



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS DE PORTO NACIONAL
BACHARELADO EM GEOGRAFIA

MATHEUS FILLIPE GAIA DOS SANTOS

**PROGRAMAÇÃO EM NUVEM APLICADA AOS ÍNDICES
NDVI E NDWI NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO
COCO TO 2020**

Porto Nacional/TO
2022

MATHEUS FILLIPE GAIA DOS SANTOS

**PROGRAMAÇÃO EM NUVEM APLICADA AOS ÍNDICES
NDVI E NDWI NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO
COCO TO 2020**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT –
Universidade Federal do Tocantins – Campus
Universitário de Porto Nacional Curso de Geografia para
obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma
final pelo Orientador e pela Banca Examinadora

Orientador: Prof. Dr. Maurício Alves da Silva

Porto Nacional/TO
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S237p Santos, Matheus Fillipe Gaia dos.
Programação em nuvem aplicada aos índices NDVI e NDWI na Bacia Hidrográfica do Rio do Coco TO 2020. / Matheus Fillipe Gaia dos Santos. – Porto Nacional, TO, 2022.
58 f.
Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Porto Nacional - Curso de Geografia, 2022.
Orientador: Maurício Alves da Silva
1. GEE. 2. Índice espectral. 3. NDVI. 4. NDWI. I. Título

CDD 910

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MATHEUS FILLIPE GAIA DOS SANTOS

**PROGRAMAÇÃO EM NUVEM APLICADA AOS ÍNDICES NDVI E NDWI NA
BÁCIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO COCO TO 2020**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT –
Universidade Federal do Tocantins Campus Universitário
de Porto Nacional Curso de Geografia para obtenção do
título de Bacharel em Geografia.

Data de Aprovação ___/___/___

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Mauricio Alves da Silva – UFT/ Porto Nacional

Prof. Dr. Rodolfo Alves da Luz – UFT/Porto Nacional

Prof. Dr. Sandro Sidnei Vargas de Cristo – UFT/Porto Nacional

*“Tesouros...Eu consegui mais tesouros do que
jamais poderia carregar”.*
Jyoji Morikawa

AGRADECIMENTOS

Existem muitas pessoas que me ajudaram nessa jornada, provavelmente não irei me lembrar de todas, então serei injusto e de maneira já adiantada ofereço sinceras desculpas.

Bom, os meus pais Flavia Elais Vieira Gaia e Helio Melo de Araújo foram as pessoas que do primeiro até o último momento me apoiaram. Minha mãe com a sua gentileza e cuidado, em seguida meu pai com a sua paciência e compreensão, ambos são exemplos de ser humano para mim. Dentro da minha família também pude contar com o amor da minha avó Maria de Jesus Vieira Gaia e do meu avô Benedito Gonçalves Vieira Gaia. E ao meu bisavô José Maria Ribeiro Gaia que já faleceu, fico feliz de ter conhecido alguém tão querido.

Também preciso agradecer aos meus amigos Cassia Castro, passamos por muitas dificuldades juntos e obrigado por você ser você, Jair Souza pelas orientações e dicas para esse trabalho, Junior Carvalho pelas risadas e bons momentos juntos. Sem a ajuda e a crítica dos meus amigos esse trabalho não seria possível, e espero continuar fazendo parte do mundo que alegra essas pessoas.

Agradeço aos professores que me ajudaram desde o meu primeiro período, Neila Nunes e ao orientador Mauricio Alves que me ajudam de modo quase imediato em momentos de dificuldade, minha dívida com vocês é gigantesca, jamais me esquecerei. Também agradeço ao puxão de orelha necessário feito pelo professor Atamis Foschiera.

O lugar que me acolheu a Casa do Estudante, também merece ser lembrado como um espaço onde conheci muitos amigos e colegas, e tive a oportunidade de viver uma realidade difícil, porém necessária para minha formação como ser humano.

RESUMO

A seguinte pesquisa pretende usar o *Google Earth Engine* que é uma plataforma de programação em nuvem para a obtenção das imagens de satélite do Sentinel-2, de modo ágil em virtude o processamento compartilhado dos servidores da Google que disponibilizam *petabytes* de dados vetoriais e matriciais. Portanto, a pesquisa usa a Bacia Hidrográfica do Rio do Coco, se apropriando da Bandas B4, B3, B2 e B8 para formar a composição colorida e aplicar aritmética de bandas para obter os índices NDWI e NDVI, que possui como objetivo revelar as diferenças de umidade e atividade fotossintética da cobertura vegetal. E aliado aos índices, foi feita uma classificação supervisionada que aproveita da sensibilidade dos índices espectrais para espacializar a bacia hidrográfica nas seguintes classes: Água, Área descoberta, Formação campestre e Formação floresta. Sendo assim, os mapas utilizam como base produtos matriciais do período úmido e seco do ano de 2020, que foi possível verificar um o aumento de diminuição das classes.

Palavras-chaves: GEE. Índice espectral. NDVI. NDWI.

ABSTRACT

The following research intends to use Google Earth Engine, which is a cloud programming platform for a *petabytes* of Sentinel2 satellite images, a mode of use due to the shared processing of Google servers that provide data and matrices. Therefore, the research uses the Rio do Coco Watershed, appropriating Bands B4, B3, B2 and B8 to form a composition and apply arithmetic of colored bands to obtain the NDWI and NDVI indices, which aim to reveal the differences in activity and photosynthesis of vegetation cover. And allied to the indices, a supervised classification was made that allows the discovery of spectral indices to specialize a watershed in the following classes: Water, Area, Countryside Formation and Forest Formation. Therefore, the maps are based on matrix products of the wet and dry period of the year 2020, which it was possible to verify an increase in the classes.

Key-words: GEE. Spectral index. NDVI. NDWI.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema do programa fonte para o programa objeto	15
Figura 2 - Estrutura do pensamento computacional	16
Figura 3 - Página da plataforma <i>Code Editor</i>	18
Figura 4 - Aritmética de bandas feitas pixel a pixel.	20
Figura 5 - Painel de scripts e documentos da plataforma	28
Figura 6 - Painel de edição de código	28
Figura 7 - Painel de visualização dos resultados.	29
Figura 8 - Painel de visualização dos polígonos e imagens.	30
Figura 9 - Caixa de pesquisa e login de plataforma.	30
Figura 10 - Função filtro de nuvens	34
Figura 11 - Forma da Hidrográfica do Rio do Coco	34
Figura 12 - Variável do satélite Sentinel-2.	35
Figura 13 - Imagens selecionadas da bacia.	35
Figura 14 - Aplicação dos índices.	36
Figura 15 - Exportação dados para o <i>Google Drive</i>	37
Figura 16 - Reatribuição de variável para tornar NVDI e NDWI parte da base de amostra	38
Figura 17 - Polígonos de amostra	38
Figura 18 - Definição dos argumentos para amostra	39
Figura 19 - União das amostras.	39
Figura 20 - Conjunto de treinamento e conjunto de teste	39
Figura 21 - Associação classificador com as amostras.	40
Figura 22 - Classificação das amostras.	40
Figura 23 - Acurácia do classificador.	40
Figura 24 - Acurácia geral.	41
Figura 25 - Imagem disponível para <i>upload</i>	41
Quadro 1 - Tipos de dados <i>Javascript</i>	31
Quadro 2 - Scripts usados na pesquisa	33
Quadro 3 - Classes e sua características	51
Mapa 1 - Localização da bacia hidrográfica	26
Mapa 2 - Compartimentação da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco.	27
Mapa 3 - Pontos e fotografias	43
Mapa 4 - Índice espectral NDWI do período úmido	46
Mapa 5 - Índice espectral NDVI do período úmido	47
Mapa 6 - Índice espectral NDWI do período seco.	49
Mapa 7 - Índice espectral NDVI do período seco.	50
Mapa 8 - Uso e ocupação referente no período úmido	54
Mapa 9 - Uso e ocupação referente no período seco	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Área ocupada por classe	52
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
MSI	<i>Multispectral Instrument</i>
RVI	<i>Ratio Vegetation Index</i>
REM	Radiação Eletromagnética
PNL	Processamento Natural de Linguagem
SHP	<i>Shapefile</i>
UFT	Universidade Federal do Tocantins

LISTA DE SÍMBOLOS

Km^2 Quilometro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problema da pesquisa.....	14
2	OBJETIVO.....	15
2.1	Objetivo geral.....	15
2.2	Objetivo específico.....	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1	Programação.....	17
3.2	Programação em nuvem.....	18
3.3	Google Earth Engine.....	19
3.4	Sensoriamento remoto.....	20
3.5	Aritmética de bandas.....	21
3.6	Elementos para interpretação de imagem.....	23
4	METODOLOGIA.....	25
4.1	Localização da área de estudo.....	25
4.2	Satélite.....	28
4.3	Construção dos mapas.....	28
4.4	Layout do Google Earth Engine.....	28
4.5	Materiais e método.....	33
4.6	Trabalho de campo.....	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5.1	Classificação supervisionada.....	52
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
6.1	Conclusão.....	57
6.2	Trabalhos futuros.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

Para a Geografia as bacias hidrográficas representam importantes unidades de estudo, pois elas representam sistemas naturais abertos que estão em constante troca matéria e energia, as bacias hidrográficas também são relevantes para gestão das atividades agroflorestais e desenvolvimento socioeconômico. Portanto, esse trabalho pretende os conhecimentos esclarecer os fatores fisiográficos e antrópicos que ditam as lógicas de cobertura e uso do solo. Segundo Tricart (1977), o funcionamento dinâmico do espaço geográfico se impõe, na medida em que as ações humanas transformam uma natureza que está em constante processo evolução, logo, o arranjo complexo do espaço geográfico não pode ser limitado somente às descrições fisiográficas.

As geotecnologias são ferramentas fundamentais para as análises e tomadas de decisão técnica tendo em vista suas múltiplas aplicações. Dito isso, as tecnologias avançam de uma sociedade cada vez mais técnica que necessita a todo instante ser abastecida com informação das mais diversas fontes, pois segundo Grus (2016) a produção de dados nunca alcançou patamares tão grandes quanto na história recente, porém, muitos dados estão desorganizados em meio a um “dilúvio” de informações criadas a cada segundo, e o grande desafio é encontrar maneira de extrair conhecimento.

Em meio a quantidade grade informações produzidas sobre as atividades humanas, incluindo nisso as transformações no espaço geográfico que partilham determinada lógica e intencionalidade na ocupação. A programação em nuvem, oferece flexibilização dos processos computacionais principalmente no que se refere aos grandes volumes de informação, que nasce da necessidade dos usuários construir, configurarem e consultarem dados de um sistema virtual, sendo assim a nuvem responsável por oferecer processamento massivo em plataformas computacionais de terceiros (SOUSA; MOREIRA; MACHADO, 2009). Tendo em vista esses cenários que exigem o processamento acelerado de dados, a programação em nuvem junta-se às geotecnologias para o estudo dos fenômenos naturais e resolução dos conflitos socioambientais.

Portanto, essa pesquisa busca verificar as mudanças no uso e ocupação do solo auxiliados pelos índices de diferença normalizada NDVI e NDWI durante o ano de 2020, porque tais índices demonstram sensibilidade às mudanças de vigor vegetacional e variações espectrais da água presentes nos corpos hídricos.

A Bacia Hidrográfica do Coco, foi escolhida como área de estudo em função das experiências obtida na graduação de Geografia – bacharelado e trabalhos desempenhados na EMBRAPA Pesca e Aquicultura sediada em Palmas, na capital do estado do Tocantins.

1.1 Problema da pesquisa

A aplicabilidade da programação por meio do *Google Earth Engine* - GEE também é algo a ser ressaltado, principalmente pelo fato que os materiais acadêmicos sobre tal ferramenta ainda estão menores em quantidade, e isso se deve por conta de seu lançamento oficial ser recente, datado do ano de 2015. Sendo assim, seu potencial enquanto suporte para as pesquisas e rotinas que envolvem geoprocessamento precisa ser explorado.

Partindo do princípio de que a cobertura vegetal é um importante componente para conservação e recarga dos aquíferos. A bacia hidrográfica do Rio do Coco torna-se um alvo importante para pesquisa pois ela conta com extensa área que abriga 5 sub-bacias distribuídas em seu alto-baixo curso, junto disso há 8 municípios sobre a bacia, somados a 2 unidades de conservação, sendo o Parque Estadual do Cantão e a Área de Proteção Ambiental Ilha do Bananal/Cantão e que nos mais recentes anos funcionam como vetores para expansão das atividades no campo de pastagem e monocultura de grãos.

2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

2.1 Objetivo geral

Essa pesquisa busca compreender as aplicações dos índices espectrais, através das técnicas e ferramentas oferecidas pela programação e o geoprocessamento no decorrer do ano de 2020 na Bacia Hidrográfica do Rio do Coco, aliado ao entendimento do uso e ocupação do solo por meio dos índices normalizado

2.2 Objetivo específico

1. Classificar e diferenciar a cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio do Coco usando técnicas da programação de modo generalizado e hipotético
2. Apontar as vantagens e limitações do processo metodológico utilizando a programação em nuvem, por intermédio da plataforma de programação GEE.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

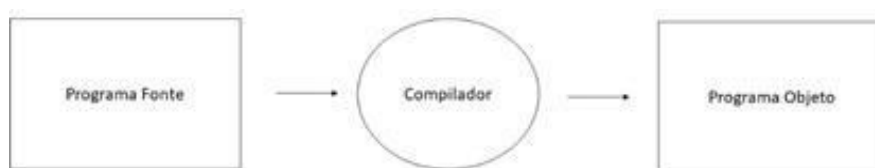
3.1 Programação

A programação é a construção de ordens em um sistema virtual computadorizado que pode ser dissecada em muitos detalhes, porém a grosso modo é dotado pelo fundamento de tradução do pensamento humano para as ações do computador. (SILVA, 2008). Com o intuito de automatizar e acelerar a resolução de problemas, sendo assim isso é possível por meio da tradução da linguagem natural para a linguagem computacional.

O mais baixo nível da linguagem é a programação binária, onde todos comandos e ações pela máquina são processadas como 0 e 1. Mesmo que tal linguagem possa parecer extremamente basal, outras formas de linguagem de alto nível foram surgindo com o passar do tempo como a *Python* e *JavaScript* que permitem a tradução/interpretação da linguagem natural para computacional que consiste em PNL. (OTHEIRO, 2005)

E dentro desse escopo do PNL o computador estrutura os dados em valores inteiro (*integer*), pontos flutuantes (*float*) e textos com elemento alfanuméricos (*string*), essa estruturação necessita ser feita, e desse modo as linguagens de programação apresentadas funcionam como compiladores, portando comandos *print* (imprimir) e operadores matemáticos como + (soma) são possíveis de serem feitos sem recorrer a programação binária, pois existem linguagens de alto nível como o *JavaScript* que compilam essas ações, esquematizadas na figura (1)

Figura 1 - Esquema do programa fonte para o programa objeto



Fonte: Adaptado de (SOUZA, 2008).

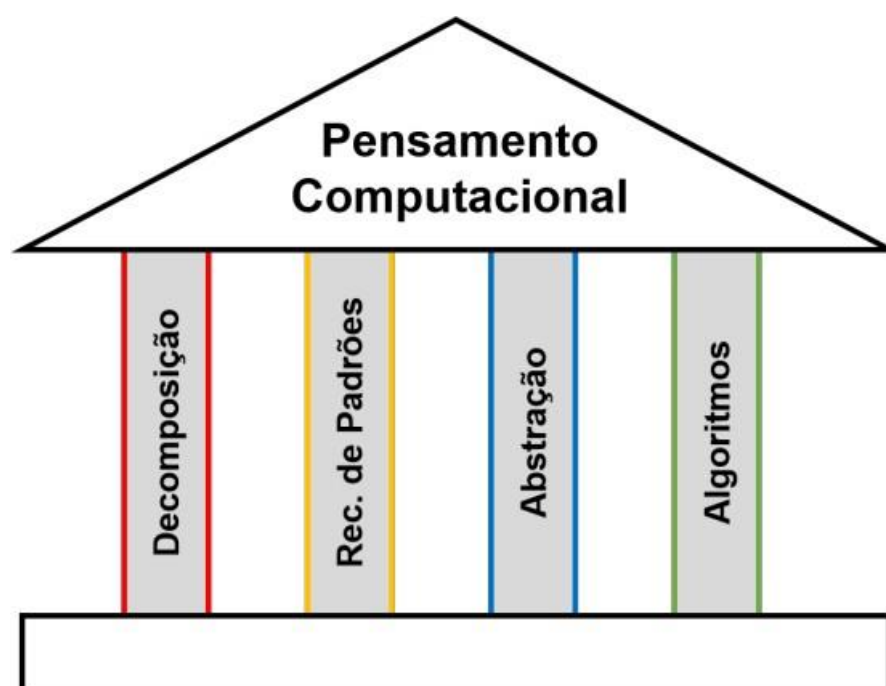
Em que o programa fonte é a linguagem de programação de alto nível *JavaScript*, o compilador é representado pelos operadores e comandos, e o programa fonte hospeda os comandos em linguagem binária de baixo nível.

Tendo feito essa breve abordagem sobre a programação que depende de vários elementos, o ato de programar envolve a transformação da ordem do pensamento humano para o pensamento/lógica computacional. Enquanto, o processo para as ações humanas funcionam

de modo não sequencial, ou seja, onde etapas podem ser ignoradas, os algoritmos computacionais exigem que as suas ações sejam executadas de modo sequencial e hierárquico.

Tendo esse princípio sequencial e hierárquico em mente, o pensamento computacional segundo Brackmann (2017), é a capacidade humana de utilizar as ferramentas da computação para resolver problemas por meio de instruções claras, de tal maneira que seja possível um humano ou uma máquina interpretar e executar essa “receita de bolo” de modo eficaz. A mesma autora também ressalta, que o pensamento computacional está fundamentado em quatro pilares: Decomposição, Reconhecimento de Padrões, Abstração e Algoritmos, esquematizados na figura (2).

Figura 2 – Estrutura do pensamento computacional



Fonte: Brackmann, (2017).

Decomposição é quando uma ideia ou problema é dividido em outras etapas com o intuito de tornar a resolução menos complexa, criando partes que são mais fáceis de serem entendidas. De modo prático, isso se relaciona com o ato de criar variáveis que armazenam diferentes objetos como dados vetoriais e matriciais.

Reconhecimento de padrões, exige o entendimento de similaridade e diferenças entre os processos/problemas. De outro modo, também pode ser chamado de generalização, que é essa capacidade de usar soluções pré-definidas para outros casos, portanto, entende-se quais partes são similares e quais são diferentes para aplicar os ajustes.

Abstração é comparado ao processo de filtragem das etapas que levam para a resolução de um problema, por isso etapas não necessárias ou de difícil entendimento na possibilidade são ignoradas, pois é importante selecionar os dados e variáveis aplicando processos e comandos somente quando for necessário.

Algoritmo é o pilar de junção de todos os demais que é um como o “passo a passo”, de como os dados de entrada são transformados em novo produto satisfatório. E por meio desse roteiro, é garantido ordenar as etapas para que uma classificação supervisionada seja feita. Então, os algoritmos já foram testados segundo os critérios de decomposição, reconhecimento de padrões e abstração.

3.2 Programação em nuvem

O processamento em nuvem consiste em uma estrutura composta por centenas ou milhares de computadores que compartilham o seu processamento em rede, ou seja, através da internet cada máquina compartilha a mesma configuração operacional de *software*. A partir disso, os dados são aplicados na nuvem para que o usuário consiga acessar em qualquer lugar com conexão à internet. Logo, o intuito do processamento em nuvem é reduzir drasticamente o tempo de resposta dos comandos e das ações feitas em ambiente computacional. Ademais, existem vários tipos de serviços de processamento em nuvem como Software como um Serviço – SaaS, Infraestrutura como um Serviço – IaaS e Plataforma como um Serviço – PaaS, o foco em questão é na PaaS que disponibiliza o sistema operacional, a linguagem de programação e o ambiente de desenvolvimento com o objetivo de auxiliar o usuário na criação de sistemas *software* e de ferramentas para o desenvolvimento dos trabalhos, permitido aos usuários compartilhar as novas ferramentas criadas. (SOUSA; MOREIRA; MACHADO, 2009).

Funcionando por meio da relação Servidor-Cliente, na qual o processamento é compartilhado. Na parte do cliente, o processamento é advindo da qualidade de recepção e *upload* dos dados editados na própria máquina para a nuvem, já o servidor através de sua infraestrutura virtual disponibilizar um acervo de dados e componentes para edição e manipulação necessária para a construção do *script* que possui como *output* um novo produto. Dessa forma, o processamento tradicional conhecido como procedimento em *hardware* é substituído.

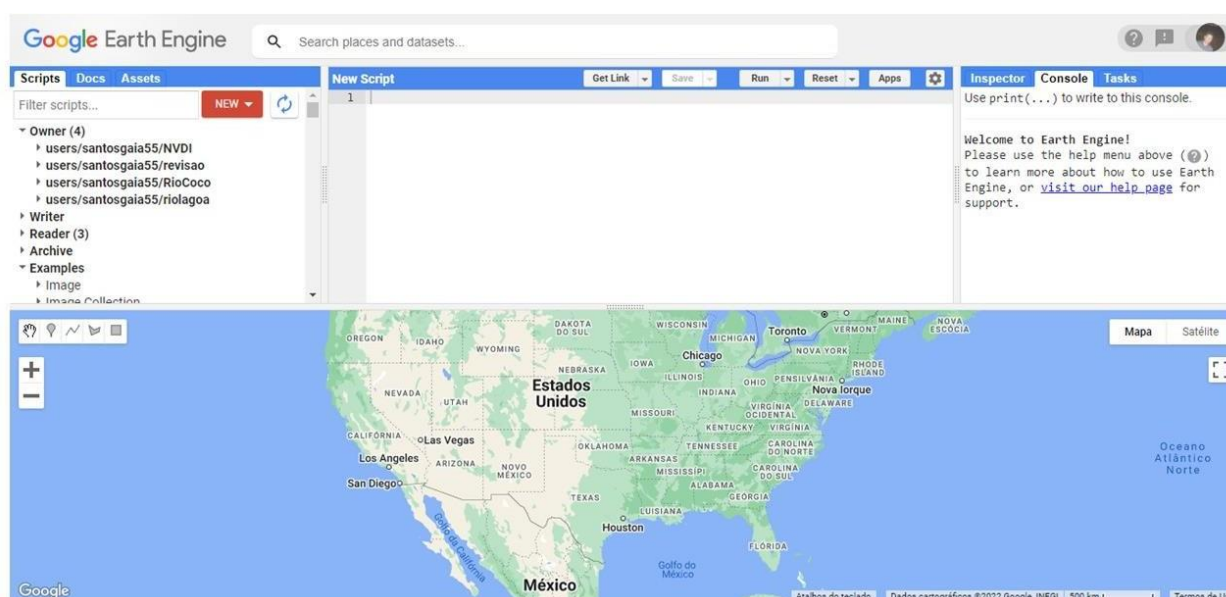
A plataforma de programação em nuvem que será utilizada para o andamento da pesquisa é o GEE do tipo PaaS, que permite a visualização e disponibiliza ferramentas de

análise para as imagens de satélite, com o suporte do processamento compartilhado dos servidores da *Google*.

3.3 Google Earth Engine

A razão pela qual a pesquisa utilizará as imagens do *Sentinel-2* e da plataforma de programação em nuvem GEE por meio da área de trabalho representada na figura (3), é algo que pode ser elencado em muitos motivos. O GEE é uma plataforma de sensoriamento remoto e processamento de imagem em escala planetária com *petabytes* de dados, de uso gratuito que permite o usuário ter acesso ao banco de imagens das mais diversas séries de satélites como, *Landsat*, *Modis*, *NOAA*, *Sentinel* e outros, o mesmo vale para os dados vetoriais que também contam com uma ampla variedade.

Figura 3 – Página da plataforma *Code Editor*



Fonte: (Google, 2022), adaptação do autor (2022).

Tal plataforma está codificada nas linguagens de programação *JavaScript* e *Python*, e a ferramenta da plataforma em questão a ser frequentemente utilizada é o *Code Editor* que permite ao usuário digitar linhas de código em *JavaScript* para editar, processar, modificar e consultar dados matriciais e vetoriais presentes nos servidores da *Google*, ou quando necessário o usuário pode vincular os dados do seu computador por meio do *Code Editor* para que assim possa aproveitar o processamento na nuvem.

O processamento paralelo fundamentado pela estrutura Servidor-Cliente disponibilizado pelo GEE, possibilitou uma equipe de pesquisadores do Rio Grande do Sul, a análise de uso e cobertura solo junto a variações pluviométricas em períodos sazonais. Pois a

plataforma possibilita o processamento de dados nativos GEE, aliado ao acervo de dados disponibilizado pela equipe da pesquisa. (MATEUS et al, 2021).

Além disso, o GEE foi usado para a Aplicação do NDVI no município de Vigia estado do Pará, usando o acervo de imagens do satélite LANDSAT-8, mas também fazendo das leituras de temperatura de superfície utilizando as cenas do satélite MODIS, logo esta pesquisa objetivou o monitoramento e delimitação da savana amazônica e da floresta secundária. (CAVALCANTE; ALMEIDA; CASTELO, 2020).

3.4 Sensoriamento Remoto

Conforme já mencionado GEE é uma plataforma de sensoriamento e processamento de dados georreferenciados. De acordo com Florenzano (2012), o Sensoriamento Remoto é a técnica que consiste na captação e registro a distância, e estritamente sem contato direto com a fonte de energia, e sensores são os equipamentos capazes de receber ou emitir energia a fim de registrá-la em formato digital, e para posteriormente serem editados, filtrados e analisados por meio de softwares específicos.

Sendo assim, compreensão da Radiação Eletromagnética - REM é muito cara para Sensoriamento Remoto e conseqüentemente para a Geografia, a REM representada pela faixa do espectro eletromagnético está quantificada na escala exponencial varia de 10^{-6} ondas de rádio até 10^9 frequência *gamma*, porém somente vale a pena destacar algumas como o micro-ondas que é usada pelo sensor radar, e devido as suas propriedades físicas de baixa frequência é minimamente afetada pela influência atmosférica. Outra parte interessante do espectro eletromagnético, é a faixa do infravermelho, muito desse interesse se deve a sua associação com o calor transmitido pelos corpos aquecidos. E a faixa mais característica para o aparato ocular humano, a faixa do visível que contém canais básicos para composição colorida por meio das frequências do vermelho, verde e azul. (FITZ, 2017).

Mas é importante sinalizar que para entender melhor a relação dos sensores e os canais *Red, Green e Blue*-RGB junto dos arranjos que resultam em outras cores, porém são afetados pela atmosfera que funciona como um filtro dotado pelos efeitos de absorção, transmissão e reflexão das radiações emitidas pelo sol, portanto o trabalho de aquisição de imagens precisa levar em consideração tais interferências.

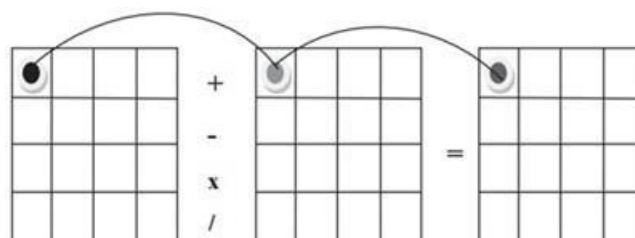
Ainda fundamentado em Fitz (2017), a faixa espectral do azul penetra facilmente nos corpos de água, principalmente naqueles com pouco sedimento em suspensão, outras propriedades físicas desta faixa é a capacidade de diferenciar, solo exposto e nuvens devido a

sua sensibilidade a quantidade de água contida nesses alvos. Já a faixa do verde, serve para indicar vegetação sadia e sedimentos em suspensão nos corpos hídricos. E por fim, a faixa do vermelho interage com a clorofila, que reage ao porte e ao vigor vegetacional, mas também, essa faixa delimita com facilidade materiais típicos das edições em área urbana.

3.5 Aritmética de Bandas

As operações aritméticas em bandas/imagens de Sensoriamento Remoto são executadas pixel a pixel figura (4), envolvendo duas imagens/bandas no mínimo, com o objetivo de obter uma nova matriz que resulta nos efeitos de suavização ou realce, logo esse produto pode ser obtido através de operadores matemáticos de soma, subtração, multiplicação ou divisão de bandas/imagens de datas iguais ou diferentes. E a grosso modo, a soma e multiplicação servem para realçar similaridades, já por outro lado a subtração e divisão são úteis para realçar diferenças espectrais dos alvos. (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Figura 4 – Aritmética de bandas feita pixel a pixel



Fonte: Meneses e Almeida, (2012).

Como já visto, as operações matemáticas sobre matrizes são a base dos cálculos envolvendo bandas, no entanto somente é necessário sinalizar a operação divisão que é a constante nos cálculos de índices espectrais que originalmente era conhecido *Ratio Vegetation Index* - RVI, representado pela equação (1):

Equação 1 - RVI

$$RVI = \frac{NIR}{R}$$

Que é traduzido como:

NIR – *Near Infrared*, é a reflectância da banda do infravermelho próximo.

R – *Red*, é a reflectância da banda do vermelho.

As mais conhecidas aplicações da divisão de bandas, são os índices de vegetação que realçam as variações de densidade referente a cobertura vegetal, e a partir dele outros índices

foram derivados. E com o objetivo de preterir alguns alvos na presença de outros, também destacar suas propriedades físicas em relação a um sensor, a divisão é usada para o realce de alvos específicos como solo, litologia ou tipos de vegetação.

De acordo com Meneses e Almeida (2012), existem vantagem do NDVI equação (2) sobre o RVI, a principal é a variação de -1 até +1, que permite a captação mais sensível e proporcional a biomassa da área de estudo, e também é menos influenciado pelos efeitos da atmosfera. E seguindo o mesmo princípio do índice de vegetação, o NDWI equação (3) se apropria da banda do verde para melhor registrar a reflectância da água e entre a aplicação, encontra-se o monitoramento das plumas de sedimento em suspensão na água.

Partindo do princípio aritmética de bandas, o GEE selecionadas a imagens e a respectivas bandas a serem postas no cálculo por de comandos específicos para as diferenças normalizadas, que são armazenadas em diferentes variáveis.

Equação 2 – NDVI:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Que é traduzido como:

NIR – *Near Infrared*, é a reflectância da banda do infravermelho próximo.

R – *Red*, é a reflectância da banda do vermelho.

Equação 3 – NDWI:

$$NDWI = \frac{NIR - G}{NIR + G}$$

Que é traduzido como:

G – *Green*, é reflectância da banda verde.

NIR – *Near Infrared*, é a reflectância da banda do infravermelho próximo.

Os índices recentemente apresentados, foram usando em conjunto por Gonzaga, Santos e Nicácio (2011), correlacionado NDVI e NDWI juntamente com dados pluviométricos no sertão alagoano, usando imagens do LANDSAT-5 e do GeoCover 2000, desse modo a relação entre vigor vegetacional do NDVI e umidade da vegetal NDWI foi feita, mostrando as diferenças entre os períodos seco, moderado e chuvoso.

Em Botucatu estado de São Paulo, o NDVI e NDWI foram aplicados usando bandas do satélite LANDSAT-8, com o intuito de construir mapas de classificação supervisionada usando composição colorida 4,3 e 2 junto aos índices espectrais na foi obtido ótimos resultados devido a sensibilidade dos índices. (TAGLIARINI et al, 2017).

De acordo com Andrade (2019) o NDWI possui o objetivo de maximizar a reflectância da água por meio de uma operação matemática (equação 2) envolvendo as bandas infravermelho próximo e a banda verde, sendo assim, demonstra ser útil para localização e delimitação dos recursos hídricos. Contudo, sua utilidade também é estendida a cobertura vegetal, pois o NDWI é sensível à água presente na cobertura foliar e consequente diferenciar áreas com menos água (seca) ou com mais água (úmida).

Para Gonzaga, Santos e Nicácio (2011), o NDVI é um índice sensível a vegetação e suas variações de vigor que corresponde a operação matemática (equação 3), entre a razão das bandas do infravermelho próximo e vermelho, desta forma, diferenciando áreas pelo vigor vegetacional e atividade fotossintética.

3.6 Elementos para interpretação de imagem

A classificação supervisionada feita na pesquisa se apropria de uma das áreas do sensoriamento remoto chama dimensão do espectro, é o modo de identificação e diferenciação dos alvos através da resposta espectral. A título de exemplo, os corpos hídricos tendem a retornar para o sensor uma refletância diferente da vegetação ou do solo, e isso deve a maneira que cada porção do espectro eletromagnético que é representado pelas bandas que interage com os alvos. Então, a seleção dos alvos precisa seguir critérios técnicos para formação do grupamento e amostras que representam determinado tipo de alvo.

Os elementos da interpretação de imagens orbitais, podem ser traduzidos com a caracterização das superfícies através de critérios que obedecem a um conjunto fatores fisiográficos e antrópicos. Começando com padrão de formas, ou seja, os elementos geométricos que tendem a ser associados lavouras e edificações, ou alvos com padrões menos regulares como os rios. O tamanho, é outro elemento importante pois ele revela a escala e extensão dos fenômenos, por exemplo, um loteamento residencial ou fenômenos naturais como impacto socioambiental como deslizamentos. A textura, que está relacionada com a escala e sua capacidade de mostrar diferentes agrupamentos que provocam variações nos tons do alvo, exemplo de textura áspera geralmente atribuídas as florestas heterogêneas ou grosseiras relacionadas com os relevos acidentados. As características que estão juntas dos elementos da interpretação, são as condições referente ao contexto do terreno. Primeira dessas características

é localização, portanto, é algo relacionado com as adjacências do alvo. O brilho ou a tonalidade, é alvo diz respeito as propriedades físicas do alvo e suas condições superficiais. (FITZ, 2017).

4 METODOLOGIA

4.1 Localização da área de estudo

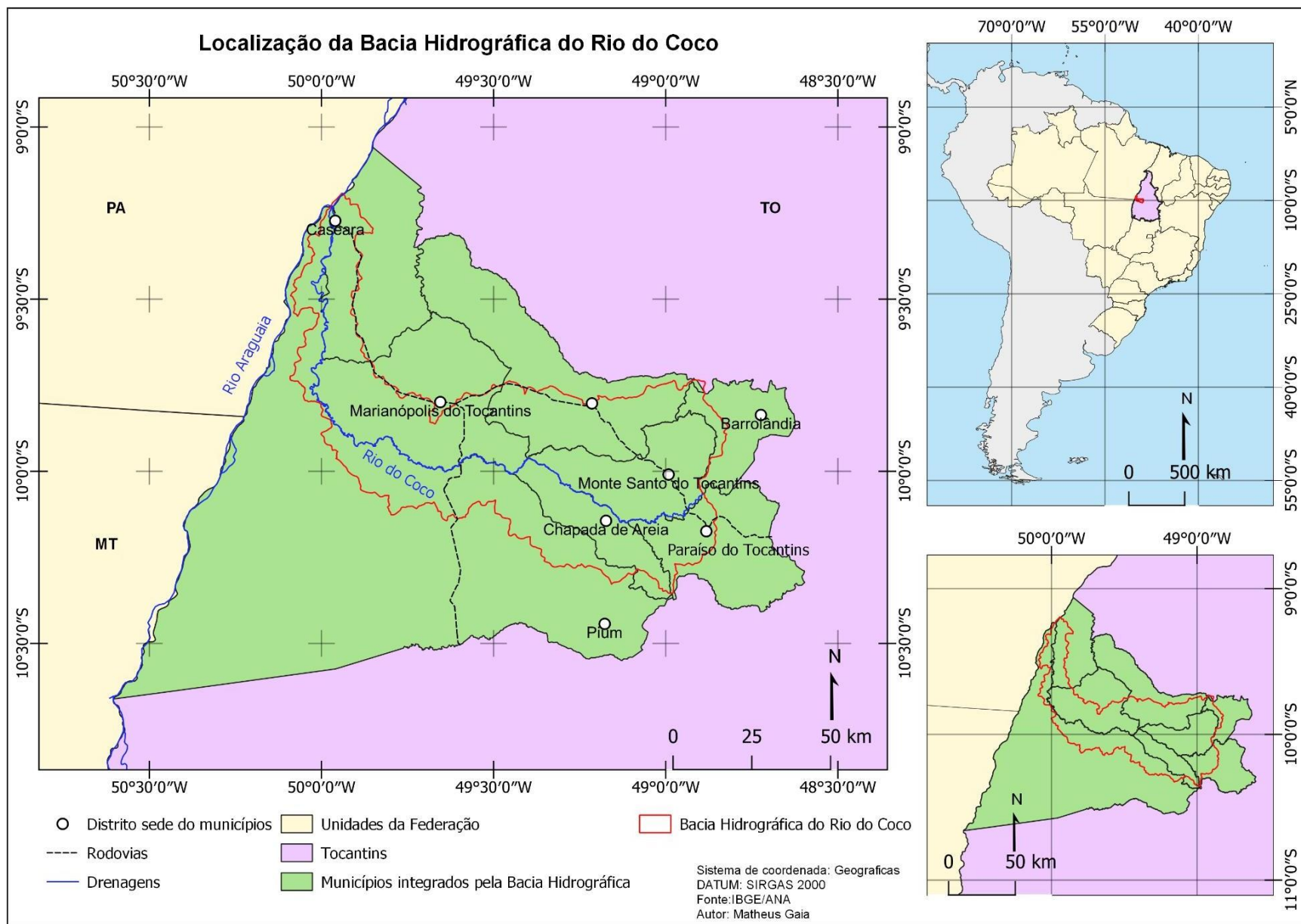
A bacia hidrográfica do Rio do Coco abrange uma área de aproximadamente 6,670 Km², com principal curso de água o Rio do Coco medindo 356 Km de comprimento, onde suas principais nascentes são encontradas na Serra do Estrondo e sua foz encontra-se no Rio Araguaia, formador da Bacia Hidrográfica Tocantins-Araguaia, apresentado no mapa (1). A Bacia Hidrográfica do Rio do Côco em questão é compartimentada em 5 sub-bacias, sendo elas Alto Rio do Coco, Ribeirão Piedade, Ribeirão Surubim, Baixo Rio do Coco e Ribeirão da Prata, apresentado no mapa (2).

Os municípios que abrangem a Bacia Hidrográfica do Rio do Coco. revela o tamanho de sua dimensão fazendo assim uma importante área para o planejamento dos recursos naturais, representados pelos municípios do alto e baixo curso da bacia: Barrolândia, Monte Santo do Tocantins, Chapada de Areia, Paraíso do Tocantins, Pium, Marinópolis do Tocantins e Caseara. Que é acessado pelas as rodovias estaduais, TO-080 que corta do alto ao baixo Rio do Coco na direção leste e oeste, já a TO-374 corta a área de estudo na direção norte e sul.

Dentro de um contexto mais amplo, a Bacia Hidrográfica do Rio do Coco é tributária da Bacia Hidrográfica do Araguaia que compõem a grande Bacia Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, importante área de estudo que visam o melhor manejo dos recursos naturais

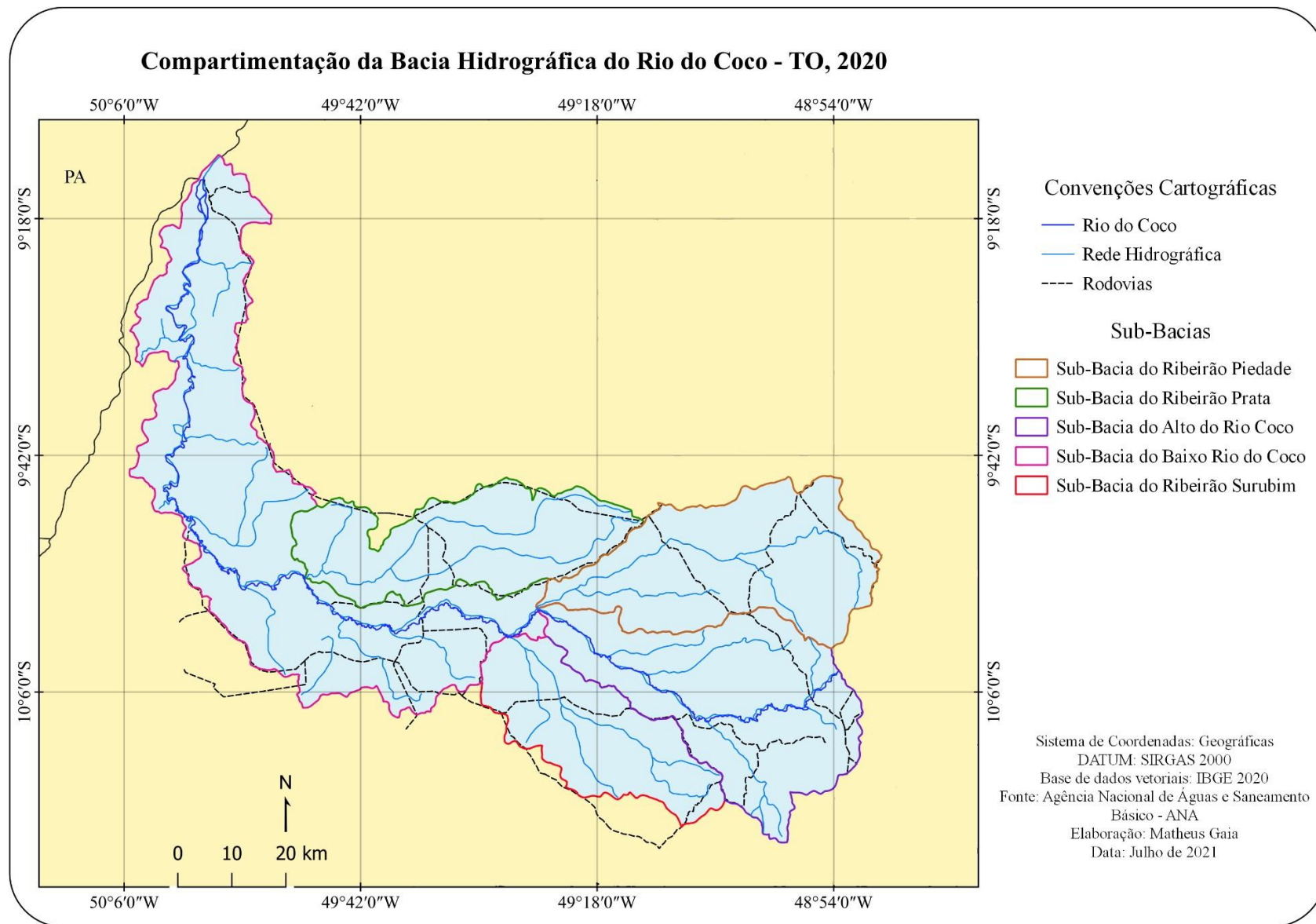
A fonte de dados para a delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco, foi obtida pela ANA no acervo de Base Hidrográfica de Ottocodificada de 2017 correspondente ao terceiro nível, a mesma base foi usada para extração da sub-bacias se valendo do quarto nível.

Mapa 1 – Localização da bacia hidrográfica



Fonte: Autor, (2022).

Mapa 2 – Compartimentação da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco



Fonte: Autor, (2022).

4.2 Satélite

Para dar continuidade na pesquisa sobre a Bacia Hidrográfica do Rio do Coco, usou o acervo de imagens do satélite *Sentinel-2* sensor MSI com resolução espacial de 10 metros para o ano de 2020, junto disso utilizar as bandas do satélite para aplicar o cálculo dos índices espectrais NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) e NDWI (Índice de Água de Diferença Normalizada), além disso também propor produtos que diferenciam o uso e ocupação do solo recorte anual usado.

4.3 Construção dos mapas

Por conta dessas limitações os mapas foram feitos no Qgis 3.16.11 Hannover, mas a base dados referentes aos índices NDVI e NDWI dos períodos seco e úmido, que posteriormente construíram as classificações supervisionadas foram extraídas do GEE.

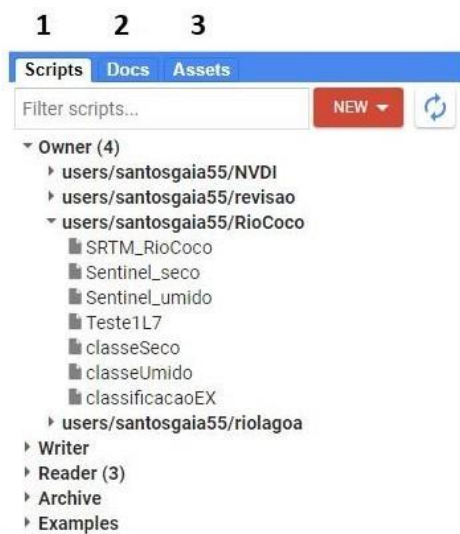
A começar com os mapas do período úmido obtidos pelo script (*Sentinel_umido*), entre os meses de abril e maio de 2020. Esse recorte de tempo, foi escolhido devido sua pouca incidência de nuvens e as imagens foram selecionadas pela função (*semNuvens*) figura (10). Sendo assim, o NDWI e NDVI foram obtidos em conjunto, e posteriormente são levados ao Qgis para a aplicação da renderização Banda Simples Falsa-Cor. Portanto, os mapas são resultados do processamento feito na bacia hidrográfica feito pelo GEE e os critérios decididos nas linhas de código.

4.4 Layout do *Google Earth Engine*

O GEE é uma plataforma de processamento em nuvem com inúmeras aplicações devido ao seu arsenal de ferramentas. Mas, é preciso conhecer brevemente seu *layout* antes de apresentar os *scripts* usados para obter os dados da pesquisa.

Iniciando de maneira segmentada a figura (5), essa é a tela de guarda os *scripts* (1) feitos pelo próprio usuário da plataforma e também de outros usuários que compartilharam seu código por meio de um *hiperlink*, a documentação *docs* (2) é a aba onde comandos do GEE estão armazenados qualquer comando presente está junto com uma explicação do que ele faz e os argumentos necessários para usá-lo, já a aba *Assets* (3) guarda os dados do georreferenciados como arquivos SHP e GeoTiff que foram feitos ou manipulados em outros softwares do tipo SIG e são enviados ao GEE via *upload*.

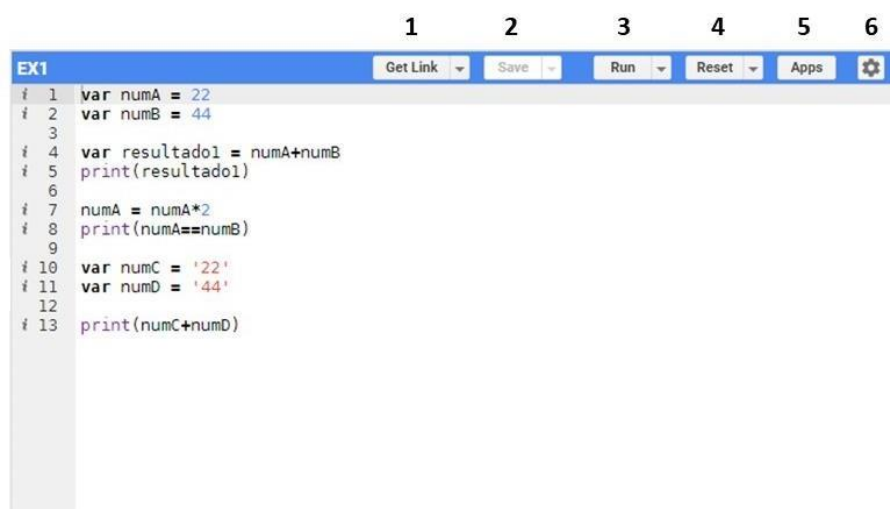
Figura 5 – Painel de scripts e documentação da plataforma



Fonte: (Google, 2022), adaptação do autor (2022).

A tela de edição de código figura (6) é a área de trabalho do usuário, e por meio dela é possível editar os dados criados variáveis, ativando comandos e criando funções. *Get Link* (1) criar um endereço virtual, portanto um *link* que pode ser compartilhado e acessado por outros usuários. a aba *Save* (2), é a responsável por salvar o *script* assim como qualquer alteração feita, e em seguida *Run* (3) põem em funcionamento as linhas de código. *Reset* (4), apaga os resultados e notificações presentes no *console* e também apaga todas as linhas de código. *Apps* (5) dá ao usuário a possibilidade criar aplicativos usando as linguagens de programação *Python-3* e *JavaScript*, e o ícone de engrenagem (6) é um atalho que permite escolher o preenchimento automático de aspas simples, aspas duplas, parênteses, chaves e colchetes.

Figura 6 – Painel de edição de código



Fonte: (Google, 2022), adaptação do autor (2022).

A tela de visualização de resultados figura (7), apresenta o resultado das linhas de código juntamente com os erros que são apontados de acordo com o número da linha e natureza do erro, sinalizando se o erro é de digitação ou lógico. *Inspector* (1), permite ao usuário investigar usando a seta do *mouse* as informações das camadas vetoriais ou matriciais, juntamente com a coordenada adquirida. *Console* (2), retorna os resultados e aponta os erros demandados das linhas de código. *Tasks* (3), São as tarefas de importação de dados, e isso acontece quando o operador está fazendo *upload* de dados georreferenciados, mas também de exportação, que é quando o usuário precisa fazer *download* dos dados.

Figura 7 – Painel de visualização dos resultados



Fonte: (Google, 2022), adaptação do autor (2022).

A tela de visualização das feições, pontos, mapas e imagens figura (8), possibilitando criar camadas e editá-las de acordo com a necessidade do trabalho. A figura de ferramentas (1) permite criar e mover pontos, linhas, polígonos irregulares e polígonos regulares, já a ferramenta (2) possibilita o *zoom* que aumenta ou diminui a escala dos objetos visualizados. A parte (3), representa o *layers* de visualização do *google*, em seguida à parte (4) habilita ou desabilita a opção de tela cheia.

Figura 8 – Painel de visualização dos polígonos e imagens



Fonte: Google, (2022).

A aba de pesquisa figura (9), é um local importante para acesso aos acervos de dados matriciais e vetoriais, e por esse modo foi adquirido o endereço virtual das imagens do Sentinel-2. A parte (1), representa a caixa de diálogo para pesquisa dos dados disponíveis pelos servidores da *Google*, além disso essa caixa permite a pesquisa de lugares no mundo assim como o *Google Maps*. E a parte (2) é local de *login* ou *logout* do GEE.

Figura 9 – Caixa de pesquisa e *login* da plataforma



Fonte: (Google, 2022), adaptação do autor (2022).

E para melhor compreensão das linhas de código em *JavaScript* que uma linguagem de alto nível, portanto ela compila uma série de comandos e variáveis que aparecem de modo sequencial e orientada, logo o quadro (1) sintetiza os elementos mais frequentes dos *scripts*.

Quadro 1 – Tipo de dados *JavaScript*

Tipos de dados do <i>JavaScript</i>	Descrição
var	É comando para a criação de um nova variável.
=	Diferente do conhecimento comum, na programação o sinal de igualdade significar receber, sendo assim, as variáveis recebem os dados em formado <i>float</i> , <i>string</i> , <i>interger</i> ou outra variável.
rioCoco	O nome de uma variável.
-49.4645, -9.9255	Essa é a cor disponibilizada para dados numéricos.
'Poligo bacia'	Códigos com essa aspas simples ou duplas são tratados como <i>string</i> , portanto são tradados como texto e ficam em vermelho.
// filtro de nuvens já existe na documentação de exemplo	As barras duplas indicam a porção da linha que é tratada como comentário, ou seja, ela não interfere no processamento script.
ee.FeatureCollection	Códigos com essa cor sinalizam, comandos do GEE e geralmente armazenam alguma variável.

Fonte: Autor, (2022).

4.5 Materiais e método

A pesquisa consiste em usar o processamento otimizado do GEE para o obter as imagens de acordo com o recorte da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco, para filtrar e aplicar os índices espectrais e posteriormente a classificação supervisionada. Dessa maneira, o GEE junto de suas ferramentas e comandos seleciona as imagens do Sentinel-2, criando o arranjo bandas para a composição colorida e aplicação dos índices NDVI e NDWI. Sendo assim, a série de *scripts* usados no quadro (2) resume os papéis de cada um.

É importante frisar a necessidade de utilizar softwares como o Qgis 3.16.11 *Hannover*, pois o GEE possui limitações para composição de mapas, e isso inclui os elementos de escala, grade de coordenadas, legenda, orientação para o norte e outras ferramentas para a adição de textos.

Os algoritmos que serão descritos buscam testar a capacidade processamento do GEE, porém, essa possui como descrever uma nova proposta metodológica na os produtos e mapas servem apenas expor o resultado de saída dos algoritmos. Sob tudo os *scripts*, de classificação de cobertura, que generalizam em grandes classe as características da imagem.

Outro adendo importante a ser destacado é o princípio do reconhecimento de padrões citado em Brackmann (2015), isto significa que *scripts* (Sentinel_seco, Sentinel_umido, classeSeco e classeUmido) e suas respectivas linhas código se repetem em algumas partes, pois

carrega o mesmo fundamento lógico de selecionar as melhores imagens de acordo com o recorte do polígono da bacia e o período de tempo definido.

Quadro 2 – *Scripts* usados na pesquisa

Título dos <i>Scripts</i>	Descrição
Sentinel_seco	É o <i>script</i> , que desempenha a seleção das imagens no período seco e aplica o NDVI e NDWI.
Sentinel_umido	É o <i>script</i> , que desempenha a seleção das imagens no período úmido e aplica o NDVI e NDWI.
classeUmido	Esse <i>script</i> , aproveita a seleção das imagens e dos índices do (Sentinel_umido), para criação da classificação da supervisionada.
classeUmido	Esse <i>script</i> , aproveita a seleção das imagens e dos índices do (Sentinel_seco), para criação da classificação da supervisionada.

Fonte: Autor, (2022).

As linhas de código da figura (10), representa na linguagem *JavaScript* uma função, semelhante ao significado matemático a função recebe valores com intuito de transformá-los em outra informação. Essa função de filtro já existe da documentação do GEE onde é possível ser encontrada na opção *examples*, representada na figura (5). Portanto, a variável que armazena essa função retorna imagens exclusivamente do Sentinel-2 com uma cobertura mínima de nuvens, de acordo com os parâmetros escritos na função.

Figura 10 – Função filtro de nuvens

```

12 ▾ var semNuvens = function(nuvens){
i 13   var BOA = nuvens.select('QA60')
14   var cirrus = 1<<10;
15   var cumulus = 1<<11;
16   var selecNuvens = BOA.bitwiseAnd(cirrus).eq(0).and(
i 17   BOA.bitwiseAnd(cumulus).eq(0))
18   return nuvens.updateMask(selecNuvens).divide(10000)
19   .select('B.*')
i 20   .copyProperties(nuvens,['system:time_start'])
i 21 }

```

Fonte: (Google, 2022), adaptação do autor (2022).

Tendo em mente o encaminhamento lógico e hierárquico da programação, as funções devem estar acima do restante dos códigos e variáveis que precisam usar o seu resultado de retorno.

O GEE permite ao usuário fazer *upload* dos próprios dados georreferenciados como é o caso da variável (rioCoco) figura (11). Feito o *upload* do arquivo SHP, que carrega a feição da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco é gerado um endereço virtual chamado de (users/santosgaia55/SHP_bacia), que pode ser armazenado e posteriormente ativado pelo comando (ee.FeatureCollection) e logo em seguida visualizado pelo comando (Map.addlayer).

Figura 11 – Forma da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco

```

i 35 var rioCoco = ee.FeatureCollection('users/santosgaia55/SHP_bacia')
i 36 Map.addLayer(rioCoco.draw('gray'), {}, 'Poligo bacia')

```

Fonte: (Google, 2022) adaptação do autor (2022).

A variável (imageSentinel) apresentada na figura (12), contém as principais informações e elementos já definidos anteriormente no código, fazendo dela a parte chave de todo o trabalho que contém as imagens de satélite do Sentinel-2. Começando pelo comando (ee.ImageCollection) que armazena e ativa as imagens do Sentinel-2 que está nomeado de (COPERNICUS/S2_SR), um aviso importante é que apenas desse jeito todas as imagens desde de 2016 até a data mais atual estão ativas em todo o globo, sendo assim, é preciso reduzir a quantidade delimitando usando o filtros de tempo e espaço. O comando (filterBounds), vai reduzir a quantidade imagens selecionando só aquelas que estão dentro ou que tangenciam a forma da bacia representada pela variável (rioCoco), imediatamente o (filterDate) estabelece um intervalo de tempo usando duas datas que no caso são os meses de período seco de agosto

e outubro do ano de 2020. Uma importante atribuição também a dada ao comando (map), visto que ele armazena função (semNuvens), que entra em ação para diminuir as interferências atmosféricas e seleciona as melhores imagens. Ainda com objetivo de reduzir a quantidade de imagens, o redutor estatístico (median), então empregando a mediana para selecionar as imagens, prontamente o comando (select), vai selecionar só as bandas úteis para composição colorida: vermelho (B4), verde (B3) e azul (B2), já a (B8) é a banda do infravermelho próximo, usada na construção dos índices espectrais. Depois de todos esses parâmetros para a seleção das melhores imagens, o comando (clip) vai recortar como camada máscara com base na variável (rioCoco) que contém o SHP da bacia hidrográfica. E o (Map.addlayer), vai gerar a visualização de imagens de acordo com a figura (13).

Figura 12 – Variável do satélite Sentinel-2

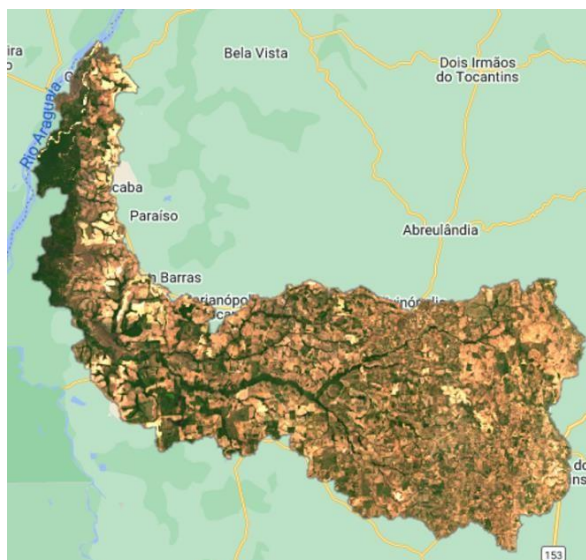
```

38 var imageSentinel = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR')
39   .filterBounds(rioCoco)
40   .filterDate('2020-08-01','2020-10-30')
41   .map(semNuvens)
42   .median()
43   .select('B4','B3','B2','B8')
i 44   .clip(rioCoco)
i 45 Map.addLayer(imageSentinel,visual,'Bacia do Coco')

```

Fonte: (Google, 2022) adaptação do autor (2022).

Figura 13 – Imagens selecionadas da bacia



Fonte: (Google, 2022) adaptação do autor (2022).

Partindo dos filtros para garantir a melhor imagem para a área de estudo, variáveis foram criadas para armazenar os índices conforme a figura (14), intituladas de (NDWI) e (NDVI) construídas a partir da variável (*imageSentinel*) e transformadas nos respectivos índices pelo comando (*nomalizedDifference*) que usa como argumento uma lista contendo as bandas. No caso do (NDWI) a lista contém as bandas B8 do infravermelho próximo e B3 banda do verde, e o (NDVI) é alimentado também pela banda B8 e a banda do vermelho B4. Tendo as variáveis, armazenado em uma lista às bandas, a diferença normalizada é aplicada de acordo com Meneses e Almeida (2012).

Figura 14 – Aplicação dos índices

```
i 48 var NDWI = imageSentinel.normalizedDifference(['B8', 'B3'])
i 49 var NDVI = imageSentinel.normalizedDifference(['B8', 'B4'])
```

Fonte: (Google, 2022) adaptação do autor (2022).

Um das principais características do GEE é o compartilhamento de dados, seja através do *upload* para o armazenamento em nuvem ou por meio de *hiperlink*. imagens descritas nos textos acima correspondem aos *scripts* de (*sentinel_Seco*) e (*sentinel_Umido*) que podem ser vistos, aplicados ou modificados mediante os *hiperlinks* contanto que o outro possua cadastro na plataforma de programação de GEE (<https://code.earthengine.google.com/79d985344e812d9c3be8843704b08b4f>) e (<https://code.earthengine.google.com/240c6349cfa47795f931885e7110abd>), que carregam as principais diferença na variável (*imageSentinel*) no comando (*filterDate*) que vai delimitar o período úmido do início abril até final de maio, e então o período seco corresponde ao início de agosto até o final de outubro. Essa mudança desencadeia diferenças no momento de fazer *upload* para o *google drive* figura (15), as diferenças são ligeiras e correspondem ao argumentos (*image*) e (*description*), onde é necessário mudar o nome da variável da imagens de NDVI para NDWI e a descrição período seco para comando úmido do comando (*Export.image.toDrive*), que autoriza ao usuário fazer *download* das imagens em sua conta do *google drive*.

Figura 15 – Exportação de dados para o *Google Drive*

```

63 Export.image.toDrive({
64   image:NDVI,
65   description:'Rio_do_Coco_NDVI_seco',
66   scale:10,
67   region:rioCoco,
68   crs:'EPSG:4674',
69   maxPixels:1e13,
70 })

```

Fonte: (Google, 2022) adaptação do autor (2022).

Já tendo exposto as semelhanças entre os códigos se apropriando do princípio de reconhecimento de padrões entre quatro os algoritmos, os *scripts* que desempenham a tarefa de classificação supervisionada possuem as mesmas bases das figuras (10, 11, 12 e 14) acima, porém com algumas mudanças, os algoritmos (*classeSeco*) e (*classeUmido*) compartilham entre ambos os comandos necessários para a classificação do recorte imageado da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco.

A classificação supervisionada feita no GEE pode se apropriar da composição colorida do Sentinel-2 das bandas espectrais 4,3 e 2, figura (13) mas também é possível usar como área base para extração de amostras as imagens dos índices NDVI e NDWI criados pelas variáveis expostas na figura (14).

A classificação supervisionada da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco, foi feita usando o classificador *Random Forest* que segundo Bruce e Bruce, (2019) usa diversas árvores de decisão para a construção de uma floresta aleatória que cresce segundo as regra pré-estabelecidas, que nesse caso é a quantidade classes para formar modelos de agrupamento que funciona como *bagging*, sendo assim uma reamostragem dados em cada árvore para uma tomada de decisão mais próxima da realidade principalmente em eventuais exceções, em que uma amostra é classificada como x, porém seu contexto dos vizinhos indicam y. Por isso, algoritmos de agrupamento com o *Random Forest* aumentam a precisão por meio da combinação de resultados de vários modelos.

Partindo do que foi argumentado a figura (16), apresenta as modificações e adições para os *scripts* de classificação. O processo feito chama-se de reatribuição de variável, pois a variável está adicionando um novo conjunto de bandas através do comando (*addBands*) que são as imagens NDVI e NDWI, que agora podem ser consultadas posteriormente não somente como variável, mas também com nomes em formato *string*.

Figura 16 – Reatribuição de variável para tornar o NDVI e NDWI parte da base de amostra.

```
51 imageSentinel = imageSentinel.addBands(NDWI.rename('NDWI'))
52                 .addBands(NDVI.rename('NDVI'))
```

Fonte: (Google, 2022), adaptação do autor (2022).

O GEE possui ferramenta para criação de polígonos localizados na figura (8) ferramenta (1), que cria de polígonos irregulares de acordo com classes de interesse do usuário figura (17). Nesta figura cada variável representa os polígonos de amostras das classes (água, soloExposto, pastagem e floresta), são tratado como (FeatureCollection) significando em termos práticos, formas geométricas associadas a uma tabela de atributos com uma coluna chamada (classe).

Figura 17 – Polígonos de amostras

```
▶ var agua: FeatureCollection (15 elements)
▶ var soloExposto: FeatureCollection (15 elements)
▶ var pastagem: FeatureCollection (15 elements)
▶ var floresta: FeatureCollection (15 elements)
```

Fonte: (Google, 2022) adaptação do autor (2022).

Tendo já criado os polígonos de amostras, é necessário estabelecer a relação com as variáveis figura (18) que totalizam 4, ou seja, o número de classes estabelecidas que posteriormente tornam-se componentes do sentinel-2. Para cada classe foi criado uma variável responsável por associar as imagens com as amostras, e foram intituladas (amostrasAgua, amostrasSoloexposto, amostrasPastagem, amostrasFloresta) que possuem os mesmos parâmetros, exceto o (collection) que é preenchido de acordo com o nome dos polígonos da figura (17). Neste caso, somente a variável (amostrasAgua) é o suficiente para o exemplo, nesta variável é armazenada as imagens armazenadas na variável (imageSentinel) vinculadas a um polígono de amostra por intermédio do comando (sampleRegions). Com argumentos como (collection) que está ligado a coleção de geometrias (agua), o argumento (scale) se refere a resolução espacial do satélite que é 10 metros, e (geometries) é um argumento que tem como padrão *true*. Feito isso, a variável (amostrasAgua) é submetida ao comando (randomColumn) que vai tornar a seleção de amostragem aleatória para classe de água, e logo em seguida o

comando (limit) vai estabelecer um valor máximo de 200 amostra para a classe. É preciso dizer que a amostragem aleatória com limite 200 é a mesma para todas as classes.

Figura 18 – Definição dos argumentos para amostra

```
56 var amostrasAgua = imageSentinel.sampleRegions({
57     collection:agua,
58     scale:10,
59     geometries:true,
i 60 }).randomColumn('rand').limit(200,'rand',false)
```

Fonte: (Google, 2022) adaptação do autor (2022).

Já possuindo os 4 conjuntos de amostras, é fundamental juntá-las em uma única variável figura (19), para alimentar o classificador *Random Forest* empregando o comando (merge), que ocasionar a mesclagem das variáveis (amostrasAgua, amostrasSoloexposto, amostrasPastagem, amostrasFloresta).

Figura 19 – União das amostras

```
84 var uniaoAmostras = amostrasAgua.merge(amostrasSoloexposto).merge(amostrasSoloexposto)
i 85     .merge(amostrasPastagem).merge(amostrasFloresta)
```

Fonte: (Google, 2022), adaptação do autor (2022).

Tendo mescladas as amostras deve-se filtrar em dois conjuntos, para garantir uma classificação mais idônea figura (20), em duas variáveis. O (conjuntoTreinamento) será aproveitado pelo *Random Forest*, usando 70% da amostra selecionadas pelo comando (filter), enquanto o (conjuntoTeste) usa o mesmo comando filtrando 30% que vai ser utilizado para confrontar os 70%, no teste de acurácia geral do classificador.

Figura 20 – Conjunto de treinamento e conjunto de teste

```
i 89 var conjuntoTreinamento = uniaoAmostras.filter(ee.Filter.lt('random',0.7))
i 90 var conjuntoTeste = uniaoAmostras.filter(ee.Filter.gte('random',0.3))
```

Fonte: (Google, 2022), adaptação do autor (2022).

A variável (conjuntoTreinamento) abastece o *Random Forest* guardado na variável (classificador) na figura (21). O comando (ee.Classifier.smileRandomForest) representa o algoritmo classificador, usando um total de 100 árvores de decisão, tal valor foi definido de acordo com os teste de re-classificação e o valor 100 árvores foi aquele que demonstrou melhor

equilíbrio entre as 4 classes. Sendo assim, o (train) se apropria da amostra e as aplica no arranjo de imagens, composição colorida B4, B3 e B2 e dos índices espectrais NDVI e NDWI.

Figura 21 – Associação do classificador com as amostras

```
92 var classificador = ee.Classifier.smileRandomForest(100)
93   .train(conjuntoTreinamento,'classe',['B4','B3','B2','NDWI','NDVI'])
```

Fonte: (Google, 2022) adaptação do autor (2022).

Para finalizar o processo de classificação de ambos os *scripts* (classeSeco e classeUmido), a variável (sentinelClassificada) figura (22) é criada para guardar a classificação supervisionada feita na coleção de imagens do satélite Sentinel-2, por meio do comando (classify), podendo ser imediatamente visualizada nos *hiperlinks* (<https://code.earthengine.google.com/1f7966b77cfa1ef53d3a73d9657c25af>) do período seco, (<https://code.earthengine.google.com/b19ef82bf90dde2f43fb4af6039341b1>) do período úmido.

Figura 22 – Classificação da imagem

```
95 var sentinelClassificada = imageSentinel.classify(classificador)
96 Map.addLayer(sentinelClassificada,imageVisParam)
```

Fonte: (Google, 2022) adaptação do autor (2022).

Como dito anteriormente para maior idoneidade da classificação, a figura (23) vai utilizar os 30% da variável (conjuntoTeste) na figura (20). Esse teste, tem como objetivo verificar a acurácia geral do classificador que aparece na aba console figura (24), isso significa que 99,57% das amostras correspondem a classe que foi direcionada. Portanto, os 30% também sofreram o mesmo processo de modelagem do classificador *Random Forest*, que demonstrou em raros casos de confusão entre as classes. Existe um ponto importante a ser destacado, a acurácia geral não é acurácia global, pois a acurácia global só pode ser medida com dados feito a partir de um trabalho de campo, que consistem em verificar se áreas representas como classe x ou y estão de acordo com a realidade da área de estudo.

Figura 23 – Acurácia do classificador

```
98 var acuraciaClassificador = conjuntoTeste.classify(classificador)
99 var matrixConfusao = acuraciaClassificador.errorMatrix('classe','classification')
100 print('Acuracia Geral',matrixConfusao.accuracy())
```

Fonte: (Google, 2022), adaptação do autor (2022).

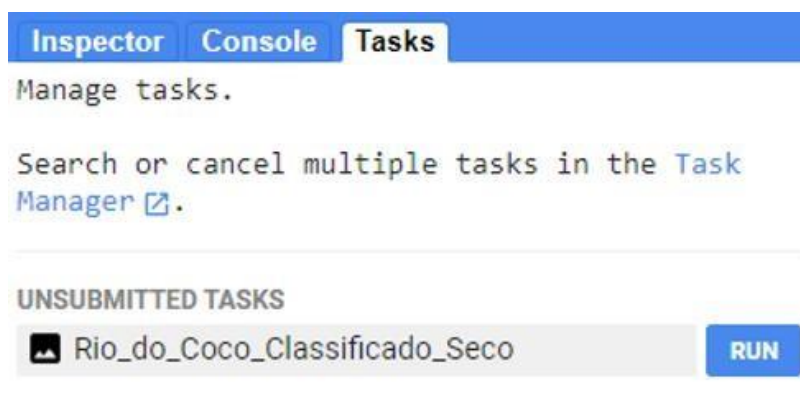
Figura 24 – Acurácia geral



Fonte: (Google, 2022) adaptação do autor (2022).

Agora com a Bacia Hidrográfica do Rio do Coco classificada a figura (25), demonstra a opção de *download* disponível na aba *Tasks*, que é o local da página onde as tarefas de *upload* são realizadas, sobretudo quando é acionado o comando (`Export.image.toDrive`) presente na figura (15), porém com mudanças no argumentos (`image`) que deve ser preenchido com a variável (`sentinelClassificada`) e o argumento (`description`) precisa informar o nome do arquivo GeoTiff (`Rio_do_Coco_Classificado_Seco`). Cumprida essas etapas, basta acionar o botão *run* que o arquivo vai estar disponível no *Google Drive* para *download*.

Figura 25 – Imagem disponível para upload



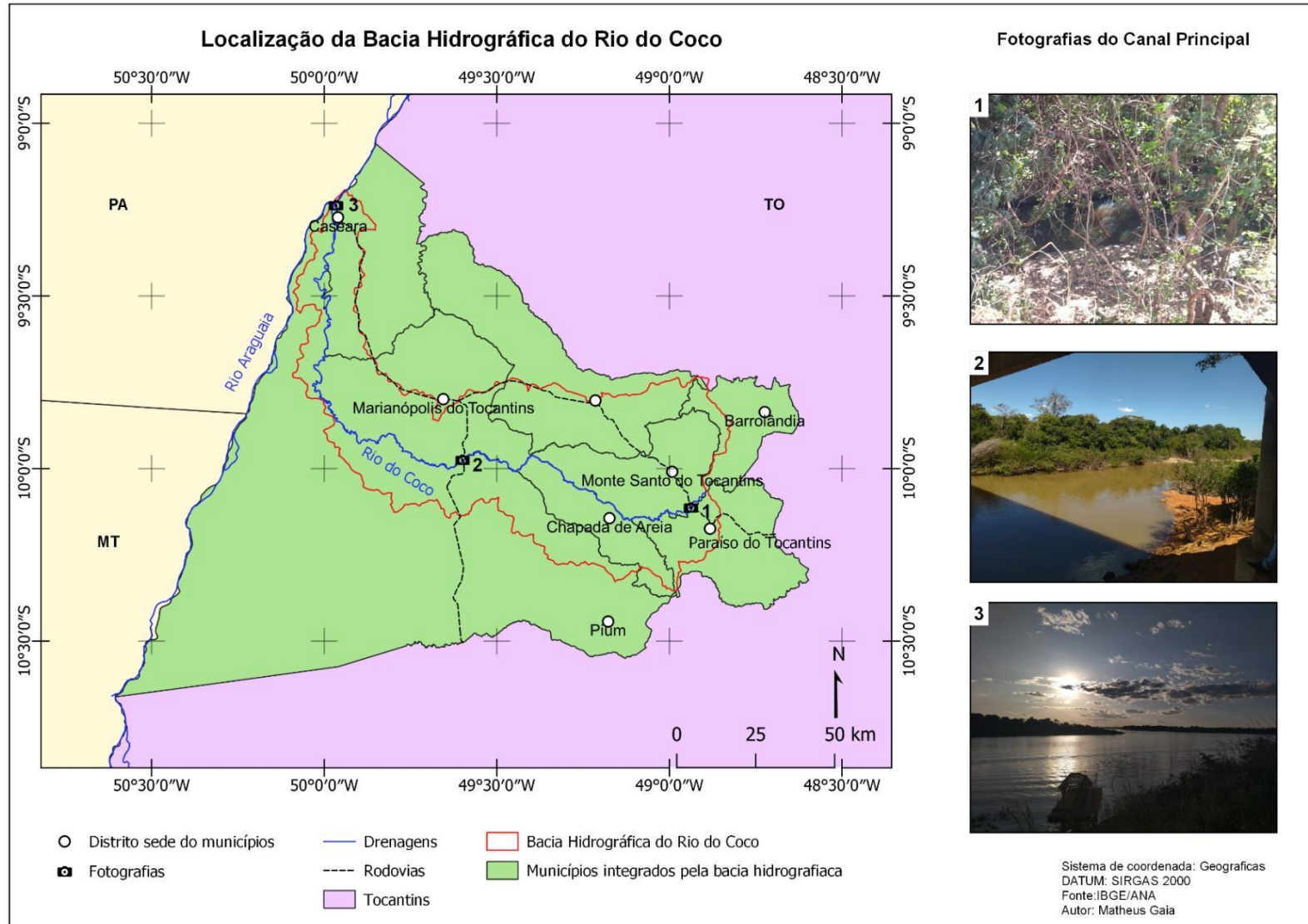
Fonte: (Google, 2022), adaptação do autor (2022).

4.6 Trabalho de campo

Visando contribuir para o entendimento da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco um campo exploratório foi realizado no mês de junho com o objeto de capturar imagens do alto, médio e baixo do canal principal mapa (3). Porém, é necessário ressaltar que esta atividade de campo não teve como intuito executar a acurácia global dos mapas de uso, pois as condições impostas pela pandemia de COVID-19 dificultaram essas atividades. Sendo assim, o mapa mostra os pontos de parada que foram tiradas algumas fotografias, que demonstra a mudanças proporcionais no que se refere à largura do canal conforme o Rio do Coco vai chegando

próximo ao seu encontro com o Rio Araguaia e a vegetação muda sua configuração de mata ciliar para mata de galeria.

Mapa 3 – Pontos e fotografias



Fonte: Autor, (2022).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas últimas décadas do século XX, o cerrado tem evidenciado profundas mudanças em todo o ramal técnico que inclui os meios de transporte e circulação de pessoas e mercadorias, sendo impulsionado por projetos de desenvolvimento regional que visam a apropriação dos espaços rurais e urbanos através da produção de monoculturas para exportação (AB'SABER,2012). Fazendo parte desse cenário a Bacia Hidrográfica do Rio do Coco e as geotecnologias contribuem para o entendimento dessas transformações principalmente no que se refere ao uso e cobertura do solo.

Nesta pesquisa, os mapas possuem o importante papel de expor os desempenho e vantagens do uso da programação em conjunto com o Sensoriamento Remoto e pesquisas que visam o processamento imagens de grandes áreas com qualidade e velocidade.

Porém, como toda técnica ele se diferencia por suas limitações, a principal é a necessidade de conexão à internet que sustenta toda a plataforma *Code Editor*, não sendo possível modificar, editar, visualizar e compartilhar os resultados proveniente dos algoritmos, portanto, a internet é fundamental para o GEE. Outros adendos, também precisam ser expostos no que tange as diferenças entre a plataforma *Code Editor* de processamento em nuvem e softwares como o Qgis 3.16.11 Hannover de processamento em hardware. O armazenamento na memória do computador é a diferença mais evidente em SIG's como o Qgis, contam com inúmeras ferramentas e extensões que são guardadas no disco rígido computador, e por consequência demandam memória e processamento para ter acesso. É evidente que os programas bem apetrechados como o Qgis são mais recomendados para trabalhos que exigem a criação e edição de vetores devido seu amplo arsenal de ferramentas como, as de digitalização avançada e filtros nas tabelas de atributos.

O GEE processa os dados geográficos por meio da relação Servidor-Cliente, que em resumo segundo Sousa, Moreira e Machado (2009), consiste em compartilhar o processamento com máquinas que possuem configurações padronizadas de *hardware* e *software* que representam o Servidor com o papel de processamento massivo, enquanto o Cliente demanda algumas informações próprias e realizar os comandos.

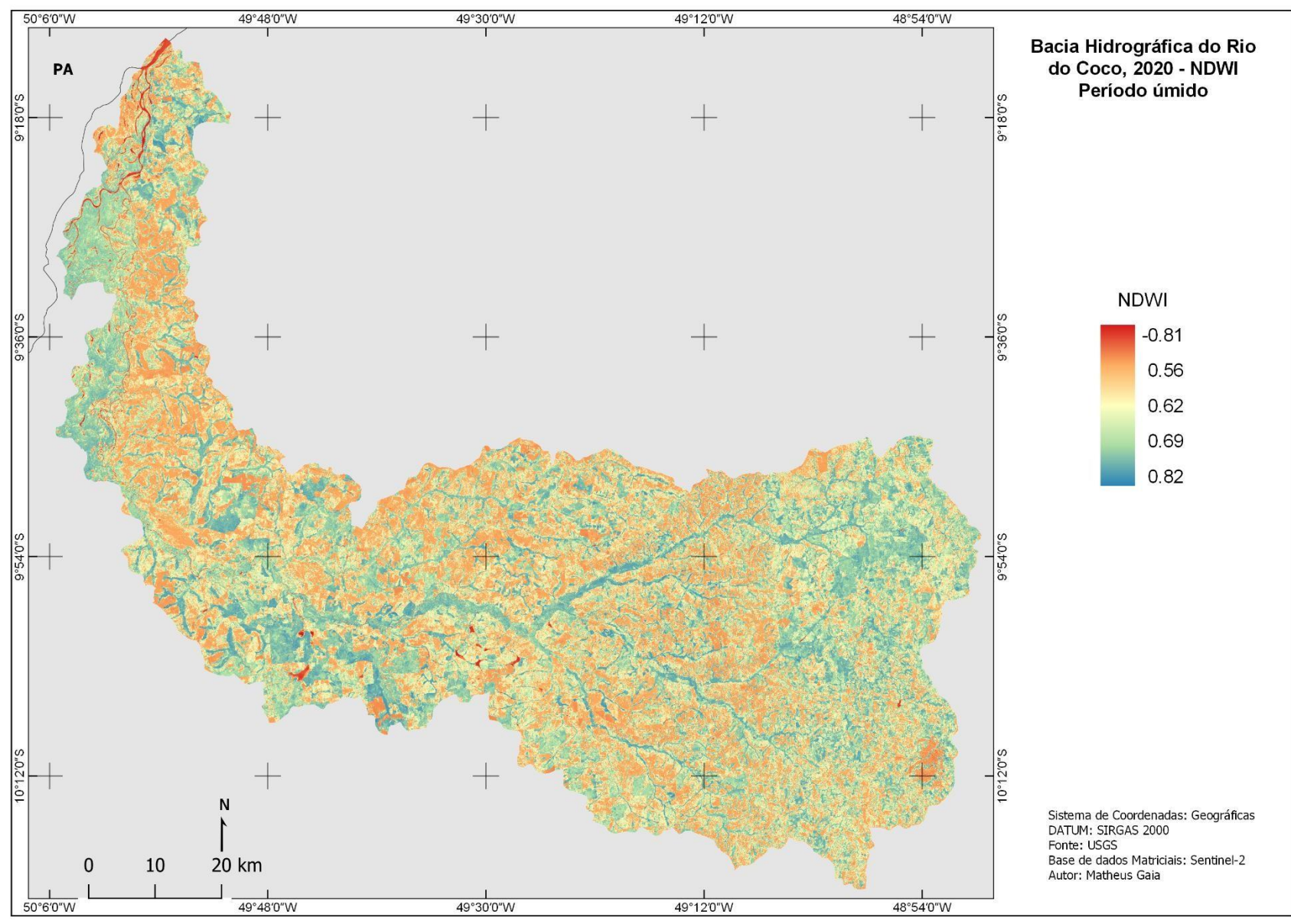
Contudo, o GEE é limitado em termos ferramenta para vetorização, junto a sua interface não recomendada para a composição de impressão, logo não é indicado para fazer os mapas, mas também conta com ferramentas de difícil acesso para obtenção de métricas como: comprimento, perímetro e área.

O mapa (4) revela o NDWI da Bacia Hidrográfica do Rio do Rio do Coco com amplitudes que estão entre -0,81 e 0,82, esses valores extremos revelam a diversidade de ocupação na Bacia Hidrográfica. A resolução espacial de 10 metros do Sentinel-2 é um fator importante para delimitação dos corpos hídricos, mas também para as áreas de transição entre os alvos mais úmidos que são majoritariamente compostos pelas matas ciliares e florestas de galerias. Os alvos com valores próximos 0,81 são os rios meandantes, sobretudo o Rio do Coco e os reservatórios feitos ao longo da rede hidrográfica, e ainda tratando dos corpos hídricos os materiais em suspensão também podem ser facilmente visualizados, e isso deve-se às interações com a banda do verde definida na equação (3). Os valores 0,56 até 0,62, tendem a estarem associados aos padrões geométricos regulares e isso se deve às atividades voltadas para agricultura.

O mapa (5) mostra as diferenças de vigor vegetacional -0,79 e 0,92, tais valores demonstram a sensibilidade do índice às atividades e suas diferenças fotossintéticas. O NDVI mostrou ser o mais indicado para localizar a extensão da atividade agrícola, principalmente a mecanizada pois é possível notar a presença dos pivôs centrais devido ao padrão geométrico circular, com valores altos de 0,80 e 0,92. É importante destacar, os detalhes de atividade de transição de valor 0,69 que possui a tendência de representar pastagem, com porções de mata ciliar e mata galeria de valor alto 0,92.

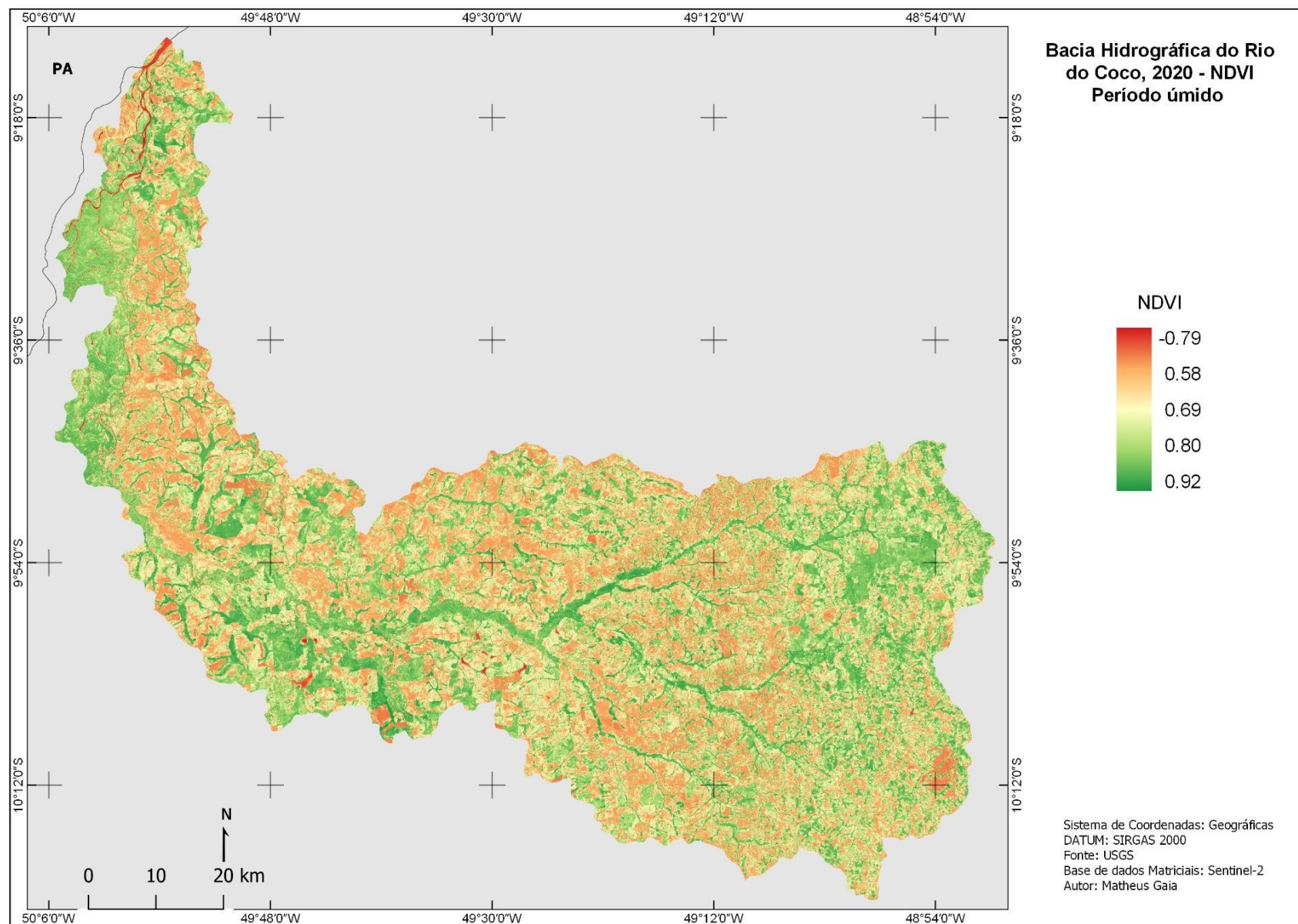
Entre os mapas (4) e (5) o período entre abril e maio, exerce influência na presença de mais vegetação úmida e conseqüentemente na vegetação de maio vigor fotossinteticamente ativa. Porém, é necessário observar que existindo essa relação direta, os indicadores não estão na mesma amplitude, NDWI de -0,81 até 0,82 e NDVI -0,79 até 0,92.

Mapa 4 – Índice espectral NDWI do período úmido



Fonte: Autor, (2022).

Mapa 5 – Índice espectral NDVI do período úmido



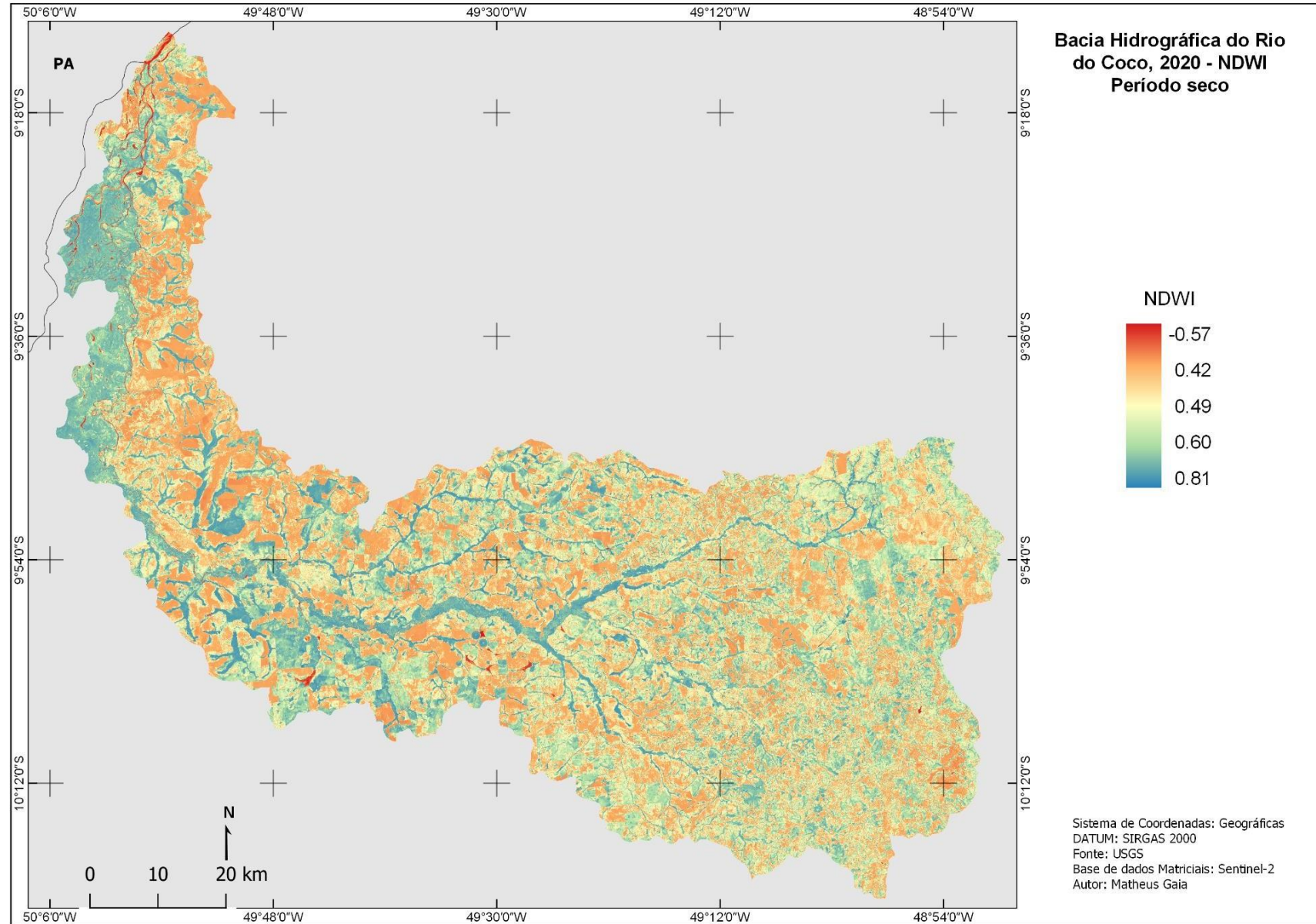
Fonte: Autor, (2022).

O mapa (6) demonstra a amplitude de -0,57 e 0,81 do NDWI do período seco. A amplitude entre -0,57 e 0,42, acarretou o aparecimento dos bancos de areia e isso se deve às interações dos sedimentos em suspensão, o que também diminuiu a largura aparente dos canais de drenagem. Seguindo o mesmo passo no que se refere às baixas assinaturas, é possível notar com mais frequência formas regulares com vértices mais definidos com valores de 0,42. Também vale destacar, a presença de maior contraste entre baixas assinaturas de 0,42 e áreas com maiores valores de 0,81.

O mapa (7) do NDVI do período seco contém a amplitude de -0,41 a 0,91. Os menores valores de -0,41 e 0,27 têm padrão geométrico regular que indicam uso de atividades agrícolas. O padrão das matas ciliares e matas de galeria que variam entre 0,63 até 0,91, estão destacados devido ao contraste com valores baixos.

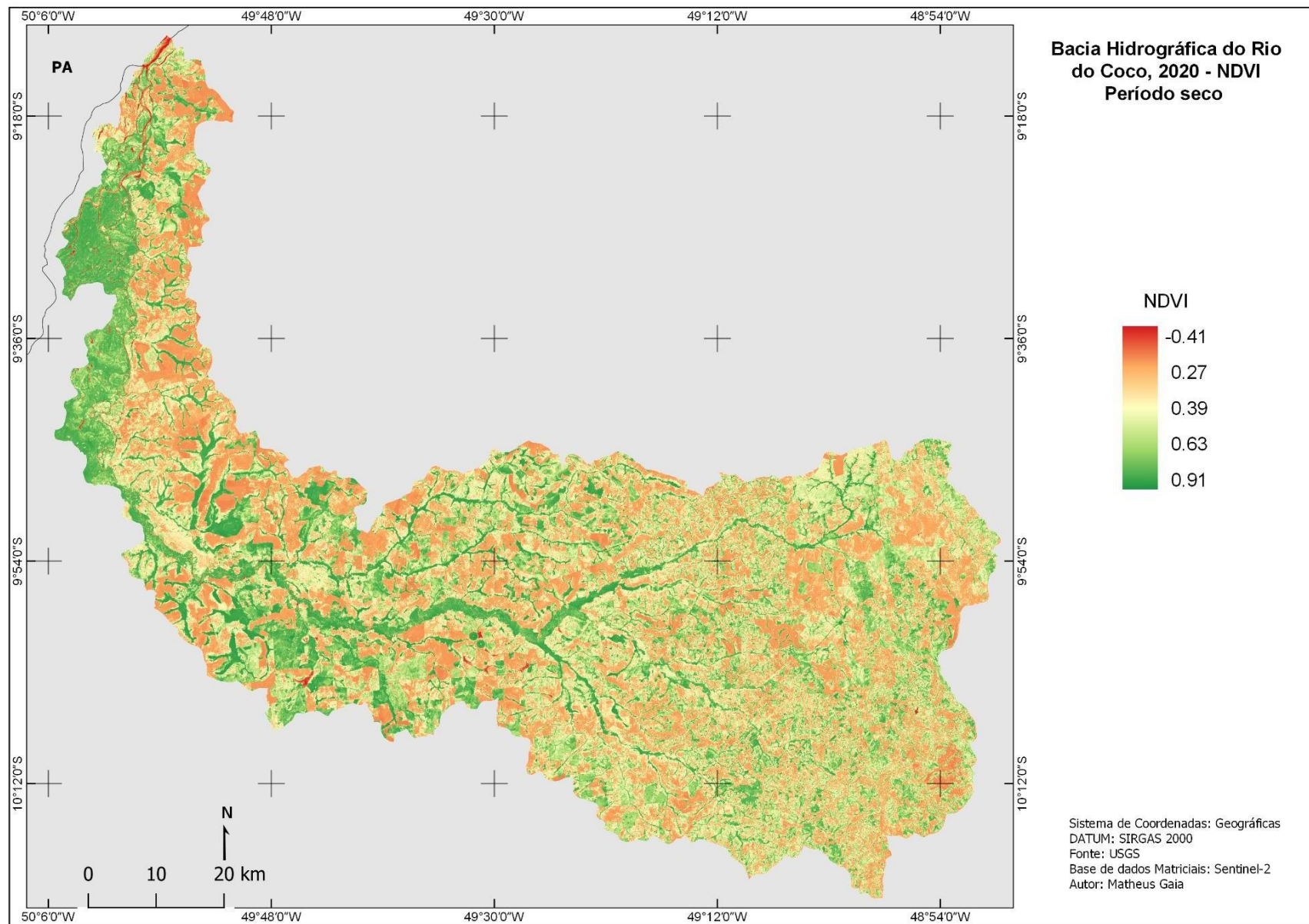
Em ambos os mapas (6) e (7) houveram destaques de áreas que indicam atividades agrícolas, isso deve-se aos baixos valores mais próximos a -1 e ao padrão geométrico regular. com já dito anteriormente os índices realçam o vigor vegetacional dos alvos, que muitas das vezes é correlacionado a quantidade de água do objeto imageado. Mesmo com avanço dos valores próximos ao -1, o NDWI e NDVI cumpriram seus papéis de maximizar os alvos como corpos hídricos.

Mapa 6 – Índice espectral NDWI do período seco



Fonte: Autor, (2022).

Mapa 7 – Índice espectral NDVI do período seco



Fonte: Autor, (2022).

5.1 Classificação supervisionada

O modelo de classificação *Random Forest* é uma caixa preta, ou seja, ela produz previsões que uma arvores de decisão simples, mas o controle sobre as regras é perdido, portanto é necessário saber que os modelos de agrupamentos são formados pela combinação de vários resultados. (BRUCE; BRUCE, 2019).

Conforme dito anteriormente a classificação da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco, seguiu tendo como base a composição colorida do Sentinel-2 B4, B3 e B2 junto dos índices NDWI e NDVI, que contribuíram para resultados mais precisos devido a sensibilidade dos índices usando o modelo de classificação *Random Forest*.

A divisão das classes foi feita em 4: Água, Área descoberta, Formação Campestre e Formação Florestal. As classes se valeram de diferentes fatores, pois cada uma delas reúne um mosaico de alvos, informados pelo quadro (3). No entanto é necessário informar, tais classe generalizam cobertura da imagem, de modo que modelo apresentado pode ser tratado como hipotético, pois além do número reduzido de classe, os efeitos comparativos são superficiais. Ainda seguido com outro adendo, o número classe é algo limitado pelo pesquisador no momento de construção do algoritmo, pois a plataforma de programação GEE, permite a criação de quantas classe forem necessárias

Para auxiliar na temática de uso e ocupação do solo, foi usado a paleta de cores e instruções para a construção dos mapas segundo IBGE (2013), que lança uma série de diretrizes para o mapeamento do solo brasileiro de acordo com os novos referencias técnicos, que dependem da aplicação de geotecnologias.

Quadro 3 – Classes e suas características

Classes	Características
Água	Rios, meandros abandonados, lago e represas
Área descoberta	Vilas, povoados, assentamentos e infraestrutura urbana, Rodovias pavimentadas e não pavimentadas, solo exposto e bancos de areia.
Formação Campestre	Cerrado ralo, campo sujo, pastagem intensiva e semi-intensiva
Formação Florestal	Mata ciliar, mata de galeria, cerradão, floresta estacional, reflorestamento e silvicultura.

Fonte: Autor, (2022).

Para auxiliar na leitura e compreensão a tabela (1), contém as informações totais de área relativas a cada classe usada para diferenciar o uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco.

Tabela 1 – Área ocupada por classe

Cobertura e uso do solo	Período Úmido		Período Seco	
	ha	%	ha	%
Água	6,491	0,97	5,484	0,82
Área descoberta	49,524	7,39	228,345	34,06
Formação campestre	328,96	49,07	215,74	32,18
Formação florestal	285,353	42,57	220,759	32,93
Total	670,328	100	670,328	100

Fonte: Autor, (2022).

O mapa (8), é o uso do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Coco durante o período úmido que apresenta maiores proporções nas formações campestre de 49,07% e florestais de 42,57%, sendo assim, as condições de umidade e conseqüentemente maior atividade fotossintética influenciaram no predomínio, que somado chega a 91,49% de toda uma área de 6,670 Km².

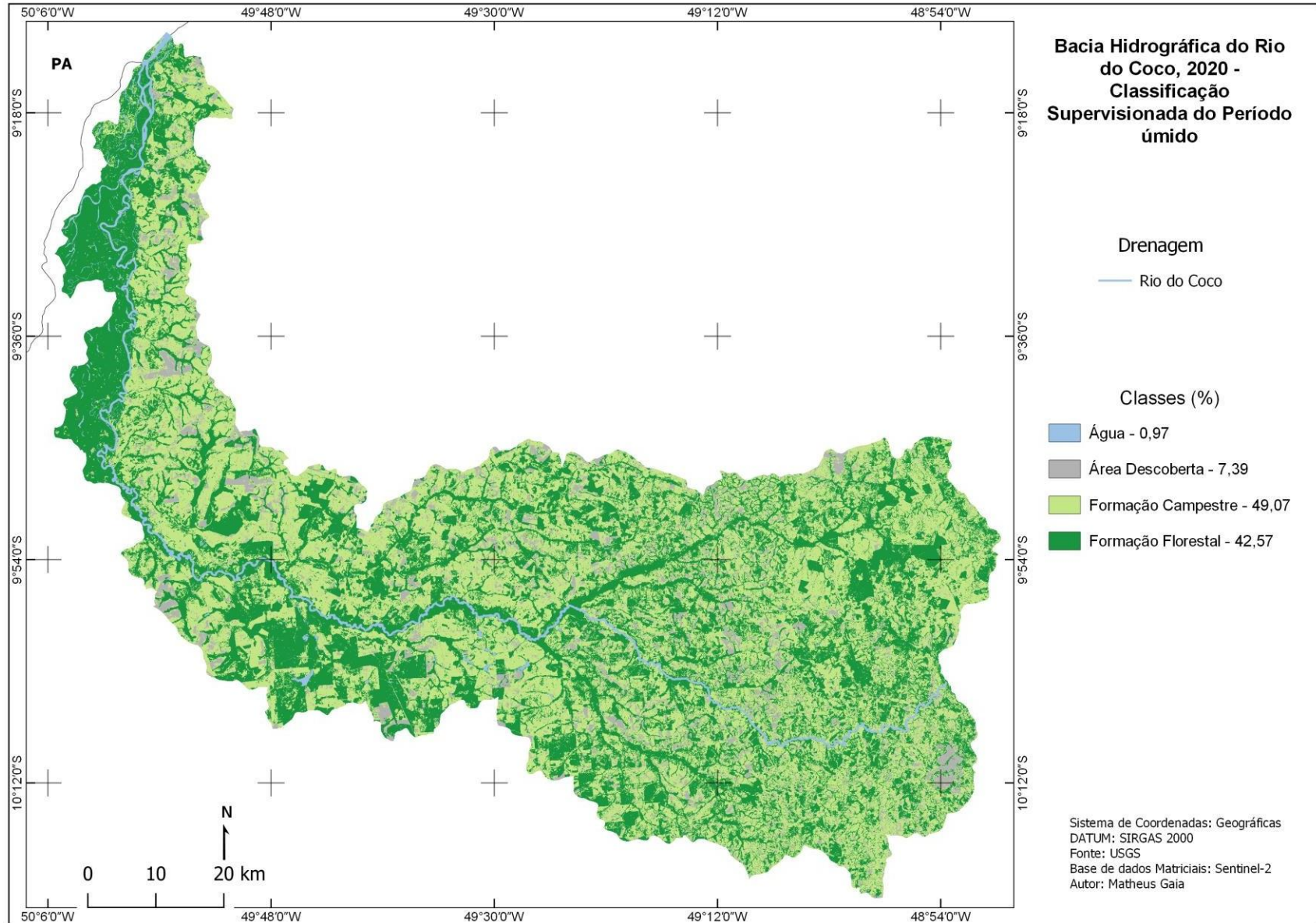
O mapa (9) mostra uma mudança radical nessa proporção devido as diferenças de umidade, com as formações campestre de 32,19% e florestal de 32,93%, demonstrando determinada paridade e quando juntas totalizam 65,06%, tal diminuição proporcionou o crescimento da classe de área descoberta que ocupa 34,06% da bacia hidrográfica.

Entre os mapas (8) e (9), é evidente a mudança na proporção entre classes de Área descoberta, Formação campestre e Formação florestal, pode ser mais bem mapeada pelo uso dos índices espectrais NDWI e NDVI junto a composição colorida do Sentinel-2. Outro ponto, importante a ser destacado é diminuição da classe Água, que encontra provável relação com diminuição da cobertura vegetal e do regime pluviométrico, e tais interferências aumentaram o aparecimento dos bancos de areia típicos de rios meandantes.

E ainda conforme Almeida, Ferreira Junior e Bayer (2018), degradação ambiental e relações conflituosas entre as diretrizes legais de uso ocupação em áreas de APP também se faz presente na Bacia Hidrográfica do Rio do Coco. Isso de acordo com os dados que revelam o

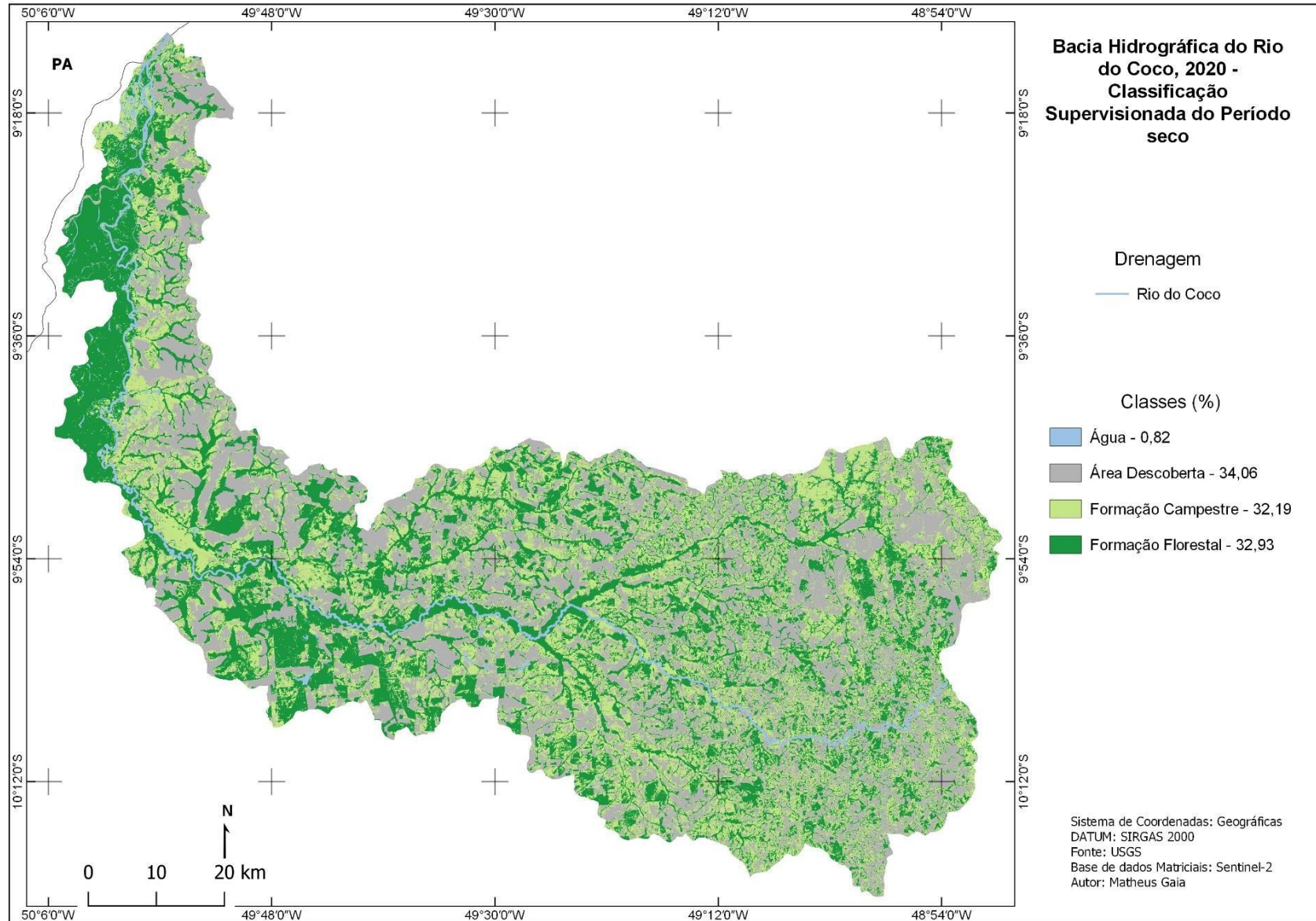
grau de conservação das matas ciliares, que demonstram clara incompatibilidade nas proporções ultrapassando os 40%, ou seja, quase metade das nascentes não sendo conservadas de acordo com as diretrizes legais, ainda em algumas áreas principalmente no alto da bacia onde se concentra a maior parte dos canais de primeira ordem, quase metade das APP's das matas ciliares não estão preservadas, visto que tendem a serem utilizadas para atividades de pastagem e mais recentemente para agricultura intensiva de grãos.

Mapa 8 – Uso e ocupação do referente ao período úmido



Fonte: Autor, (2022).

Mapa 9 – Uso e ocupação do referente ao período seco



Fonte: Autor, (2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusão

Perante os resultados da pesquisa e principalmente do método usado, o GEE demonstrou ser útil para a obtenção de imagens de satélite nos termos de aplicação dos índices espectrais e classificação supervisionada por meio do seu processamento compartilhado em nuvem que facilitou a obtenção de dados para uma grande área. A programação permitiu, acesso facilitado ao acervo de imagens do Sentinel-2 e seleção otimizada usando os comandos nativos do GEE, pois dessa foi obtido os produtos matriciais que serviram de bases para a construção dos mapas.

6.2 Trabalhos futuros

Usando da programação em nuvem que permite o processamento massivo em ambientes computacionais de terceiros, muitos trabalhos que envolvem dados georreferenciados que incluem imagens orbitais podem ser feitos de modo a contribuir para as rotinas de geoprocessamento, principalmente para as grandes áreas de estudo. Portanto, o GEE é uma plataforma recomendada, pois ela oferece uma série algoritmos que demonstra a aplicação dos comandos e argumentos para a obtenção de dados.

Ainda pretendo usar a programação em nuvem para obtenção e processamento das imagens de satélite. Os próximos projetos de pesquisa, buscam entender a dinâmica da ocupação sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Coco, sob uma perspectiva mais crítica usando as geotecnologias para subsidiar a obtenção e análise de dados. Principalmente, tendo em vista o seu contexto geográfico que abriga 8 municípios somados a 2 unidades de conservação, sendo o Parque Estadual do Cantão e a Área de Proteção Ambiental Ilha do Bananal/Cantão.

REFERÊNCIAS

- AB’SABER, A. N. Nos Vastos Espaços do Cerrados. In: _____. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 7 ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2012. p. 33-42.
- ALMEIDA, R. F. B; FERREIRA JÚNIOR, L. G; BAYER, M. Análise da cobertura e uso da terra da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco e suas implicações sobre as áreas de preservação como instrumento na gestão dos recursos hídricos. **Desenvolvimento e meio Ambiente**, Curitiba: v.49, p.60-82, dez. 2018.
- ANDRADE, A. B. S. **Utilização dos índices NDWI e MNDWI na detecção de corpos hídricos em imagem Sentinel-2 na Bacia Hidrográfica do Rio Traipu – Alagoas**. 2019. 35 f. Monografia de Graduação em Engenharia de Agrimensura (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2019.
- BRUCE, P; BRUCE, A. Aprendizado de Máquina Estatística. In: _____. **Estatística Prática para Cientistas de Dados: 50 Conceitos Essenciais**. 1ed, Rio de Janeiro: Alta Books, 2019. p.215-255.
- GONZAGA, E. P; SANTOS, V. V; NICÁCIO, R. M. Análise do comportamento do NDVI e NDWI em períodos de diferente intensidade pluviométrica no Sertão alagoano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15. 2011. **Anais[...]**. Curitiba: INPE, 2011. p. 1735-1743.
- GOOGLE, LLC. **Google Earth Engine – Code Editor**. Disponível em: <New Script - Earth Engine Code Editor (google.com)>. 2022. Acesso em: julho de 2022.
- CAVALCANTE, J. C; ALMEIDA, C. A; CASTELO, T. B. Análise de NDVI e temperatura da superfície terrestre utilizando a plataforma do *Google Earth Engine* em área de savana amazônica e floresta secundária, no município de Vigia – PA. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó: v.6, n.1, p. 64-70, jan/jun. 2020.
- FITZ, P. R. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica. In: _____. **Geoprocessamento Sem Complicação**. 4 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. p.97-138.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias. 5 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GRUS, J. **Data Science do Zero**: Primeiras Regras com Python. 1 ed. Rio de Janeiro: Altas Books, 2016.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manual Técnico de Uso e Ocupação da Terra**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

MENESES, P. R; ALMEIDA, T. Aritmética de Bandas. IN:__. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1 ed, Brasília: UnB. 2012. p.138-151.

MATEUS, M. G. et al. Visualizador de Água e Solo: Uma aplicação voltada para o gerenciamento de recursos naturais desenvolvida na plataforma Google Earth Engine. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (WCAMA), 12. 2021, Evento Online. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. p. 157-166.

SILVA, A. T. **Introdução aos Compiladores**. 1 ed. Macapá: Universidade Federal do Amapá. 2008

SOUSA, F; MOREIRA, L; MACHADO, J. Computação em nuvem: conceitos, tecnologias, aplicações e desafios. In: III Escola Regional de Computação Ceará, Maranhão, Piauí - ERCEMAPI, 2009, Parnaíba-PI. **Anais [...]** ERCEMAPI, Parnaíba: SBC, 2009.

TAGLIARINI, F. S. N. et al. Índices NDVI e NDWI como ferramentas ao mapeamento do uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, 18. 2017, Santos. **Anais...** Santos: INPE, 2017, p.2271-2278.

TRICART, J. **Ecodinâmica**: 1 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.