

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE
PRECISÃO

GABRIELA DE VARGAS HEINEN

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO EM BARRAGENS
NO CENÁRIO PRÉVIO E ATUAL EM ÁREAS AFETADAS**

Santa Maria, RS
2023

Gabriela de Vargas Heinen

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO EM BARRAGENS
NO CENÁRIO PRÉVIO E ATUAL EM ÁREAS AFETADAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agricultura de Precisão.

Orientador: Prof. Dr. José Cardoso Sobrinho

Santa Maria, RS
2023

Heinen, Gabriela de Vargas

Avaliação do impacto em barragens no cenário prévio e atual em áreas afetadas / Gabriela de Vargas Heinen.- 2023.

57 p.; 30 cm

Orientador: José Cardoso Sobrinho

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2023

1. Irrigação 2. Barragem 3. Área de preservação permanente 4. Habitats 5. Impacto ambiental I. Cardoso Sobrinho, José II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, GABRIELA DE VARGAS HEINEN, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Gabriela de Vargas Heinen

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO EM BARRAGENS
NO CENÁRIO PRÉVIO E ATUAL EM ÁREAS AFETADAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovada em 04 de agosto de 2023.

**José Cardoso Sobrinho, Doutor (UFSM)
(Presidente/Orientador)**

Fabiano de Oliveira Fortes, Doutor (UFSM)

Mauricio Fornalski Soares, Doutor (Crops Team)

Santa Maria, RS
2023

RESUMO

AVALIAÇÃO DO IMPACTO EM BARRAGENS NO CENÁRIO PRÉVIO E ATUAL EM ÁREAS AFETADAS

AUTORA: Gabriela de Vargas Heinen
ORIENTADOR: Prof. Dr. José Cardoso Sobrinho

A agricultura de precisão e a irrigação melhoram a eficiência e produtividade agrícola. É importante considerar o impacto da irrigação no meio ambiente e tomar medidas de mitigação. Neste trabalho buscou-se avaliar com equações de regressões algum modelo capaz de prever remotamente o impacto ambiental causado pela construção de barragens utilizadas para abastecer um sistema de irrigação por pivôs de irrigação na Microbacia Hidrográfica do Rio Ijuizinho/RS, através de dados quantitativos. Para isso, foram selecionadas 20 barragens da área de estudo onde o histórico já era conhecido. Foram traçados dois *buffers* entorno das barragens, considerando a APP mínima exigida para barragens de acordo com a legislação ambiental vigente, de acordo com a Lei nº 12.651/2012 e a Resolução do CONSEMA nº 323/2016. Para fazer a análise espacial do uso e ocupação de solo foram selecionadas imagens do sensor Sentinel-2A. Foi realizado o pré-processamento das imagens e para o processamento da imagem foi utilizado a classificação supervisionada para determinar a classificação do uso do solo. As informações foram utilizadas para obter a proporção de cada tipo de habitat presente na área de estudo, sendo eles, água, lavoura, vegetação arbórea, área úmida e vegetação rasteira. Para a análise do impacto ambiental foi realizado equações de modelagem utilizando regressão linear múltipla e a correlação de Pearson. Atualmente, não existem formas de análise prévia para definir o impacto ambiental causado na construção de uma barragem de irrigação. A análise prévia do impacto ambiental seria uma ferramenta importante para a tomada de decisão do licenciamento ambiental. A metodologia proposta não substitui as outras etapas do licenciamento, mas pode justificar seu início. Com base nos dados e análises estatísticas, não foi possível desenvolver modelos para prever o impacto ambiental. É importante considerar a peculiaridade e importância de cada habitat na microbacia. A supressão de um habitat estável para a construção de uma barragem, mesmo com recuperação de APP, acarretará algum nível de impacto ambiental.

Palavras-chave: irrigação, barragem, área de preservação permanente; habitats e impacto ambiental.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE IMPACT ON DAMS IN THE PREVIOUS AND CURRENT SCENARIO IN AFFECTED AREAS

AUTHOR: Gabriela de Vargas Heinen
ADVISOR: Prof. Dr. José Cardoso Sobrinho

Precision agriculture and irrigation improve yields and efficiency on agricultural activity. It is important to consider the impact of irrigation on the environment and adopt mitigation solutions. In this work, regression equations model for remote prediction of environmental impact caused by the construction of irrigation dams in the micro watersheds of the Ijuizinho River/RS was developed through quantitative data. For this, 20 dams were selected in the study area, where a historic of construction and maintenance was informed. Two buffers were drawn around the dams, considering the minimum PPA required for dams following current environmental legislation, Law Number 12.651/2012 and CONSEMA Resolution nº 323/2016. To carry out the spatial analysis of land use and occupation, images from the Sentinel-2A sensor were selected. The pre-processing images was carried out following supervised classification to determine the land use classification. The information was used to obtain the proportion of each type of habitat present in the study area, namely: water, tillage, arboreal vegetation, damp areas, and undergrowth. For the analysis of environmental impact was realized equations of modeling using multiple linear regression and the Pearson's correlation. Currently, there are no forms of prior analysis to define the environmental impact caused by the construction of an irrigation dam. Prior analysis of the environmental impact would be an important tool for decision-making on environmental licensing. The proposed methodology does not replace the other licensing steps but may justify their starts. Based on the present data set and statistical analyses applied, developing models to predict the environmental impact was not possible. Therefore, it is important to consider the peculiarities and importance of each habitat in the watershed. The suppression of a stable habitat for the construction of a dam, even with PPA recovery will cause an environmental impact.

Keywords: irrigation, dam, permanent preservation area; habitats and environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Microbacia Hidrográfica do Rio Ijuizinho/RS.	25
Figura 2 – Demarcação das APPs conforme a área de alagave das barragens.	28
Figura 3 – Caracterização inicial das áreas das amostras (cenário anterior a construção das barragens). Os valores estão expressos em %, e foram determinados com base na área total da barragem.	34
Figura 4 – Histograma de análise dos resíduos.	42
Figura 5 – Probabilidade normal dos resíduos.	42
Figura 6 – Análise da homogeneidade de variâncias. A) Resíduos versus valores estimados pela regressão; B) Padrão de resíduos; C) Resíduos padronizados versus resíduos ajustados e D) Análise de amostras influentes.	44
Figura 7 – Histograma de análise dos resíduos.	45
Figura 8 – Probabilidade normal dos resíduos.	46
Figura 9 – Análise da homogeneidade de variâncias. A) Resíduos versus valores estimados pela regressão; B) Padrão de resíduos; C) Resíduos padronizados versus resíduos ajustados e D) Análise de amostras influentes.	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz de erro por pixel.....	37
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da Resolução do COSEMA nº 323/2016.....	28
Tabela 2 – Caracterização inicial das áreas dos habitats e de alague das barragens.....	33
Tabela 3 – Análise do cenário atual das áreas de APPs das barragens. Os dados foram obtidos após processamento de imagem utilizando o software QGis.....	36
Tabela 4 – Estimativas dos parâmetros do modelo de regressão linear múltipla ajustado.....	39
Tabela 5 – Estimativas dos parâmetros do modelo de regressão linear múltipla ajustado.....	40
Tabela 6 – Estimativas dos parâmetros do modelo de regressão linear múltipla ajustado.....	41
Tabela 7 – Estimativas dos parâmetros do modelo de regressão linear múltipla ajustado.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Área consolidada
AP	Agricultura de precisão
ANA	Agência Nacional das Águas
APP	Área de preservação permanente
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente
DFC	Diagnóstico físico conservacionista
ESA	Agência Espacial Europeia, do inglês <i>European Space Agency</i>
IoT	Internet das Coisas (em inglês, <i>Internet of Things</i>)
PRAD	Projeto de recuperação de área degradada
RFO	Reposição florestal obrigatória
RVN	Remanescente de vegetação nativa
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SIOUT	Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul
VRI	Irrigação de taxa variável

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	RECURSOS HÍDRICOS	15
2.2	BACIA HIDROGRÁFICA.....	15
2.3	AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	16
2.4	BARRAGENS PARA IRRIGAÇÃO	17
2.5	IRRIGAÇÃO.....	18
2.6	LICENCIAMENTO AMBIENTAL	18
2.7	INTERVENÇÕES EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	20
2.8	IMPACTO AMBIENTAL E MÉTODOS DE ANÁLISE.....	21
2.8.1	Diagnóstico Físico Conservacionista	23
2.8.2	Análise de paisagem	23
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1	ÁREA DE ESTUDO	25
3.2	SENSORIAMENTO REMOTO.....	26
3.3	PROJEÇÃO DE ALTERAÇÃO DE HABITAT FUTURO.....	27
3.4	ANÁLISE DE IMPACTO – HABITATS.....	29
3.4.1	Avaliação da modelagem dos habitats com a área de alague da barragem	29
3.4.2	Avaliação da modelagem dos habitats com a área de APP de cada barragem	30
3.5	ANÁLISE DE IMPACTO – REMANESCENTE DE VEGETAÇÃO NATIVA E ÁREA CONSOLIDADA.....	31
3.5.1	Avaliação da modelagem dos dados obtidos na área de alague da barragem	31
3.5.2	Avaliação da modelagem dos dados obtidos na APP.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1	ANÁLISE INICIAL DO IMPACTO AMBIENTAL DAS AMOSTRAS.....	33
4.2	ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL DAS AMOSTRAS	35
4.2.1	Avaliação do processamento das imagens do cenário atual das barragens	37
4.3	ANÁLISE DE IMPACTO - HABITATS.....	38

4.3.1	Avaliação da modelagem dos habitats com a área de alague da barragem	39
4.3.2	Avaliação da modelagem dos habitats com a área de APP de cada barragem	40
4.4	ANÁLISE DE IMPACTO – REMANESCENTE DE VEGETAÇÃO NATIVA E ÁREA CONSOLIDADA	41
4.4.1	Avaliação da modelagem dos dados obtidos na área de alague da barragem	41
4.4.2	Avaliação da modelagem dos dados obtidos na APP	45
5	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) surgiu da necessidade constante de melhorar a eficiência dos processos de produção agrícola e do interesse em conservar os recursos naturais. A AP e as barragens de irrigação desempenham um papel importante na melhoria da eficiência e produtividade agrícola. Enquanto a agricultura de precisão se concentra no uso de tecnologias avançadas para maximizar os benefícios no campo, as barragens de irrigação proporcionam uma fonte confiável de água para as plantações.

Ao contrário dos métodos tradicionais, que manejam a área plantada como se ela fosse uniforme, a AP permite a visualização da variabilidade espacial e temporal dos fatores de solo e clima de cada área agrícola, considerando as peculiaridades do local. Tendo em vista as particularidades de cada região é importante ter uma visão da microbacia hidrográfica ao iniciar o projeto de um empreendimento de irrigação, para a construção de uma barragem.

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional. Na avaliação do impacto da irrigação refere-se ao regime hídrico da área sob influência do projeto, a disponibilidade espacial e temporal de água tanto em quantidade quanto em qualidade.

Considerando a importância da vegetação em Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e a necessidade do uso da água para fins de irrigação, é importante considerar que as intervenções locais realizadas são feitas com diversos níveis de detalhamento e alcance dos parâmetros de qualidade ambiental. Dessa forma, é possível caracterizar o impacto da agricultura irrigada sobre o meio ambiente e enumerar os sistemas de monitoramento e as medidas de mitigação necessárias para a prevenção dos impactos negativos, bem como para a potencialização dos impactos positivos.

No entanto, com a atual legislação (Resolução CONSEMA nº 372/2018) para fins de licenciamento ambiental são priorizados os impactos temporários causados pelas ações de instalação de captações de baixo impacto em APPs. Dessa forma, o regime hídrico da microbacia em que o projeto de irrigação se encontra, fica em

segundo plano. Para tanto, é preciso expressar, quantitativamente, os fatores que devem ser analisados na implantação de um projeto de irrigação e suas inter-relações.

Neste contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar com equações de regressões algum modelo capaz de prever remotamente o impacto ambiental causado pela construção de barragens utilizadas para abastecer um sistema de irrigação por pivôs de irrigação na Microbacia Hidrográfica do Rio Ijuizinho/RS, através de dados quantitativos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RECURSOS HÍDRICOS

A água é o principal recurso natural, capaz de promover o desenvolvimento social e econômico de qualquer civilização, pois contribui diretamente com a qualidade de vida da região (SOUZA, 2010). O território brasileiro possui 12% do total de água doce disponível no planeta Terra (CASTRO, 2012).

Cerca de 89% do volume total de água do Brasil está localizado nas regiões Centro-Oeste e Norte. Cabe destacar que as regiões Nordeste, Sudeste e Sul, que concentram 85% da população do país, dispõem apenas de 11% dos recursos hídricos do Brasil (BARROS, 2008). O estado do Rio Grande do Sul, por sua vez, detém 3,3% do potencial hídrico do país (REBOUÇAS, 2006).

2.2 BACIA HIDROGRÁFICA

A utilização do conceito de bacia hidrológica inclui a identificação de um espaço físico funcional para o qual devem ser desenvolvidos mecanismos de gestão ambiental na perspectiva da sustentabilidade ambiental (PIRES *et. al.* 2002). Os estudos em bacias hidrográficas são essenciais para o entendimento da dinâmica da água e suas consequências ambientais, pois proporcionam uma visão completa do ambiente (solo, água e vegetação) e compreensão dos efeitos do uso e manejo do solo na sustentabilidade do sistema e do ciclo hidrológico (AVANZI, 2005). O planejamento das atividades antrópicas em uma bacia hidrográfica é de fundamental importância para o manejo adequado dos recursos nela contidos, mantendo, assim, sua integridade e equilíbrio ambiental (GARDIMAN JUNIOR *et al.*, 2012).

Um conceito que vem complementar a diferença entre bacias e microbacias é a análise da sustentabilidade. O atributo importante em uma microbacia é o ecológico, o qual considera a menor unidade do ecossistema onde pode ser observada a delicada relação de interdependência entre os fatores bióticos e abióticos, sendo que perturbações podem comprometer a dinâmica de seu funcionamento. Esse conceito visa à identificação e o monitoramento de forma orientada dos impactos ambientais (MOSCA, 2003; LEONARDO, 2003).

2.3 AGRICULTURA DE PRECISÃO

As projeções globais mostram que a demanda e os conflitos por água e energia aumentarão significativamente nos próximos anos, devido ao crescimento exagerado da população, à degradação ambiental causada por fatores antrópicos e às mudanças climáticas que levam a fenômenos meteorológicos extremos. Esses fatores também representam risco para a agricultura global (FAO, 2021).

Diante desse cenário, os avanços tecnológicos são essenciais para tornar a agricultura irrigada mais eficiente no uso de água e insumos (CHAUHDARY *et al.*, 2020). Enfrentar o desafio de garantir a segurança alimentar global requer modificar esse modelo de gestão agrícola e introduzir novas técnicas para manter e conservar os recursos naturais (LIAGHAT; BALASUNDRAM, 2010).

A agricultura de precisão (AP) é uma forma de otimização de produção agrícola (MOLIN, 1997). A AP utiliza uma abordagem de validação moderna combinada com validação tradicional de conhecimento e tecnologia da informação para produção agrícola. A AP oferece benefícios potenciais em termos de sustentabilidade, rendimentos, melhor qualidade do produto, redução do impacto ambiental e aumento da lucratividade. Um dos objetivos é melhorar a qualidade de vida no que diz respeito à segurança alimentar e ao desenvolvimento econômico nas áreas rurais (SHIRATSUCHI *et al.*, 2014).

Nesse contexto, várias tecnologias surgiram para apoiar os processos de produção agrícola, principalmente no que diz respeito à irrigação, como navegação por satélite, redes de sensores, redes de computadores, computação em nuvem, uso de programação e criação de aplicativos (SOUZA; CONCHESQUI; SILVA, 2019). Isso permitirá o gerenciamento de informações por meio da Internet das Coisas (IoT), possibilitando um monitoramento e entendimento mais rápido das condições que ocorrem em áreas agrícolas e a tomada de decisões informadas com base em uma variedade de informações (AQEEL-URREHMAN; SHAIKH, 2009).

Para gerenciamento de irrigação, o sensoriamento remoto é uma opção e pode ser utilizado para estimar as taxas de evapotranspiração (REYES-GONZÁLEZ *et al.*, 2018; MOKHTARI *et al.*, 2019) e déficit hídrico, resultando em um cronograma de irrigação adequado para a solução, indicando quando e quanto irrigar, ou empregando técnicas de irrigação de taxa variável (VRI) com base nos valores de índices de vegetação (O'SHAUGHNESSY *et al.*, 2019; BHATTI *et al.*, 2020).

Os principais avanços tecnológicos em irrigação e fertirrigação estão relacionados ao uso de sistemas de irrigação e modernos equipamentos de injeção. Esses sistemas permitem a aplicação mais eficiente de água e fertilizantes, além de otimizar todo o processo através da automação no uso da informação tecnológica com coleta de dados informada pela IoT para cada área específica das propriedades. Com isso, é possível definir uma gestão diferenciada entre zonas de maior eficiência no uso da água e fertilizantes (INCROCCI; MASSA; PARDOSSI, 2017).

2.4 BARRAGENS PARA IRRIGAÇÃO

Uma barragem pode ser definida como um elemento estrutural construído transversalmente à direção do fluxo de um curso hídrico, com o objetivo de criar um reservatório artificial para armazenamento de água (MARANGON, 2004). Ao longo do tempo, os seres humanos vêm alterando os sistemas hídricos naturais através de barramentos e desvios dos cursos d'água para atender seus objetivos, sejam eles hídricos, energéticos, recreativos e/ou de transporte (NILSSON *et al.*, 2005).

Historicamente, as barragens permitiram que as pessoas coletassem e armazenassem água durante o período de chuvas, para uso durante a estação de seca, sendo fundamentais para o sustento de cidades e fazendas, bem como para o cultivo de alimentos proveniente da agricultura irrigada (CIGB, 2008). Atualmente, a construção de barragens já é considerada um dos mais frequentes e expressivos distúrbios antrópicos nos cursos d'água do planeta (DOYLE; HARBOR; STANLEY, 2003).

As barragens provocam inundações e formam novas zonas ribeirinhas. Na construção de barragens há a supressão da vegetação existente, além de alterar o nível da água e regime de fluxo do curso hídrico (NILSSON; BERGGREN, 2000).

A construção de barragens de irrigação é vista como um seguro agrícola para os produtores rurais e até mesmo uma importante ferramenta para os agricultores contra as mudanças climáticas como El Niño, La Niña e o aquecimento global. (PEREIRA *et al.*, 2015). Entretanto, para permanecer ecologicamente sustentável, a agricultura irrigada deve usar a água de forma eficiente para irrigação, garantindo que os corredores ecológicos não sejam perdidos ao longo dos cursos hídricos (LEVIEN; FIGUEIRÊDO; DE ARRUDA, 2021).

2.5 IRRIGAÇÃO

A irrigação é uma técnica milenar destinada a fornecer água às plantas para que possam produzir adequadamente sem sofrer com o déficit hídrico. Ao longo dos séculos, a tecnologia foi aprimorada e desenvolvida, tendo hoje sistemas de irrigações com o controle de tempo, local e quantidade adequados para promover o crescimento das plantas (LEVIEN; FIGUEIRÊDO; DE ARRUDA, 2021).

O objetivo da irrigação é corrigir a distribuição natural das chuvas, a fim de que as culturas irrigadas possam atingir o seu potencial de desenvolvimento mesmo em épocas de recursos hídricos limitados (LIMA *et al.*, 2007). A irrigação é uma estratégia para aumentar a rentabilidade das terras agrícolas, aumentando a produção e a produtividade de forma sustentável, ao contrário de antigamente, quando era apenas uma tecnologia para combater a seca. (LEÃO, 2012).

A ampliação da área irrigada tem potencial para reduzir a pressão na fronteira agrícola. Dados relacionados a ganhos de produtividade com aplicações de irrigação reforçam a necessidade do setor agrícola desenvolver e adotar efetivamente novas tecnologias voltadas para a sustentabilidade hídrica (DOS SANTOS, 2010).

Para o aproveitamento do potencial da agricultura irrigada no Brasil é necessário considerar a disponibilidade de água, solo e clima favoráveis. Além disso, é importante compreender que a agricultura irrigada sustentável inclui práticas, atividades, interações e conceitos próprios, inerentes a regimes intensivos e de custo de produção relativamente mais elevados, mas de benefícios proporcionalmente maiores (FAO, 2017).

Em particular, no Brasil, a área irrigada corresponde a 18% da área cultivada e contribui com 42% da produção total. Dentre os estados brasileiros, o Rio Grande do Sul possui a maior área irrigada, com 19,5% e possui um dos principais polos da expansão recente do eixo central da irrigação, principalmente para o produtor de grãos, localizado no noroeste do estado. (ANA, 2017).

2.6 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

O licenciamento ambiental prévio é obrigatório para a construção, instalação, ampliação e operação de atividades que utilizem os recursos ambientais ou que possam ser poluidores ou capazes de causar degradação ambiental, de forma efetiva

ou potencial (BRASIL, 1981). O licenciamento ambiental compete aos Estados, sendo destinado à União ou aos municípios em casos específicos, estabelecidos no art. 7º e no art. 9º da Lei Complementar nº 140/2011 (BRASIL, 2011).

As diretrizes para a execução do licenciamento ambiental são definidas em várias normas nos níveis estaduais e nacional. A Resolução CONAMA nº 237/1997 estabelece uma lista de atividades ou empreendimento sujeitos, obrigatoriamente, ao licenciamento ambiental. Dentre os empreendimentos listados na resolução, está inserida a construção de barragens com a finalidade de irrigação.

No Rio Grande do Sul, a Resolução CONSEMA nº 372/2018 descreve quais os passíveis de licenciamento ambiental no estado, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental. Essa resolução e suas alterações definem a atividade, sua unidade de medida/porte, seu potencial poluidor e se é ou não incidente de licenciamento ambiental, incluindo seu porte. Com essas definições há um enquadramento da atividade e é possível determinar a qual órgão licenciador o empreendimento deve ser encaminhado. Além disso, há também a Resolução CONSEMA nº 323/2016 e suas alterações, que dispõe especificamente sobre os procedimentos de licenciamento ambiental dos empreendimentos de irrigação no Rio Grande do Sul, isto é, como quais os tipos de captações (captação direta, açude, barragens) e quais os são as regras de compensação ambiental (como a metragem da APP entorno das barragens conforme a área de alague).

Com a Lei nº 12.651/2012, o Cadastro Ambiental Rural (CAR), a Resolução do CONSEMA nº 323/2016 e o Sistema de Outorga - SIOUT, os órgãos licenciadores passaram a ter ferramentas de controle ambiental mais eficientes. Atualmente, a exigência da recuperação das áreas de APP é feita conforme são solicitadas as renovações das licenças de operação dos empreendimentos de irrigação. Essa condicionante vem vinculada a nova licença, e o produtor rural, juntamente com um responsável técnico, deve se comprometer a fazer um Projeto de Recuperação de Área Degradada (PRAD). Esse projeto possui uma avaliação final quando é solicitada a renovação da licença e, caso não tenha sido cumprida a condicionante, o proprietário perde a licença para irrigação.

A faixa de APP entorno da barragem é regulamentada por uma resolução própria (CONSEMA Resolução nº 323/2016). De acordo com essa resolução, para as barragens com área de alague inferior a 1 ha, não há necessidade de haver uma APP

entorno do reservatório. Para as barragens com alague entre 1 a 2 ha, deve-se respeitar a APP correspondente à faixa definida para o mesmo trecho do curso d'água existente antes da obra. Para as barragens com bacia de acumulação superior a 2 e até 10 ha, deverá ser constituída a APP correspondente duas vezes à faixa definida para o mesmo trecho do curso d'água existente antes da obra. Por fim, para as barragens acima de 10 ha de alague, deverá respeitar a APP correspondente a uma vez à faixa definida para o mesmo trecho do curso d'água onde se construiu o reservatório.

2.7 INTERVENÇÕES EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

De acordo com a legislação, as APPs são consideradas territórios cobertos ou não por vegetação que tem a finalidade de preservar os recursos hídricos, as paisagens, a estabilidade geológica, proteger o solo, conservar a biodiversidade mantendo a conectividade genética entre as espécies, além de promover bem-estar dos seres humanos (BRASIL, 2012).

Por se tratar de um espaço territorialmente protegido, as intervenções em APPs só podem ser realizadas, conforme o art. 8º da Lei Federal nº 12.651/2012, se consideradas como de utilidade pública ou de interesse social ou de baixo impacto ambiental. Além do mais, as intervenções em APPs são sujeitas a procedimentos administrativos devidamente caracterizados e fundamentados quando aprovados pela autoridade ambiental competente.

As APPs estão intimamente ligadas a características geomorfológicas e/ou zonas de transição entre sistemas aquáticos e terrestres, incluindo áreas que são particularmente vulneráveis ou ecologicamente sensíveis, como por exemplo, matas ciliares e zonas úmidas têm seu uso severamente restrito em áreas urbanas e rurais. Esses espaços e ecossistemas em que as espécies prosperam são chamados de habitats (PEREIRA *et al.*, 2017).

As matas ciliares desempenham funções relacionadas à proteção da integridade das bacias hidrográficas e ao aumento da capacidade de armazenamento de água. A qualidade da água na bacia é mantida filtrando os sedimentos superficiais e retendo os nutrientes liberados pelos ecossistemas terrestres. Além de garantir a estabilidade das margens dos rios, as matas ciliares contribuem para o equilíbrio térmico das águas e para a formação de corredores ecológicos (SOUZA, 2012),

enquanto as áreas úmidas são caracterizadas pela presença de águas rasas ou solo saturado, o que permite o acúmulo de matéria orgânica proveniente de plantas em decomposição (CARVALHO; OZORIO, 2007).

Os ambientes úmidos foram, por muito tempo, considerados áreas insalubres e improdutivas economicamente, que deveriam ser substituídos por outro tipo de ambiente. No entanto, atualmente, o valor deste ambiente está sendo resgatado e, assim como as áreas úmidas, é avaliado como um ecossistema importante para a conservação da biodiversidade, apresentando grande riqueza de espécies e altos níveis de endemismo (GETZNER, 2002).

A Lei Federal nº 12.651/2012, em seu art. 3º, inciso IX, alínea “e”, considera interesse social um empreendimento em que a captação e condução de água para projetos onde recursos hídricos são parte integrante e essencial da atividade. Com isso, a construção de barragens para irrigação tornou-se uma atividade de interesse social e, por isso, é possível ter a autorização para intervenção em APP.

2.8 IMPACTO AMBIENTAL E MÉTODOS DE ANÁLISE

A consciência ambiental e a proteção dos recursos naturais ganharam força nas décadas de 1960 e 1970, passando a fazer parte dos princípios da humanidade moderna. Esses princípios não são apenas sobre controle, mitigação e redução de impactos, mas também sobre desempenho ambiental. Com isso, o conceito de desenvolvimento sustentável considera que as atividades desenvolvidas pelo homem devem atender às necessidades humanas, porém sem comprometer o meio ambiente (FERREIRA *et al.* 2010).

O impacto ambiental é definido pela Resolução CONAMA nº 01/1986, como qualquer alteração nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente. Essas alterações podem ser causadas por qualquer tipo de material ou energia resultante de atividades humanas, que afetam de forma direta ou indireta à saúde, a segurança e o bem-estar da população. Além disso, os efeitos podem afetar as atividades socioeconômicas, a biota, a condição estética e sanitária do ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

A perda de habitats são os principais fatores que geram diminuição da biodiversidade (LOYN *et al.*, 2007; GROOM, VYNNE, 2006). Estes fatores estão relacionados com atividades humanas (GARDNER *et al.*, 2009). Modificações no uso

do solo afetam processos ecológicos que são importantes para manter a integridade dos ecossistemas, os quais não conseguem mais suportar as espécies presentes originalmente (LAMBECK, 1997).

A conversão da vegetação nativa leva à perda de habitat, que é uma das principais causas do declínio do estado de conservação das espécies terrestres (CEBALLOS *et al* 2015). Os habitats em muitas áreas estão passando por mudanças devido a fatores antrópicos locais (SCHULZE *et al* 2018), como construção de barragens.

Para realizar uma avaliação de impacto ambiental, é necessário seguir uma metodologia composta por um conjunto de normas variando com o fator ambiental a ser avaliado. Os métodos de avaliação são flexíveis e podem ser aplicados em qualquer etapa do processo sendo constantemente revisados. É importante destacar que os métodos de avaliação ambiental atuais reportados na literatura são subjetivos em sua abordagem do ambiente físico, de forma que possuem aplicações específicas e com critérios definidos para serem utilizados (CREMONEZ *et al.* 2014).

A agricultura é uma atividade que depende exclusivamente dos recursos naturais e suas interações. As atividades agrícolas devem ser guiadas principalmente pelo conhecimento do ambiente em que atua, localização da área, clima, topografia, tipo de solo e outros fatores (MARQUES, MEDEIROS, 2019). As atividades antrópicas oferecem diferentes cenários de emprego com base nas características culturais, sociais e econômicas da população. Tais mudanças causam impactos ambientais significativos que podem ser categorizados como benéficos ou prejudiciais, diretos ou indiretos, reversíveis ou irreversíveis, imediatos ou de longo prazo, temporários ou permanentes (FREITAS *et al.*, 2013).

Vale salientar que atualmente não há um método de impacto ambiental que possa definir que a construção de uma barragem de irrigação causará um impacto negativo ou positivo. A seguir, serão apresentados dois métodos reportados na literatura para análise do impacto ambiental. Cabe destacar que, ambos os métodos possuem a análise da vegetação, e que nesse item, possui limitações e deixam margem para uma interpretação subjetiva. Essa subjetividade se refere a interpretação da vegetação e da biodiversidade que será impactada, onde os técnicos devem enquadrar essa análise da composição florística em um índice.

2.8.1 Diagnóstico Físico Conservacionista

O uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas está diretamente relacionado à degradação ambiental decorrente da exploração dos recursos naturais (CHUEH, SANTOS, 2005). Para diagnosticar os impactos causados nessas áreas usando métodos apropriados, o primeiro passo é planejar as melhores práticas de conservação e uso da terra. O Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC) de bacias hidrográficas é um dos métodos existentes para diagnosticar impactos ambientais adversos e apoiar o planejamento ambiental em bacias hidrográficas (CHUEH, SANTOS, 2005; SAMPAIO *et al.*, 2010).

O objetivo do DFC é diagnosticar áreas da bacia hidrográfica que são vulneráveis à perturbação ambiental usando ferramentas de mapeamento e parâmetros descritivos. A bacia hidrográfica é a unidade de planejamento mais adequada para fins de diagnóstico físico conservador (BELTRAME, 1994).

O método do Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC) é comumente utilizado para impactos ambientais em bacias hidrográficas, sendo um dos mais completos a fim de definição do local de construção da barragem, pois leva em considerações todos os dados físicos do solo, do clima e de topografia. No entanto, ele faz apenas uma análise de uso e ocupação do solo, sendo que o grau de compensação fica subjetivo.

2.8.2 Análise de paisagem

O conceito de impacto ambiental, defendido por Wathern (1998), que corresponde à alteração de um parâmetro ambiental, leva em consideração o período, a área, e a atividade. Sendo comparada ao que teria acontecido se a determinada atividade não tivesse sido iniciada. Essa metodologia de avaliação de impacto ambiental vem sendo aprimorada com uma parceria entre o Instituto de Ciências e Tecnologia de Sorocaba da Universidade Estadual Paulista (UNESP), e o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

Esta abordagem metodológica visa desenvolver uma representação gráfica da paisagem em parcelas e secções para avaliação sistemática e segmentada, a fim de compreender a influência dos fatores físicos, bióticos e antrópicos em sua dinâmica (MEDEIROS *et al.* 2016). Os itens destacados são utilizados para avaliar potenciais

impactos ambientais em termos de sua magnitude, intensidade e importância para a gestão ambiental (FRANÇA *et al.* 2014, MEDEIROS *et al.* 2016, SILVA E MEDEIROS, 2017, DE CARLI *et al.* 2018).

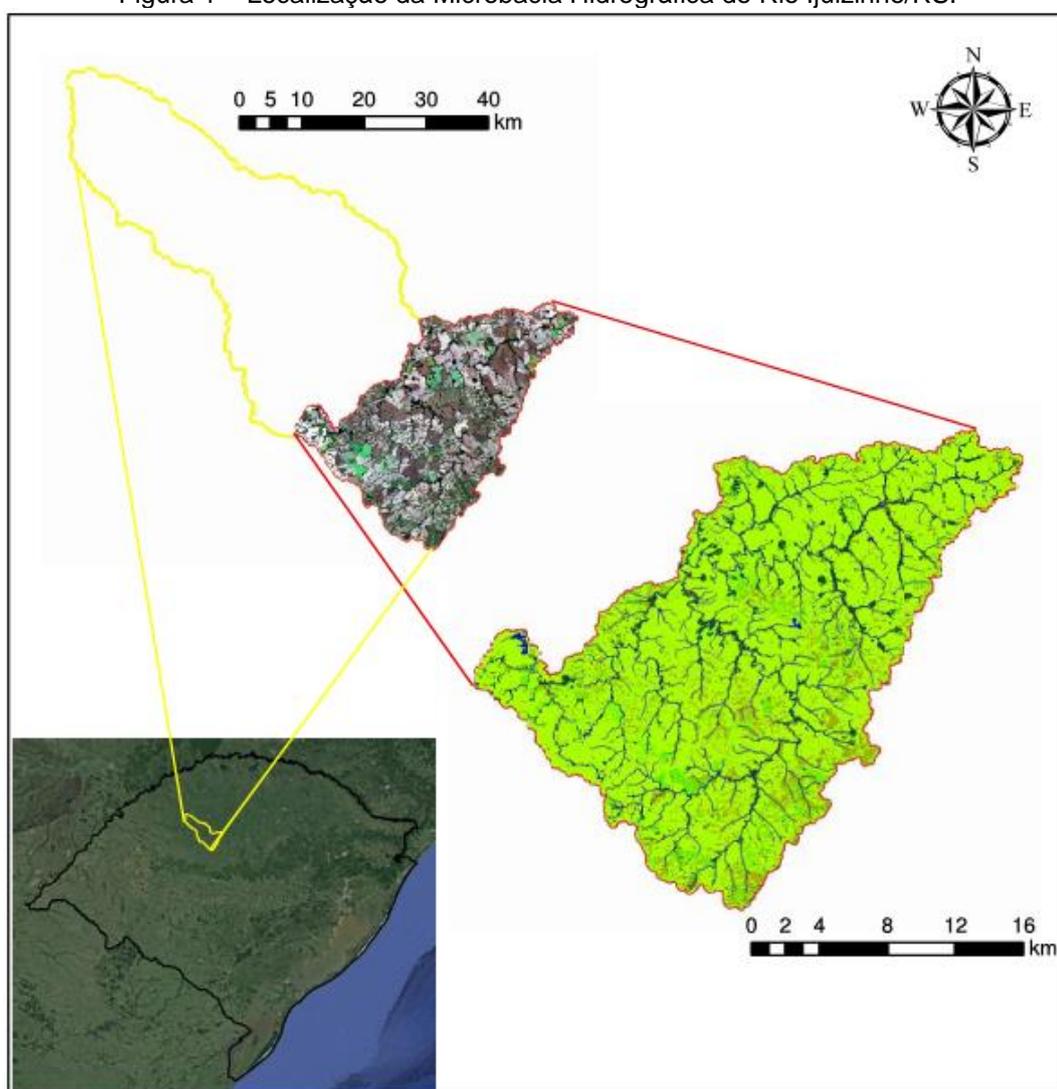
O método de análise de paisagem é bastante utilizado para impactos ambientais em locais de supressão de vegetação nativa. No entanto, ao fazer uma análise de biodiversidade enquadrando em “muito” ou “pouco” comprometida, deixa margem para diversas interpretações.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na região sul da Microbacia Hidrográfica do Rio Ijuizinho/RS, conforme mostrado na Figura 1. Essa microbacia encontra-se na província geomorfológica Planalto Meridional, incluindo 4 municípios (Cruz Alta, Tupanciretã, Boa Vista do Cadeado e Jóia). Os principais cursos de água são o Arroio Santa Maria, o Arroio Urupu, o Arroio São Bernardo e o Rio Ijuizinho (parte alta).

Figura 1 – Localização da Microbacia Hidrográfica do Rio Ijuizinho/RS.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O Rio Ijuizinho está situado a noroeste do estado do Rio Grande do Sul e tem sua nascente localizada no município de Tupanciretã. O curso do Rio Ijuizinho, que é um afluente do Rio Ijuí, segue do sentido sudeste para noroeste, cruzando os municípios de Entre-Ijuís e Tupanciretã, sendo responsável por parte da divisa dos municípios de Cruz Alta, Boa Vista do Cadeado, Jóia, Augusto Pestana, Eugenio de Castro e Entre-Ijuís.

Para a definição da área de estudo, foi utilizada a codificação de bacias proposta por Pfafstatter (1989), onde a metodologia de classificação de bacias hidrográficas baseia-se na configuração natural do sistema de drenagem. Foram utilizados divisão das ottobacias disponíveis na Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (ANA, 2020).

A área de estudo é representada por 4 ottobacias de nível 6 à montante do Rio Ijuizinho, com as coordenadas geográficas centrais da área de estudo em Latitude $-28,892341^{\circ}$ e Longitude $-53,851562^{\circ}$. A área das 4 ottobacias que representa os afluentes do Rio Ijuizinho corresponde a 85932,73 ha.

Dentro da área de estudo existem 95 barragens utilizadas para irrigação, de acordo com o banco de dados do SIOUT (SIOUT, 2023). Para esse estudo, foram selecionadas 20 barragens, as quais se tem conhecimento histórico do cenário antes de sua construção. O sistema de irrigação implantado nessas barragens foi entre os anos 2011 e 2021. Essas 20 barragens serviram de amostra, a fim de desenvolver uma metodologia de impacto ambiental, com dados apenas quantitativos e de análise remota, da área de estudo.

3.2 SENSORIAMENTO REMOTO

Para a análise espacial do uso e ocupação de solo, foram selecionadas quatro imagens do sensor Sentinel-2A, as quais foram imageadas em 31 de dezembro de 2022, na plataforma *online* da Agência Espacial Europeia (ESA, 2023). Para a realização dessa análise, foi criado um banco de dados utilizando o software QGIS 3.10.4, onde foram selecionadas as bandas 2, 3, 4, e 8 com resolução espacial de 10 m.

Após o georreferenciamento das imagens, foram efetuadas operações de mosaico (agrupando as duas imagens em uma única) e recorte (para trabalhar apenas com a área da bacia em estudo) para cada banda. Ainda, nas operações pré-

processamento de imagens foi realizado o contraste de cada banda (manipulação de histograma que reduz automaticamente o contraste em áreas muito claras ou muito escuras). Posteriormente, foi utilizado o mesmo banco de dados do software QGIS, e realizado a composição colorida RGB (843) da imagem, isto é, na banda 8 com a cor vermelha, na banda 4 a cor verde e na banda 3 a cor azul, a qual proporciona uma boa caracterização e diferenciação dos usos e coberturas da terra, e facilita a análise visual da paisagem.

Após a conclusão do pré-processamento do banco de dados, foram definidos os habitais para a realização das classes de uso e ocupação de solo, sendo eles: (1) água (lâmina de água superficial); (2) lavoura (área de cultivos anuais); (3) vegetação arbórea (cobertura arbórea-arbustiva, como característica do bioma, esse tipo de formação é encontrada normalmente ao longo dos cursos d'água); (4) área úmida (áreas de baixada ou em vales, caracterizando acúmulo de água) e (5) vegetação rasteira (predominância de gramíneas e algumas espécies subarbustivas).

Para o processamento da imagem, foi utilizado a classificação supervisionada com o algoritmo de mínima distância. Esse método calcula a distância espectral dos pixels e a média para cada assinatura de classe. Dessa forma, conforme as médias dos valores dos pixels definidos pelas amostras, cada pixel será incorporado a um agrupamento através da análise da medida de similaridade de distância.

A partir da classificação do uso do solo de toda área em estudo, foram obtidas as informações das áreas que cada habitat compõe na Microbacia Hidrográfica do Rio Ijuzinho/RS. Esses dados foram utilizados para obter a proporção de cada tipo de habitat presente na área de estudo.

3.3 PROJEÇÃO DE ALTERAÇÃO DE HABITAT FUTURO

Para avaliar cenário futuro das 20 barragens amostrais, foi desenhado manualmente o perímetro de alagado de cada uma das barragens, utilizando o software QGIS. Após a definição do perímetro de cada barragem, foram traçados dois *buffers* de 30 e 60 m (Figura 2).

Figura 2 – Demarcação das APPs conforme a área de alague das barragens.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Esses raios foram estipulados considerando a APP mínima de acordo com a legislação ambiental vigente, de acordo com a Lei nº 12.651/2012 e a Resolução do COSEMA nº 323/2016, para cada barragem. O resumo da resolução encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Resumo da Resolução do COSEMA nº 323/2016.

Área de alague das barragens	< 1 ha	1 ha à 2 ha	> 2 ha à < 10 ha	> 10 ha
Faixa da APP conforme a faixa de APP original do curso hídrico	Ø	=	2x	=

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Posteriormente, a partir do banco de dados do software QGIS referente a classificação do uso do solo de toda área em estudo, foram feitos novos recortes dentro da área de APP para cada barragem. Com isso, foi quantificado para cada barragem quais habitats estão presentes em cada APP, conforme as classes previamente definidas na etapa anterior do processamento das imagens.

3.4 ANÁLISE DE IMPACTO – HABITATS

Foram analisados os dados das 20 barragens amostrais, no cenário prévio às barragens a serem construídas ou utilizadas para a irrigação, cabe destacar que essas informações foram obtidas através de um banco de dados de cada um dos projetos de barragem para irrigação. E os dados do cenário atual das 20 amostrais, foram obtidos através da análise de sensoriamento remoto, a fim de prospectar o cenário após a regularização das APPs. Nessa etapa do trabalho foram analisados os habitats em separado.

A modelagem dos dados foi avaliada através de uma regressão linear múltipla. Foi realizado a análise de correlação r de Pearson, nessa análise é possível constatar a intensidade da relação linear entre os valores quantitativos de duas variáveis em uma amostra (TRIOLA, 2005). Todos os dados passaram por análise no software R.

3.4.1 Avaliação da modelagem dos habitats com a área de alague da barragem

Primeiramente, foi realizada uma regressão linear múltipla, na qual a variável “Y” foi considerada como o perímetro da área de alague (cenário atual da barragem), e variável “X” foi considerada como a área de cada habitat a ser avaliado (cenário anterior a construção da barragem). A equação que representa a regressão está mostrada abaixo (Equação 1).

$$Y = \alpha + \beta_1.X_1 + \beta_2.X_2 + \beta_3.X_3 + \beta_4.X_4 + \beta_5.X_5 + e \quad (1)$$

Onde:

α = é o valor esperado de Y quando todos as variáveis independentes forem nulas;

β_1 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X1, sendo X1 água (isso acontece quando já existe um reservatório e existe a pretensão de ampliação) mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

β_2 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X2 sendo X2 lavoura, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

β_3 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X3 sendo X3 vegetação arbórea, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

β_4 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X4 sendo X4 área úmida, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

β_5 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X5 sendo X5 vegetação rasteira, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

e = é o erro não explicado pelo modelo.

3.4.2 Avaliação da modelagem dos habitats com a área de APP de cada barragem

Para a avaliação dos habitats com a área de APP também foi realizada uma regressão linear múltipla, na qual a variável “Y” foi considerada como o perímetro da APP de cada barragem, e a variável “X” foi considerada como a área de cada habitat a ser avaliado, juntamente com a área de alague da própria barragem. Vale salientar que para ambas as variáveis foram considerados os dados do cenário atual. A equação que representa a regressão está mostrada abaixo (Equação 2).

$$Y = \alpha + \beta_1.X_1 + \beta_2.X_2 + \beta_3.X_3 + \beta_4.X_4 + \beta_5.X_5 + \beta_6.X_6 + e \quad (2)$$

Onde:

α = é o valor esperado de Y quando todas as variáveis independentes forem nulas;

β_1 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X1, sendo X1 a área de alague da própria barragem, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

β_2 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X2 sendo X2 água (isso acontece quando já existe um reservatório e existe a pretensão de ampliação), mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

β_3 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X3 sendo X3 lavoura, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

β_4 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X4 sendo X4 vegetação arbórea, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

β_5 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X5 sendo X5 área úmida, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

β_6 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X6 sendo X6 vegetação rasteira, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

e = é o erro não explicado pelo modelo.

3.5 ANÁLISE DE IMPACTO – REMANESCENTE DE VEGETAÇÃO NATIVA E ÁREA CONSOLIDADA

A fim de entender se os dados das amostras (tanto nos cenários de antes da construção da barragem e das APPs atuais) possuem correlação, foi feito um estudo adicional com a junção das áreas dos habitats. Para isso, foi considerado remanescente de vegetação nativas a soma das áreas de vegetação arbórea, área úmida e vegetação rasteira, e como área consolidada a soma das áreas de água e lavoura. Essa análise foi feita novamente nos dois cenários.

3.5.1 Avaliação da modelagem dos dados obtidos na área de alague da barragem

Para essa etapa da avaliação, também foi feita uma regressão linear múltipla, na qual a variável “Y” foi considerada como o perímetro de cada barragem, e as variáveis X1 sendo área consolidada e X2 remanescente de vegetação nativa. A equação que representa a regressão está mostrada abaixo (Equação 3).

$$Y = \alpha + \beta_1.X_1 + \beta_2.X_2 + e \quad (3)$$

Onde:

α = é o valor esperado de Y quando todas as variáveis independentes forem nulas;

β_1 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X1, sendo X1 área consolidada, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

β_2 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X2 sendo X2 remanescente de vegetação nativa, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes; e é o erro não explicado pelo modelo;

e = é o erro não explicado pelo modelo.

3.5.2 Avaliação da modelagem dos dados obtidos na APP

A regressão linear múltipla nesta etapa de avaliação, tem como variável “Y” o perímetro de cada APP entorno da barragem, e variável X1 sendo área consolidada e X2 remanescente de vegetação nativa (Equação 4).

$$Y = \alpha + \beta_1.X1 + \beta_2.X2 + e \quad (4)$$

Onde:

α = é o valor esperado de Y quando todas as variáveis independentes forem nulas;

β_1 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X1, sendo X1 área consolidada, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes;

β_2 = é a variação esperada em Y dado um incremento unitário em X2 sendo X2 remanescente de vegetação nativa, mantendo-se constantes todas as demais variáveis independentes; e é o erro não explicado pelo modelo;

e = é o erro não explicado pelo modelo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE INICIAL DO IMPACTO AMBIENTAL DAS AMOSTRAS

Inicialmente foi feito uma análise das áreas das 20 barragens (amostras) considerando o cenário anterior ao projeto de irrigação. O tamanho dessas áreas existentes antes da construção das barragens está na Tabela 2.

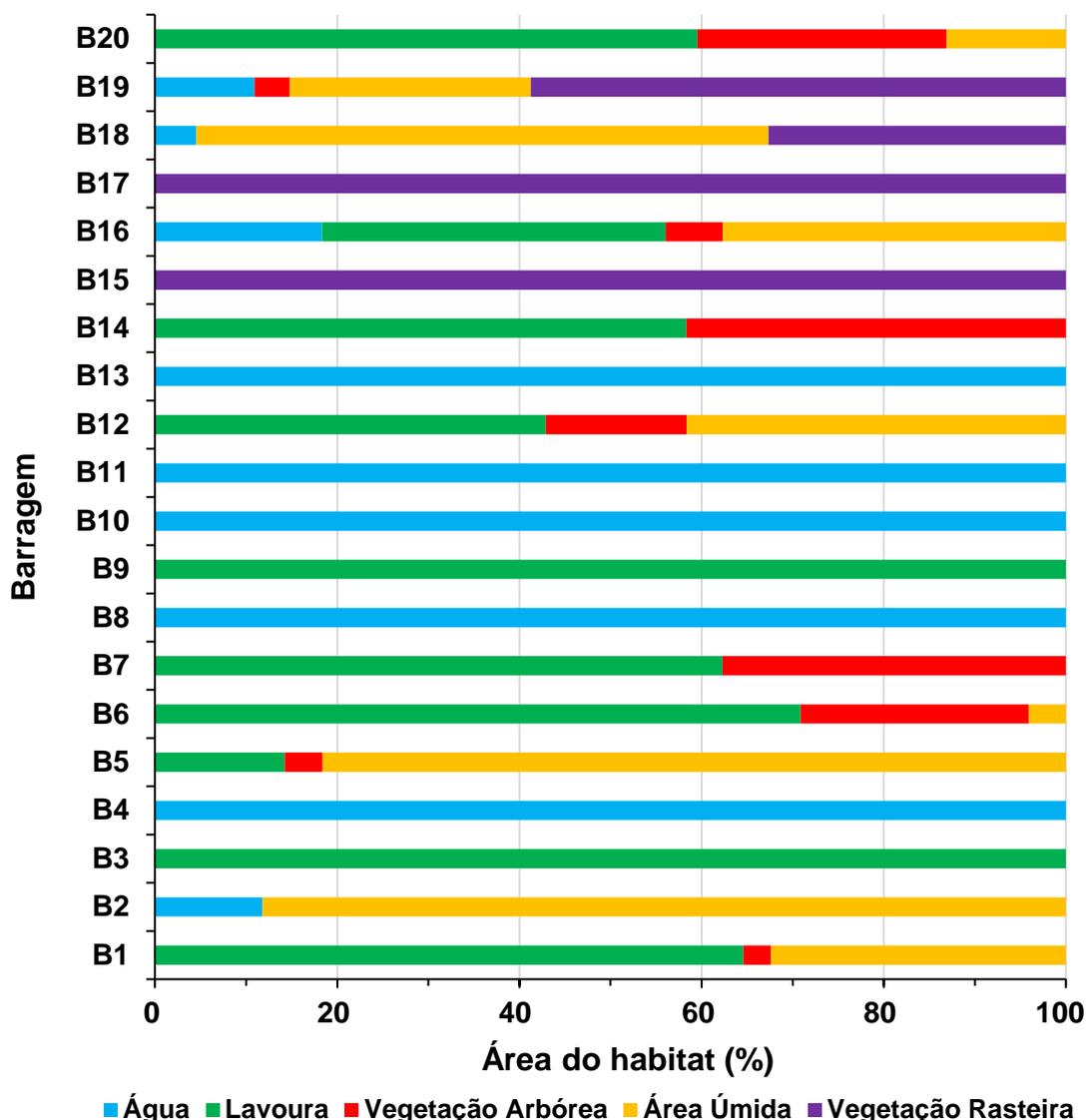
Tabela 2 – Caracterização inicial das áreas dos habitats e de alague das barragens.

Barragem	Área do habitat (ha)					Total da área de alague da barragem (ha)
	Água	Lavoura	Vegetação arbórea	Área úmida	Vegetação rasteira	
B1	0,0	5,4	0,3	2,7	0,0	8,4
B2	4,3	0,0	0,0	32,4	0,0	36,8
B3	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	9,5
B4	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1
B5	0,0	0,8	0,2	4,8	0,0	5,9
B6	0,0	6,3	2,2	0,4	0,0	8,9
B7	0,0	1,1	0,7	0,0	0,0	1,8
B8	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8
B9	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	1,3
B10	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5
B11	12,7	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7
B12	0,0	5,4	1,9	5,2	0,0	12,6
B13	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
B14	0,0	1,9	1,4	0,0	0,0	3,3
B15	0,0	0,0	0,0	0,0	43,4	43,4
B16	3,1	6,5	1,1	6,4	0,0	17,1
B17	0,0	0,0	0,0	0,0	29,6	29,6
B18	0,1	0,0	0,0	1,2	0,6	1,8
B19	0,3	0,0	0,1	0,7	1,6	2,8
B20	0,0	1,8	0,8	0,4	0,0	3,0

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para uma melhor visualização dos dados apresentados na Tabela 2, as áreas de cada habitat foram expressas de forma relativa à área total da barragem, conforme pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 – Caracterização inicial das áreas das amostras (cenário anterior a construção das barragens). Os valores estão expressos em %, e foram determinados com base na área total da barragem.



Conforme observado na Figura 3, cinco barragens (B4, B8, B10, B11 e B13) já eram existentes antes da instalação do projeto de irrigação, sendo consideradas reservatórios consolidados, isto é, construídos anteriormente à 22 de julho de 2008, data definida da Lei nº 12651/2012. Essas 5 amostras apresentam 100% de água como habitat.

Cabe destacar que na região de estudo onde as barragens foram construídas é comum ter ocorrido eliminação de áreas úmidas, com drenagens, a fim de ampliar a área de lavoura. A drenagem dessas áreas ocorreu com maior intensidade na década de 1980, devido a incentivos do governo financiados através do programa

PROVÁRZEAS. Como reflexo disso, observa-se que duas amostras (B3 e B9), foram construídas em uma área que abrangeu 100% de lavoura como habitat. Da mesma forma, as amostras B1, B6, B7, B14 e B20 também são exemplos de grande impacto desse processo de drenagem, uma vez que apresentam mais de 50% de sua área de alague em área que era lavoura.

Quando analisado o remanescente de vegetação nativa, destacam-se as amostras B2, B5, B16 e B18, onde anteriormente ao projeto de irrigação já havia um reservatório menor. Nessas amostras houve um projeto de ampliação da barragem, o qual impactou majoritariamente no habitat de área úmida.

Tendo em vista que a área de estudo está inserida no bioma pampa, o qual é o único bioma brasileiro cuja ocorrência é restrita a somente um estado e que ainda conserva um total de 41,13% da cobertura vegetal nativa (original) — 23,03% correspondem a formações campestres, 5,38% a formações florestais e 12,91% a formações de transição — mosaico campo-floresta (PROBIO, 2007). No entanto, da sua vegetação campestre e dos seus banhados característicos, restam apenas 39% (PICOLLI, SCHNADELBACH, 2007).

Em termos de características naturais no bioma Pampa, a vegetação predominante é a campestre com arbustos escassos e formações de árvores (ROESCH *et al*/2009). Devido à proximidade do Pampa com o limite sul da distribuição do Bioma Mata Atlântica (~30°S) e por formar mosaicos naturais de campos e florestas (OVERBECK *et al.* 2007). Tendo em vista as características da região não é incomum que as barragens B15 e B17 alagaram 100% de vegetação rasteiras. Além disso, cabe destacar que para nove amostras houve supressão de vegetação arbóreas, com destaque para as barragens (B6, B7, B12, B14 e B20), cuja supressão foi entre 15 e 42 %.

4.2 ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL DAS AMOSTRAS

O cenário atual foi obtido através da classificação e quantificação dos habitats de cada APP, conforme mostrado na Tabela 3. De acordo os dados obtidos, foi observado que a maior parte das áreas nunca foi recuperada, sendo que somente as amostras B11 e B13 estão de acordo com a Lei nº 12.651/2012 e a Resolução do COSEMA nº 323/2016. Neste caso, a amostra B13 está de acordo com a legislação

pois possui uma área de alague inferior a 1 ha, e com isso não necessita de APP em seu entorno.

Tabela 3 – Análise do cenário atual das áreas de APPs das barragens. Os dados foram obtidos após processamento de imagem utilizando o software QGis.

Barragem	Área do habitat (ha)					Total da APP (ha)
	Água	Lavoura	Vegetação arbórea	Área úmida	Vegetação rasteira	
B1	0,0	6,9	0,1	1,5	0,7	9,3
B2	0,1	12,0	0,6	0,0	0,0	12,8
B3	1,2	8,7	0,0	0,0	0,0	10,0
B4	0,0	2,7	0,0	0,3	1,5	4,5
B5	0,8	2,1	0,6	0,2	3,1	6,7
B6	0,3	6,8	1,2	0,0	0,0	8,2
B7	0,1	1,4	0,1	0,3	0,0	1,9
B8	0,5	2,0	0,0	0,5	2,9	5,9
B9	0,1	0,2	0,0	0,0	1,6	1,9
B10	0,9	1,5	0,2	0,2	2,6	5,4
B11	0,5	0,0	0,2	0,5	3,4	4,6
B12	0,3	0,2	0,0	1,1	3,4	5,0
B13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B14	0,0	4,6	0,8	0,2	0,0	5,6
B15	0,1	12,5	0,1	1,8	0,0	14,4
B16	0,0	5,8	0,4	0,0	0,0	6,2
B17	0,0	5,7	1,9	1,7	1,3	10,5
B18	0,0	0,5	0,0	0,6	1,1	2,2
B19	0,1	1,0	1,1	0,7	2,7	5,6
B20	0,0	4,5	0,3	0,5	0,0	5,3

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Cabe destacar que considerando a APP das 20 amostras analisadas, existem atualmente um total de 79 ha de lavoura a serem recuperados, para que todas as barragens sejam regularizadas. Esses dados reforçam que a irrigação é uma das atividades humanas com grande potencial de afetar diretamente as APPs e, em especial, as áreas úmidas e matas ciliares. De modo geral, as atividades de irrigação envolvem o represamento de cursos hídricos através da construção de barragens, descaracterizando as áreas de APP originais. Portanto, no estado do Rio Grande do Sul, o Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA, através da Resolução nº 323/2016, no artigo 11, determina a reconstituição das APPs entorno de barragens, com características equivalentes às áreas de vegetação suprimidas, porém isto não é observado até o momento para as barragens analisadas.

4.2.1 Avaliação do processamento das imagens do cenário atual das barragens

O Quadro 1 mostra a matriz de erro por pixel após a classificação supervisionada, obtido pelo software QGis. Nessa classificação o valor de acurácia global é de 49,15% e o *kappa* gerado por meio da classificação para o algoritmo de mínima distância, considerando o conjunto de dados de treinamento foi de 0,29.

Quadro 1 – Matriz de erro por pixel

Classes	Não classificado	Água	Lavoura	Vegetação Arbórea	Área Úmida	Vegetação Rasteira	Total
Não classificado	0	0	0	0	0	116997	116997
Água	0	31401	0	403	14174	147	46125
Lavoura	0	1291488	3321955	1162	1494798	2098	6111501
Vegetação Arbórea	0	63990	74	329622	255960	3085	652731
Área Úmida	0	156169	142014	227591	506199	199659	1231632
Vegetação Rasteira	0	61984	6206	28685	303001	34411	434287
Total	0	1605032	3470249	587463	2574132	356397	8593273

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O imageamento depende de fatores com as imagens de satélites e séries temporais (tempo em que o sensor/satélite percorre o mesmo local). As imagens de satélites são obtidas através de sensores que captam radiação eletromagnética transmitida pelos objetos de estudo. No presente trabalho os objetos de estudos são os diferentes habitats que estão sendo analisados. Cada objeto interage de maneira diferenciada espectralmente com a energia eletromagnética incidente, pois os objetos apresentam diferentes propriedades físico-químicas e biológicas.

O conhecimento do comportamento espectral dos objetos terrestres é muito importante para a classificação de uso do solo utilizando o sensoriamento remoto. Cada tipo de vegetação possui um comportamento de energia eletromagnética, além de haver diferença nessa resposta conforme a sanidade da planta.

Neste caso, é importante destacar que no período de estudo (2021 a 2023) houve 2 anos seguidos de La Niña, ou seja, um período intenso de secas que atingiu a área de estudo, na qual predomina a produção de *commodities* agrícolas. Este fator pode ter contribuído para a baixa acurácia das imagens obtidas.

No Quadro 1, é possível observar que a maioria dos pixels não se encontra na diagonal principal da matriz (hachurado em cinza). Isso mostra que houve muita

confusão para definir cada habitat. Além disso, durante os processos de classificação supervisionada houve divergência nas classificações das amostras do estudo, uma vez que nas imagens adquiridas as barragens não estavam com a capacidade máxima de alague.

4.3 ANÁLISE DE IMPACTO - HABITATS

Cabe salientar que atualmente, não existem formas de análise prévia para definir o impacto ambiental causado pela construção de uma barragem de irrigação. Para iniciar o licenciamento ambiental para a construção de uma barragem de irrigação verifica se há ou não os 20% de Reserva Legal na propriedade, dado definido pela Lei nº 12651/2012. Sendo esse o fator quantitativo da Reserva Legal, o dado principal para definição para início de um processo de licenciamento, caso não tenha a Reserva Legal exigida não há nenhuma justificativa para iniciar o processo de análise.

Por isso, esse estudo vem junto com Projeto de Lei nº 1282/2019. Esse projeto de lei tem a proposta de alterar a Lei nº 12651/2012, para permitir nas áreas de preservação permanente dos imóveis rurais, a construção de reservatórios d'água para projetos de irrigação e a infraestrutura física a ele associado. Dessa forma, com uma metodologia de análise prévia do impacto ambiental causado pela construção de barragens facilitaria nessa tomada de decisão do licenciamento ambiental.

Partindo desse pressuposto, a análise dos impactos ambientais potenciais da agricultura irrigada pode ser realizada com diversos níveis de detalhamento e alcance dos parâmetros de qualidade ambiental utilizados. É possível caracterizar o impacto da agricultura irrigada sobre o meio ambiente e enumerar os sistemas de monitoramento. Além disso, é possível definir medidas de mitigação necessárias para a prevenção dos impactos negativos, bem como para a potencialização dos impactos positivos.

Vale ressaltar que a metodologia proposta é para uma análise prévia, não substituindo as demais etapas do licenciamento ambiental, que incluem a avaliação *in loco* da área do empreendimento. Essa metodologia serviria para as propriedades que não tivessem os 20% de Reserva Legal para dar início ao licenciamento. Com isso, seria possível ter uma justificativa para iniciar o processo de licenciamento

ambiental, em que não apenas o determinante do início ou não de um processo de licenciamento ambiental seja a Reserva Legal.

A avaliação realizada visa testar se duas ou mais variáveis trabalham juntas, ou seja, se uma variável muda, a outra variável também é alterada. No entanto, esse resultado não significa que uma variável causa a outra quando isso acontece, apenas que existe uma relação entre as duas. Isso porque, como não há manipulação de uma das variáveis, não existem garantias de causalidade. As relações podem ser induzidas pela inclusão de uma terceira variável que não foi considerada (LEVINE *et al.* 2008).

Para essa avaliação foram utilizados os dados históricos das 20 amostras. A partir disso, foi avaliado o desenvolvimento de um modelo estatístico para impacto ambiental, a fim de prever a correlação de cada habitat em separado que foi suprimido para dar origem a uma barragem. Também foi avaliado o cenário atual, que conforme apresentado no item 4.2 (Análise do cenário atual das amostras), há um total de 79 ha de lavoura inseridos em APP a serem recuperados. Com isso, também foi pensado em desenvolver um modelo estatístico para determinar quais os possíveis habitats a serem instaurados para a recuperação e regularização das APPs.

4.3.1 Avaliação da modelagem dos habitats com a área de alague da barragem

Conforme descrito no item 3.4.1 (Avaliação da modelagem dos habitats com a área de alague da barragem), foi realizado o processamento dos dados, sem o perímetro da área de alague da barragem e as áreas dos habitats em estudo (água, lavoura, vegetação arbórea, área úmida e vegetação rasteira) no software R. Os resultados dessa avaliação, que foram processados de acordo com a Equação 1, estão mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Estimativas dos parâmetros do modelo de regressão linear múltipla ajustado.

	Coefficientes	Erro padrão	Valor t	Valor p
Interseção (Y)	475,2 (α)	50,51	9,409	1,98e-07
Água (X1)	0,007670 (β_1)	0,001046	7,333	3,71e-06
Lavora (X2)	0,01143 (β_2)	0,001253	9,125	2,87e-07
Vegetação Arbórea (X3)	0,004907 (β_3)	0,005174	0,948	0,359
Área Úmida (X4)	0,008815 (β_4)	0,0004185	21,060	5,33e-12
Vegetação Rasteira (X5)	0,009381 (β_5)	0,0002831	33,139	1,05e-14

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O valor p para cada termo testa a hipótese nula de que o coeficiente é igual a zero (sem efeito). Um valor p baixo ($< 0,05$) indica que a hipótese nula pode ser rejeitada. Isto é, uma preditora que tenha um valor p baixo provavelmente será uma adição significativa ao modelo, porque as alterações no valor da preditora estão relacionadas a alterações na variável resposta.

Por outro lado, um valor-p maior (insignificante) sugere que as mudanças na preditora não estão associadas a mudanças na resposta. Isso é indicado na Tabela 4 em vermelho, que o X3 (habitat referente a vegetação arbórea) não deve fazer parte da regressão.

4.3.2 Avaliação da modelagem dos habitats com a área de APP de cada barragem

A Tabela 5 mostra os resultados da avaliação da Equação 4 após o processamento dos dados com o software R, conforme determinado no item 3.4.2 (Avaliação da modelagem dos habitats com a área de APP de cada barragem).

Conforme pode ser observado na Tabela 5, para a regressão não devem fazer parte a vegetação arbórea (X4), juntamente com a área de água (X2). Isso porque, o valor p para ambas as variáveis preditoras é maior do que o nível alfa comum de 0,05, valores em vermelho, o que indica que não é estatisticamente significativo.

Tabela 5 – Estimativas dos parâmetros do modelo de regressão linear múltipla ajustado.

	Coeficientes	Erro padrão	Valor t	Valor p
Interseção (Y)	293,3 (α)	79,96	3,669	0,002835
Área de Alague (X1)	0,006265 (β_1)	0,0005006	12,516	1,26E-08
Água (X2)	-0,0002944 (β_2)	0,01246	-0,024	0,981506
Lavora (X3)	0,01107 (β_3)	0,002045	5,413	0,000119
Vegetação Arbórea (X4)	0,003070 (β_4)	0,006279	0,489	0,632993
Área Úmida (X5)	0,01655 (β_5)	0,006952	2,380	0,033307
Vegetação Rasteira (X6)	0,01378 (β_6)	0,004490	3,069	0,008971

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os resultados obtidos nas correlações avaliadas nos itens 4.3.1 (Avaliação da modelagem dos habitats com a área de alague da barragem) e 4.3.2 (Avaliação da modelagem dos habitats com a área de APP de cada barragem) mostram que não é possível estatisticamente trabalhar com os habitats de maneira separada. Conforme

as análises realizadas com os cenários de antes da construção da barragem e as APPs atuais, não foi possível obter uma correlação dos dados.

4.4 ANÁLISE DE IMPACTO – REMANESCENTE DE VEGETAÇÃO NATIVA E ÁREA CONSOLIDADA

Um estudo adicional foi realizado, conforme abordado no item 3.5 (Análise de impacto – remanescente de vegetação nativa e área consolidada). A análise de correlação é uma ferramenta importante para o entendimento das relações entre diferentes variáveis. Ela permite verificar se existe uma relação entre duas variáveis e qual a intensidade dessa relação. Nessa análise, foi aplicado a análise de correlação juntando as áreas dos habitats anteriormente analisados, agora sendo remanescente de vegetação nativa e área consolidada, a fim de analisar se juntando os habitats é possível obter uma regressão.

4.4.1 Avaliação da modelagem dos dados obtidos na área de alague da barragem

Para essa etapa da avaliação, a Tabela 6 mostra os resultados da avaliação da Equação 3, que considera avaliar a correlação do perímetro de alague da barragem a as áreas consolidadas (AC) e de remanescente de vegetação nativa (RVN), após o processamento dos dados com o software R, conforme explicado no item 3.5.1 (Avaliação da modelagem dos dados obtidos na área de alague da barragem).

Tabela 6 – Estimativas dos parâmetros do modelo de regressão linear múltipla ajustado.

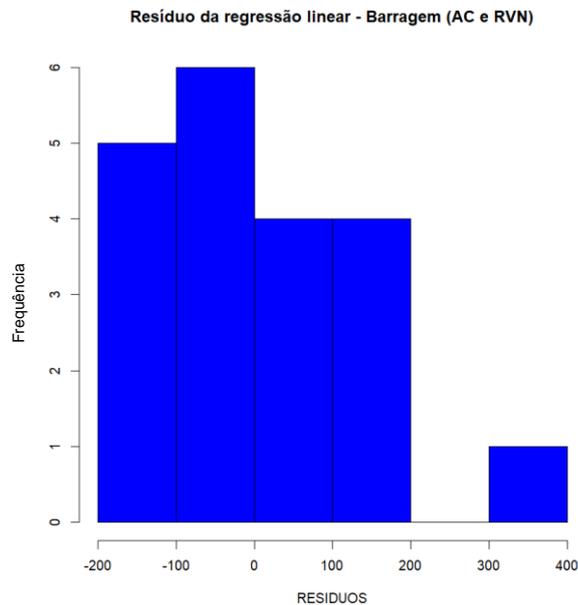
	Coefficientes	Erro padrão	Valor t	Valor p
Interseção (Y)	485,7 (α)	55,34	8,777	1,01e-07
AC (X1)	0,008897 (β_1)	0,0009672	9,199	5,19e-08
RVN (X2)	0,009171 (β_2)	0,0002827	32,438	< 2e-16

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Trabalhando com os valores juntos como área consolidada e remanescente de vegetação nativas foi observado pelo valor p a significância estatística para as variáveis ($p < 0,05$). Com esse resultado foi possível continuar o desenvolvimento das análises. A grande diferença é que além de testar a relação entre duas variáveis, a regressão pode ser usada para medir o efeito de uma variável. (LEVINE *et al.* 2008).

O histograma dos resíduos mostra a distribuição dos resíduos para todas as observações no cenário antes da construção da barragem (Figura 4).

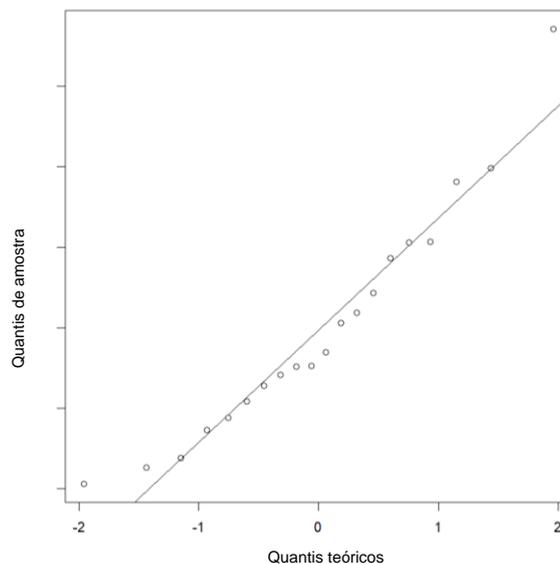
Figura 4 – Histograma de análise dos resíduos.



Fonte: Processamento dos dados no software R.

Ao analisar o histograma dos resíduos acima é possível observar que os dados são assimétricos e que há *outliers*. Para avaliar a suposição de normalidade dos erros, foi construído o gráfico da probabilidade normal dos resíduos (Figura 5), no qual foi observado que a violação da suposição de que os erros aleatórios têm distribuição normal.

Figura 5 – Probabilidade normal dos resíduos.



Fonte: Processamento dos dados no software R.

Na Figura 5, os pontos no gráfico fornecem uma indicação da normalidade do conjunto de dados. De maneira geral, os dados estão distribuídos normalmente (os pontos estão próximos a linha de referência de 45 graus). Existem algumas amostras que os dados não estão distribuídos normalmente (os pontos na extremidade do gráfico estão desviando da linha de referência).

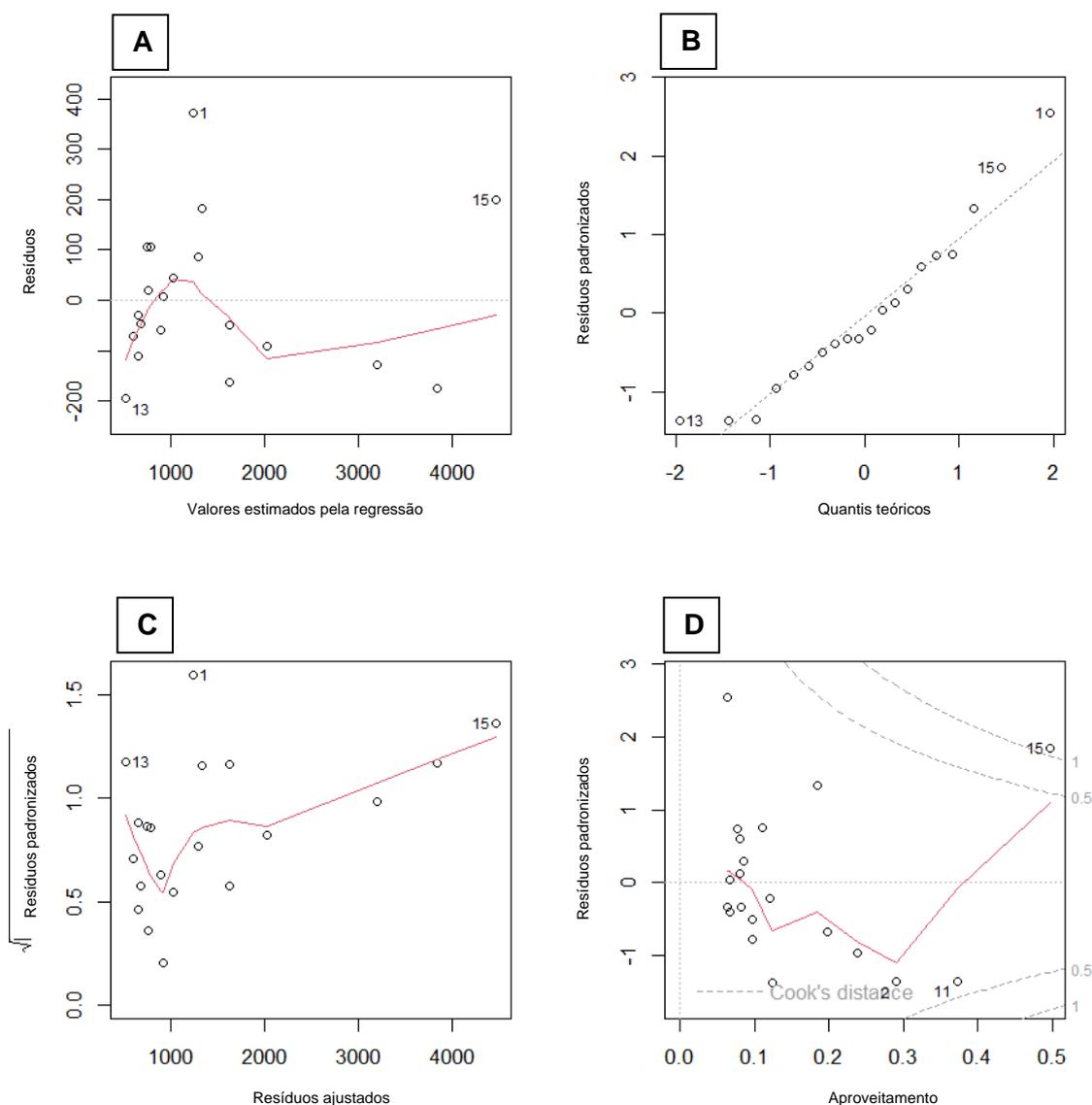
O Teste de Shapiro-Wilk, tem como objetivo avaliar se uma distribuição é semelhante a uma distribuição normal. Assim, os dados obtidos no Teste de Shapiro-Wilk referente a área de alagado da barragem são valor W foi de 0,94148, isto é, mede estatisticamente que as amostras aleatórias provêm de uma distribuição normal. Isso porque, quando W for mais próximo de 1, indica que há mais chances da amostra vir de uma distribuição normal. E o valor p do teste é 0,2557, maior que 0,05, aceita a hipótese nula, de que os dados vieram de uma população normalmente distribuída.

Na Figura 6 é possível observar a homogeneidade dos dados, isso é, a variância dos erros e , condicionada aos valores das variáveis explanatórias, sendo constante. Conforme mostrado na Figura 6A, é possível visualizar os resíduos nos eixos x e y e os valores previstos pela regressão. Os resíduos de cada amostra concentram-se próximos aos valores previstos na regressão (linha em vermelho), sendo que as barragens 1 e 15 se destoam das demais.

Na Figura 6B, ainda é possível visualizar os resíduos no eixo y , porém no eixo x temos os *quantis* esperados dos resíduos. Este valor esperado existe uma vez que erros aleatórios seguem uma distribuição normal. É possível observar que os erros se afastam da linha esperada (a linha sólida), indicando que os erros não são homogêneos, principalmente nos extremos (barragens 1, 13 e 15).

Na Figura 6C, é possível observar os resíduos padronizados com relação aos ajustados. Na Figura 6D, é mostrado o gráfico de probabilidade normal dos resíduos, é possível analisar os pontos influentes; dessa forma as amostras devem permanecer dentro dos vetores de estimativa, mostrando que a barragem 15 está fora da distância de *cook*.

Figura 6 – Análise da homogeneidade de variâncias. A) Resíduos *versus* valores estimados pela regressão; B) Padrão de resíduos; C) Resíduos padronizados *versus* resíduos ajustados e D) Análise de amostras influentes.



Fonte: Processamento dos dados no software R.

Com a análise estatística realizada com relação a área consolidada e ao remanescente de vegetação nativa (no cenário em que foi construída a barragem), pode-se concluir que as amostras fazem parte de uma população normal. Com isso, conforme o coeficiente de correlação existe a possibilidade de ter uma regressão.

4.4.2 Avaliação da modelagem dos dados obtidos na APP

Conforme descrito no item 3.5.2 (Avaliação da modelagem dos dados obtidos na APP), após o processamento dos dados no software R, na Tabela 7 estão os resultados da avaliação da Equação 4.

Tabela 7 – Estimativas dos parâmetros do modelo de regressão linear múltipla ajustado.

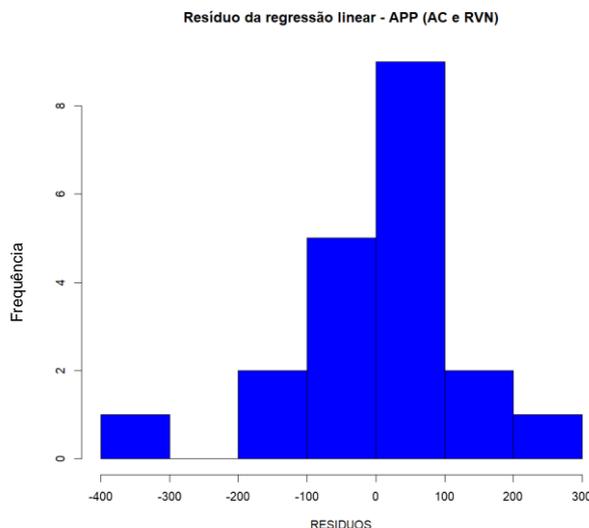
	Coefficientes	Erro padrão	Valor t	Valor p
Interseção (Y)	340,3 (α)	66,21	5,140	8,19e-05
AC (X1)	0,006484 (β_1)	0,0004767	13,603	1,45e-10
RVN (X2)	0,01013 (β_2)	0,001597	6,346	7,31e-06

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Trabalhando com os valores juntos como área consolidada e remanescente de vegetação nativas foi verificado pelo coeficiente de correlação de Pearson a significância estatística ($p < 0,05$). Dessa forma, os dois cenários, o antes da barragem (habitats a serem suprimidos pela área de alague) e o depois na APP a ser restaurada após a construção da barragem, apresentam um resultado o qual foi possível continuar o desenvolvimento das análises.

O histograma dos resíduos mostra a distribuição deles para todas as observações no cenário depois da construção da barragem com a restauração da APP (Figura 7).

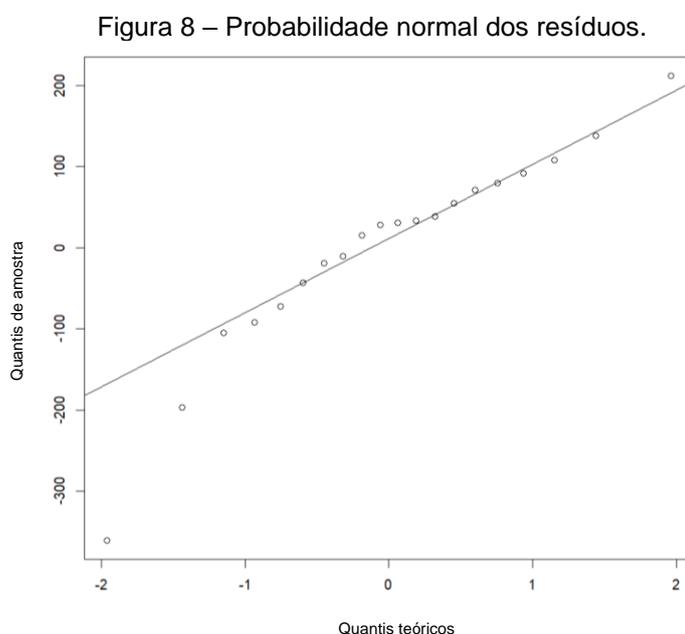
Figura 7 – Histograma de análise dos resíduos.



Fonte: Processamento dos dados no software R.

Ao analisar o histograma dos resíduos é possível observar que os dados são assimétricos e que há *outliers*. Para avaliar a suposição de normalidade dos erros, foi construído o gráfico da probabilidade normal dos resíduos, pela Figura 8, foi observado que a violação da suposição de que os erros aleatórios têm distribuição normal.

Na Figura 8, os pontos no gráfico fornecem uma indicação da normalidade do conjunto de dados. De maneira geral, os dados estão distribuídos normalmente (os pontos estão próximos a linha de referência de 45 graus). Existem duas amostras que os dados não estão distribuídos normalmente, os pontos na extremidade inferior do gráfico estão desviando da linha de referência.



Fonte: Processamento dos dados no software R.

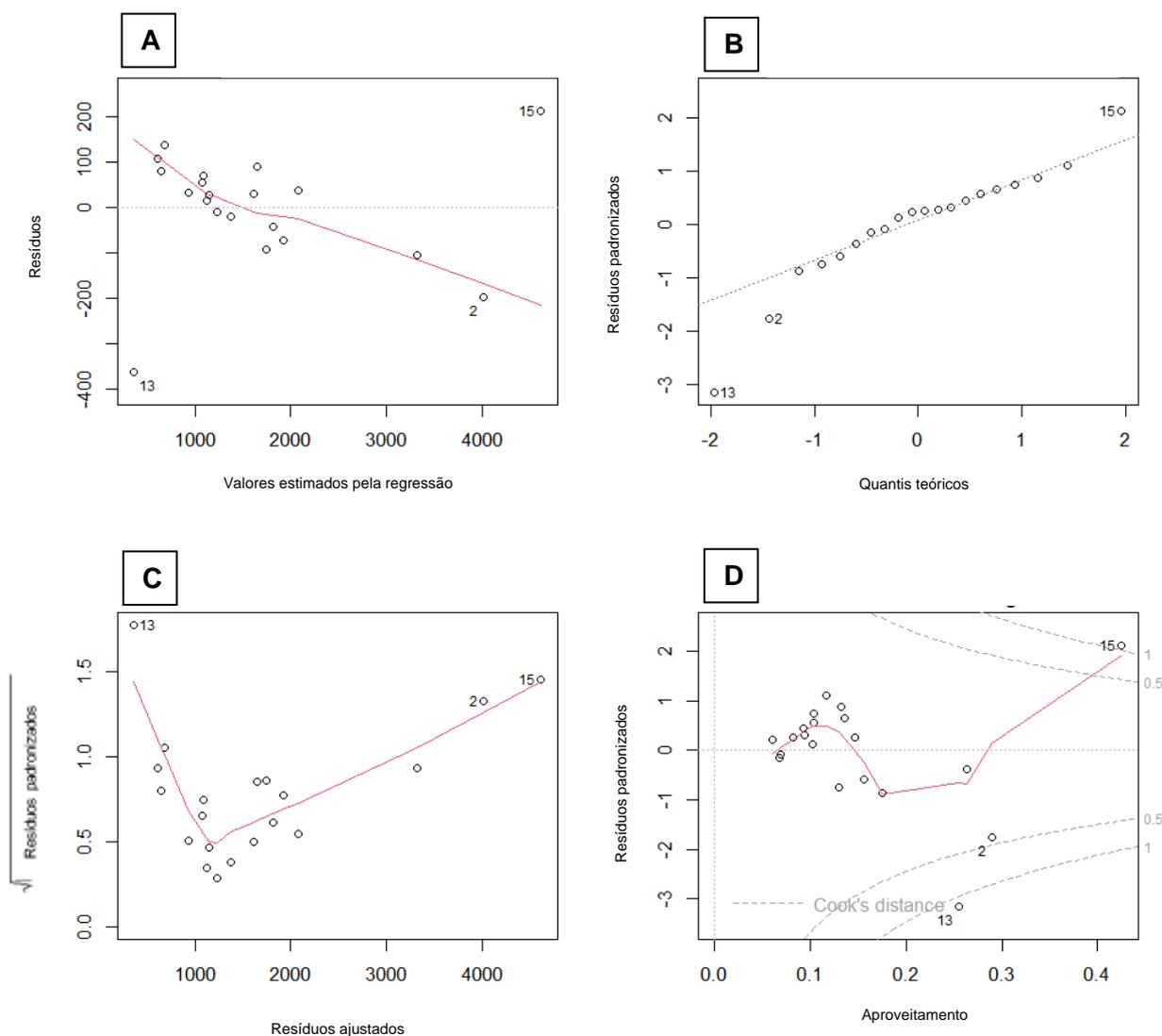
A fim de avaliar a normalidade da distribuição dos dados obtidos na APP foi realizado o teste de normalidade de Shapiro Wilk. O teste Shapiro-Wilk deu um valor W de 0,91876. Isso mede estatisticamente que uma amostra aleatória é de uma distribuição normal. O valor p do teste é 0,0938, que é maior que 0,05, aceitando-se a hipótese nula de que os dados provêm de uma população normalmente distribuída.

Na Figura 9 é possível observar a homogeneidade dos dados, isso é, a variância dos erros e , condicionada aos valores das variáveis explanatórias, sendo constante. Conforme mostrado na Figura 9A, é possível visualizar os resíduos no eixo y e no eixo x , além dos resíduos previstos pela regressão.

Na Figura 9B, ainda é possível visualizar os resíduos no eixo y. Mas no eixo x temos os quantis esperados dos resíduos. Este valor esperado existe uma vez que erros aleatórios seguem uma distribuição normal. É possível observar que os erros se afastam da linha esperada (a linha sólida), indicando que os erros não são homogêneos, principalmente nos extremos (barragens 2, 13 e 15).

Na Figura 9C, são mostrados os resíduos padronizados com relação aos ajustados. Na Figura 9D, é feita a análise dos pontos influentes, mostrando que as barragens 2, 13 e 15 estão fora da distância de *cook*.

Figura 9 – Análise da homogeneidade de variâncias. A) Resíduos *versus* valores estimados pela regressão; B) Padrão de resíduos; C) Resíduos padronizados *versus* resíduos ajustados e D) Análise de amostras influentes.



Fonte: Processamento dos dados no software R.

Com as análises dos itens 4.4.1 (Avaliação da modelagem dos dados obtidos na área de alagado da barragem) e 4.4.2 (Avaliação da modelagem dos dados obtidos na APP) é possível afirmar que há correlação dos dados, podendo desenvolver uma regressão e análises estatísticas mais detalhadas. No entanto, não é coerente analisar apenas as áreas a serem suprimidas com as áreas a serem preservadas, uma vez que cada habitat tem sua peculiaridade e sua importância na microbacia. Dessa forma, a supressão de um habitat estável para a construção de uma barragem de irrigação, mesmo que haja recuperação de APP no entorno da barragem que foi construída, vai acarretar impacto ambiental, ainda que APP seja maior do que a área alagada.

5 CONCLUSÕES

Atualmente, tem-se observado que os produtores rurais estão vivenciando uma situação em que é necessário produzir cada vez mais no mesmo espaço. Neste caso, os três pilares da sustentabilidade (social, econômico e ambiental) estão sendo constantemente avaliados e analisados para conseguir um equilíbrio cada vez mais justo entre si. Com isso, as ciências rurais vêm desenvolvendo e estudando técnicas para o aumento da produção, como por exemplo, a agricultura de precisão e os sistemas de irrigação.

De fato, as demandas de sustentabilidade na prática ressaltam a importância e a necessidade do cumprimento das leis ambientais aplicáveis recuperação e a regulamentação de APP entorno de barragens de irrigação. Para evitar qualquer impacto negativo no meio ambiente e facilitar o licenciamento ambiental para construção de novas barragem de irrigação.

É importante salientar que os locais onde são escolhidos normalmente são áreas de baixada, isto é, haverá a supressão de vegetações do habitat área úmida. Sobre a necessidade de preservação e de recuperação das APPs entorno das barragens, o solo onde haverá essa reposição de vegetação nativa é hoje uma área consolidada (lavoura). Essa situação, proporciona a diminuição dos habitats de área úmida e que os mesmos não poderão ser recuperados, pois esse tipo de habitat depende da topografia do terreno.

Por causa dessa perda de habitat, a proposta do trabalho era trabalhar com os habitats de maneira separada, a fim de mencionar o impacto causado com a construção de barragens para irrigação. Pois como abordado anteriormente as APP a serem recuperadas haverá vegetação arbóreo ou rasteira, pois, a topografia do terreno não permitirá a repor uma área úmida.

É possível que na região de estudo, por ser no Bioma Pampa, as áreas de vegetação arbórea não foram representativas, em virtude da fitossociologia local. No entanto, esse habitat (vegetação arbórea) não pode ser desconsiderado, pois ao tratar de impacto ambiental o Estado do Rio Grande do Sul publicou uma Instrução Normativa SEMA N^o 01/2018 que estabelece procedimentos a serem observados para a Reposição Florestal Obrigatória (RFO).

A análise dos dados com os habitats de remanescente de vegetação nativa e área consolidada serviu apenas para conferir se havia correlação com a temática

proposta (alagar para recuperar o entorno da área de alague). No entanto, não foi possível prosseguir com essa avaliação pois isso poderia ser apenas um índice de APP a ser recuperada dividido pela área de alague.

Dessa maneira, o valor sendo maior que 1 o impacto ambiental seria mais do que compensado, podendo afirmar que se a APP a ser recomposta é maior que a área de alague já caracteriza com um aumento futuro de habitats naturais. Contudo, analisar apenas as áreas de remanescente de vegetação nativa a serem alagadas com as APPs a serem recuperadas é incoerente, pois cada habitat tem especificidade e importância em sua microbacia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017 (BHO 2017). Acessado em 22 de setembro de 2020. Disponível em <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/0c698205-6b59-48dc-8b5e-a58a5dfcc989>.

AQEEL-UR-REHMAN.; SHAIKH, Z. A. Smart agriculture. *In*: ZUBAIRI, J. A. **Application of modern high performance networks**. Sharjah: Bentham Science Publishers Ltd., 2009.

AVANZI, J. C. **Modelagem do escoamento superficial e erosão hídrica em uma microbacia hidrográfica na região dos tabuleiros costeiros**. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Universidade Federal de Lavras, 2005.

BARROS, J. G. do C. Origem, Distribuição e Preservação da Água no Planeta Terra. **Revista das Águas**, n. 6, 2008.

BELTRAME, A.V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 112 p., 1994.

BHATTI, S.; HEEREN, D. M.; BARKER, J. B.; NEALE, C. M. U.; WOLDT, W. E.; MAGUIRE, M. S.; RUDNICK, D. R. Site-specific irrigation management in a sub-humid climate using a spatial evapotranspiration model with satellite and airborne imagery, **Agricultural Water Management**, v. 230, 2020.

BRASIL. **Decreto nº 6.848, de 14 de maio de 2009**. Altera e acrescenta dispositivos ao Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002, para regulamentar a compensação ambiental. Brasília: DOU, 15 mai. 2009. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/decreto/d6848.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%206.848%2C%20DE%2014,vista%20o%20disposto%20no%20art. Acesso em: 18 mai. 2023

BRASIL. **Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011**. Fixa normas, nos termos dos incisos III, VI e VII do cap. do parágrafo único do art. 23 da Constituição Federal, para a cooperação entre a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios nas ações administrativas decorrentes do exercício da competência comum relativas à proteção das paisagens naturais notáveis, à proteção do meio ambiente, ao combate à poluição em qualquer de suas formas e à preservação das florestas, da fauna e da flora, e altera a Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981. Brasília: DOU, 9 dez. 2011. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LCP/Lcp140.htm. Acesso em: 15 mai. 2023.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: DOU, 02 set. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm. Acesso em: 22 mai. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.615, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, altera as Leis 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006, revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, e dá outras providências. Brasília: DOU, 28 mai. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 18 mai. 2023.

BRASIL. **Projeto de Lei nº 1282, 28 de fevereiro de 2019.** Altera a Lei 12.651/12, de 25 de maio de 2012. Altera o Código Florestal para permitir nas áreas de preservação permanente dos imóveis rurais, a construção de reservatórios d'água para projetos de irrigação e a infraestrutura física a ele associado. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/135567>. Acesso em: 23 jun. 2023.

CARVALHO, A. B. P.; OZORIO, C. P. Avaliação sobre os Banhados do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 1, n. 2, p. 83 - 97, 2007.

CASTRO, C. N. **Gestão das Águas:** experiências internacional e brasileira. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2012.

CEBALLOS, G.; EHRLICH, P.R.; BARNOSKY, A.D.; GARCÍA, A.; PRINGLE, R.M.; PALMER, T.M. Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. **Environmental Sciences**, Adv. 1, e1400253, 2015.

COMISSÃO INTERNACIONAL DE GRANDES BARRAGENS - CIGB. **As barragens e a água do mundo:** Um livro educativo que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo. Rio de Janeiro, RJ: CIGB, 64 p., 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986.** Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasília: Alterada pela Resolução nº 11/86, Resolução nº 5/87, Resolução nº 237/97. DOU, 17 fev. 1986. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997.** Regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília: DOU, 22 dez. 1997. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0237-191297.PDF>. Acesso em: 18 mai. 2023.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - CONSEMA. **Resolução nº 323, 08 de setembro de 2016.** Dispõe sobre os procedimentos de Licenciamento Ambiental dos empreendimentos de irrigação. Alterada pelas Resoluções CONSEMA 336/2017, 340/2017 e 372/2018. Porto Alegre: DOE 21 set. 2016. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/01170951-323-2016-licenciamento-de-irrigacao-compilada.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - CONSEMA. **Resolução nº 372, 22 de fevereiro de 2018**. Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental. Alterada pelas Resoluções 375/2018, 377/2018, 379/2018, 381/2018, 383/2018, 389/2018, 395/2019, 403/2019, 408/2019, 415/2019, 424/2020, 429/2020, 432/2020, 437/2021, 441/2021, 445/2021, 446/2021, 448/2021, 452/2021, 464/2022 e 467/2022. Porto Alegre: DOE de 01 mar. 2018. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/15120855-372-2018-atividades-licenciavies-revisao-288.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2023.

CHAUHDARY, J. N. et al. Impact assessment of precision agriculture and optimization of fertigation for corn growth. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 57, n. 4, p. 993 - 1001, 2020.

CHUEH, A.M.; SANTOS, L.J.C. Análise do potencial de degradação ambiental na bacia hidrográfica do Rio Pequeno em São José dos Pinhais/PR, por meio do DFC - Diagnóstico Físico Conservacionista. **R. RA´E GA**, n. 10, p. 61 – 71, 2005.

CREMONEZ, F.E.; CREMONEZ, P. A.; FEROLDI, M.; DE CAMARGO, M. P.; KLAJN, F. F.; FEIDEN, A. Avaliação de impacto ambiental: metodologias aplicadas no Brasil. **REMOA**, v. 13, n. 5, 2014.

DE CARLI, B. P.; SOUZA, J. C.; SOUSA, J. A. P.; SHOEGIMA, T. F.; BARREIRO, M. P. R.; DUTRA, A. C.; MEDEIROS, G. A.; RIBEIRO, A. I.; BRESSANE, A. Relationship between land use and water quality in a subtropical river basin. **Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 7, n. 3, p. 245 – 261, 2018.

DOS SANTOS, R. R. Irrigação como alternativa de sustentabilidade agrícola e ambiental. **Saber Acadêmico**, n. 10, 2010

DOYLE, M.W.; HARBOR, J.M.; STANLEY, E.H. Toward policies and decisionmaking for dam removal. **Environmental Management**, v. 31, n. 4, p. 453 - 465, 2003.

EUROPEAN SPACE AGENCY - ESA. Copernicus Open Access Hub. Acessado em 22 de janeiro de 2023. Disponível em: <HTTPS://SCIHUB.COPERNICUS.EU/DHUS/#/HOME>.

FERREIRA, A.O.; SÁ, J.C. DE M.; NASCIMENTO, C.G.; RAMOS, F.S. Impacto de Resíduos Orgânicos em Abatedouro de Aves e Suínos na Produtividade do Feijão na Região dos Campos Gerais. **Revista Verde**, v. 5, n. 4, p. 15 – 21, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **O futuro do alimento e da agricultura**. Roma. 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture - Systems at breaking point**. Rome: 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/3/cb7654en/cb7654en.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2023.

FRANÇA, L. V. G.; BRESSANE, A.; SILVA, F. N.; PECHE FILHO, A.; MEDEIROS, G. A.; RIBEIRO, A. I.; ROVEDA, S. R. M. M. Modelagem Fuzzy aplicada à análise da paisagem: Uma proposta para o diagnóstico ambiental participativo. **Environmental Management**, v. 3, n. 3, p. 124 - 141, 2014.

FREITAS, E. P.; MORAES, J. F. L.; PECHE FILHO, A.; STORINO, M. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 443 - 449, 2013

GARDIMAN JR.; B.S.; COUTO, D. R.; SOUZA, F. B. C.; SANTOS JR.; G. N. DOS, SANTOS, A. R. DOS. Perda de solo por erosão hídrica em áreas de preservação permanente na microbacia hidrográfica Córrego do Horizonte, Alegre. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 9, n. 2, p. 21 - 34, 2012.

GARDNER, T. A.; BARLOW J.; CHAZDON, R.; EWERS, R. M.; HARVEY, C. A.; PERES, C. A. & SODHI.; N. S. Prospects for tropical forest biodiversity in a human-modified world. **Ecology Letters**, n. 12, p. 561 – 582, 2009.

GETZNER, M. Investigating public decisions about protecting wetlands. **Journal of Environment Management**, n. 64, p. 237 - 246, 2002.

GROOM, M. J. & VYNNE, C. H. Habitat degradation and loss. In: Groom, M. J.; Meffe, G. K. & Carroll, C. R. (Eds.). **Principles of Conservation Biology**. Sunderland: Sinauer Associates, p.173 – 212, 2006.

INCROCCI, L.; MASSA, D.; PARDOSSI, A. New trends in the fertigation management of irrigated vegetable crops. **Horticulturae**, v. 3, n. 2, p. 1 - 20, 2017.

LAMBECK, R. J. Focal Species: A Multi-Species Umbrella for Nature Conservation. **Conservation Biology**, n. 11, p. 849 – 856, 1997.

LEVIEN, S. L. A.; FIGUEIRÊDO, V. B.; DE ARRUDA, L. E. V. **Panorama da atual área de agricultura irrigada no Brasil**. Nova Xavantina, MT: Pantanal, 153 p., 2021.

LEÃO, F.R. **Dimensionamento de uma pequena barragem de terra para produção de energia hidrelétrica e irrigação em uma propriedade rural**. Monografia para obtenção do título de Bacharel em Engenharia agrícola, Universidade Estadual de Goiás, 2012.

LEONARDO, H. C. L. **Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da Microbacia Hidrográfica do Rio Passo Cue, região oeste do Estado do Paraná**. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, 2003.

LEVINE, D. M.; STEPHAN, D. F.; KREHBIEL, T. C.; BERENSON, M. L. **Estatística: teoria e aplicações**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

LIAGHAT, S.; BALASUNDRAM, S.K. A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 5, n. 1, p. 50 – 55, 2010.

LIMA, H. M.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **REM: Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 3, p. 525 – 536, 2007.

LOYN, R. H.; MCNABB, E. G.; MACAK, P. & NOBLE, P. Eucalypt plantations as habitat for birds on previously cleared farmland in south-eastern Australia. **Biological conservation**, n. 137, p. 533 – 548, 2007.

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Barragens de Terra e Enrocamento. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, Cap. 5, 2004.

MARQUES, B. V.; MEDEIROS, G. A. **Diagnóstico da qualidade de barragens para irrigação na Bacia Hidrográfica do Rio Samambaia, no município de Cristalina-GO**. In: X Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2019. Fortaleza. Anais IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/V-044.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2023.

MEDEIROS, G. A.; MARQUES, B. V.; FENGLER, F. H.; MACHADO, F. H.; MORAES, J. F. L.; PECHE FILHO, A.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I. Environmental assessment using landscape analysis methodology: the case of the Jundiaí-Mirim river basin, Southeast Brazil. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 203, p. 25 – 36, 2016.

MOKHTARI, A.; NOORY, H.; POURSHAKOURI, F.; HAGHIGHATMEHR, P.; AFRASIABIAN, Y.; RAZAVI, M.; FERAYDOONI, F.; NAENI, A. S. Calculating potential evapotranspiration and single crop coefficient based on energy balance equation using Landsat 8 and Sentinel-2. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 154, p. 231 - 245, 2019.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão, Parte 1: o que é estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997.

MOSCA, A. A. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas**. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, 2003.

NILSSON, C.; BERGGREN, K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation. **BioScience**, v. 50, n. 9, p. 783 - 792, 2000.

NILSSON, C.; REIDY, C.A.; DYNESIUS, M.; REVENGA, C. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. **Science**, v. 308, p. 405 - 408, 2005.

O'SHAUGHNESSY, S. A.; EVETT, S. R.; COLAIZZI, P. D.; ANDRADE, M. A.; MAREK, T. H.; HEEREN, D. M.; LAMM, F. R.; LARUE, J. L. Identifying advantages and disadvantages of variable rate irrigation - an updated review. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 35, n. 6, p. 837 - 852, 2019.

OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFDADENHAUER, J.; PILLAR, V. D.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I.; BOTH, R.; FORNECK E. D. Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, n. 9, p. 101 – 116, 2007.

PEREIRA, D. G. S. P.; PANARELLI, E. A.; PINHEIRO, L. S.; GONÇALVES, A. V. M.; PEREIRA, L. P. Área de Preservação Permanente e Reserva Legal: Estudo de Caso na Bacia do Córrego Bebedouro. **Ambiente & Sociedade**, n. 20, p. 105 - 126, 2017.

PEREIRA, R. M.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; SALES, D. L.; RODRIGUEZ, W. D. M.; SOUZA, J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga**, Edição Especial, p. 149 - 157, 2015.

PFRAFSTETTER, O. **Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação**. Rio de Janeiro, RJ: DNOS, 1989.

PICOLLI, L.R.; SCHNADELBACH, C. V. (Coord.) **O Pampa em Disputa: A biodiversidade ameaçada pela expansão das monoculturas de árvores**. Porto Alegre: Amigos da Terra Brasil, 2007.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos, DEL PRETTE, M. E. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. *In*: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Ed.) **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 293 p., 2002.

PROJETO DE CONSERVAÇÃO E UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DA DIVERSIDADE BIOLÓGICA BRASILEIRA – PROBIO. **Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 31 p., 2007.

REBOUÇAS, A.C. Água doce no mundo e no Brasil. *In*: REBOUÇAS, A. C, BRAGA, B.B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006.

REYES-GONZÁLEZ, A.; KJAERGAARD, J.; TROOIJEN, T.; HAY, C.; AHIBLAME, L. Estimation of crop evapotranspiration using satellite remote sensing-based vegetation index. **Advances in Meteorology**, v. 2018, p. 1 - 13, 2018.

ROESCH, L.F.W.; VIEIRA, F.C.B.; PEREIRA, V.A.; SCHUNEMANN, A.L.; TEIXEIRA, I.F.; SENNA, A.J.T.; STEFENON, V.M. The Brazilian Pampa: A fragile biome. **Diversity**, n. 1, p. 182 - 198, 2009.

SAMPAIO, M.V.; SANTOS, M.S.; ROCHA, J.S.M.; PAULA, M.D.; MENDES, A.V. Deterioração físico-conservacionista da sub - bacia hidrográfica do Rio Ibicuí-Mirim – RS. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, 2010.

SECRETÁRIA DE ESTADO DO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMA. **Instrução Normativa SEMA N ° 01/2018**. Estabelece procedimentos a serem observados para a Reposição Florestal Obrigatória no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: DOE 30 nov. 2018. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/reposicao-florestal-obrigatoria>. Acesso em: 25 jun. 2023.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; DE OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. *In*: BERNARDI, A. C. et al. **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014.

SILVA, C. O. F.; MEDEIROS, G. A. Avaliação ambiental e morfométrica da bacia do rio Jundiá-Mirim: diagnóstico e subsídios para gestão ambiental. **Boletim Campineiro de Geografia**, v. 7, n. 2, p. 441 – 454, 2017.

SISTEMA DE OUTORGA DE ÁGUA - SIOUT. Consulta SIOUT. Acessado em 22 de junho de 2023. Disponível em <http://www.siou.rs.gov.br/consulta/#/>.

SOUZA, D. V. **A construção da barragem de Araçagi-PB e as transformações espaciais e culturais da comunidade Tainha**. Trabalho de Conclusão de Curso em Graduação em Geografia, Universidade Estadual da Paraíba, 2010.

SOUZA, M. C. B. **Influência da Mata Ciliar na Qualidade da Água de Trecho do Rio Jacarecica – Maceió/AL**. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal do Alagoas, 2012.

SOUZA, C. F.; CONCHESQUI, M. E. S.; SILVA, M. B. Semiautomatic irrigation management in tomato. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p.118 - 125, 2019.

SCHULZE, K.; KNIGHTS, K.; COAD, L.; GELDMANN, J.; LEVERINGTON, F.; EASSOM, A.; MARR, M.; BUTCHART, S.H.M.; HOCKINGS, M.; BURGESS, N.D.; 2018. An assessment of threats to terrestrial protected areas. **Conservation Letters**, n 10, e12435, 2018.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005

WATHERN, P. An introduction guide to EIA. *In*: WATHERN, P. (Org.) **Environmental impact assessment: theory and practice**. London: Unwin Hyman, p. 3 – 30, 1998.