

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

AURÉLIO DE SOUZA FERRÃO

**DELIMITAÇÃO E ANÁLISE DE ÁREAS ÚMIDAS A PARTIR DE IMAGENS DE
SATÉLITE SENTINEL-2 APLICANDO O GOOGLE EARTH ENGINE**

PORTO ALEGRE

2021

AURÉLIO DE SOUZA FERRÃO

**DELIMITAÇÃO E ANÁLISE DE ÁREAS ÚMIDAS A PARTIR DE IMAGENS DE
SATÉLITE SENTINEL-2 APLICANDO O GOOGLE EARTH ENGINE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geodesia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor.

Orientador: Prof. Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho

PORTO ALEGRE

2021

Ferrão, Aurélio de Souza

DELIMITAÇÃO E ANÁLISE DE ÁREAS ÚMIDAS A PARTIR DE
IMAGENS DE SATÉLITE SENTINEL-2 APLICANDO O GOOGLE
EARTH ENGINE / Aurélio de Souza Ferrão. -- 2021.

57 f.

Orientador: Clódís de Oliveira Andrades Filho.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto
de Geociências, Curso de Engenharia Cartográfica,
Porto Alegre, BR-RS, 2021.

1. Áreas Úmidas. 2. Sensoriamento Remoto. 3. NDWI.
4. Uso e Cobertura da Terra. 5. Google Earth Engine.
I. Andrades Filho, Clódís de Oliveira, orient. II.
Título.

AURÉLIO DE SOUZA FERRÃO

**DELIMITAÇÃO E ANÁLISE DE ÁREAS ÚMIDAS A PARTIR DE IMAGENS DE
SATÉLITE SENTINEL-2 APLICANDO O GOOGLE EARTH ENGINE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Geodesia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho
Departamento de Geodésia – UFRGS

Profa. Dra. Flávia Cristiane Farina
Departamento de Geodésia – UFRGS

Prof. Dr. Reginaldo Macedônio da Silva
Departamento de Geodésia – UFRGS

RESUMO

Este trabalho consiste na delimitação de Áreas Úmidas (AUs) na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (BHRG) na plataforma Google Earth Engine (GEE) através de imagens de satélite da constelação Sentinel-2. Para atingir o objetivo proposto utilizou-se a aplicação de índices extraídos através de álgebra entre bandas espectrais para detecção de elementos específicos da paisagem, como o *Normalized Difference Water Index* (NDWI), proposto por Gao (1996) e que utiliza as bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR) e infravermelho próximo (NIR), respectivamente as bandas B12 e B8 das imagens captadas pelo sensor *MSI* da constelação Sentinel-2. Através do NDWI, e baseado no histograma deste, foi possível identificar os valores de reflectância contidos no intervalo mínimo e máximo que representou as regiões similares de interesse e categorizá-las pelo método de fatiamento delimitando as AUs. Para validar as Áreas Úmidas delimitadas neste trabalho, realizou-se uma comparação com as feições Área Úmida e Terreno Sujeito a Inundação da Base cartográfica digital da Região Funcional-1 na escala 1:25.000, que pertence a Cartografia Digital do RS, da Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão do Estado do Rio Grande do Sul (DEPLAN). Também, foi realizado o mapeamento de uso e cobertura da terra da BHRG, através de classificação supervisionada, onde foi utilizado o algoritmo de árvore de decisão Random Forest. O mapa de uso foi gerado para fazer o cruzamento com as áreas úmidas identificadas a fim de avaliar a ocupação destas áreas.

Palavras-chave:

Áreas Úmidas, Sensoriamento Remoto, NDWI, Uso e Cobertura da Terra, Google Earth Engine.

ABSTRACT

This work consists of the delimitation of Wetlands (UAs) in the Gravataí River Basin (BHRG) using the Google Earth Engine (GEE) platform through satellite images of the Sentinel-2 constellation. To achieve the proposed objective, the application of indices extracted through algebra between spectral bands was used to detect specific elements of the landscape, such as the Normalized Difference Water Index (NDWI), proposed by Gao (1996) and which uses infrared bands short wave (SWIR) and near infrared (NIR), respectively, the B12 and B8 bands of the images captured by the MSI sensor of the Sentinel-2 constellation. Through the NDWI, and based on its histogram, it was possible to identify the reflectance values contained in the minimum and maximum range that represented the similar regions of interest and categorize them by the slicing method delimiting the AUs. To validate the Wet Areas delimited in this work, a comparison was made with the Wet Area and Land Subject to Flooding features of the Digital Cartographic Base of the Functional Region-1 on a scale of 1:25,000, which belongs to the Digital Cartography of RS, of the Secretariat of Planning, Budget and Management of the State of Rio Grande do Sul (DEPLAN). Also, the mapping of land use and coverage of BHRG was carried out, through supervised classification, where the Random Forest decision tree algorithm was used. The use map was generated to cross-reference with the identified wetlands in order to assess the occupation of these areas.

Keywords:

Wetlands, Remote Sensing, NDWI, Land Use and Coverage, Google Earth Engine.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de aquisição de imagens de sensoriamento remoto.....	13
Figura 2 - Espectro eletromagnético e seus comprimentos de onda e suas frequências.	14
Figura 3 - Propriedades espectrais e espaciais do satélite Sentinel-2.....	16
Figura 4 - Comportamento espectral dos principais componentes da superfície terrestre.	20
Figura 5 - Exemplo de Árvore de decisão do Random Forest.	23
Figura 6 - Layout de visualização do ambiente de edição de código do GEE.	25
Figura 7 - Mapa de localização da área de estudo.....	26
Figura 8 - Ilustração do mosaico de imagens com o recorte do limite da BHRG em composição RGB, cor natural, através das bandas B4, B3, B2 respectivamente.	29
Figura 9 - Imagem NDWI representada em tons de cinza.	30
Figura 10 - Histograma com a frequência de valores resultantes de índice NDWI.	30
Figura 11 - Mosaico de imagens com o recorte do limite da BHRG em composição RGB, cor natural, através das bandas B4, B3, B2 respectivamente.	32
Figura 12 - Mosaico de imagens com o recorte do limite da BHRG em composição RGB, falsa cor, através das bandas B12, B8, B4 respectivamente.	33
Figura 13 - Geometrias disponibilizadas no GEE e as amostras das classes que foram incorporadas ao projeto.	37
Figura 14 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra na BHRG.....	41
Figura 15 - Mapa das Áreas Úmidas e os principais rios e afluentes da BHRG.....	45
Figura 16 - Mapa comparativo das Áreas Úmidas delimitadas com as Área úmida e Terreno Sujeito a Inundação da Base cartográfica digital Região Funcional 1.	47
Figura 17 - Mapa de Uso da Terra nas Áreas Úmidas em destaque Área Urbanizada da BHRG.....	50
Quadro 1 - Comprimentos de onda, larguras de banda e as respectivas resoluções espaciais do sensor MSI, satélite Sentinel 2.	17
Quadro 2 - Categorias de análise do Uso e Cobertura da Terra utilizadas na classificação com base em imagens do satélite Sentinel 2 na BHRG.	35
Quadro 3 - Matriz de confusão sobre a classificação de uso e cobertura da terra na BHRG.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 FUNDAMENTAÇÃO	11
2.1 ÁREAS ÚMIDAS	11
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO	12
2.2.1 Sistemas Sensores	14
2.2.2 Sistemas de Satélites	15
2.2.2.1 <i>Missão Copernicus Sentinel-2</i>	16
2.2.3 Análise de Imagens de Sensoriamento Remoto	17
2.2.4 Classificação de Imagens	22
2.2.5 Índice Espectral	23
2.3 GOOGLE EARTH ENGINE	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 ÁREA DE ESTUDO	26
3.2 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS ÚMIDAS	28
3.2.1 Seleção das Imagens	28
3.2.2 Mosaico	29
3.2.3 NDWI	29
3.2.4 Fatiamento	30
3.3 MAPEAMENTO DE COBERTURA E USO DA TERRA	31
3.3.1 Seleção das Imagens	31
3.3.2 Mosaico	31
3.3.3 Definição das Classes	33
3.3.4 Classificação	37
3.4 ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA NAS ÁREAS ÚMIDAS	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 USO E COBERTURA DA TERRA NA BHRG	39
4.1.1 Matriz de Confusão e Teste de Acurácia	42
4.2 ÁREAS ÚMIDAS NA BHRG	44
4.2.1 Validação das Áreas Úmidas Delimitadas	46
4.2.2 Uso e Cobertura da Terra nas Áreas Úmidas	48
4.2.3 Usos Conflitantes nas Áreas Úmidas	51
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
6 REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Áreas úmidas (AUs) abrigam ecossistemas ecologicamente importantes e ambientalmente sensíveis, frequentemente, estes ambientes necessitam de saneamento. Transformações importantes em áreas úmidas naturais têm ocorrido pela ocupação rural e urbana (p.e, GUASSELLI, 2018), principalmente, por práticas de agricultura, indústria e habitação.

No Estado do Rio Grande do Sul (RS) as AUs podem ser consideradas Áreas de Preservação Permanente (APP), quando caracterizadas como banhado. Assim, os órgãos ambientais licenciadores são criteriosos na análise de empreendimentos localizados nestes ambientes. Em meados de 2011, o Ministério Público do Estado realizou uma operação denominada Ouro Verde de combate à fraude em licenciamentos ambientais no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, onde foram identificados 17 (dezessete) loteamentos nos municípios de Capão da Canoa, Xangri-Lá e Tramandaí com irregularidades (MPRS, 2011). Um dos problemas identificados foi o aterramento de áreas úmidas, caracterizadas como banhados.

A complexa e frequente ocupação antrópica em AUs exige o aperfeiçoamento de tecnologias que permitam a gestão, sobretudo a fiscalização, destas áreas. Com o avanço das geotecnologias, as imagens provenientes de Sensoriamento Remoto (SR) tornam-se ferramentas poderosas em análises espaciais, pois permitem informação dinâmica e precisa sobre a superfície terrestre, subsidiando o desenvolvimento de pesquisas e tornando-se imprescindíveis em estudos de planejamento e monitoramento ambiental. Entre estas tecnologias algumas possuem potencial inovador a ser explorado e testado, como a Plataforma Google Earth Engine (GEE, 2021), uma avançada base de processamento geoespacial em nuvem que permite ao usuário visualizar, manipular, editar e criar dados espaciais através do desenvolvimento e aplicação de algoritmos ágeis e interativos com acesso instantâneo a petabyte de dados (GEE, 2021). Esta Plataforma está sendo aplicada no Projeto MapBiomass, uma iniciativa multi-institucional nacional para gerar mapas anuais de cobertura e uso do solo a partir de processos de classificação automática com emprego das imagens da série histórica do satélite Landsat (p.e., GOWARD et al., 2018; WULDER et al., 2016) para todo o território brasileiro (SOUZA

et al., 2020). Com a disponibilidade recente de imagens dos satélites Sentinel 2 na Plataforma GEE é essencial que investigações sejam realizadas com intuito de aplicar e avaliar o uso dessa base para caracterização e monitoramento ambiental, sobretudo da cobertura e uso do solo (p.e., LIMA et al., 2019). Esta necessidade ocorre devido ao potencial espectral, temporal, espacial e radiométrico de uso das imagens do Sentinel 2 (DRUSCH et al., 2012), podendo vir a compor uma base de relevante aplicação sistemática na gestão ambiental pública.

As informações espacializadas sobre o uso e cobertura do solo são fatores essenciais na elaboração e implementação de projetos de planejamento territorial, pois permitem mapear as formas impróprias e pouco conservacionistas dos recursos naturais, além de fundamentais na fiscalização ambiental territorial, sobretudo em áreas como a Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (BHRG). Assim, este trabalho realiza a delimitação espacial das AUs na BHRG, e espacializa o uso e ocupação do solo associados, a partir de processamento de imagens de satélite da constelação Sentinel-2 utilizando a plataforma GEE.

Objetivo geral:

Mapear as áreas úmidas e a cobertura e uso da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (BHRG), a partir de processamento de imagens de satélite da constelação Sentinel-2 no ambiente da Plataforma Google Earth Engine.

Objetivos específicos:

- realizar o mapeamento da cobertura e uso da terra na BHRG através de técnicas de classificação supervisionada;
- analisar a cobertura e o uso da terra nas áreas úmidas identificando e quantificando as áreas de conflito;
- avaliar a utilização do GEE como meio de obtenção de dados e processamento virtual neste estudo de caso.

2 FUNDAMENTAÇÃO

2.1 ÁREAS ÚMIDAS

A Convenção de Ramsar, realizada em 1971, define como limites das AUs a linha máxima das inundações (RAMSAR, 1971). Conforme seu Art.1º, as zonas úmidas são áreas de pântano, charco, turfa ou água, natural ou artificial, permanente ou temporária, com água estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas de água marítima com menos de seis metros de profundidade na maré baixa (BRASIL, 1996). Esta Convenção visou à conservação e o uso adequado de zonas úmidas como contribuição para o desenvolvimento sustentável. O Brasil ratificou os termos da Convenção Ramsar em 1996. Segundo Comitê Brasil (2012), ao incorporar o texto da convenção ao ordenamento jurídico brasileiro através do Decreto Nº 1.905/1996, passou a se responsabilizar por fazer levantamentos de suas áreas úmidas, classificá-las e realizar estudos para o seu manejo e proteção.

As AUs são fundamentais para a biodiversidade pois abrigam uma diversidade de espécies endêmicas e de acordo com Guasselli (2018) desempenham importantes funções, como mitigar inundações, recarga de aquíferos e retenção de poluentes. O Brasil reconheceu a importância das AUs ao assinar a Convenção de Ramsar em 1993, que teve como objetivo a gestão e proteção destas áreas.

O Código Florestal (Lei 12.651/2012) define AUs como: “pantanais e superfícies terrestres cobertas de forma periódica por águas, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundação”. No Código Estadual de Meio Ambiente do RS (Lei 15434/2020) essas áreas são denominadas de “áreas alagadiças” e tem como definição “áreas ou terrenos que se encontram temporariamente saturados de água decorrente das chuvas, devido à má drenagem”. Na mesma lei, esses ambientes úmidos, podem ser caracterizados como banhados, e assim considerados Áreas de Preservação Permanente, desde que ocorra simultaneamente três condições: Presença de solos normalmente saturados de água; Desenvolvimento de fauna típica; e Desenvolvimento de flora típica.

2.2 SENSORIAMENTO REMOTO

Diversas são as definições encontradas na literatura referente ao Sensoriamento Remoto (SR). Uma definição encontrada em Jensen (2009) é que o Sensoriamento Remoto “*é a arte e a ciência de obter informação sobre um objeto sem estar em contato físico direto com o objeto*”. Para Novo (2010) essa definição é muito ampla, pois podemos obter informações sobre objetos sem entrar em contato físico com eles. De acordo com a autora, o Sensoriamento Remoto pode ser entendido como sendo:

[...] a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações. (NOVO, 2010)

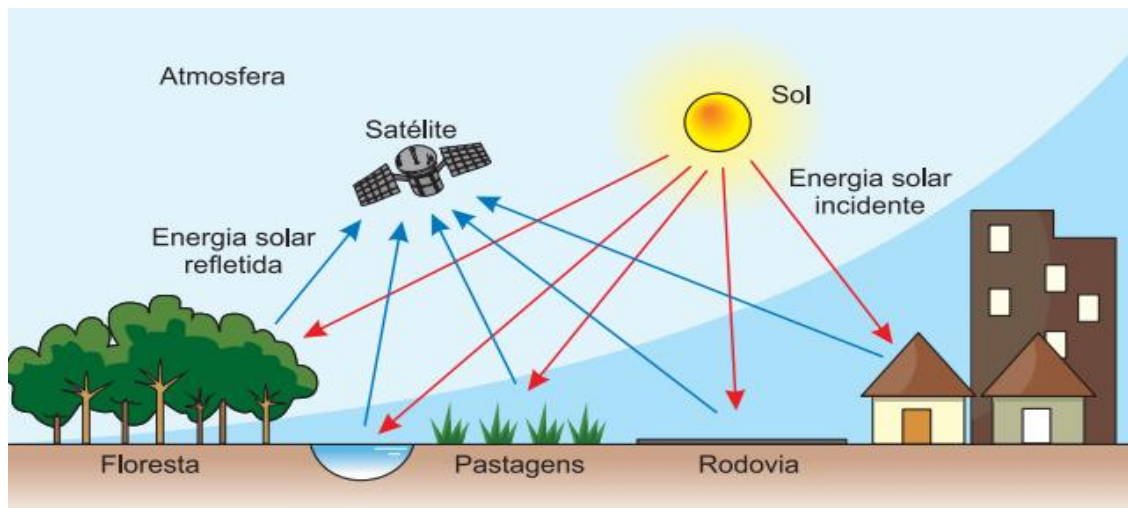
No sensoriamento remoto a informação é correntemente representada sob forma de imagem, podendo ser uma imagem fotográfica, uma imagem de radar, ou uma imagem obtida usando laser. A imagem, portanto, é formada pela intensidade da energia proveniente dos diferentes pontos da superfície (CENTENO, 2003). No processo de aquisição de imagens provenientes do sensoriamento remoto é necessário que haja: radiação eletromagnética, uma fonte de energia com a superfície dos objetos, e o sistema sensor que irá medir a energia refletida (Figura 1).

No processo de aquisição de informações do sensoriamento remoto a presença de uma fonte de emissão de energia é uma característica básica. Toda a matéria a uma temperatura acima do zero absoluto emite energia, logo, todo o corpo com temperatura absoluta acima de zero é um corpo emissor de energia eletromagnética (NOVO, 2010).

Em termos de energia, a fonte natural mais importante no sensoriamento remoto é o sol, que irradia energia eletromagnética em direção a Terra. No entanto, antes de atingir a Terra, a energia eletromagnética pode ter suas propriedades alteradas, tendo em vista a complexa mistura de gases e partículas que compõem a atmosfera. Neste processo, pode ocorrer o espalhamento e a absorção de energia. Na absorção ocorre a perda de energia incidente, onde uma parte da energia é retida pelos elementos presentes na atmosfera, podendo posteriormente ser liberada em comprimento de onda diferente. O

espalhamento é provocado pela reflexão e refração dos feixes, apenas mudando a trajetória do feixe de energia incidente, não provocando a perda de energia (CENTENO, 2003).

Figura 1 - Processo de aquisição de imagens de sensoriamento remoto.



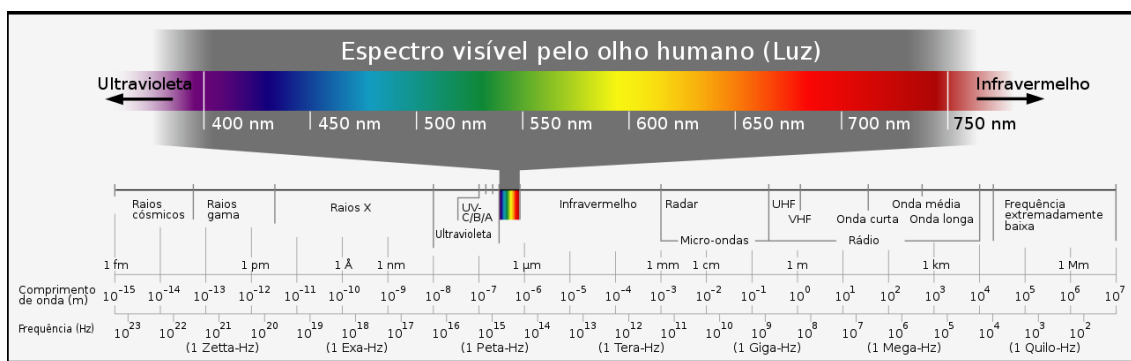
Fonte: TUDOGEO, 2021.

Ao chegar à superfície a energia eletromagnética pode ser refletida, absorvida ou transmitida, em diferentes proporções, dependendo das características de cada alvo. Centeno (2003) explica que mesmo alvos de natureza similar, como árvores de mesma espécie podem refletir a energia de maneira diferente, em função de seu estado ou posição, por exemplo, uma árvore quase seca tem outra cor quando comparada com uma árvore sadia, onde a produção de clorofila é intensa.

A energia eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético (Figura 2). Este apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região.

Cada subdivisão é função do tipo de processo físico que dá origem a energia eletromagnética, do tipo de interação que ocorre entre a radiação e o objeto sobre o qual esta incide, e da transparência da atmosfera em relação à radiação eletromagnética. O espectro eletromagnético se estende desde comprimentos de onda muito curtos associados aos raios cósmicos, até as ondas de rádio de baixa frequência e grandes comprimentos de onda (MORAES, 2002).

Figura 2 - Espectro eletromagnético e seus comprimentos de onda e suas frequências.



Fonte: WIKIWAND, 2021.

2.2.1 Sistemas Sensores

Os sistemas sensores são equipamentos a bordo dos satélites encarregados de captar e registrar a radiação eletromagnética proveniente dos objetos da superfície terrestre, gerando um valor analógico, geralmente apresentado sob a forma de imagens (CENTENO, 2003). O constante surgimento de novas tecnologias tem contribuído para que, em questão de poucos anos, sejam desenvolvidos novos sensores com maior capacidade e melhores resultados.

A escolha da imagem ideal para o uso desejado envolve muitas questões, entre elas: objetivos de aplicação, precisão requerida, disponibilidade de recursos, época desejada, disponibilidade da cena, entre outros. Essas características são dadas em função das resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal.

A resolução espacial representa a menor feição passível de detecção pelo sensor. Conforme Moraes (2002), a resolução espacial depende principalmente das propriedades do detector e da altura do posicionamento do sensor em relação ao objeto. Para um dado nível de posicionamento do sensor, quanto menor o valor de resolução espacial deste maior será o grau de distinção entre objetos próximos.

A resolução espectral refere-se à largura espectral, número de faixas espectrais e diversidade de faixas espectrais em que opera o sensor. Segundo Moraes (2002), é o intervalo espectral no qual são realizadas as medidas, e conseqüentemente a composição espectral do fluxo de energia que atinge o detector. Quanto maior for o número de medidas

num determinado intervalo de comprimento de onda melhor será a resolução espectral da coleta (MORAES, 2002).

A resolução radiométrica de um sensor descreve sua habilidade de distinguir variações no nível de energia refletida, emitida ou retroespalhada que deixa a superfície do alvo. De acordo com Novo (2010), esta energia apresenta diferenças de intensidade contínuas, as quais precisam ser detectadas, registradas e reproduzidas pelo sensor. Quanto maior a capacidade do sensor de distinguir diferenças de intensidade do sinal, maior será sua resolução radiométrica (NOVO, 2010).

A resolução temporal está relacionada com a repetitividade com que o sistema sensor pode adquirir informações referentes ao objeto. Esta resolução é função das características da plataforma na qual o tempo em que o satélite leva para voltar a recobrir a área de interesse.

2.2.2 Sistemas de Satélites

Os satélites podem ser classificados em duas categorias: os naturais e os artificiais. Os satélites naturais são corpos celestes que orbitam em torno de um outro astro de massa maior. Como exemplo, temos a Lua, satélite da Terra, as luas de Netuno, Phobos e Demos de Marte, etc. Os satélites artificiais são engenhos desenvolvidos pelo homem, que gira em torno de planetas (dentre eles a Terra) ou até mesmo de um satélite natural (MOREIRA, 2005).

Os satélites artificiais são divididos em categorias, conforme a sua funcionalidade. Existem os satélites com funcionalidade militar, que dentre uma gama de objetivos como observação, telecomunicação, entre outros, são os satélites usados para os equipamentos com tecnologia de GPS. Já os satélites de funcionalidade científica, foram desenvolvidos para auxiliar o homem na busca de informações científicas, sendo alguns voltados à coleta de dados sobre a Terra, e outros, à exploração do Universo. Os satélites de telecomunicações são utilizados mundialmente para transmissões telefônicas e televisivas. Os satélites meteorológicos são equipados com radiômetros infravermelhos que lhes permitem operar mesmo sobre a face escura da Terra. Existem também os satélites de recursos naturais, com a finalidade de coletar dados sobre os recursos naturais renováveis e não-renováveis da superfície terrestre (MOREIRA, 2005), dentre eles, pode-

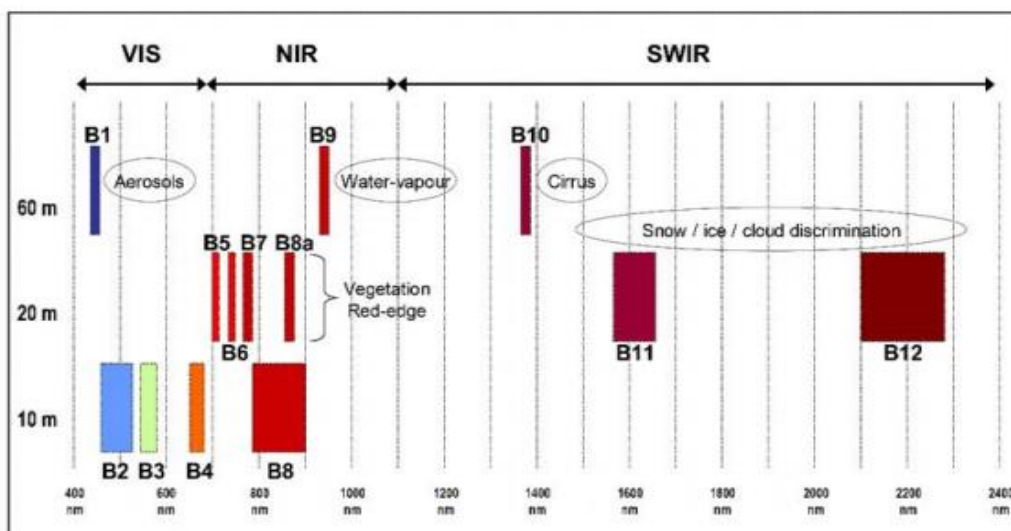
se citar: LANDSAT, Sentinel, Cbers, Ikonos, SPOT, Pleiades, Alos, Ikonos, Geoeye, entre outros (ENGESAT,2021).

2.2.2.1 Missão Copernicus Sentinel-2

A missão Copernicus Sentinel-2 integra um programa promovido pela União Europeia cuja operação é gerida pela Agência Espacial Europeia (ESA) (PIESCHKE, 2017). Compreende uma constelação de dois satélites em órbita polar e sol-síncrona. Tem como objetivo monitorar a variabilidade nas condições da superfície da terra, e sua ampla largura de faixa (290 km) e alto tempo de revisita (10 dias no equador com um satélite e 5 dias com 2 satélites em condições sem nuvens, o que resulta em 2-3 dias em latitudes médias) para o monitoramento das mudanças na superfície da Terra.

As imagens das bandas do visível e infravermelho próximo (NIR) possuem resolução espacial de 10 metros e infravermelho de ondas curtas (SWIR), 20 metros. A resolução radiométrica é de 12 bits (DRUSCH et al., 2012). Lançado em 2015, leva a bordo o sensor MSI (*Multispectral Instrument*) com 13 bandas espectrais, variando de 443 a 2190 nm. A Figura 3 apresenta de forma esquemática a resolução espacial, espectral e comportamento dos alvos do satélite Sentinel-2.

Figura 3 - Propriedades espectrais e espaciais do satélite Sentinel-2.



Fonte: Adaptado ESA, 2015.

As imagens possuem 4 bandas que atuam na zona do visível e no infravermelho próximo (i.e., bandas 2, 3, 4 e 8), 6 bandas que atuam no “red edge” e no infravermelho de ondas curtas (i.e., bandas 5, 6, 7, 8A, 11 e 12) e 3 bandas para correções atmosféricas (i.e., bandas 1, 9 e 10). Estas últimas com 60 metros de resolução espacial. O Quadro 1, apresenta os comprimentos de onda e larguras de banda das 3 resoluções espaciais dos instrumentos MSI.

Quadro 1 - Comprimentos de onda, larguras de banda e as respectivas resoluções espaciais do sensor MSI, satélite Sentinel 2.

Resolução Espacial (m)	Número da banda	S2A		S2B	
		Comprimento de onda central (nm)	Largura de banda (nm)	Comprimento de onda central (nm)	Largura de banda (nm)
10	2	492,4	66	492,1	66
	3	559,8	36	559,0	36
	4	664,6	31	664,9	31
	8	832,8	106	832,9	106
20	5	704,1	15	703,8	16
	6	740,5	15	739,1	15
	7	782,8	20	779,7	20
	8a	864,7	21	864,0	22
	11	1613,7	91	1610,4	94
	12	2202,4	175	2185,7	185
60	1	442,7	21	442,2	21
	9	945,1	20	943,2	21
	10	1373,5	31	1376,9	30

Fonte: ESA, 2015.

2.2.3 Análise de Imagens de Sensoriamento Remoto

A principal finalidade das imagens de sensoriamento remoto é obter informações sobre a superfície da Terra. Para se obter tais informações os métodos podem ser: análise

visual e processamento digital. A análise por interpretação visual de imagens pode ser realizada na tela de um computador ou em uma folha impressa. A análise digital abrange o maior uso de recursos computacionais onde pode-se aplicar algoritmos e obter dados de modo mais dinâmico.

Para facilitar o trabalho de interpretação de dados de imagens de sensoriamento remoto, visto que cada banda da imagem é apresentada em tons de cinza, cada uma apresentando características próprias, é possível montar uma combinação de bandas associadas ao padrão RGB, ou seja, Vermelho (*Red*), Verde (*Green*) e Azul (*Blue*) (CENTENO, 2003).

A partir da combinação de diferentes composições espectrais a percepção visual de todas as cores é produzida por meio da mistura espacial das três componentes primárias da luz, Vermelha, Verde e Azul, com variações independentes de ajustes de suas intensidades.

Conforme Crósta (1992), estudos realizados por Thomas Young (1773-1829) revelou os princípios da teoria básica das cores ao projetar luz através de filtros vermelho, azul e verde no sentido de produzir círculos superpostos, obtendo diversos efeitos. Young produziu uma gama de cores, e suas várias tonalidades, variando a quantidade relativa ao sobrepor os filtros de duas delas, e através da sobreposição dos três filtros produziu a cor branca.

Outra observação de Young é que qualquer uma dessas 3 cores, vermelho, verde ou azul (RGB), não podiam ser produzidas com mistura de duas delas. Por isso, ele as chamou de cores primárias aditivas, uma vez que seus efeitos resultam da adição (CRÓSTA, 1992).

De acordo com Meneses (2012), a intenção de usar a cor pode ser apenas para expor visualmente as imagens para facilitar algumas operações simples, como escolha de pontos de controle para registro, ou seleção de amostras de áreas para uma classificação supervisionada, mas o uso mais importante é propiciar uma alta qualidade de extração de informações, para fins de mapeamentos temáticos (MENESES, 2012).

Neste processo a imagem resultante apresenta cores e nos permite observar as características das bandas selecionadas de forma simultânea a partir de elementos de interpretação de imagens que contribuirão no processo de classificação de imagens.

Para extrair informações das imagens de sensoriamento remoto, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento (NOVO, 2010).

O comportamento espectral típico de cada alvo permite identificá-lo nas imagens, uma vez que o padrão de reflectância nas diferentes bandas do espectro eletromagnético irá ser replicada na informação registrada pelo sensor. Conforme Ponzoni (2002), um fluxo de radiação incidente sobre o alvo está sujeito a dois processos: espalhamento e absorção. O processo de espalhamento, por sua vez, pode se dividir em dois subprocessos: reflexão e transmissão.

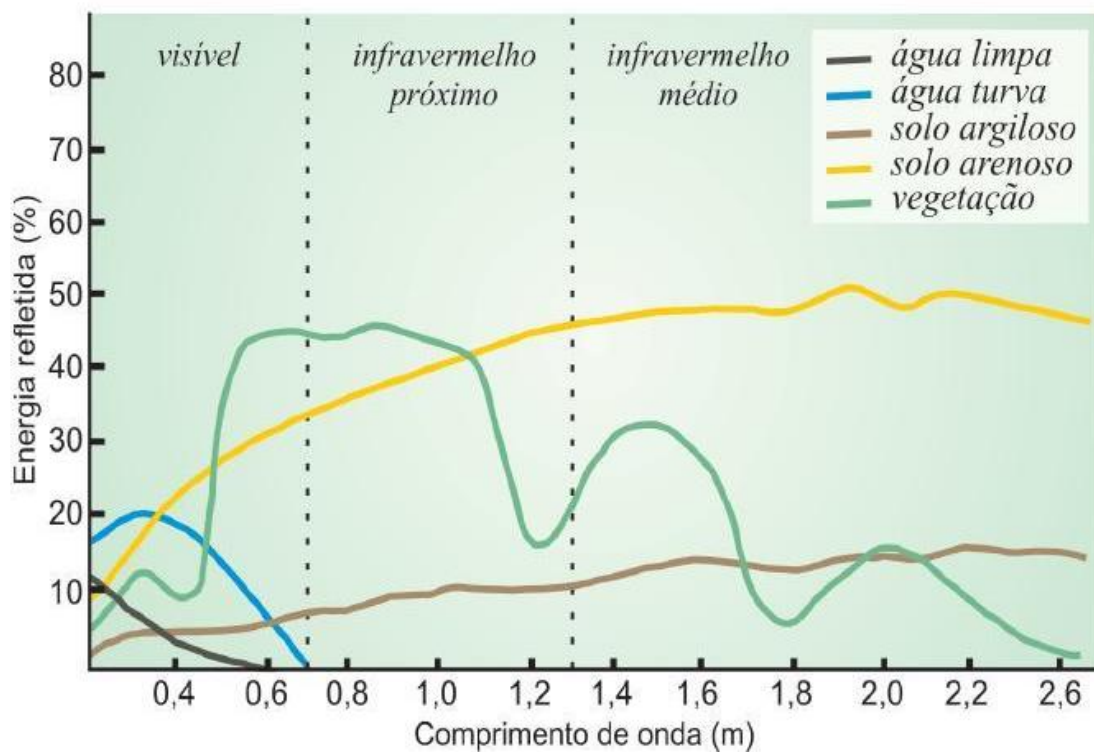
A quantidade de energia refletida ou emitida varia de acordo com a natureza dos objetos e os comprimentos de onda considerados. O destino do fluxo radiante incidente sobre um destes elementos é dependente das características do fluxo (i.e., comprimentos de onda, ângulo de incidência e polarização) e das características físico-químicas destes mesmos elementos (PONZONI, 2002).

Analisando o gráfico (Figura 4) do comportamento espectral dos principais componentes da superfície terrestre (i.e., vegetação, solo e água), podemos observar que na região da zona do visível, entre os comprimentos de onda ~400 e ~700nm, a vegetação verde e sadia reflete maior quantidade de energia na faixa espectral que corresponde ao verde (~550nm). Na zona do infravermelho próximo, entre os comprimentos de onda ~700 e ~1300nm, a vegetação reflete mais energia, o que a diferencia dos outros alvos, consideravelmente.

Segundo Ponzoni (2002), um dossel vegetal apresenta baixos valores de reflectância na região do visível, devido a absorção dos pigmentos que realizam a fotossíntese. Na região do infravermelho próximo estes valores são elevados devido aos espalhamentos na estrutura morfológica da folha e pelas diferentes camadas da cobertura vegetal. E no infravermelho de ondas curtas (i.e., infravermelho médio) a queda destes valores é devido à presença de água no interior da folha.

O comportamento espectral dos solos, conforme Moraes (2002), é dominado pelas bandas de absorção de seus constituintes. As combinações e arranjos dos materiais constituintes dos solos é que define o seu comportamento espectral, sendo que os principais fatores são a constituição mineral, a matéria orgânica, a umidade e a granulometria (textura e estrutura) deste (MORAES, 2002).

Figura 4 - Comportamento espectral dos principais componentes da superfície terrestre.



Fonte: Florenzano, 2002.

Para Novo (2001), a reflectância do solo é afetada pelo teor de umidade em todos os comprimentos de onda, quanto maior o teor de umidade, menor é a sua reflectância. Entretanto, este efeito não é o mesmo para todos os tipos de solo. Estudos realizados por Epiphânio et al. (1992, apud NOVO, 2001) mostraram que quanto menor o albedo do solo seco, menor é a porcentagem de variação da reflectância com a umidade (NOVO, 2001).

Quando molhado, a coloração do solo torna-se mais escura. De acordo com Moreira (2005), isto ocorre porque a absorção da radiação eletromagnética aumenta devido à presença da água, fazendo com que a reflectância do solo decresça na região do visível e do infravermelho próximo ao espectro eletromagnético, quando comparado ao estado seco (MOREIRA, 2005).

A água influencia no comportamento espectral dos demais alvos da superfície terrestre e também sofre influência destes. Conforme Moraes (2002), relata:

O comportamento espectral de corpos d'água é modulado principalmente pelos processos de absorção e espalhamento produzidos por materiais dissolvidos e

em suspensão neles, pois é verificado que a presença de matéria orgânica dissolvida em corpos d'água desloca o máximo de reflectância espectral para o verde-amarelo, enquanto que a presença de matéria inorgânica em suspensão resulta num deslocamento em direção ao vermelho (MORAES, 2002).

As melhores regiões de comprimento de ondas para discriminar terra de água pura são o infravermelho próximo e o infravermelho de ondas curtas (comprimentos de onda entre 740 e 2500 nm). Segundo Novo (2001), quando se estuda o comportamento da água, não se busca conhecer a água em si, como objeto, mas os componentes nela dissolvidos ou suspensos. O estudo do comportamento espectral da água, é usado como indicador do comportamento de um sistema muito mais complexo que é o sistema aquático (NOVO, 2001). O comportamento espectral das áreas úmidas faz parte deste sistema.

No processo de análise deve-se considerar a identificação dos elementos de interpretação de imagens. De acordo com Soares Filho (2000), através do estudo dos elementos de interpretação, chega-se a definições sobre as formas de relevo, padrão de drenagem, características da vegetação e tipo de solo e geologia.

A forma é uma propriedade espacial que diz respeito à variação do contorno bidimensional de imagem, referindo-se à distribuição espacial dos pixels que conformam os contornos dos objetos (CENTENO, 2003). É uma propriedade importante, pois alguns objetos ou feições podem ser identificados com base neste critério. Elementos naturais da superfície terrestre geralmente apresentam uma forma irregular (i.e., corpos d'água, vegetação nativa).

O padrão é outro elemento que ajuda na identificação de alvos, Centeno (2003) ressalta que a repetição de padrões é uma fonte de informação valiosa na análise da paisagem, e dá o exemplo de uma rede de drenagem que traduz muitos aspectos associados aos solos e a geologia de um local.

O tamanho é um elemento fundamental de reconhecimento, visto que através do tamanho as cidades se diferenciam de pequenos agrupamentos urbanos ou um córrego de um rio. O tamanho de um elemento numa imagem digital é estimado pela quantidade de pixels necessários para representar o objeto (CENTENO, 2003).

A textura conforme Centeno (2003) é outro aspecto a ser considerado, referindo-se ao grau de uniformidade de uma região, podendo ser lisa, rugosa ou média. O critério textura é importante na análise de cobertura vegetal, por exemplo, áreas urbanas

apresentam uma textura rugosa, pois é o resultado da mistura de construções, ruas, sombras e vegetação.

A sombra ajuda a identificar objetos, permitindo indiretamente avaliar a sua altura, assim prédios podem ser diferenciados de residências com base na sombra projetada (CENTENO, 2003) e realce de relevos.

2.2.4 Classificação de Imagens

A classificação de imagens, em sensoriamento remoto, consiste na rotulação dos *pixels* de uma imagem a uma classe ou grupo, por exemplo, água, cultura, área urbana, mata nativa, reflorestamento, etc. Essa rotulação é feita utilizando algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais, dependendo do algoritmo utilizado a classificação é dita supervisionada e não-supervisionada (MOURA, 2005).

A classificação não-supervisionada é utilizada quando não se tem informações sobre a área imageada, não dispondo de dados prévios sobre o número de classes presentes. Neste caso, baseia-se no princípio de que o *software* utilizado identifica por si só, classes dentro de um conjunto de dados. Para classificação supervisionada, é necessário que o usuário tenha algum conhecimento sobre a área a ser classificada, e preferencialmente, haver observações de campo na época da passagem do satélite (CRÓSTA, 1992).

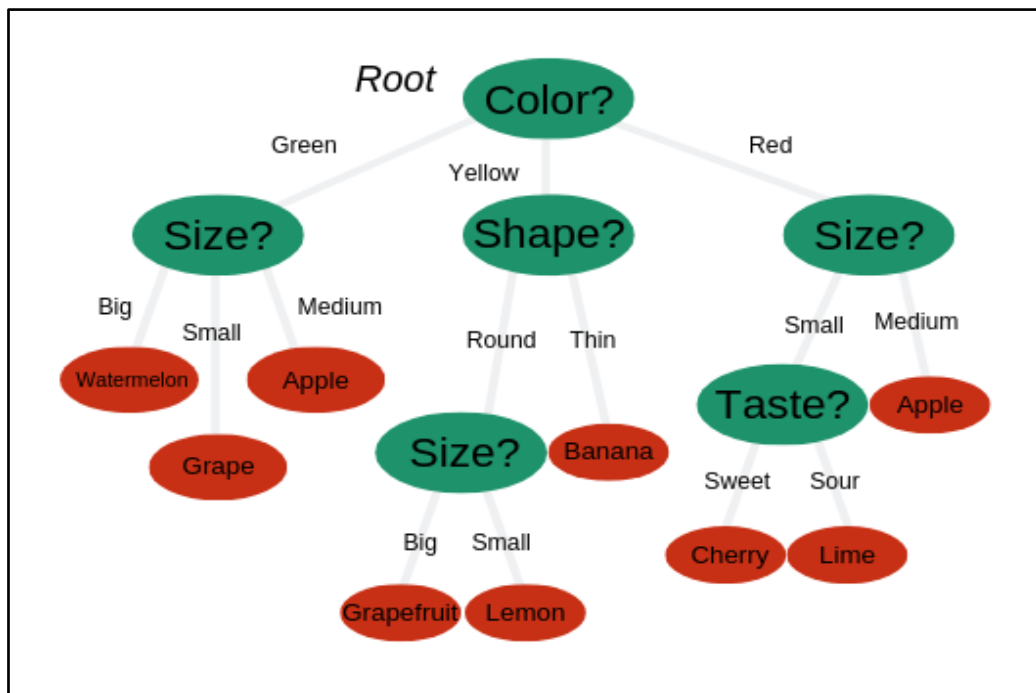
No processo de classificação supervisionada, são definidas pelo usuário áreas de treinamento, associando estas com as classes de usos. Uma área de treinamento é normalmente definida pelo usuário traçando-se seus limites diretamente sobre a imagem, sendo que várias áreas de treinamento podem ser definidas para uma mesma classe, a fim de assegurar que os pixels a ela pertencentes sejam representativos na imagem (CRÓSTA, 1992).

A classificação supervisionada utiliza algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais na imagem se faz com base numa amostra de área de treinamento, que é fornecida ao sistema de classificação pelo analista. (MOREIRA, 2005)

Nesta pesquisa utilizou-se o algoritmo *Random Forest* (RF), de acordo com Schott (2019), este algoritmo é um modelo de aprendizado supervisionado que utiliza dados

rotulados para “aprender” como classificar dados não rotulados. A mesma autora explica que o RF é composto por diferentes árvores de decisão, cada uma com os mesmos nós, mas usando dados diferentes que levam a folhas diferentes (Figura 5). Ele mescla as decisões de várias árvores de decisão para encontrar uma resposta, que representa a média de todas essas árvores de decisão.

Figura 5 - Exemplo de Árvore de decisão do Random Forest.



Fonte: Schott, 2019.

2.2.5 Índice Espectral

As operações aritméticas são operações pixel a pixel entre imagens de bandas diferentes, através de uma regra matemática definida, tendo como resultado uma banda representando a combinação das bandas originais (SANTOS, 2010). Conforme os autores, as operações de adição são utilizadas para realçar a similaridade entre bandas ou diferentes imagens e as operações de subtração, divisão e multiplicação para realçar as diferenças espectrais, gerando um índice.

Um exemplo de índice, bastante conhecido e muito utilizado, é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Este índice, baseado na assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia, realça o contraste entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo.

McFeeters (1996) inspirado no NDVI desenvolveu o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), com o propósito de delinear as feições e realçar a presença de água presentes no ambiente. O método de McFeeters utiliza a razão entre a diferença e a soma da banda do verde, faixa do visível, com a banda do infravermelho próximo.

Gao (1996) modificou o método de McFeeters e apresentou outro conceito para o NDWI, com a finalidade de estimar a cobertura e o teor de água do dossel da vegetação. O método apresentado por Gao é calculado entre a razão da diferença e a soma da banda do infravermelho próximo com a banda do infravermelho médio. Através da seguinte fórmula:

$$\text{NDWI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

Os valores de NDWI variam de -1 a 1, onde o tipo de cobertura é água se o índice for maior ou igual a 0 (zero) e não água se o índice apresentar valor negativo. Nos satélites da constelação Sentinel-2 as bandas do infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho de ondas curtas (SWIR), utilizadas na álgebra de mapas, correspondem respectivamente às bandas 8 e 12 do sensor.

Segundo Pereira et al (2019), na definição de Gao o NDWI é entendido como um método capaz de medir o teor de água líquida presente na vegetação. Ou seja, o método de McFeeters objetiva dar destaque ao delineamento de feições hídricas do terreno, enquanto o de Gao tem mais o propósito de acentuar a umidade presente na vegetação (PEREIRA et al., 2019).

A utilização do NDWI tem se destacado nas análises espaciais e temporais, de vegetação e recursos hídricos, pois as respostas espectrais das bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio possuem correlação com a quantidade de água do dossel vegetal (ANDRADE et al., 2018).

O NDWI é recorrente em estudos para detecção de áreas úmidas, e o método apresentado por Gao foi o escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa. Simioni et al. (2020), utilizou alguns índices em sua pesquisa e o NDWI proposto por Gao (1996) foi um dos índices que apresentou melhor resposta no Complexo do Banhado Grande, situado na BHRG.

2.3 GOOGLE EARTH ENGINE

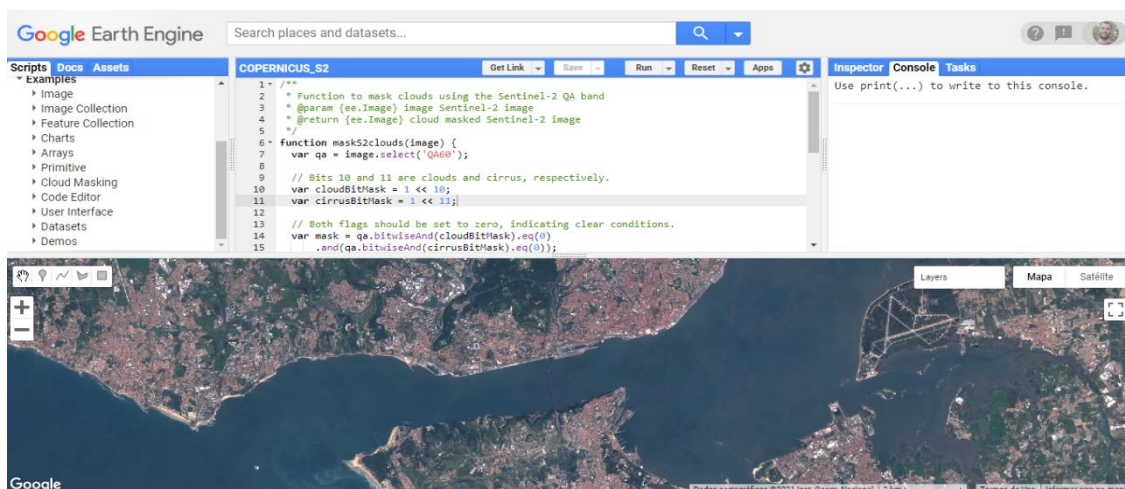
A plataforma do *Google Earth Engine* (GEE) é uma plataforma avançada de geoprocessamento espacial em nuvem, que vem sendo utilizado em trabalhos de sensoriamento remoto em virtude da economia de tempo e recursos, tendo em vista que proporciona acesso a uma vasta coleção de imagens de satélite de diversas partes do mundo, sem custos, com atualização e expansão diária. Esta capacidade de processamento instantâneo de milhares de imagens permite o enriquecimento de conhecimento sobre os diversos fenômenos terrestres.

O GEE consiste em um banco de dados em avançada escala, no qual estão catalogados grande parte dos produtos de sensoriamento remoto disponíveis gratuitamente, como por exemplo, toda a coleção de satélites Landsat e Sentinel. Uma das principais vantagens que o GEE proporciona são:

- acesso ao banco de dados de maneira remota, através de computação em nuvem;
- não há necessidade de downloads de grande quantidade de dados;
- redução do tempo para manipulação de dados; e
- aumento na capacidade de processamento de séries temporais de imagens.

Para acessar os dados do servidor do GEE e desenvolver os algoritmos que irão fazer parte do processamento é necessário o uso de linguagem computacional JavaScript ou Python. A Figura 6 apresenta um exemplo do layout de visualização do ambiente de edição de código do GEE.

Figura 6 - Layout de visualização do ambiente de edição de código do GEE.



Fonte: Google Earth Engine, 2021.

Delimitada a sul e a leste pela Bacia Hidrográfica do Litoral Médio, ao norte pela Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, e a oeste pela Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba. Integra parte da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), incluindo os municípios de Porto Alegre, Canoas, Alvorada, Viamão, Cachoeirinha, Gravataí, Glorinha, Taquara e Santo Antônio da Patrulha.

Conforme RIO GRANDE DO SUL (2012), a BHRG possui relevo com elevações mais acentuadas ao norte (encosta do planalto) e menores ao sul e oeste, envolvendo uma planície central, no sentido sudoeste-nordeste, onde existe uma grande área plana e alagadiça, conhecida por Banhado Grande, formador do principal corpo hídrico, o rio Gravataí. O rio Gravataí tem seu curso d'água no sentido de leste para oeste, drena as águas dos municípios situado entre a Serra Geral e a Coxilha das Lombas, desagua no Delta do Jacuí, por consequência, contribui na formação do lago Guaíba, percorrendo uma distância de 61,4 km aproximadamente. Rio de planície, de baixa velocidade, sinuoso e com muitos meandros (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

Segundo o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger, o clima é classificado como Cfa, ou seja, um clima subtropical úmido, caracterizado por precipitações regulares ao longo do ano (médias de 1347,4 mm/ano), por temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e temperatura do mês mais frio entre 3° e 18°C. A vegetação natural na região da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí é constituída por campos limpos (Estepe), mata subtropical (Floresta Estacional Semidecidual), formação pioneira de influência fluvial (gravatás e maricás) e vegetação paludosa – banhados (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

Na BHRG, está inserida a Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande (APABG), uma Unidade de Conservação (UC), que tem como objetivo principal a proteção do conjunto de banhados formadores do rio Gravataí. A APABG, possui área de 1369,35 km² e ocupa aproximadamente 2/3 da bacia. O regime de exploração é de uso sustentável.

De acordo com METROPLAN (2015), a bacia do rio Gravataí é considerada a de maior conflito pelo uso das águas no estado do Rio Grande do Sul. A grande densidade de ocupação urbana na parte baixa da bacia, combinada com a alta demanda de água para cultivo de arroz e os impactos sobre o sistema de banhados da bacia gera uma situação

recorrente de estiagem severa, prejudicando o abastecimento público de cerca de 1 milhão de pessoas.

3.2 DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS ÚMIDAS

Para a delimitação das áreas úmidas foi criado um projeto na plataforma GEE. A partir do catálogo de coleções de imagens disponibilizado no GEE foi importado para o projeto o link das imagens da constelação Sentinel-2 com nível de processamento L2A. O produto L2A fornece refletância de fundo da atmosfera (*Bottom-Of-Atmosphere-BOA*) ortorretificado.

3.2.1 Seleção das Imagens

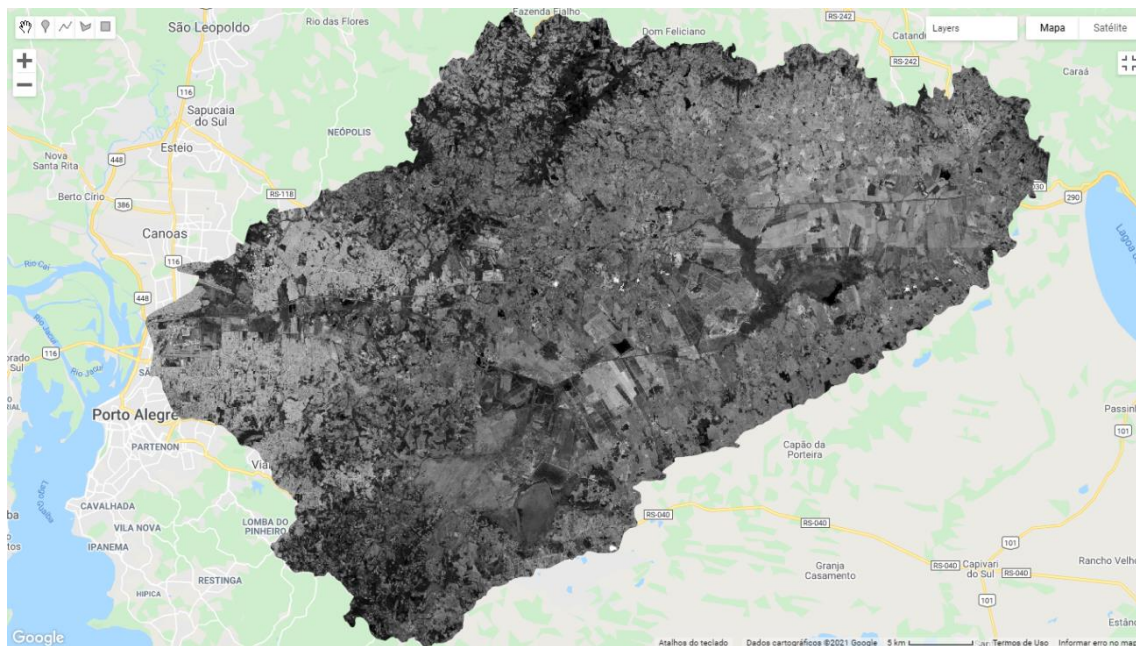
A plataforma GEE possui abrangência em escala global, assim, há a necessidade de limitar a área de estudo. Para o limite da região foi incorporado ao projeto um arquivo em formato *shapefile* com os limites da BHRG. Com o limite definido, foram selecionadas as imagens que tocavam a borda deste.

Como respostas, quatro (04) quadros da grade orbital foram selecionadas, denominados T22JDM, T22JDN, T22JEM e T22JEN, e 1235 cenas captadas entre as datas 14/12/2018 e 19/09/2021. A sequência de 6 caracteres que denominam as imagens é um identificador de grânulo exclusivo que indica sua referência de grade UTM.

Para esta pesquisa definimos o período de um ano para a análise. Assim, o período de captação das imagens foi filtrado para o ano de 2020. Como resposta obtivemos 452 cenas captadas, entre as datas de 03/01/2020 e 30/12/2020. Dentro deste intervalo temporal, um ano, há muitas cenas com quantidade significativas de nuvens.

Com o objetivo de mitigar o problema de cobertura de nuvens, filtramos a seleção de imagens para que fosse apresentado apenas cenas com o mínimo de nuvens. Como resposta, obtivemos uma relação de 56 elementos, em que as cenas com cobertura de nuvens foram de 0,3% no máximo, em suas áreas.

Figura 9 - Imagem NDWI representada em tons de cinza.

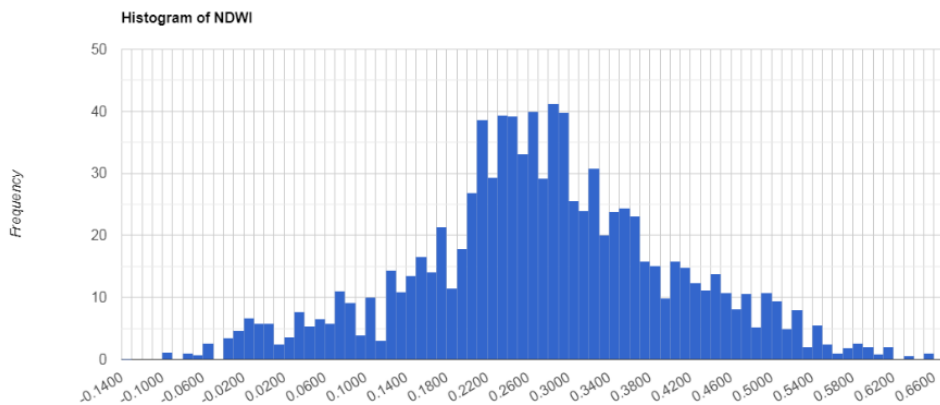


Fonte: GEE – Elaborado pelo Autor, 2021.

3.2.4 Fatiamento

O método de fatiamento consiste em definir um intervalo mínimo e máximo para representar as regiões similares de interesse nas imagens. Ao fatiar, baseado no histograma da imagem (Figura 10), em porções matematicamente definidas por operadores torna-se possível identificar os valores dos níveis digitais contidos no intervalo e categorizá-los, neste caso os valores resultados no índice de NDWI.

Figura 10 - Histograma com a frequência de valores resultantes de índice NDWI.



Fonte: GEE – Elaborado pelo Autor, 2021.

Os valores do índice espectral NDWI da região de interesse, através do fatiamento, identificou os limiares mínimos e máximos com índices acima de 0,305 e abaixo de 0,635. Após a identificação da região de interesse na imagem foi realizada a transformação em formato vetorial e a exportação em formato *shapefile* para o banco de dados criado para este projeto.

3.3 MAPEAMENTO DE COBERTURA E USO DA TERRA

Para realizar o mapeamento de Cobertura e Uso da Terra foi criado um novo projeto na plataforma GEE. Também, a partir do catálogo de coleções de imagens disponibilizado no GEE foi importado para o projeto o link das imagens da constelação Sentinel-2 com nível de processamento L2A.

3.3.1 Seleção das Imagens

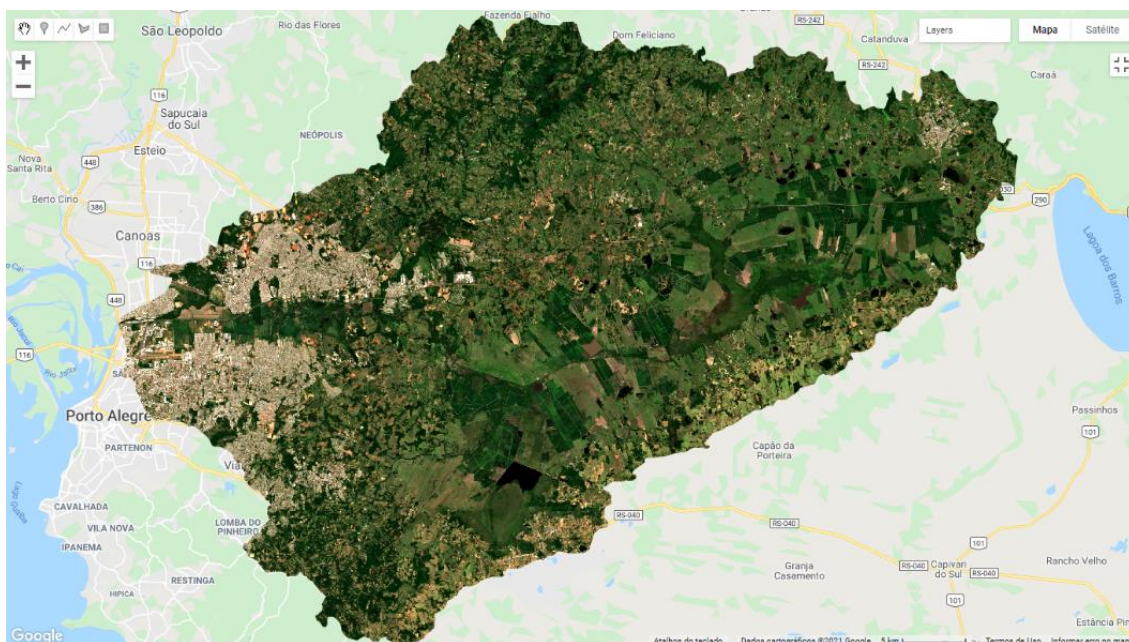
Novamente, para o limite da região foi incorporado ao novo projeto o arquivo em formato *shapefile* com os limites da BHRG. Com o limite definido, foram selecionadas as imagens que tocavam a borda deste.

Diferente da seleção de imagens realizada para a delimitação das áreas úmidas, nesta seleção procuramos um momento, imagens que cobrisse a área em apenas uma data com o mínimo de interferência de nuvens. Para isto, foram utilizados dois filtros para a seleção das imagens. Um filtro referente a data, com intervalo entre 01/01/2021 e 30/01/2021, e o outro filtro referente a cobertura de nuvens, com no máximo 10% de presença destas. Como respostas, quatro (04) cenas, captadas em 09/01/2021, uma para cada quadro da grade orbital (T22JDM, T22JDN, T22JEM e T22JEN) foram selecionadas.

3.3.2 Mosaico

A partir das cenas eleitas, foram selecionadas as bandas B12, B8, B4, B3 e B2 para compor um mosaico. O mosaico foi elaborado realizando o cálculo para extrair a média do valor de resposta espectral, pixel-a-pixel, para cada uma das bandas na região de sobreposição nas bordas das imagens. O próximo passo foi realizar o recorte do mosaico a partir do limite da BHRG (Figura 11).

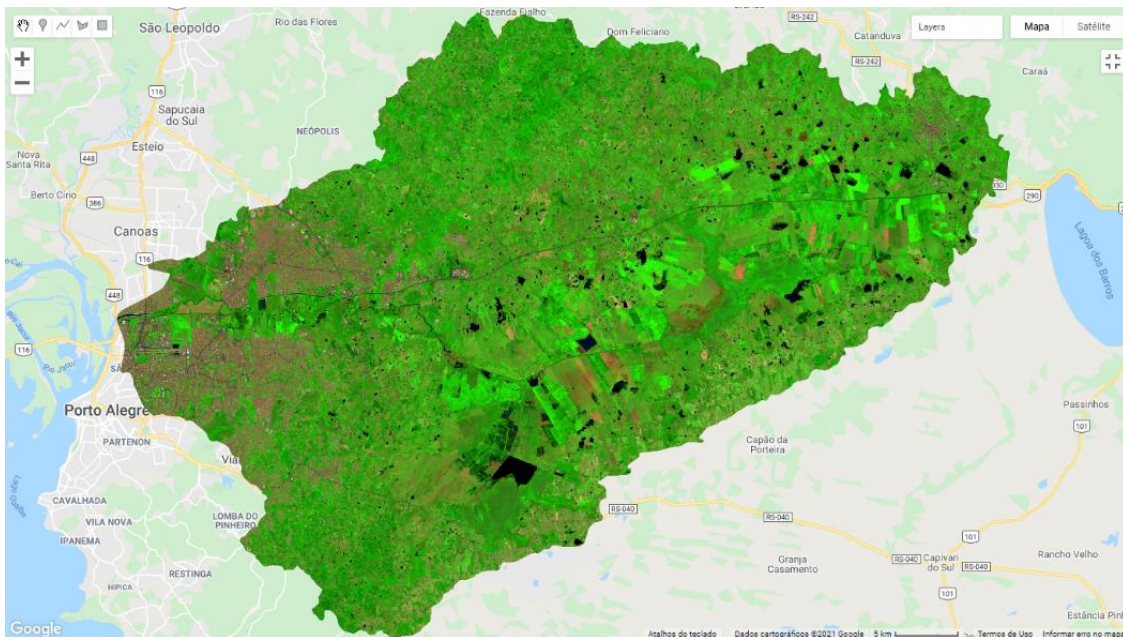
Figura 11 - Mosaico de imagens com o recorte do limite da BHRG em composição RGB, cor natural, através das bandas B4, B3, B2 respectivamente.



Fonte: GEE – Elaborado pelo Autor, 2021.

Também, para facilitar a identificação dos alvos, foi produzido um mosaico na composição falsa cor, incluindo as faixas do SWIR e NIR (i.e., R12 G8 B4). Esta composição, tem por objetivo realçar a vegetação saudável, que se apresenta em tons de verde brilhante, a vegetação estressada, que se apresenta em tons de verde opaco e o solo exposto, que se apresenta em tons de marrom ou magenta (Figura 12).

Figura 12 - Mosaico de imagens com o recorte do limite da BHRG em composição RGB, falsa cor, através das bandas B12, B8, B4 respectivamente.



Fonte: GEE – Elaborado pelo Autor, 2021.

3.3.3 Definição das Classes


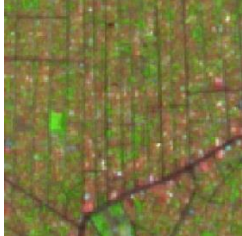

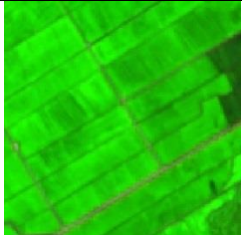
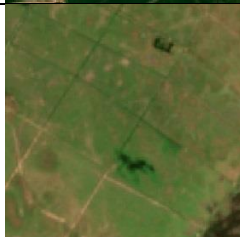

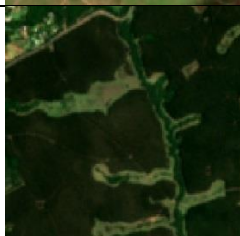

Com o mosaico elaborado, o próximo passo foi definir as classes de Cobertura e Uso da Terra na região da BHRG. Segundo o IBGE (2013), o levantamento de Cobertura e Uso da Terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Envolve pesquisas de escritório e de campo, voltadas para a interpretação, análise e registro de observações da paisagem, concernentes aos tipos de uso e cobertura da terra, visando sua classificação e espacialização por meio de cartas (IBGE, 2013).


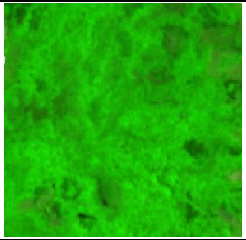

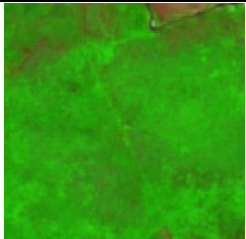
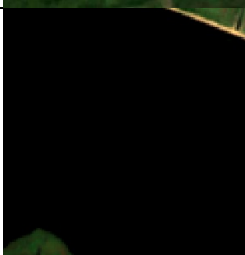
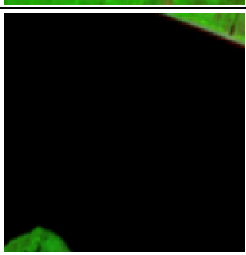

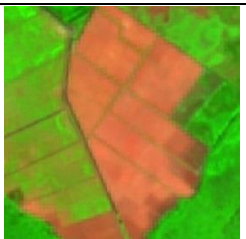
Para a definição das classes foi elaborada uma chave de interpretação. Através desta chave de interpretação, onde algumas amostras temáticas foram selecionadas e descritas, resultou nas categorias de análise de Cobertura e Uso da Terra, tornando menos subjetivo a extração de informações.

As categorias de análise deste trabalho foram referenciadas pelas categorias inscritas no Sistema de Classificação de Uso da Terra (SCUT) adotado pelo IBGE (2013), cuja estrutura foi organizada em cinco categorias, a saber: Áreas Antrópicas Não

Agrícolas, Áreas Antrópicas Agrícolas, Áreas de Vegetação Natural, Água e Outras Áreas, com 2 níveis de abstração, relacionados com o detalhamento da informação, conforme Quadro 2 -. Como o Sistema foi idealizado para apoiar o mapeamento em nível local, foram estabelecidos critérios de representação espacial dos usos mais expressivos para a escala 1:25 000.

Quadro 2 - Categorias de análise do Uso e Cobertura da Terra utilizadas na classificação com base em imagens do satélite Sentinel 2 na BHRG.

Nível I		Nível II		Amostras Cor Natural (R4 G3 B2)	Amostras Falsa Cor (R12 G8 B4)	Descrição
1.	Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1	Área Urbanizada			Compreende área de uso intensivo, estruturas edificadas e sistemas viários. Caracteriza-se por apresentar tons de cinza de claro a médio, forma irregular, textura rugosa e padrão quadriculado;
2.	Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1	Cultura Temporária			Cultivo de plantas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a produção deixam o terreno disponível para novo plantio. Caracteriza-se pela forma regular, tons de verde claro a médio, textura rugosa e padrão em listras paralelas, devido ao sulco gerado no solo pelos implementos agrícolas no preparo da área;
		2.3	Pastagem			Área destinada ao pastoreio do gado, formada mediante plantio de forragens perenes ou pastagens naturais. Caracteriza-se pela forma irregular, tons de verde claro a médio, textura rugosa fina e padrão indefinido;
		2.4	Silvicultura			Cultivo de floresta, geralmente exótica, voltado ao fornecimento de matéria-prima à indústria. Caracteriza-se pela forma irregular, tons de verde escuro, textura rugosa grossa e padrão definido;

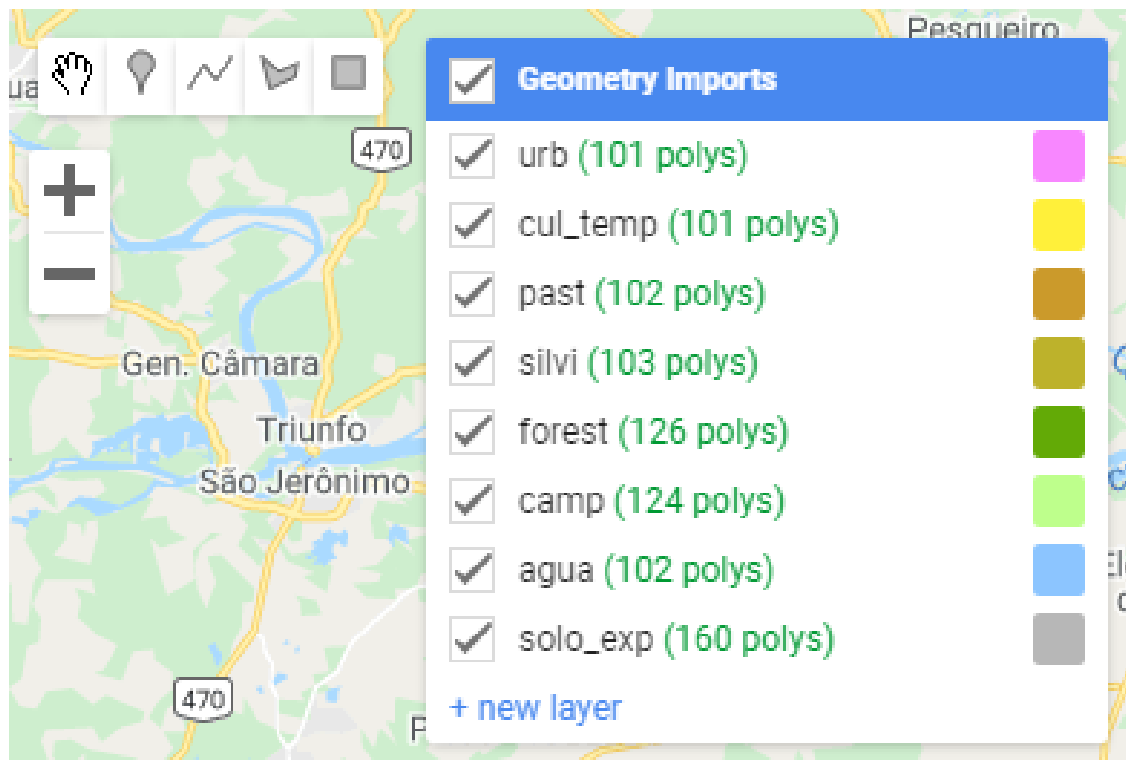
3.	Áreas de Vegetação Natural	3.1	Florestal			Considera-se como florestais as formações arbóreas com porte superior a 5 m. Caracteriza-se pela forma irregular, tons de verde médio a escuro, textura rugosa grossa e padrão indefinido;
		3.2	Campestre			Compreende um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso. Caracteriza-se pela forma irregular, tons de verde claro a médio, textura rugosa de fina a média e padrão indefinido;
4.	Água	4.1	Corpo D'Água Continental			Refere-se aos corpos d'água naturais e artificiais que não são de origem marinha. Caracteriza-se pela forma irregular, tons esverdeados de escuro, textura lisa e padrão indefinido;
5.	Outras Áreas	5.1	Área Descoberta			Refere-se a áreas sem cobertura vegetal ou áreas cobertas por rocha nua exposta. Caracteriza-se pela forma irregular, tons avermelhados de claro a médio, textura lisa e padrão indefinido.

Fonte: Adaptado IBGE, 2013.

3.3.4 Classificação

Definida as classes, o próximo passo foi a coleta das amostras de cada uma destas classes, uma vez que a classificação adotada foi a classificação do tipo supervisionada. Na plataforma do GEE há a possibilidade da criação de geometrias do tipo ponto, linha, forma livre e retângulos que são importadas ao projeto (Figura 13). Para a coleta das amostras das classes optou-se por polígonos do tipo forma livre e retângulos para montar estas amostras para o classificador. Ao total foram criados 919 polígonos, uma média de 115 polígonos para cada classe.

Figura 13 - Geometrias disponibilizadas no GEE e as amostras das classes que foram incorporadas ao projeto.



Fonte: GEE – Elaborado pelo Autor, 2021.

O classificador utilizado foi o algoritmo *Random Forest*, com 1000 ramificações da árvore de decisão criadas. Para o treinamento e teste de acurácia do classificador foi determinado que o número de 1000 pixels de cada polígono de amostra fosse selecionado, de forma randômica, onde 70% destes foram destinados para o treinamento e 30% para o teste de acurácia do classificador.

Realizada a classificação, a imagem resultante foi exportada em formato GeoTIFF para o banco de dados. Posteriormente, a imagem classificada foi transformada em formato vetorial no software ArcGIS e salvo o arquivo em formato *shapefile*.

3.4 ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA NAS ÁREAS ÚMIDAS

No software ArcGIS foram calculadas as áreas em km² dos arquivos em formato *shapefile* das áreas úmidas e das classes de uso e cobertura da terra. Esse procedimento foi realizado criando-se um campo novo na tabela de atributos e utilizando a ferramenta “*Calculate Geometry*”. Importante ressaltar que os arquivos em formato *shapefile* foram reprojados para Projeção Albers, antes do cálculo, pois essa projeção por ser cônica equivalente mantém a área constante em toda a sua superfície.

Posteriormente foi realizado a interseção geométrica dos arquivos *shapefile* das áreas úmidas e do uso e cobertura da terra, gerando um novo arquivo de saída, contendo somente as classes de uso e cobertura da terra dentro das áreas úmidas. Esse novo arquivo de saída será utilizado para realizar análises sobre os tipos de usos da terra nestas áreas e verificar se há usos conflitantes.

Por fim, foi gerado os mapas de Uso e Cobertura da Terra, Áreas Úmidas, Uso e Cobertura da Terra nas Áreas Úmidas e também um mapa comparativo com as áreas úmidas delimitadas nessa pesquisa com Áreas Úmidas e Áreas Sujeitas a Inundação da Base cartográfica digital da Região Funcional-1 na escala 1:25.000, que pertence a Cartografia Digital do RS, da Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão do Estado do Rio Grande do Sul (DEPLAN).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo será dividido em 3 partes. Na primeira será apresentado o resultado da classificação de uso e cobertura da terra na bacia de estudo, a quantificação e a qualificação desta classificação e a avaliação do método empregado e suas limitações. Na segunda será apresentado o resultado da delimitação das áreas úmidas na bacia de estudo, a quantificação e a qualificação desta área e a avaliação do método empregado e suas limitações. Na terceira parte será apresentada uma análise dos conflitos de uso da terra nas áreas úmidas.

4.1 USO E COBERTURA DA TERRA NA BHRG

Como resultado da classificação do uso e cobertura da terra das imagens de satélite que cobrem a região de estudo, foram obtidas as áreas, em quilômetros quadrado, representado por cada classe na BHRG, tanto em termos absolutos quanto em percentuais, como pode ser verificado na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação em termos absolutos e percentuais das áreas representadas por cada uma das classes na BHRG.

Classes	Áreas (Km ²)	Áreas (%)
Área Descoberta	220,09	10,92
Área Urbanizada	181,47	9,17
Campestre	499,18	24,78
Corpos d'Água	30,21	1,50
Cultura Temporária	331,07	16,43
Florestal	239,36	11,88
Pastagem	471,93	23,43
Silvicultura	41,23	2,05
Total	2014,54	100,00

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

O uso e cobertura da terra na área de estudo (Figura 14) é caracterizada principalmente pelas classes de Pastagem e Campestre, ambas ocupam 48,21% da área da bacia. A distribuição destas classes é homogênea em toda área da bacia. A classe Cultura Temporária, principalmente

o arroz irrigado, representam 16,43% da área da bacia, e estão localizadas principalmente na várzea do Rio Gravataí.

O uso Florestal que representa 11,88% do uso da bacia está localizado principalmente ao Norte e Sul da bacia. Logo em seguida aparecem as Áreas Descobertas (10,92%) e estão distribuídas ao longo de toda a bacia. As Áreas Urbanizadas totalizam 9,01% do uso na bacia, e estão localizadas em sua maioria no oeste da bacia, representando total ou parcialmente as áreas urbanas de Porto Alegre, Alvorada, Viamão, Canoas, Cachoeirinha e Gravataí. A classe Silvicultura que representa 2,05% da bacia, estão localizadas em sua maior parte no município de Gravataí.

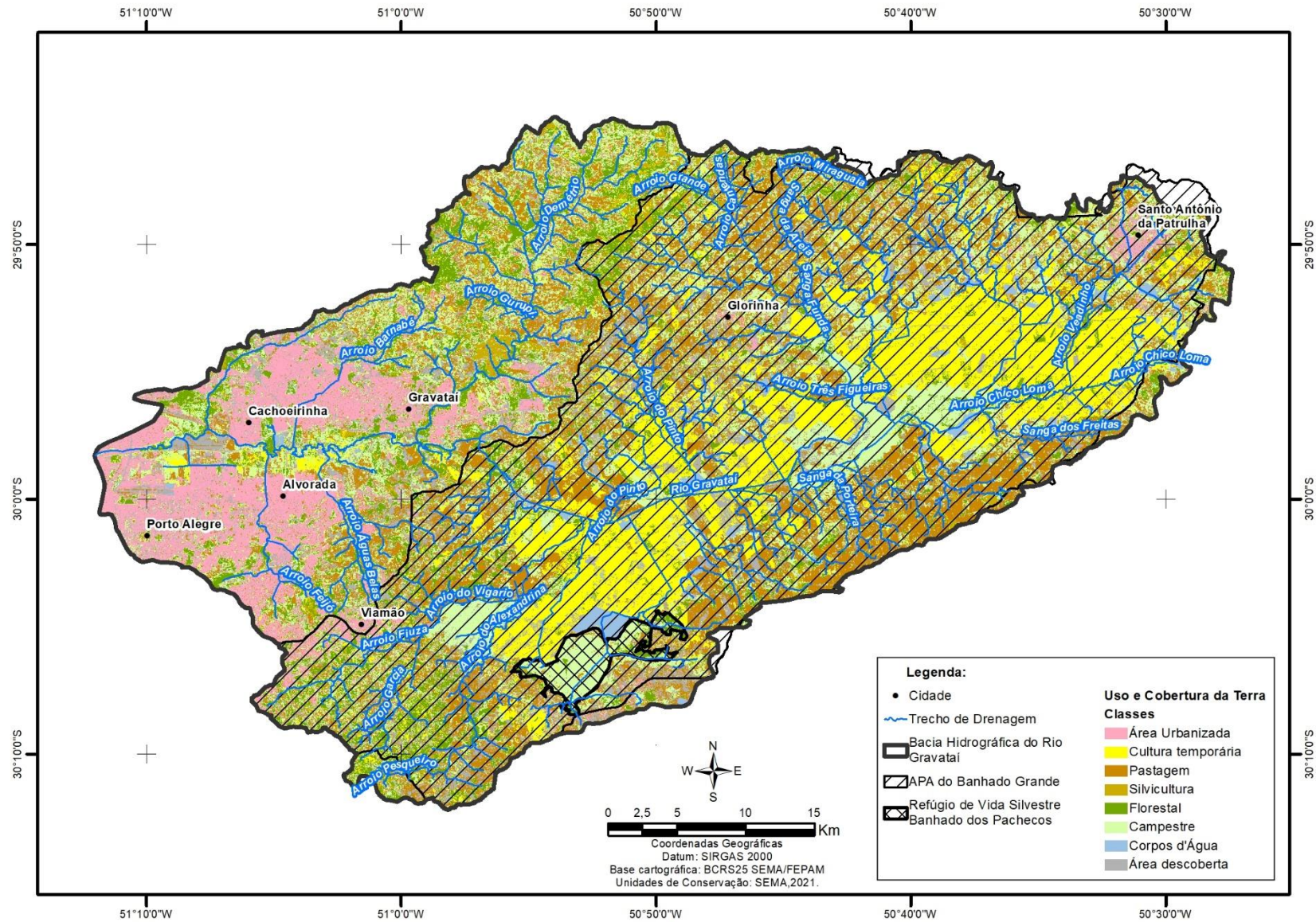
Analisando a Tabela 1 e a Figura 14, percebe-se que o uso e cobertura da terra na BHRG é bastante heterogêneo, caracterizando uma paisagem bastante fragmentada. Conforme Oliveira et al., (2005):

Uma das principais formas de uso do solo na bacia é o cultivo extensivo do arroz irrigado, principalmente na várzea do Rio Gravataí, além da atividade agropecuária desenvolvida tanto nas áreas campestres das coxilhas quanto nos campos inundáveis da planície lagunar. Agregando-se a essas atividades o reflorestamento com espécies exóticas como acácia e eucalipto e o padrão de uso do solo nas pequenas propriedades e sítios de lazer, o resultado é uma paisagem extremamente fragmentada (OLIVEIRA,2005).

Comparando com o uso e ocupação do Plano de Bacia da Bacia do Gravataí (RIO GRANDE DO SUL, 2012) que foi realizado em cima de imagens digitais obtidas do satélite Landsat TM 5 de 2009, percebe-se pouca variação na ocupação das classes no território da bacia. No mapeamento desenvolvido no Plano da Bacia a classe Campo, aqui também incluída as áreas de Pastagens, representava 50,81% (Tabela 2), enquanto neste trabalho, essas duas classes representam 48,21%, como já mencionado.

Outras classes que tiveram ocupação bem similares são a Cultura Temporária e a Florestal, que em 2009 representavam 19,98% e 11,12% do território da bacia. A Área Urbanizada e Silvicultura tiveram um acréscimo de 1,36% e 2,94% respectivamente, na ocupação no território.

Figura 14 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra na BHRG.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021

Tabela 2 - Uso e ocupação do Plano de Bacia da Bacia do Gravataí

Classes	Áreas (Km ²)	Áreas (%)
Campo	1023,82	50,81%
Lavoura	402,60	19,98%
Mata	224,07	11,12%
Área Urbana	154,15	7,65%
Banhado	79,79	3,96%
Água	41,11	2,04%
Campo Úmido	21,36	1,06%
Solo Descoberto	48,96	2,43%
Reflorestamento	17,93	0,89%
Total		

Fonte: Adaptado RIO GRANDE DO SUL, 2012.

Da área total da bacia, aproximadamente 70% é ocupado pelas Unidades de Conservação APA do Banhado Grande e Refúgio de Vida Silvestre Banhado dos Pachecos. Na APABG, que pertence à categoria de Uso Sustentável, conforme o mapeamento de Uso e Cobertura da Terra realizado nesta pesquisa, verifica-se uma predominância das classes Pastagem e Campestre, correspondendo 26,61 % e 24,19%, respectivamente.

A classe Cultura Temporária ocupa 32,48% da área da APABG. Quanto a esta classe, cabe ressaltar que sua maior ocupação na bacia está dentro da APA, onde ocupa 310,74 km² de área de um total de 331,07 km² na Bacia. Já no Refúgio de Vida Silvestre, que pertence à categoria de Proteção Integral, a classe Campestre representa 71,22% de ocupação, seguido pela classe Florestal, 16,90%.

4.1.1 Matriz de Confusão e Teste de Acurácia

Para avaliar a concordância dos pixels classificados foi produzido uma matriz de confusão, como forma de representar a qualidade obtida nesta classificação e correlacionar os dados de referência com os dados classificados. Os dados de referência são aqueles dados reservados, 30% das amostras, como acurácia do produtor. Os dados classificados são os dados utilizados para a classificação, 70% das amostras, como acurácia do consumidor. O Quadro 3 -

apresenta de forma esquemática a matriz de confusão onde as amostras de referências estão nas colunas e os dados classificados encontram-se nas linhas.

Quadro 3 - Matriz de confusão sobre a classificação de uso e cobertura da terra na BHRG.

		Amostras							
		Áreas Urbanizadas	Cultura Temporária	Pastagens	Silvicultura	Florestal	Campestre	Corpos D' água	Áreas Descobertas
Classificação	Áreas Urbanizadas	265	1	5	0	0	1	0	25
	Cultura Temporária	0	265	0	1	16	11	0	0
	Pastagens	0	0	247	0	0	5	0	9
	Silvicultura	0	4	0	298	2	1	0	0
	Florestal	0	32	0	7	254	9	0	0
	Campestre	1	5	5	0	15	280	0	2
	Corpos D' água	0	0	0	0	0	0	311	0
	Áreas Descobertas	18	0	16	0	0	3	0	257

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Através da matriz de confusão podemos observar que das 2371 amostras de teste, 2177 foram corretamente classificadas, representando 91,8% de acurácia geral. A classe que apresentou maior confusão foi a Florestal, onde, das 302 amostras: 32 amostras foram classificadas como Cultura Temporária; 9 amostras como Campestre; e 7 amostras como Silvicultura.

A segunda maior confusão foi a classe Área Descoberta que das 294 amostras: 18 amostras foram classificadas como Área Urbanizada; 16 amostras como Pastagem; e 3 amostras como Campestre. E a terceira maior confusão foi a classe Área Urbanizada que das 297 amostras: 25 amostras foram classificadas como Área Descoberta; 5 amostras como Pastagem; 1 amostra como Cultura Temporária; e 1 amostra como Campestre.

Destaca-se que a classe Corpos D'água não apresentou confusão com nenhuma das outras classes. Também, a classe Silvicultura apresenta pouca confusão com as demais classes, com apenas 4 amostras classificadas como Cultura Temporária, 2 como Florestal e 1 como Campestre, do total de 305 amostras.

4.2 ÁREAS ÚMIDAS NA BHRG

A metodologia utilizada possibilitou a obtenção dos índices que representam a resposta espectral das áreas úmidas, o que permitiu realizar a sua delimitação. A delimitação das áreas úmidas na bacia apresentou, como resultado, uma ocupação de 16,17% desta feição na bacia, o que corresponde a 325,86 km². Verifica-se que estas áreas estão concentradas em grande parte na planície do Rio Gravataí e de seus principais afluentes (Figura 15).

Esta característica das planícies, predomínio do relevo plano ou levemente ondulado, em conjunto com as propriedades do solo na região, contribuem para a elevação do lençol freático e o conseqüente alto teor de umidade nessa região.

O método apresentado por Gao (1996) e escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa, vem a confirmar um dos resultados da pesquisa de Simione et al. (2020), que utilizou índices em sua pesquisa e o NDWI proposto por Gao foi um dos índices que apresentou melhor resposta no Complexo do Banhado Grande, situado na BHRG.

4.2.1 Validação das Áreas Úmidas Delimitadas

Para fins de validação das Áreas Úmidas delimitadas neste trabalho, realizou-se uma comparação com as feições Área Úmida e Terreno Sujeito a Inundação da Base cartográfica digital da Região Funcional-1 na escala 1:25.000 (DEPLA, 2021), que pertence a Cartografia Digital do RS, da Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão do Estado do Rio Grande do Sul (DEPLAN), disponível no Geoportal da Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais (IEDE).

Este mapeamento foi realizado seguindo a Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV 3.0), utilizando ortoimagens de 2018 e modelo digital de elevação. Conforme a ET-EDGV 3.0, a feição “área úmida” é aquela que possui uma lâmina d’água com pequena profundidade, típica de regiões com vegetação do tipo brejo ou pântano ou aquela que possui a sua superfície permanentemente encharcada, enquanto que a feição “terreno sujeito a inundação” é uma área passível de inundação sazonal ou esporádica, decorrente de sua proximidade com cursos d’água (DSG, 2017).

Conforme mapeamento do DEPLAN (2021), estas duas feições ocupam 173,49km² de área na bacia, o que corresponde a 8,6% do território da mesma, enquanto que as Áreas úmidas mapeadas nesta pesquisa ocuparam uma área de 325,86km² ou 16,17% do território da bacia, como já mencionado no início deste item.

A similaridade entre os mapeamentos se dá principalmente nas classes Campestre e Pastagem, pois na metodologia desenvolvida pelo DEPLAN, que envolveu análise visual da imagem e modelo digital do terreno não considerou a resposta espectral, utilizada nesta pesquisa, e também o valor da mediana da resposta espectral dos pixels da “pilha de imagens” captadas durante um ano, portanto as Áreas Úmidas delimitada nesta pesquisa englobou outras classes com alto teor de umidade, como fragmentos de mata paludosa, solos saturados de água e áreas de cultura em pousio ou em preparo.

4.2.2 Uso e Cobertura da Terra nas Áreas Úmidas

Como resultado da classificação das imagens de satélite e a partir da delimitação das áreas úmidas, foram obtidas as áreas ocupadas por cada classe nestas áreas, tanto em termos absolutos quanto em percentuais, como pode ser verificado na Tabela 03.

Tabela 3 - Áreas ocupadas por classes nas áreas úmidas, em termos absolutos e percentuais.

Classes	Áreas (km ²)	Áreas (%)
Área Descoberta	19,06	5,85
Área Urbanizada	2,42	0,74
Campestre	128,09	39,31
Corpos d'Água	8,09	2,48
Cultura Temporária	88,21	27,07
Florestal	48,99	15,03
Pastagem	28,69	8,80
Silvicultura	2,31	0,71
Total	325,86	100

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Quanto ao Uso e Cobertura da Terra nas Áreas Úmidas verifica-se um predomínio da classe Campestre, com 39,31% de ocupação. Essa classe está concentrada principalmente nos sistemas de banhado da Bacia: Banhado Grande nos municípios de Gravataí e Glorinha; a extensão do Banhado Grande conhecido como Banhado do Chico Lomã, no município de Santo Antônio da Patrulha; e o Banhado dos Pachecos, no município de Viamão (Figura 17).

Segundo o Plano de Manejo da APABG (RIO GRANDE DO SUL, 2021), esta conformação é resultado da fragmentação pela ação humana, pois, originalmente, toda a região formava um grande complexo de banhados interligados.

A seguir, as AUs são ocupadas por Cultura Temporária (27,07%), representadas em sua totalidade pela cultura de arroz. Destaca-se a concentração deste uso nas áreas adjacentes ao Arroio do Pinto, curso médio e superior do Rio Gravataí e porções adjacentes ao Arroio Chico Lomã, no setor leste da Bacia. A produção de arroz irrigado tem grande relevância na APABG, segundo consta no Plano de manejo:

A APABG conta com extensas áreas de produção de arroz irrigado, inseridas no curso superior e médio do rio Gravataí, nas suas áreas planas da planície de inundação e nas áreas lindeiras aos banhados Grande e dos Pachecos, tendo parte com produção convencional e parte com cultivos orgânicos associados com o Banhado dos

Pachecos, em manejos produtivos sustentáveis em área de assentamento. (RIO GRANDE DO SUL, 2021).

A classe Florestal representa 15,03%, e é caracterizada por fragmento mais isolados dentro da APABG, e de mata ciliar no trecho médio e baixo do Arroio Demétrio e alguns locais do trecho baixo do Rio Gravataí. Dentro da APABG essa classe pode ser representada, principalmente pelas matas paludosas, que é um tipo de floresta que ocupa áreas com solo permanentemente encharcado com menor diversidade de espécies em relação às outras florestas (EMBRAPA, 2021).

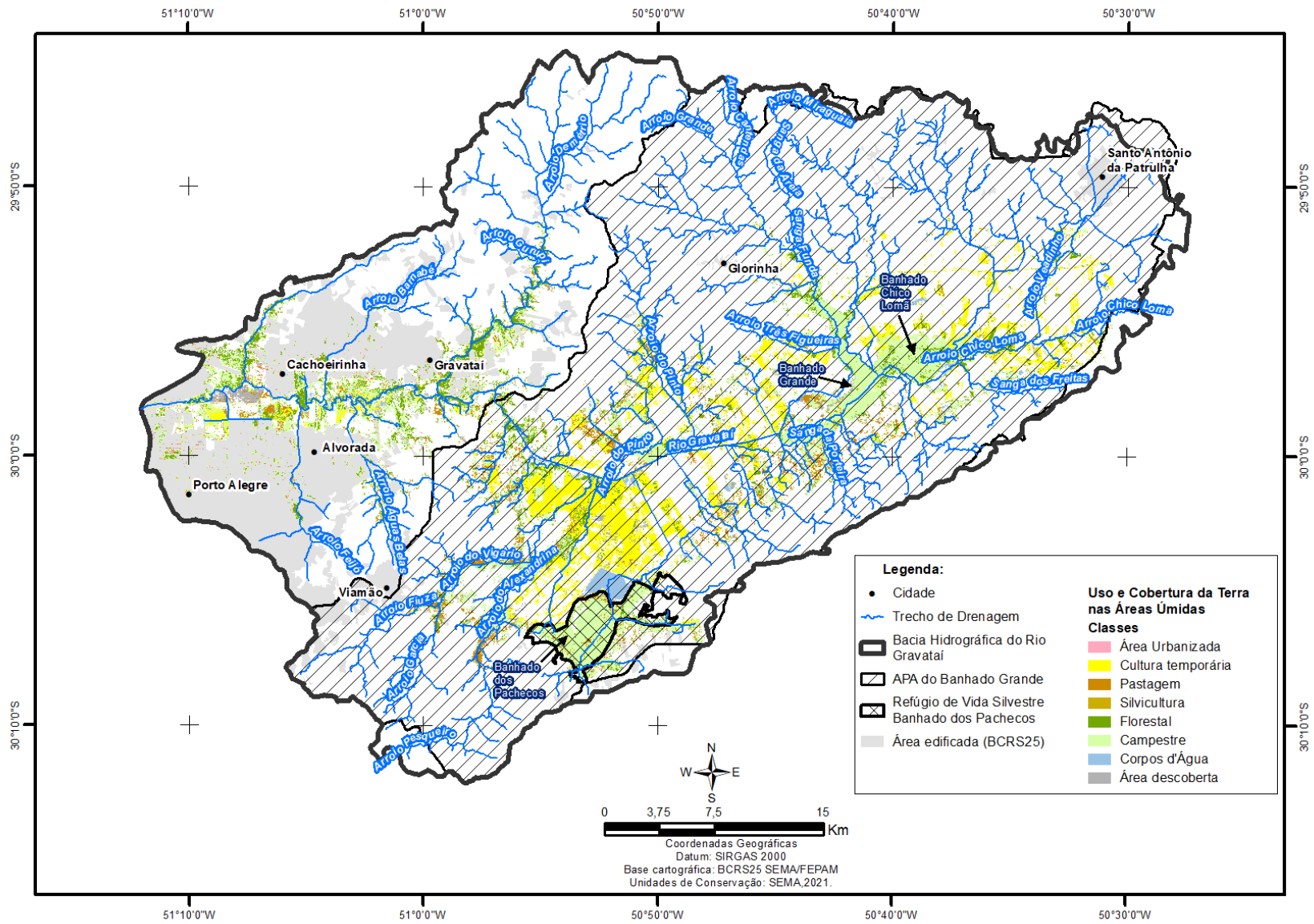
Oliveira et al., (2005) realizaram uma caracterização florística de fragmentos florestais da bacia do rio Gravataí, e descrevem:

As matas na Planície Lagunar estão restritas, atualmente, às margens dos cursos d'água, alargando-se na confluência desses com os banhados. Por localizarem-se em áreas topograficamente mais deprimidas do que o seu entorno, apresentam vegetação característica dos locais submetidos a inundações periódicas ou a alagamentos permanentes, sendo, portanto, denominadas de matas paludosas (OLIVEIRA, 2005).

As áreas de Pastagem representam 8,8% nas áreas úmidas, são fragmentos isolados, mas a maior concentração se encontra nas proximidades do Arroio Fiuza, Arroio do Vigário e Arroio do Alexandrina, localizados a sudoeste da Bacia. As Áreas Descobertas representam 5,85% e estão concentradas no trecho do Baixo Gravataí, neste caso são caracterizadas por áreas em preparo para cultivo de arroz.

A classe corpos d'água representa 2,48% e está inserida em sua totalidade dentro da APABG, nela há uma expressiva área de açudes e barragens destinadas à reservação de água para a atividade agropecuária, conforme consta no Plano de manejo. As classes Áreas Urbanizadas e Silvicultura são as menos expressivas nas áreas úmidas, representando respectivamente 0,74% e 0,71%, caracterizados por fragmentos bem isolados e pouco perceptíveis na escala do mapa.

Figura 17 - Mapa de Uso da Terra nas Áreas Úmidas em destaque Área Urbanizada da BHRG.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

4.2.3 Usos Conflitantes nas Áreas Úmidas

O maior conflito de uso nas áreas úmidas pode-se dizer que é em relação as expressivas atividades agropecuárias inseridas nos complexos dos Banhados Grande, Chico Lomã e dos Pachecos. Conforme consta no Plano de Manejo, originalmente, toda a região formava um grande complexo de banhados interligados, e a conformação atual é resultado da fragmentação pela ação humana, pois grande parte dos banhados foi convertida (drenada) para atividades agropecuárias. Torna-se evidente esta questão, diante do exposto:

Os banhados abrigam atividades produtivas, principalmente agricultura irrigada. Uma parte dos banhados foi drenada para ampliar áreas produtivas, fazendo com que o sistema Banhado Grande registre uma redução significativa de sua área original. No final dos anos de 1960 foram construídos canais de drenagem pelo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), entre eles, um de aproximadamente 20 km, que desemboca na bacia do rio Gravataí e que se inicia na porção final do Banhado Grande. Assim, o Banhado Grande, que atua como regulador de vazão, originalmente ocupava uma área de 450 km², sendo reduzido para apenas 50 km², em função do uso da água para irrigação das culturas de arroz (RIO GRANDE DO SUL,2021).

Outro fator que pode ser considerado conflitante é em relação ao avanço das áreas urbanizadas (em destaque na Figura 17) nas adjacências das áreas úmidas, principalmente nas Áreas Urbanizadas dos municípios de Porto Alegre, Alvorada, Cachoeirinha e Gravataí.

Segundo Maia et al. (2017), na década de 50 com a implantação da Lei 1233, que dispõe sobre os arruamentos e outras providências sobre a regulamentação de loteamentos urbanos em Porto Alegre, houve uma forte valorização do uso da terra na capital, elevando o preço no mercado imobiliário, o que contribuiu para a dispersão da população porto-alegrense, principalmente as de baixo poder aquisitivo, para os municípios limítrofes. Neste contexto, a autora identificou eixos da expansão residencial sobre as AUs nas margens do Rio Gravataí entre os anos de 1971 a 2016 e conclui que neste período a região sofreu aumento da ocupação, impulsionando a urbanização e a ocupação de locais inadequados, como as Áreas de Preservação Permanente.

Como resultado desta ocupação é comum acontecer enchentes e alagamentos nas margens do Rio Gravataí, onde as populações ribeirinhas precisam abandonar suas casas durante períodos de grande precipitação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A delimitação e o mapeamento das áreas úmidas e da cobertura e uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, a partir de processamento em nuvem das imagens de satélite da constelação Sentinel-2, no ambiente da Plataforma Google Earth Engine mostrou-se bastante satisfatória e promissora. Ao processar os dados de maneira online e sem a necessidade de realizar *download* de imagens de satélite, por exemplo, foi possível atingir o objetivo proposto nesta pesquisa, sem um equipamento robusto. A possibilidade de “empilhar” 56 cenas, que cobriam os 2015 km² da região de estudo, para a formação do mosaico e a facilidade em aplicar a operação aritmética entre as bandas das imagens para elaboração do índice espectral NDWI, merecem destaque, pois com a definição de variáveis sintéticas, como a expressão do índice, foram suficientes para atingir a finalidade. Assim, como a geração do histograma, gráficos que serviu de apoio à delimitação das AUs e foi primordial à utilização do método de fatiamento. A realização do mapeamento da cobertura e uso da terra (i.e., Áreas Urbanizadas, Culturas Temporárias, Pastagens, Silvicultura, Florestal, Campestre, Corpos D’água e Áreas Descobertas), através de técnicas de classificação supervisionada com o algoritmo Random Forest, onde foi possível ajustar os parâmetros para uma melhor resposta na rotulação dos pixels, apresentou um bom resultado, atingindo 91,8% de acurácia geral do classificador. Mediante a associação espacial das classes de uso mapeada, aquelas que não compõem vegetação nativa e água, com as áreas úmidas delimitada, pode-se destacar que estas classes representam 43,17% da área total, gerando algum tipo de conflito de ocupação. Contudo, a classe Campestre, cobertura característica da área de estudo, apresentou a maior representatividade entre todas as classes ao compor 39,17% do total da área delimitada, o que configura um fator positivo em termos de conservação do ambiente natural. A utilização da plataforma do GEE como meio de obtenção de dados e processamento virtual para este estudo de caso, foi avaliada de maneira positiva. Destaca-se que esta plataforma se apresenta como uma ferramenta importante para o monitoramento e o controle das áreas úmidas ao permitir aquisição de dados de forma dinâmica e atualizada. Para trabalhos futuros é sugerida a realização desta metodologia ampliando seu período de cobertura de imagens, através de uma análise multitemporal, com a finalidade de ampliar as possibilidades de validação da delimitação das áreas úmidas.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. B. et. al. **Avaliação de índices de vegetação e características fisiográficas no Sertão Pernambucano**. Revista Brasileira de Meio Ambiente v. 4, n. 1, p. 97-107, 2018.

BRASIL - Decreto Federal. **Convenção de Ramsar**, n. 1.905, Congresso Federal, 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1996/D1905.htm>. Acesso em: 27 de abr. 2021.

_____. Lei n. 12.651 de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**; Altera as Leis n. 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 n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF, 2012.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Departamento de Geomática - UFPR. Curitiba, PR. p. 210, 2003.

COMITÊ BRASIL - Comitê Brasil em Defesa das Florestas e do Desenvolvimento Sustentável. **Código Florestal e a Ciência: o que nossos legisladores ainda precisam saber**. Comitê Brasil. Brasília-DF, 2012. Disponível em: <http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_criminal/Boas_praticas/Relacao_Projetos/projetoflorestar1/revista_codigo_florestal_e_a_ciencia.pdf>. Acesso em: 21 de nov. 2021.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagem de sensoriamento remoto**. ed. rev. Campinas, SP, IG/UNICAMP, 1. ed, p. 170, 1992.

DEPLAN - Secretaria de Planejamento, Orçamento e Gestão do Estado do Rio Grande do Sul, RS. **Projeto de Mapeamento do Rio Grande do Sul, Região Funcional 1, Base Vetorial Contínua, HID_Area_Umida_A_RF1**, IEDE. Porto Alegre, RS, 2021. Disponível em: <<https://iede.rs.gov.br/portal/home/item.html?id80ac5c264b774aa396b08bd4d2411559>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

DRUSCH, M. et al. **Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services**. Remote Sens Environ v. 120, p. 25-36, 2012.

DSG - DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. EXÉRCITO BRASILEIRO. **ET-EDGV 3.0 – Especificação Técnica para a Estruturação dos Dados Geoespaciais Vetoriais**, 2017. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/index.php/inde2?id=142>.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite. **Sistema de Gestão Territorial da ABAG/RP**. Disponível em: <<http://www.abagr.pnmp.embrapa.br/areas/vegetacao.htm>>. Acesso em: 19 de nov. 2021.

ENGESAT, **Imagens de Satélites**- Disponível em: <<http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/>>. Acesso em: 16 de set. 2021.

ESA – European Space Agency. **Sentinel-2 User Handbook. ESA Standard Document**. p. 64, 2015. Disponível em: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook. Acesso em: 22 mai. 2021.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélites para estudos ambientais**. São Paulo, SP. Ed. Oficina de Textos, 1. ed, p. 98, 2002.

GAO, B. C. *NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space*. Remote Sensing of Environment, dez.1996. v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996.

GEE - Google Earth Engine. **What is Earth Engine?** 2021. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/faq/>>, Acesso em: 25 de jul. 2021.

GOWARD, S. et al. **Landsat's Enduring Legacy: Pioneering Global Land Observations from Space**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 84, p. 9-10, 2018.

GUASSELLI, L. A. **Conceituação de Áreas Úmidas**. In: GUASSELLI, L.A. Org. Áreas úmidas - Questões ambientais, 1. ed, Porto Alegre, RS. Ed. Imprensa Livre, p. 11-31, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais técnicos em geociências, n. 7, Manual técnico de uso da terra**, IBGE, 3. ed. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**, 1949, Tradução: coord. EPIPHANIO, J. C. N. et.al, São José dos Campos, SP. Ed. Parentese, p. 597, 2009.

LIMA, T. A. et al. **Comparing Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI Imagery for Monitoring Selective Logging in the Brazilian Amazon**. Remote Sens, v. 11, p. 961, 2019.

MAIA, J. A.; STROHAECKER, T. M.; GUASSELLI, L. A. **Identificação da expansão urbana em áreas úmidas por meio do Sistema de Informações Geográficas. Estudo de caso: área de inundação do Rio Gravataí/RS.** Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, n. 30, p. 95-112, set. 2017.

MCFEETERS, S. K. **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features.** International Journal of Remote Sensing v. 17, p. 1425-1432, 1996.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de imagens de sensoriamento remoto.** ALMEIDA, T. Org. Brasília: Ed. UNB, 2012.

METROPLAN- Fundação Regional de Planejamento Metropolitano e Regional -**Estudo de Alternativas e Projetos para Minimização do Efeito de Cheias e Estiagens na Bacia do Rio Gravataí.** Porto Alegre, RS, 2015.

MPRS - Ministério Público do Rio Grande do Sul; **Operação combate fraude em licenciamentos ambientais no litoral norte** 06/10/2011; Disponível em: <<https://www.mprs.mp.br/noticias/26413/>> Acesso em: 27 de jul. 2021.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DSR/INPE, São José dos Campos, SP, p. 23, 2002.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologia de aplicação.** Ed. UFV, 3. ed. Viçosa, MG, 2005.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano.** Ed. da autora, 2. ed. Belo Horizonte, MG, p. 294, 2005.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto.** INPE. São José dos Campos, SP, p. 68, 2001.

_____. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações** – Ed. Blucher, 4. ed. São Paulo, SP. p. 387, 2010.

OLIVEIRA, M. de L. A. A. de; BALBUENO, R. A; SENNA, R. M. **Levantamento florístico de fragmentos florestais na bacia hidrográfica do Rio Gravataí,** Rio Grande do Sul, Brasil. IHERINGIA, Sér. Bot., Porto Alegre, RS. v. 60, n. 2, p. 269-284, jul./dez. 2005.

PEREIRA, L. E. et al. **Análise comparativa entre métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em área úmida continental.** Anuário do Instituto de Geociências, v. 41, n. 2, p. 654-662, 2019.

PIESCHKE, R. L. **U.S. Geological Survey distribution of European Space Agency's Sentinel-2 data.** U.S. Geological Survey, Fact Sheet, n. 3026, p. 2, 2017.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica.** V Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente. São José dos Campos, SP. Cap. 8, INPE, p. 22-26, 2002.

RAMSAR Convention [**Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat**]. The Convention on Wetlands text. Ramsar, Iran. 1971.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Departamento de Recursos Hídricos. **Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí.** Porto Alegre, RS. SEMA, 2012.

_____. Lei n 15.434, de 09 de janeiro de 2020. **Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, RS, 2020.

_____. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura. SEMA, Departamento de Biodiversidades, Divisão de Unidades de Conservação. **Plano de Manejo Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande.** v. II, Porto Alegre, RS. SEMA, 2021.

SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S. **Spring 5.1.2 passo a passo: aplicações práticas.** Alegre, ES: CAUFES, p. 153, 2010.

SEMA - Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável –**Base Cartográfica do Estado do Rio Grande do Sul, Escala 1:25.000 – BCRS25. Versão. 1.0.** Porto Alegre, RS. SEMA, FEPAM. 2018.

_____. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí.** 2020. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/g010-bh-gravatai>> . Acesso em 20 de jun. 2021.

SCHOTT, M. **Random Forest Algorithm for Machine Learning: Part 4 of a Series on Introductory Machine Learning Algorithms.** 2019. Disponível em: <https://medium.com/capital-one-tech/random-forest-algorithm-for-machine-learning-c4b2c8cc9feb>. Acesso em: 15 de set. 2021.

SIMIONI, J. P. D. et al. **A comparison of data mining techniques and multi-sensor analysis for inland marshes delineation.** Wetlands Ecol Manage v. 28, p. 577-594, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09731-2>

SOARES-FILHO, B. S. **Curso de Especialização em Geoprocessamento.** Departamento de Cartografia. Centro de Sensoriamento Remoto. Instituto de Geociências. UFMG. Belo Horizonte, 2000.

SOUZA et al. **Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine** - Remote Sensing, v. 12, n. 17, 2020.

TUDOGEO, **Processo de Aquisição de Imagens de Sensoriamento Remoto** Fonte: <https://tudogeo.com.br/>. Disponível em: <https://tudogeo.com.br/banco_questoes/questao-de-geografia-enem-2019-sensoriamento-remoto/>. Acesso em 11 de mai. 2021.

WIKIWAND, **Espectro eletromagnético e seus comprimentos de onda e suas frequências.** Fonte: <https://www.wikiwand.com/>. Disponível em: <<https://www.wikiwand.com/pt/Espectro-vis%C3%ADvel>>. Acesso em 20 de mai. 2021.

WULDER, M. A. et al. **The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction,** Remote Sensing of Environment, v. 185, p. 271-283, 2016.