

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS
E ENGENHARIA DE PESCA

KAREN CARRILHO DA SILVA LIRA

Fragilidade ambiental, distribuição espacial de viveiros e estimativa de potencial produtivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na bacia hidrográfica do Arroio Marreco utilizando SIG

Toledo

2022

KAREN CARRILHO DA SILVA LIRA

Fragilidade ambiental, distribuição espacial de viveiros e estimativa de potencial produtivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na bacia hidrográfica do Arroio Marreco utilizando SIG

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Aldi Feiden

Coorientador: Prof. Dr. Humberto Rodrigues Francisco

Toledo

2022

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Carrilho da Silva Lira, Karen

Fragilidade ambiental, distribuição espacial de viveiros e estimativa de potencial produtivo da tilápia de Nilo (*Oreochromis niloticus*) na bacia hidrográfica do Arreio Marreco utilizando SIG / Karen Carrilho da Silva Lira; orientador Aldi Feiden; coorientador Humberto Rodrigues Francisco. -- Toledo, 2022.

86 p.

Tese (Doutorado Campus de Toledo) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, 2022.

1. Bacia hidrográfica . 2. Piscicultura . 3. Geotecnologia. 4. Sustentabilidade. I. Feiden, Aldi, orient. II. Rodrigues Francisco, Humberto, coorient. III. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

KAREN CARRILHO DA SILVA LIRA

Fragilidade ambiental, distribuição espacial de viveiros e estimativa de potencial produtivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na bacia hidrográfica do Arroio Marreco utilizando SIG

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Nível de Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Aldi Feiden
Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)

Prof. Dr. Altevir Signor
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Fábio Bittencourt
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Wilian Francisco de Araújo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Dalposso
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Aprovada em: 08 de abril de 2022.
Local de defesa: online

Dedico este trabalho a minha família, meus pais Luiz e Mariza, minha irmã Caroline e meu marido Fausto.

AGRADECIMENTO(S)

Agradeço a minha família, meus pais Luiz e Mariza, minha irmã Caroline e meu marido Fausto, pela dedicação, paciência e amor incondicional depositados em mim.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. Aldi Feiden, pelos ensinamentos e experiência dividida, por acreditar em mim e por todo apoio e dedicação destinados ao trabalho, sempre com muita alegria e compreensão.

Agradeço ao meu coorientador professor Dr. Humberto Rodrigues Francisco por também acreditar em mim e no nosso trabalho, por toda atenção, paciência e horas de conversa ao longo da pesquisa.

Agradeço as amigas de trabalho e de estudo, Jahina e Márcia, por toda parceria, amizade e atenção que tiveram comigo ao longo dos anos, com certeza tornaram a vida acadêmica mais leve.

Agradeço aos colegas Felipe e Jhonny, por toda contribuição, troca de ideias e apoio desde o início do estudo.

Agradeço aos membros da banca de qualificação e defesa, pela dedicação na leitura do trabalho e contribuições pertinentes apresentadas para melhoria da pesquisa.

Agradeço a UTFPR, universidade que tenho tanto carinho e prazer em trabalhar, e a todos os docentes da COMAT pelo apoio nesta jornada.

Agradeço a Unioeste e ao PREP por me concederem a oportunidade de crescer profissionalmente e evoluir como pesquisadora. Da mesma forma agradeço aos docentes e discentes do GEMaQ pelo apoio e companheirismo.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma participaram dessa etapa, que compartilharam ideias e ensinamentos contribuindo em todo o processo.

Fragilidade ambiental, distribuição espacial de viveiros e estimativa de potencial produtivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na bacia hidrográfica do Arroio Marreco utilizando SIG

RESUMO

A avaliação da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas é uma importante ferramenta para auxiliar gestores no planejamento e intervenções para produção sustentável e conservação ambiental. O objetivo deste trabalho foi utilizar a lógica Fuzzy e o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para classificação de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Arroio Marreco, localizada na região Oeste do Paraná. Para classificar as áreas foi utilizado um sistema de informação geográfico (SIG) e dados de um modelo digital de elevação (MDE), bem como dados de ocupação e tipo de solo. A análise constatou que 71,3% da área da bacia tem fragilidade média. Ao comparar com outras duas formas de atribuição de peso aos elementos do mapa de declividade, as três apresentaram diferença estatística, mas todas indicaram que a bacia em estudo tem fragilidade ambiental média em sua maior parte. A utilização da lógica Fuzzy permitiu aplicar uma variação de pesos contínua conforme a variação das características ambientais, podendo representar de forma eficaz a realidade e, conseqüentemente, apresentar resultados mais confiáveis. Além disso, o crescimento da produção de tilápia aponta para a importância de estudos acerca do melhor beneficiamento da matéria prima objetivando um crescimento sustentável e estimulando o aumento de renda de frigoríficos e produtores rurais da região. O segundo objetivo deste trabalho foi estimar o potencial produtivo da tilápia do Nilo considerando diferentes produtos (peixe inteiro, filetado, carne mecanicamente separada (CMS), farinha e óleo) e analisar a distribuição espacial dos viveiros escavados utilizando o estimador de densidade Kernel através de um SIG. Os resultados mostraram que a maior parte dos viveiros escavados está localizada em áreas de fragilidade ambiental média, com maior densidade de produção localizada na sub-bacia do Baixo Marreco e nas proximidades do Arroio Marreco e rodovias, indicando existência de estrutura logística para escoamento da produção. E considerando a produtividade média de 68t/ha/ano, a bacia tem potencial produtivo de 11.029,60 t por ano, representando 57,7% da produção total dos municípios aos quais pertence. Além disso, o aproveitamento dos resíduos pode representar um aumento de 115,5% na receita bruta anual considerando as receitas do peixe filetado, da CMS, da farinha e do óleo em relação ao peixe inteiro. Estes dados indicam um possível aumento de receita para frigoríficos e

produtores na região aproveitando as áreas de lâmina d'água existentes e os resíduos do processamento do peixe, contribuindo para a preservação do ambiente e crescimento sustentável da atividade.

Palavras-chave: Análise multicritério; Estimativa de densidade kernel; Piscicultura; Sistema de Informação Geográfica; Sustentabilidade; Vulnerabilidade ambiental.

Environmental fragility, spatial distribution of ponds and estimation of productive potential of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the Marreco River watershed using GIS

ABSTRACT

Assessment of environmental fragility in watersheds is an important tool to assist managers in planning and interventions for sustainable production and environmental conservation. The objective of this work was to use Fuzzy logic and the Analytic Hierarchy Process (AHP) method to classify environmental fragility in Marreco River watershed, located in western Paraná. To classify areas, a geographic information system (GIS) and data from a digital elevation model (DEM), as well as data on soil occupation and type were used. The analysis found that 71.3% of the basin area has average fragility. Compared to two other forms of weighing elements of the slope map, the three presented statistical difference, but all indicated that the basin under study mostly has average environmental fragility. The use of Fuzzy logic allowed application of a continuous variation of weights according to the variation of environmental characteristics, which may more effectively represent the reality and, therefore, provide more reliable results. In addition, the growth in tilapia production points to the importance of studies on the best processing of the raw material, aiming at sustainable growth and stimulating the increase in income of warehouse and rural producers in the region. The second objective of this work was to estimate the productive potential of Nile tilapia considering different products (whole fish, fillet, mechanically separated meat (MSM), flour and oil) and to analyze the spatial distribution of the excavated ponds using the Kernel density estimator through a GIS. The results showed that most of the excavated ponds are in areas of average environmental fragility, with a higher density of production located in the Baixo Marreco sub-basin and near the Marreco River and highways, indicating the existence of a logistical structure for the flow of production. And considering the average productivity of 68t/ha/year, the basin has a productive potential of 11,029,60 t per year, representing 57.7% of the total production of the municipalities to which it belongs. In addition, the use of waste can represent an increase of 115.5% in annual gross revenue considering filleted fish, MSM, flour and oil in relation to whole fish. These data indicate a possible increase in revenue for warehouses and producers in the region, taking advantage of the existing water extension and waste from fish processing, contributing to the

environment preservation and sustainable growth of the activity.

Keywords: Multi-criteria analysis; Kernel density estimation; Fish farming; Geographic Information System; Sustainability; Environmental vulnerability.

Tese elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica Sociedade e Natureza.

Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/libraryFiles/downloadPublic/407>

SUMÁRIO

Introdução	14
Objetivos.....	17
Geral	17
Específicos.....	17
Capítulo 1: Referencial Teórico	18
1.1.Fragilidade ambiental e termos relacionados	18
1.2. Bacias hidrográficas	19
1.3.Modelagem Fuzzy	19
1.4.Método <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP)	20
1.5.Estimador de densidade <i>Kernel</i>	22
1.6.Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	22
1.7.Tilápia do Nilo: características e produção	23
Referências Bibliográficas.....	25
Capítulo 2. Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP	33
1.Introdução.....	33
2. Material e Métodos.....	35
2.1 Software.....	37
2.2 Aquisição dos dados	37
2.3 Padronização dos dados.....	38
2.4 Modelagem Fuzzy.	38
2.4.1 Determinação dos pesos usando modelagem Fuzzy.....	39
2.4.2 Fragilidade ambiental quanto ao tipo de solo e uso/ocupação do solo.....	39
2.4.3 Fragilidade ambiental quanto a declividade.....	40
2.4.4 Fragilidade ambiental quanto a altitude.....	41
2.5 O método AHP.	42
2.5.1 Determinação dos pesos usando AHP.	42
2.6 Comparação de métodos.....	44
3.Resultados.....	45
4.Discussão	50
5.Considerações Finais	51
Referências Bibliográficas.....	52

Capítulo 3. Análise de distribuição espacial de viveiros escavados e estimativa de potencial produtivo da tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) na bacia hidrográfica do Arroio Marreco	59
1.Introdução.....	60
2.Material e Métodos	63
2.1 Área de estudo	63
2.2 Software.....	64
2.3 Tilápia do Nilo.....	64
2.4 Aquisição dos dados	64
2.4.1 Delimitação da bacia e estradas.....	64
2.4.2 Viveiros escavados	65
2.4.3 Fragilidade ambiental	65
2.5 Cálculo do potencial produtivo estimado	66
2.6 Estimativa de densidade de Kernel (Kernel Density Estimation - KDE.....	66
2.7 Padronização dos dados.....	67
3.Resultados e discussões	68
3.1Condições ambientais e localização dos viveiros.....	68
3.2 Estimativa do potencial produtivo.....	69
3.3 Análise espacial do potencial produtivo.....	74
4.Considerações finais	75
Referências Bibliográficas.....	77
Capítulo 4. Conclusões e considerações finais.....	83
Referências Bibliográficas.....	84
Capítulo 5. Sugestões para trabalhos futuros	85

Introdução

A aquicultura, uma das atividades importantes para o desenvolvimento econômico rural no país, engloba diferentes atividades de criação de organismos aquáticos. A produção aquícola mundial tem projeção de atingir 109 milhões de toneladas até 2030, representando um aumento de 32% quando comparado ao ano de 2018. (FAO, 2020).

A piscicultura, atividade responsável pela criação de peixes e uma das principais modalidades da aquicultura atualmente (FAO, 2020), é caracterizada por monitorar a espécie em ambiente controlado desde o início da vida até atingir condição ideal para consumo. A atividade é realizada em área com água retida, com controle de entrada e saída (FRANCISCO *et al.*, 2020). Os viveiros, sistema produtivo mais antigo na piscicultura, são áreas escavadas sem revestimento interno e preenchidos com água, onde o cultivo é realizado conforme grau de tecnificação e otimização do manejo (CREPALDI *et al.*, 2006).

A tilápia do Nilo é a terceira espécie mais produzida, representando 8,3% da produção mundial. Em 2020 a tilápia representou 62,26% da produção piscícola brasileira e apresentou crescimento anual médio de 14% entre 2013 e 2018. No mesmo ano, a região Oeste do Paraná apareceu como o maior polo produtor de tilápia no Brasil, tendo como principal cadeia produtiva a do filé de tilápia. (EMBRAPA, 2021; PEDROZA FILHO *et al.* 2020; FAO, 2020).

Diante do potencial de crescimento da tilapicultura no país, é importante acompanhar e planejar o desenvolvimento da atividade garantindo sua sustentabilidade, pois além da deterioração do efluente lançado no meio ambiente (COLDEBELLA *et al.*, 2018), também vale observar as características ambientais das áreas em produção, bem como a quantidade de resíduos gerados pela indústria. Durante o principal método de processamento da tilápia (filetagem), a quantidade de resíduos gerados pode ser de 72%, muitas vezes com destinos inadequados para o meio ambiente (BOSCOLO E FEIDEN, 2007; KUBITZA, 2006; FAO, 2020; BARROSO E MONOZ, 2017).

Com o avanço das tecnologias de processamento, outros usos dos resíduos da indústria vêm sendo estudados para consumo humano e animal, como a carne mecanicamente separada (CMS), a farinha e o óleo. A CMS pode ser obtida a partir do descabeçamento, a evisceração, limpeza e, após a filetagem, separação mecânica da carne aderida às espinhas, ossos e pele através de uma máquina desossadora (PIRES *et al.*, 2014). A farinha é obtida após cocção, secagem e moagem dos resíduos e o óleo é obtido durante esse processo através de uma caixa percoladora e filtro prensa (ARRUDA *et al.* 2007; VIDOTTI *et al.*, 2010).

Em termos ambientais, estudos recentes apontam a importância da análise de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas como dos Santos e Nascimento (2021) para a bacia do Rio de Janeiro na Bahia; Albuquerque e de Medeiros (2017) no Ceará; dos Santos *et al.* (2021) para a bacia hidrográfica do Rio Piracuruca no Piauí; e Abrão e Bacani (2018) para a bacia do Rio Santo Antônio no Mato Grosso do Sul. De fato, bacias hidrográficas constituem um sistema natural equilibrado, onde alterações podem comprometer sua funcionalidade (CHRISTOFOLETTI, 1980; REGGIANI e HASSANIZADEH, 2016).

Segundo Spörl (2007), fragilidade ambiental representa a vulnerabilidade do ambiente ao sofrer intervenções, englobando processos erosivos, assoreamentos e inundações. E no contexto de bacias hidrográficas, extrações da cobertura vegetal podem afetar a temperatura, o regime hídrico e a resistência do solo (TRICART, 1977).

Tricart (1977) observou que o ambiente se mantém em equilíbrio dinâmico com relações naturais de troca e sugeriu um modelo de avaliação dos graus de instabilidade usando informações sobre pedogênese e morfogênese. Ross (1994) adaptou esse modelo com informações sobre intervenção humana, geomorfologia, solos, cobertura vegetal e clima e estabeleceu importância diferente para cada variável. Crepani *et al.* (2001) utilizaram as variáveis índice de dissecação do relevo, rocha, solo e cobertura vegetal e estabeleceu igual importância para as variáveis ambientais no estudo de fragilidade. Destaca-se que os resultados sobre fragilidade são distintos ao comparar esses modelos. Dalla Corte *et al.* (2015) inferiram que a metodologia para análise de fragilidade ambiental depende da escolha dos fatores de ponderação e está relacionada ao contexto em que é realizada.

Neste contexto, como objeto de estudo para esta pesquisa, foi escolhida a bacia hidrográfica do Arroio Marreco localizada no Oeste do Paraná, pois está em uma das regiões de maior produção de grãos, suínos e peixe e pertencente a bacia hidrográfica do Paraná 3, cujos afluentes lançam águas na Usina Hidrelétrica de Itaipu (SEAB, 2018; PMRH, 2017; PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3, 2014). Foi realizada uma análise de fragilidade ambiental usando características como tipo de solo, declividade, altitude e uso/ocupação do solo através da lógica Fuzzy e o método de análise multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Posteriormente, foi realizada uma análise da distribuição espacial dos viveiros escavados existentes na bacia, através do estimador de densidade *Kernel*, a fim de compreender as condições ambientais em que foram construídos e a localização das maiores densidades de produção.

Para o estudo acerca do melhor beneficiamento dos resíduos do processo de filetagem foi analisada a estimativa de potencial produtivo da tilápia do Nilo considerando diferentes

produtos como o peixe inteiro, o filé, a carne mecanicamente separada (CMS), a farinha e o óleo. A CMS foi escolhida por ser fonte significativa de nutrição humana e apresentar potencial de alto valor agregado (AL KHAWLI *et al.*, 2019). A farinha e o óleo possuem valor biológico, aminoácidos, ácidos graxos, sais minerais e vitaminas, sendo uma fonte de nutrição em rações para peixes e outros animais (ARRUDA *et al.* 2007; BOSCOLO *et al.*, 2008; PIRES *et al.*, 2014).

Das ferramentas utilizadas nesta pesquisa, a lógica Fuzzy tem estrutura matemática e propriedade de inexatidão de fronteira entre objetos tornando-a capaz de tratar problemas com imprecisão e abstração em seus modelos e conceitos, permitindo representar a variação e a importância relativa de cada critério no fenômeno estudado, possibilitando resultados mais confiáveis (BURROUGH ,1992; BURROUGH e MCDONNELL, 1998; ROSENDO, 2019).

O método AHP é um método de análise multicritério baseado na comparação pareada, com escala pré-definida para expressar a importância de um critério sobre o outro em relação à tomada de decisão, além de apresentar nível de consistência dos cálculos (SAATY, 1990; SAATY, 1991; SAATY e VARGAS, 2012).

O estimador de densidade *Kernel* é um estimador probabilístico que transforma uma distribuição de pontos em uma superfície de densidade auxiliando na identificação visual da concentração de um evento e sua distribuição espacial (BAILEY E GATRELL,1995).

Os dados obtidos foram processados e analisados utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG). O SIG têm como principal característica a capacidade de integrar e transformar dados espaciais com aplicações em diversas áreas e, por isso, se tornaram importantes ferramentas no processamento de dados geográficos relacionados à piscicultura (SILVA, 2003; MIRANDA, 2005; FRANCISCO *et al.*, 2020).

Objetivos

Geral

Analisar a fragilidade ambiental, a distribuição espacial dos viveiros escavados e a estimativa do potencial produtivo da tilápia do Nilo na bacia hidrográfica do Arroio Marreco utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Específicos

- Avaliar a fragilidade ambiental na bacia do Arroio Marreco quanto ao tipo de solo, declividade, altitude e uso/ocupação do solo através da lógica Fuzzy;
- Determinar os pesos de cada variável ambiental e realizar o cálculo de fragilidade através do método AHP;
- Identificar as condições ambientais em que os viveiros escavados foram contruídos em cada sub-bacia;
- Determinar o potencial produtivo e receita bruta anual da tilápia do Nilo para cada sub-bacia de acordo com as características do produto: inteiro, filetado e aproveitamento dos resíduos a partir da CMS, farinha e óleo;
- Realizar análise espacial do potencial produtivo através da Estimativa de Densidade de *Kernel* para visualizar os locais com maior densidade em relação ao volume estimado de produção da tilápia do Nilo nas sub-bacias da bacia hidrográfica do Arroio Marreco.

Capítulo 1: Referencial Teórico

1.1. Fragilidade ambiental e termos relacionados

Estudos e ferramentas que auxiliem na gestão ambiental e geotécnica dos diferentes processos naturais e antrópicos que podem ocorrer no ambiente são progressivamente necessários. Neste contexto, são importantes os conceitos de ambiente, vulnerabilidade e fragilidade.

De acordo com a ABNT (1989), o meio ambiente consiste de um determinado espaço, onde ocorrem interações entre os componentes bióticos (fauna e flora), abióticos (água, rocha e ar) e bióticos-abióticos (solo). Porém, a definição de meio ambiente pode ser ampliada quando se relaciona a intervenção humana. Segundo Grinover (1989), o meio ambiente é um sistema de interações complexas entre o meio suporte (elementos abióticos), os elementos vivos (bióticos) e as práticas sociais e produtivas do homem. Adicionalmente, George (1972) observa que esse sistema é feito de ações e reações, sensível às variações de qualquer um de seus fatores, possibilitando rompimento do equilíbrio entre eles. E Sachs (1986) corrobora para o fato de que a influência humana deve ser considerada, uma vez que afirma que o ambiente é transformado pela sociedade e engloba estruturas criadas pelo homem, além do ambiente social e natural.

Neste contexto, Zuquette (1993) afirma que vulnerabilidade é a predisposição de qualquer sistema ser afetado ou estar suscetível a sofrer danos quando exposto a determinado evento. Para Pereira (2002) vulnerabilidade pode ser exemplificada como a suscetibilidade de um compartimento, solo ou água, ser afetado por um contaminante. E Tricart (1977) exemplifica as extrações da cobertura vegetal que podem afetar a temperatura, o regime hídrico e a resistência do solo.

O conceito de fragilidade remete ao de vulnerabilidade. Ratcliffe (1971) descreve fragilidade ambiental como uma medida da sensibilidade intrínseca de um ecossistema às pressões ambientais, combinada com a exposição à alguma ação que poderia perturbar o equilíbrio existente. Smith e Theberge (1986) definem fragilidade como o oposto da estabilidade, que por sua vez reflete a velocidade com que um sistema se recupera e retorna ao equilíbrio após determinada perturbação.

Goldsmith (1983) explica uma área frágil como sendo uma região com sensibilidade inerente, ou seja, potencialmente instáveis fisicamente, apontando áreas alagadas, dunas, regiões montanhosas, entre outras. O mesmo autor ainda sugere que fragilidade pode ser considerada como uma característica natural, enquanto vulnerabilidade representa a influência

de fatores externos.

Tricart (1977) observou que o ambiente se mantém em equilíbrio dinâmico com relações naturais de troca e sugeriu um modelo de avaliação dos graus de instabilidade usando informações sobre pedogênese e morfogênese. Ross (1994) adaptou esse modelo com informações sobre intervenção humana, geomorfologia, solos, cobertura vegetal e clima e estabeleceu importância diferente para cada variável. Crepani *et al.* (2001) utilizaram as variáveis índice de dissecação do relevo, rocha, solo e cobertura vegetal e estabeleceram igual importância para as variáveis ambientais no estudo de fragilidade. Destaca-se que os resultados sobre fragilidade são distintos ao comparar esses modelos. Dalla Corte *et al.* (2015) inferiram que a metodologia para análise de fragilidade ambiental depende da escolha dos fatores de ponderação e está relacionada ao contexto em que é realizada.

1.2. Bacias hidrográficas

Para Chorley *et al.* (1984) bacia hidrográfica é um sistema ou unidade geomorfológica, constituída de divisores de água, encostas, redes de drenagem e um canal principal de maior extensão. Para Polette *et al.* (2000) é uma área topográfica, drenada por um curso de água ou um sistema conectado de cursos de água, de forma que toda vazão afluente seja descarregada por uma simples saída. De forma análoga, Silveira (1993) define como uma área de captação natural de água precipitada convergindo para um único ponto, constituída por um conjunto de vertentes e redes de drenagem.

As bacias hidrográficas constituem um sistema complexo cujos elementos estão relacionados e possuem características naturais que apresentam um equilíbrio dinâmico e qualquer alteração pode comprometer a funcionalidade do sistema (CHRISTOFOLETTI, 1980; REGGIANI e HASSANIZADEH, 2016). De fato, Prochnow (1990) corrobora para o fato de que bacias hidrográficas possuem um forte grau de integração e relacionamento com o meio físico e o meio humano quando destaca a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e afirma que a gestão é a forma pela qual se pretende resolver questões ambientais nela existentes, mediante sistemas integrados de planejamento e administração.

1.3. Modelagem Fuzzy

Com estrutura matemática e propriedade de inexatidão de fronteira entre objetos, a lógica Fuzzy é capaz de tratar problemas com imprecisão e abstração em seus modelos e

conceitos e permite representar a variação e a importância relativa de cada critério no fenômeno estudado, possibilitando resultados mais confiáveis (BURROUGH, 1992; BURROUGH e MCDONNELL, 1998; ROSENDO, 2019). A teoria de conjuntos Fuzzy começou a ser observada em aplicações para dados geográficos nas décadas de 80 e 90 em Burrough (1989), Kollias e Voliotis (1991) e Burrough *et al.* (1992), pois se tornou útil em problemas cuja classificação dos elementos é questão de interpretação (BANAI, 1993). Pesquisas recentes envolvendo lógica Fuzzy e dados geográficos podem ser encontradas nos trabalhos de Cornwell *et al.* (2020), Parsian *et al.* (2021) e Madhu *et al.* (2021).

A classificação Fuzzy é descrita por conjuntos Fuzzy, definida como generalização da álgebra Booleana (ZADEH, 1965) e caracterizada pela aplicação de uma função de pertinência $f_A(x)$ que associa a cada ponto um número real no intervalo $[0,1]$, onde o valor de $f_A(x)$ representa o grau de pertencimento de x em A . Assim, quanto mais próximo $f_A(x)$ for de 1, maior o grau de pertencimento de x em A ; quanto mais próximo $f_A(x)$ for de 0, menor o grau de pertencimento de x em A .

A modelagem Fuzzy pode ser representada por diferentes funções de pertinência dependendo das características do conjunto no problema (BURROUGH *et al.*, 1992). A escolha dessa função não é arbitrária, mas é subjetiva e reflete o contexto em que o problema está inserido e é tratado (KANDEL, 1986). Funções do tipo linear, quadrática, gaussiana ou sigmóide são as mais utilizadas.

1.4. Método *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

Métodos de análise multicritério para apoio em tomada de decisão surgiram na área de Pesquisa Operacional e são técnicas que auxiliam na tomada de decisões através da análise de diversos critérios de forma simultânea, desde que critérios e objetivos estejam bem definidos para a solução do problema (BANA e COSTA, 2002).

O método AHP desenvolvido por Thomas L. Saaty é um método de análise multicritério, tem a capacidade de analisar problemas através da construção de níveis hierárquicos e atribuição de pesos aos múltiplos critérios, enquanto executa uma comparação por pares intuitiva e consistente através de escala pré-definida, conforme Tabela 1 (SAATY, 1987; PINESE JÚNIOR E RODRIGUES, 2012; SCHMIDT, 1995). Tem preocupação com nível de consistência dos cálculos e pode ser aplicado a informações quantitativas ou qualitativas (SAATY, 1987).

Tabela 1 - Escala de importância relativa entre dois critérios.

Menos importante	Extremamente	$\frac{1}{9}$
		$\frac{1}{8}$
	Muito fortemente	$\frac{1}{7}$
		$\frac{1}{6}$
	Fortemente	$\frac{1}{5}$
		$\frac{1}{4}$
	Moderadamente	$\frac{1}{3}$
		$\frac{1}{2}$
	Igualmente	1
Mais importante		2
		3
	Fortemente	4
		5
	Muito fortemente	6
		7
	Extremamente	8
		9

Fonte: Adaptado de Hossain e Daz (2010).

Na etapa de julgamento é realizada uma comparação pareada que resulta na importância de cada critério em relação ao problema em estudo. Essa importância é atribuída com base na opinião profissional dos pesquisadores e na literatura científica. Através da comparação pareada constrói-se a matriz de comparação quadrada, de valores recíprocos e diagonal unitária. A subjetividade dos julgamentos baseados nas experiências dos pesquisadores pode resultar em inconsistências na matriz final. A inconsistência é medida através da razão de consistência (RC) que relaciona o índice de consistência (IC) da matriz em questão com o índice de consistência obtido da matriz recíproca de ordem n , com elementos não-negativos e randômicos (IR) (Tabela 2). O valor de RC deve ser menor do que 0,1 ou 10% para garantir consistência satisfatória e um julgamento confiável. (SAATY, 1990).

Tabela 2 - Índice de consistência randômico.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1990).

1.5. Estimador de densidade *Kernel* (KDE)

O KDE é um estimador probabilístico proposto por Rosenblatt (1956) e generalizado por Parzen (1962) que utiliza técnica de interpolação não paramétrica e transforma uma distribuição de pontos em uma superfície de densidade auxiliando na identificação visual da concentração de um evento, caso exista, e sua distribuição em determinada região (BAILEY e GATRELL, 1995).

No contexto das geotecnologias, no mapa é apresentada a intensidade pontual de determinado fenômeno na região de estudo, caracterizando o mapa de Kernel uma ferramenta poderosa e popular para visualização e análise espacial de grandes conjuntos de dados através da feição ponto (NETEK *et al.*, 2019; KUHFLIED, 2017).

Segundo Beato (2008), o algoritmo para geração dos mapas de Kernel pode ser resumido em: criação de uma grade sobre o mapa a ser analisado; para cada ponto da grade, identificação dos pontos que estão a uma distância menor ou igual ao raio do círculo centrado nele; definição do peso de cada ponto (se for atribuído peso 1, a superfície de densidade será gerada com base apenas na localização das feições); para cada ponto encontrado dentro do círculo, cálculo da função *Kernel* nesse ponto e armazenamento do resultado; o resultado da soma é o *Kernel* do ponto da grade. A descrição da fórmula para o cálculo de estimativa de densidade de Kernel pode ser verificada em Bailey e Gatrell (1995) e Silverman (1986).

1.6. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Os SIG foram desenvolvidos na década de 80 e têm como principal característica a capacidade de integrar e transformar dados espaciais com aplicações em diversas áreas (SILVA, 2003; MIRANDA, 2005). De acordo com Rufino *et al.* (2006) têm os seguintes componentes: interface para o usuário, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados.

A vantagem de um SIG é sua capacidade de estabelecer relações espaciais entre elementos gráficos, conhecida como topologia, ou seja, estudo de um lugar geométrico com suas propriedades e relações (RUFINO *et al.*, 2006). Além de dados geométricos e espaciais, contém atributos alfanuméricos que fornecem informações descritivas dos dados.

Em estudos ambientais, os SIG podem auxiliar na criação de modelos matemáticos, determinísticos ou estocásticos, relacionando atributos ambientais para representar algum processo ou comportamento na natureza. E, devido a possibilidade de realizar a integração de

dados espaciais e de atributos em uma única base de dados georreferenciados, a ferramenta SIG pode ser aplicada a alguma atividade econômica para auxiliar no planejamento e tomada de decisão.

1.7. Tilápia do Nilo: características e produção

Um conjunto de espécies de peixes ciclídeos, distribuídos originalmente do centro-sul da África até o norte da Síria, são denominados tilápia (POPMA e PHELPS, 1998). Dentre estes, as espécies mais cultivadas comercialmente são a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), a tilápia mossambica (*O. mossambicus*), a tilápia azul (*O. aureus*), *O. macrochir*, *O. hornorum*, *O. galilaeus*, *Tilapia zillii* e a *T. Rendalli* (EL-SAYED, 1999).

A tilápia do Nilo é um peixe oriundo do continente africano, nas bacias dos rios Nilo, Níger, Chade, nos lagos do Centro-Oeste e pertence à ordem Perciformes (VERANI, 1980). No Brasil, a tilápia do Nilo foi introduzida no nordeste em 1971 oriunda da Costa do Marfim no Oeste Africano, sendo cultivada desde a bacia do rio Amazonas até o Rio Grande de Sul (LOVSHIN e CIRYNO, 1998). As primeiras publicações sobre a tilápia no ocidente surgiram na década de 1950 e, até o início da década de 1980, a maioria das espécies com valor comercial pertencia ao gênero tilápia (CASTAGNOLLI, 1992; CROWARD e BROMAGE, 2000).

A tilápia possui excelente capacidade de reprodução, apresenta maturidade sexual entre o 3º e o 4º mês, é rústica e tolera diferentes sistemas de criação, qualidade de água e clima, é resistente à doença e à alta densidade, bem como apresenta atributos favoráveis a produção de alimentos como alto aproveitamento produtivo, características de carne e carcaça favoráveis à indústria e ao consumidor e potencial de agregação de valor aos resíduos da indústria (CREPALDI *et al.*, 2006; CHAMBO, 2018).

Devido às suas características favoráveis, observa-se um crescimento na produção piscícola. Em 2020 a produção de tilápia representou 62,26% da produção da brasileira, quando comparada com a produção de redondos, carpa, pintado e outras espécies, bem como apresentou aumento na produção em relação ao ano de 2019. O Oeste do Paraná apareceu como o maior polo produtor de tilápia no Brasil (92.369 t), seguido de Ilha Solteira - SP/MS (32.311 t) e Submédio São Francisco – PE/BA/AL (29.766 t) em 2020. (EMBRAPA, 2021).

Diante da alta produção do pescado e do seu potencial de crescimento, é importante observar a quantidade de resíduos gerados pela indústria e as possibilidades de aproveitamento. Os resíduos são partes não aproveitadas por limitações tecnológicas ou mercadológicas

(BARCELAR e MURATORI, 2020). Durante o principal método de processamento (filetagem), o rendimento médio do filé é de 32% (28 a 35%) do peixe inteiro, o que resulta em seu valor sendo o triplo do peixe inteiro e a quantidade de resíduos gerados pode ser de 72% englobando cabeça, vísceras, ossos e escamas. Estes têm destinos variados e muitas vezes são inadequados para o meio ambiente. (BOSCOLO e FEIDEN, 2007; KUBITZA, 2006; FAO, 2020; BARROSO e MONOZ, 2017).

Todavia, com o avanço das tecnologias de processamento, outros usos dos resíduos da indústria vêm sendo estudados para consumo humano, como a carne mecanicamente separada (CMS), por ser fonte de nutrientes e apresentar potencial para agregação de valor (AL KHAWLI *et al.*, 2019) e para consumo animal, como a farinha e o óleo que são utilizados para formulação de rações. Em estudos recentes a CMS apresentou rendimento aproximado de 60% do material que passa através da máquina desossadora ou cerca de 14% do peixe inteiro e concentração de proteína entre 10 e 15% (VIDAL-CAMPELLO *et al.*, 2021; CHAMBO, 2018; LUSTOSA-NETO *et al.*, 2016; FREITAS *et al.*, 2012; MINOZZO, 2010; COSTA, 2017).

A farinha e o óleo possuem valor biológico, aminoácidos, ácidos graxos, sais minerais e vitaminas, sendo uma fonte de nutrientes em rações para peixes e outros animais (ARRUDA *et al.* 2007; BOSCOLO *et al.*, 2008; PIRES *et al.*, 2014). Seus rendimentos podem depender do tamanho do peixe, resíduos de peixes abatidos com peso abaixo de 800 gramas produzem, em média, 85% de farinha e 15% de óleo, enquanto que os resíduos de peixes abatidos com peso acima de 800 gramas podem render até 70% de farinha e 30% de óleo, tendo como matéria prima cabeça, carcaça, vísceras e pele (VIDOTTI e GONÇALVES, 2006).

Referências Bibliográficas

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma: Degradação do solo, Terminologia, NC 10.703, 1989.
- ABRÃO, C. M.R., BACANI, V. M. Diagnóstico da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, MS: subsídio ao zoneamento ambiental. *Boletim Goiano De Geografia*, v.38, n. 3, p. 619–645, 2018. <https://doi.org/10.5216/bgg.v38i3.56362>
- AL KHAWLI, F., PATEIRO, M., DOMÍNGUEZ, R., LORENZO, J.M., GULLÓN, P., KOUSOULAKI, K., FERRER, E., BERRADA, H. & BARBA, F.J. Innovative green technologies of intensification for valorization of seafood and their by-products, *Marine Drugs*, 17, 689, 2019. <https://doi.org/10.3390/md17120689>
- ALBUQUERQUE, E. L.S., de MEDEIROS, C. N. Vulnerabilidade socioambiental em bacias hidrográficas no Setor Leste Metropolitano de Fortaleza, Ceará, *Ateliê Geográfico*, v. 11, n. 1, p.109–126, 2017. <https://doi.org/10.5216/ag.v11i1.39018>
- ARRUDA, L. F.; BORGHESI, R.; OETTERER, M. Use of fish waste as silage- A review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.50, n.5, p. 879-886, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000500016>
- BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C., *Interactive Spatial Data Analysis*, London: Longman, 1995.
- BANA e COSTA, C.A. Structuration, construction and exploitation d'un modèle multicritère d'aide à la decision, Tede de doutorado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2002.
- BANAI, R. Fuzziness in Geographical Information Systems: contributions from the analytic hierarchy process. *International Journal of Geographical Information Systems*, 7:4, p. 315-329, 1993. <https://doi.org/10.1080/02693799308901964>
- BARROSO, R. M., MONOZ, A. E. P. O mercado da tilápia—2º trimestre de 2017 e Análise da estrutura do preço da tilápia no varejo, *Informativo Mercado da Tilápia*, EMBRAPA Pesca e Aquicultura, edição 11, Palmas-TO, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1072746/o-mercado-da-tilapia--2-trimestre-de-2017-e-analise-da-estrutura-do-preco-da-tilapia-no-varejo> .Acesso em 23/13/2021
- BEATO, C. *Compreendendo e Avaliando: Projetos de Segurança Pública*, Editora UFMG, 1ª edição, ISBN-10: 8570416792, ISBN-13: 978-8570416797, 2008.
- BOSCOLO, W.; FEIDEN, A. *Industrialização de Tilápias*, GFM Gráfica e Editora, Toledo-PR, 2007.
- BOSCOLO, W.R., HAYASHI, C., FEIDEN, A., MEURER, F., SIGNOR, A.A. *Composição*

- química e digestibilidade aparente da energia e nutrientes da farinha de resíduos da indústria de filetagem de tilápias, para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.9, p.2579-2586, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008005000022>
- BURROUGH, P. A. Development of intelligent geographical information system. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.1, p. 1-11, 1992. <https://doi.org/10.1080/02693799208901891>
- BURROUGH, P. A.; McDonnell, R. A. *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford: Oxford University, 1998.
- BURROUGH, P.A.; MCMILLAN, R.A.; DEURSEN, W. Fuzzy Classification Methods for Determining Land Suitability from Soil Profile Observation and Topography. *Journal of Soil Science*, v. 43, p. 193-210, 1992. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1992.tb00129.x>
- BURROUGH, P. A. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science*, v. 40, p. 477-492, 1989. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1989.tb01290.x>
- CASTAGNOLLI, N. *Criação de peixes de água doce*. FUNEP, Jaboticabal, SP, 189 p, 1992.
- CHAMBO, A.P.S. *Aproveitamento do resíduo de filetagem da Tilápia do Nilo para produção de farinhas com potencial aplicação na alimentação humana, Teste (Doutorado em Zootecnia)*, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2a ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1980.
- CHORLEY, R., SCHUMM, S. AND SUGDEN, D. *Geomorphology*, Methuen, London, 1984.
- COLDEBELLA, A., GENTELINI, A. L., PIANA, P. A., COLDEBELLA, P. F., BOSCOLO, W. R., & FEIDEN, A. Effluents from Fish Farming Ponds: A View from the Perspective of Its Main Components, *Sustainability*, 10(1), 3, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10010003>
- CORNWELL E., SPOSITO V., FAGGIAN R., Land suitability projections for traditional sub-alpine cropping in the Australian Alps and Chilean Dry Andes. A combined biophysical and irrigation potential perspective, *Applied Geography*, v. 121,2020. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102248>
- COSTA, D.P.S. *Desenvolvimento de hambúrguer com carne mecanicamente separada de carcaça e de refile de tilápia: caracterização, microbiológica, físico-química e sensorial, Teste (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos)*, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto – SP, Brasil, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/150621> . Acesso em 23/12/2021.
- COWARD, K., BROMAGE, N.R. Reproductive physiology of female tilapia broodstock. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol. 10, n. 1, p. 1-25, 2000.

- CREPALDI, D. V., TEIXEIRA, E. A., FARIA, P. M. C., RIBEIRO, L. P., MELO, D. C., CARVALHO, D., SOUSA, A. B., SATURNINO, H. M. (2006). Sistemas de produção na piscicultura, *Revista Brasileira Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v.30, n.3/4, p.86-99, 2006.
[http://www.cbra.org.br/pages/publicacoes/rbra/download/RB065%20Crepaldi%20\(sistemas%20de%20producao\)%20pag%2086-99.pdf](http://www.cbra.org.br/pages/publicacoes/rbra/download/RB065%20Crepaldi%20(sistemas%20de%20producao)%20pag%2086-99.pdf)
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.C.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.; BARBOSA, C. Sensoriamento Remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial. INPE, São José dos Campos, São Paulo, 2001. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf> . Acesso em: 13 fev. de 2020.
- DALLA CORTE, A. P.; KLEIN HENTZ, A. M; DOUBRAWA, B.; SANQUETA, C.R. Environmental fragility of Iguazu river watershed, Paraná, Brazil. *Bosque*, vol. 36, n. 2, p. 287-297, 2015. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002015000200014>
- dos SANTOS, F. de A., MENDES, L. M.S., da CRUZ, M. L.B. Suscetibilidade biofísica a inundações da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca. *Ateliê Geográfico*, v. 15, n.1, p.266–285, 2021 <https://doi.org/10.5216/ag.v15i1.64590>
- dos SANTOS, J. Y.G., NASCIMENTO, R.Q. Efeitos das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da bacia do Rio de Janeiro, Oeste da Bahia, *Boletim Goiano De Geografia*, v. 41, n.1, 2021. <https://doi.org/10.5216/bgg.v41.65397>
- EL-SAYED, A.F.M. Alternative dietary protein sources for farmed tilapia, *Oreochromis spp.* *Aquaculture*, 179:149-168, 1999.
- EMBRAPA, Centro de Inteligência e Mercado em Aquicultura – CIAqui, Produção brasileira, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cim-centro-de-inteligencia-e-mercado-em-aquicultura/producao-brasileira> . Acesso em 12/11/2021
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture, Sustainability in action, Roma, 2020. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FRANCISCO, H.R., COLDEBELLA, A., CORRÊIA, A.F., FEIDEN, A. Análise espacial de eventos pontuais para estimar o potencial produtivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, e855998038, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8038>
- GOLDSMITH, F.B. *Evaluating nature, Conservation in perspective*, John Wiley and Sons, Chichester, p. 233-246, 1983.
- GEORGE, P. *Os Métodos da Geografia*, São Paulo: Difusão Européia do Livro, 1972.

- GRINOVER, L. O Planejamento Físico-Territorial e a Dimensão Amebiental, Cadernos FUNDAP, v.16, n.9, p.25-32,1989.
- HOSSAIN, M.S.; DAS, N.G. GIS-based multi-criteria evaluation to land suitability modelling for giant prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) farming in Companigonj Upazila of Noakhali. *Computers and Electronics in Agriculture*, Bangladesh, v.70, p.172–186, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.10.003>
- KANDEL, A. Fuzzy mathematical techniques with applications. Boston: Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
- KOLLIAS, V. J.; VOLIOTIS, A. Fuzzy reasoning in the development of geographical information systems. *International Journal of Geographical Informalion Systems*, v.5, p.209-223, 1991. <https://doi.org/10.1080/02693799108927844>
- KUBITZA, F. Aproveitamento dos subprodutos do processamento de pescados, *Panorama da Aqüicultura*, v.16, p. 23-29, 2006.
- KUHFLLED, W.F. Heat Maps: Graphically Displaying Big Data and Small Tables. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA. 2017. Disponível em: <https://support.sas.com/resources/papers/proceedings17/SAS0312-2017.pdf>. Acesso em 15/12/2021
- LOVSHIN, L.L., CYRINO, J.E.P. Status of commercial freshwater fish culture in Brazil. *Simpósio sobre manejo e nutrição de peixes*, 2, Piracicaba. Anais. Piracicaba: CBNA, p.1-20, 1998.
- LUSTOSA-NETO, A.D., NUNES, M.L., FERREIRA, R.N.C., BEZERRA, J.H.C., FURTADO-NETO, M.A.A. Elaboração, rendimento e custo de almôndegas de tilápia do Nilo e pirarucu cultivados: aplicação na merenda escolar, *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, v.4, n.2, p. 101-109, 2016. <https://doi.org/10.2312/Actafish.2016.4.2.101-109>
- MADHU, A.; KUMAR, A.; JIA, P. Exploring Fuzzy Local Spatial Information Algorithms for Remote Sensing Image Classification, *Remote Sensing*, v. 13, 4163, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13204163>
- MINOZZO, M.G., Patê de pescado: alternativa para incremento da produção nas indústrias pesqueiras, Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil 2010. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/23010/TeseMarceloMinozzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em 28/12/2021.
- MIRANDA, J.I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas, Brasília,DF, Embrapa

- Informação Tecnológica, 2005.
- NETEK, R.; BRUS, J.; TOMECKA, O. Performance Testing on Marker Clustering and Heatmap Visualization Techniques: A Comparative Study on JavaScript Mapping Libraries. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2019, 8, 348. <https://doi.org/10.3390/ijgi808034>
- PARSIAN, S.; AMANI, M.; MOGHIMI, A.; GHORBANIAN, A.; MAHDAVI, S. Flood Hazard Mapping Using Fuzzy Logic, Analytical Hierarchy Process, and Multi-Source Geospatial Datasets. *Remote Sensing*, v.13, 4761, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13234761>
- PARZEN, E. On Estimation of a Probability Density Function and Mode. *The Annals of Mathematical Statistics*, 33(3), 1065–1076, 1962. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177704472>
- PEDROZA FILHO, M.X., RIBEIRO, V.S., ROCHA, H.S., UMMUS, M.E., do VALE, T.M. Caracterização da cadeia produtiva da tilápia nos principais polos de produção do Brasil, Boletim de pesquisa e desenvolvimento, vol. 26, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas - TO, 2020.
- PEREIRA, L.C. Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: uma proposta metodológica, Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, 2002.
- PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). *Revista Do Departamento De Geografia*, v.23, p.4-26, 2012. <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0023.0001>
- PIRES, D. R.; MORAIS, A. C. N. DE; COSTA, J. F.; CAROLINE, L.; SALGADO, D. aproveitamento do resíduo comestível do pescado: Aplicação e viabilidade. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 9, n. 5, p. 34 - 46, 2014. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2956>. Acesso em 26/03/2022.
- PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3, Águas Paraná, 2014. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/Parana_3/plano_de_bacia/Produto_01_Caracteristicas_Gerais_da_Bacia_BP3_2014_v07_Final.pdf . Acesso em: 08 abril de 2020.
- PMRH, Plano Municipal de Recursos Hídricos de Toledo, 2017. Disponível em: <https://www.toledo.pr.gov.br/portal/plano-municipal-de-recursos-hidricos/plano-municipal-de-recursos-hidricos> . Acesso em: 12 out. de 2018.
- POLETTE, M.; DIEHL, F. L.; DIEHL, F. P.; SPERB, R. M.; SCHETTINI, C. A. F.; KLEIN, A. H. F. Gerenciamento Costeiro Integrado e Gerenciamento de Recursos Hídricos: como Compatibilizar tal Desafio. In: MUÑOZ, H. R. (Org.). *Interfaces da Gestão de Recursos*

- Hídricos: Desafios da Lei de Águas de 1997. 2. ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, cap. 4, 2000.
- POPMA, T.J., PHELPS, R.P. Status report to commercial tilápia producers on monose x fingerling productions techniques. In: AQUICULTURA BRASIL'98, 1998, Recife. Anais... Recife: SIMBRAQ, p.127-145, 1998.
- PROCHNOW, M.C.R. Análise ambiental da sub-bacia do rio Piracicaba: Subsídios ao seu planejamento e manejo, Tese de doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 1990.
- RATCLIFFE, D.A. Criteria for the selection of nature reserves, *Advancement of Sciences*, p.294-296, 1971.
- REGGIANI, P.; HASSANIZADEH, S.M. MEGASCALE thermodynamics in the presence of a conservative field: The watershed case. *Advances in Water Resources.*, v.97, p.73–86, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.09.002>
- ROSENBLATT, M. Remarks on Some Nonparametric Estimates of a Density Function. *The Annals of Mathematical Statistics*, 27(3), 832–837, 1956. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177728190>
- ROSENDO, E.E.Q. Vulnerabilidade à seca nas regiões semiárida brasileira e portuguesa: uma avaliação baseada em lógica Fuzzy, Tese (Doutorado em Geografia), Universidade do Porto, Portugal, 2019.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo, n. 8, 1994. <https://doi.org/10.7154/rdg.1994.0008.0006>
- RUFINO, I.A.A, FALCAO, E.C., PASSOS, I.D.C.F. Formação superior em geoprocessamento: O relato de uma experiência positiva no CEFET-PB, GeoNordeste, 3º Simpósio Regional de Geoprocessamento de Sensoriamento Remoto, Embrapa, Aracaju, Sergipe, 2006.
- SAATY, R.W. The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Math. Model.*, v. 9, p.161–176, 1987. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- SAATY, T.L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v.48, p.9–26, 1990. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica, Tradução de Wainer da Silveira e Silva, São Paulo: McGraw-Hill, 1991.
- SAATY, T.L.; VARGAS, L.G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. *International Series in Operations Research & Management Science*, Berlin/Heidelberg: Springer, 2012. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>

- SACHS, I. Espaços, Tempos e Estratégias do Desenvolvimento, São Paulo: Ed. Vértice, 1986.
- SCHMIDT, A.M.A. Processo de apoio a tomada de decisão abordagens: AHP e MACBETH, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.
- SEAB, Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento, Departamento de Economia Rural, 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br> . Acesso em: 14 jul. de 2019.
- SILVA, A.B. Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos, Campinas, SP, Editora Unicamp, 2003
- SILVEIRA, A.L.L.Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica, Hidrologia, Ciência e Aplicação, Porto Alegre: ABRH: EUSP, 1993.
- SILVERMAN, B. W. Estimativa de Densidade para Estatística e Análise de Dados, Chapman e Hall, 1986.
- SMITH, P.G.R., THEBERGE, J.B.A review of criteria for evaluating natural areas, Environment Management, p. 715-734, 1986.
- SPÖRL, C. Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais, Tese (Doutorado em Geografia), Universidade de São Paulo, 2007.
- TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.
- VERANI, J. R. Controle populacional em cultivo in-tensivo consorciado entre tilápia-do-nilo *Oreochromis niloticus* (LINNAEUS, 1757) e o tucunaré comum, *Ci-chla ocellaris* (SCHNEIDER, 1801) – aspectos quantitativos. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais). Programa de Pós Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. 116 p, 1980.
- VIDAL-CAMPELLO, J.M.A., RODRIGUES, M.C.P., VIEIRA, J.M.M., ZAPATA, J.F.F., Métodos de obtenção de concentrado proteico a partir de resíduos da filetagem de tilápia, Ciência e Tecnologia do Pescado Uma Análise Pluralista, Editora Científica Digital, Capítulo 11, volume 2, Guarujá-SP, Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.editoracientifica.org/articles/code/210404113>. Acesso em: 28/12/2021
- VIDAL, J.M.A., RODRIGUES, M.C.P., ZAPATA, J.F.F., VIEIRA, J.M.M. Concentrado protéico de resíduos da filetagem de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*): caracterização físico-química e aceitação sensorial, Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 1, p. 92-99, 2011. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/803>. Acesso em 28/12/2021.
- ZADEH, L.A. Fuzzy Sets. Information and Control, v. 8, p.338—353, 1965. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

ZUQUETTE, L.V. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração, Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 1993.

Artigo científico publicado na revista Sociedade e Natureza

CAPÍTULO 2. Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP

Classification of environmental fragility in watershed using Fuzzy logic and AHP method

*Karen Carrilho da Silva Lira*¹ 

*Humberto Rodrigues Francisco*² 

*Aldi Feiden*³ 

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Toledo, PR, Brasil. karenc@utfpr.edu.br

² Universidade Federal da Fronteira Sul -UFFS, Laranjeiras do Sul, PR, Brasil humberto.francisco@uffs.edu.br

³ Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Toledo, PR, Brasil aldi.feiden@unioeste.br

Resumo:

A avaliação da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas é uma importante ferramenta para auxiliar gestores no planejamento e intervenções para produção sustentável e conservação ambiental. O objetivo deste trabalho foi utilizar a lógica Fuzzy e o método Analytic Hierarchy Process (AHP) para classificação de fragilidade ambiental. Como modelo de estudo foi utilizada a bacia hidrográfica do Arroio Marreco, Toledo, Paraná, Brasil. Para classificar as áreas foi utilizado um sistema de informação geográfico (SIG) e dados de um modelo digital de elevação (MDE), bem como dados de ocupação e tipo de solo. A análise constatou que 71,3% da área da bacia tem fragilidade média. Ao comparar com outras 2 formas de atribuição de peso aos elementos do mapa de declividade, as 3 apresentaram diferença estatística, mas todas indicaram que a bacia em estudo tem fragilidade ambiental média em sua maior parte. A utilização da lógica Fuzzy permitiu aplicar uma variação de pesos contínua conforme a variação das características ambientais, podendo representar de forma eficaz a realidade e, conseqüentemente, apresentar resultados mais confiáveis. Este método pode ser uma ferramenta útil no planejamento adequado das atividades antrópicas e práticas econômicas para evitar processos de degradação ambiental em uma bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Análise multicritério, Software QGIS, Vulnerabilidade ambiental

1. INTRODUÇÃO

Bacias hidrográficas constituem um sistema natural equilibrado, onde alterações podem comprometer sua funcionalidade (CHRISTOFOLETTI, 1980; REGGIANI e HASSANIZADEH, 2016). Exemplificando, extrações da cobertura vegetal podem afetar temperatura, regime hídrico e resistência do solo (TRICART, 1977). Nesse contexto, fragilidade ambiental representa a vulnerabilidade do ambiente ao sofrer intervenções, englobando processos erosivos, assoreamentos e inundações (SPÖRL, 2007).

Tricart (1977) observou que o ambiente se mantém em equilíbrio dinâmico com relações naturais de troca e sugeriu um modelo de avaliação dos graus de instabilidade usando informações sobre pedogênese e morfogênese. Ross (1994) adaptou esse modelo com informações sobre intervenção humana, geomorfologia, solos, cobertura vegetal e clima e estabeleceu importância diferente para cada variável. Crepani (2001) utilizou as variáveis índice de dissecação do relevo, rocha, solo e cobertura vegetal e estabeleceu igual importância para as variáveis ambientais no estudo de fragilidade. Destaca-se que os resultados sobre fragilidade são distintos ao comparar esses modelos. Dalla Corte et al. (2015) inferiram que a metodologia para análise de fragilidade ambiental depende da escolha dos fatores de ponderação e está relacionada ao contexto em que é realizada.

Estudos recentes apontam a importância da análise de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas como dos Santos e Nascimento (2021) para a bacia do Rio de Janeiro na Bahia, Albuquerque e de Medeiros (2017) no Ceará, dos Santos et al. (2021) para a bacia hidrográfica do Rio Piracuruca no Piauí e Abrão e Bacani (2018) para a bacia do Rio Santo Antônio no Mato Grosso do Sul.

Neste trabalho foi utilizada a lógica Fuzzy objetivando melhor representar a variação de características ambientais. Com estrutura matemática e propriedade de inexatidão de fronteira entre objetos, a lógica Fuzzy é capaz de tratar problemas com imprecisão e abstração em seus modelos e conceitos e permite representar a variação e a importância relativa de cada critério no fenômeno estudado, possibilitando resultados mais confiáveis (BURROUGH, 1992; BURROUGH e MCDONNELL, 1998; ROSENDO, 2019). A teoria de conjuntos Fuzzy começou a ser observada em aplicações para dados geográficos nas décadas de 80 e 90 em Burrough (1989), Kollias e Voliotis (1991) e Burrough et al. (1992), pois se tornou útil em problemas cuja classificação dos elementos é questão de interpretação (BANAI, 1993). Pesquisas recentes envolvendo lógica Fuzzy e dados geográficos podem ser encontradas nos trabalhos de Cornwell et al. (2020), Parsian et al. (2021) e Madhu et al. (2021).

Dando suporte ao estudo, foi utilizado o método de análise multicritério *Analytic Hierarchy Process* (AHP) desenvolvido por Thomas L. Saaty. O AHP é um método de escolha baseado na comparação pareada e escala pré-definida para expressar a importância de um critério sobre o outro em relação à tomada de decisão (SAATY, 1990; SAATY, 1991; SAATY e VARGAS, 2012). Tem preocupação com nível de consistência dos cálculos e pode ser aplicado a informações quantitativas ou qualitativas (SAATY, 1987).

Neste trabalho foram consideradas características como tipo de solo, declividade, altitude e uso/ocupação do solo para análise de fragilidade ambiental, usando como base a bacia

hidrográfica do Arroio Marreco localizada no Oeste do Paraná, em uma das regiões de maior produção de grãos, suínos e peixe e pertencente a bacia hidrográfica do Paraná 3, cujos afluentes lançam águas na Usina Hidrelétrica de Itaipu (SEAB, 2018; PMRH, 2017; PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3, 2014). Assim, é importante um estudo sobre a fragilidade desse ambiente para fornecer informações para um manejo adequado na região.

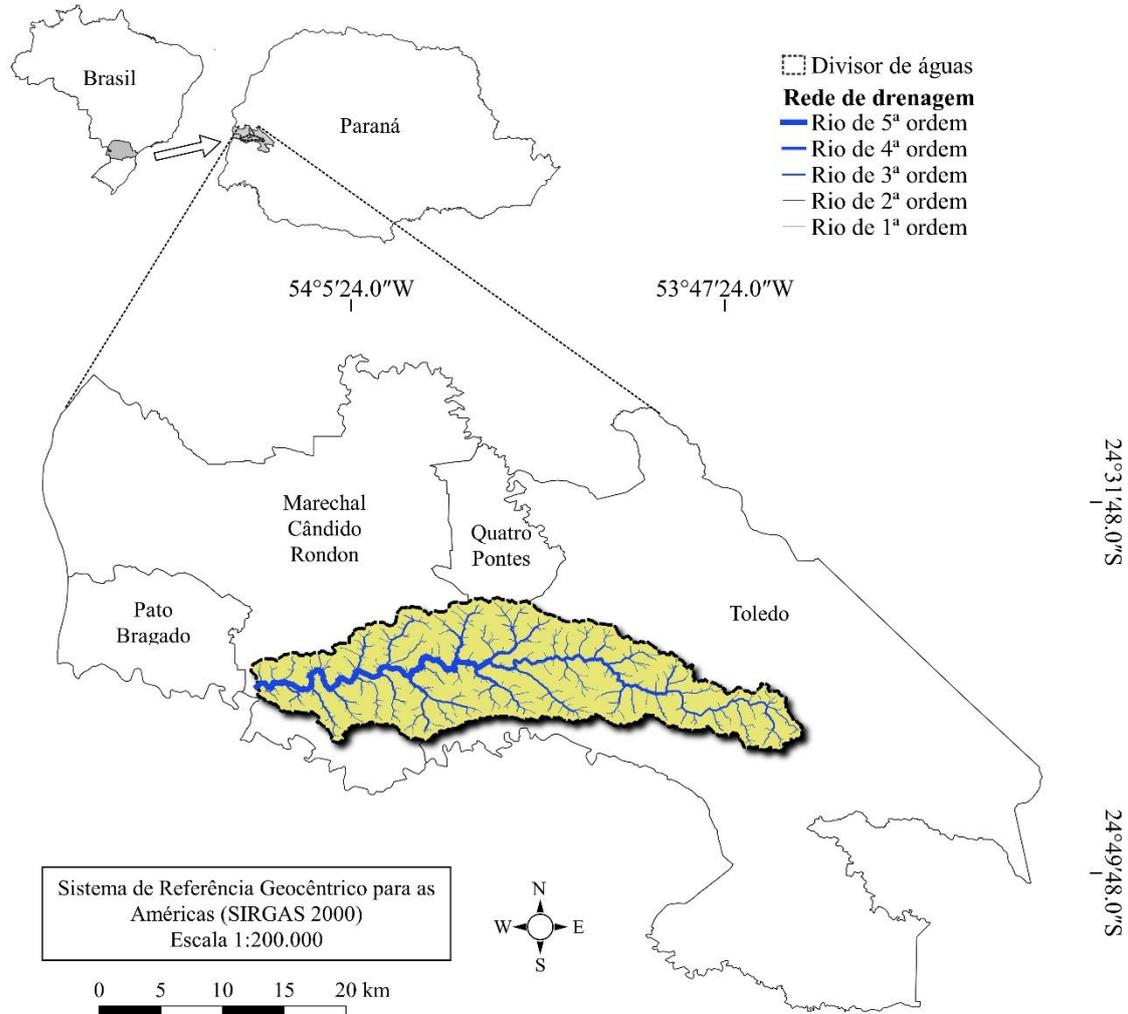
Os dados obtidos foram processados utilizando um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os SIG foram desenvolvidos na década de 80 e têm como principal característica a capacidade de integrar e transformar dados espaciais com aplicações em diversas áreas (SILVA, 2003; MIRANDA, 2005).

Em síntese, o objetivo deste trabalho foi implementar a lógica Fuzzy e o método AHP para análise de fragilidade ambiental baseando-se na bacia hidrográfica do Arroio Marreco. E, para apresentar a importância da utilização da lógica Fuzzy na representação da variação de características ambientais e verificar sua influência no mapa de fragilidade final, foi realizada uma comparação entre três formas de ponderação dos elementos do mapa de maior peso.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A bacia hidrográfica do Arroio Marreco está localizada entre os municípios de Toledo, Quatro Pontes, Marechal Cândido Rondon e Pato Bragado (Figura 1) no Oeste do estado do Paraná, na região Sul do Brasil, com aproximadamente 338,8 km² de área. O Arroio Marreco tem nascente na área urbana de Toledo e foz no Rio São Francisco, na divisa entre os municípios de Pato Bragado e Marechal Cândido Rondon. Conforme sistema de classificação climática de Köppen, a bacia está localizada em uma região de clima Cfa, clima subtropical com verão quente (IAPAR, 2020).

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Arroio Marreco.

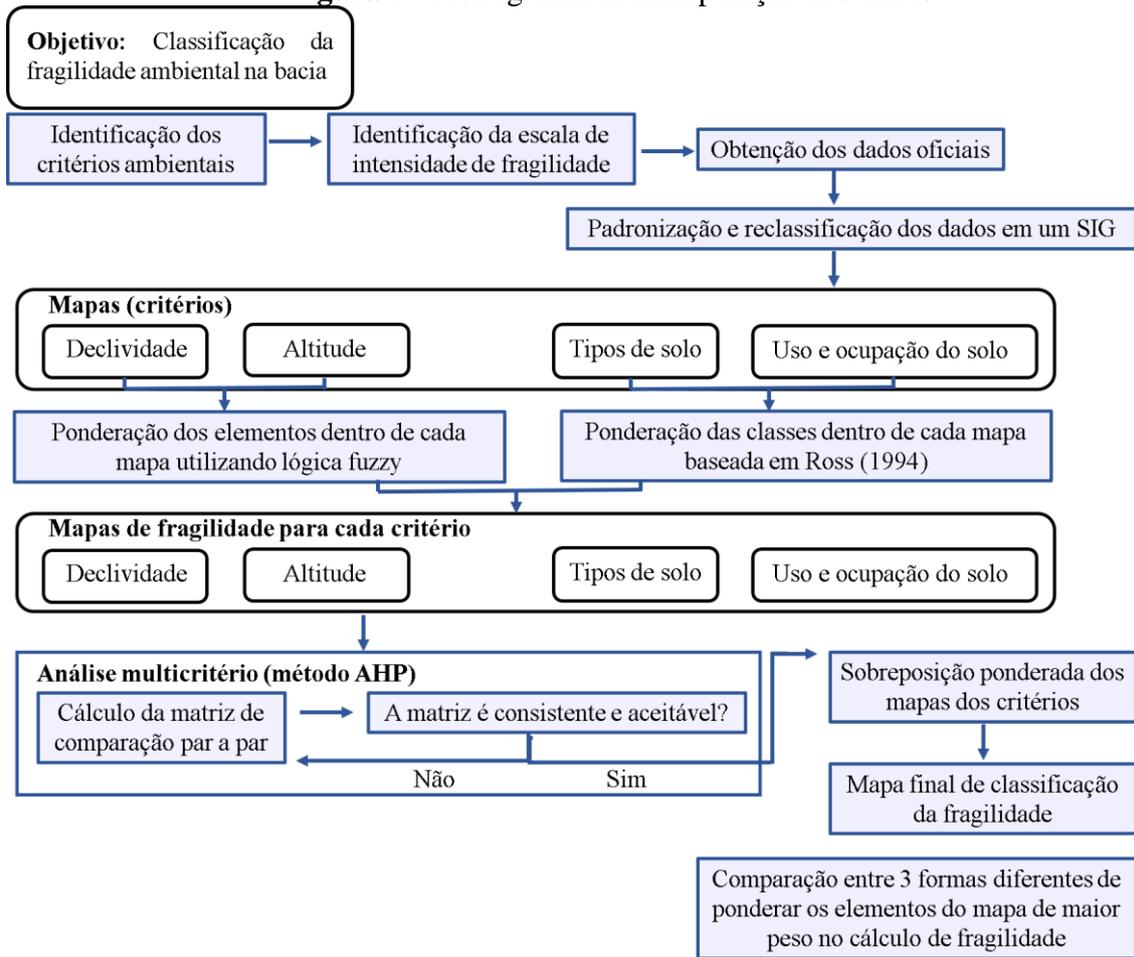


Fonte: Os autores (2021).

A metodologia de análise seguiu as etapas abaixo (Figura 2):

- Definição dos critérios ambientais, da escala de intensidade de fragilidade, obtenção dos dados e processamento em um SIG;
- Ponderação dos elementos e classes nos mapas baseada na literatura científica e utilizando lógica Fuzzy;
- Ponderação de cada critério utilizando o método AHP;
- Sobreposição ponderada dos critérios;
- Comparação entre três formas de atribuição de peso aos elementos do mapa de maior importância no cálculo de fragilidade.

Figura 2 - Fluxograma da manipulação dos dados.



Fonte: Os autores (2021).

2.1 Software

Foram utilizados dados disponibilizados gratuitamente por instituições públicas que foram organizados através de planos de informação representados por mapas. Os dados foram analisados e processados no *software* QGIS Las Palmas, versão 2.18.28.

2.2 Aquisição dos dados

A delimitação da bacia e informações sobre declividade e altitude foram obtidas através da aquisição de duas imagens (SRTM1S25W054V3 e SRTM1S25W055V3) utilizando Modelo Digital de Elevação (MDE) oriundo da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 1Arc-Second equivalente a 30m. As cenas foram adquiridas da *United States Geological Survey* (USGS, 2019) e processadas no *software* QGIS. Para delimitação da bacia foram realizadas análises hidrológicas baseadas no MDE através da ferramenta *Terrain*

Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM) do QGIS de acordo com Tarboton (2011)..

Os dados cartográficos em formato vetorial do tipo de solo foram obtidos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2020), com escala 1:250.000, sistema de referência de coordenadas Universal Transverso de Mercator (UTM), fuso 22Sul, Sistema de Referência: Córrego Alegre. Foram consideradas as classes do segundo nível categórico para realizar reclassificação e identificação dos tipos de solo.

As informações sobre uso e ocupação do solo foram obtidas no formato matricial na coleção 5 do Projeto MapBiomias em escala 1:100.000 e resolução espacial média de 30m (MAPBIOMAS, 2020).

2.3 Padronização dos dados

Os dados foram reprojatados para SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geodésico para Américas 2000), UTM (fuso 22Sul). Após conversão do tipo de solo para formato matricial, todos os arquivos foram padronizados: resolução espacial de 30m (pixel), tipo de dados 16 bit sinalizado, dimensões de linha e coluna com 464 e 1564 pixels, respectivamente, e foi definido um valor para área sem dados para ocultar borda indesejável. Tais procedimentos visaram simplificar cálculos métricos e uniformizar parâmetros para realização da análise multicritério (FRANCISCO et al., 2019).

2.4 Modelagem Fuzzy

Neste trabalho foi abordada uma classificação que atribui valores (pesos) a uma região conforme variação de determinada característica. Tal classificação é descrita por conjuntos Fuzzy e definida como generalização da álgebra Booleana (ZADEH, 1965).

Seja G um espaço de objetos representados por pontos e x um elemento de G . Um conjunto Fuzzy A em G é caracterizado pela função de pertinência $f_A(x)$ que associa a cada ponto x em G um número real no intervalo $[0,1]$, onde o valor de $f_A(x)$ representa o grau de pertencimento de x em A . Ou seja,

$$A = (x, f_A(x)), x \in G$$

e

$$f_A: G \rightarrow A: [0,1]$$

Assim, quanto mais próximo $f_A(x)$ for de 1, maior o grau de pertencimento de x em A ; quanto mais próximo $f_A(x)$ for de 0, menor o grau de pertencimento de x em A . A função $f_A(x)$ pode

ser discreta ou contínua. (ZADEH,1965).

No modelo Booleano a função de pertinência é expressa com valores 0 ou 1, se $x \notin A$ ou se $x \in A$, respectivamente. Inferências baseadas em regras booleanas são frequentemente ineficientes devido a sua classificação rígida (MEIRELLES, 1997).

A modelagem Fuzzy pode ser representada por diferentes funções de pertinência dependendo das características do conjunto no problema (BURROUGH et al., 1992). A escolha dessa função não é arbitrária, mas é subjetiva e reflete o contexto em que o problema está inserido e é tratado (KANDEL, 1986). Funções do tipo linear, quadrática, gaussiana ou sigmoide são as mais utilizadas.

2.4.1 Determinação dos pesos usando modelagem Fuzzy

Os planos de informação utilizados foram os mapas de declividade, tipo de solo, uso/ocupação do solo e altitude. E para facilitar os cálculos optou-se pelo intervalo [0,10] ao invés de [0,1] na função de pertinência.

Cada ponto x representa um elemento ou classe ambiental em determinado espaço no mapa. Foi atribuído um valor (peso) no intervalo [0,10] para as classes de solo e uso/ocupação do solo; para os elementos de declividade e altitude foram utilizadas funções de pertinência contínuas. Esta ponderação foi realizada de forma empírica baseada em Crepani et al. (2001), Ross (1994) e Spörl (2001).

Os graus de fragilidade foram adaptados a modelagem Fuzzy baseando-se em Crepani et al. (2001) e Ross (1994) com 5 intensidades: Fragilidade muito fraca, fraca, média, forte e muito forte, expressos por valores no intervalo [0,10] (Tabela 1). Portanto, quanto mais próximo de 10, maior a vulnerabilidade do ambiente.

Tabela 1 - Graus de fragilidade.

Graus de fragilidade	Valores
Muito fraca	até 2
Fraca	de 2 a 4
Média	de 4 a 6
Forte	de 6 a 8
Muito forte	de 8 a 10

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

2.4.2 Fragilidade ambiental quanto ao tipo de solo e uso/ocupação do solo

A classificação da fragilidade ambiental dos tipos de solo e uso/ocupação do solo foi baseada em Ross (1994) (Tabela 2). Para a classificação do solo o autor considerou escoamento

superficial difuso e concentrado das águas pluviais e, para a classificação de uso/ocupação do solo, considerou a capacidade de proteção que oferecem ao solo. Para aplicação dos pesos foi realizada uma reclassificação dos dados *raster* utilizando o algoritmo *r.reclass* no *software* QGIS conforme Westervelt e Shapiro(2022).

Tabela 2 - Classes nos mapas de solo e uso/ocupação do solo, graus de fragilidade ambiental e pesos.

Variáveis	Graus de fragilidade ambiental e Pesos				
	Muito fraca	Fraca	Média	Forte	Muito forte
	2	4	6	8	10
Solo	Latossolo Vermelho, Vermelho-Amarelo, textura argilosa	Latossolo Amarelo, Vermelho-Amarelo, textura média/argilosa	Nitossolo Vermelho, Argissolo Vermelho, textura argilosa	Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média	Neossolo, Cambissolo, Gleissolo
Uso/ocupação do solo	Formação de floresta	Pasto	Mosaico agricultura-pasto	Agricultura	Área urbana

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

2.4.3 Fragilidade ambiental quanto a declividade

O termo declividade é o grau de inclinação do relevo em relação ao plano horizontal; quanto maior a declividade do terreno, maior a velocidade e capacidade de transporte das águas pluviais, contribuindo para o processo erosivo do solo (CREPANI et al., 2001; GEMITZI et al., 2011; WU, 2014). Neste trabalho, o valor de declividade foi tratado em porcentagem.

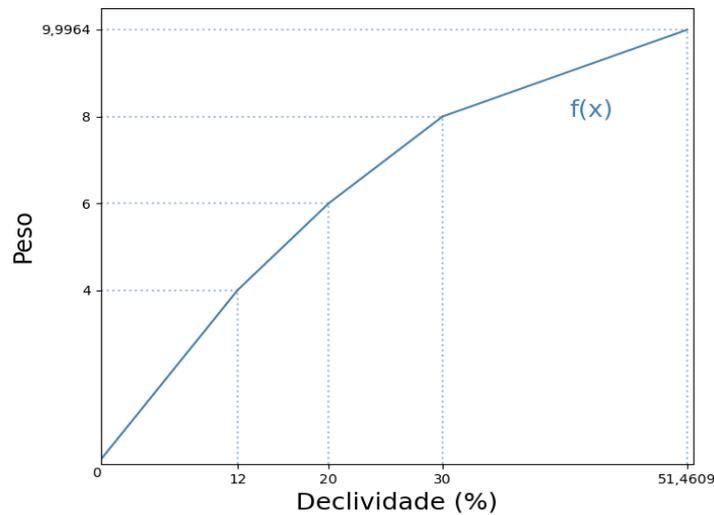
Para distribuição dos valores de declividade na escala de fragilidade baseou-se em Crepani et al. (2001) e Ross (1994), os valores de fragilidade mais próximos de 0 (zero) foram associados a menor declividade, regiões onde predominam processos formadores de solo; os valores mais próximos de 10 foram associados a maior declividade, regiões onde predominam processos erosivos.

Para elaboração da função de pertinência $f(x)$ que atribuiu pesos aos elementos do mapa de declividade foram utilizados os valores de declividade mínima e máxima (51,46%) encontrados na bacia, os limites das categorias hierárquicas de Ross (1994) e uma interpolação linear desses valores (Figura 3).

$$f(x) = \begin{cases} 0,325 x + 0,1; & 0 \leq x \leq 12 \\ 0,25 x + 1; & 12 < x \leq 20 \\ 0,2 x + 2; & 20 < x \leq 30 \\ \frac{20 x + 1120}{215}; & 30 < x \leq 51,4609 \end{cases} \quad (1)$$

tal que x são os elementos do mapa de declividade.

Figura 3 - Gráfico da função $f(x)$ aplicada aos elementos do mapa de declividade.



Fonte: Os autores (2021).

Para aplicação da função foi utilizada a calculadora *raster* do *software* QGIS conforme QGIS Project (2019).

2.4.4 Fragilidade ambiental quanto a altitude

Sinais de mudanças em determinadas altitudes, como temperatura e padrões de precipitação, são perceptíveis (LÓPEZ et al., 2011). Fritzons et al. (2008), através de análise de regressão entre temperatura e altitude para o conjunto de estações do Paraná, concluiu que 74% da variação de temperatura pode ser explicada pela diferença de altitude. Ávila et al. (2016) apresentaram relação entre precipitação e altitude na região Sul. Wischmeier (1959) relacionou quantidade de perda de solo com energia das chuvas e dos Santos e Nascimento (2021) utilizaram pluviometria como um dos fatores para estimar perda de solo em uma bacia hidrográfica. E de Mello et al. (2020) relacionaram erosividade das chuvas e altitude.

Waltrick et al. (2015) calcularam uma estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná e observaram que os maiores valores ocorreram no período de implantação das culturas de verão e no inverno, quando há menor cobertura vegetal sobre o solo nas regiões Oeste e Sudoeste. Resultado que indica a importância da utilização dessa característica em estudos ambientais na região.

Mello et al. (2013), através de modelos multivariados, concluíram que a erosividade pode ser explicada pelas coordenadas geográficas e altitude e, nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, quanto maior altitude menor erosividade média anual das chuvas. Estudos como os de

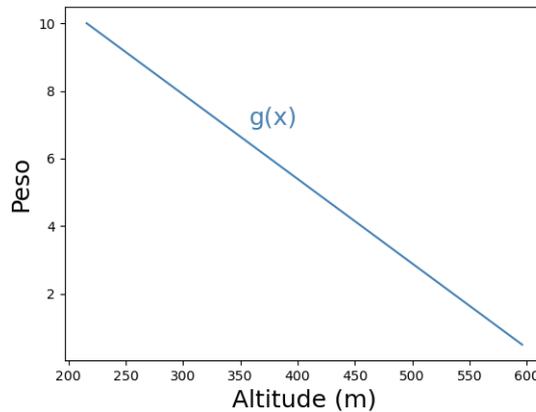
Nel et al. (2010) e Hoyos et al. (2005) apresentaram relação análoga em outros países com características ambientais diferentes.

Baseado nessas informações, foi utilizada uma função de pertinência linear e com coeficiente angular negativo para distribuição dos pesos aos elementos no mapa de altitude. Os valores de fragilidade mais próximos de 0 (zero) foram associados a altitude máxima (596m), regiões com menor erosividade causada pelas chuvas; os valores de fragilidade mais próximos de 10 foram associados a altitude mínima (216m) conforme função $g(x)$ (Figura 4).

$$g(x) = -0,025 x + 15,4 \quad (2)$$

tal que x são os elementos do mapa de altitude.

Figura 4 - Gráfico da função $g(x)$ para ponderação dos elementos do mapa de altitude.



Fonte: Os autores (2021).

Para aplicação da função foi utilizada a calculadora *raster* do *software* QGIS conforme QGIS Project (2019).

2.5 O método AHP

O método AHP desenvolvido por Saaty (1977) foi utilizado por sua capacidade de analisar problemas através da construção de níveis hierárquicos e atribuição de pesos aos múltiplos critérios, enquanto executa uma comparação por pares intuitiva e consistente através de escala pré-definida (SAATY, 1987; PINESE JÚNIOR E RODRIGUES, 2012; SCHMIDT, 1995).

2.5.1 Determinação dos pesos usando AHP

Na etapa de julgamento foi realizada uma comparação pareada que resultou no peso de cada critério, representando sua importância no mapa de fragilidade ambiental. Esta

importância foi atribuída com base na opinião profissional dos autores e na literatura científica, como Tricart (1977), Ross (1994), Crepani (2001), Leandro (2013), Cereda Junior e Röhm (2014), Pinese Júnior e Rodrigues (2012) e Spörl (2001). Para a comparação foi utilizada escala de importância relativa desenvolvido por Saaty (1977) (Tabela 3). Através da comparação pareada construiu-se a matriz de comparação quadrada, de valores recíprocos e diagonal unitária.

Tabela 3 - Escala de importância relativa entre dois critérios.

Menos importante	Extremamente	$\frac{1}{9}$
		$\frac{1}{8}$
	Muito fortemente	$\frac{1}{7}$
		$\frac{1}{6}$
	Fortemente	$\frac{1}{5}$
	$\frac{1}{4}$	
	Moderadamente	$\frac{1}{3}$
		$\frac{1}{2}$
	Igualmente	1
Mais importante	Moderadamente	2
		3
	Fortemente	4
		5
	Muito fortemente	6
	7	
	Extremamente	8
		9

Fonte: Adaptado de Hossain e Daz (2010).

A subjetividade dos julgamentos baseados nas experiências dos pesquisadores pode resultar em inconsistências na matriz final. A inconsistência é medida através da razão de consistência (RC) que relaciona o índice de consistência (IC) da matriz em questão com o índice de consistência obtido da matriz recíproca de ordem n , com elementos não-negativos e randômicos (IR) (Tabela 4). O valor de RC deve ser menor do que 0,1 ou 10% para garantir consistência satisfatória e um julgamento confiável. (SAATY, 1990).

Tabela 4 - Índice de consistência randômico.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

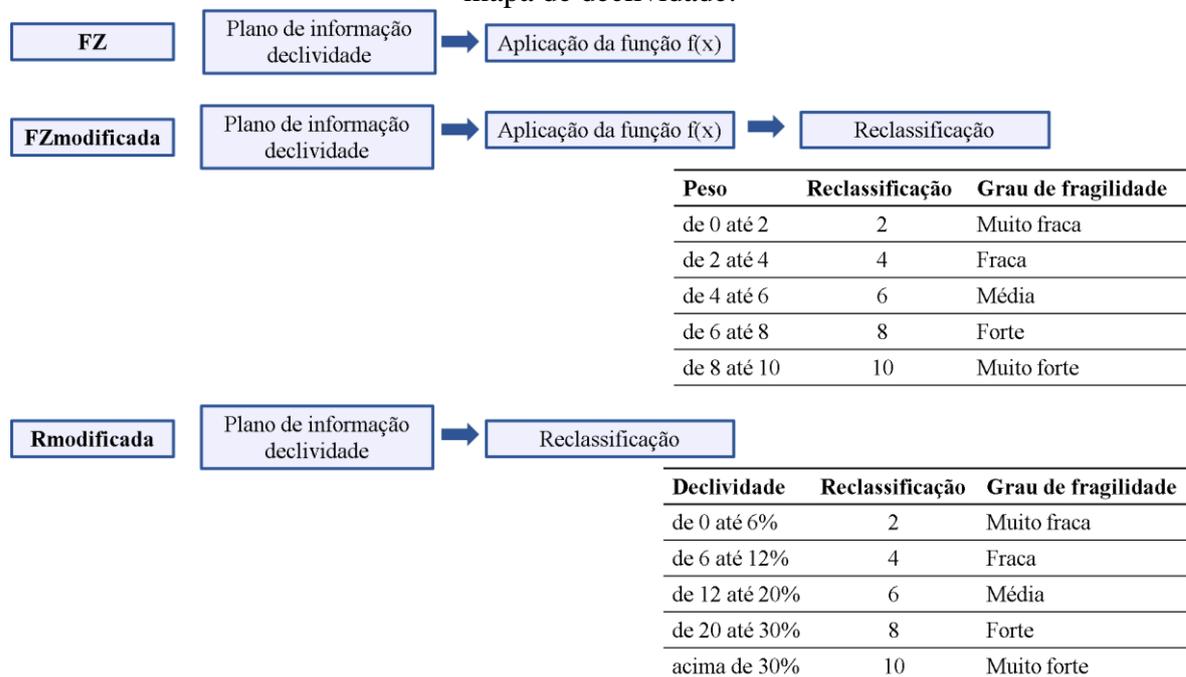
Fonte: Saaty (1990).

Para comparar cada um dos critérios entre si (declividade, solo, altitude e uso/ocupação do solo) foi combinado o método AHP e o complemento Easy AHP do *software* QGIS para realizar uma combinação linear ponderada conforme Malczewski (2000).

2.6 Comparação de métodos

Foi realizada uma comparação entre três formas de ponderação dos elementos do mapa de maior peso (declividade) para verificar sua influência no mapa de fragilidade final. A primeira técnica é a descrita nesse trabalho, determinada pela aplicação da função de pertinência $f(x)$, a segunda é determinada pela utilização da função $f(x)$ e posterior reclassificação do arquivo *raster* resultante, a terceira é determinada pela reclassificação do arquivo *raster* utilizando as categorias hierárquicas de Ross (1994) (Figura 5). As três maneiras são denominadas Fuzzy (FZ), Fuzzy modificada (FZmodificada) e Ross modificada (Rmodificada), respectivamente.

Figura 5 - Fluxograma de implementação das três formas de ponderação dos elementos do mapa de declividade.



Fonte: Os autores (2021).

O resultado de cada uma das três técnicas foi utilizado juntamente com os outros três mapas (altitude, solo e uso/ocupação) e seus respectivos pesos para a geração de mapas de fragilidade.

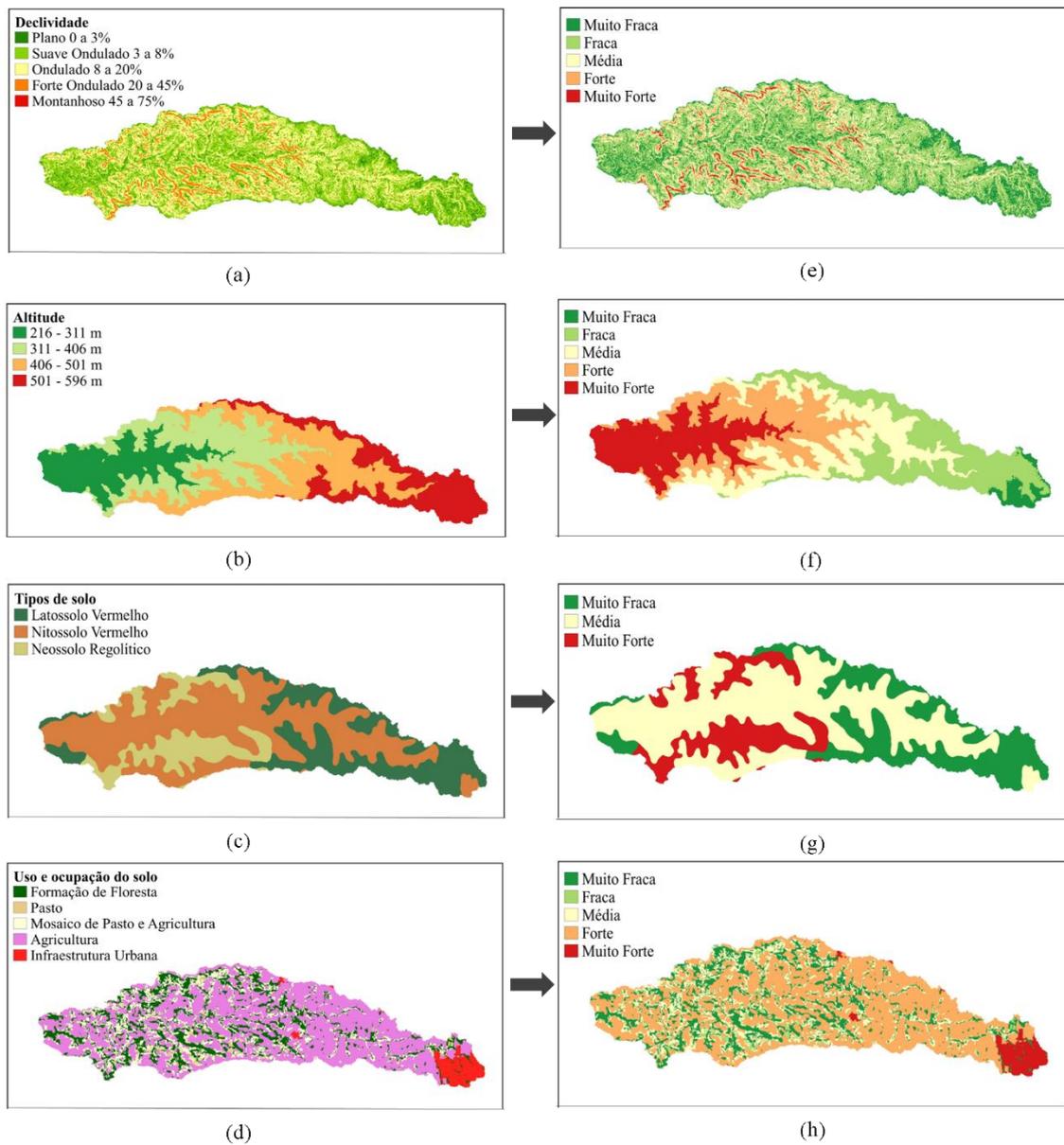
Em cada mapa de fragilidade foram distribuídos pontos de amostragem igualmente espaçados (30 m) utilizando a ferramenta “Pontos Regulares” do QGIS. Posteriormente foi realizado o recorte dos pontos em relação a camada limite da bacia hidrográfica do Arroio Marreco, concentrando os pontos dentro do polígono. Foi utilizado o algoritmo *point sampling tools* para extrair os valores contidos nos pontos de amostragem especificados em cada mapa de fragilidade. O objetivo foi extrair para uma planilha os valores dos arquivos resultantes de cada método para realizar uma análise estatística (Análise de Variância de Efeitos Principais) utilizando o *software R* (R CORE TEAM, 2020).

3. RESULTADOS

Primeiro analisou-se as características da região da bacia hidrográfica do Arroio Marreco. Foram gerados os mapas temáticos relacionados ao tipo de solo, uso/ocupação do solo, declividade e altitude (Figura 6, a - d). O declive predominante é suave ondulado e ondulado (Figura 6a). A menor altitude se localiza próximo a cidade de Marechal Cândido Rondon e o início da bacia na cidade de Toledo apresenta altitude de 596 m (Figura 6b). Os tipos de solo encontrados são Latossolo Vermelho, Nitossolo Vermelho e Neossolo (Figura 6c). E a área é amplamente utilizada para agricultura (Figura 6d).

Nas Figuras 6 e – h são apresentados os mapas reclassificados de acordo com o grau de fragilidade apresentado nas Tabelas 1, 2 e as funções de pertinência $f(x)$ e $g(x)$. Em relação aos tipos de solo predominam regiões de fragilidade média (54,5%) representada pelo Nitossolo Vermelho. Com relação ao uso/ocupação do solo predominam regiões de fragilidade forte (57,1%) representada pela agricultura (Tabela 5). Quanto a declividade e altitude, predomina a fragilidade fraca (50,4% e 25,7%, respectivamente) (Tabela 6).

Figura 6 - Mapas temáticos da bacia hidrográfica do Arroio Marreco: a) Declividade; b) Altitude; c) Tipos de solo; d) Uso e ocupação do solo; Mapas de grau de fragilidade: e - h.



Fonte: Os autores (2021).

Tabela 5 - Graus de fragilidade ambiental relacionados aos tipos de solo e uso/ocupação do solo na bacia hidrográfica do Arroio Marreco.

Graus de fragilidade	Solo		Uso e ocupação do solo			
		Área(km ²)	%		Área(km ²)	%
Muito fraca	Latossolo Vermelho	93,5	27,6	Formação de floresta	63,9	18,9
Fraca	-	0,0	0,0	Pasto	8,1	2,4
Média	Nitossolo Vermelho	184,6	54,5	Mosaico agricultura-pasto	59,2	17,5
Forte	-	0,0	0,0	Agricultura	193,3	57,1
Muito forte	Neossolo	60,7	17,9	Área urbana	14,3	4,2
Σ		338,8	100		338,8	100

Fonte: Os autores (2021).

Tabela 6 - Graus de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Arroio Marreco calculados para declividade e altitude utilizando as funções $f(x)$ e $g(x)$, respectivamente.

Graus de fragilidade	Declividade		Altitude	
	Área (km ²)	(%)	Área (km ²)	(%)
Muito fraca	70,2	20,7	9,6	2,8
Fraca	170,6	50,4	86,9	25,7
Média	65,6	19,4	85,4	25,2
Forte	24,7	7,3	83,7	24,7
Muito forte	7,7	2,3	73,2	21,6
Σ	338,8	100	338,8	100

Fonte: Os autores (2021).

O parâmetro mais importante através do método AHP foi a declividade (51,42%), seguido do uso/ocupação do solo (29,55%), solo (12,14%) e altitude (6,89%) (Tabela 7).

Tabela 7 - Matriz de comparação por pares apresentando a importância relativa de cada critério na fragilidade ambiental.

	Matriz de comparação				Matriz de comparação normalizada ^a				(ω) ^b
	D	S	U	A	D	S	U	A	
D	1	4	2	7	0,5283	0,4706	0,5581	0,5000	0,5142
S	1/4	1	1/3	2	0,1321	0,1176	0,0930	0,1429	0,1214
U	1/2	3	1	4	0,2642	0,3529	0,2791	0,2857	0,2955
A	1/7	1/2	1/4	1	0,0755	0,0588	0,0698	0,0714	0,0689
Σ	1,893	8,5	3,583	14					1
		λ_{max} ^c	IC ^d	IR ^e	RC ^f				
		4,02285	0,0076	0,90	0,0085				

D=declividade; S=solo; U=uso/ocupação do solo; A=altitude; ^a A matriz de comparação normalizada é obtida através da divisão de cada elemento da matriz de comparação pela soma de todos os elementos da sua coluna; ^b O autovetor (ω) são os pesos de cada critério e é obtido através da média dos valores de cada linha da matriz de comparação normalizada; ^c λ_{max} é o maior autovalor da matriz de comparação; ^d O índice de consistência IC é calculado por $\frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$, onde n é a ordem da matriz; ^e O índice de consistência randômico IR para $n = 4$ é 0,90; ^f A razão de consistência é definida por $RC = IC/IR$.

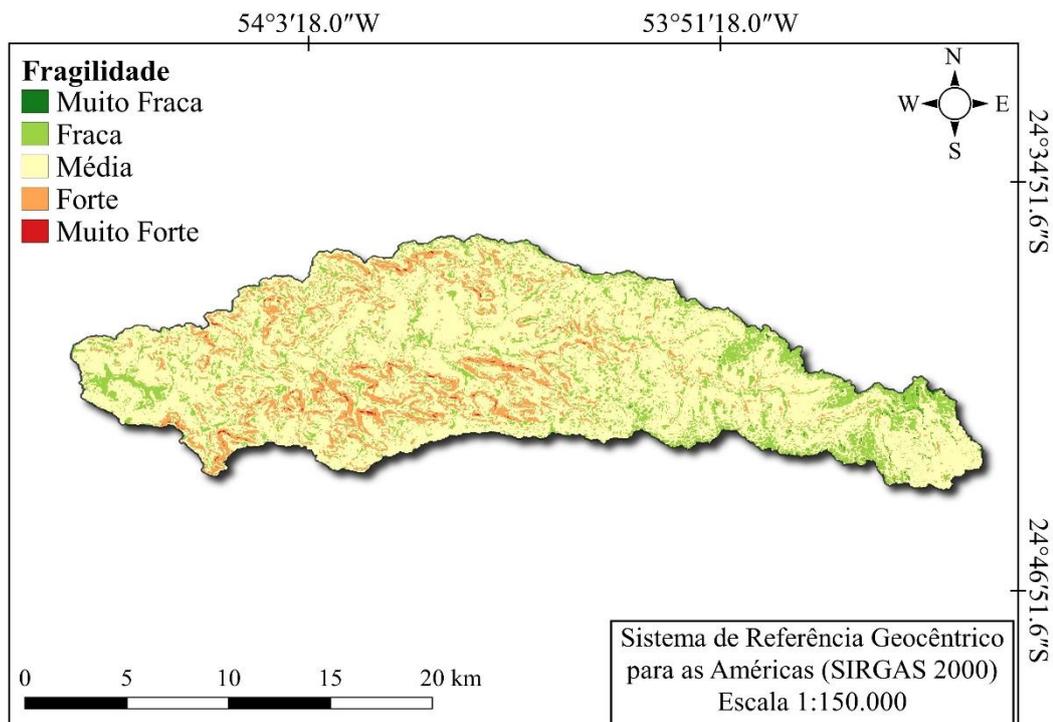
Fonte: Os autores (2021).

A fragilidade ambiental foi calculada através da sobreposição ponderada dos quatro mapas (resultado da utilização da Tabela 2 e funções $f(x)$ e $g(x)$) utilizando o Easy AHP e a equação 3 no QGIS.

$$\text{Fragilidade ambiental} = 0,5142 \times (\text{Declividade}) + 0,1214 \times (\text{Solo}) + 0,2955 \times (\text{Uso/ocupação}) + 0,0689 \times (\text{Altitude}) \quad (3)$$

O resultado desse cálculo indica que 71,3% da área da bacia tem fragilidade média, 15,1% tem fragilidade fraca e 13,2% tem fragilidade forte (Figura 7 e Tabela 8).

Figura 7 - Mapa da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Arroio Marreco.



Fonte: Os autores (2021).

Tabela 8 - Área e graus de fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Arroio Marreco.

Graus de fragilidade	Área (km ²)	(%)
Muito fraca	0,5	0,2
Fraca	51,2	15,1
Média	241,6	71,3
Forte	44,7	13,2
Muito forte	0,8	0,2
Σ	338,8	100

Fonte: Os autores (2021).

Acerca da comparação entre as três formas de ponderação dos elementos do mapa de declividade pode-se inferir que todas indicaram que na bacia predomina fragilidade média (Tabela 9). O método FZ classificou com fragilidade muito fraca (0,2%) e fraca (15,1%) uma área maior em relação ao método FZmodificada (0% e 3,4%, respectivamente) e Rmodificada (0% e 4,6%, respectivamente). Essa diferença pode ser explicada pela variação dos pesos conforme variação dos elementos do mapa no método FZ, ao contrário dos outros dois que classificaram elementos diferentes com o mesmo peso (Figura 5).

A extração dos valores do mapa de fragilidade oriundo de cada método resultou em três planilhas com 845.209 dados cada, totalizando 2.535.627. Para comparação dos resultados foi utilizado o *software* R para calcular 999 análises de variância de efeitos principais, cada uma realizada para uma amostragem de 999 pontos em cada planilha. A análise foi realizada a partir da média dos valores encontrados, considerando nível de significância de 5%. Pode-se inferir que existe diferença significativa entre os métodos e a posição geográfica. O método utilizado para aplicar os pesos no mapa de declividade tem influência sobre o grau de fragilidade ambiental ($F_{posição} = 8,807, p - valor_{posição} = 1,383 \cdot 10^{-310}$ e $F_{método} = 484,015, p - valor_{método} = 1,391 \cdot 10^{-146}$; $p - valor =$ significância estatística e $F =$ estatística F).

Tabela 9 - Efeito dos métodos de ponderação dos elementos do mapa de declividade no grau de fragilidade ambiental.

Graus de fragilidade	Método de atribuição de peso aos elementos do mapa de declividade		
	FZ	FZmodificada	Rmodificada
	Área (%)	Área (%)	Área (%)
Muito fraca	0,2	0	0
Fraca	15,1	3,4	4,6
Média	71,3	57,2	63,1
Forte	13,2	37,7	31,1
Muito forte	0,2	1,7	1,3
Σ	100	100	100
Média do grau de fragilidade calculado*	5,94 _c	6,80 _a	6,60 _b

*Letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa entre as médias pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fonte: Os autores (2021).

4. DISCUSSÃO

A teoria de conjuntos Fuzzy tem sido importante para dados geográficos desde as décadas de 80 e 90 pela possibilidade de tratar imprecisão e abstração nas classificações (BANAI, 1993).

A classificação convencional através da atribuição de valores fixos para uma área pode contribuir na propagação de erros na modelagem da paisagem. Geotecnologias e análise multicritério com lógica Fuzzy têm desempenhado um papel importante em estudos ambientais, pois permitem representar a variação e a importância relativa de cada característica ambiental no fenômeno estudado. (MEIRELLES, 1997; ROSENDO, 2019).

Exemplos de estudos incluem Junior et al. (2016) que utilizaram dados como solos, declividade, população, altitude e formas de terreno para estudar a susceptibilidade a deslizamentos em bacias hidrográficas e concluíram que a lógica Fuzzy e AHP são essenciais para resolução de problemas relacionados ao conhecimento empírico dos especialistas. Cereda Junior e Röhm (2014) utilizaram modelo Fuzzy para fragilidade ambiental através das variáveis solo, cobertura vegetal e comportamento das chuvas, apresentando resultados satisfatórios quando comparados a pesquisa de campo e estudos anteriores. Miara e Oka-Fiori (2007) estudaram fragilidade ambiental através do AHP e padronização Fuzzy com as variáveis erosividade, geologia, vertentes, solos e declividade; os resultados se correlacionaram com a realidade. Guerrero et al. (2021) elaboraram uma carta de vulnerabilidade natural utilizando inferência Fuzzy e AHP com as variáveis relevo, geologia, pluviosidade, uso do solo e declividade e consideraram o método eficaz, com resultados mais satisfatórios. Cheng et al. (2020) analisaram a saúde do ecossistema de um deserto utilizando conceito Fuzzy, critérios fisiológicos, ecológicos, ambientais e observaram precisão, objetividade e confiabilidade nos resultados. Rosendo (2019) analisou a vulnerabilidade socioambiental à seca em regiões brasileiras utilizando conjuntos Fuzzy e variáveis ambientais como índice de anomalia de chuva, áreas de lavoura, áreas degradadas, entre outros. Observa-se que diversas variáveis podem ser adicionadas ao modelo para atender aos objetivos propostos.

Neste trabalho, os pesos dos elementos nos mapas de declividade e altitude utilizando lógica Fuzzy através das funções $f(x)$ e $g(x)$, respectivamente, permitiu considerar os potenciais para deslizamentos e erosividade causada pelas chuvas. A função $f(x)$ classificou 50,4% da bacia com fragilidade fraca quanto a declividade e a função $g(x)$ classificou aproximadamente 25% da bacia para cada grau de fragilidade fraca, média e forte quanto a altitude (Tabela 6). A interpolação linear para construção das funções foi utilizada pela

simplicidade de execução e fácil adaptação em outras áreas e contextos. É importante observar que as funções escolhidas dependem do conjunto de dados e em qual contexto são tratados (BURROUGH et al., 1992; KANDEL, 1986).

O método AHP resultou na declividade como critério mais importante, seguido do uso/ocupação do solo, solo e altitude (Tabela 7). Spörl (2001) comparou modelos e indicou o mapa mais detalhado o com apoio no mapa de declividade. A análise constatou que na bacia predomina a fragilidade média (71,3%) (Tabela 8).

As formas de ponderação dos elementos do mapa de declividade apresentaram diferença estatística, porém todas indicaram que na bacia predomina a fragilidade média, embora o método FZ tenha classificado uma área maior com grau de fragilidade menor (Tabela 9). Isso pode ser explicado pelo método FZ permitir representar a variação dos elementos do mapa enquanto FZmodificada e Rmodificada atribuem valores fixos a regiões com características diferentes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho considerou a declividade, tipo de solo, uso do solo e altitude para analisar a fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Arroio Marreco localizada no Oeste do Paraná, Brasil.

O uso da lógica Fuzzy permitiu representar a variação das características ambientais e seu grau de importância na análise de fragilidade. E o método AHP estabeleceu níveis hierárquicos para os critérios através de cálculos consistentes.

A análise constatou que na bacia predomina a fragilidade média, indicando que a região requer planejamento adequado de ações. Baseando-se nas discussões, pode-se afirmar que a combinação da lógica Fuzzy, método AHP e geotecnologias pode ser uma ferramenta promissora para auxiliar na tomada de decisões e manejo adequado de atividades antrópicas em bacias hidrográficas. Sugere-se o aprofundamento e exploração da lógica Fuzzy em análises a nível de planejamento ambiental.

AGRADECIMENTOS

A Unioeste e ao GEMaQ pela estrutura para o desenvolvimento da pesquisa. Ao aluno de doutorado Jhony Ferry Mendonça da Silva pelas colaborações relacionadas ao uso do software QGIS.

FINANCIAMENTO

Esta pesquisa não recebeu nenhum financiamento de agências de fomento nos setores público, comercial ou sem fins lucrativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRÃO, C. M.R., BACANI, V. M. Diagnóstico da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, MS: subsídio ao zoneamento ambiental. *Boletim Goiano De Geografia*, v.38, n. 3, p. 619–645, 2018. <https://doi.org/10.5216/bgg.v38i3.56362>
- ALBUQUERQUE, E. L.S., de MEDEIROS, C. N. Vulnerabilidade socioambiental em bacias hidrográficas no Setor Leste Metropolitano de Fortaleza, Ceará, *Ateliê Geográfico*, v. 11, n. 1, p.109–126, 2017. <https://doi.org/10.5216/ag.v11i1.39018>
- ÁVILA, A.; JUSTINO, F.; WILSON, A.; BROMWICH, D.; AMORIM, M. Recent precipitation trends, flash floods and landslides in southern Brazil, *Environmental. Research. Letter*, v. 11, 114029, 2016. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/114029>
- BANAI, R. Fuzziness in Geographical Information Systems: contributions from the analytic hierarchy process. *International Journal of Geographical Information Systems*, 7:4, p. 315-329, 1993. <https://doi.org/10.1080/02693799308901964>
- BURROUGH, P. A. Development of intelligent geographical information system. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.1, p. 1-11, 1992. <https://doi.org/10.1080/02693799208901891>
- BURROUGH, P. A.; McDonnell, R. A. *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford: Oxford University, 1998.
- BURROUGH, P.A.; MCMILLAN, R.A.; DEURSEN, W. Fuzzy Classification Methods for Determining Land Suitability from Soil Profile Observation and Topography. *Journal of Soil Science*, v. 43, p. 193-210, 1992. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1992.tb00129.x>
- BURROUGH, P. A. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *Journal of Soil Science*, v. 40, p. 477-492, 1989. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1989.tb01290.x>
- CEREDA JUNIOR, A, RÖHM, S.A. Analysis of environmental fragility using multicriteria analysis (mce) for integrated landscape assessment. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v.8, n.1, p.28-37, 2014. <https://doi.org/10.4090/juee.2014.v8n1.028037>

-
- CHENG, W.; Xi, H.; SINDIKUBWABO, C.; SI, J.; ZHAO, C.; YU, T.; LI, A.; WU, T. Ecosystem health assessment of desert nature reserve with entropy weight and Fuzzy mathematics methods: A case study of Badain Jaran Desert, *Ecological Indicators*, v. 119, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106843>.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. 2a ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1980.
- CORNWELL E., SPOSITO V., FAGGIAN R., Land suitability projections for traditional sub-alpine cropping in the Australian Alps and Chilean Dry Andes. A combined biophysical and irrigation potential perspective, *Applied Geography*, v. 121, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102248>
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.C.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T.; BARBOSA, C. Sensoriamento Remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial. INPE, São José dos Campos, São Paulo, 2001. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf> . Acesso em: 13 fev. de 2020.
- DALLA CORTE, A. P.; KLEIN HENTZ, A. M; DOUBRAWA, B.; SANQUETA, C.R. Environmental fragility of Iguazu river watershed, Paraná, Brazil. *Bosque*, vol. 36, n. 2, p. 287-297, 2015. <https://doi.org/10.4067/s0717-92002015000200014>
- de MELLO, C.R.; ALVES, G.J.; BESKOW, S.; NORTON, L.D. Daily rainfall erosivity as an indicator for natural disasters: assessment in mountainous regions of southeastern Brazil, *Natural Hazards*, v. 103, p. 947–966, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04020-w>
- dos SANTOS, F. de A., MENDES, L. M.S., da CRUZ, M. L.B. Suscetibilidade biofísica a inundações da Sub-bacia Hidrográfica do rio Piracuruca. *Ateliê Geográfico*, v. 15, n.1, p.266–285, 2021 <https://doi.org/10.5216/ag.v15i1.64590>
- dos SANTOS, J. Y.G., NASCIMENTO, R.Q. Efeitos das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da bacia do Rio de Janeiro, Oeste da Bahia, *Boletim Goiano De Geografia*, v. 41, n.1, 2021. <https://doi.org/10.5216/bgg.v41.65397>
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 2ªed. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs> . Acesso em: 17 fev. de 2020.
- 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, p.394, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijgi8090394>
- FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; AGUIAR, A. V. Relação entre altitude e temperatura:

-
- uma contribuição ao zoneamento climático no estado do Paraná. *Revista de estudos ambientais*, v.10, n. 1, p. 49-64, 2008. <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2008v10n1p49-64>
- GEMITZI, A.; FALALAKIS, G.; ESKIOGLOU, P.; PETALAS, C. Evaluating landslide susceptibility using environmental factors, Fuzzy membership functions and gis. *Global NEST Journal*, v. 13, n.1, p. 28-40, 2011. <https://doi.org/10.30955/gnj.000734>
- GUERRERO, J.V.R.; PESTANA, L.F.A.; SOARES, J.A.H.; RUIZ, I.H.; MOSCHINI, L.E. Carta de vulnerabilidade natural como instrumento de apoio ao Zoneamento Ecológico-Econômico do município de Pirassununga (São Paulo), *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.2, n.2, p.25-42, 2021. Disponível em: <https://zenodo.org/record/5548230>. Acesso em: 08 out. de 2021
- HOSSAIN, M.S.; DAS, N.G. GIS-based multi-criteria evaluation to land suitability modelling for giant prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) farming in Companigonj Upazila of Noakhali. *Computers and Electronics in Agriculture*, Bangladesh, v.70, p.172–186, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.10.003>
- HOYOS, N.; WAYLEN, P.R.; JARAMILLO, A. Seasonal and spatial patterns of erosivity in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Journal of Hydrology*, v.314, p.177–191, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.014>
- IAPAR, Instituto Agrônomo do Paraná. Köppen's classification. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2533> . Acesso em: 30 abr. de 2020.
- JUNIOR, C.H.L.S, BEZERRA, D.S., ANDERSON, L.O., DE ANDRADE, M.R.M., PEREIRA, D.C.A., BEZERRA, V.L.A.R., SILVA, F.B., de ARAGÃO, L.E.O.C. Zoneamento da susceptibilidade a deslizamentos induzidos com base na lógica Fuzzy e no processo analítico hierárquico (AHP): o caso da bacia hidrográfica do Rio Anil, São Luís – MA, *Revista Brasileira de Cartografia*, n.68/9, p. 1819-1837, 2016. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44445>. Acesso em: 21 jan. de 2022.
- KANDEL, A. Fuzzy mathematical techniques with applications. Boston: Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
- KOLLIAS, V. J.; VOLIOTIS, A. Fuzzy reasoning in the development of geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, v.5, p.209-223, 1991. <https://doi.org/10.1080/02693799108927844>
- LEANDRO, D. Modelagem de fragilidade ambiental usando índices baseados em dados

-
- especiais e com suporte de sistema especialista, Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- LÓPEZ, A.; AQUINO, A.M.; ASSIS, R. Agricultura de montanha: uma prioridade latente na agenda da pesquisa brasileira. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, 2011.
- MADHU, A.; KUMAR, A.; JIA, P. Exploring Fuzzy Local Spatial Information Algorithms for Remote Sensing Image Classification, *Remote Sensing*, v. 13, 4163, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13204163>
- MALCZEWSKI, J. On the use of weighted linear combination method in GIS: Common and best practice approaches, *Transactions in GIS*, 4, 5–22, 2000. <https://doi.org/10.1111/1467-9671.00035>
- MAPBIOMAS. Coleção da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/map#coverage>. Acesso em: 17 fev. de 2020.
- MEIRELLES, M.S.P. Análise Integrada do Ambiente Através de Geoprocessamento – Uma Proposta Metodológica Para Elaboração de Zoneamentos, Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.
- MELLO, C.R.; VIOLA, M.R.; BESKOW, S.; NORTON, L.D. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil, *Geoderma*, 202–203, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.03.009>
- MIARA, M.A.; OKA-FIORI, C. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade ambiental – um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-cará, Ponta Grossa/PR, *Revista RA'E GA*, Curitiba, n. 13, p. 85-98, 2007 <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v13i0.6642>
- MIRANDA, J.I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas, Brasília, DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2005.
- NEL, W.; REYNHARDT, D.A.; SUMNER, P.D. Effect of altitude on erosive characteristics of concurrent rainfall events in the northern KwaZulu-Natal Drakensberg. *Water AS*, v. 36, p.509–512, 2010. <https://doi.org/10.4314/wsa.v36i4.58429>
- PARSIAN, S.; AMANI, M.; MOGHIMI, A.; GHORBANIAN, A.; MAHDAVI, S. Flood Hazard Mapping Using Fuzzy Logic, Analytical Hierarchy Process, and Multi-Source Geospatial Datasets. *Remote Sensing*, v.13, 4761, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13234761>
- PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O método de análise hierárquica – AHP – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Piedade (MG). *Revista Do Departamento De Geografia*, v.23, p.4-26, 2012.

<https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0023.0001>

- PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARANÁ 3, Águas Paraná, 2014. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/Parana_3/plano_de_bacia/Produto_01_Caracteristicas_Gerais_da_Bacia_BP3_2014_v07_Final.pdf . Acesso em: 08 abril de 2020.
- PMRH, Plano Municipal de Recursos Hídricos de Toledo, 2017. Disponível em: <https://www.toledo.pr.gov.br/portal/plano-municipal-de-recursos-hidricos/plano-municipal-de-recursos-hidricos> . Acesso em: 12 out. de 2018.
- QGIS Project, QGIS User Guide, Release 2.18, 2019. Disponível em: <https://docs.qgis.org/2.18/pdf/en/QGIS-2.18-UserGuide-en.pdf> Acesso em: 04 fev. 2022
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 jul. de 2020.
- REGGIANI, P.; HASSANIZADEH, S.M. MEGASCALE thermodynamics in the presence of a conservative field: The watershed case. *Advances in Water Resources.*, v.97, p.73–86, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.09.002>
- ROSENDO, E.E.Q. Vulnerabilidade   seca nas regiões semiárida brasileira e portuguesa: uma avalia o baseada em lógica Fuzzy, Tese (Doutorado em Geografia), Universidade do Porto, Portugal, 2019.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia. São Paulo*, n. 8, 1994. <https://doi.org/10.7154/rdg.1994.0008.0006>
- SAATY, T.L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J. Math. Psychol.*, v.15, p.234–281, 1977. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5)
- SAATY, R.W. The analytic hierarchy process—What it is and how it is used. *Math. Model.*, v. 9, p.161–176, 1987. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- SAATY, T.L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, v.48, p.9–26, 1990. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica, Tradu o de Wainer da Silveira e Silva, São Paulo: McGraw-Hill, 1991.
- SAATY, T.L.; VARGAS, L.G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. *International Series in Operations Research & Management Science*, Berlin/Heidelberg: Springer, 2012. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6>
- SCHMIDT, A.M.A. Processo de apoio a tomada de decisão abordagens: AHP e MACBETH, Disserta o (Mestrado em Engenharia de Produ o), Universidade Federal de Santa

-
- Catarina, Florianópolis, 1995.
- SEAB, Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento, Departamento de Economia Rural, 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br> . Acesso em: 14 jul. de 2019.
- SILVA, A.B. Sistemas de Informações Geo-referenciadas: conceitos e fundamentos, Campinas, SP, Editora Unicamp, 2003.
- SPÖRL, C. Análise de fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata, Dissertação (Mestrado em Geografia Física), Universidade de São Paulo, 2001.
- SPÖRL, C. Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais, Tese (Doutorado em Geografia), Universidade de São Paulo, 2007.
- TARBOTON, D.G., Watershed delineation using TAUDDEM, A tutorial for using TauDEM to delineate a single watershed, Utah State University, 2011. Disponível em: <https://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/TauDEM5DelineatingASingleWatershed.pdf> Acesso em: 04 fev. de 2022.
- TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.
- USGS, United States Geological Survey, [EarthExplorer](https://earthexplorer.usgs.gov/). Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> . Acesso em: 01 mar. 2019.
- WALTRICK, P. C.; MACHADO, M.A.M.; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.39, p.256-267, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150147>
- WESTERVELT, J., SHAPIRO, M., U.S. Army Construction Engineering Research Laboratory. Disponível em: <https://grass.osgeo.org/grass76/manuals/r.reclass.html> Acesso em: 04 fev. 2022.
- WISCHMEIER, W. H. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Science Society of America Proceedings, v.23, p.246–249, 1959. <https://doi.org/10.2136/sssaj1959.03615995002300030027x>
- WU, X.Z. Development of fragility functions for slope instability analysis, Technical Note, Landslides, v.11, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0536-3>
- ZADEH, L.A. Fuzzy Sets. Information and Control, v. 8, p.338—353, 1965. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Karen Carrilho da Silva Lira realizou a concepção, metodologia, curadoria de dados, análise formal, administração do projeto, visualização, software, o esboço original da redação e a revisão e edição do texto. Humberto Rodrigues Francisco realizou a concepção, metodologia, curadoria de dados, análise formal, visualização, software, supervisão, e a revisão e edição da redação. Aldi Feiden realizou a concepção, metodologia, análise formal, supervisão e revisão e edição da redação.

Artigo científico em processo de correção e finalização para envio na revista Mercator.

CAPÍTULO 3. Análise de distribuição espacial de viveiros escavados e estimativa de potencial produtivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) na bacia hidrográfica do Arroio Marreco

Karen Carrilho da Silva Lira^a (Corresponding author), karenc@utfpr.edu.br ,

Felipe Misael da Silva Morsoleto^a, felipe_morsoletto@yahoo.com.br

Humberto Rodrigues Francisco^b, humberto.francisco@uffs.edu.br,

Aldi Feiden^a, aldi.feiden@unioeste.br

^aUniversidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil.

^bUniversidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, Paraná, Brasil.

Resumo:

O crescimento da produção de tilápia aponta para a importância de estudos acerca do melhor beneficiamento da matéria prima objetivando um crescimento sustentável e estimulando o aumento de renda nas áreas rurais. Este trabalho teve como objetivo estimar o potencial produtivo da tilápia do Nilo considerando diferentes subprodutos (peixe inteiro, filetado, carne mecanicamente separada (CMS), farinha e óleo) e analisar a distribuição espacial dos viveiros escavados utilizando o estimador de densidade Kernel através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Foi usada como base para o estudo a bacia hidrográfica do Arroio Marreco localizada na região Oeste do Paraná, um dos maiores polos produtores de tilápia no Brasil. Os resultados mostraram que a maior parte dos viveiros escavados está localizada em áreas de fragilidade ambiental média, com maior densidade de produção na sub-bacia do Baixo Marreco e nas proximidades do Arroio Marreco e rodovias, indicando existência de estrutura logística para escoamento da produção. E considerando a produtividade média de 68t/ha/ano, a bacia tem potencial produtivo de 11.029,60 t por ano, representando 57,7% da produção total em 2020 dos municípios aos quais pertence. Além disso, o aproveitamento dos resíduos pode representar um aumento de 115,5% na receita bruta anual considerando a agregação de valor para a CMS, a farinha e o óleo. Estes dados indicam aumento de receita em toda a cadeia produtiva da região com o melhor aproveitando das áreas de lâmina d'água existentes e os resíduos do processamento do peixe, contribuindo para a preservação do ambiente e crescimento sustentável da atividade.

Palavras-chave: Estimativa de densidade kernel; Piscicultura; Sistemas de informações geográfica; Software QGIS; Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura, uma das atividades importantes para o desenvolvimento econômico rural no país, engloba diferentes atividades de criação de organismos aquáticos (FAO, 2020). A piscicultura, atividade responsável pela criação de peixes e uma das principais modalidades da aquicultura atualmente (FAO, 2020), é caracterizada por monitorar a espécie em ambiente controlado desde o início da vida até atingir a condição ideal para consumo. A atividade é realizada em área com água retida, com controle de entrada e saída e os locais são do tipo: viveiro, tanque, açude, alagado, reservatório ou unidades produtivas (FRANCISCO *et al.*, 2020). Os viveiros, sistema produtivo mais antigo na piscicultura, são áreas escavadas sem revestimento interno e preenchidos com água, onde o cultivo é realizado de forma extensiva, semi-intensiva ou intensiva, conforme grau de tecnificação e otimização do manejo (CREPALDI *et al.*, 2006).

A tilápia do Nilo é a terceira espécie mais produzida, representando 8,3% da produção mundial (FAO, 2020). A espécie também se consolida como um dos principais produtos da piscicultura brasileira no mercado internacional, pois as exportações cresceram entre 2018, 2019 e 2020 (PEDROZA FILHO e ROCHA, 2021a, 2021b).

Nos últimos anos a tilapicultura vem se destacando como importante alternativa para produção de proteína animal devido as características biológicas que facilitam sua criação, por possuir pacote tecnológico robusto desenvolvido, além de boa aceitação do mercado consumidor. Em 2020 a tilápia representou 62,26% da produção piscícola brasileira, quando comparada com a produção de peixes redondos, carpa, pintado e outras espécies, bem como apresentou crescimento anual médio de 14% entre 2013 e 2018. E esse crescimento está ligado ao aumento da demanda no mercado nacional pois, apesar de crescentes, as exportações ainda representam uma parcela menor da produção total. No mesmo ano, a região Oeste do Paraná apareceu como o maior polo produtor de tilápia no Brasil, tendo como principal cadeia produtiva a do filé e como principais municípios produtores: Nova Aurora, Toledo, Palotina, Assis Chateaubriand, Maripá, Tupãssi, Cafelândia e Nova Santa Rosa, entre outros. (EMBRAPA, 2021; PEDROZA FILHO *et al.* 2020).

Diante do potencial de crescimento da tilapicultura no país, é importante acompanhar e planejar o desenvolvimento da atividade garantindo preservação ambiental e condições favoráveis para a produção e rentabilidade do setor. De fato, Coldebella *et al.* (2018)

verificaram que o processo de despesca pode causar deterioração do efluente lançado no meio ambiente.

Com a alta produção também vale observar a quantidade de resíduos gerados pela indústria. Os resíduos são partes não aproveitadas por limitações tecnológicas ou mercadológicas (BARCELAR e MURATORI, 2020). De acordo com FAO (2020), a perda e o desperdício global de alimentos são um problema e, no caso da pesca e aquicultura, representa aproximadamente 30%.

Durante o principal método de processamento da tilápia (filetagem), o rendimento médio do filé é de 32% (28 a 35%) do peixe inteiro e a quantidade de resíduos gerados pode ser de 72% englobando cabeça, vísceras, ossos e escamas. Estes têm destinos variados, como ração de animais, silagem e fertilizantes, porém muitas vezes os destinos são inadequados para o meio ambiente. (BOSCOLO e FEIDEN, 2007; KUBITZA, 2006; FAO, 2020; BARROSO e MONOZ, 2017).

Com o avanço das tecnologias de processamento, outros usos dos resíduos da indústria vêm sendo estudados para consumo humano, como a carne mecanicamente separada (CMS), por ser fonte de nutrientes e apresentar potencial para agregação de valor (AL KHAWLI *et al.*, 2019) e para consumo animal, como a farinha e o óleo que são utilizados para formulação de rações.

Uma das principais formas de obtenção da CMS é a partir do descabeçamento, a evisceração, limpeza e, após a filetagem, separação mecânica da carne aderida às espinhas, ossos e pele através de uma máquina desossadora (PIRES *et al.*, 2014). Alguns estudos relatam que a CMS apresenta rendimento aproximado de 60% do material que passa através da máquina despulpadora ou cerca de 14% do peixe inteiro e concentração de proteína entre 10 e 15% (VIDAL-CAMPELLO *et al.*, 2021; CHAMBO, 2018; LUSTOSA-NETO *et al.*, 2016; FREITAS *et al.*, 2012; MINOZZO, 2010; COSTA, 2017). Pesquisas apresentam análise do uso de CMS para consumo humano em diversos produtos alimentícios como almôndega, bolos, mortadela, massas, hambúrguer, entre outros (LEONEL *et al.*, 2019; BERNARDINO FILHO *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2021; COSTA, 2017).

Os resíduos destinados a alimentação animal são compostos por vísceras, escamas, nadadeiras, pele, esqueleto e cabeça (PINTO *et al.*, 2017). A farinha é obtida após cocção, secagem e moagem destes resíduos e o óleo é obtido durante esse processo através de uma caixa percoladora e filtro prensa; possuem alto valor biológico, aminoácidos, ácidos graxos, sais minerais e vitaminas, sendo uma fonte de nutrientes em rações para peixes e outros animais (ARRUDA *et al.* 2007; BOSCOLO *et al.*, 2008; PIRES *et al.*, 2014; VIDOTTI *et al.*, 2010). O

rendimento da farinha e do óleo pode depender do tamanho do peixe, resíduos de peixes abatidos com peso abaixo de 800 gramas produzem, em média, 85% de farinha e 15% de óleo, enquanto que os resíduos de peixes abatidos com peso acima de 800 gramas podem render até 70% de farinha e 30% de óleo, tendo como matéria prima cabeça, carcaça, vísceras e pele (VIDOTTI e GONÇALVES, 2006). As composições da farinha e do óleo podem depender, além de outros aspectos, da composição da matéria prima que, por sua vez, depende da alimentação e do peso de abate nos diferentes sistemas de criação (LIMA, 2013; VIDOTTI e GONÇALVES, 2006).

Diante do exposto, estudos devem ser realizados sobre o melhor beneficiamento da matéria-prima, agregando valor a itens pouco aproveitados pela indústria e contribuindo para a preservação ambiental.

Neste sentido, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que têm como principal característica a capacidade de integrar e transformar dados espaciais em diferentes áreas, se tornaram importantes ferramentas no processamento de dados geográficos relacionados à piscicultura (SILVA, 2003; MIRANDA, 2005; FRANCISCO *et al.*, 2020). Através do SIG é possível entender padrões e tendências relacionando informações descritivas de um fenômeno geográfico a partir de sua localização e vice-versa, podendo auxiliar no planejamento e tomada de decisão em diversos processos produtivos (MARCHIORI *et al.* 2021; FRANCISCO e IMAI, 2003).

Dando suporte ao estudo, foi utilizado o estimador de densidade *Kernel* proposto por Rosenblatt (1956) e generalizado por Parzen (1962), um estimador probabilístico que transforma uma distribuição de pontos em uma superfície de densidade auxiliando na identificação visual da concentração de um evento e sua distribuição espacial (BAILEY e GATRELL, 1995). Neste contexto, o mapa de Kernel é uma ferramenta importante para visualização e análise espacial de grandes conjuntos de dados (NETEK *et al.*, 2019; KUHFLIED, 2017).

Em vista disso, o objetivo deste trabalho foi estimar o potencial produtivo da tilápia do Nilo considerando diferentes subprodutos e analisar a distribuição espacial dos viveiros escavados na bacia hidrográfica do Arroio Marreco e suas sub-bacias através do estimador de densidade *Kernel*. A bacia pertence a região Oeste do Paraná e abrange parte dos principais municípios produtores da região (EMBRAPA, 2021).

Em trabalhos anteriores, Morsoleto (2020) verificou que as sub-bacias da bacia do Arroio Marreco apresentam concentração de agentes eutrofizantes nos rios, e Lira *et al.* (2022) verificaram que predomina a fragilidade ambiental de intensidade média na bacia, indicando a

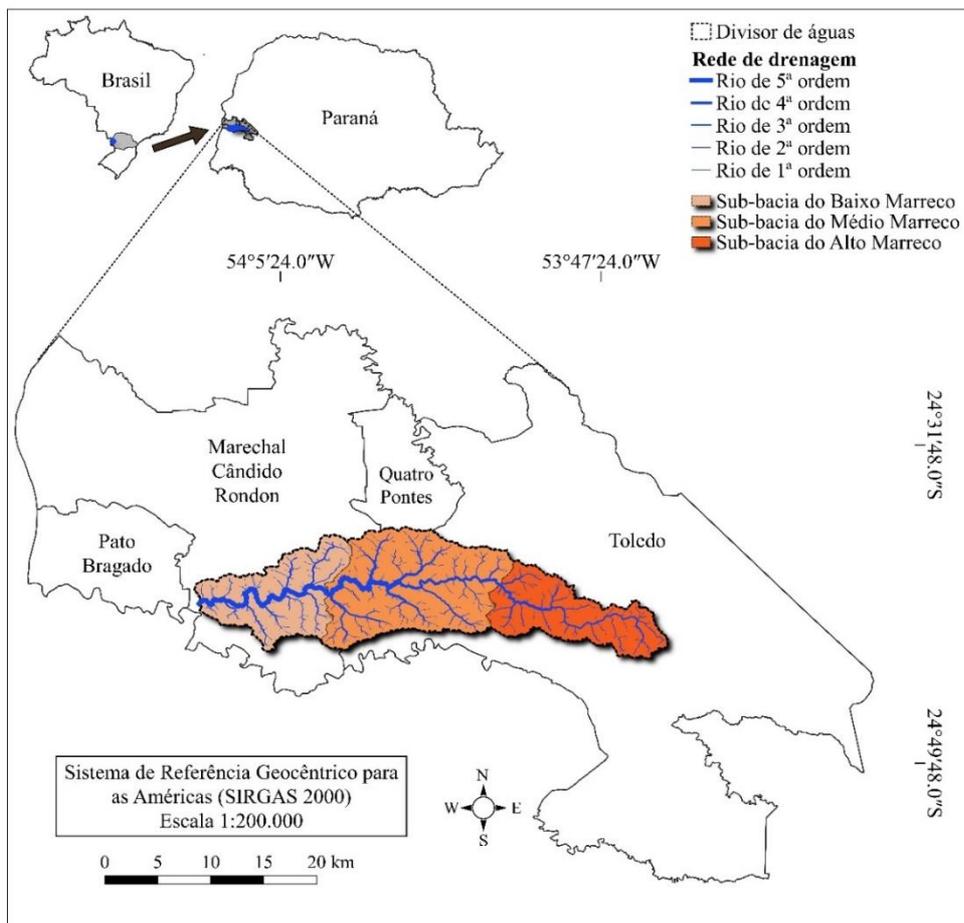
importância de um planejamento adequado de ações para uma atividade econômica sustentável na região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo é a bacia hidrográfica do Arroio Marreco localizada na região Sul do Brasil, no Oeste do Paraná, entre os municípios de Toledo, Quatro Pontes, Marechal Cândido Rondon e Pato Bragado (Figura 1). A bacia tem aproximadamente 338,8 km² de área, o Arroio Marreco tem nascente na área urbana de Toledo e foz no Rio São Francisco situado na divisa entre os municípios de Pato Bragado e Marechal Cândido Rondon. As sub-bacias do Alto, Médio e Baixo Marreco representam 25,8%, 46,6% e 27,6%, respectivamente, de sua área total e são subdivisões de acordo com aspectos topográficos, de uso e ocupação do solo e de infraestrutura rural e logística (MORSOLETO, 2020).

Figura 1: Localização geográfica da bacia hidrográfica do Arroio Marreco no Oeste do Paraná e suas sub-bacias, através do *software* QGIS versão 3.4.12.



Fonte: Os autores (2021).

2.2. Software

Os dados espaciais foram analisados e processados em uma plataforma SIG através do *software* QGIS versão 3.4.12 Madeira, um *software* de código aberto e gratuito. A distribuição espacial dos fenômenos em estudo foi inserida e analisada no *software* e as informações foram organizadas através de Planos de Informações (PI's) representados por mapas, podendo ser processados utilizando operadores lógicos e matemáticos.

2.3. Tilápia do Nilo

A tilápia do Nilo foi escolhida como objeto de estudo neste trabalho por ser amplamente difundida na produção em águas interiores com potencial de crescimento; por apresentar atributos favoráveis a produção de alimentos com alto aproveitamento produtivo, características de carne e carcaça favoráveis à indústria e ao consumidor e potencial de agregação de valor aos resíduos industriais, tornando a atividade mais sustentável e ainda mais rentável; por sua rusticidade que permite tolerar diferentes sistemas de criação, qualidade de água e clima e pela disponibilidade de tecnologia validada para a espécie, que pode possibilitar ao pequeno e médio produtor o acesso a uma atividade econômica rentável (CREPALDI *et al.*, 2006; CHAMBO, 2018).

Para o estudo acerca do melhor beneficiamento dos resíduos do processo de filetagem, neste trabalho foi analisada a estimativa de potencial produtivo da tilápia do Nilo considerando diferentes produtos: o peixe inteiro, filetado, a CMS, a farinha e o óleo.

Ademais, considerou-se um ambiente padronizado para a produção piscícola, simulando um sistema intensivo de criação de tilápia do Nilo na bacia hidrográfica do Arroio Marreco. O sistema intensivo, entre outras características, é baseado nas altas densidades de estocagem e tecnificação (CREPALDI *et al.*, 2006). Assim, baseando-se em Coldebella *et al.* (2018) e Francisco *et al.* (2021), para todos os tamanhos de viveiro, a criação intensiva da tilápia pode ser realizada com densidade de 5 peixes/m², com peso final de 0,9 kg em 240 dias de criação, possibilitando realizar uma produção de 1,5 ciclos anuais, totalizando 68 t/ha/ano.

2.4. Aquisição de dados

2.4.1. Delimitação da bacia e estradas

A delimitação da bacia foi obtida através da aquisição de duas imagens (SRTM1S25W054V3 e SRTM1S25W055V3) utilizando Modelo Digital de Elevação (MDE) oriundo da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 1Arc-Second equivalente a 30m. As cenas foram adquiridas da *United States Geological Survey*

(USGS, 2019) e foram processadas através do *software* QGIS versão 3.4.12. Para delimitação da bacia hidrográfica foram realizadas análises hidrológicas baseadas no MDE através da ferramenta *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* (TauDEM) instalada no QGIS.

As informações sobre as estradas foram obtidas a partir das Bases Cartográficas contínuas disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em formato *shapefile*, com escala 1:250.000, na versão 2021 (IBGE, 2021).

2.4.2. Viveiros escavados

O mapeamento dos viveiros escavados na bacia hidrográfica do Arroio Marreco foi obtido em formato *shapefile* a partir do trabalho de Morsoleto (2020), que realizou o mapeamento manual através do *software* QGIS com suporte do *Google Earth* (Figura 2).

Figura 2: Demarcações de áreas de lâmina d'água.



Fonte: Adaptado de Morsoleto (2020).

Morsoleto (2020) classificou os viveiros em quatro classes de tamanho: Classe I (Pequenos) viveiros com área inferior a 3.000 m², Classe II (Médios) viveiros entre 3.001 e 5.000 m², Classe III (Grandes) viveiros de 5.001 a 10.000 m² e Classe IV (Majores) viveiros acima de 10.001 m². Além disso, identificou 1.457 unidades de produção na bacia hidrográfica do Arroio Marreco, totalizando 162,2 ha de lâminas d'água; 61 ha (38%) na sub-bacia do Alto Marreco, 56,2 ha (35%) na sub-bacia do Médio Marreco e 45 ha (27%) na sub-bacia do Baixo Marreco.

2.4.3. Fragilidade ambiental

A fragilidade ambiental representa a vulnerabilidade do ambiente ao sofrer intervenções, podendo englobar processos erosivos, deslizamentos, assoreamentos e inundações (SPÖRL, 2007).

As informações sobre fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Arroio Marreco foram obtidas do trabalho de Lira *et al.* (2022) que consideraram fatores ambientais como tipo de solo, uso e ocupação do solo, declividade e altitude. Os autores constataram que a bacia apresenta fragilidade média em sua maior parte com 241,6 km² (71,3%), seguido de fragilidade fraca com 51,2 km² (15,1%) e fragilidade forte com 44,7 km² (13,2%). Além disso, observaram que as características ambientais predominantes da bacia são o solo Nitossolo Vermelho, predominam regiões utilizadas pela agricultura e o declive predominante é classificado como suave ondulado (3 – 8%) e ondulado (8 – 20%).

Nesta perspectiva, é importante identificar como é classificada a região amplamente ocupada pelos viveiros escavados para que ações possam ser planejadas objetivando preservar o ambiente e os viveiros nele instalados.

2.5.Cálculo do potencial produtivo estimado

Para o cálculo do potencial produtivo estimado (CPPE) baseou-se no valor de produção de 68 t/ha/ano e na equação (1) adaptada de Francisco *et al.* (2020):

$$CPPE = [(68 \text{ t/ha/ano}) * \text{área mapeada em ha}] \quad (1)$$

A receita bruta anual estimada (RBAE), de acordo com a característica do produto (inteiro, filetado, CMS, farinha e óleo) foi calculada através da equação (2) (FRANCISCO *et al.*, 2020):

$$RBAE = \text{Potencial estimado da produção (kg)} * \text{preço (R\$ / kg)} \quad (2)$$

2.6.Estimativa de densidade de Kernel (Kernel Density Estimation - KDE)

O KDE é um estimador probabilístico proposto por Rosenblatt (1956) e generalizado por Parzen (1962) que utiliza técnica de interpolação não paramétrica e transforma uma distribuição de pontos em uma superfície de densidade auxiliando na identificação visual da concentração de um evento, caso exista, e sua distribuição em determinada região (BAILEY e GATRELL,1995).

No contexto das geotecnologias, no mapa é apresentada a intensidade pontual de determinado fenômeno na região de estudo, caracterizando o mapa de kernel uma ferramenta poderosa e popular para visualização e análise espacial de grandes conjuntos de dados através da feição ponto (NETEK *et al.*, 2019; KUHFLIED, 2017).

Segundo Beato (2008), o algoritmo para geração dos mapas de Kernel pode ser resumido em: criação de uma grade sobre o mapa a ser analisado; para cada ponto da grade, identificação dos pontos que estão a uma distância menor ou igual ao raio do círculo centrado

nele; definição do peso de cada ponto (se for atribuído peso 1, a superfície de densidade será gerada com base apenas na localização das feições); para cada ponto encontrado dentro do círculo, cálculo da função *Kernel* nesse ponto e armazenamento do resultado; o resultado da soma é o *Kernel* do ponto da grade. A descrição da fórmula para o cálculo de estimativa de densidade de Kernel pode ser verificada em Bailey e Gatrell (1995) e Silverman (1986).

Para implementação do KDE neste trabalho, foi utilizada a ferramenta Mapas de Calor através da caixa de ferramentas de processamento do QGIS e uma camada de pontos. Para obtenção da feição de pontos foi utilizada a camada de viveiros e calculados os seus centros através do comando centroides de polígonos no QGIS. E para executar o algoritmo foi escolhida a função kernel quártico, foi definida a resolução espacial de 10 m e foram escolhidos raio e peso não homogêneos com variação a cada ponto, mantendo a proporcionalidade em relação a área e produção de cada viveiro escavado. Utilizou-se como raio o valor do atributo do campo para cada viveiro escavado, Área_m² dividido por cinco (Área_m²/5). E como peso utilizou-se a capacidade de produção de cada viveiro escavado através do atributo do campo CPPE (t). Segundo Francisco et al. (2020), essa configuração é necessária para ponderar cada ponto na função Kernel, garantindo a amplitude de valores não homogêneos e auxiliando na visualização dos resultados.

A aplicação do KDE teve como objetivo realizar uma análise espacial das feições pontuais dos viveiros e, com auxílio da estimativa de potencial produtivo da tilápia do Nilo em cada viveiro escavado, identificar a distribuição espacial da produção, simulando que a atividade piscícola desenvolvida em toda a bacia hidrográfica fosse através de um sistema intensivo de criação.

2.7. Padronização dos dados

Todos os dados espaciais foram reprojatados para SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geodésico para Américas, 2000), UTM (fuso 22Sul), estabelecido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística como o *datum* geodésico oficial do Brasil. Os arquivos *raster* foram padronizados em uma única configuração: resolução espacial de 30m (pixel), tipo de dados 8 bits sem sinal. Tais procedimentos foram realizados objetivando simplificar cálculos métricos e auxiliar na realização do KDE (FRANCISCO *et al.*, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Condições ambientais e localização dos viveiros

Na Tabela 1 e Figura 3 é possível verificar que a maior parte dos viveiros está localizada em regiões com fragilidade média e fraca em relação a processos erosivos, assoreamentos ou inundações, indicando que a área requer um planejamento adequado de ações por parte dos gestores para que a atividade cresça de forma ordenada e sustentável. Na sub-bacia do Alto Marreco 71,48% estão em região com fragilidade média, seguido de 27,61% em região com fragilidade fraca, na sub-bacia do Médio Marreco 80,1% estão em região com fragilidade média, seguido de 15,77% em região com fragilidade fraca e, na sub-bacia do Baixo Marreco, 85,3% estão em região com fragilidade média, seguido de 12,36% em região com fragilidade fraca. Destaca-se que nenhum dos viveiros mapeados está localizado em regiões com fragilidade muito forte.

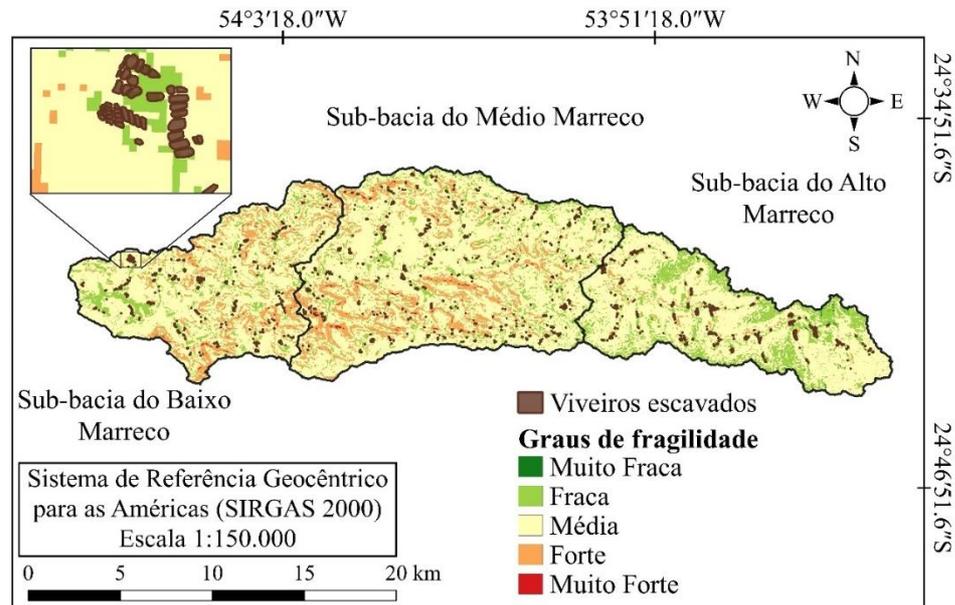
Adicionalmente, Morsoleto (2020) realizou uma análise morfométrica da bacia e observou que os valores do fator de forma, índice de circularidade e índice de compacidade indicaram que a bacia é classificada como alongada e com baixo risco de inundações, indicando estabilidade propícia para a atividade em estudo.

Tabela 1. Localização dos viveiros escavados em cada sub-bacia de acordo com o grau de fragilidade ambiental.

Sub-bacias	Viveiros e grau de fragilidade ambiental									
	Muito fraca		Fraca		Média		Forte		Muito forte	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Alto Marreco	0,33	0,54	16,84	27,61	43,67	71,48	0,17	0,28	0	0
Médio Marreco	0	0	9,05	15,77	45,98	80,10	2,37	4,13	0	0
Baixo Marreco	0	0	5,56	12,36	38,39	85,30	1,05	2,34	0	0

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Figura 3: Viveiros escavados mapeados na área de estudo junto ao mapa de fragilidade ambiental em cada sub-bacia.



Fonte: Os autores (2021).

3.2. Estimativa do potencial produtivo

Com base no mapeamento e classificação dos viveiros escavados realizado por Morsoleto (2020) foi calculada a estimativa de potencial produtivo e receita bruta anual da tilápia do Nilo para cada sub-bacia de acordo com as características do produto: inteiro, filetado e aproveitamento dos resíduos a partir da CMS, farinha e óleo (Tabelas 2, 3 e 4).

O preço do peixe inteiro foi baseado nos dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada da Universidade de São Paulo (CEPEA, 2021) e indicou o valor de R\$ 7,30/kg no dia 03 de dezembro de 2021. O preço do filé foi baseado nos dados da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Governo do Estado do Paraná (DERAL, 2021) que indicaram o valor médio de R\$ 39,14/kg pago no varejo, conforme coleta junto aos Núcleos Regionais e ponderação da população de suas sedes e a população total do Estado. Como o rendimento médio do filé é entre 28 e 35% (KUBITZA, 2006; BARROSO e MONOZ, 2017), neste trabalho utilizou-se o valor de 33% do peso total, valor padrão de rendimento nos frigoríficos da região de Toledo, Paraná, Brasil. Para o cálculo nas Tabelas 2, 3 e 4, R\$ 13,00 corresponde a 33% do valor bruto de R\$ 39,14/kg.

Os preços da farinha e do óleo de peixe foram baseados na média de preços dos frigoríficos da região em março de 2022 e indicaram R\$ 4,00/kg de farinha e R\$6,80/kg de óleo. Ressalta-se que os rendimentos da farinha e do óleo são aproximadamente 70% e 30% dos resíduos, respectivamente (VIDOTTI e GONÇALVES, 2006). Adicionalmente, Vidotti *et*

al. (2010) obtiveram a proporção média de 28% de matéria seca em relação aos resíduos e ressaltaram que este valor varia em função da umidade em que o resíduo é processado, peso dos peixes abatidos, tempo de processamento e prensa para extração do óleo.

O preço da CMS foi baseado no trabalho de Lustosa-Neto *et al.* (2016) que indicaram USD 2,5/kg, resultando no valor de R\$ 14,20/kg no dia 14 de dezembro de 2021. Ressalta-se que o rendimento da CMS é aproximadamente 14% do peixe inteiro (FREITAS *et al.*, 2012). Para o cálculo nas Tabelas 2, 3 e 4, R\$ 1,98/kg da CMS corresponde a 14% de R\$ 14,20/kg.

Diante do exposto, para cada 1000 kg de peixe foram calculados 330 kg de filé (33% do peixe inteiro), 140kg de CMS (14% do peixe inteiro), totalizando 470kg de produto fresco destinado a alimentação humana e 530 kg de resíduos úmidos que poderão ser processados e utilizados para alimentação animal, garantindo a utilização de todo o resíduo da filetagem. Destes, foram calculados 148,4kg de produto sem umidade (28%) que apresentaram rendimento de 103,9 kg de farinha (70% do resíduo sem umidade ou 10,4% do peixe inteiro) e 44,5kg de óleo (30% do resíduo sem umidade ou 4,4% do peixe inteiro). Para o cálculo nas Tabelas 2, 3 e 4, R\$ 0,45/kg da farinha corresponde a 10,4% de R\$ 4,00/kg e R\$ 0,30/kg de óleo corresponde a 4,4% de R\$ 6,80/kg.

Nestas condições, a sub-bacia do Alto Marreco tem um potencial produtivo de 4.148 t por ano considerando 61ha de área produtiva e maior parte dos viveiros de tamanho pequeno, resultando em uma RBAE (R\$) de 30.280.400 para peixe inteiro, 53.924.000 para o filé de tilápia, 8.213.040 para a CMS, 1.866.600 para farinha e 1.244.400 para óleo (Tabela 2).

A sub-bacia do Médio Marreco tem um potencial produtivo de 3.821,60 t por ano considerando 56,2ha de área produtiva e maior parte dos viveiros de tamanho pequeno, resultando em uma RBAE (R\$) de 27.897.680 para peixe inteiro, 49.680.800 para o filé de tilápia, 7.566.768 para a CMS, 1.719.720 para farinha e 1.146.480 para óleo (Tabela 3).

A sub-bacia do Baixo Marreco tem um potencial produtivo de 3.060 t por ano considerando 45ha de área produtiva e maior parte dos viveiros de tamanho pequeno, resultando em uma RBAE (R\$) de 22.338.000 para peixe inteiro, 39.780.000 para o filé de tilápia, 60.58.800 para a CMS, 1.377.000 para farinha e 918.000 para óleo (Tabela 4).

Nas condições estabelecidas, a bacia do Arroio Marreco tem um potencial produtivo de 11.029,60 t por ano considerando 162,2ha de área produtiva (Tabela 4). Assim, as três sub-bacias juntas teriam uma capacidade de abate de 212,1t semanais e 42,42t diariamente, considerando 52 semanas e cinco dias por semana.

As três sub-bacias somam uma RBAE (R\$) de 80.516.080 para peixe inteiro, 143.384.800 para o filé de tilápia, 21.838.608 para a CMS, 4.963.320 para farinha e 3.308.880

para óleo (Tabela 4). A RBEA para o filé de tilápia corresponde a um aumento de aproximadamente 78% em relação ao peixe inteiro, mas em termos de aproveitamento dos resíduos da filetagem, o aumento da RBEA pode ser de aproximadamente 115,5% para a CMS, farinha e óleo (RBEA filetado + RBEA CCMS + RBEA farinha + RBEA óleo) (Tabela 4). Além de contribuir no aproveitamento dos resíduos do processo de filetagem para melhoria da preservação ambiental e ordenamento da atividade, estes dados também indicam um possível aumento de receita para frigoríficos e produtores na região aproveitando as áreas de lâmina d'água existentes.

Tabela 2. Estimativa do potencial produtivo e receita bruta anual da tilápia do Nilo em relação a sub-bacia do Alto Marreco.

Alto Marreco	%	Área (ha)	Produtividade (t/ha/ano)	Potencial estimado de produção(t)	Característica do produto	Preço(R\$/kg)	Receita bruta anual estimada (R\$)
Classe I (Pequenos)	88,36%	53,9	68	3665,20	Inteiro	7,3	26.755.960,00
					Filetado	13	47.647.600,00
					CMS	1,98	7.257.096,00
					Farinha	0,45	1.649.340,00
					Óleo	0,3	1.099.560,00
Classe II (Médios)	9,38%	6,93	68	471,24	Inteiro	7,3	3.440.052,00
					Filetado	13	6.126.120,00
					CMS	1,98	933.055,20
					Farinha	0,45	212.058,00
					Óleo	0,3	141.372,00
Classe III (Grandes)	2,26%	0,17	68	11,56	Inteiro	7,3	84.388,00
					Filetado	13	150.280,00
					CMS	1,98	22.888,80
					Farinha	0,45	5.202,00
					Óleo	0,3	3.468,00
Total	100%	61	68	4148,00	Inteiro		30.280.400,00
					Filetado		53.924.000,00
					CMS		8.213.040,00
					Farinha		1.866.600,00
					Óleo		1.244.400,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Tabela 3. Estimativa do potencial produtivo e receita bruta anual da tilápia do Nilo em relação a sub-bacia do Médio Marreco.

Médio Marreco	%	Área (ha)	Produtividade (t/ha/ano)	Potencial estimado de produção(t)	Característica do produto	Preço(R\$/kg)	Receita bruta anual estimada (R\$)
Classe I (Pequenos)	93,03%	52,2		3555,72	Inteiro	7,3	25.956.756,00
					Filetado	13	46.224.360,00
					CMS	1,98	7.040.325,60
					Farinha	0,45	1.600.074,00
					Óleo	0,3	1.066.716,00
Classe II (Médios)	2,55%	0,1		6,8	Inteiro	7,3	49.640,00
					Filetado	13	88.400,00
					CMS	1,98	13.464,00
					Farinha	0,45	3.060,00
					Óleo	0,3	2.040,00
Classe III (Grandes)	4,42%	3,81	68	259,08	Inteiro	7,3	1.891.284,00
					Filetado	13	3.368.040,00
					CMS	1,98	512.978,40
					Farinha	0,45	116.586,00
					Óleo	0,3	77.724,00
Total	100%	56,2		3821,60	Inteiro		27.897.680,00
					Filetado		49.680.800,00
					CMS		7.566.768,00
					Farinha		1.719.720,00
					Óleo		1.146.480,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Tabela 4. Estimativa do potencial produtivo e receita bruta anual da tilápia do Nilo em relação a sub-bacia do Baixo Marreco.

Baixo Marreco	%	Área (ha)	Produtividade (t/ha/ano)	Potencial estimado de produção(t)	Característica do produto	Preço(R\$/kg)	Receita bruta anual estimada (R\$)
Classe I (Pequenos)	92,08%	41,48		2820,64	Inteiro	7,3	20.590.672,00
					Filetado	13	36.668.320,00
					CMS	1,98	5.584.867,20
					Farinha	0,45	1.269.288,00
					Óleo	0,3	846.192,00
Classe II (Médios)	6,08%	3,49		237,32	Inteiro	7,3	1.732.436,00
					Filetado	13	3.085.160,00
					CMS	1,98	469.893,60
					Farinha	0,45	106.794,00
					Óleo	0,3	71.196,00
Classe III (Grandes)	1,84%	0,03	68	2,04	Inteiro	7,3	14.892,00
					Filetado	13	26.520,00
					CMS	1,98	4.039,20
					Farinha	0,45	918,00
					Óleo	0,3	612,00
Total	100%	45		3060	Inteiro		22.338.000,00
					Filetado		39.780.000,00
					CMS		60.58.800,00
					Farinha		1.377.000,00
					Óleo		918.000,00
Total na bacia		162,2		11029,60	Inteiro		80.516.080,00
					Filetado		143.384.800,00
					CMS		21.838.608,00
					Farinha		4.963.320,00
					Óleo		3.308.880,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Comparando o potencial produtivo das três sub-bacias juntas (11.029,60 t/ ano) (Tabela 4) com a produção total em 2020 (19.119 t) (EMBRAPA, 2021) dos três municípios aos quais pertencem (Toledo, Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes), observa-se que, nas condições estabelecidas, a bacia hidrográfica do Arroio Marreco pode representar aproximadamente

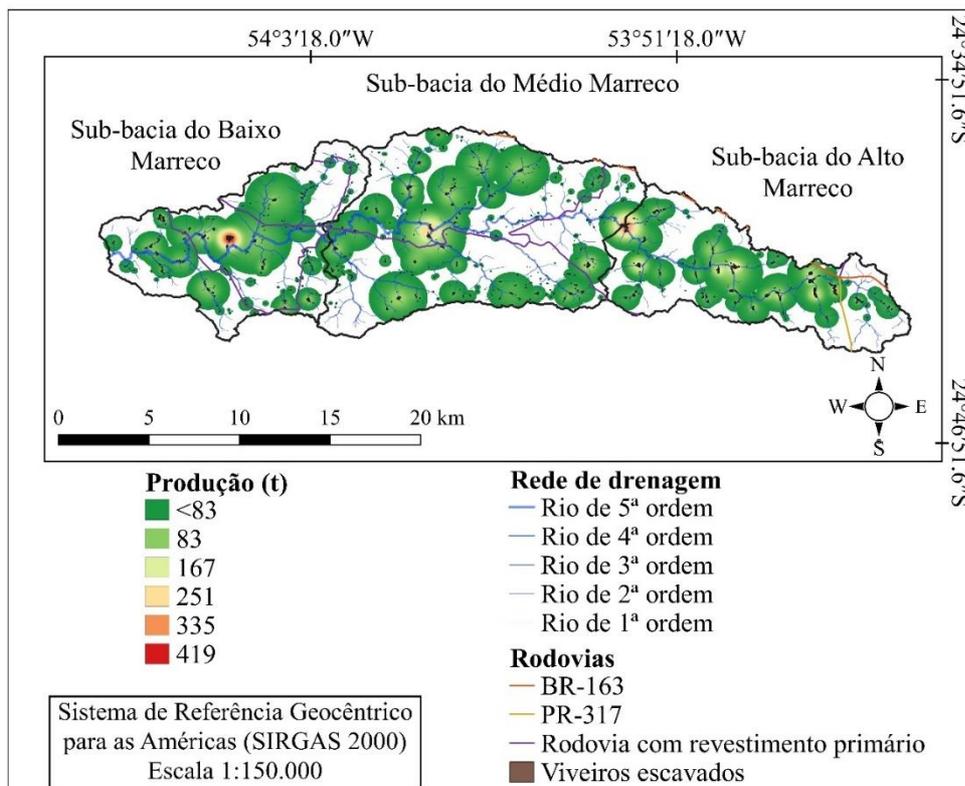
57,7% da produção total. Isso indica alta concentração da produção de tilápia na bacia em estudo e, conseqüentemente, sua importância econômica na região.

Neste sentido, sugerem-se políticas de incentivo aos frigoríficos da região para melhor aproveitamento dos resíduos do processamento do filé de tilápia, como uma das formas de preservação ambiental e melhoria de receita para os pequenos e médios frigoríficos e produtores, estabelecendo a tilapicultura como uma atividade sustentável.

3.3. Análise espacial do potencial produtivo

A Estimativa de Densidade de *Kernel* ou Mapa de Calor possibilitou a interpretação da distribuição espacial dos viveiros escavados permitindo a visualização dos locais com maior densidade em relação ao volume estimado de produção da tilápia do Nilo nas sub-bacias da bacia hidrográfica do Arroio Marreco (Figura 4).

Figura 4: Distribuição espacial do potencial produtivo de tilápia do Nilo na bacia hidrográfica do Arroio Marreco baseado em um sistema padronizado, através do KDE e software QGIS.



Fonte: Os autores (2022).

As regiões com maior densidade de produção são indicadas pelas cores laranja e

vermelho e as regiões com proximidade e baixo potencial produtivo são indicadas pela cor verde. As regiões com maior densidade de produção estão localizadas nas proximidades do Arroio Marreco, dos rios de maior ordem e das rodovias, indicando a existência de uma estrutura logística e facilidade no escoamento da produção (Figura 4). E, apesar da sub-bacia do Alto Marreco ter a maior parte dos viveiros escavados (61 ha) e a do Baixo Marreco a menor (45 ha), é nesta última que está localizada a maior densidade de produção. De fato, Morsoleto (2020) observou que na sub-bacia do Baixo Marreco, mesmo com a menor área de viveiros e baixo impacto urbano, a emissão de nutrientes (N e F) no ambiente foi expressiva e com valores semelhantes as outras sub-bacias, indicando uma atividade intensa nos viveiros da região.

A bacia do Arroio Marreco está localizada em uma das regiões de maior produção de pescado em viveiros escavados e com potencial para crescimento. A cadeia produtiva de filé de tilápia no Oeste do Paraná apresenta estrutura produtiva e uma importante rede de cooperação entre os principais elos da cadeia de produção, além de estar localizada em uma das regiões que dispõem de melhor infraestrutura rodoviária e oferta de crédito (FEIDEN *et al.*, 2018; PEDROZA FILHO *et al.*, 2020). Assim, estudos devem ser realizados para auxiliar no melhor beneficiamento da matéria prima, agregando valor a itens poucos aproveitados pela indústria, estimulando o aumento de renda na área rural e contribuindo para um crescimento produtivo sustentável e ordenado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho considerou como base a bacia hidrográfica do Arroio Marreco e suas sub-bacias localizadas no Oeste do Paraná, abrangendo parte dos principais municípios produtores de tilápia da região.

O estudo mostrou que os viveiros escavados mapeados estão localizados em regiões onde a fragilidade predominante é a fragilidade média, indicando que a área requer um planejamento adequado de ações.

A estimativa de potencial produtivo e a análise espacial de eventos pontuais (KDE) em SIG contribuíram de forma significativa na identificação da distribuição espacial dos viveiros, bem como na percepção de aumento da receita bruta quando os resíduos do processo de filetagem são melhor aproveitados.

Destaca-se ainda que, considerando o sistema de produção intensivo apresentado e o aproveitamento dos resíduos, a bacia hidrográfica do Arroio Marreco representa aproximadamente 57,7% da produção dos municípios de Toledo, Marechal Cândido Rondon e Quatro Pontes juntos. Mesmo que a produção não atinja os valores mencionados, a bacia

hidrográfica ainda contém parte do município de Toledo, que foi um dos maiores produtores de tilápia nos últimos anos no Oeste do Paraná.

Baseando-se nas discussões, pode-se afirmar que a bacia em estudo tem alta capacidade produtiva e distribuição espacial de viveiros de forma que facilita logística e escoamento da produção, mas requer planejamento na tomada de decisões e manejo adequado da produção da espécie escolhida, desde a implantação até o aproveitamento do resíduo final da indústria.

Sugere-se o aprofundamento nos estudos sobre os diferentes subprodutos oriundos dos resíduos do processo de filetagem da tilápia, suas contribuições para a capacidade produtiva da região, além da capacidade de suporte e depuração da bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL KHAWLI, F., PATEIRO, M., DOMÍNGUEZ, R., LORENZO, J.M., GULLÓN, P., KOUSOULAKI, K., FERRER, E., BERRADA, H. & BARBA, F.J. Innovative green technologies of intensification for valorization of seafood and their by-products, *Marine Drugs*, 17, 689, 2019. <https://doi.org/10.3390/md17120689>
- ARRUDA, L. F.; BORGHESI, R.; OETTERER, M. Use of fish waste as silage- A review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v.50, n.5, p. 879-886, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000500016>
- BARCELAR, R.G.A., MURATORI, M.C.S. Utilização de resíduos de filetagem de tilápia na tecnologia de alimentos: uma revisão, *Revista Científica Rural*, v.22, n.2, Bagé-RS, 2020. <https://doi.org/10.30945/rcr-v22i2.3278>
- BAILEY, T. C.; GATRELL, A. C., *Interactive Spatial Data Analysis*, London: Longman, 1995.
- BARROSO, R. M., MONOZ, A. E. P. O mercado da tilápia—2º trimestre de 2017 e Análise da estrutura do preço da tilápia no varejo, *Informativo Mercado da Tilápia*, EMBRAPA Pesca e Aquicultura, edição 11, Palmas-TO, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1072746/o-mercado-da-tilapia---2-trimestre-de-2017-e-analise-da-estrutura-do-preco-da-tilapia-no-varejo> .Acesso em 23/13/2021
- BEATO, C. *Compreendendo e Avaliando: Projetos de Segurança Pública*, Editora UFMG, 1ª edição, ISBN-10: 8570416792, ISBN-13: 978-8570416797, 2008.
- BERNADINO FILHO, R.; SILVA, O. S. da; OLIVEIRA, S. N. de; QUEIROGA, A. X. M. de; SOUSA, B. A. de A. Chemical composition and physical evaluations of Nile tilapia bologna with shrimp flavor. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 15, n. 3, p. 250 - 255, 2020. <https://doi.org/10.18378/rvads.v15i3.7772>
- BOSCOLO, W.; FEIDEN, A. *Industrialização de Tilápias*, GFM Gráfica e Editora, Toledo-PR, 2007.
- BOSCOLO, W.R., HAYASHI, C., FEIDEN, A., MEURER, F., SIGNOR, A.A. Composição química e digestibilidade aparente da energia e nutrientes da farinha de resíduos da indústria de filetagem de tilápias, para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.9, p.2579-2586, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008005000022>
- CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq),

-
- Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil. Disponível em: <https://cepea.esalq.usp.br/br/indicador/tilapia.aspx>. Acesso em 07/12/2021.
- CHAMBO, A.P.S. Aproveitamento do resíduo de filetagem da Tilápia do Nilo para produção de farinhas com potencial aplicação na alimentação humana, Teste (Doutorado em Zootecnia), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.
- COLDEBELLA, A., GENTELINI, A. L., PIANA, P. A., COLDEBELLA, P. F., BOSCOLO, W. R., & FEIDEN, A. Effluents from Fish Farming Ponds: A View from the Perspective of Its Main Components, *Sustainability*, 10(1), 3, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10010003>
- COSTA, D.P.S. Desenvolvimento de hambúrguer com carne mecanicamente separada de carcaça e de refile de tilápia: caracterização, microbiológica, físico-química e sensorial, Teste (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto – SP, Brasil, 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/150621> . Acesso em 23/12/2021.
- CREPALDI, D. V., TEIXEIRA, E. A., FARIA, P. M. C., RIBEIRO, L. P., MELO, D. C., CARVALHO, D., SOUSA, A. B., SATURNINO, H. M. (2006). Sistemas de produção na piscicultura, *Revista Brasileira Reprodução Animal*, Belo Horizonte, v.30, n.3/4, p.86-99, 2006. [http://www.cbra.org.br/pages/publicacoes/rbra/download/RB065%20Crepaldi%20%20\(sistemas%20de%20producao\)%20pag%2086-99.pdf](http://www.cbra.org.br/pages/publicacoes/rbra/download/RB065%20Crepaldi%20%20(sistemas%20de%20producao)%20pag%2086-99.pdf)
- de GODOY, L. C.; FRANCO, M. L. R.S.; FRANCO, N.P.; SILVA, A.F.; ASSIS, M. F.; DE SOUZA, N. E.; MATSUSHITA, M.; VISENTAINER, J. V. Análise sensorial de caldos e canjas elaborados com farinha de carcaças de peixe defumadas: aplicação na merenda escolar, *Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, n. 1, p. 86-89, Campinas, Brasil, 2010.
- DERAL. Relatório de preços. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Governo do Estado do Paraná, 2021. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/deral/precosA>. Acesso em: 12/11/2021
- EMBRAPA, Centro de Inteligência e Mercado em Aquicultura – CIAqui, Produção brasileira, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cim-centro-de-inteligencia-e-mercado-em-aquicultura/producao-brasileira> . Acesso em 12/11/2021
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunities and challenges, Roma, 2014. Disponível em:

-
- <https://www.fao.org/3/i3720e/i3720e.pdf> . Acesso em 01/12/2021.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture: contributing to food security and nutrition for all, Roma, 2016. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i5555e/i5555e.pdf> . Acesso em 01/12/2021.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture, Sustainability in action, Roma, 2020. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- FEIDEN, A., RAMOS, M.J., CHIDICHIMA, A.C., SCHMIDT, C.M., FIORESE, M.L., COLDEBELLA, A. A cadeia produtiva da tilápia no oeste do Paraná: uma análise sobre a formação de um arranjo produtivo local, Revista do Desenvolvimento Regional, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, v. 23, n. 2, p. 238-263, 2018. <https://doi.org/10.17058/redes.v23i2.8992>
- FRANCISCO, H.R., COLDEBELLA, A., COORÊIA, A.F., Feiden, A. Análise espacial de eventos pontuais para estimar o potencial produtivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), Research, Society and Development, v. 9, n. 9, e855998038, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8038>
- FRANCISCO, H. R., IMAI, N. N. Temporalidade em SIG: Aplicação em cadastro de imóveis. Boletim de Ciências Geodésicas, 9(1), 2003. <https://revistas.ufpr.br/bcg/article/view/1429>
- FREITAS, D. D. G. C.; RESENDE, A. L. D. S. S.; FURTADO, A. A. L.; TASHIMA, L.; BECHARA, H. M. The sensory acceptability of a tilapia (*Oreochromis niloticus*) mechanically separated meat-based spread. Brazilian Journal of Food Technology. v.15, n.2, p.166-173, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232012005000010>
- GOES, E. S. R.; SOUZA, M. L. R.; MICHKA, J. M. G.; KIMURA, K. S.; LARA, J. A. F.; DELBEM, A. C. B.; GASPARINO, E. Fresh pasta enrichment with protein concentrate of tilapia nutritional and sensory characteristics, Food Science and Technology, v. 36, n.1, p.76-82, 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.0020>
- IBGE, Cartas e Mapas, Bases Cartográficas Contínuas, 2021. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/> .Acesso em 14/12/2021.
- KUBITZA, F. Aproveitamento dos subprodutos do processamento de pescados, Panorama da Aqüicultura, v.16, p. 23-29, 2006.
- KUHFLIED, W.F. Heat Maps: Graphically Displaying Big Data and Small Tables. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA. 2017. Disponível em:

<https://support.sas.com/resources/papers/proceedings17/SAS0312-2017.pdf>.

Acesso em 15/12/2021

- LEONEL, A.P. DA S.; MARTINS M.I.E.G.; FEIDEN A, GRANDI A.M. de; SILVA A.M. DA, COUTINHO R. Uso de tecnologias de processamento do pescado em cardápios escolares: viabilidade econômica, Revista Segurança Alimentar e Nutricional, v. 26, p. 1-7, Campinas, Brasil, 2019. <https://doi.org/10.20396/san.v26i0.8653394>
- LIMA, L. K. F de. Reaproveitamento de resíduos sólidos na cadeia agroindustrial do pescado, Palmas, Embrapa Pesca e Aquicultura, 2013. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90933/1/cnpasa.doc1.pdf>. Acesso em 27/03/2022.
- LIRA, K. C. S.; FRANCISCO, H. R.; FEIDEN, A. Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP. Sociedade & Natureza, v. 34, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-62872>
- LUSTOSA-NETO, A.D., NUNES, M.L., FERREIRA, R.N.C., BEZERRA, J.H.C., FURTADO-NETO, M.A.A. Elaboração, rendimento e custo de almôndegas de tilápia do Nilo e pirarucu cultivados: aplicação na merenda escolar, Acta of Fisheries and Aquatic Resources, v.4, n.2, p. 101-109, 2016. <https://doi.org/10.2312/Actafish.2016.4.2.101-109>
- MARCHIORI, N.C., NOVAES, A.L.T, SILVA, B.C., Desenvolvimento de um sistema piloto de informações geográficas para a gestão da piscicultura continental catarinense, Agropecuária Catarinense, Florianópolis, v.34, p.18-21, n.2, 2021. <https://doi.org/10.52945/rac.v34i2.1040>
- MINOZZO, M.G., Patê de pescado: alternativa para incremento da produção nas indústrias pesqueiras, Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil 2010. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/23010/TeseMarceloMinozzo.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em 28/12/2021.
- MIRANDA, J.I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas, Brasília,DF, Embrapa Informação Tecnológica, 2005.
- MORSOLETO, F. M. S. Aplicação de geotecnologias para caracterização da piscicultura na bacia hidrográfica do rio Marreco, Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil, 2020.

-
- NETEK, R.; BRUS, J.; TOMECKA, O. Performance Testing on Marker Clustering and Heatmap Visualization Techniques: A Comparative Study on JavaScript Mapping Libraries. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2019, 8, 348. <https://doi.org/10.3390/ijgi808034>
- OLIVEIRA, R. G. DE; MERGEN, M.; SIGNOR, A.; SOUZA, M. L. R. de. Nutritional, microbiological and sensory quality of pizza dough with inclusion of CMS of Nile tilapia, *Research, Society and Development*, v. 10, n. 10, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18986>
- PARZEN, E. On Estimation of a Probability Density Function and Mode. *The Annals of Mathematical Statistics*, 33(3), 1065–1076, 1962. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177704472>
- PEDROZA FILHO, M.X., RIBEIRO, V.S., ROCHA, H.S., UMMUS, M.E., do VALE, T.M. Caracterização da cadeia produtiva da tilápia nos principais polos de produção do Brasil, *Boletim de pesquisa e desenvolvimento*, vol. 26, Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas - TO, 2020.
- PEDROZA FILHO, M.X; ROCHA, H.S. Exportações da piscicultura crescem 71% no 3º trimestre comparado com o mesmo período de 2020, *Informativo comércio exterior da piscicultura*, Embrapa, Pesca e Aquicultura, Edição 07, Palmas- TO, outubro, 2021a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1135383/exportacoes-da-piscicultura-crescem-71-no-3-trimestre-comparado-com-o-mesmo-periodo-de-2020> . Acesso em 28/12/2021
- PEDROZA FILHO, M.X; ROCHA, H.S. Exportações da piscicultura brasileira apresentam queda no último trimestre de 2020, *Informativo comércio exterior da piscicultura*, Embrapa, Pesca e Aquicultura, Edição 04, Palmas- TO, janeiro, 2021b. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222080/1/InfComExtPiscic-04.pdf>. Acesso em 28/12/2021
- PINTO, B. V. V., BEZERRA A.E., AMORIM, E., VALADÃO, R.C., OLIVEIRA, G.M. O resíduo de pescado e o uso sustentável na elaboração de coprodutos. *Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias*. Curitiba, PR, v.2, n.2, 2017. <http://dx.doi.org/10.21575/25254790rmmaa2017vol2n2223>
- PIRES, D. R.; MORAIS, A. C. N. DE; COSTA, J. F.; CAROLINE, L.; SALGADO, D. aproveitamento do resíduo comestível do pescado: Aplicação e viabilidade. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 9, n. 5, p. 34 - 46, 2014. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/2956>. Acesso em 26/03/2022.
- ROSENBLATT, M. Remarks on Some Nonparametric Estimates of a Density Function. *The*

-
- Annals of Mathematical Statistics, 27(3), 832–837, 1956.
<https://doi.org/10.1214/aoms/1177728190>
- SILVA, A.B. Sistemas de Informações Geo- referenciadas: conceitos e fundamentos, Campinas, SP, Editora Unicamp, 2003.
- SILVERMAN, B. W. Estimativa de Densidade para Estatística e Análise de Dados, Chapman e Hall, 1986.
- SPÖRL, C. Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais, Tese (Doutorado em Geografia), Universidade de São Paulo, 2007.
- USGS, United States Geological Survey, EarthExplorer. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/> . Acesso em: 01/03/ 2019.
- VIDAL-CAMPELLO, J.M.A., RODRIGUES, M.C.P., VIEIRA, J.M.M., ZAPATA, J.F.F., Métodos de obtenção de concentrado proteico a partir de resíduos da filetagem de tilápia, Ciência e Tecnologia do Pescado Uma Análise Pluralista, Editora Científica Digital, Capítulo 11, volume 2, Guarujá-SP, Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.editoracientifica.org/articles/code/210404113>. Acesso em: 28/12/2021
- VIDAL, J.M.A., RODRIGUES, M.C.P., ZAPATA, J.F.F., VIEIRA, J.M.M. Concentrado protéico de resíduos da filetagem de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*): caracterização físico-química e aceitação sensorial, Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 1, p. 92-99, 2011. Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/803>. Acesso em 28/12/2021.
- VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, G. S. Produção e caracterização de silagem, farinha e óleo de tilápia e sua utilização na alimentação animal, Instituto de Pesca, 2006. Disponível em: <https://www.pesca.sp.gov.br/textos-tecnicos>. Acesso em: 27/03/2022.
- VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, G. S.; MARTINS, M.I.E.G. Farinha e óleo de resíduos de tilápia, Boletim Técnico Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, São José do Rio Preto, SP, 2010.

CAPÍTULO 4. Conclusões e considerações finais

A avaliação ambiental em bacias hidrográficas é uma importante ferramenta para auxiliar no planejamento e ordenamento de ações para conservação ambiental. Estudos em bacias hidrográficas vem sendo realizados no Estado do Paraná enfatizando sua importância. Adam *et al.* (2015) avaliaram o impacto das mudanças climáticas sobre as vazões na bacia do Rio Paraná; Bueno do Prado e de Nóbrega (2005) avaliaram perdas de solo por erosão laminar na bacia do córrego Ipiranga no Município de Cidade Gaúcha, Estado do Paraná e verificaram maiores perdas em áreas cultivadas com cana-de-açúcar e mandioca; Carniatto (2007) investigou o estado geral das sub-bacias Xaxim e Santa Rosa na bacia hidrográfica Paraná III quanto à qualidade de seus recursos naturais (água, solo e florestas) e observou o comprometimento da água das bacias, demonstrando urgência na adoção de medidas para recuperação da sua qualidade; Terassi *et al.* (2019) verificaram as estimativas de erosividade e as precipitações diárias extremas na bacia hidrográfica do rio Alto Iguaçu – Paraná; dos Santos *et al.* (2014) verificaram que no curso inferior da bacia hidrográfica do Rio Ivaí ocorrem as maiores taxas de escoamento superficial da bacia, fato atestado pela agressiva erosão que sofrem os solos na região Noroeste do Paraná.

No presente trabalho, o uso da lógica Fuzzy permitiu representar a variação das características ambientais e seu grau de importância na análise de fragilidade ambiental. E o método AHP estabeleceu níveis hierárquicos para os critérios ambientais através de cálculos consistentes. Assim, a combinação da lógica Fuzzy, método AHP e geotecnologias pode ser uma ferramenta promissora para auxiliar na tomada de decisões e manejo adequado de atividades antrópicas em bacias hidrográficas.

A estimativa de potencial produtivo e a análise espacial de eventos pontuais utilizando o KDE em SIG contribuíram de forma significativa na identificação da distribuição espacial dos viveiros, bem como na percepção de aumento da receita bruta quando os resíduos do processo de filetagem são melhor aproveitados.

O aproveitamento dos resíduos do processamento do filé na indústria pode contribuir para a melhoria da preservação ambiental e sustentabilidade da atividade piscícola, além de indicar um possível aumento de receita para frigoríficos e produtores aproveitando as áreas de lâmina d'água existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, K.N.; FAN, F.M.; PONTES, P.R.; BRAVO, J.M.; COLLISCHONN, W. Mudanças climáticas e vazões extremas na Bacia do Rio Paraná, revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre, RS, V. 20, n. 4, p. 999-1007, 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/226143> . Acesso em 10/04/2022.
- BUENO do PRADO, J. P.; de NÓBREGA, M. T. Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), Acta Scientiarum. Technology, v. 27, n. 1, p. 33-42, 2005.
- CARNIATTO, I. Subsídios para um processo de gestão de recursos hídricos e educação ambiental nas sub-bacias Xaxim e Santa Rosa, bacia hidrográfica Paraná III, Tese de doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal), UFPR, 2007.
- dos SANTOS, M. L., de MORAIS, E. S., SILVEIRA, H., ALVES, F. C. Estudo do escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Ivaí, Paraná, Brasil. Revista Brasileira De Geomorfologia, 14(3), 2014. <https://doi.org/10.20502/rbg.v14i3.286>
- TERASSI, P.M.B., BIFFI, V.H.R., GALVANI, E., OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F. Estimativas de erosividade e as precipitações diárias extremas na bacia hidrográfica do rio Alto Iguaçu – Paraná, Revista Brasileira de Climatologia, 2019. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.62319>

CAPÍTULO 5. Sugestões para trabalhos futuros

Considerando a demanda existente por trabalhos aprofundados relacionados ao planejamento das atividades econômicas e preservação ambiental de bacias hidrográficas, levando em consideração as conclusões deste trabalho e os levantamentos bibliográficos realizados, seguem algumas sugestões de temas para continuação deste estudo:

- 1) Aprofundamento e exploração da lógica Fuzzy em análises a nível de planejamento ambiental;
- 2) Estudar outros métodos de análise multicritério aliados as geotecnologias para auxiliar na tomada de decisões e manejo adequado de atividades;
- 3) Ampliar as variáveis ambientais consideradas no estudo. Exemplo: índice pluviométrico, riscos geotécnicos, áreas de preservação, morfometria, distância de rios e nascentes, etc;
- 4) Ampliar as formas de beneficiamento dos resíduos oriundos do processo de filetagem da tilápia;
- 5) Diante da estimativa de potencial produtivo da tilápia e localização dos viveiros na bacia, verificar a capacidade de processamento dos frigoríficos que atendem a região;
- 6) Realizar estudos sobre logística para implantação de frigorífico considerando a capacidade produtiva dos viveiros instalados e aspectos como distância de estradas, rios, mercado consumidor, entre outros.

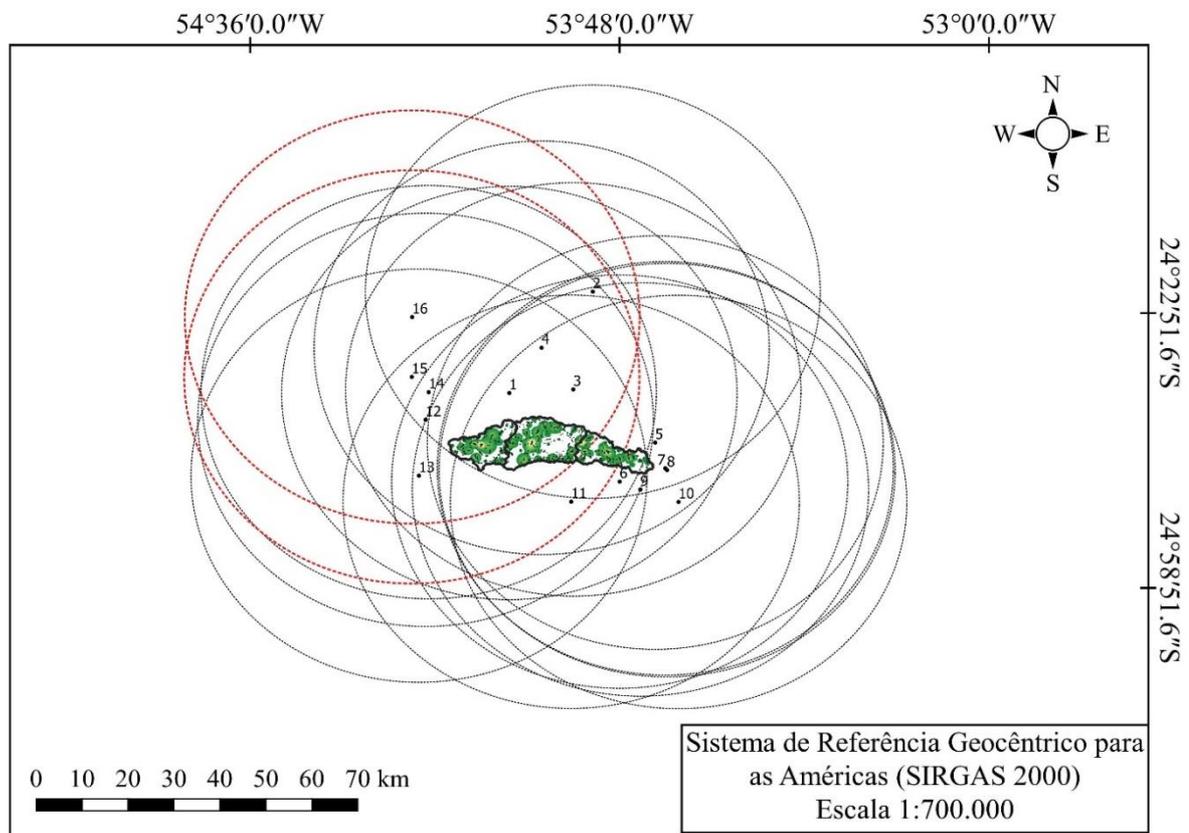
Para estes últimos itens foi realizado um mapeamento dos frigoríficos que possivelmente atendem a área da bacia hidrográfica do Arroio Marreco, bem como foram coletadas informações sobre a média, capacidade máxima de abate e distância máxima que cada um atende em termos de parceiros (Tabela 1). Considerando a média de abate diária dos frigoríficos onde foram coletadas as informações, calculando a média de abate anual (5 dias na semana e 52 semanas no ano) e as condições supostas de produção para a bacia, esta seria responsável por aproximadamente 96,2 % do fornecimento para os frigoríficos.

Na Figura 1 é apresentado o mapa da bacia com a localização espacial de cada frigorífico supondo que seu raio de atendimento é de 50 km. Nestas condições, a bacia é atendida em sua totalidade por todos os frigoríficos da região, com exceção dos frigoríficos 15 e 16 situados em Marechal Cândido Rondon e Mercedes, respectivamente. Este último atenderia apenas as sub-bacias do Baixo e Médio Marreco.

Tabela 1: Frigoríficos que atendem a área da bacia hidrográfica do Arroio Marreco.

Nº	Frigoríficos	Média abate (t/dia)	Distância para parceiros (km)
1	Frigorífico Fisher		
2	Cvale		
3	Frigofish		
4	Frigorífico Golden Fish	6	50
5	FrigoCosta		
6	Frigorífico Sardella	3,5	15
7	Pescados Sereia	6	30
8	Copacol - Toledo		
9	Tilapia Brazilian		
10	Big Peixes	1	30
11	Frigorifico Kohler	4	40
12	Pescados do Gelson	6	30
13	Indústria e comércio de Pescados Entre Rios		
14	Pescados Vitória	14	170
15	Pescados Rondon	3	
16	Pescados Guaçu	0,6	

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 1: Mapa da bacia hidrográfica do Arroio Marreco com a localização espacial de cada frigorífico supondo que seu raio de atendimento é de 50 km.

Fonte: Os autores (2021).