) do tipo polígono; modelando o Estado de acordo com seus respectivos COREDES (Conselhos Regionais de Desenvolvimento) e aplicando a eles as classificações de aptidão conforme seus atributos, para posterior combinação na Análise Multicriterial Ponderada. Dados vetoriais do tipo ponto foram adicionados no ArcMap, a partir da coleta dos seus respectivos pares de coordenadas; obtidos de literatura específica ou *internet*, e convertidos de UTM (graus, minutos e segundos) para coordenadas geográficas (numéricas) quando necessário. Dados vetoriais do tipo pontos e linhas tiveram sua classificação de aptidão através de um *grid* de distâncias (“anéis” de classificação quanto à proximidade).

A Tabela 4 estrutura sinteticamente os Submodelos de Aptidão; seus respectivos atributos (fatores de produção) e as camadas temáticas adicionadas no SIG que foram combinadas pela Análise Multicriterial Ponderada.

Tabela 4. Submodelos, fatores de produção, camadas temáticas e figuras correspondentes.

Submodelo	Fator de Produção	Camada temática utilizada no SIG	Figura correspondente
Aptidão Ambiental (Figuras 6 e 13a)	Clima	Clima segundo Köppen-Geiger	Figura 10b
	Altitude	Altimetria	Figura 10d
	Relevo	Declividade	Figura 10f
	Solos	Tipos de solos	Figura 10h
	Água	Malha hídrica	Figura 10j

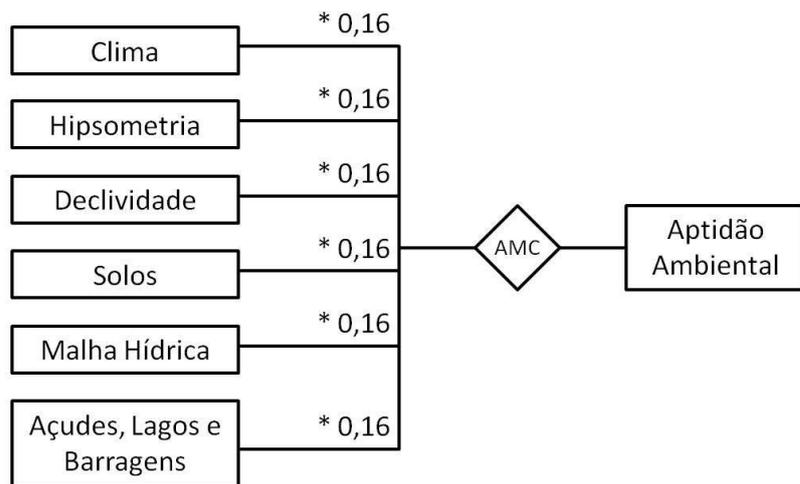
		Açudes, lagos e barragens	Figura 10l
Aptidão de Infraestrutura (Figuras 7 e 13b)	Insumos	Produtores de alevinos	Figura 11b
		Fábricas de ração	Figura 11d
	Infraestrutura	Capacidade frigorífica	Figura 11f
		Energia elétrica	Figura 11h
		Aeroportos	Figura 11j
Logística	Malha viária	Figura 11l	
Aptidão Socioeconômica (Figuras 8 e 13c)	Remuneração	Remuneração pelo Kg do pescado	Figura 12b
	Associações	Associações	Figura 12c
	Assistência	Assistência	Figura 12d
	Crédito	Crédito	Figura 12e

3.1.3.3 Análise multicriterial: metodologia geral

Este trabalho identifica a aptidão para a piscicultura continental tropical no Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com os fatores produtivos entendidos como “promotores” da atividade (listados na Tabela 4), utilizando ferramentas disponibilizadas por sistemas de informações geográficas. Para isso, os atributos dos fatores foram reclassificados segundo a Escala de aptidão (procedimento de normalização) e, após, foi realizada a metodologia de Análise Multicriterial Ponderada (AMC) pelo método da *Combinação Linear Ponderada*, utilizando a ferramenta Spatial Analyst do ArcGIS. Para utilizar essa ferramenta, todas as feições (camadas temáticas representando os fatores) foram convertidas para o formato *raster*.

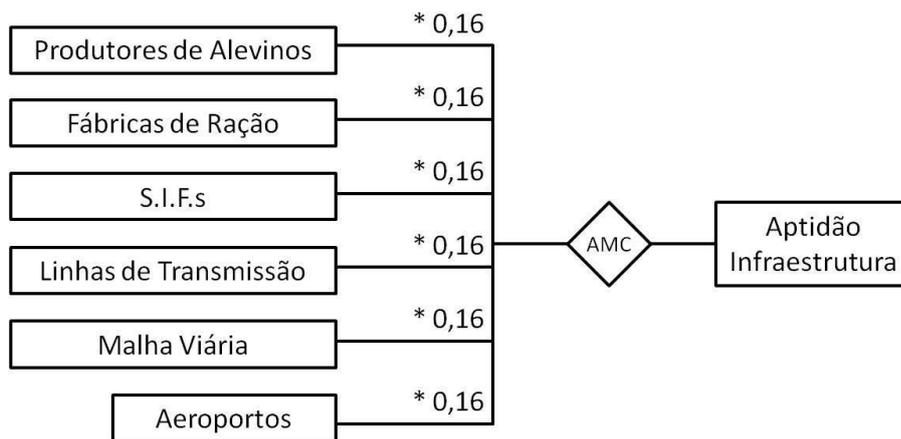
Para o submodelo constituindo o critério “Aptidão Ambiental”, os seis fatores foram ponderados com grau de importância de 16% igualmente, na Combinação Linear Ponderada. A Figura 6 ilustra o modelo realizado no SIG para combinação dos fatores, e a Figura 13a apresenta o resultado (as Figuras 13 e 14, juntamente com o restante das figuras apontadas pela Tabela 4, serão apresentadas na sessão dos Resultados).

Figura 6. Combinação das camadas (AMC) para o submodelo Aptidão Ambiental.



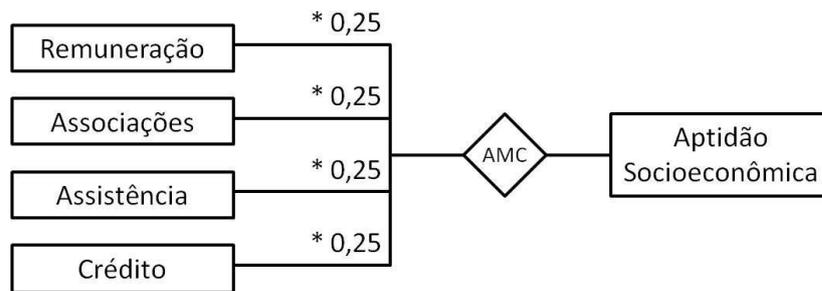
Para o submodelo abrangendo o critério “Aptidão de Infraestrutura”, os seis fatores foram ponderados igualmente com grau de importância de 16%, na Combinação Linear Ponderada. A Figura 7 ilustra o modelo realizado no SIG para combinação dos fatores, e a Figura 13b apresenta o resultado.

Figura 7. Combinação das camadas (AMC) para o submodelo Aptidão de Infraestrutura.



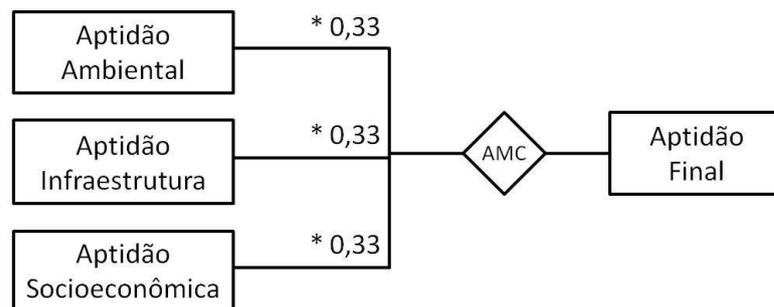
Para o submodelo abrangendo o critério “Aptidão Socioeconômica”, os quatro fatores foram ponderados com grau de importância de 25% igualmente, na Combinação Linear Ponderada. A Figura 8 ilustra o modelo realizado no SIG para combinação dos fatores, e a Figura 13c apresenta o resultado.

Figura 8. Combinação das camadas (AMC) para o submodelo Aptidão Socioeconômica.



A integração dos três submodelos - Ambiental, Infraestrutura e Socioeconômica - pela AMC foi realizada ponderando-os em grau de importância de 33% igualmente. Após, foi subtraído a esse modelo integrado, as Unidades de Conservação (UCs) estaduais e federais (*shapefile* disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA), utilizando a ferramenta Spatial Analyst do ArcGIS. Dessa maneira, foi gerado o Mapa Final de Aptidão para Piscicultura Tropical Continental no Rio Grande do Sul (Figura 14). A Figura 9 ilustra o modelo realizado no SIG para a integração dos submodelos.

Figura 9. Integração dos três submodelos na AMC, gerando o modelo integrado “Aptidão Final”.



3.2 Resultados

A partir da reclassificação das variáveis conforme a Escala de aptidão e dos resultados das análises multicriterais ponderadas, foram produzidos mapas temáticos de cada fator (camadas temáticas) e submodelos. Todos os mapas temáticos foram exportados com a extensão ArcMap do ArcGIS 10.3.1.

As camadas temáticas dos fatores e suas respectivas associações nos submodelos pela AMC e os parâmetros considerados relevantes para a promoção da piscicultura tropical continental no Rio Grande do Sul e suas respectivas reclassificações no SIG estão dispostos em mapas temáticos nas Figuras 10, 11, 12 e 13.

3.2.1 Aptidão ambiental

Para o critério “Aptidão Ambiental”, foi realizada a integração de fatores fisiográficos considerados promotores da aptidão ambiental para a piscicultura continental. Cada fator é discutido brevemente com o intuito de embasar a sua importância relativa no contexto da atividade piscícola proposta para o macrozoneamento, bem como seus atributos para classificação da aptidão (reclassificação das variáveis elegidas empiricamente na camada temática). Como produto dessa integração, é apresentado um mapa de aptidão para a piscicultura tropical continental segundo critérios ambientais (físicos), na escala proposta do Estado do Rio Grande do Sul (E=1:4.600.000). Essa estrutura se repete para os outros submodelos e fatores de produção.

1. Clima

Para a aptidão do parâmetro Clima, considerou-se basicamente a divisão do Estado em duas regiões climáticas: mesotérmico brando e mesotérmico mediano, segundo a classificação proposta por Köppen (1931). Apesar da utilização dessa classificação temática possuir inadequações para uma proposta de macrozoneamento em Escala de nível estadual como o Rio Grande do Sul (mais detalhamento no tópico “3.3 Discussão”), foi feito por razões operacionais e dificuldades na aquisição de dados georreferenciados espacializando uma classificação mais atual e adequada, como a de Rossato (2011, 2020).

O clima foi reclassificado conforme descrito a seguir: Mesotérmico brando (média entre 10 e 15°C): possui temperaturas mínimas limitantes, porém não restringem o crescimento da tilápia - aptidão “regular (2)”. Mesotérmico mediano

(médias menores do que 10°C): as temperaturas mínimas dificultam o crescimento de espécies tropicais - aptidão “restrita (1)” (Figuras 10a e 10b).

2. Altimetria

Ao norte do Estado do Rio Grande do Sul, no Planalto Meridional, encontram-se as regiões de maiores altitudes, sendo a maior delas em São José dos Ausentes (Monte Negro, 1.398m), a nordeste. Ao sul e centro-sul, no Escudo cristalino Sul-Rio-Grandense (“Serra do Sudeste”) as maiores altitudes não ultrapassam 600m. Ao centro do Estado na Depressão Central, um extenso corredor com terrenos de baixa altitude; e a Planície Costeira a sudeste é uma faixa arenosa de 622km que se estende no sentido norte-sul, com baixas altitudes (Atlas Socioeconômico do RS, 2020).

A elevação da altitude tem o efeito de diminuir a temperatura ambiente e, conseqüentemente, da água de cultivo, demonstrando sua importância quando relacionada ao sucesso da piscicultura. Para fins deste estudo, considerou-se que: altitudes de 0 - 200m = aptidão “excelente (4)”; 200 - 300m = aptidão “boa (3)”; 300 - 400m = aptidão “regular (2)” e acima de 400m = aptidão “restrita (1)” (Figuras 10c e 10d).

3. Declividade

Os viveiros escavados necessitam, para sua construção, terrenos de pouca declividade. Isso diminui os custos com terraplanagem e horas de trabalho, bem como, com a construção de canais de abastecimento e drenagem de água. Além de favorecer a relação comprimento:largura/profundidade. Levando em conta esses critérios, a declividade do terreno foi reclassificada da seguinte maneira: < 1% = aptidão “excelente (4)”; 1 - 2% = aptidão “boa (3)”; 2 - 3% = aptidão “regular (2)”; > 3% = aptidão “restrita (1)” (Figuras 10e e 10f).

4. Solos

Para o parâmetro “aptidão conforme o tipo de solos”, foi utilizado o *shapefile* do mapa de solos disponibilizado pela Embrapa, elaborado com base no Sistema

Brasileiro de Classificação de Solos, e publicado pelo IBGE (E=1:5.000.000) (IBGE/EMBRAPA, 2001). A utilização de bases em diferentes escalas e resoluções espaciais, conforme definimos o macrozoneamento neste trabalho, deve ser atendida quanto à compatibilidade do mapa final – será retomado no tópico “3.3 Discussão”.

A qualidade dos solos para implantação de piscicultura pode envolver várias características pedológicas importantes durante a construção de viveiros escavados, sendo as principais delas a textura e a profundidade. Quanto à textura, no geral, os solos mais apropriados não contêm grande proporção de areia, boa proporção de argila (preferencialmente não expansiva) e alguma proporção de silte; portanto, texturas entre 25 e 45% de argila são as ideais. Isso confere um viveiro resistente à erosão e desmoronamento de taludes, e que não abre grandes rachaduras quando exposto ao sol. Quanto à profundidade, solos rasos dificultam e podem até inviabilizar a escavação para construção de VE. Por conta disso, os solos devem ter no mínimo 1m de profundidade e estar acima do lençol freático.

Com base nessas e outras características, como drenagem, plintita, e fatores químicos, a classificação dos solos quanto à aptidão para piscicultura ficou determinada da seguinte maneira: argissolos = aptidão “regular (2)”; cambissolos = aptidão “restrita (1)”; chernossolos = aptidão “restrita (1)”; espodossolos = aptidão “restrita (1)”; gleissolos = aptidão “excelente (4)”; latossolos = aptidão “excelente (4)”; luvisolos = aptidão “excelente (4)”; neossolos = aptidão “restrita (1)”; nitossolos = aptidão “regular (2)”; organossolos = aptidão “restrita (1)”; planossolos = aptidão “regular (2)”, plintossolos = aptidão “boa (3)”, vertissolos = aptidão “restrita (1)” (Figuras 10g e 10h).

5. Malha hídrica

A malha hídrica - ou seja, os rios e cursos d'água que drenam o território - constitui uma das principais fontes de água doce para a Aquicultura, sendo a proximidade desses cursos d'água um parâmetro de grande importância para a viabilidade da piscicultura. Quanto mais próximo, maior segurança os VEs terão para obtenção e armazenagem de água; e menores os custos com construção dos canais de abastecimento e, eventualmente, de drenagem. A classificação conforme distância

dos cursos da água se apresenta da seguinte forma: distâncias menores que 1,5km = aptidão “excelente (4)”; 1,5 - 2,5km = aptidão “boa (3)”; 2,5 - 3,5km = aptidão “regular (2)”, > 3,5km = aptidão “restrita (1)” (Figuras 10i e 10j).

6. Açudes, lagoas e barragens

O Rio Grande do Sul conta com uma extensa quantidade de açudes, barragens e reservatórios estratégicos com finalidades de irrigação, abastecimento humano, dessedentação animal, controle de cheias, lazer e hidrelétricas. A classificação da aptidão conforme distância de grandes lagos, reservatórios e barragens destinadas a energia elétrica (que podem ser utilizadas para piscicultura em tanques-rede, dadas as devidas condições), foi considerada com seus valores sendo o dobro da classificação conforme a malha hídrica. Dessa maneira, a classificação conforme distância dos grandes lagos compensa o erro intrínseco na classificação de aptidão conforme malha hídrica, originado devido ao fato de o *shapfile* da malha hídrica constituir-se um arquivo em formato vetorial, e que portanto, não considera as larguras dos cursos d’água (Figuras 10k e 10l).

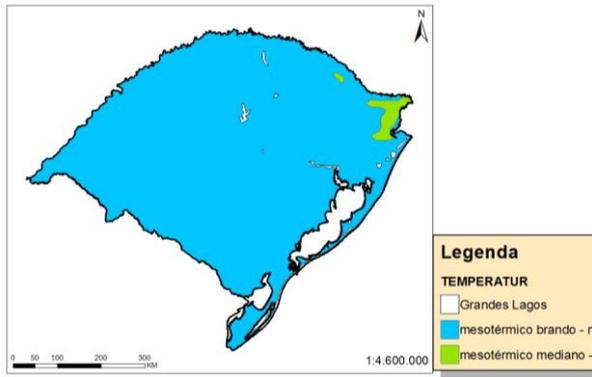
7. Aptidão ambiental

Na AMC dos fatores fisiográficos, a ponderação de mesmo peso para as variáveis “clima”, “altimetria”, “declividade” e “açudes, lagoas e barragens”, conferiu um efeito compensatório para a variável “solos”. Porém o maior número de variáveis com classes de caráter “restringível” fez com que nesses espaços onde elas se sobrepõem, a aptidão fosse “regular (2)”. A “malha hídrica” representa a disponibilidade de recursos hídricos superficiais ao longo do território gaúcho, conferindo um efeito positivo na ponderação da aptidão, fazendo com que regiões de menores altitudes, no geral, apresentassem classe de aptidão “boa (3)”, mesmo em áreas com qualidade de solos menos favoráveis (Figura 13a).

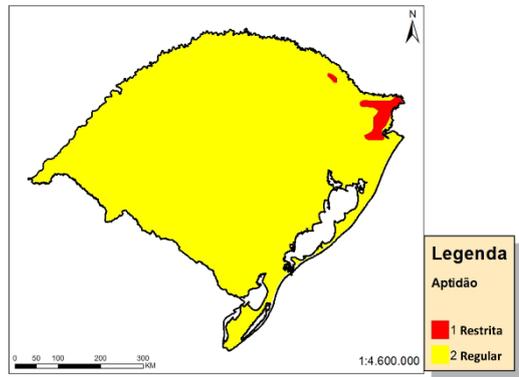
O mapa dos fatores fisiográficos sugere que a piscicultura tropical continental possui boa aptidão no aspecto ambiental (físico) em boa parte do território gaúcho, principalmente ao longo da Depressão Central, *Cuesta do Haedo*, na Planície Costeira e na porção centro-ocidental do Planalto Meridional – por exemplo, nos entornos dos

municípios de Passo Fundo, Cruz Alta, Ijuí, São Francisco de Assis, São Luiz Gonzaga, São Borja e Itaqui.

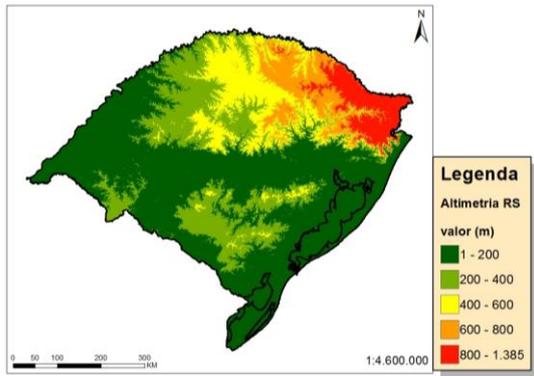
a)



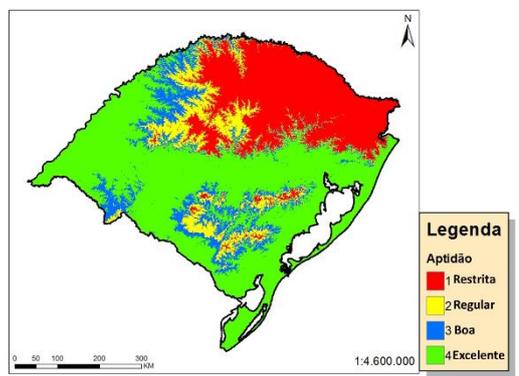
b)



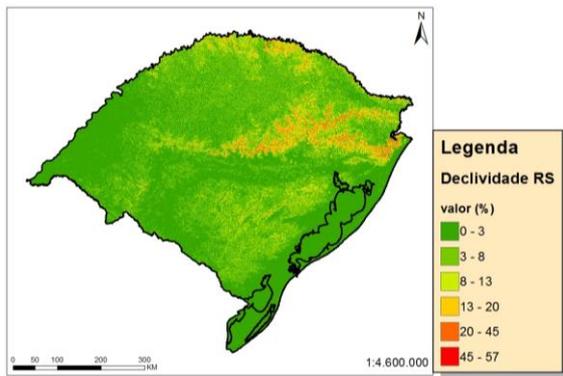
c)



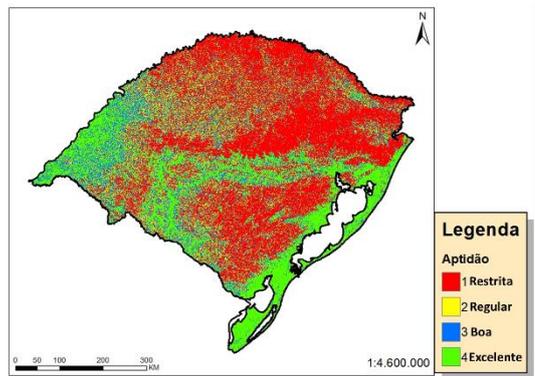
d)



e)



f)



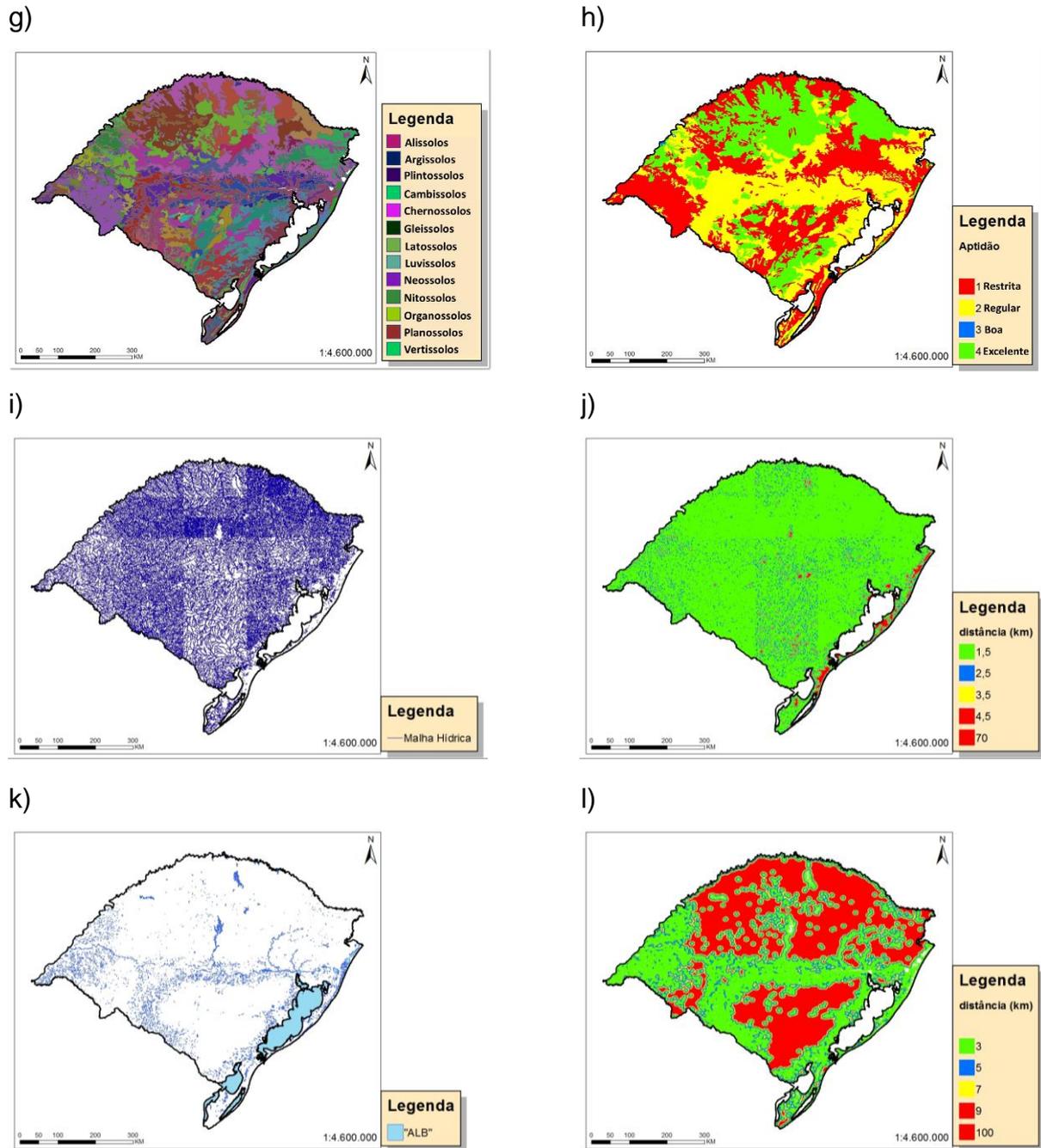


Figura 10. Mapas temáticos representando os parâmetros ambientais considerados relevantes para a piscicultura tropical continental (à esquerda), e sua reclassificação (à direita) realizada com ferramentas SIG. (a | b) Aptidão conforme o *clima*. (c | d) Aptidão conforme a *altimetria*. (e | f) Aptidão conforme a *declividade*. (g | h) Aptidão conforme os *tipos de solos*. (i | j) Aptidão conforme a *distância de corpos hídricos*. (k | l) Aptidão conforme a *distância da borda de grandes lagos, reservatórios e barragens*.

3.2.2 Aptidão de infraestrutura

8. Produtores de alevinos

A existência de produtores de alevinos é de suma importância para a cadeia produtiva da piscicultura, principalmente quando esta ainda é incipiente. Então, foram utilizadas as localizações de produtores de alevinos que, dentre os peixes produzidos, encontram-se espécies tropicais. As localizações foram obtidas a partir de levantamento a campo, disponibilizadas pela EMATER/RS (Walter et al., 2015). Para a classificação de aptidão, considerou-se que quanto maior o raio da distância dos produtores de alevinos, mais tempo é requerido no transporte, considerando as rodovias pavimentadas federais e estaduais no RS. Para a classificação foi estabelecido que: < 250km = aptidão “excelente (4)”; 250 - 350km = aptidão “boa (3)”; 350 - 450km = aptidão “regular (2)”, > 450km = aptidão “restrita (1)” (Figuras 11a e 11b).

9. Fábricas de ração

A atividade de criação de peixes, para o modelo proposto, exige o uso de ração industrializada específica para obter melhores resultados. Então, foram consideradas as localizações das fábricas de ração das marcas SUPRA e PURO TRATO, além de fábricas de diversas empresas localizadas em cidades como Porto Alegre, Santa Rosa, Independência e Carazinho. Além de possibilitar ajustes nas formulações para as especificidades nutricionais dos peixes a serem cultivados na região, a existência de uma fábrica de ração nas proximidades da propriedade pode diminuir consideravelmente o custo do frete, além de determinar a rapidez de entrega. Para a classificação conforme a aptidão, este foi o principal critério considerado. Dessa forma, as classificações quanto ao raio de distância foram as de mesmos valores que as empregadas para os produtores de alevinos (Figuras 11c e 11d).

10. Capacidade frigorífica

A capacidade frigorífica é considerada de suma importância para a cadeia produtiva. Ela garante a qualidade do produto para o consumidor, pois está

relacionada à cadeia do frio. Foram consideradas as localidades dos Serviços de Inspeção Federal (SIF) autorizados pelo MAPA no Rio Grande do Sul. Quanto mais próxima a piscicultura das unidades frigoríficas, maior o interesse de processamento e maior a segurança oferecida aos consumidores e produtores. Para fins de classificação conforme a aptidão, considera-se que quanto menor a distância entre a piscicultura e o SIF, menor tempo entre a operação de despesca no viveiro e a chegada dos peixes no frigorífico. Desta forma, a classificação levou em consideração o raio de distância (Figuras 11e e 11f).

11. Energia elétrica – redes de alta tensão ou linhas de transmissão

A disponibilidade de energia elétrica confiável é um dos fatores que determinam o desenvolvimento em qualquer lugar do país, não só da atividade da piscicultura. O indicador utilizado foi a extensão da rede elétrica de Alta Tensão (AT), que pode viabilizar o sucesso de empreendimentos que contam com equipamentos de refrigeração em feiras e pontos de comércio de pescados, ou mesmo a utilização de equipamentos elétricos na propriedade como aeradores e bombas. Para a classificação da aptidão, quanto mais distante da rede, maiores as chances de atendimento da energia elétrica limitada à presença de transformadores, ou mesmo, grupos geradores. Dessa forma, considerou-se que: < 6km = aptidão “excelente (4)”; 6 - 12km = aptidão “boa (3)”; 12 - 24km = aptidão “regular (2)”; > 24km = aptidão “restrita (1)” (Figuras 11g e 11h).

12. Aeroportos

Aeroportos ocasionalmente possibilitam a chegada de insumos e serviços especiais necessários. Em certas ocasiões, insumos de alto valor (ex: produtos importados, produtos veterinários especiais) e serviços muito especializados só podem ser disponibilizados via transporte aéreo. Foram considerados os quatro principais aeroportos do Rio Grande do Sul. Para a classificação conforme a aptidão, considerou-se que: < 100km = aptidão “excelente (4)”; 100 - 200km = aptidão “boa (3)”; 200 - 300km = aptidão “regular (2)”; > 300km = aptidão “restrita (1)” (Figuras 11i e 11j).

13. Malha viária

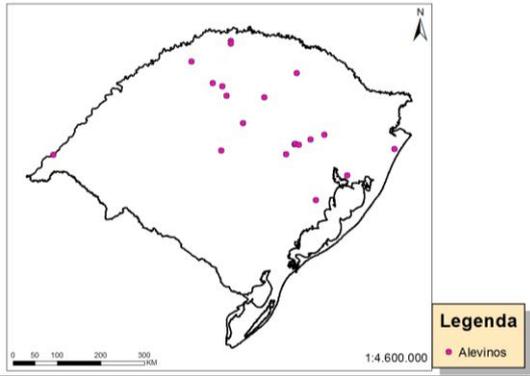
Possivelmente o fator que mais se inter-relaciona com os outros dentro do contexto do critério Aptidão Infraestrutura, é a distribuição das rodovias pavimentadas no Estado. A classificação para aptidão considerou a distância da malha viária, pois quanto mais próxima a rodovia do empreendimento, menor a distância necessária a ser percorrida em estradas não pavimentadas com insumos ou produção. Dessa maneira: < 10km = aptidão “excelente (4)”; 10 - 20km = aptidão “boa (3)”, 20 - 30 = aptidão “restrita (1)” (Figuras 11k e 11l).

14. Aptidão de infraestrutura

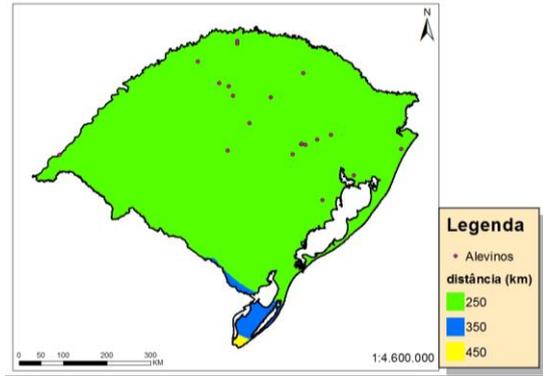
Na AMC dos fatores relacionados à logística e infraestrutura, fatores relacionados à distância de fornecedores de insumos (alevinos e ração) e de SIF conferiram uma extensa distribuição espacial quanto à classificação de aptidão “boa (3)” a “excelente (4)”, principalmente em regiões na porção oriental do Estado. A classificação ordenada quanto à distância de aeroportos gerou um efeito semelhante, porém mais ao sul. Por fim, a distribuição de redes de alta tensão (AT) definiu a aptidão “excelente (4)” ao longo das regiões mais próximas às suas linhas, e a extensa malha viária definiu como “boas (3)” aquelas áreas consideradas menos aptas segundo as demais variáveis (Figura 13b).

Utilizando essa metodologia, o mapa da Figura 13b mostra que o Rio Grande do Sul possui boas condições logísticas e de infraestrutura para dar suporte à atividade de piscicultura tropical continental. Especial atenção é dada às regiões mais próximas de grandes centros urbanos onde mais frequentemente se encontram fornecedores de insumos e beneficiadores competentes, conectados por uma malha viária e uma malha de distribuição de energia elétrica favoráveis para a implantação de empreendimentos aquícolas desse tipo.

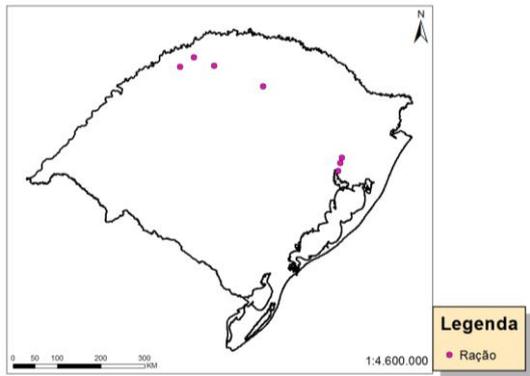
a)



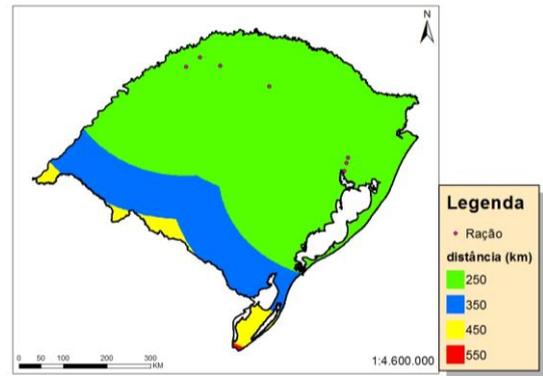
b)



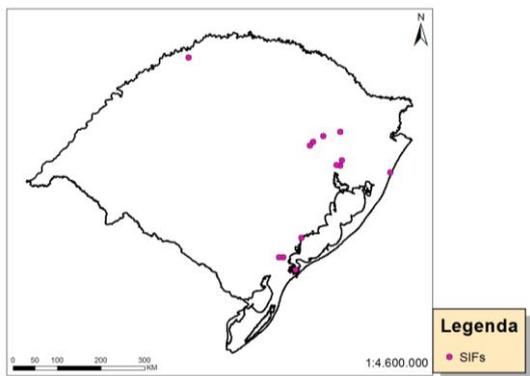
c)



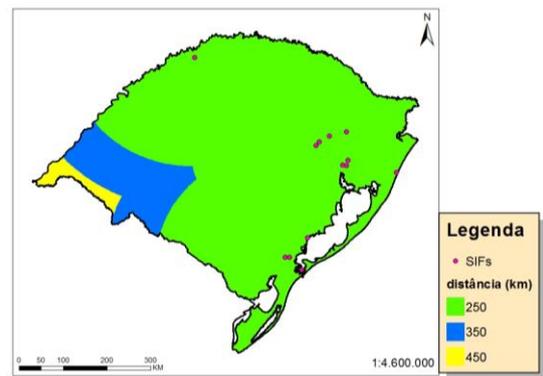
d)



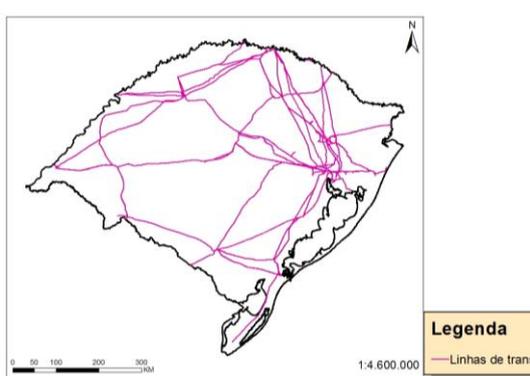
e)



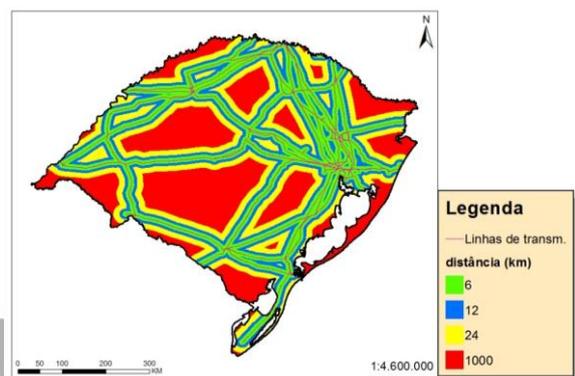
f)



g)



h)



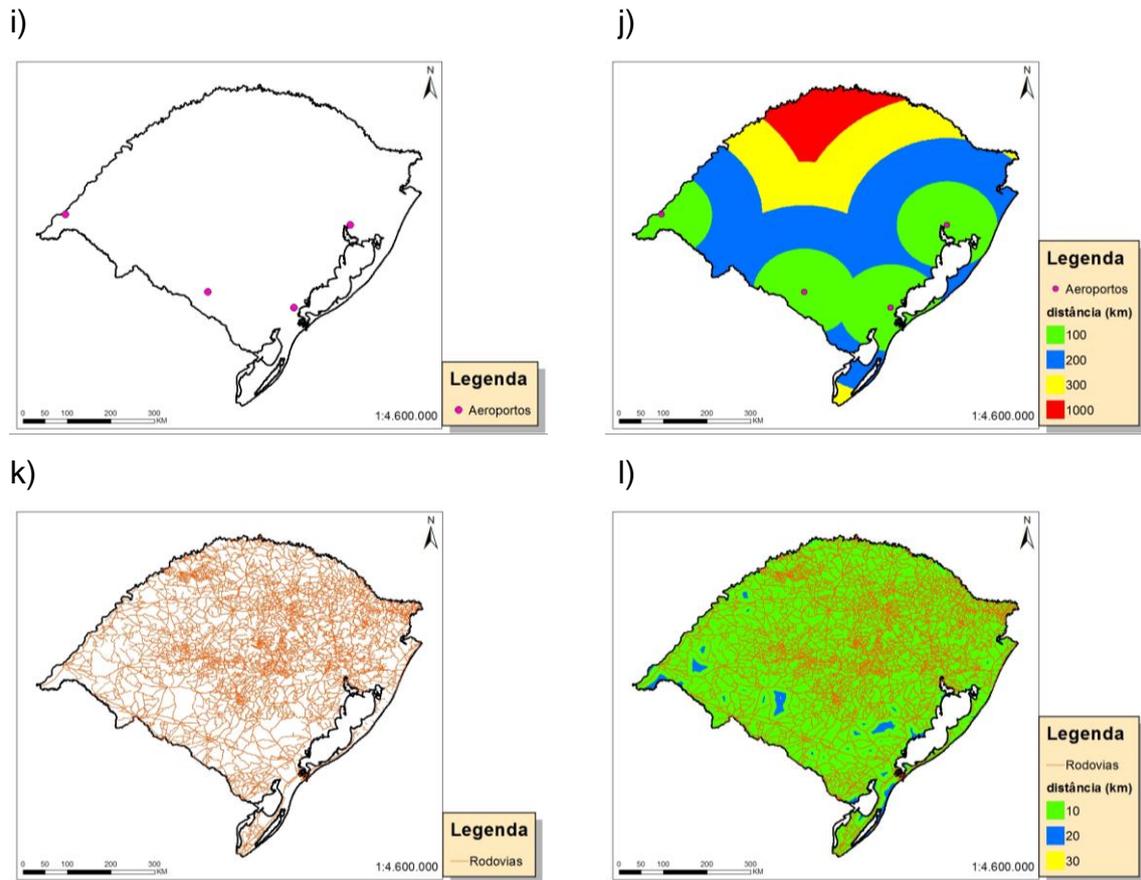


Figura 11. Mapas temáticos representando os parâmetros logísticos de infraestrutura considerados relevantes para a piscicultura tropical continental (à esquerda), e sua reclassificação (à direita) realizada com ferramentas SIG. (a | b) Aptidão conforme a *distância de produtores de alevinos*. (c | d) Aptidão conforme a *distância de fábricas de rações*. (e | f) aptidão conforme a *distância de S.I.Fs*. (g | h) Aptidão conforme a *distância de linhas de transmissão de energia elétrica*. (i | j) Aptidão conforme a *distância de aeroportos*. (k | l) Aptidão conforme a *distância de rodovias*.

3.2.3 Aptidão Socioeconômica

Para a disposição de dados e informações relativas ao critério Aptidão Socioeconômica, utilizou-se o levantamento realizado pela EMATER/RS (Walter et al., 2015) que contou com a colaboração da Secretaria de Desenvolvimento Rural, Pesca e Cooperativismo (SDR) em convênio com a Universidade Federal do Rio Grande (FURG), em 2011. Foram analisadas as informações do relatório e utilizadas aquelas consideradas mais relevantes para uma proposta de macrozoneamento da

piscicultura tropical continental no Rio Grande do Sul. Com o objetivo de conservar a informação contida no relatório; dentro do ambiente SIG ela foi trabalhada na perspectiva da subdivisão do território do Rio Grande do Sul em COREDEs (Conselhos Regionais de Desenvolvimento – Figura 12a) e, então, tratá-la conforme classificações de aptidão a partir de critérios empiricamente definidos. As informações não-gráficas (alfanuméricas) foram remodeladas em informações espaciais, principalmente através de associação e manipulação de tabelas de atributos no ArcGIS 10.3.1, permitindo a geração de *shapefiles* do tipo vetor, que então foram tratados e convertidos em *raster* para a combinação na AMC.

15. Remuneração por Kg de pescado

O preço do pescado pago ao produtor é o parâmetro mercadológico mais direto de avaliação do retorno econômico da atividade, e pode variar dependendo do tipo de mercado, fatores sociais, culturais, da agregação de valor ao produto, etc. Segundo o levantamento realizado pela EMATER/RS juntamente com a SDR e a FURG, os valores médios de comercialização do pescado (independente da espécie), em remuneração ao produtor, por kg, no ano de 2011, variaram entre R\$ 3,09 no COREDE do Rio da Várzea e R\$ 8,39 no Vale do Rio dos Sinos, e o valor médio foi de R\$ 4,63. Para este artigo, as classificações para aptidão foram: > R\$ 5,00 = aptidão “excelente (4)”; R\$ 4,00 - 5,00 = aptidão “boa (3)”; R\$ 3,50 - 4,00 = aptidão “regular (2)”; R\$ 3,00 - 3,50 = aptidão “restrita (1)” (Figura 12b).

16. Associações

A presença de associações de piscicultores e/ou pescadores pode otimizar os recursos humanos e materiais no processo produtivo; além de possibilitar economias em fretes, aquisição de insumos e aluguel de equipamentos, bem como promover a troca de experiência entre diferentes realidades, possibilitando uma gradual melhoria nos sistemas sociais e de produção no meio rural. O levantamento realizado pela EMATER/RS demonstrou que, no Estado, existem pelo menos 64 entidades representativas dos piscicultores (em 2011). A classificação para aptidão, conforme o número de associações por COREDE: nenhuma associação = “restrita”, uma

associação = “regular”, duas associações = “boa”, três ou mais associações = “excelente” (Figura 12c).

17. Assistência

A assistência técnica é um parâmetro importante para situações de dificuldades que ocasionalmente possam vir a ser enfrentadas. Sendo assim, a experiência do escritório de extensão rural, amostrada pelo tempo de assistência na região e, principalmente, pelo número de produtores assistidos, constitui um indicador relevante para as tomadas de decisão do piscicultor. A EMATER presta Assistência Técnica para um grande número de piscicultores no Estado, possuindo grande relevância na atividade. Para a classificação da aptidão, considerou-se a quantidade de piscicultores assistidos pela EMATER por COREDE,: número de piscicultores assistidos maior que 400 = aptidão “excelente (4)”; 200 - 400 = aptidão “boa (3)”; 50 - 200 = “regular (2)”; e menor que 50 = aptidão “restrita (1)” (Figura 12d).

18. Crédito

O acesso inteligente ao crédito, como qualquer outra atividade, pode vir a ser determinante para a implantação, crescimento ou recuperação de uma piscicultura. A média geral que cada produtor acessou através das linhas de crédito, no ano de 2011, foi de R\$ 9.213,82. Quanto à classificação da aptidão, considerou-se o valor médio de crédito recebido por produtor por COREDE, em R\$; ficando dessa maneira: > 20.000,00 = aptidão “excelente (4)”; R\$ 10.000,00 - 20.000,00 = aptidão “boa (3)”; R\$ 5.000,00 - 10.000,00 = aptidão “regular (2)”; < R\$ 5.000,00 = aptidão “restrita (1)” (Figura 12e).

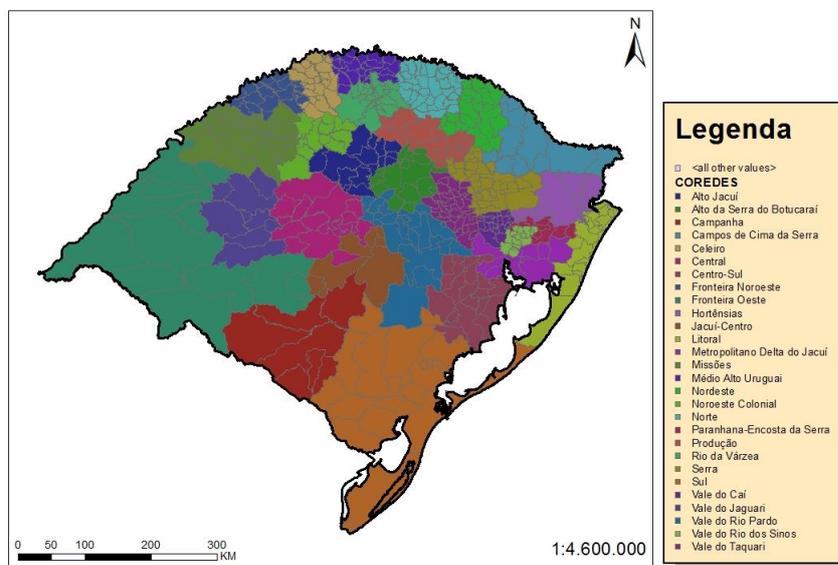
19. Aptidão socioeconômica

As associações, a disponibilidade de assistência técnica e a remuneração do pescado coincidiram regiões com classificação de aptidão “boas (3)” e “excelentes (4)”, principalmente na porção central do Estado, ao longo de um eixo de sentido nortesul. As variáveis relacionadas ao acesso ao crédito, à assistência técnica e à existência de associações de piscicultores e/ou pescadores coincidiram a

classificação como aptidão “restrita (1)” e “regular (2)” em regiões do oeste e sudoeste gaúcho, especialmente nos entornos de Dom Pedrito, Bagé, Lavras do Sul e Caçapava do Sul (Figura 13c).

A partir das informações coletadas e disponibilizadas pela EMATER/RS, e utilizando essa metodologia, o mapa da Figura Dc mostra que as regiões próximas dos grandes centros urbanos como Rio Grande, Pelotas, Santa Cruz do Sul, Porto Alegre, Caxias do Sul, Santo Ângelo e Santa Rosa; e nos arredores da Laguna dos Patos, num eixo atravessando o Estado de sul a norte e de leste a noroeste, como aquelas de aptidão “boa (3)” a “excelente (4)” para a piscicultura, no aspecto socioeconômico.

a)



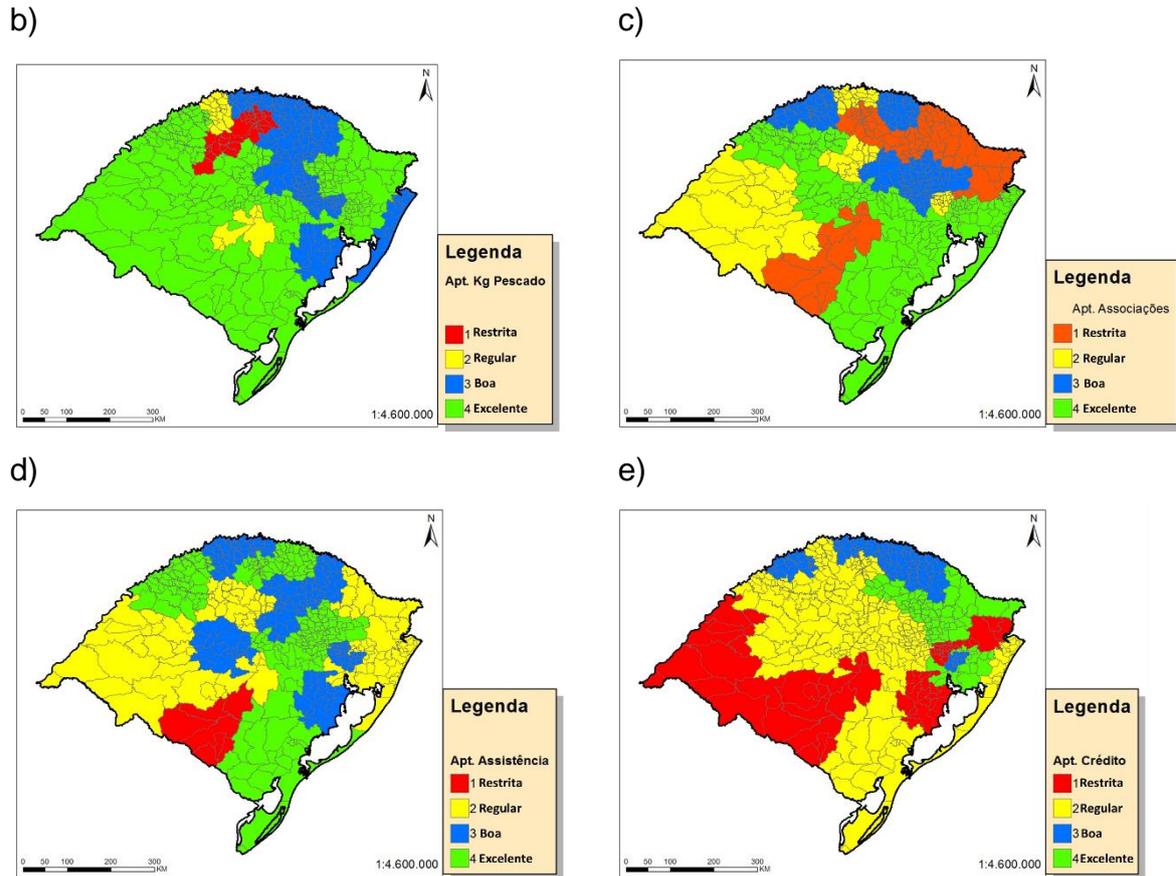


Figura 12. Subdivisão do Rio Grande do Sul em COREDEs (a), e os mapas temáticos reclassificados representando os fatores socioeconômicos considerados relevantes para a piscicultura tropical continental. (b) Aptidão conforme a remuneração por Kg do pescado. (c) Aptidão conforme a quantidade de associações. (d) Aptidão conforme a disponibilidade de assistência técnica – amostrada pela quantidade de piscicultores assistidos. (e) Aptidão conforme a disponibilidade de crédito oferecido aos piscicultores.

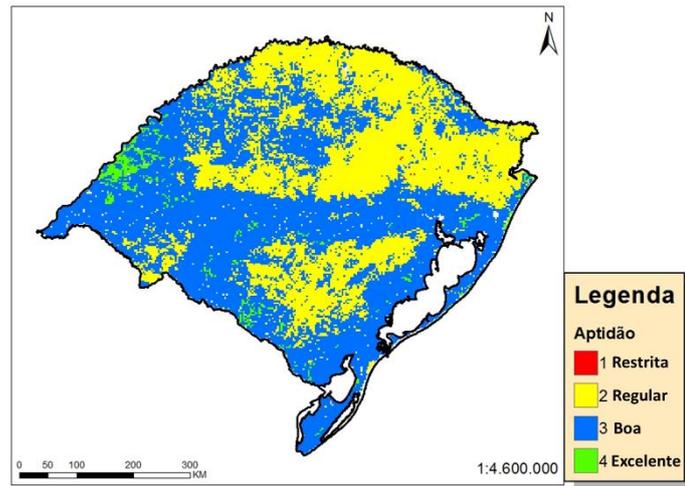
3.2.3 Macrozoneamento de Aptidão da Piscicultura Continental no Rio Grande Do Sul

Uma vez produzidos os resultados de “Aptidão Ambiental”, “Aptidão Infraestrutura” e “Aptidão Socioeconômica”, os três submodelos foram integrados na AMC. Foram subtraídas as Unidades de Conservação (UCs) federais e estaduais. Assim, obteve-se o mapa final que constitui a proposta de Macrozoneamento de aptidão da piscicultura tropical continental para o Estado do Rio Grande do Sul (Figura 14).

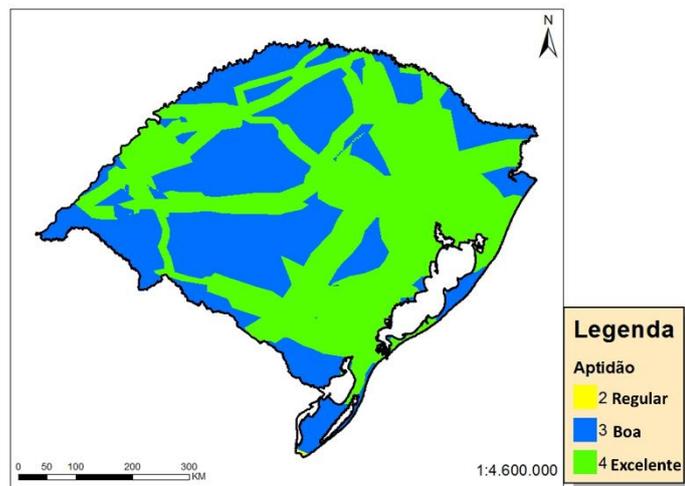
O mapa do Macrozoneamento sintetiza os submodelos confeccionados a partir de fatores empiricamente elencados e ponderados na *combinação linear ponderada*. Cada submodelo representa a aptidão para o modelo de piscicultura-objeto de estudo da piscicultura tropical continental, segundo critérios ambientais, logísticos ou socioeconômicos, e podem ser individualmente utilizados para estudos de caso de acordo com seus respectivos objetivos. A integração de três critérios intrinsecamente distintos, porém relacionados, constitui o objetivo do macrozoneamento proposto neste trabalho.

O mapa do macrozoneamento sugere que a maior parte do território gaúcho possui aptidão “boa (3)”, visto que foram combinadas regiões com classe “excelente (4)”, “boa (3)” e “regular (2)” nos diferentes submodelos e seus respectivos critérios. Poucas áreas receberam classe de aptidão “regular (3)” para a piscicultura tropical continental, particularmente aquelas com classe “boa (3)” e “regular (2)” em todos os submodelos. Receberam classe de aptidão “excelente (4)” para a piscicultura tropical continental aquelas áreas com classe “boa (3)” e “excelente (4)” em todos os submodelos. Principalmente as regiões metropolitana e arredores de Porto Alegre; ao longo do limite sul do Planalto Meridional (“Serra Geral”) de Triunfo a Rio Pardo e Candelária, no entorno de Santa Cruz do Sul; no noroeste do Estado próximo de São Luiz Gonzaga e Santo Ângelo; e regiões ao redor de Rio Grande, Pelotas e São Lourenço do Sul, na porção centro-sul da Planície Costeira.

a)



b)



c)

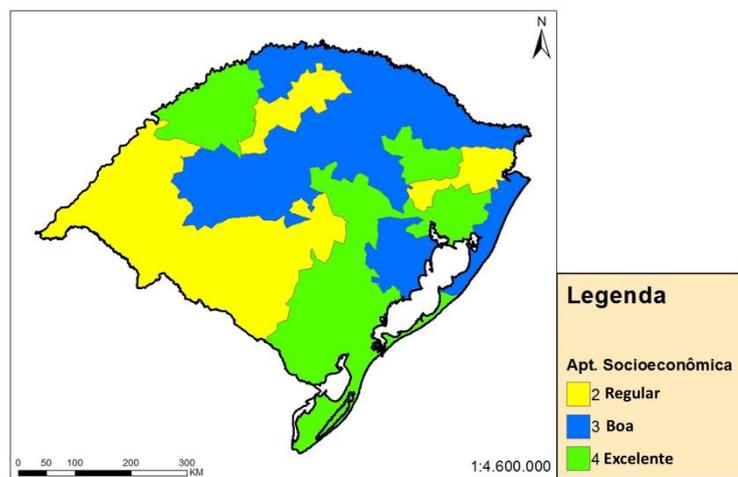
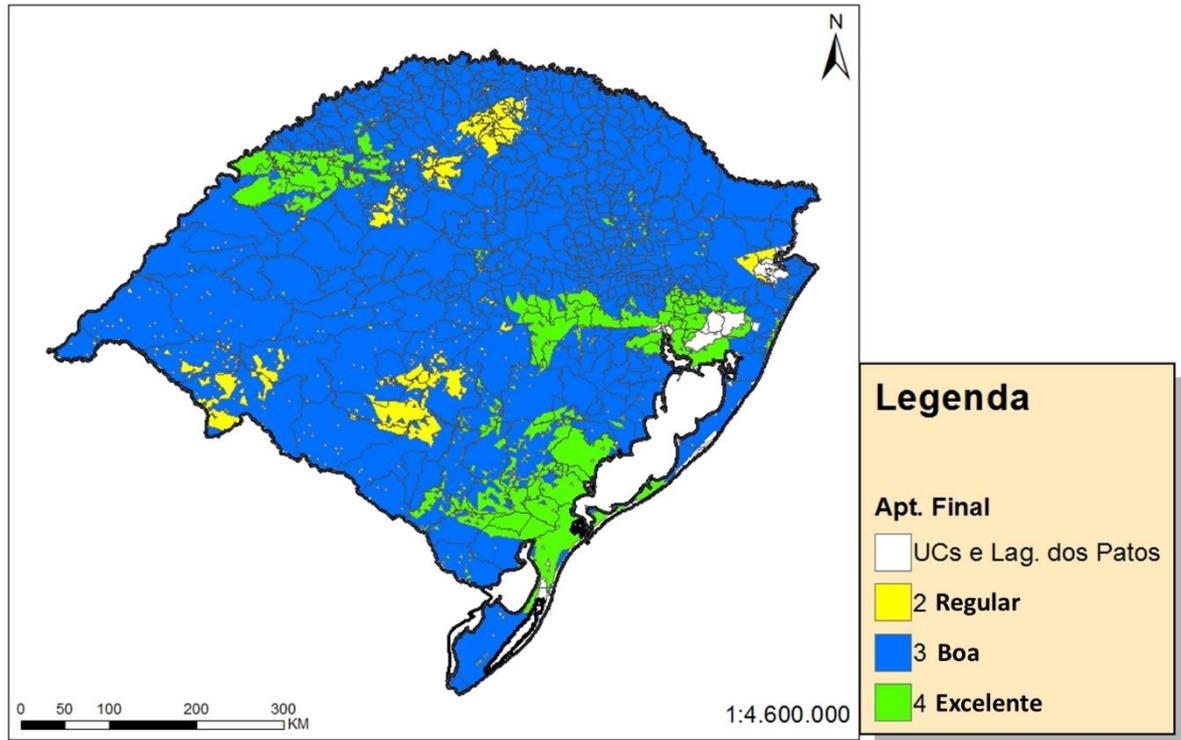


Figura 13. Mapas temáticos integrando os fatores de aptidão pela AMC – submodelos. (a) Aptidão para a piscicultura tropical continental no RS para o critério

ambiental. (b) Aptidão para a piscicultura tropical continental no RS para o critério *logístico e de infraestrutura.* (c) Aptidão para a piscicultura tropical continental no RS para o critério *socioeconômico.*

Figura 14. Macrozoneamento de aptidão da piscicultura continental no Rio Grande do Sul.



3.3 Discussão

A identificação de áreas aptas para piscicultura continental é um problema espacial complexo, pois envolve muitas variáveis e alternativas. Conseqüentemente, não se trata de uma análise simples e facilmente constatável, exigindo que tomadores de decisão adotem variados suportes e preferências (Dapuetto et al., 2015) e diferentes variáveis, modelos e escalas de análise.

Com a utilização das ferramentas SIG é possível observar individualmente cada mapa temático de fatores (parâmetros) e de critérios (submodelos) utilizados na análise. Nesse sentido, a análise multicriterial ponderada propõe integrar fatores de forma a apresentar uma compreensão espacialmente objetiva.

A metodologia utilizada para realizar o macrozoneamento da piscicultura continental no Rio Grande do Sul segue abordagens recentemente adotadas em estudos de zoneamento e seleção de áreas para desenvolvimento da aquicultura, tais como: Vianna et al. (2002); Hossain et al. (2007); Freitas (2011); Silva et al. (2011); Rotta et al. (2017); Seliger et al. (2021).

Em 30 anos, a utilização de geotecnologias na aquicultura teve grande desenvolvimento (Bonetti e Viann, 2016). Entretanto, a definição de critérios e modelos em ferramentas de SIG podem influenciar nos resultados finais. Cabe destacar a acurácia e a consistência das informações utilizadas na base de dados; a subjetividade dos parâmetros, que pode ocasionar diferentes interpretações; e a chance de ocorrer certo distanciamento da real complexidade da área de estudo (Nath et al., 2000; Dapuetto et al., 2015).

Outra questão que deve ser considerada, apresentada por D'Alge (2001) trata do conceito da *incerteza*, que diz respeito à representação do universo real no ambiente computacional da base de dados geográficos. Em cartografia, "*tudo que se mede ou se modela está sujeito a erros e esses erros respondem pela qualidade de um mapa ou da base de dados num SIG*" (D'Alge, 2001, pg.18).

Por exemplo, problemas na camada "malha viária" incompleta ou superestimada, na tabela de atributos do modelo digital de elevação (MDE) para as camadas "Altimetria" e "Declividade", inconsistências como essas não invalidam

necessariamente os resultados, mas é importante reconhecer que elas podem ocorrer. Podem ocorrer, também, complicações resultantes da diversidade de escalas, fontes e procedimentos para compor a base de dados do macrozoneamento, e com dados integrados ou combinados, como o mosaico de imagens SRTM. É preciso atentar-se à sua consistência topológica, para evitar problemas típicos de cobertura de dados (D'Alge, 2001).

A Escala adotada influencia essas e outras considerações para os resultados alcançados: se por um lado pode trazer complicações relativas à integração e cobertura de dados (Pérez et al., 2005), por outro proporciona uma visão conveniente acerca da distribuição espacial dos fatores produtivos e restritivos, o que favorece estudos posteriores em Escala maior (Gomes, 2019), por exemplo, abordando aptidão para aquicultura em tanques-rede (Bueno et al., 2013).

Segundo Câmara e Monteiro (2001), *“utilizar um SIG implica em escolher as representações mais adequadas para capturar a semântica do domínio de aplicação pretendido”* (Câmara e Monteiro, 2001, pg.2). Nesse sentido, alguns cuidados devem ser tomados na construção da base de dados geográfica para compôr a aplicação proposta; por exemplo, a camada temática de “Solos” utilizou como base um mapa de escala 1:5.000.000, diferente da escala utilizada nos mapas-base e no mapa final deste trabalho (E=1:4.600.000). Isso deve ser levado em consideração quanto à *compatibilidade* para a escala proposta no macrozoneamento (Ferreira, 2006). Dessa forma, devemos nos atentar para o fato que o mapa final produzido neste trabalho utiliza bases cujas compatibilidades podem não ser as mais adequadas entre si, conforme a metodologia adotada para realizar o macrozoneamento, utilizando bases de diferentes escalas e resoluções espaciais.

Ainda nesse sentido, a camada temática que merece a maior observação, é o “Clima” do Estado. Ela influencia significativamente o comportamento biofísico de crescimento e desenvolvimento para o modelo de produção proposto que é a tilápia (El-Sayed, 2006), e, portanto, constitui um dos parâmetros mais relevantes no modelo de tomada de decisão.

Para o fator “Clima” utilizado na AMC, foi utilizada uma camada temática da classificação proposta por Köppen (1931), que divide o Estado em apenas duas

regiões climáticas: Mesotérmico brando e Mesotérmico mediano. Segundo Monteiro (1971), todavia, a adoção de uma classificação climática de escala planetária como a de Köppen em estudos abrangendo escalas regionais traz alguns problemas, pois a classificação em escala global generaliza espacialmente e temporalmente os “compartimentos” climáticos (regiões climáticas delimitadas por zonas de transição, i.e., fronteiras climáticas) presentes em escalas regionais e locais. Nesse sentido, a adoção de uma classificação de escala planetária como a de Köppen é inadequada para o macrozoneamento da piscicultura continental do Estado do Rio Grande do Sul. Ressalta-se que a classificação de Köppen foi adotada essencialmente por razões operacionais e dificuldades na aquisição de dados georreferenciados espacializando uma classificação mais atual e adequada, como a de Rossato.

Enquanto a classificação de Köppen divide o Rio Grande do Sul em dois tipos de clima; a classificação proposta por Rosatto (2020) divide-o em quatro (dois deles com duas subdivisões): Subtropical Pouco Úmido, Subtropical Medianamente Úmido, Subtropical Úmido e Subtropical Muito Úmido. Além de espacializar mais diversificadamente a tipologia climática do Estado, a sua classificação é mais precisa, pois incorpora um conjunto mais abrangente de variáveis (Köppen se restringe à vegetação, à precipitação e à temperatura) e utiliza dados de períodos mais recentes, para a sua elaboração (Rosatto, 2011, 2020).

É importante lembrar, também, que o resultado do macrozoneamento da piscicultura continental utilizando a tilápia, uma espécie tropical, como modelo biológico para zonear uma região de tipologia climática Subtropical como o Rio Grande do Sul, é fortemente influenciado pelas condições climáticas necessárias para o cultivo dessa espécie, principalmente as temperaturas mínimas (El-Sayed, 2006). Além disso, a produção de tilápia acompanha um pacote tecnológico de melhoramento genético para o aumento das taxas de crescimento e ganho de peso, cuja utilização adequa-se à criação intensiva; constituindo um desafio a sua implantação nas pisciculturas do RS, que caracterizam-se, na sua maioria, como atividades de subsistência ou como cultivos em sistemas extensivos (Siqueira, 2016).

Espacializar fatores socioeconômicos, que tendem a apresentar uma maior dinamicidade temporal (p. ex. as camadas temáticas “Remuneração por Kg de pescado”, “Disponibilidade de assistência técnica” e “de crédito”), constitui um desafio

na utilização de ferramentas SIG, pois estes realizam uma representação estática do universo real, no universo computacional (Câmara et al., 2001; Ferreira, 2006). Resultados mais concisos, abrangendo a situação socioeconômica em trabalhos de zoneamento aquícola, necessitam de informações prévias (Longdill et al., 2008; Bonetti e Viann, 2016), como apresentado por Kapetsky et al. (1998); Carswell et al. (2006); Freitas (2011); Silva et al. (2011); Gomes (2019); Cota (2021).

Além disso, estudos de caráter socioeconômico envolvendo uma determinada população e as contribuições da aquicultura para o seu desenvolvimento, requerem a identificação de necessidades prioritárias a serem cumpridas, bem como das comunidades que poderão ser almejadas num programa ou política pública como, por exemplo, Martínez-Espinosa (2001) ou Siqueira (2016). Uma vez reconhecido o potencial para desenvolvimento da aquicultura, deve ser priorizado o estudo envolvendo essa comunidade (Kutty e Pillay, 2005). Nesse sentido, estudos de zoneamento aquícola são, em princípio, associados aos estudos de caráter socioeconômico abordando o desenvolvimento da aquicultura em uma determinada região.

Na nossa proposta de macrozoneamento, os critérios utilizados foram de caráter socioeconômico, de infraestrutura e ambientais. O uso desses três critérios, ou ao menos algum deles, é bastante comum em estudos de zoneamento aquícola e seleção de áreas para aquicultura, embora com a diferenciação com relação às denominações: “de infraestrutura” como “econômicos”, e “socioeconômicos” como “sociais” (Souza et al., 2012; Assefa e Abebe, 2018; Yunis et al., 2020).

Os critérios elencados por estudos de zoneamento aquícola também costumam satisfazer os requerimentos específicos de espécies utilizadas como arquétipos biológicos, como a tilápia (Assefa e Abebe, 2018) e modelos biológicos que acompanham tais requerimentos; à exemplo do camarão-branco-do-pacífico e o pitu (*Macrobrachium rosenbergii*), como em Scott e Völcker (2008). A utilização de viveiros escavados como modelo de sistema de produção de piscicultura também ocorre em outros trabalhos (Ssegane et al., 2012; Francisco et al., 2019), mas parece ser menos comum em associação com tanques-rede como modelo secundário (Rotta et al., 2017), muito por conta da Escala adotada.

Com relação à técnica de inferência espacial, foi utilizada a combinação linear ponderada para elaborar o macrozoneamento da piscicultura continental no Estado do Rio Grande do Sul. Essa técnica é considerada a mais comum entre os métodos de avaliação multicriterial ponderada empregados em estudos de zoneamento e seleção de áreas para aquicultura (Hossain et al., 2007; Falconer et al., 2016; Bonetti e Viann, 2016). Os estudos que envolvem avaliação multi-critério são fortemente influenciados pela técnica de inferência abordada (Booleana; média ponderada; *fuzzy*, etc); e, em avaliação multicriterial ponderada, a definição dos pesos é a etapa mais crítica no processo (Câmara et al., 2001).

Os parâmetros utilizados para compôr os submodelos, assim como os submodelos integrados para formar o mapa do macrozoneamento, foram combinados com pesos iguais entre si. Outros estudos também ponderaram suas variáveis dessa maneira (McLeod et al., 2002; Aryal e Paudel, 2008; Rotta et al., 2017). Segundo Bonham-Carter (1994), entretanto, pode não ser apropriado atribuir igual importância para as variáveis combinadas: as evidências precisam ser ponderadas de acordo com a suas importâncias relativas.

Nesse sentido, considera-se adequada a utilização de ferramentas de suporte à definição dos pesos, como a técnica Processo Analítico Hierárquico (Saaty, 1977) que utiliza a lógica da comparação pareada ("*pairwise comparisons*") para estabelecer importâncias relativas entre variáveis. Esse método tem sido usado em estudos de zoneamento e seleção de áreas para aquicultura (Salam et al., 2005; Hossain et al., 2007; Scott e Völcker, 2008; Falconer et al., 2016; Francisco et al., 2019; Yunis et al., 2020).

A atribuição de diferentes pesos às variáveis elencadas no modelo condiz mais fielmente com as importâncias relativas entre fatores de produção, que influenciam a aptidão para a piscicultura continental, na vida real. Por exemplo, a aptidão conforme a distância dos quatro principais aeroportos do estado, no modelo, provavelmente não possui importância relativa igual à importância atribuída à aptidão conforme a distância de fábricas de ração ou de produtores de alevinos. Justificamos a utilização do parâmetro "distância de aeroportos", e a atribuição de seu peso igual aos pesos dos outros parâmetros do critério "aptidão de infraestrutura" no modelo, conforme

revisão de literatura na qual a mesma metodologia é adotada, como em Rotta et al. (2017).

Ainda com relação à atribuição de pesos iguais nas variáveis pela combinação linear ponderada; é possível observar a existência de efeitos *trade-offs* (conforme Eastman, 1996) no resultado, isto é, a compensação que um ou mais fatores relativamente mais ponderados exercem sobre outros relativamente menos ponderados. Por exemplo, a camada temática “Solos” possui regiões consideradas mais aptas (“aptidão excelente – 4” e “aptidão boa – 3”) que foram consideradas de menor aptidão (“aptidão regular – 2”) no Mapa de Aptidão Ambiental, após a combinação dos parâmetros “Clima”, “Altimetria” e “Declividade” que expressam menor aptidão para essas mesmas áreas. De modo semelhante, algumas áreas definidas como de “aptidão boa (3)” no Mapa de Aptidão Ambiental foram as mesmas onde, na camada de “Solos”, possuem “aptidão regular (2)”.

Nesse sentido, é importante o conceito apresentado por Eastman (1996) denominado “risco de decisão” (*decision risk*). Em modelos de tomada de decisão, o “risco de decisão” diz respeito à probabilidade que a decisão tomada esteja incorreta, expressando certa *incerteza* que a combinação linear carrega nos resultados do seu lineamento (Eastman, 1999). Nesse sentido, a integração de um maior número de variáveis no modelo, bem como a utilização de “sobreposição nebulosa” (*fuzzy overlay*) conferem alternativas interessantes para análises mais realísticas acerca dos problemas espaciais complexos como o zoneamento (Malczewsky, 1999; Papadopoulou e Hatzichristos, 2019).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Graças ao progresso científico, observou-se um maior desenvolvimento da aquicultura nos séculos XX e XXI. Como resultado, hoje essa atividade fornece mais do que a metade do volume de peixes, crustáceos e moluscos para consumo humano, em relação à pesca.

Se comparada às criações animais tradicionais da agropecuária, no entanto, ainda carece de desenvolvimento científico e tecnológico. Visto que são observados impactos indesejáveis em escalas locais, regionais e globais, associados à degradação de serviços ecossistêmicos e a conflitos de uso do solo e dos recursos hídricos. Dentre os debates relacionados a esse tema na sociedade moderna, está a má seleção de locais para implantação do cultivo de organismos aquáticos.

A adequação para a implantação de empreendimentos aquícolas depende prioritariamente de três grandes grupos de critérios: a(s) espécie(s) considerada(s); a tecnologia empregada; e as características do local que propiciam a aptidão para o cultivo em questão. Tais características devem envolver fatores de aspecto ambiental, logísticos, econômicos e sociais, que se relacionam de forma complexa, e estão associados ao espaço geográfico.

Na compreensão do espaço geográfico as geotecnologias vêm demonstrando ser ferramentas promissoras em estudos identificando locais adequados para implantação de empreendimentos aquícolas, i. e. na aptidão para aquicultura. Nesse sentido, abrangem as informações georreferenciadas, o sensoriamento remoto, os bancos de dados geográficos e os SIG, e podem ser utilizados na aquicultura com três objetivos: caracterizar ambientes aquícolas; avaliar o potencial para aquicultura (zoneamento) e selecionar áreas aptas para aquicultura.

O zoneamento aquícola vem sendo amplamente desenvolvido e tem atraído a atenção de pesquisadores e de instituições como a FAO e a Embrapa. Pois possui potencial para fornecer soluções face à complexidade da questão espacial da gestão do território, que envolvem múltiplos fatores influenciando a tomada de decisão.

Estudos de zoneamento aquícola para identificar áreas aptas para a aquicultura utilizam técnicas de geoprocessamento, álgebra de mapas e técnicas de inferência

espacial como a álgebra Booleana, inferência *fuzzy* e média ponderada. Métodos de avaliação multicriterial ponderada são muito úteis para embasar processos de tomada de decisão segundo análises multi-criteriais, visto que desenvolvem ponderação entre critérios e fatores e produzem mapas representando áreas que expressam diferentes “graus” de aptidão.

A técnica mais utilizada em zoneamento aquícola é a combinação linear ponderada, acrescida de operações Booleanas para definir restrições espaciais no modelo de tomada de decisão. A etapa fundamental desse processo é a identificação e definição de pesos das variáveis; nesse sentido, técnicas matemáticas como o processo analítico hierárquico são muito promissoras.

Estudos de zoneamento aquícola demonstram o potencial de uso de SIG e técnicas de Geoprocessamento para a identificação de áreas propícias para a aquicultura; além da geração de instrumentos que auxiliam na tomada de decisões legais e de gestão da atividade, na formulação de estratégias de desenvolvimento e políticas públicas para o setor, e no amparo a investidores interessados em promover a atividade; de maneira sustentável, respeitando as limitações e potencialidades do ambiente e reduzindo conflitos de uso do solo e dos recursos hídricos.

Este trabalho revisou sobre as abordagens utilizadas em estudos de zoneamento aquícola e seleção de áreas para aquicultura utilizando geotecnologias. E realizou o macrozoneamento da piscicultura continental para o estado do Rio Grande do Sul.

O macrozoneamento normalizou variáveis em análise multicriterial ponderada utilizando arquivos-base com diferentes resoluções espaciais. O modelo baseou-se no cultivo de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) em viveiros escavados e tanques-rede, considerando fatores entendidos como “promotores” da atividade. Assim, foram selecionados um total de dezesseis parâmetros, combinados em três submodelos de critérios ambientais, logísticos e de infraestrutura, e socioeconômicos. Os parâmetros e os critérios foram normalizados com pesos iguais, em uma técnica de combinação linear ponderada.

O macrozoneamento espacializa a piscicultura continental no Rio Grande do Sul. Ele integra três mapas de aptidão para a piscicultura no estado, nos aspectos ambiental, logístico e de infraestrutura e socioeconômico. Apresenta uma Escala de aptidão para compreensão espacialmente objetiva, apesar de não ser uma análise simples visto a complexidade espacial associada à identificação de áreas aptas para a piscicultura continental no estado.

O macrozoneamento aponta que a maior parte do território gaúcho possui boa aptidão para a piscicultura continental. Poucas áreas são classificadas como “regular”. Receberam classe de aptidão classificada como “excelente” as regiões metropolitana e arredores de Porto Alegre; ao longo do limite sul do Planalto Meridional (“Serra Geral”) de Triunfo a Rio Pardo e Candelária, no entorno de Santa Cruz do Sul; no noroeste do Estado próximo de São Luiz Gonzaga e Santo Ângelo; e regiões ao redor de Rio Grande, Pelotas e São Lourenço do Sul, na porção centro-sul da Planície Costeira.

O macrozoneamento evidencia o potencial de desenvolvimento da piscicultura no estado, considerando sua variedade de solos, abundância de corpos hídricos, malha viária, fornecedores de insumos e disponibilidade de assistência aos piscicultores. Devido a uma série de instâncias sociais e culturais, a cadeia da piscicultura vem se estruturando gradualmente no estado, demonstrando a importância do conhecimento de áreas ainda carentes no desenvolvimento da atividade.

Sendo assim, para o desenvolvimento ordenado e sustentável da aquicultura no estado, o zoneamento aquícola se mostra uma ferramenta significativamente relevante na ordenação de espaços e subespaços, identificando as potencialidades e limitações no território de forma a subsidiar tomadores de decisão e agentes promotores da cadeia aquícola.

Referências

- AGUILAR-MANJARREZ, J.; ROSS, L.G. Aquaculture development and GIS: construction of a GIS for Tabasco State, Mexico, and the establishment of technical and social decision models for aquaculture development. **Mapping Awareness & GIS in Europe**, v. 7. p. 49-52. 1993.
- ANEEL (2011). **Relatórios Anuais**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília.
- ARAÚJO, M. H. S. **Fundamentos de geoprocessamento aplicados à mineração**. Cruz das Palmas: Universidade Federal do Recôncavo Baiano. 2017. 58 p.
- ARYAL, S. P.; PAUDEL, M. N. GIS based potentiality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farming in northern High Hill Rasuwa, Nepal. In: GURUNG, T. B. (Ed.). **Processings of the workshop on scaling-up rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farming strategies in Nepal**. Kathmandu, Nepal: Fisheries Research Division, Godawari, Lalitpur of NARC, 2008. 158 p.
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de informações geográficas – aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA, 1998. 2 ed. 434 p.
- ASSEFA, W. W.; ABEBE, W. B. GIS modeling of potentially suitable sites for aquaculture development in the Lake Tana basin, Northwest Ethiopia. **Agriculture & Food Security**, vol. 7, p. 1-15. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA PISCICULTURA. 2021. **Anuário Peixe Br da Piscicultura**. São Paulo. 138 p.
- AVAULT, J. W. Site selection and culture systems. In: AVAULT, J. W. **Fundamentals of aquaculture**. Baton Rouge: AVA, 1996. p.175-222.
- BARBOSA, Z. N. T.; OLIVEIRA, W. N.; ALVES, P. R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de riscos – estudo de caso: Angra dos Reis-RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 4940-4947.
- BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Presidência da República: Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 06 de dez. de 2021.
- BRASIL. **Decreto nº 4.297 de 10 de julho de 2002**. Regulamenta o art. 9º, do inciso II, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE, e dá outras providências. Presidência da República: Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF, 10 jul. 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm>. Acesso em: 06 de dez. de 2021.
- BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic information systems for Geoscientists: modelling with GIS**. Nova York: Pergamon/Elsevier, 1994. 398 p.
- BONISSONE, P. P., DECKER, K. Selecting uncertainty calculi and granularity: an experiment in trading-off precision and complexity. In: KANAL, L. N.; LEMMER, J. F (Eds.). **Uncertainty in Artificial Intelligence**. Holanda do Norte: Elsevier Science, p. 217-247. 1986.

BUCK, B. H.; LANGAN, R. **Aquaculture perspective of multi-use sites in the open ocean: the untapped potential for marine resources in the anthropocene**. Suíça: Springer Open. 404 p. 2017.

BUENO, G. W. et al. Implementation of aquaculture parks in Federal Government waters in Brazil. **Reviews in Aquaculture**, vol. 5, p. 1-12. 2013.

BURROUGH, P. A; McDONNELL, R. A. **Principles of Geographic Information Systems**. Oxford: Oxford University, 1998.

CAI, J.; ZHOU, X. (2019). **Contribution of aquaculture to total fishery production: the 50-percent mark**. p. 43-45. Roma: FAO, 2019. (Aquaculture Nesletter, N. 60).

CÂMARA, G.; CASANOVA, M. A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C. M. B.; MAGALHÃES, G. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Escola de Computação, SBC X. 1996. 193 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, V. M. A. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 345 p.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, V. M. A. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 356 p.

CÂMARA, G. et al. Técnicas de inferência geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, V. M. A. In: **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 345 p.

CAMARGO, E. C. G. **Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (Krigagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (SPRING)**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, 1997.

CARSWELL, B.; CHEESMAN, S.; ANDERSON, J. The use of spatial analysis for environmental assessment of shellfish aquaculture in Baynes Sound, Vancouver Island, British Columbia, Canada. **Aquaculture**, v. 253. p. 408-414. 2006.

COELHO, P. A.; TORRES, M. F. A. Zoneamento do Estado de Pernambuco para cultivo de camarões de água doce. **Revista Brasileira de Zoologia**, São Paulo, v. 1, n. 3, p. 149-154, 1983.

COTA, T. S.; SCOTTI, M. S. V.; CARMELLO, N. Characterization of the identity of pisciculture in the hydrographic basin of Rio Branco and Colorado. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 12, p. 173-190. 2021.

CREPALDI, D. V. et al. Sistemas de produção na piscicultura. **Revista Brasileira de Reprodução Animal**, Belo Horizonte, v. 30, n. 3/4, p. 86-99. 2006.

CYRINO, J. E. P. **Sistemas de produção em piscicultura**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1996.

D'ALGE, J. C. L. Cartografia para geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, V. M. A. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 345 p.

DAPUETO, et al. A spatial multi-criteria evaluation for site selection of offshore marine fish farm in the Ligurian Sea, Italy. **Ocean and Coastal Management**, v. 116, p. 64–77. 2015.

EASTMAN, J. R.; JIN, W.; PETER, A. K. K.; TOLEDANO, J. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, vol. 61, n. 5. P.539-547. 1995.

EASTMAN, J. R. Uncertainty and decision risk in multi-criteria evaluation: implications for GIS software design. In: **Proceedings, UN University International Institute for Software Technology Expert Group Workshop on Software Technology for Agenda'21: Decision Support Systems**. Macao, China. Sessão 8. 1996.

EASTMAN, J. R.; JIANG, H.; TOLEDANO, J. Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS. In: BEINAT, E; NIJKAMP, P. (Eds.). **Multi-criteria analysis for land-use management**. Kluwer Academic, Dordrecht, p.227-251. 1998.

EASTMAN, R. Multi-criteria evaluation and GIS. In: LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. (Eds.). **Geographical information systems**. Nova York: Wiley, 1999. p. 493-502.

EMBRAPA. Zoneamento Agrícola de Risco Climático - ZARC. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 1995.

EL-SAYED, A-F. M. **Tilapia culture**. Oxfordshire: CABI Publishing, 2006. 277 p.

FALCONER, L.; TELFER, T. C.; ROSS, L. G. Investigation of a novel approach for aquaculture site selection. **Journal of Environmental Management**, 2016, vol. 181, p. 791-804. 2018.

FAO. (1977). **A Framework for land evaluation**. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement. Roma: FAO, 1977. 87p. (ILRI Publication, 221).

FAO. **Inland water resources and aquaculture service, fishery resources division**: review of state of world aquaculture. Roma: FAO, 2003. (FAO Fisheries Circular).

FAO. (2020). **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020**: sustainability in action. Roma: FAO, 2020. 206 p.

FAO – FISHERIES AND AQUACULTURE DIVISION. **Aquaculture**. Disponível em: <<https://www.fao.org/fishery/aquaculture/en>>. Acesso em: 06 out. 2021.

FERNÁNDEZ, A. L. **Acuicultura como herramienta para el desarrollo**. Madrid, 2005. 119 p.

FERREIRA, N. C. **Apostila de sistema de informações geográficas**. Goiás: Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, 2006. 111 p.

FRANCISCO, H. R.; CORRÊIA, A. F.; FEIDEN, A. classification of areas suitable for fish farming using geotechnology and multi-criteria analysis. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8. 2019.

FREITAS, R. R. **Sistemas de informação geográfica como ferramenta para determinação de áreas para o desenvolvimento da carcinicultura no litoral sul do Rio Grande do Sul**. 2011. 102 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2011.

GIMPEL, A.; et al. A GIS-based tool for an integrated assessment of spatial planning trade-offs with aquaculture. **Science of The Total Environment**, vol. 627, p. 1644-1655. 2018.

GOMES, J. M.; VELHO, L. *Computação visual: imagens*. Rio, SBM. 1995.

GOMES, D. F. P. **GIS-based site selection and dynamic modelling of Magallana oyster in the Sado Estuary, Portugal**. 2019. 91 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2019.

GOMES FERREIRA, R. et al. A multimetric investor index for aquaculture: application to the European Union and Norway. **Aquaculture**, vol. 516. 2020.

HELLMANN, R. A. **Geomarketing eleitoral: uma análise espacial dos resultados das eleições 2008 em Porto Alegre-RS**. Trabalho de conclusão de graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

HOSSAIN, M. S.; CHOWDHURY, S. R.; DAS, N. G.; RAHAMAN, M. M. Multi-criteria evaluation approach to GIS-based land-suitability classification for tilapia farming in Bangladesh. **Aquaculture International**, v. 15, n. 6, p. 425-443. 2007.

IBGE. Diretoria de Agropecuária, Superintendência de Recursos Naturais. **Termos de Referência para uma Proposta de Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil**. Rio de Janeiro. 1986.

IBGE/EMBRAPA. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php>.

JIANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, vol. 14, n. 2. p. 173-184. 2000.

KAPETSKY, J. M.; HILL, J. M.; WORTHY, L. D.; EVANS, D. L. Assessing potential for aquaculture development with a geographic information system. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 21, n. 4, p.241-249. 1990.

KAPETSKY, J. M.; NATH, S. S. **A Strategic Assessment of the Potential for Freshwater Fish Farming in Latin America**. FAO: Roma, 1997.

KAPETSKY, J. M.; HILL, J. M.; WORTHY, L. D. A geographical information system for catfish farming development. **Aquaculture**, v. 68, n. 4. p. 311-320. 1998.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México: Fundo de Cultura Econômica. 1931

LAAMA, C.; BACHARI, N. E. I. Evaluation of site suitability for the expansion of mussel farming in the Bay of Souahlia (Algeria) using empirical models. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 31, p. 337-335. 2018.

LONGDILL, P. C., HEALY, T. R., & BLACK, K. P. An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection. **Ocean and Coastal Management**, v. 51. p. 612– 624. 2008.

MALCZEWSKI, J. **GIS and Multicriteria Decision Analysis**. Estados Unidos da América: John Wiley & Sons Inc. 1999.

MALCZEWSKI, J. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, vol. 8. p. 270-277. 2006.

MARTÍNEZ-ESPINOSA, M. **La acuicultura rural en pequeña escala en**

América Latina y el Caribe. Comissão de Pesca Continental e Aquicultura para América Latina e o Caribe (COPESCAALC). Roma: FAO, 2001.

McLEOD, I.; PANTUS, F.; PRESTON, N. The use of a geographical information system for land-based aquaculture planning. **Aquaculture Resource**, vol. 33, p. 231-250. 2020.

MONTEIRO, C. A. F. Análise rítmica em climatologia: problemas de atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. **Climatologia**, nº 1, IG/USP. 21 p. 1971.

NATH, S. S., BOLTE, J. P., ROSS, L. G., AGUILAR-MANJARREZ, J. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. **Aquacultural Engineering**, v. 23. p. 233–278. 2000.

PAPADOPOULOU, C-A.; HATZICHRISTOS, T. A GIS-based spatial multi-criteria decision analysis: crisp and fuzzy methods. In: E-PROCEEDINGS OF THE 22nd CONFERENCE ON GEO-INFORMATION SCIENCE, 2019, Limassol, Chipre. AGILE, 2019. 3 p.

PARKER, R. **Aquaculture science**. 3 ed. Estados Unidos da América: Delmar Cengage Learning, 2012. 652 p.

PÉREZ, O. M.; TELFER, T. C.; ROSS, L. G. Geographical information systems-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. **Aquaculture Research**, v.36, n.10, p. 946-961. 2005.

PILLAY, T. V. R.; KUTTY, M. N. **Aquaculture: principles and practices**. 2 ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2005. 624 p.

PROENÇA, C. E. M.; BITTENCOURT, P. R. L. **Manual de piscicultura tropical**. Brasília: IBAMA, 1994. 195 p.

RADIARTA, I. N.; SAITOH, S. I.; YASUI, H. Aquaculture site selection for Japanese kelp (*Laminaria japonica*) in southern Hokkaido, Japan, using satellite remote sensing and GIS-based models. **ICES Journal of Marine Science**, vol. 68. 2011.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 36 p. (Embrapa Solos. Documentos, 1).

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto nº 53.885, de 16 de janeiro de 2018**. Institui subdivisão das Regiões Hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul em Bacias Hidrográficas. Diário Oficial. Porto Alegre, RS, 17 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/08095109-decreto-53885-2017.pdf>>. Acesso em: 12 de out. de 2021.

ROSA, R. Metodologia para Zoneamento de Bacias Hidrográficas Utilizando Produtos de Sensoriamento Remoto e Integrados por Sistema de Informação Geográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Anais, 1996, Salvador, Brasil. **Anais...** Salvador: INPE, 1996. p. 363-368.

ROSS, L. G.; MENDOZA, E. A.; BEVERIDGE, M. C. M. The application of geographical information systems to site selection for coastal aquaculture: an example based on salmonid cage aquaculture. **Aquaculture**, v. 112, p.165-178. 1993.

ROSS, L. G., TELFER, T. C., FALCONER, L., SOTO, D., & AGUILAR-MANJARREZ, J. (2013). **Site selection and carrying capacities for inland and coastal aquaculture**. Roma: FAO Fisheries and Aquaculture (Proceedings N. 21).

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 253 f.: il. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: uma proposta de classificação temática. **Entrelugar**. v. 11, n. 22. 85 p. 2020.

ROTTA, M. A.; MATIAS, J. F. N.; SILVEIRA, J. P. A.; JUNIOR, P. M. C.; HALVERSON, M. R.; SELLE, D. C. **Estruturação do plano de desenvolvimento da cadeia produtiva da piscicultura no estado do Piauí**. Secretaria do Desenvolvimento Rural do Estado do Piauí. 2017.

RIKALOVIC, A.; COSIC, I.; LAZAREVIC, D. GIS based multi-criteria analysis for industrial site selection. **Procedia Engineering**, v. 69, p. 1054-1063. 2014.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. Nova York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**. v.1, n. 1. 2008.

SALAM, M. A.; KHATUN, N. A.; ALI, M. M. Carp farming potential in Barhatta Upazilla, Bangladesh: a GIS methodological perspective. **Aquaculture**, vol. 245, p. 75-87. 2005.

SILVA, L. F. Identificação de sub-ambientes na Baía Sul (SC) com base na análise de variáveis oceanográfico-sedimentares. 2002. 123 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

SILVA, J. S. V.; SANTOS, R. F. Zoneamento para planejamento ambiental: vantagens e restrições de métodos e técnicas. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 21, n. 2, p. 221-263. 2004.

SIMON, J.; WEBBER, D. C. **Zoneamento aquícola: análise de contexto e abordagens técnicas**. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2015. 33 p. (Embrapa Pesca e Aquicultura. Documentos, 10).

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO, GOVERNANÇA E GESTÃO. ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. BRASIL. **Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul**. 6 ed. Data de atualização: julho de 2020. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/edicao>> Acesso em: 13 out. 2021.

SELIGER, C.; HASLAUER, M.; UNFER, G.; SCHMUTZ, S. AquaZone: an integrative tool for sustainable fish farm zoning. **Sustainability**, Austria, vol. 13, n. 3. 25 p. 2021.

SIQUEIRA, L. V. **As políticas públicas para a piscicultura e sua implementação em contextos locais distintos: um estudo comparativo entre o Rio Grande do Sul e o Ceará**. 2016. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SOARES, C. G.; MORÁVIA, R. V. **Utilização de Ferramentas Georreferenciadas para auxiliar na tomada de decisão**. Minas Gerais: Faculdade Infórium de Tecnologia. 2014.

SOTO, D.; AGUILAR-MANJARREZ, J. **Aquaculture zoning, site selection and area management under the ecosystem approach to aquaculture**. 5 p. Roma: FAO, 2015.

SOUZA, F. E. S. de; MOURA, E. A.; SORIANO, E. M. Use of geographic information systems (GIS) to identify adequate sites for cultivation of the seaweed *Gracilaria birdiae* in Rio Grande do Norte, Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 22, n. 4, p. 868-873. 2012.

SSEGANE, H.; TOLLNER, E. W.; VEVERICA, K. Geospatial modeling of site suitability for pond-based tilapia and clarias farming in Uganda. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 24. p. 147-169. 2012.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: Emater/RS, 2018. 222 p.

TAVARES, H.; BORGES, T. M. Utilização de sistemas de informações geográficas (SIGs) no desenvolvimento e atualização de rotas de leitura e entrega de fatura em uma empresa de saneamento. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38., 2018, Maceió. **Anais...** Maceió: ABEPRO, 2011. p. 1-12.

TEIXEIRA, A. et al. Qual a melhor definição de SIG. **Fator GIS - A Revista do Geoprocessamento**, Curitiba, v. 3, nº 11. 1995.

TEIXEIRA, R. N. G. Aquicultura: desafios para produzir peixes de forma sustentável. In: ENCONTRO AGROTECNOLÓGICO PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS – O Cenário atual do desenvolvimento da agricultura e perspectivas de novas tecnologias, 2., 2006, Tailândia, Pará. **Anais...** Tailândia: Grafic Express, 2006. p. 133-142.

TIDWELL, J. H. (Ed.). **Aquaculture production systems**. Oxford: John Wiley & Sons, Inc, 2012. 421 p.

TOMLIN, D. **Geographic information systems and Cartographic Modeling**. Nova York: Prentice Hall. 1990.

TUNDISI T. M. J. G.; TUNDISI T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

VIANN, L. F.; BONETTI, J. B. C. Sistemas de informações geográficas para seleção de sítios para aquicultura: uma revisão. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 90-95. 2016.

VIANNA, L. F. N. ; SCOTT, P. C.; MATHIAS, M. A. C. Diagnóstico da cadeia aquícola para o desenvolvimento da atividade no estado do Rio de Janeiro. **Panorama da Aquicultura**, v. 12, n. 71. p.14-25. 2002.

VIANNA, L. F. N.; SCOTT, P. C. Building scenarios and decision-making methods for coastal aquaculture site selection in Brazil: a case study of South Bay in Florianópolis, Santa Catarina, Brazil. In: AGUILAR-MANJARREZ, J.; CAROCCI, F. **Manual of training course on the use of GIS in fisheries and aquaculture**. Roma: FAO, 2009. p. 1-24.

VIANNA, L. F. N., NOVAES, A. L. T. Geocodificação de unidades de mapeamento aquícola para um sistema de controle de produção e rastreabilidade em Santa Catarina, Brasil. **Geografia**, v. 36, p. 163- 178. 2011.

VIANNA, L. F. N.; BONETTI, J.; POLETTE, M. Gestão costeira integrada: análise da compatibilidade entre os instrumentos de uma política pública para o desenvolvimento da

maricultura e um plano de gerenciamento costeiro no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 3, p. 357-3. 2012.

VÖLCKER, C. M.; SCOTT, P. SIG e sensoriamento remoto para a determinação do potencial da aqüicultura no baixo São João-RJ. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, vol. 3, n. 3. p. 196-215

VOOGD, H. **Multi-criteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion. 1983.

WALTER, T.; ANELLO, L. F. S.; BARTELS, H.; TROCA, D. F. A. **Panorama atual da piscicultura no Rio Grande do Sul – relatório sintético**. Análise das cadeias produtivas do pescado oriundo da pesca artesanal e/ou da aquicultura familiar no Estado do Rio Grande do Sul: Convênio FURG/SDR-RS 2401/2011. 2015.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C. J. S. (2004). Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação. Porto Alegre, Centro de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>.

YAGER, R. Ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision-making. **I.E.E.E. Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**. 1988.

YUNIS, C. R. C.; et al. Land suitability for sustainable aquaculture of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Molinopampa (Peru) based on RS, GIS, and AHP. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9. 2020.