

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

KETOLYN RAYLLA MEDEIROS SILVA DIAS

**SENSORIAMENTO REMOTO: PRINCÍPIOS FÍSICOS BÁSICOS E APLICAÇÃO
NO MUNICÍPIO DE MAÇAMBARÁ-RS**

Itaqui

2021

KETOLYN RAYLLA MEDEIROS SILVA DIAS

**SENSORIAMENTO REMOTO: PRINCÍPIOS FÍSICOS BÁSICOS E APLICAÇÃO
NO MUNICÍPIO DE MAÇAMBARÁ-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientadora: Caroline Jaskulski Rupp

Coorientador: Alisson Darós Santos

Itaqui

2021

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

D541s Dias, Ketolyn Raylla Medeiros Silva

Sensoriamento Remoto: princípios físicos básicos e
aplicação no município de Maçambará-RS / Ketolyn Raylla
Medeiros Silva Dias.

48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA,
2021.

"Orientação: Caroline Jaskulski Rupp".

1. Sensoriamento Remoto. 2. Radiação eletromagnética. 3.
Fundamentos Físicos. 4. Índices. 5. Bandas espectrais. I.
Título.

SENSORIAMENTO REMOTO: PRINCÍPIOS FÍSICOS BÁSICOS E APLICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE MAÇAMBARÁ-RS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Cartográfica e de Agrimensura da
Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Cartográfica e de
Agrimensura.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 30 de abril de 2021.

Banca examinadora:



Profa. Dra. Caroline Jaskulski Rupp

Orientadora

UNIPAMPA/ITAQUI



Prof. Dr. Alisson Darós Santos

UNIPAMPA/ITAQUI



Profa. Dra. Cassiane Jraj de Melo Victoria Bariani

UNIPAMPA/URUGUAIANA

Dedico este trabalho à minha mãe, Simone, meu maior exemplo de persistência e amor, e à minha tia Ruth, exemplo de dedicação e força ao qual me proporcionaram toda a base para me tornar a pessoa que eu sou hoje.

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos. A minhas irmãs Kemilly, Evellyn e Rúbia, por todo o carinho, compreensão e paciência, por nunca me deixarem desistir e me lembrado dos motivos pelos quais decidi seguir com essa formação. A minha prima Priscila, que sempre me incentivou e me ensinou que a “nossa educação e formação são conquistas que ninguém pode nos tirar”. Agradeço aos meus amigos especiais que com certeza me fizeram evoluir como pessoa, como amiga e como profissional, que me acompanharam neste final com muita paciência e ensinamentos, sem eles talvez esse trabalho seria diferente, então serei eternamente grata por esse resultado. A professora Caroline, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. Ao professor Alisson, pela coorientação, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso e a professora Cassiane, por aceitar fazer parte desse momento tão importante, por todos os conselhos, pela ajuda e pela paciência com a qual guiou o meu aprendizado. A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa e à UNIPAMPA - Campus Itaqui, por tornar capaz essa etapa fundamental da minha vida.

“Mesmo quando tudo parece desabar, cabe a mim decidir entre rir ou chorar, ir ou ficar, desistir ou lutar; porque descobri, no caminho incerto da vida, que o mais importante é o decidir.”

Cora Coralina

RESUMO

O Sensoriamento Remoto é de grande valia para a obtenção de informações da superfície terrestre sem o contato direto com a mesma, sendo a área da ciência que se utiliza de energia proveniente da radiação eletromagnética (luz), que quando capturada pelos sensores remotos são transformadas em dados e posteriormente interpretadas para gerarem informações úteis dos alvos terrestres. A energia eletromagnética é a base na qual todos os princípios físicos dessa ciência se relacionam. Há algumas questões importantes que devem ser observadas quando estudamos a interação entre a radiação eletromagnética e o objeto: (a) como podemos analisar e verificar esta interação? (b) como se diferencia um objeto do outro? Com o intuito de entendermos melhor as propriedades do Sensoriamento Remoto é apresentado neste trabalho os fundamentos teóricos e as principais Leis Físicas, como o modelo teórico do Corpo Negro, a Lei de Planck, a Lei de Stefan-Boltzmann, a Lei do deslocamento de Wien, a Lei de Rayleigh-Jeans, as principais equações matemáticas envolvidas e as suas aplicações. O estudo em questão consiste na divisão da sua metodologia em duas etapas, sendo a primeira uma revisão bibliográfica aprofundada do tema e a segunda nas aplicações de todo o conceito aprendido durante a primeira fase. A aplicação será realizada em forma de tratamento, análise e elaboração de mapas utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto na utilização da composição RGB e dos índices de vegetação NDVI, VARI e por fim o NDWI. As bandas espectrais obtidas por sensores de satélite, trabalhadas e processadas trás benefícios incontáveis para a população, tornando possível a visualização e tratamento de áreas sem a necessidade de ir ao local, onde a partir de uma composição colorida ou uma aplicação de índices já disponíveis no mercado resulta na identificação e monitoramento de áreas florestais, identificação de campos agrícolas, quantificação de áreas, identificação de cursos d'água, reservatórios, mapeamento de uso do solo, expansões urbanas, gerenciamento costeiros, monitoramento de reservatórios onde a partir do processamento de dados provenientes dos satélites é possível identificar e monitoramento áreas florestais, campos agrícolas, cursos d'água, reservatórios, uso do solo, expansões urbanas, gerenciamento costeiros, além de ser uma ferramenta útil para apoiar trabalhos topográficos e cartográficos.

Palavras-Chave: Sensoriamento Remoto. Radiação eletromagnética. Fundamentos Físicos. Índices. Bandas espectrais.

ABSTRACT

Remote Sensing is of great value for obtaining information from the Earth's surface without direct contact with it, being the area of science that uses energy from electromagnetic radiation (light which when captured by remote sensors are transformed into data and later interpreted to generate useful information of the terrestrial targets. Electromagnetic energy is the basis on which all physical principles of this science are related. There are some important questions that must be observed when studying the interaction between electromagnetic radiation and the object: (a) how can we analyze and verify this interaction? (b) how can we differentiate one object from another? In order to better understand the properties of Remote Sensing, this work presents the theoretical foundations and the main Physical Laws, such as the Black Body theoretical model, Planck's Law, Stefan-Boltzmann's Law, Wien's displacement law, Rayleigh-Jeans' Law, the main mathematical equations involved, and their applications. The study in question consists of dividing its methodology into two phases, the first being an in-depth literature review of the subject and the second in the applications of the entire concept learned during the first phase. The application will be carried out in the form of treatment, analysis, and mapping using remote sensing techniques in the use of RGB composition and NDVI, VARI, and finally NDWI vegetation indexes. The spectral bands obtained by satellite sensors, worked and processed, bring countless benefits to the population, making it possible to visualize and treat areas without the need to go to the site, where from a color composition or an application of indexes already available on the market results in the identification and monitoring of forest areas where, by processing satellite data, it is possible to identify and monitor forest areas, agricultural fields, water courses, reservoirs, land use, urban expansions, coastal management, besides being a useful tool to support topographic and cartographic work.

Keywords: Remote Sensing. Electromagnetic radiation. Physical Fundamentals. Indexes. Spectral bands.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Primeira fotografia por Niépce em 1826 | 13 |
| Figura 2: Fotografia realizada com um Daguerreótipo | 14 |
| Figura 3: Wilbur e Orville Wright | 14 |
| Figura 4: Comprimento e frequência de onda | 19 |
| Figura 5: Direção de propagação da radiação eletromagnética na forma de uma onda, em função das oscilações | 19 |
| Figura 6: Espectro Eletromagnético | 21 |
| Figura 7: Experimento do prisma | 23 |
| Figura 8 Deslocamento do pico máximo de energia | 25 |
| Figura 9: Curvas de emitância radiante | 28 |
| Figura 10: Interação da energia com a superfície terrestre | 31 |
| Figura 11: Mapa de Localização da área de estudo | 32 |
| Figura 12. Fluxograma da metodologia da preparação das bandas B, G, R, NIR e PAN do CBERS 04A | 34 |
| Figura 13: Mapa resultante da composição colorida das bandas 321 (RGB) | 36 |
| Figura 14: Mapa resultante da aplicação do índice NDVI | 37 |
| Figura 15: Mapa resultante da aplicação do índice NDWI | 38 |
| Figura 16: Mapa resultante da aplicação do índice VARI | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Intervalos espectrais utilizados no Sensoriamento Remoto | 21 |
|--|----|

LISTA DE SIGLAS

REM – Radiação Eletromagnética.

CBERS – China-Brazil Earth Resources Satellite

LANDSAT – *Earth Resources Technology Satellite*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

FEPAN – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

DNWI – Índice de Diferença Normalizada de Água

VARI – Índice de Resistência Atmosférica Visível

B – Blue (banda 1 (azul))

G – Green (banda 2 (verde))

R – Red (banda 3 (vermelho))

NIR – Infravermelho próximo

PAN – Pancromático

SUMÁRIO

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | Justificativa | 16 |
| 1.2 | Objetivo | 17 |
| 1.2.1 | Objetivos específicos | 17 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 17 |
| 2.1 | Radiação eletromagnético | 17 |
| 2.2 | Ondas | 17 |
| 2.3 | Espectro Eletromagnético | 20 |
| 2.4 | Leis associadas a radiação | 23 |
| 2.4.1 | Corpo Negro | 23 |
| 2.4.2 | Lei de Stefan - Boltzmann | 24 |
| 2.4.3 | Lei de descolamento de Wien | 24 |
| 2.4.4 | Lei de Rayleigh - Jeans | 25 |
| 2.4.5 | Lei de Planck | 26 |
| 2.4.6 | Lei de Kirchhoff (Emissividade) | 28 |
| 2.5 | Interação da energia com a superfície | 28 |
| 2.5.1 | Interação da luz solar com os objetos da superfície | 30 |
| 2.6 | Resolução das imagens de Satélites | 30 |
| 3 | METODOLOGIA | 32 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 36 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 41 |
| | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 42 |
| | ANEXOS | |

1 INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto é de grande valia para a obtenção de informações sobre a superfície terrestre sem o contato direto com a mesma. Os sistemas físicos de imageamento são destinados a produzir ou captar imagens, tais como câmeras fotográficas, filmadoras e sensores de bordo de satélites artificiais, estes respondem proporcionalmente à quantidade de luz incidente e refletida, seja através de uma reação física, ou de um sinal elétrico (Rosa, 2009).

O primeiro produto do Sensoriamento Remoto foi a fotografia, historicamente, ele foi derivado e é até hoje interligado ao crescimento e desenvolvimento da fotografia e da pesquisa espacial. Louis Jacques Mandé Daguerre (1787 – 1851) e Joseph Nicéphore Niépce (1765 – 1833) foram os pioneiros da fotografia; Niepce teve sucesso em 1826, com sua primeira foto realizada em uma placa de estanho (Cavenaghi, 2008), conforme a Figura 1.

Figura 1. Primeira fotografia por Niépce em 1826.



Fonte: Iphoto channel, 2020.

Alguns anos depois, antes de falecer, Niépce pôde compartilhar seus estudos e experimentos com Daguerre, que deu continuidade e registrou sua primeira fotografia em 1836 realizada em uma chapa de cobre que era revestida de prata e sensibilizada com vapor de iodo, sendo este equipamento chamado de Daguerreótipo, conforme a Figura 2. Em 1840, o uso das técnicas e equipamentos de Daguerre já haviam sido patenteados e utilizados em levantamentos topográficos (Castro, 2007).

Figura 2. Fotografia realizada com um Daguerreótipo.



Fonte: iphoto channel, 2020.

O desenvolvimento acelerado da fotografia fez com que, em 1858, fotografias fossem tiradas a partir de balões, para mapear as áreas do território francês, pelo Corpo de Engenharia da França. O mapeamento topográfico por aerofotografias foi se tornando cada vez mais comum, auxiliando no advento de câmeras fotográficas a bordo de aviões (Novo e Panzoni, 2001).

O primeiro trabalho prático com câmeras fotogramétricas, foi realizado pelo engenheiro Aimé Laussedat no ano de 1850. Este é considerado o pai da fotogrametria. Ele combinou o teodolito com a fotogrametria elaborando o fototeodolito.

Já em 1909, foram tiradas as primeiras fotografias aéreas pelos irmãos Wilbur (1867 – 1912) e Orville Wright (1871 - 1948) (Figura 3). Contudo, somente em 1930 foram disponíveis aerofotografias coloridas e também o início da produção de filmes sensíveis a radiação infravermelha (Novo e Panzoni, 2001).

Figura 3. Wilbur e Orville Wright.



Fonte: Wikipédia, 2020.

Houve um avanço acerca dos estudos de imageamento e interpretação de imagens obtidas por sensores de bordo. Na segunda Guerra Mundial o uso da radiação infravermelha foi utilizado para detecção de camuflagem e mais tarde, na Guerra Fria, o estudo e o desenvolvimento de altos sensores foi utilizado para espionagem. No entanto, com o fim desta guerra, os dados obtidos foram disponibilizados para uso civil, como fonte de informação para mapeamentos topográficos (Novo e Panzoni, 2001).

Somente em 1960 o termo Sensoriamento Remoto foi citado nos estudos científicos e tratava-se apenas de aquisição de informações sem contato com o objeto. Posteriormente, esse termo foi utilizado em diversas ciências, representando uma linha de pesquisa muito ampla, variando desde a aerofotogrametria, fotointerpretação até os avanços tecnológicos produzidos pela pesquisa espacial, além de fornecer ligações com a física, topografia, cartografia, botânica, dentre outros (Novo e Panzoni, 2001).

Ainda na década de 60 teve início os sistemas orbitais de Sensoriamento Remoto, primeiramente, voltados para aplicações meteorológicas. Houve, também, a utilização de câmeras fotográficas para a aquisição de fotografias da superfície terrestre durante os programas espaciais Mercury, Gemini e Apolo. Em 1970, foi lançado o primeiro satélite experimental de levantamento de recursos terrestres (*Earth Resources Technology Satellite*), modificado posteriormente para Landsat, sendo este o mais antigo. Após 10 anos de desenvolvimento, em 1999, o Brasil também foi mais um dos detentores de dados de Sensoriamento Remoto, em parceria com a China, lançou-se o satélite CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite). Nos dias de hoje existe um grande número de satélites de Sensoriamento Remoto em operação (Novo e Panzoni, 2001).

Atualmente, entende-se como Sensoriamento Remoto a área da ciência que utiliza-se de energia proveniente da radiação eletromagnética (luz), que, quando emitida ou refletida é capturada pelos sensores remotos, que transformam esse tipo de energia em informações. Para que esse processo ocorra temos que considerar a detecção, aquisição e análise dessa energia (Moraes, 2002).

A energia eletromagnética pode ser obtida da energia solar e é a base na qual todos os princípios físicos dessa ciência se baseia. Ainda na obra de Moraes (2002) podemos verificar que o Sensoriamento Remoto trabalha na faixa do espectro solar, onde o Sol é fonte de 99% da energia eletromagnética refletida, e, pode-se analisar também, que, quando trabalhado no espectro termal a terra emite essa energia aos sensores.

A energia irradiada pelo Sol também é conhecida como radiação solar, que mais tarde foi analisada por Isaac Newton (1642-1727), que provou que a mesma poderia ser

dispersada em diferentes cores ao atravessar um prisma (fenômeno ocorrido devido a refração) e, também, ser propagada através de um campo eletromagnético, o que denomina essa energia como Radiação Eletromagnética (REM).

Há algumas questões importantes que devem ser observadas quando estudamos a interação entre a radiação eletromagnética e o objeto: (a) como podemos analisar e verificar esta interação? (b) como se diferencia um objeto do outro? Para respondê-las, devemos conhecer o comportamento espectral de cada objeto a ser estudado, pois, devido às diferentes propriedades existentes em cada objeto há uma variação na sua energia refletida sendo assim, o espectro de reflectância é o que possibilita a diferenciação desses objetos (Moraes, 2002).

Com o intuito de entendermos melhor as propriedades do Sensoriamento Remoto iremos apresentar os fundamentos teóricos básicos e as principais Leis Físicas, como o modelo teórico do Corpo Negro, a Lei de Planck, a Lei de Stefan-Boltzmann, a Lei do deslocamento de Wien, a Lei de Rayleigh-Jeans, as principais equações matemáticas envolvidas no Sensoriamento Remoto, bem como, as suas aplicações.

1.1 Justificativa

O Sensoriamento Remoto é uma componente curricular específica do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura. É uma componente profissionalizante regido por leis físicas e matemáticas, o que fornece uma estrutura de hipóteses e propriedades relacionadas a determinada ciência facilitando e auxiliando o profissional na tomada de decisões ao se deparar com problemas durante a prática. Além disso, esta é uma área onde é possível realizar análises, tratamento de dados e gerar produtos cartográficos, utilizados para a realização de diversas obras da engenharia.

Cada vez mais valorizado, o Sensoriamento Remoto, proporciona informações úteis na segurança pública, de gerenciamento de desastres naturais e da biodiversidade. No Brasil, é utilizado no levantamento de recursos naturais e no monitoramento do meio ambiente visando ao desenvolvimento econômico e social. A observação de grandes áreas com sensores é mais eficiente, rápida e barata, tornando o Sensoriamento Remoto a ferramenta ideal para diversas aplicações.

Justifica-se este trabalho no âmbito acadêmico por complementar os conhecimentos físicos desta componente curricular, pois, muitas vezes, são construídos de forma rápida e simplificada, não deixando claro a conexão entre a teoria e a prática. Dessa forma, este

Trabalho de Conclusão de Curso também auxiliará futuros acadêmicos do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura no estudo dos conceitos aprendidos e desenvolvidos no Sensoriamento Remoto, por abordar as leis físicas de forma clara e objetiva.

1.2 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo aprofundado acerca dos princípios físicos básicos do Sensoriamento Remoto, oferecendo um material de apoio pedagógico aos alunos do curso Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, que apresenta essa componente em sua grade curricular.

1.2.1 Objetivos específicos

- Como é possível analisar e verificar esta interação e como se diferencia um objeto do outro.
- Compreender o conceito de luz e energia do ponto de vista da física quântica.
- Entender o que é uma onda eletromagnética e como se faz sua caracterização: comprimento e frequência de onda.
- Analisar e entender as diferentes faixas do espectro eletromagnético, principalmente o espectro da luz visível.
- Estudar os conceitos físicos e matemáticos envolvidos no modelo teórico do Corpo Negro, na Lei de Planck, na Lei de Stefan-Boltzmann, na Lei do deslocamento de Wien, na Lei de Rayleigh-Jeans.
- Apresentar a importância da correlação entre a física e o Sensoriamento Remoto;
- Descrever os princípios do funcionamento do Sensoriamento Remoto.
- Apresentar possíveis aplicações da área relacionando o que foi desenvolvido durante a pesquisa e o que foi aprendido em sala de aula.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para o desenvolvimento do trabalho, se fez necessário uma revisão de literatura sobre os conceitos abordados, de modo a proporcionar uma melhor compreensão do leitor sobre a temática apresentada.

2.1 Radiação Eletromagnética

O Sol é uma estrela gasosa luminosa que emite energia em ondas eletromagnéticas. A Radiação solar é a maior fonte de energia para a Terra, sendo o principal elemento meteorológico e um dos fatores determinantes do tempo e do clima, emitindo energia em forma de radiação eletromagnética (REM), sendo o Sol e a Terra as duas principais fontes naturais dessa energia, utilizadas no Sensoriamento Remoto (Moraes, 2002).

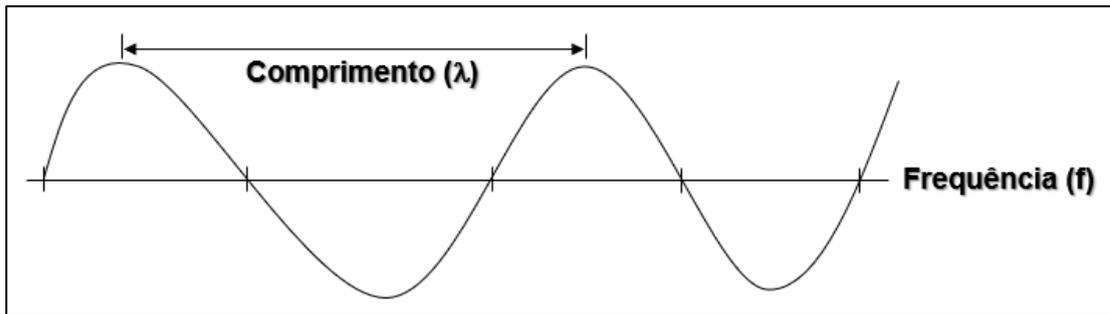
A radiação eletromagnética se propaga pelo espaço como uma onda eletromagnética na velocidade da luz (299 792 458 m/s ou, 299792,4 km/s). Ela apresenta um comportamento dual: podendo se comportar como uma onda ao interagir com o espaço (modelo ondulatório) e como uma partícula quando esta interage com a matéria (modelo corpuscular). Sua dualidade é fundamental para analisar diferentes tipos de imagem no Sensoriamento Remoto, pois a coexistência da REM na forma de onda e partícula é levada em consideração ao se analisar as características dos objetos da superfície terrestre (Meneses e Almeida, 2012).

2.2 Ondas

Ondas são perturbações periódicas, oscilações de partículas ou do espaço, que propagam energia através de suas fontes, transferidas através de átomos e moléculas da matéria. As ondas mecânicas necessitam de um meio material para se propagarem, entretanto, as ondas eletromagnéticas podem se propagar no vácuo (Borges, 2009).

Conforme Borges (2009), a onda possui uma frequência e um comprimento, sendo que a frequência correspondente ao número de vezes (oscilações) que a onda passa por um ponto em um determinado intervalo de tempo, expressa em ciclos por segundos ou Hertz (unidade de medida derivada do Sistema Internacional de Unidades - SI - para frequência) e o comprimento indica a distância entre duas cristas (pontos máximos) ou dois vales (pontos mínimos) da onda, dado em metros (Figura 4). A frequência da onda é diretamente proporcional à velocidade de propagação e inversamente proporcional ao comprimento de onda, ou seja, quanto maior a frequência, maior também a intensidade de energia.

Figura 4. Comprimento e frequência de onda.

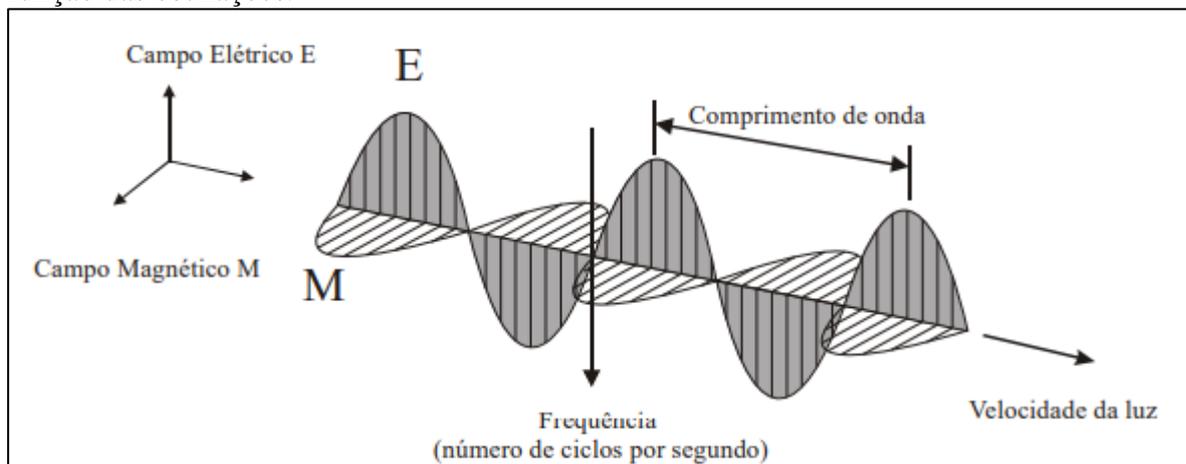


Fonte: Autor, 2020.

As ondas podem ser classificadas quanto a sua natureza: ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas. As ondas mecânicas (molas, cordas, sons e em superfícies de líquidos) necessitam de um meio material para se propagarem onde a sua propagação envolve o transporte de energia cinética e potencial e depende da elasticidade do meio, onde as partículas vibram. Estas ondas mecânicas não são capazes de se propagar no vácuo. As ondas eletromagnéticas (ondas de Rádio, de Radar, os Raios-X e as Microondas) são formadas por campos elétricos e magnéticos sendo que a sua propagação não depende do meio em que se encontram, podendo propagar-se no vácuo e em determinados meios materiais (Borges, 2009), no qual são frequentemente usados no Sensoriamento Remoto.

Uma onda eletromagnética (Figura 5) é definida por Meneses e Almeida (2012) como sendo uma oscilação do campo elétrico (módulo da força elétrica exercida sobre uma unidade de carga elétrica que sofre a influência de um campo elétrico) e campo magnético (concentração de magnetismo criado em torno de uma carga magnética), em um padrão harmônico de ondas (espaçadas repetitivamente no tempo), estes campos ocorrem como padrões não separáveis.

Figura 5. Direção de propagação da radiação eletromagnética na forma de uma onda, em função das oscilações.



Fonte: Meneses e Almeida, 2012.

Quanto a direção das vibrações, são classificadas como: transversais e longitudinais. As ondas transversais (Figura 5), oscilam perpendicularmente à direção de propagação (os picos e vales formam ângulos retos com a direção do movimento), enquanto que, as ondas longitudinais oscilam paralelamente a direção de propagação (Borges, 2009).

Quanto ao modo de propagação as ondas são classificadas como: unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais. Ondas unidimensionais se propagam em apenas uma direção, como as ondas em cordas e molas esticadas. Por sua vez, ondas bidimensionais são aquelas que se propagam por uma superfície, como a onda formada em um lago quando se joga uma pedra, enquanto que as ondas tridimensionais são capazes de se propagar em todo o espaço, como a luz e o som (Borges, 2009).

Maxwell, a partir dos estudos relacionados a radiação eletromagnética e ao movimento de ondas, propôs diferentes fórmulas que defendem o comportamento da radiação eletromagnética como um movimento de ondas suaves dos campos elétrico e magnético, no entanto, falhou ao explicar fenômenos relacionadas a interação da radiação eletromagnética com a matéria. As formulações de Maxwell quanto ao modelo ondulatório diz que uma partícula carregada eletricamente gera um campo elétrico em torno de si e de seu campo magnético, com isso, os campos elétricos e magnéticos vibram ortogonalmente possuindo mesmas amplitudes.

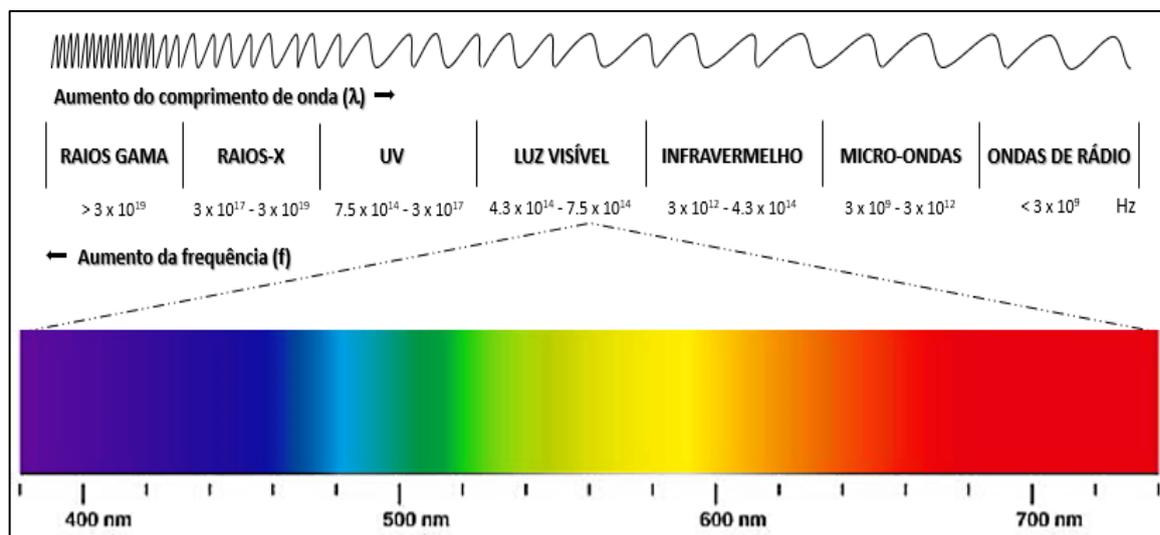
2.3 Espectro Eletromagnético

Em 1672, Sir Isaac Newton estudou o fenômeno de dispersão da luz e garantiu que a luz branca é composta de diferentes cores com comprimentos e frequências de ondas característicos. Portanto, para compreender as faixas espectrais onde é possível a identificação da onda e da sua frequência, e, respectivamente, da cor, devemos voltar ao conceito de espectro eletromagnético.

O espectro eletromagnético é definido pela interação que ocorre entre a radiação e o objeto incidente e da transparência da atmosfera em relação a radiação eletromagnética, que podem ser encontrados desde comprimentos de onda muito curtos até grandes comprimentos de ondas (Moraes, 2002).

No espectro eletromagnético como indicado na Figura 6, quanto mais a direita, maior é o comprimento de onda e menor é a frequência na qual ela se encontra. Podemos observar a existência das seguintes regiões: Radiação Gama, Raio X, Ultravioleta, Visível, faixa do Infravermelho e Ondas de Rádio (Moraes, 2002).

Figura 6. Espectro Eletromagnético.



Fonte: Autor, 2020.

A Tabela 1 a seguir apresenta algumas características importantes com relação as faixas espectrais inerentes ao Sensoriamento Remoto.

Tabela 1. Intervalos espectrais utilizados no Sensoriamento Remoto.

| Faixa espectral | Comprimento de onda | Descrição |
|-----------------------|--------------------------|---|
| Visível | 0,45-0,76 μm | Região do espectro solar com a mais alta intensidade de fluxo radiante e onde há a melhor janela atmosférica, bastante transparente, deixando passar uma grande quantidade de radiação. Muito usada em sensoriamento remoto, é a região responsável pela interação com os minerais e que dá origem às suas cores e com os pigmentos da vegetação. O problema dessa faixa espectral é o alto espalhamento da radiação solar incidente pelos gases atmosféricos, que pode reduzir o contraste da reflectância dos alvos terrestres. |
| Infravermelho próximo | 0,76 - 1,2 μm | Região do espectro solar onde a atmosfera também é bastante transparente, mas ocorrem algumas bandas de absorções, impedindo que todo o intervalo possa ser continuamente utilizado por sensoriamento remoto. É o intervalo onde ocorrem importantes interações |

| | | |
|-------------------------------|-------------------------|--|
| | | da REM com os níveis de energia eletrônica dos átomos, gerando feições espectrais que são diagnósticas para identificar a natureza de vários tipos de rochas, principalmente as de composição mineral com metais de transição (Fe, Ni, Cr, Mn...). |
| Infravermelho de ondas curtas | 1,2 – 3,0 μm | É a região espectral geológica, porque é nesta faixa espectral que os vários minerais de alteração hidrotermal têm as suas diagnósticas feições de absorção. Também é a região onde os comprimentos de onda em 1,4 μm e em 1,9 μm são totalmente absorvidos pelas moléculas de vapor d'água da atmosfera, proibindo o uso do sensoriamento remoto e, por consequência, de se determinar nos materiais terrestres a presença de água molecular nas suas estruturas. |
| Infravermelho médio | 3,0 - 5,0 μm | Região onde o Sol e a Terra não emitem quantidades suficientes de energia que possam ser detectadas pelos sensores. Somente alvos com elevadas temperaturas, como vulcões e incêndios, podem ser detectados, pois agem como fontes próprias de emissão de radiação. É uma região espectral pouco usada no sensoriamento remoto, à exceção de sensores meteorológicos ou atmosféricos. |
| Infravermelho termal | 5,0 – 1,0 μm | É conhecida como a região termal, devido a radiação emitida pelos objetos terrestres em função das suas temperaturas de superfícies. A melhor janela atmosférica nessa região espectral para imageamento orbital é o intervalo de 8,0 μm a 14,0 μm , porque acima de 30 km, a camada de ozônio absorve toda a radiação além de 14 μm emitida pela Terra. Ótima faixa espectral para detecção de quartzo de veios nas rochas. |
| Micro-ondas | 3,0 – 100 μm | Região de uso de sensores ativos (radar), que utilizam fontes artificiais para a geração da REM. Por causa do tamanho do comprimento de onda, o radar tem a habilidade de operar em condições atmosféricas adversas, com |

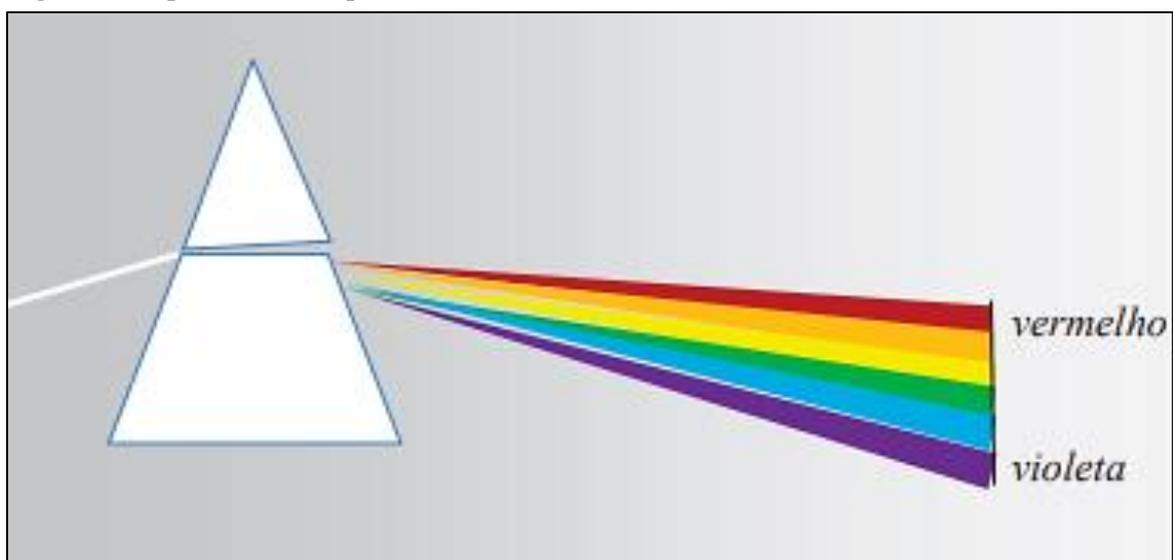
coberturas de nuvens ou chuvas, e pode operar tanto de dia como à noite. Importante para a geologia estrutural e mapeamento geológico, porque a interação das micro-ondas com as rochas é controlada pelas texturas de relevo. Atualmente, o intervalo útil ao sensoriamento remoto estende-se de 3,0 cm a 100 cm.

Fonte: Meneses e Almeida, 2012.

As cores que vemos a olho nu estão na faixa do Visível, podendo ser definida como sendo o conjunto de radiações eletromagnéticas a serem detectadas pelo sistema visual humano, onde cada cor produzida está associada a diferentes comprimentos de ondas, associadas a diferentes intervalos espectrais (MORAES, 2002).

Em 1766, o espectro da luz visível foi descoberto por Sir Isaac Newton, onde foi realizado a decomposição da luz: uma luz branca atravessou um prisma de vidro (fenômeno conhecido como dispersão), do outro lado do prisma foi se decompondo em diferentes faixas de luzes coloridas, sendo que cada faixa possui um comprimento de onda específico (Figura 7). Essas faixas coloridas são conhecidas como as cores do arco-íris e foram divididas em sete faixas (vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta) de acordo com Isaac Newton.

Figura 7. Experimento do prisma.



Fonte: Meneses e Almeida, 2012.

Na figura 7 podemos visualizar a decomposição da luz na faixas do arco-íris sendo

que a faixa de maior comprimento de ondas corresponde ao vermelho e a faixa de menor comprimento de onda corresponde ao violeta. Isso ocorre devido ao comprimento de onda e ao índice de refração do vidro.

2.4 Leis associadas a radiação

A radiação emitida por um corpo devido à sua temperatura é chamada radiação térmica. Quando esta radiação incide sobre um objeto, parte é absorvida e parte é refletida, sendo que, a uma dada temperatura, este objeto absorve parcialmente ou totalmente a radiação que incide sobre ele sendo essa emissão e absorção contínua.

2.4.1 Corpo Negro

O conceito do corpo negro é de suma importância para os estudos e aplicações do Sensoriamento Remoto, pois este define como a luz incidente a um objeto emite radiação, e que, um corpo a qualquer temperatura emite radiações. O termo “corpo negro” foi introduzido em 1860, por Gustav Kirchhoff, onde o mesmo o define como sendo o meio ou a substância que absorve toda a radiação incidente sobre ele (Antunes, 2012).

O estudo das radiações foi introduzido para determinar as propriedades de um corpo ideal (corpo negro), ele independe do comprimento de onda ou da direção de incidência, fazendo com que nenhuma parte da radiação incidente seja refletida ou transmitida, sendo proveniente apenas da sua temperatura (Meneses e Almeida, 2012).

A intensidade da radiação eletromagnética emitida em todos os comprimentos de onda em um intervalo de comprimento relaciona-se com a radiância espectral. A radiância espectral é a intensidade de radiação emitida pelo corpo por unidade de tempo compreendida em um intervalo de frequências por unidade de área de uma superfície.

2.4.2 Lei de Stefan-Boltzmann

A Lei de Stefan estabelece que a radiância espectral de corpo negro é proporcional a temperatura absoluta elevada à quarta potência que foi demonstrada matematicamente em um modelo onde o mesmo incluiu uma constante (chamada constante de Stefan-Boltzmann, de valor $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) (Guimarães, 1999). A equação 1 expressa a quantidade de energia que um corpo emite em função da temperatura do corpo expressa pela Lei de Stefan-

Boltzmann.

$$M = \sigma T^4 \quad \text{Eq.1}$$

$M =$ emitância radiante da superfície do material ($W m^{-2}$);

$\sigma =$ constante de Stephan – Boltzman ($5,6697 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$);

$T =$ temperatura absoluta medida em Kelvin;

Ao analisar a Eq. 1 observa-se uma relação entre a emitância radiante e a temperatura, onde o aumento na temperatura conseqüentemente aumenta a emissão de radiação. Logo, a energia total emitida por um corpo e a distribuição espectral da energia variam com a temperatura.

2.4.3 Lei do Deslocamento de Wien

Em 1893, Wien mostrou que o máximo do espectro sofre deslocamento para frequências maiores de maneira linear com a temperatura. O comprimento de onda, para a qual a função da radiância espectral é máxima é inversamente proporcional à temperatura absoluta sendo esse conceito demonstrado na Lei do Deslocamento de Wien (Eq. 2), que estabelece o comprimento de onda para qual a intensidade da radiação é máxima (Guimarães, 1999).

$$\lambda_m = \frac{A}{T} \quad \text{Eq.2}$$

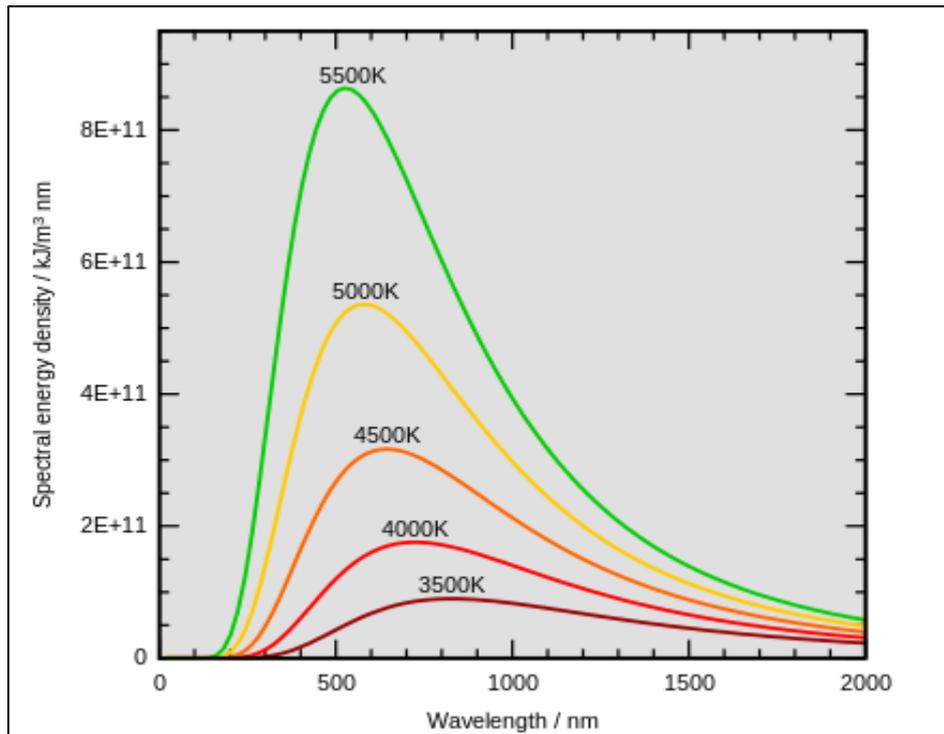
$\lambda_m =$ comprimento de onda de máxima emissão (μm);

$A =$ constante de $2898 \mu m K$;

$T =$ temperatura absoluta medida em Kelvin;

A figura 8 apresenta as curvas obtidas pela equação de Wien, onde têm-se a energia irradiada relativa pelo comprimento de onda.

Figura 8. Deslocamento do pico máximo de energia.



Fonte: Wikiwand, 2021.

Na figura 8, é possível determinar picos de emissão termal máximas, onde um corpo com temperatura de 800 K representa um incêndio muito forte e possuindo fontes de radiação termal irregulares.

2.4.4 Lei de Rayleigh-Jeans

A lei de Rayleigh-Jeans, primeiramente proposta no início do século XX, tinha como objetivo descrever a radiação espectral da radiação eletromagnética de todos os comprimentos de onda desde um corpo negro a uma temperatura dada (Bassalo, 1995). Era defendido a hipótese de que a radiação da energia eletromagnética era causada pela oscilação de cargas na superfície do corpo negro, não havendo restrições nas intensidades das energias osciladas, com isso foi elaborada a seguinte expressão (Eq. 3):

$$p(\lambda) = -\frac{8\pi KT}{\lambda^{-4}} \quad \text{Eq.3}$$

$K = \text{constante de Boltzman} = 1,38054 \times 10^{-23} \text{ W s } ^\circ\text{K}^{-1};$

$T = \text{temperatura absoluta medida em Kelvin.}$

Ao explicar por meio da teoria clássica os resultados experimentais obtidos (da densidade de energia em função do comprimento de onda de um corpo negro), observou-se que, para grandes comprimentos de onda, havia certa concordância com os resultados experimentais. Entretanto, para comprimentos de ondas menores havia grande discordância entre a teoria e a experiência, e esta discrepância ficou conhecida como “catástrofe do ultravioleta”. Logo, esta lei não conseguiu descrever o comportamento da densidade de energia para comprimentos de ondas menores do corpo negro.

2.4.5 Lei de Planck

Em 1900, na reunião da Sociedade Alemã de Física, Max Planck apresentou seu artigo sobre “A teoria da Lei de Distribuição de Energia do Espectro Normal” dando início a Física Quântica apresentando a constante de Planck. Ele relacionou que a densidade de energia emitida por um corpo negro apresentava valores discretos de energia e não se comportava como um espectro contínuo (Eisberg; Resnick). Em 1901, Planck formulou a lei (Lei de Planck) (Eq. 4).

$$E_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left[\exp\left(\frac{hc}{\lambda K T}\right) - 1 \right]} \quad \text{Eq.4}$$

E_{λ} = energia radiante espectral medida em $W m^{-2} \mu m^{-1}$;
 h = constante de Plack = $6,6256 \times 10^{-34} W s^2$;
 c = velocidade da luz = $2,997925 \times 10^8 ms^{-1}$;
 K = constante de Boltzman = $1,38054 \times 10^{-23} W s ^{\circ}K^{-1}$;
 T = temperatura abslotura (em $^{\circ}K$) da fonte.

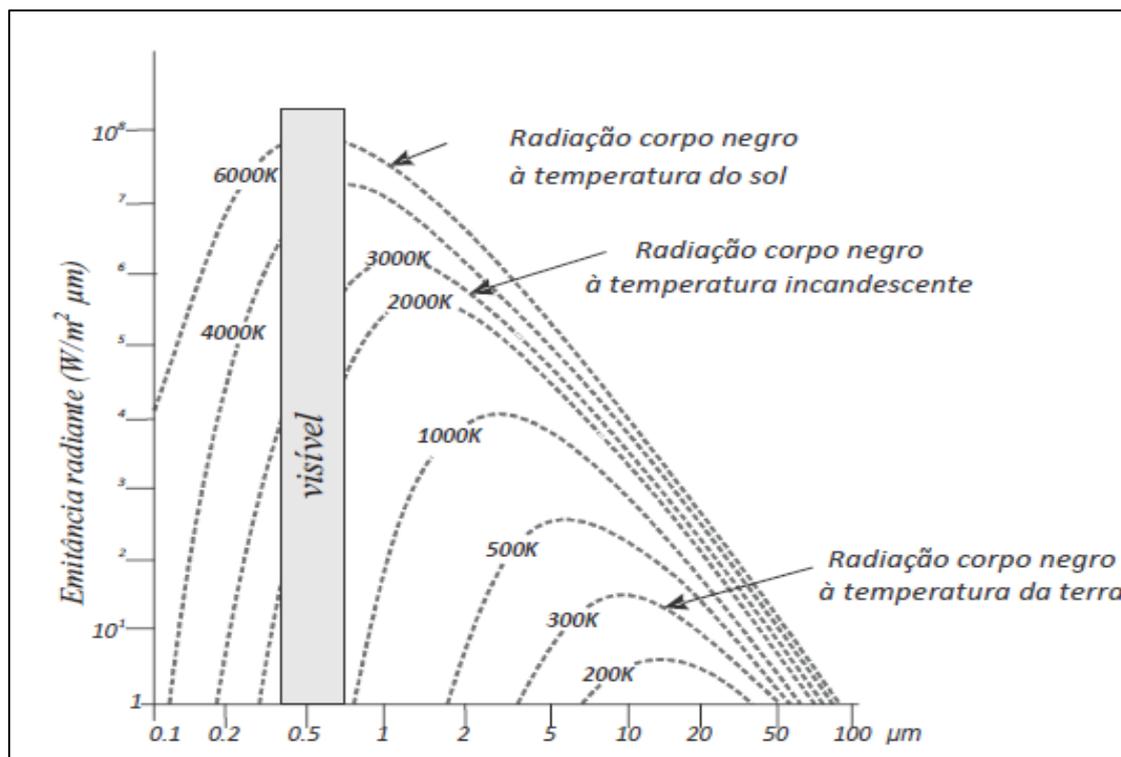
Substituindo pelas constantes, têm-se a equação mais usual da Lei (Eq. 5):

$$M_{\lambda} = \frac{3,7415^5}{\lambda \left[\exp\left(\frac{1,43879 \times 10^4}{\lambda T}\right) - 1 \right]} \quad \text{Eq.5}$$

A partir dessa lei, pôde-se realizar os cálculos referentes a quantidade máxima de intensidade radiante que uma determinada fonte pode emitir, considerando tirar o seu comprimento de onda em função de sua temperatura. Dessa forma, a discrepância entre a

teoria e a experiência foi solucionada utilizando a relação da energia com a constante de Planck e com a frequência (Eisberg; Resnick). Com a lei desenvolvida por Planck é possível obter as curvas de distribuição da energia que é emitida por uma fonte a uma determinada temperatura (Figura 9).

Figura 9. Curvas de emitância radiante.



Fonte: Meneses e Almeida, 2012.

Observa-se que para uma dada temperatura têm-se um pico máximo na curva referente a emissão do intervalo de comprimento de onda pelo qual é emitida. Com a figura 8 é possível analisar essas curvas e a distribuição da energia, no caso da curva que representa a emitância espectral do Sol, a distribuição da energia chega a 6000 K, aproximadamente, e o pico máximo encontra-se no comprimento de onda da região espectral, enquanto que a distribuição de energia da Terra chega a 300 k, mostrando portanto, que a Terra é consideravelmente menos intensa que o Sol possuindo uma emitância espectral limitada e emitindo radiação eletromagnética na faixa do termal e com isso não é considerada uma fonte de luz visível. Por fim, têm-se pela lei que nenhum material pode emitir radiação excedente a do corpo negro (Meneses e Almeida, 2012).

2.4.6 Lei de Kirchhoff (Emissividade)

De acordo com Meneses e Almeida (2012) a emissividade de um corpo é determinado pela cor, composição química, rugosidade da superfície, umidade e outros elementos depende da absorção decorrida de fótons. Há corpos que radiam seletivamente e que emitem apenas uma parte da energia que seria emitida por um corpo negro sob mesma temperatura, portanto, a emissividade representa a relação entre a radiância real emitida pelo corpo do mundo real e pelo corpo negro à mesma temperatura (Eq. 6).

$$\varepsilon = \frac{M_r}{M_b} \quad \text{Eq.6}$$

M_r = corpo do mundo real;

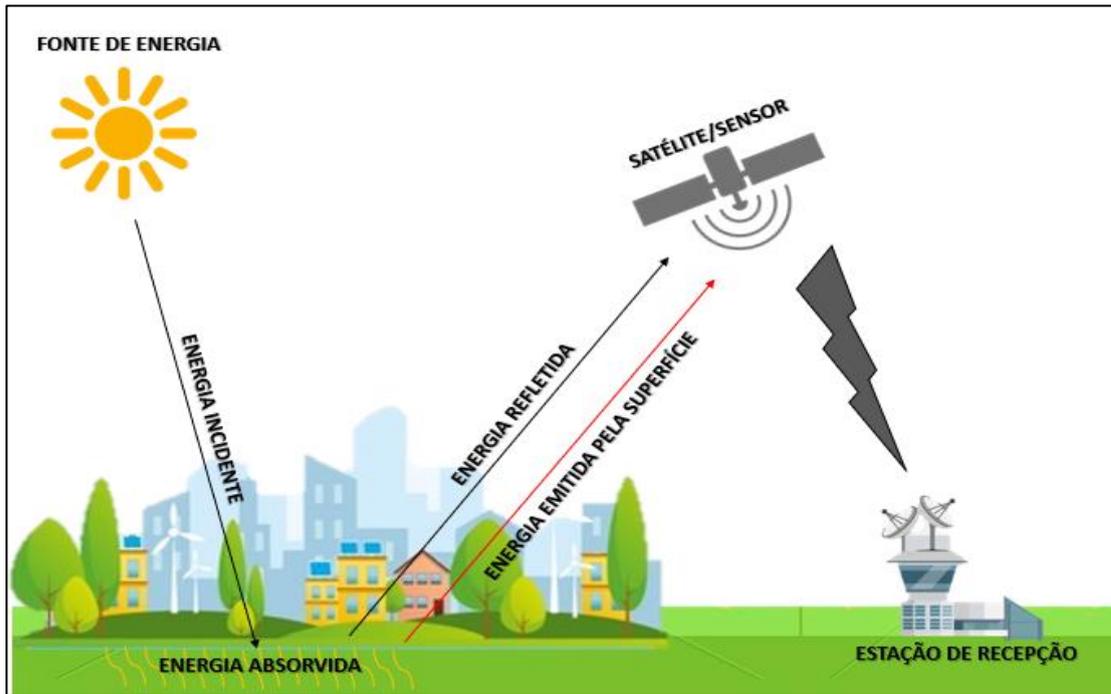
M_b = corpo negro à mesma temperatura.

A composição química é um fator determinante na verificação das variações de emissividades dos materiais, e tanto a imagem termal como as imagens da faixa espectral óptica determinam as variações da composição dos mesmos.

2.5 Interação da energia com a superfície

As variações da energia refletida pelos objetos podem ser representadas por faixas espectrais, o que possibilita, nas imagens de sensores remotos, distingui-los da superfície terrestre. Estes objetos refletem, absorvem e transmitem energia eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características biofísicas e químicas (Figura 10). Sua representação nas imagens pode variar de branco (quando reflete muita energia) a preto (quando refletem pouca ou nenhuma energia) (Moraes, 2002).

Figura 10. Interação da energia com a superfície terrestre.



Fonte: Autor, 2020.

Nesta imagem podemos observar claramente o funcionamento básico do Sensoriamento Remoto, onde pode-se observar o sol, como principal fonte de energia, no qual emite radiação eletromagnética, essa energia incidente tem parte absorvida pela superfícies e parte é refletida, a energia absorvida também é emitida pela superfície, durante essas transições essas energias passam pela atmosfera, no qual interfere na quantidade emitida e refletida e energia. Essas energias são captadas pelos sensores e enviadas para a estação de recepção, no qual realiza um tratamento e resulta em produtos cartográficos.

A absorção, reflexão e transmissão de REM incidente pode ser total ou parcial, sendo essa capacidade denominada, respectivamente, de absortância, reflectância e transmitância. A absortância é definida como sendo a razão entre o fluxo da radiação absorvida por uma superfície e o fluxo incidente sobre a mesma. A reflectância é a relação entre o fluxo de radiação que incide numa superfície e o fluxo de radiação que é refletido, enquanto que, a transmitância é a razão entre a quantidade de luz que atravessa um meio e a quantidade de luz que sobre ele incide. A quantidade de reflectância, absortância e transmitância aqui explicados, dependem dos coeficientes ópticos do objeto, sendo essas informações difíceis de serem medidas (Meneses e Almeida, 2012).

De acordo com Moraes (2002), o comportamento espectral é o conjunto de valores contínuos da reflectância ao longo do espectro eletromagnético, sendo esta, a assinatura

espectral do objeto. Logo, Sensoriamento Remoto pode ser entendido como sendo a interação da radiação eletromagnética com a superfície dos objetos.

2.5.1 Interação da luz solar com os objetos da superfície

Para Meneses e Almeida (2012), como já visto anteriormente, entende-se que a quantidade de energia do fluxo radiante é muito elevada no espectro da luz solar, fazendo com que haja uma interação entre os átomos e moléculas da matéria e por consequente obtendo informações inerentes a sua composição. Esse princípio trouxe mais adiante uma condição na distinção dos tipos de materiais pela sua reflectância. Logo, as imagens multiespectrais fornecem informações sobre a composição dos objetos, enquanto que as fotos aéreas oferecem informações referentes as propriedades físicas.

As imagens multiespectrais devem ser interpretadas de tal modo a se saber os mecanismos de interação da radiação eletromagnética (interação da energia com a superfície) resultando na determinação da intensidade a qual cada objeto reflete a onda eletromagnética.

2.6 Resolução das imagens de satélites

No Sensoriamento Remoto é possível trabalhar com diferentes imagens a partir de uma gama de satélites, onde estes oferecem diferentes tipos de resoluções, detalhes e tamanhos. A escolha do melhor sensor para atender aos objetivos do usuário depende do detalhamento desejado, havendo sensores que podem detectar até áreas menores a 1 metro de precisão. Com isso, chega-se a duas questões de interesse geral: a melhor resolução de imagem na identificação de objetos; e a melhor escala de representação destes objetos (Meneses e Almeida, 2012).

Temos ainda, imagens que cobrem grandes áreas, como as imagens disponíveis pelo satélite Landsat e do CBERS (30, 20 metros respectivamente), contudo, essas possuem resolução espacial pequena. Por outro lado, a fim de se obter uma resolução espacial maior, existem satélites deste porte, mas que, no entanto, cobrem pequenas áreas (até 1 m). A escolha da resolução dependerá da área e do objetivo do usuário, sendo que este pode ser regional ou local e a resolução pode ser determinada pela resolução espacial (pela área do campo de visada do sensor), espectral (pelo comprimento de ondas das bandas), radiométrica (pelos valores numéricos da medida da radiância do alvo) ou temporal (pela

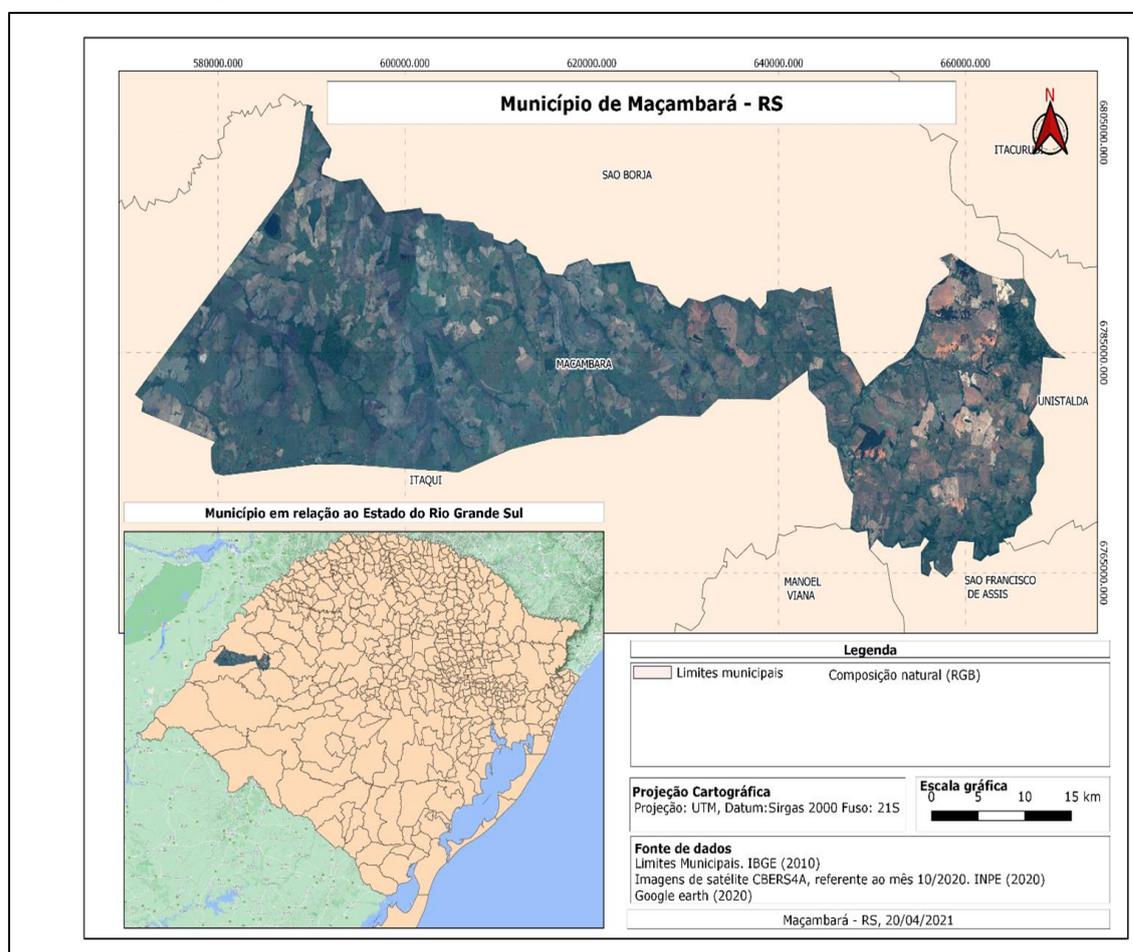
data em que a imagem foi tirada) (Meneses e Almeida, 2012).

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi dividida em duas etapas, sendo a primeira uma revisão de alguns o conceito bibliográfico relacionado ao Sensoriamento Remoto e seus princípios físicos, onde a partir desse estudo foi possível desenvolver os conceitos relacionados a radiação Eletromagnética; ondas; espectro eletromagnético; leis físicas do Sensoriamento Remoto; interação da energia com a superfície; resolução das Imagens obtidos por sensores.

O município de Maçambará (Figura 11) está localizado na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, possui uma área de 1.682,820 km² e possui como região de influência o município de Itaqui/RS, sede da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), esse vínculo sintetiza uma relação interurbana muito relevante para acessar bens, serviços e por relações de gestão de empresas e órgãos públicos, sendo alvo de muitas pesquisas e projetos de extensão pelos alunos da UNIPAMPA (IBGE, 2020).

Figura 11: Mapa de Localização da área de estudo.



Fonte: Autor, 2021.

O município de Maçambará-RS possui uma concentração populacional na zona rural, possuindo como principal atividade econômica a agricultura, mais especificamente do cultivo de arroz. Diante disso, o município possui grandes áreas de cultivo e barragens que podem ser facilmente identificadas através de sensores de satélites quando são aplicadas bandas espectrais específicas (MAÇAMBARÁ, 2021).

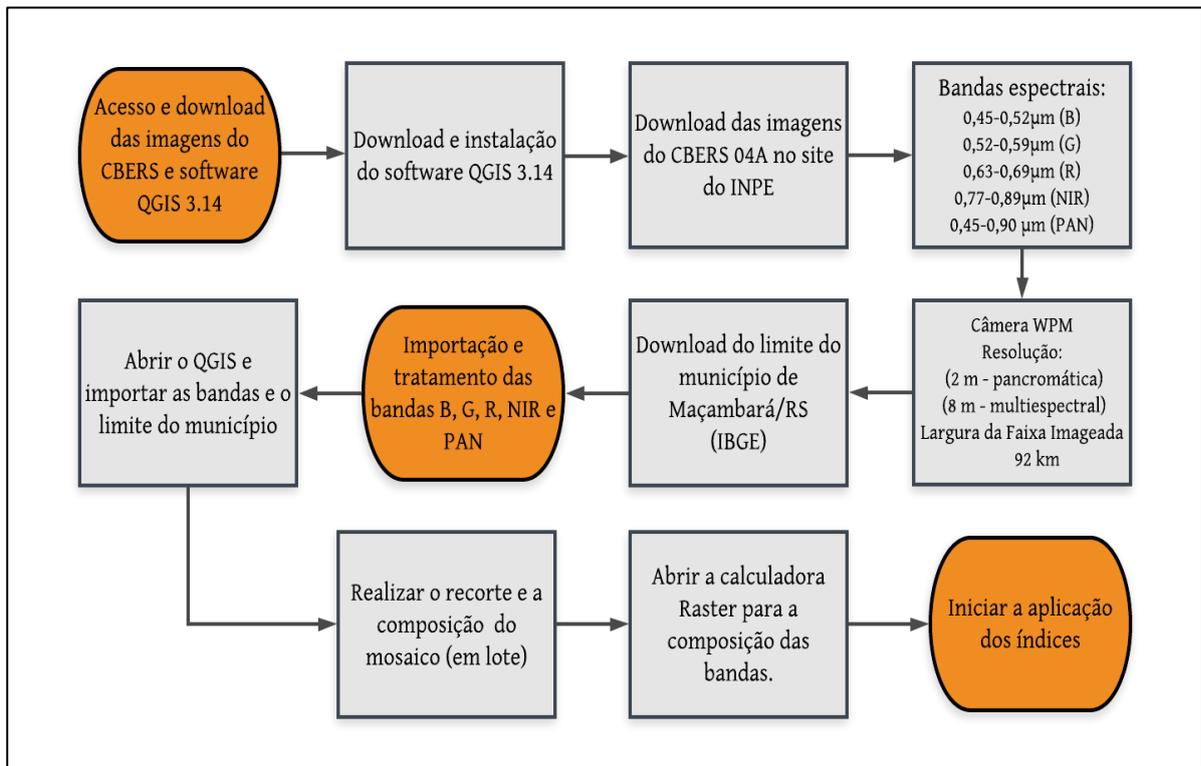
O satélite CBERS 04A é um satélite de Sensoriamento Remoto, que também opera no espectro visível com resoluções na faixa de 2 a 60 metros (dependendo do sensor) e fornece imagens com resolução de 16 m e faixa de imageamento de 95 km. De acordo com o INPE (INPE, 2021) as aplicações para a utilização deste satélite são amplas, mas destaca-se a aplicação deste em:

- Vegetação (identificação de áreas de florestas);
- Agricultura (identificação de campos agrícolas, quantificação de áreas, monitoramento do desenvolvimento);
- Meio ambiente (identificação de anomalias antrópicas ao longo de cursos d'água, reservatórios, mapeamento de uso do solo, expansões urbanas);
- Água (identificação de limites continente-água, estudos e gerenciamento costeiros, monitoramento de reservatórios);
- Cartografia (possibilita a obtenção de pares estereoscópicos e a consequente análise cartográfica);
- Geologia e solos (apoio a levantamentos de solos e geológicos).

A partir desses parâmetros estabelecidos é possível compreender como as imagens obtidas por satélites podem ser trabalhadas de acordo com a interação da energia com a superfície (Radiação Eletromagnética). A segunda etapa consiste na aplicação desses conceitos no município de Maçambará/RN de forma a identificar a banda, ou as bandas espectrais ao qual a informação referente a barragens e zonas agrícolas estão contidas.

Para melhor expor a metodologia adotada para cada passo da aplicação teórica foram feitos fluxogramas das etapas (Figura 12) seguidas para a aplicação das filtragens. Inicialmente foi instalado o software de uso livre QGIS, onde seriam realizados todos os processamentos das imagens, em seguida foi realizado o download das imagens (bandas B, G, R, NIR e PAN) do satélite CBERS 04A no site do INPE (INPE, 2021) e o download do recorte dos limites do município de Maçambará, a fins de se obter a área exata do município e delimitar o local de estudo.

Figura 12. Fluxograma da metodologia da preparação das bandas B, G, R, NIR e PAN do CBERS 04A.



Fonte: Autor, 2021.

Após a preparação das bandas espectrais obtidas pelo satélite CBERS 04A foi iniciado a aplicação de diferentes índices, a fim de melhorar a identificação das informações contidas nos pixels das bandas espectrais. A partir de uma lista de índices disponíveis pelo DataBase (Index DataBase) foi possível determinar alguns a serem utilizados neste trabalho. Visto que a área trabalhada possui grande utilização agrícola e de barragens de água, a escolha dos índices visou a melhor representação e diferenciação destas que é possibilitada pela reflectância de cada objeto na superfície terrestre.

Inicialmente é importante ressaltar que o sistema imageador WPN é sensível as bandas espectrais do vermelho (R), verde (G) e azul (B) que são as bandas espectrais da faixa espectral referente a faixa do visível no espectro eletromagnético e também é sensível à faixa do infravermelho próximo (NIR), ainda, com relação a este sistema ele também é sensível a faixa pancromática (PAN) do espectro. Esta faixa no sensor possui uma resolução espacial de 2 m (alta) e para usufruir desta característica é realizado a fusão das bandas, onde é utilizada uma imagem de alta resolução (PAN) e é dado a ela características coloridas das outras camadas multiespectrais (R/G/B/NIR). Para a composição de bandas do CBERS

04A deste trabalho utilizou-se as bandas 321 (RGB) para se obter a cor natural da imagem.

O primeiro índice utilizado foi o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (no caso de fortes perturbações atmosféricas)), cuja equação (Eq. 7) é dada por:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad \text{Eq.7}$$

Logo, para aplicar o índice NDVI deve-se utilizar as bandas espectrais NIR e R, onde aplicadas na calculadora raster do *software* QGIS resulta em uma imagem com este índice de vegetação.

O segundo índice utilizado foi o NDWI (Índice de diferença normalizada de água), que é possível ao aplicar a equação (Eq. 8):

$$NDWI = \frac{G - NIR}{G + NIR} \quad \text{Eq.8}$$

A aplicação desse índice utilizando as bandas espectrais G e NIR facilitam na detecção das terras agrícolas inundadas, na alocação de inundação no campo, na detecção de terra cultivada irrigadas, entre outros.

Por fim, utilizou-se o índice VARI (Índice de Resistência Atmosférica Visível (VARI), que, assim como o NDVI é um índice de vegetação é executado pela equação (Eq. 9):

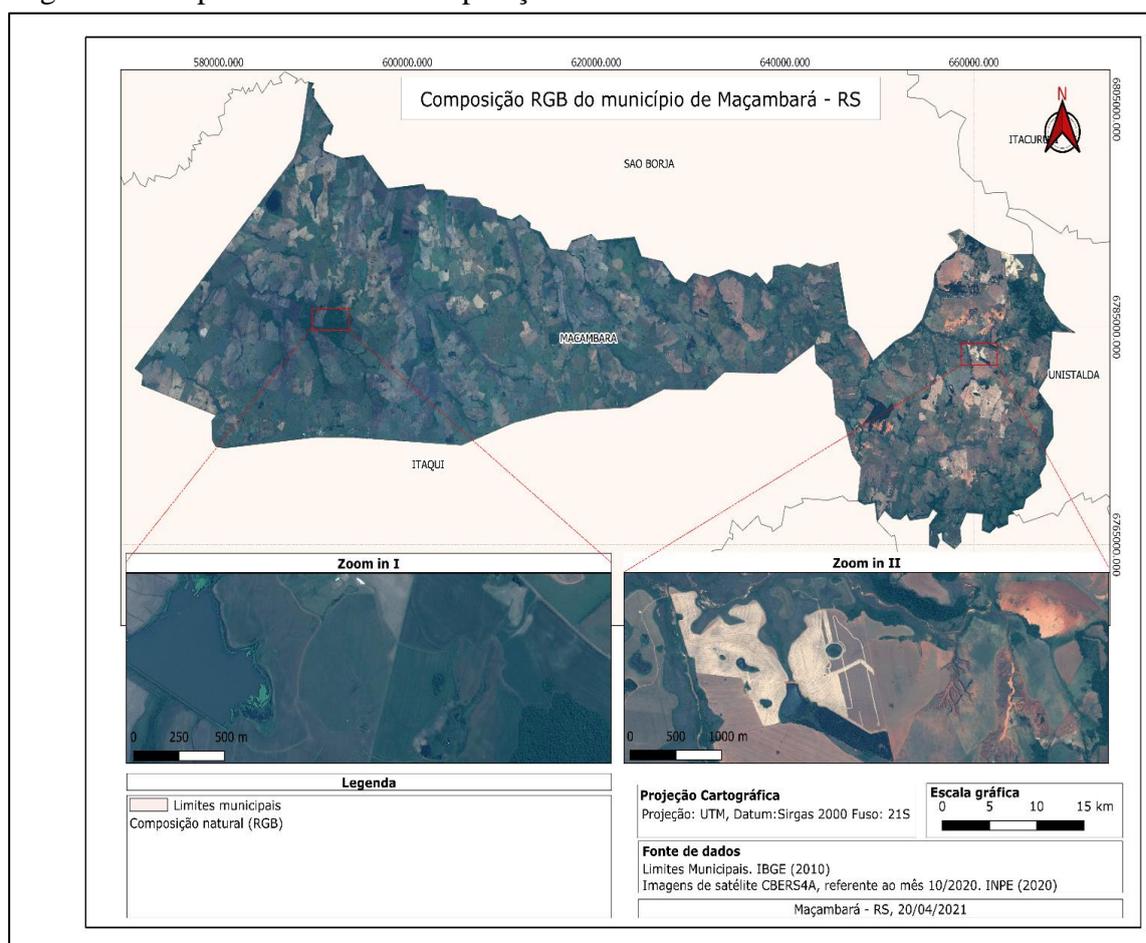
$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B} \quad \text{Eq.9}$$

Aplicado na estimação da fração de vegetação com uma baixa sensibilidade aos efeitos atmosféricos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado obtido pela composição das bandas RGB (cor natural) na banda pancromática (PAN) pode ser analisada na Figura 13 que mostra o município de Maçambará.

Figura 13: Mapa resultante da composição colorida das bandas 321



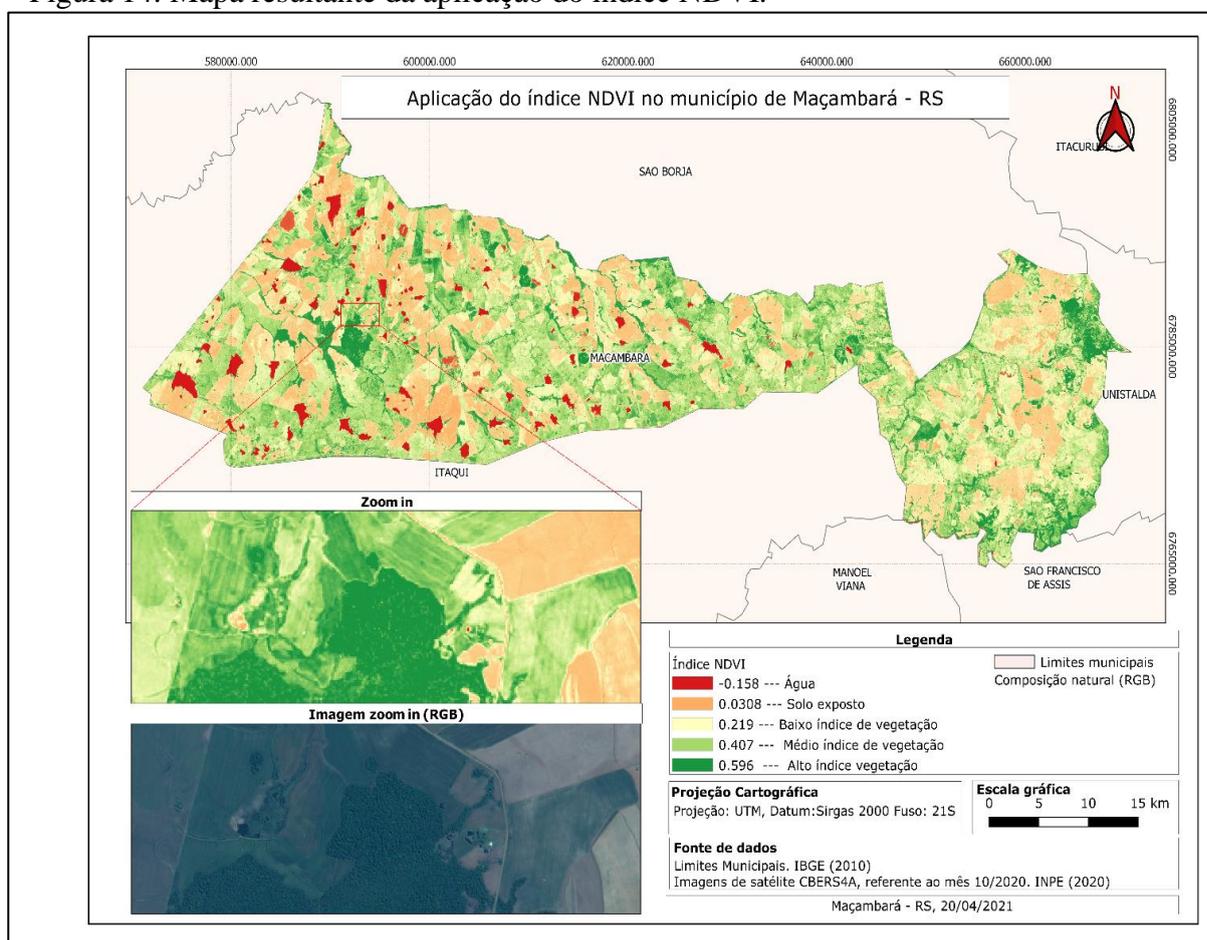
Fonte: Autor, 2021.

Como primeiro resultado têm-se a composição colorida RGB representando em uma resolução de 2 m uma coloração natural do terreno. Com essa composição é possível analisar as feições reais da superfície, detalhadas nos zooms I e II aplicados em uma porção da área de estudo. No zoom I, é perceptível uma área de barragem, solo exposto (ou em preparação para plantio), áreas no início do ciclo de desenvolvimento da lavoura e vegetações mais densas. No zoom II pode-se identificar áreas de preservação permanente, solo exposto, talhões agrícolas e uma possível área com plantio de arroz já preparados. Silva e Martins (2007) em seu estudo intitulado “Identificação da composição colorida de imagem CBERS-2 na dinâmica de ocupação territorial em sub-bacia hidrográfica” aplica a

composição colorida a fim de visualizar a ocupação territorial, por meio do diagnóstico do Uso e Cobertura da Terra utilizando o satélite CBERS-2.

O índice NDVI é comumente utilizado para monitorizar secas, monitorizar e prever as produções agrícolas, entre outros. Sendo este um índice de vegetação que permite gerar uma imagem demonstrando a biomassa relativa, a partir da absorção de clorofila na banda vermelha (R) e grande reflexo da vegetação no infravermelho próximo (NIR), utilizados no processo. O resultado da aplicação deste índice é apresentado na figura 14.

Figura 14: Mapa resultante da aplicação do índice NDVI.



Fonte: Autor, 2021.

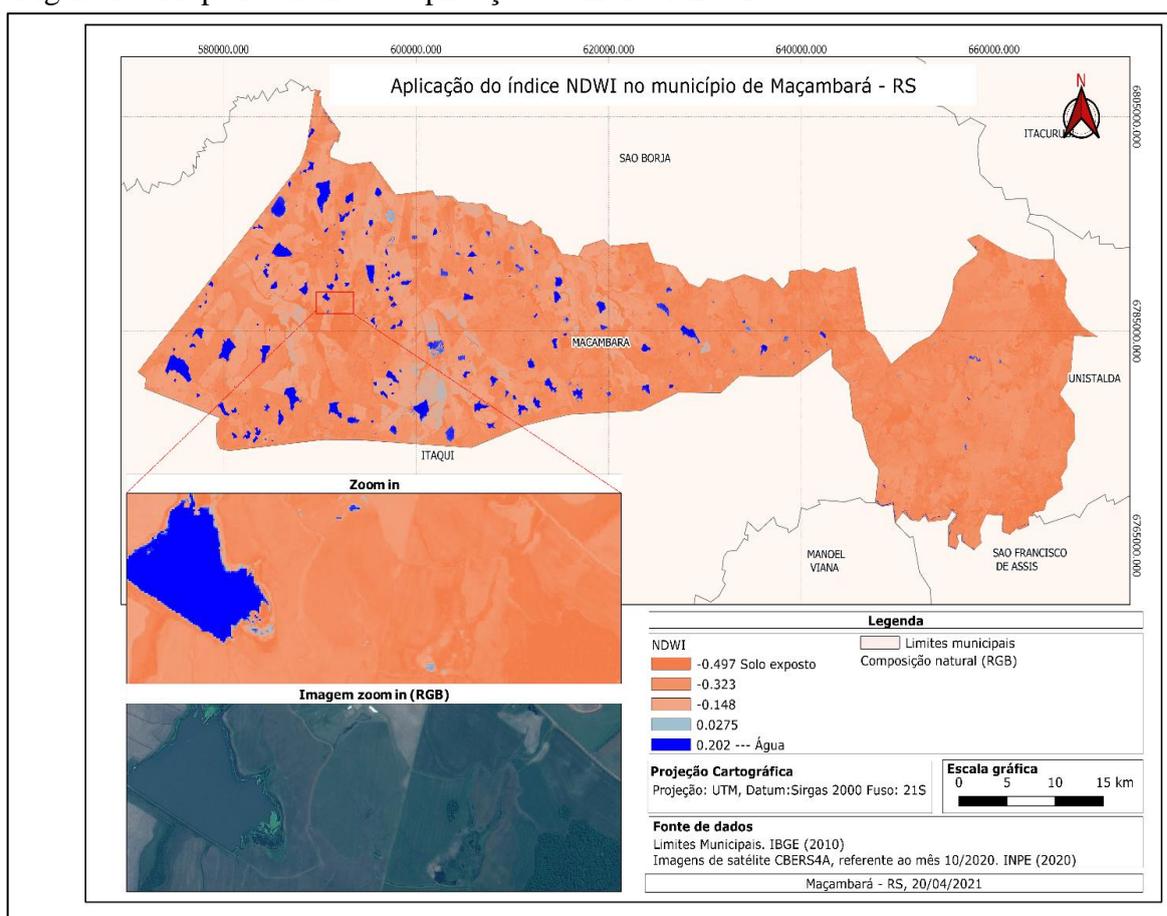
Observa-se a partir desse índice a representação detalhada e diferenciada da vegetação da área, que é perceptível (através do zoom de uma porção de área de estudo) uma classificação das diferentes etapas de uma lavoura até a presença de vegetação mais densa (vegetação nativa). A coloração varia do vermelho (menor reflectância) ao verde (maior reflectância), sendo que a água que possui baixa reflectância resulta na coloração

vermelha, o solo exposto é representado pelos tons mais claros de vermelhos e suas nuances, a vegetação e suas variações resultam nos tons de verde, sendo que quanto mais escuro maior é a concentração de vegetação.

Com relação as aplicações possíveis desse índice, Neves (2018) explica que pela vegetação refletir mais na banda do infravermelho próximo (NIR) e assumir valores compreendidos entre -1 e 1 (sendo que valores abaixo de zero não correspondem a áreas com vegetação) este índice é muito aplicado a trabalhos relacionados a áreas agrícolas, pois determinam suas variações e períodos de cultivo.

O índice NDWI é utilizado para definir características de água e aumentar a sua presença na imagem usando a radiação refletida infravermelho próximo e da luz visível verde (G) de forma a acentuar a presença de água e eliminar a presença de vegetação e solo. O resultado desta aplicação é apresentado na figura 15.

Figura 15: Mapa resultante da aplicação do índice NDWI.



Fonte: Autor, 2021.

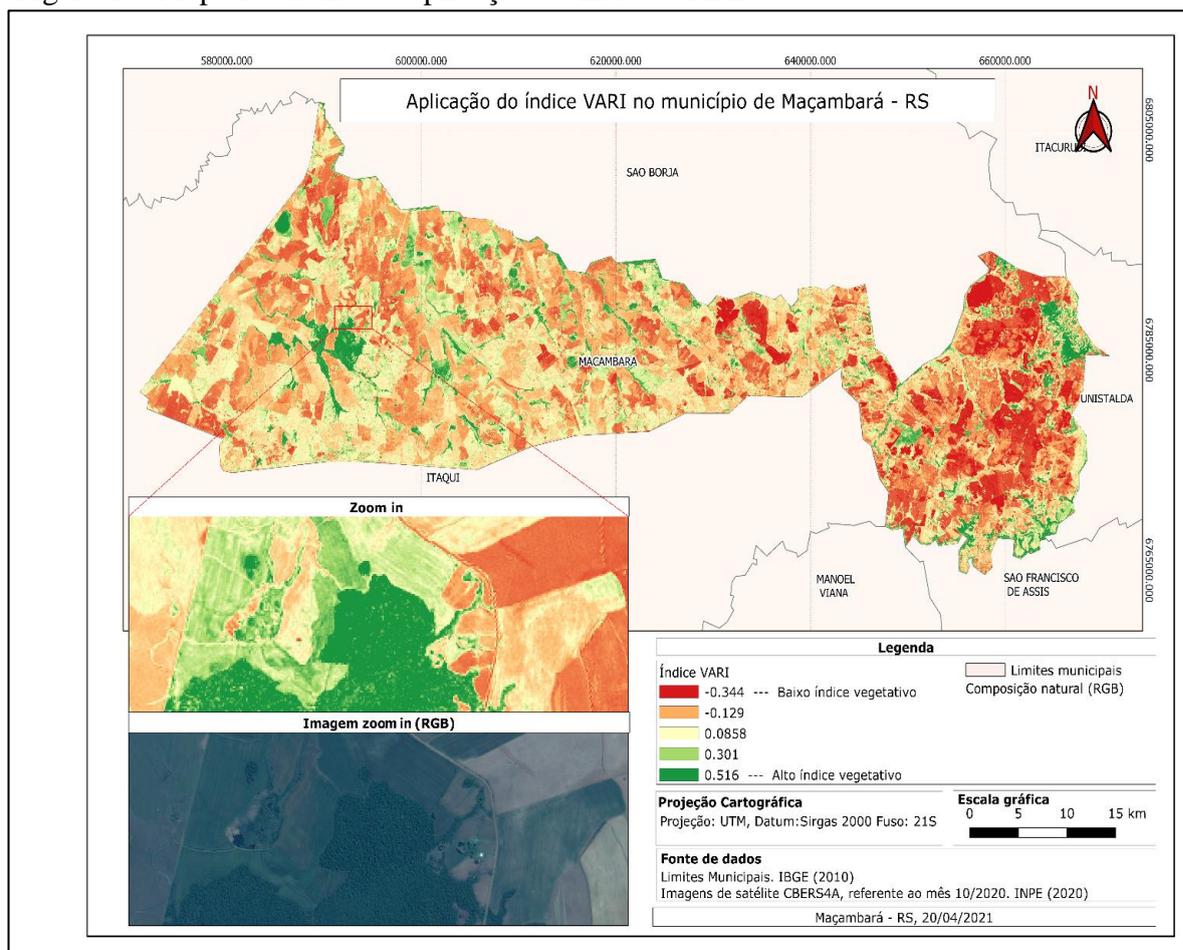
Analisando a Figura 14 pode observar claramente as barragens de água presente no município Maçambará, sendo que todas as outras características do terreno foram eliminadas resultando em tonalidades de rosa e suas nuances, delineando as feições de água

presentes no ambiente e realçadas pela tonalidade azul. Esse índice pode ser aplicado no monitoramento de barragens e na determinação de suas áreas.

No estudo de Borges et al (2015) intitulado “Aplicação do índice da diferença normalizada da água (NDWI) na delimitação de fluxos de sedimentos em suspensão no Rio Araguaia: avaliação das imagens Landsat 8 para o monitoramento hidroviário” realiza uma aplicação direta desse índice, demonstrando sua viabilidade no monitoramento de grandes cursos hídricos.

O índice de vegetação VARI é utilizado para enfatizar a vegetação na porção visível do espectro no mesmo tempo que diminui as diferenças de iluminação e os efeitos atmosféricos. Este índice trabalha com as bandas espectrais RGB ao invés do NIR, como no caso do NDVI, sendo mostrado o quão verde é a imagem. O resultado desta aplicação é apresentado na figura 16.

Figura 16: Mapa resultante da aplicação do índice VARI.



Fonte: Autor, 2021.

Nesta última imagem é possível visualizar e identificar as áreas com maior índice vegetativo (cor verde) a partir da alta reflectância da vegetação, ou seja, quanto maior a

reflectância maior é a tonalidade de verde na área e quanto menor a reflectância maior é a tonalidade de vermelho. O que observa-se nesta imagem, que diferentemente do índice NDVI o índice VARI não distingue as variações na vegetação, apenas é perceptível áreas de vegetação nativa ou as áreas agrícolas cuja lavoura está em estágio avançado.

No zoom aplicado a uma porção da área pode-se visualizar cinco tonalidades de cor. Os tons mais fortes de vermelho apresentam o solo exposto da área, os tons claros de vermelho representam uma pequena quantidade de vegetação e solo exposto. Conforme entra os tons de verde claro para o escuro observa-se os estágios mais avançados da lavoura e áreas com grandes concentrações de vegetação. Essas afirmações podem ser confirmadas no zoom aplicado a mesma porção de área pela composição natural (RGB).

Esse índice pode ser aplicado em situações em que é necessário saber as áreas de APP (Áreas de Preservação Permanente), que apresentam vegetação nativa, que resultam em áreas com tons mais escuros de verde. Abrahão et al. (2009) apresentam em seu estudo intitulado “Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia” aplicações do índice VARI considerando o índice de clorofila na vegetação e realiza comparações quanto a sua usabilidade.

A utilização do NDVI se difere pela utilização do NIR (infravermelho próximo) que consegue distinguir a água e as variações na vegetação, sendo este índice o mais indicado para aplicações agrícolas na área estudada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento prévio da base conceitual, sobretudo dos princípios físicos que regem o Sensoriamento Remoto é de grande importância para uma melhor compreensão e aplicação acadêmica e profissional, visto que é analisado o surgimento da radiação eletromagnética e do estudo das ondas, que é a base ao qual todas as informações dos sensores de satélites estão interligadas. O espectro eletromagnético onde se conhece todos os comprimentos de onda, suas faixas espectrais e comportamentos, onde por meio disto se torna possível analisar a interação da energia incidente com os alvos terrestres e como esta energia chega ao sensor, por meio da reflectância.

Ainda, a partir dos conhecimentos obtidos pelas leis físicas desenvolvidas por Kirchhoff, Rayleigh e Jeans, Stefan-Boltzmann e por Planck foi possível determinar como é gerar uma imagem de satélite, a partir da luz incidente que emite radiação eletromagnética, mensurando a radiância, a emitância e a reflectância e ainda a quantidade máxima de intensidade radiante que uma determinada fonte pode emitir, levando em consideração o seu comprimento de onda e temperatura. Além desses avanços que tornaram possível a física quântica, esses processos e evoluções na física tornaram possíveis as imagens de satélite que temos disponíveis atualmente e por fim contribuíram para a sua correta utilização e aplicação.

As bandas espectrais obtidas por sensores de satélite, trabalhadas e processadas trazem benefícios incontáveis para a população, tornando possível a visualização e tratamento de áreas sem a necessidade de ir ao local, de forma a apresentar informações pixeladas de cada objeto contido na superfície, onde a partir de uma composição colorida ou uma aplicação de índices resulta na identificação e monitoramento de áreas florestais, identificação de campos agrícolas, quantificação de áreas, identificação de cursos d'água, reservatórios, mapeamento de uso do solo, expansões urbanas, gerenciamento costeiros, monitoramento de reservatórios além de auxiliar em trabalhos topográficos e cartográficos.

No município de Maçambará/RS é verificado a aplicação exposta neste trabalho quanto a verificação de áreas agrícolas e barragens, além de demonstrar possíveis áreas de preservação permanente. Ante o exposto, podemos esperar que os alunos do curso Engenharia Cartográfica e de Agrimensura possam compreender de forma mais clara os princípios físicos do Sensoriamento Remoto e que posteriormente venham realizar as atividades práticas com uma visão mais ampliada dos seus fenômenos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, Selma Alves; et al. **Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia**. Revista Brasileira de Zootecnia, R. Bras. Zootec., v.38, n.9, p.1637-1644, 2009.

ANTUNES, L. C. S. **Radiação de Corpo Negro, Lei de Stefan-Boltzmann, Lei do Deslocamento de Wien**. Relatório de Estágio para obtenção de grau de Mestre. Covilhã, 2012.

BASSALO; J. M. F. **Lei de Rayleigh-Jeans**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 18, no. 1, 1996.

BORGES, P. D. **Apostila de Física**. Colégio Politécnico – UFSM. Santa Maria. 2009.

CASTRO, S. R. R. **História da fotografia impressa produção e leitura da imagem fotográfica jornalística**. Publicação Científica do Departamento de Comunicação Social da Universidade Federal do Maranhão - UFMA - ISSN 0102-3853, Vol. XVII – n. 3. São Luís – MA, 2007.

BORGES, Raphael de Oliveira; CAMARGO, Flavio Fortes; CAMPAGNOLI, Fernando; BAYER, Maximiliano. **Aplicação do índice da diferença normalizada da água (NDWI) na delimitação de fluxos de sedimentos em suspensão no Rio Araguaia: avaliação das imagens Landsat 8 para o monitoramento hidroviário**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

CAVENAGHI, A. J. **Niépcce: A invenção que fiz**. Domínios da Imagem. Ano II, n. 3, p. 7-18 Londrina, 2008.

DATABASE. **List of available Indices**. Disponível em:< <https://www.indexdatabase.de/db/i.php>>. Acessado em 28 de fevereiro de 2021.

EISBERG, R. RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GUIMARÃES, P. S. **Radiação de Corpo Negro**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 21, no. 2, 1999.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Novembro 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acessado em 16 de julho de 2020.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Novembro 2018. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acessado em 16 de julho de 2020.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

LORENZETTI, J. A. **Princípios físicos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Blucher, 2015.

MAÇAMBARÁ (RS). **Prefeitura**. 2011. Disponível em: < <http://www.macambara.rs.gov.br> >. Acessado em 16 de fevereiro de 2021.

MELONI, R. B. da S; MILIDIU, R. L. **Classificação de imagens de Sensoriamento Remoto usando SVM**. Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009. 64 p.

MENESES, R.; SANO, E. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UnB/Cnpq, 2012.

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

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2011. 422 p.

NEVES, Guilherme Barreiros Martins Moura. **Produção de pastagens de precisão: Estimativa e avaliação da variabilidade espacial da produtividade de biomassa de uma pastagem de regadio com o medidor de prato ascendente e detecção remota**. Instituto Superior da Agronomia – Universidade Federal de Lisboa, 2018.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 3ed. São Paulo: Blucher, 2008.

NOVO, E. M. L. M. PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 2001

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7 ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

SANTOS, F. A. M. MASSONI, N. T. DANTAS, C. R. S. JUNGES, A. **Textos de apoio ao professor de física**. IF-UFRGS – v. 29, n.3. 2018.

SILVA, Liliane Garcia da; MARTINS, Alan Kardec Elias. **Identificação da composição colorida de imagem CBERS-2 na dinâmica de ocupação territorial em sub-bacia hidrográfica**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1141-1145.

580000.000

600000.000

620000.000

640000.000

660000.000

Município de Maçambará - RS



ITACURUBA

SAO BORJA

MACAMBARA

UNISTALDA

ITAQUI

MANOEL VIANA

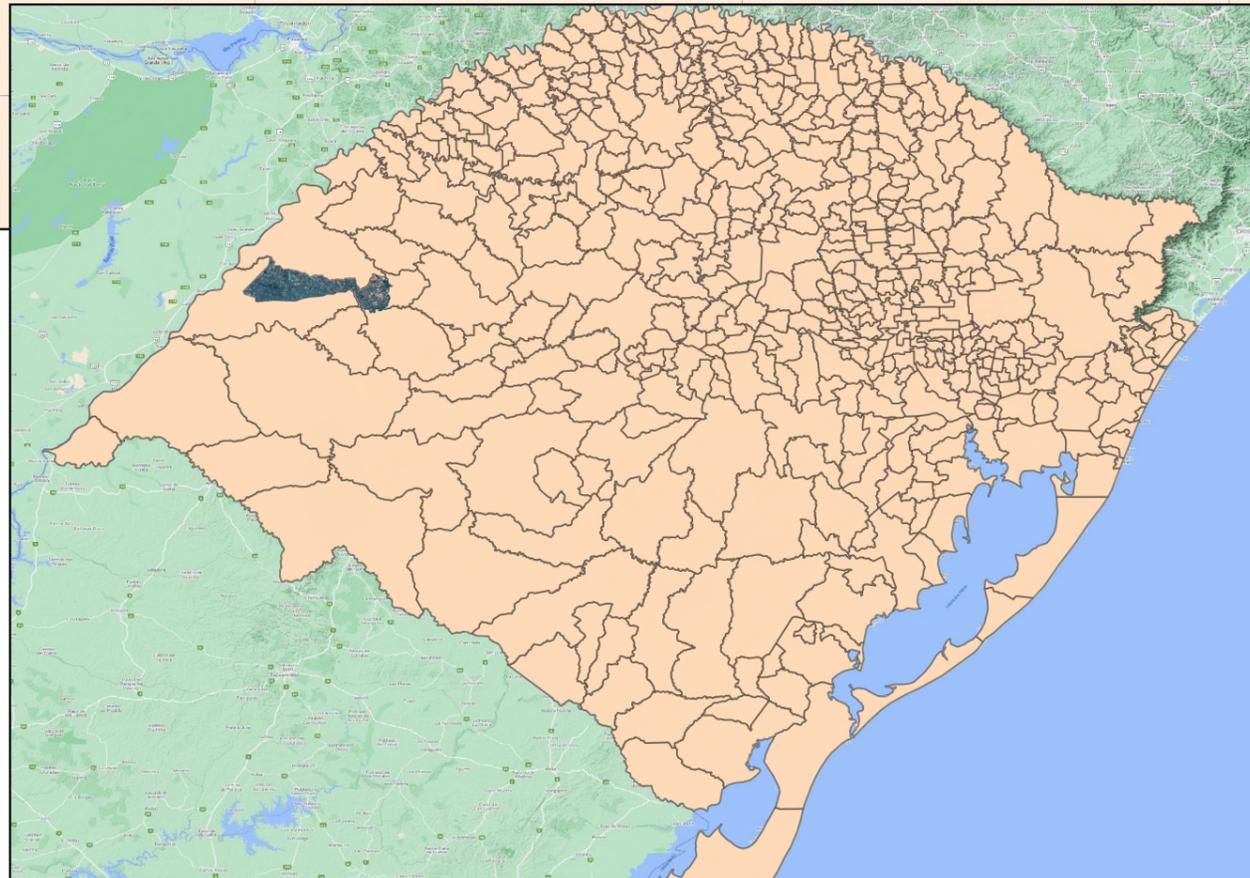
SAO FRANCISCO DE ASSIS

6805000.000

6785000.000

6765000.000

Município em relação ao Estado do Rio Grande Sul



Legenda

Limites municipais

Composição natural (RGB)

Projeção Cartográfica

Projeção: UTM, Datum: Sirgas 2000 Fuso: 21S

Escala gráfica

0 5 10 15 km



Fonte de dados

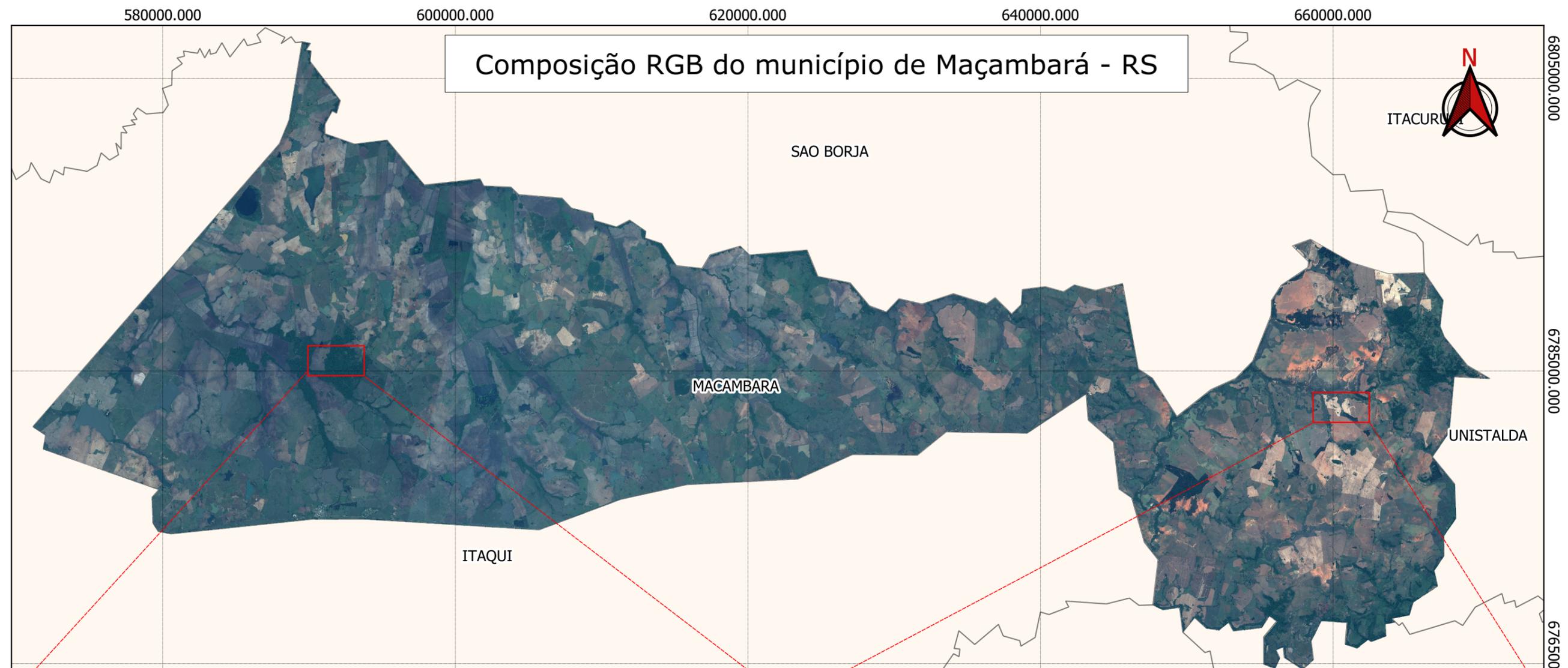
Limites Municipais. IBGE (2010)

Imagens de satélite CBERS4A, referente ao mês 10/2020. INPE (2020)

Google earth (2020)

Maçambará - RS, 20/04/2021

Composição RGB do município de Maçambará - RS



Zoon in I



Zoon in II



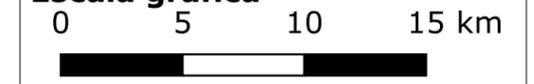
Legenda

-  Limites municipais
-  Composição natural (RGB)

Projeção Cartográfica

Projeção: UTM, Datum: Sirgas 2000 Fuso: 21S

Escala gráfica



Fonte de dados

Limites Municipais. IBGE (2010)
Imagens de satélite CBERS4A, referente ao mês 10/2020. INPE (2020)

580000.000

600000.000

620000.000

640000.000

660000.000

Aplicação do índice NDVI no município de Maçambará - RS



ITACURUBS

SAO BORJA

MACAMBARA

UNISTALDA

ITAQUI

MANOEL VIANA

SAO FRANCISCO DE ASSIS

6805000.000

6785000.000

6765000.000

Zoon in

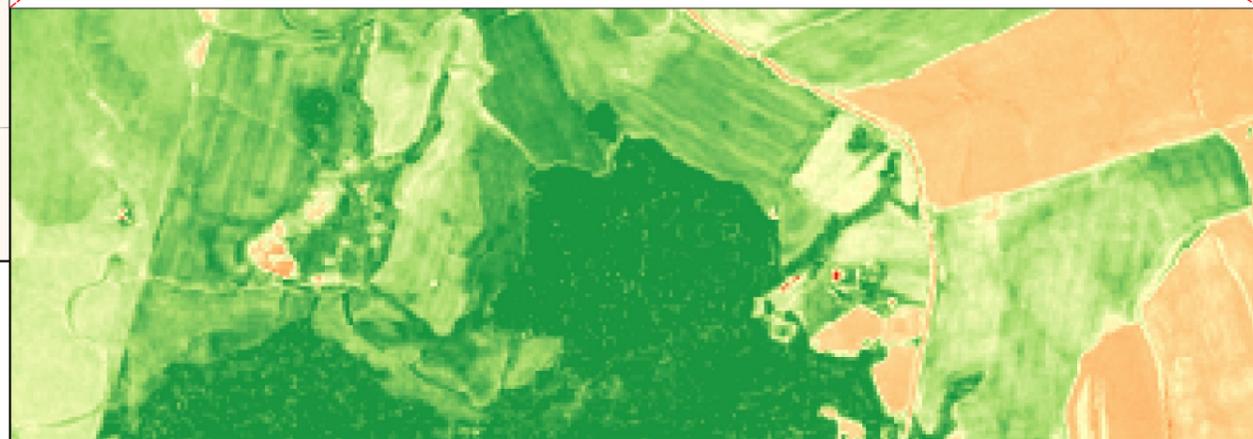
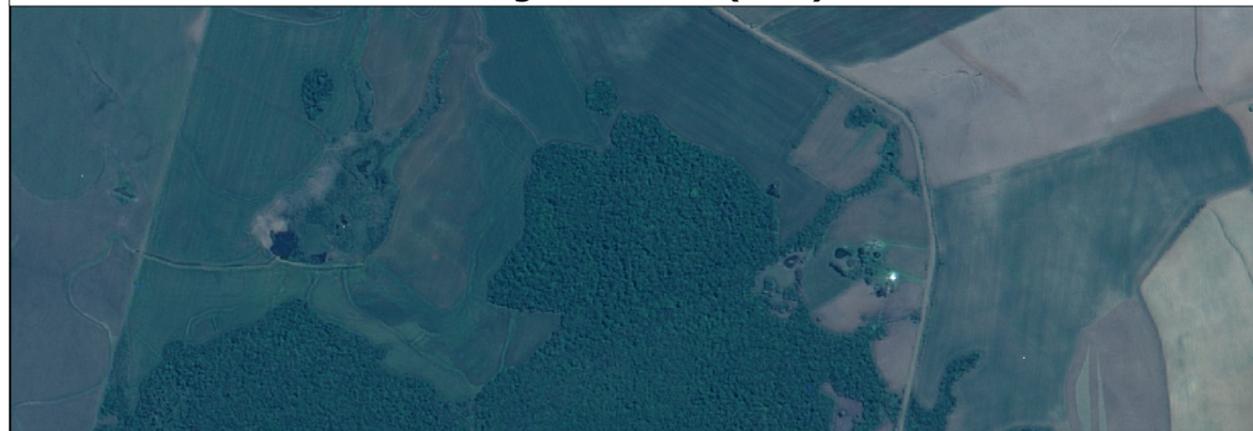


Imagem zoon in (RGB)



Legenda

Índice NDVI

-0.158 --- Água

0.0308 --- Solo exposto

0.219 --- Baixo índice de vegetação

0.407 --- Médio índice de vegetação

0.596 --- Alto índice vegetação

Limites municipais
Composição natural (RGB)

Projeção Cartográfica

Projeção: UTM, Datum: Sirgas 2000 Fuso: 21S

Escala gráfica

0 5 10 15 km



Fonte de dados

Limites Municipais. IBGE (2010)

Imagens de satélite CBERS4A, referente ao mês 10/2020. INPE (2020)

Maçambará - RS, 20/04/2021

580000.000

600000.000

620000.000

640000.000

660000.000

Aplicação do índice NDWI no município de Maçambará - RS



ITACURUBS

SAO BORJA

MACAMBARA

ITAQUI

UNISTALDA

MANOEL VIANA

SAO FRANCISCO DE ASSIS

6805000.000

6785000.000

6765000.000

Zoon in

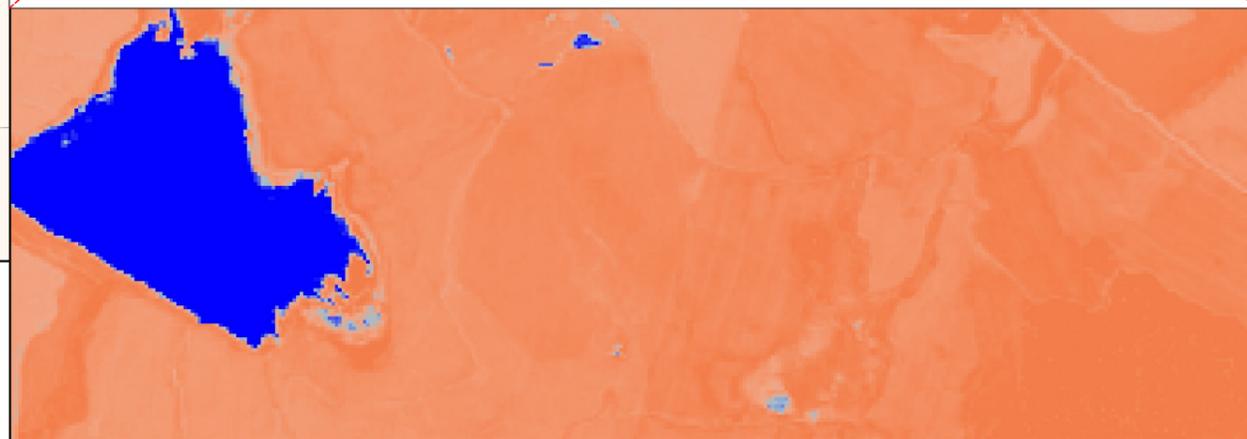
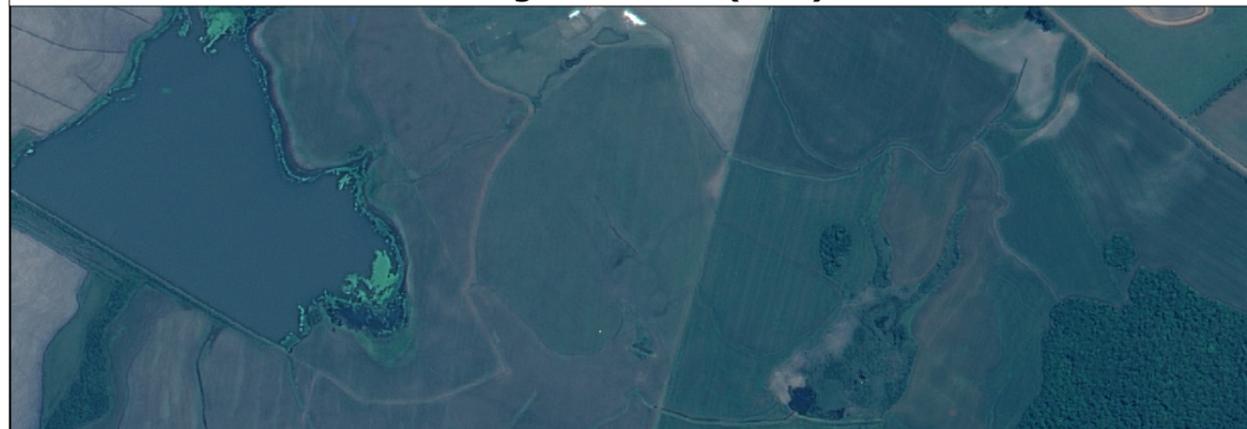


Imagem zoon in (RGB)



Legenda

NDWI

-  -0.497 Solo exposto
-  -0.323
-  -0.148
-  0.0275
-  0.202 --- Água

-  Limites municipais
-  Composição natural (RGB)

Projeção Cartográfica

Projeção: UTM, Datum: Sirgas 2000 Fuso: 21S

Escala gráfica

0 5 10 15 km



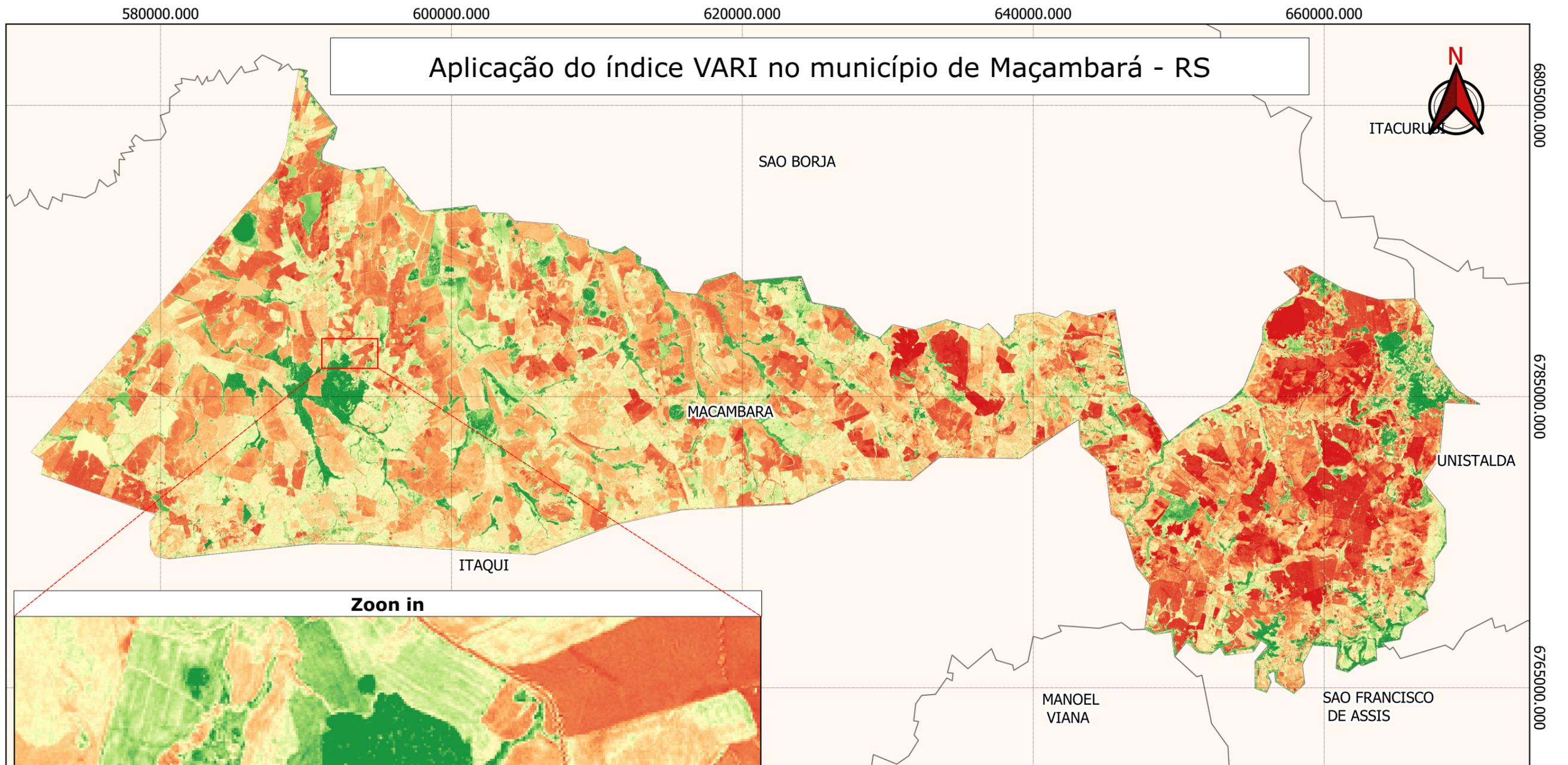
Fonte de dados

Limites Municipais. IBGE (2010)

Imagens de satélite CBERS4A, referente ao mês 10/2020. INPE (2020)

Maçambará - RS, 20/04/2021

Aplicação do índice VARI no município de Maçambará - RS



Zoon in

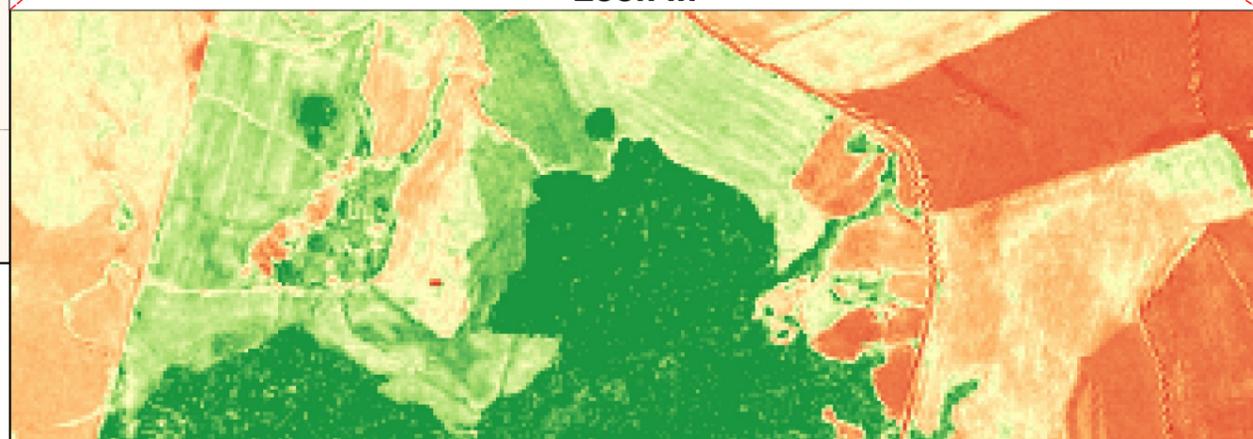
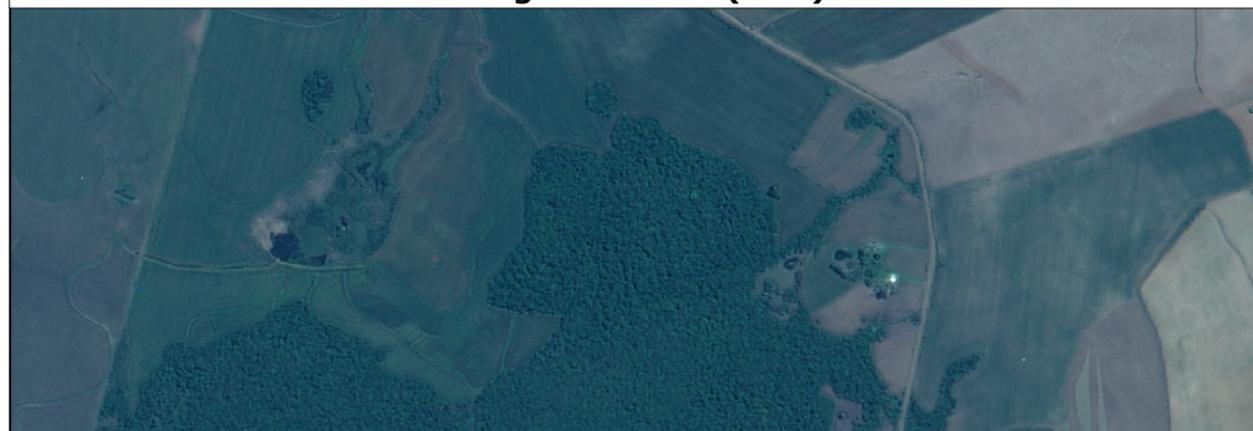


Imagem zoon in (RGB)



Legenda

| | |
|------------------------------------|--------------------------|
| Índice VARI | Limites municipais |
| -0.344 --- Baixo índice vegetativo | Composição natural (RGB) |
| -0.129 | |
| 0.0858 | |
| 0.301 | |
| 0.516 --- Alto índice vegetativo | |

Projeção Cartográfica

Projeção: UTM, Datum: Sirgas 2000 Fuso: 21S

Escala gráfica

0 5 10 15 km



Fonte de dados

Limites Municipais. IBGE (2010)

Imagens de satélite CBERS4A, referente ao mês 10/2020. INPE (2020)

Maçambará - RS, 20/04/2021