

Mudanças na cor da água relacionadas a mineração em rios da amazônia sul ocidental observadas por satélite

Changes in Water Color Related to Mining in Rivers of the Southwestern Amazon Observed by Satellite

Flavio Fagundes de Paula¹ , Jéssica Ribeiro Fontoura¹ , Rodrigo Cauduro Dias de Paiva¹ 

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS Instituto de Pesquisas Hidráulicas IPH/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mails: engenharia.flaviofagundes@gmail.com, jessica.ribeirofontoura@gmail.com, rodrigo.paiva@ufrgs.br

Como citar: Paula, F. F., Fontoura, J. R., & Paiva, R. C. D. (2025). Mudanças na cor da água relacionadas a mineração em rios da amazônia sul ocidental observadas por satélite. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 22, e2. <https://doi.org/10.21168/rega.v22e2>

RESUMO: Diante da relevância dos recursos hídricos, é fundamental o seu monitoramento. Considerando as dimensões das bacias brasileiras, principalmente as amazônicas, torna-se viável o uso de ferramentas de sensoriamento remoto, que permitem o acompanhamento da qualidade das águas superficiais, particularmente características de cor e sólidos totais. Os componentes presentes na água alteram a sua refletância, de acordo com suas características, permitindo um estudo e rastreamento das qualidades. O trabalho teve como objetivo principal identificar alterações na cor da água em rios da Amazônia Sul Ocidental, nas sub-bacias dos Rio Ji-Paraná, Canumã e Amaná, mapeando as evidências das interações e os impactos da mineração e garimpo. Por meio dos ângulos de refletância e comprimento de onda dominante. Compreendendo a formação da cor das águas nas bacias e a influência de atividades mineiras, e antrópicas 1994 e 2021. Por meio das análises estatísticas, ficaram demonstradas alterações significativas para maiores comprimentos médios de onda dominante, na maioria dos trechos das bacias do Ji-Paraná, devido principalmente às atividades econômicas e uso do solo, e na bacia do Amaná pouco antropizada, porém com presença significativa do garimpo, enquanto que para o Rio Canumã as alterações foram para menores comprimentos e sua maioria. O estudo demonstrou correlação entre a presença de atividades mineradoras e alterações nos comprimentos médios de onda dominante indicando a maior concentração de sedimentos inorgânicos em corpos hídricos afetados pela mineração e garimpo.

Palavras-chave: Águas Amazônicas; Garimpo; Alterações.

ABSTRACT : Given the relevance of water resources, their monitoring is essential. Considering the vast dimensions of Brazilian basins, particularly those in the Amazon region, the use of remote sensing tools becomes viable. These tools allow for monitoring the quality of surface waters, especially regarding color characteristics and total solids. The components present in water alter its reflectance according to their properties, enabling the study and tracking of water quality. The main objective of this study was to identify changes in water color in rivers of the Southwestern Amazon, specifically in the sub-basins of the Ji-Paraná, Canumã, and Amaná Rivers, mapping evidence of interactions and the impacts of mining and gold prospecting. This was achieved through the analysis of reflectance angles and dominant wavelengths, examining the formation of water color in these basins and the influence of mining and anthropogenic activities from 1994 to 2021. Statistical analyses revealed significant changes for longer average dominant wavelengths in most sections of the Ji-Paraná basin, primarily due to economic activities and land use. In the Amaná basin, which is less impacted by human activity but has significant gold prospecting activity, changes were also observed. Conversely, in the Canumã River, most changes were associated with shorter wavelengths. The study demonstrated a correlation between the presence of mining activities and changes in average dominant wavelengths, indicating a higher concentration of inorganic sediments in water bodies affected by mining and gold prospecting.

Keywords: Amazonian Waters; Illegal mining; Changes.

1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica é fascinante, seja em suas dimensões e números (Espinoza-Villar et al., 2018), na sua importância ambiental, no ciclo terrestre, ou nos cenários científico, e econômico mundial (Lobo et al., 2017). Desde o século XVII apesar de períodos de abandono, e com muitos desafios, despertou interesse de

Recebido: Setembro 6, 2024. Revisado: Janeiro 21, 2025. Aceito: Fevereiro 21, 2025.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

exploradores, e passou por “ondas” de ocupação e impulsos desenvolvimentistas (Nascimento et al., 2014; Vincent & Vasconi, 2017). A bacia hidrográfica do Rio Amazonas representa o maior sistema fluvial do mundo, ocupando mais de 6 milhões de km² (Fassoni-Andrade et al., 2021; Villar et al., 2012), a Amazônia legal ocupa quase 60% do território brasileiro, e a Amazônia internacional abrange 9 dos 13 os países da América do Sul com exceção do Chile, Paraguai, Uruguai e a Argentina.

Atualmente a Amazônia brasileira é afetada pelas mudanças de uso e cobertura do solo, onde as grandes áreas de florestas são substituídas pelas atividades agrícolas, agropecuárias, e pelas atividades da indústria da mineração e garimpos de extração de ouro e outros minerais. A supressão de áreas florestais para a mineração tem causado degradação do solo, e aumento na produção de partículas sedimentares, que potencialmente podem conter metais pesados, entre outros contaminantes, que alteram as características e condições de qualidade de suas águas. Este artigo teve como tema principal, as alterações na cor das águas amazônicas, relacionadas à mineração, principalmente do garimpo (Abe et al., (2019). A atividade garimpeira tem importância econômica na Amazônia, mas atualmente pouco se sabe sobre suas características, como: as áreas abrangidas, o tipo de atividade, a escala de atuação ou seus impactos socioambientais. Uma das razões apontadas para o problema destas lacunas de informações, é a ausência de um mapeamento preciso das regiões em atividade, destacando a grande heterogeneidade dos empreendimentos variando em escalas territoriais, técnicas empregadas e níveis de industrialização (Lobo et al., 2017).

Bacias com grandes dimensões como a amazônica, são de fundamental monitoramento, já que são importantes componentes do ciclo hidrológico global. Sendo também as primeiras a demonstrar os impactos e mudanças sofridas pelas alterações climáticas, ou atividades introduzidas por ações antrópicas. Em geral, estas regiões são pouco monitoradas, por razões de custo, logísticas, etc. Práticas alternativas de monitoramento de qualidade da água, como concentração de sólidos, podem ser adotadas para complementar e/ou validar os registros existentes (Villar et al., 2012). Considerando a importância da região da Amazônia para os meios econômicos e científicos (Lobo et al., 2017), monitorar suas condições é mais que necessário. Esta necessidade vai de encontro com o problema das dificuldades impostas por um ambiente muitas vezes inacessível, e/ou impraticável para campanhas *in loco*, o que abre possibilidades para o uso das ferramentas remotas (Fassoni-Andrade et al., 2021; Espinoza-Villar et al., 2018). Demandando técnicas e ferramentas que permitam estudos contínuos e economicamente viáveis, neste cenário o uso e desenvolvimento de mecanismo de sensoriamento remoto, se apresenta como uma possibilidade de aplicação viável. Com novas missões, como Landsat, Sentinel entre outros, que ofereçam um bom volume de imagens em boa resolução com acesso livre, permitindo estudos regulares de condições florestais, de solo e hidrológicas (Barbosa et al., 2019).

As vantagens do uso do sensoriamento remoto ficam ainda mais evidentes, quando se monitora grandes áreas, onde a obtenção de dados da paisagem é custosa, demorada e trabalhosa. Nestas condições, o SR e SIG podem fornecer informações sobre mudanças geológicas, produção e cobertura vegetal e dinâmica de inundações, de forma rápida, precisa e econômica. Assim como, os dados de satélite podem auxiliar na detecção gradual de mudanças abruptas na paisagem (Carvalho Nasser et al., 2024). Associadas aos métodos de sensoriamento, também tem se desenvolvido aplicações de geoprocessamento, como aplicativos GIS, em “nuvem” como o *Google Earth Engine* (GEE), permitindo que estas tecnologias e seus avanços sejam utilizados para o desenvolvimento científico do ciclo hidrológico terrestre (Lobo et al., 2017; Barbosa et al., 2019). É essencial para as pesquisas sobre clima, ecologia e gestão dos recursos naturais na Amazônia, conhecermos a dinâmica hidrológica desta região, sendo necessários monitoramentos constantes e abrangentes. Compreendendo espaço-temporalmente o ciclo da água, e as interações deste com a variabilidade das condições climáticas e atividades antropológicas. Em bacias desta dimensão e condição remota, observações *in loco* são dificultadas, sendo as ferramentas de sensoriamento oportunidades para avaliar e rastrear os componentes e condições do ciclo hidrológico (Fassoni-Andrade et al., 2021).

Ainda de acordo com Fassoni-Andrade et al. (2021), estamos passando pela era do florescimento do Sensoriamento Remoto (SR) por satélite, com avanços, em primeiro lugar uma nova geração de sensores (Landsat-8, Sentinel-2 e CBERS-04A). Em segundo lugar, temos um considerável aumento das capacidades computacionais e de armazenamento, aumentando nossa capacidade de processar um grande volume de imagens. Informações obtidas por Sensoriamento Remoto (SR) na Amazônia, permitiram a avaliação de impactos da mineração artesanal de ouro em sub-bacias do Rio Amazonas, como a bacia do Rio Tapajós (Lobo et al., 2015, 2017). Assim como mapeamento da “presença de sedimentos nas águas claras, brancas e negras dos rios amazônicos” (Fassoni-Andrade et al., 2021. p. 40).

Fontoura & Paiva (2021) utilizaram, imagens da missão Landsat 8, para estimar os constituintes opticamente ativos, COAs (sedimentos, clorofila e matéria orgânica dissolvida colorida), dos principais corpos hídricos brasileiros. Dentre as características principais, a cor foi utilizada para estimar indiretamente a qualidade da água. Os autores analisaram o padrão de cores dos rios brasileiros, no período entre 2010 e 2020,

adaptando a metodologia de Gardner et al. (2021), e Wang et al. (2014). Os valores dos comprimentos de onda das reflectâncias foram classificados em vermelho, verde e azul, dos maiores para os menores respectivamente. Determinando as cores em padrão RGB para a hidrografia do Brasil, onde mais de 50% dos corpos hídricos apresentaram tons amarelados, quase 45% na cor verde, e apenas 3% apresentaram comprimentos de ondas no azul. Rios como Madeira e Amazonas, conhecidos por grande volume de sedimentos, apresentaram tons de amarelo, enquanto o Rio Negro, rico em matéria orgânica apresentou a cor verde. O trabalho a partir de imagens de satélite demonstrou desempenho satisfatório e promissor em caracterizar e compreender a dinâmica da qualidade dos recursos hídricos (Fontoura & Paiva, 2021).

Diante da importância da região Amazônica, e dos desafios para o seu monitoramento, considerando as dimensões da região, dificuldades de acesso e custo. As ferramentas de sensoriamento remoto se apresentam como uma alternativa economicamente viável, para o monitoramento das condições de qualidade de suas águas. Assim como a relação das características destas, com as atividades econômicas desenvolvidas na região, principalmente os impactos causados pelas indústrias de mineração.

Este artigo teve como objetivo principal, identificar alterações na cor da água em rios da Amazônia sul ocidental, onde foram utilizadas três sub-bacias, entre elas, dos Rio Ji-Paraná, Canumã e Amaná, mapeando as interações e os impactos da mineração e do garimpo, na cor de suas águas. Para a concretização do objetivo foram utilizadas metodologias que permitiram relacionar os comprimentos médios dominantes de ondas, e uma escala de cor que variou do azul ao vermelho. A execução da metodologia permitiu elaborar uma série de dados de cor e comprimentos médios de onda dominante, de 1994 até 2021, permitindo análise estatística da significância das variações. O trabalho buscou contribuir para o conhecimento das relações entre as atividades antrópicas, principalmente relacionadas à mineração, e as condições de qualidade relacionadas à cor da água. Busca explicar por meio de escala de cor e, estatisticamente, se as alterações são significativas nos períodos observados.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

2.1.1 Área de estudo

As bacias hidrográficas do Rio Madeira e Trombetas, são sub-bacias do Rio Amazonas, cortando longitudinalmente a bacia, desde o extremo norte brasileiro, nas fronteiras com o Suriname e Guiana, até o extremo oeste, nas fronteiras com Bolívia e Peru (Figura 1).

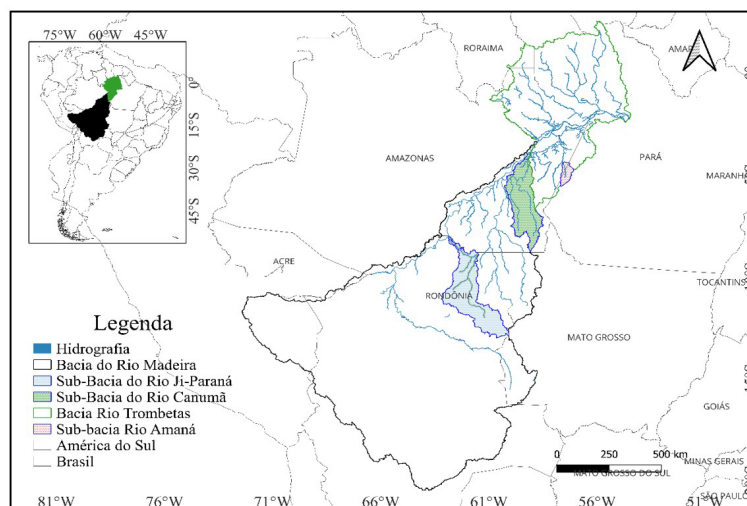


Figura 1 – Bacia e hidrografia do Rio Madeira, Trombetas, sub-bacias dos Rios Ji-Paraná, Canumã e Amaná.

Como objeto de estudo foram adotadas as sub-bacias do Madeira, Rios Ji-Paraná e Canumã, e sub-bacia do Trombetas, Rio Amaná (Figura 1), onde foram analisados dados de cor da água entre os anos de 1994 e 2021. A bacia do Canumã foi adotada por se apresentar consideravelmente mais preservada, e com pouca presença de atividades de mineração em funcionamento e foi utilizada como bacia de controle. A bacia do Ji-Paraná foi escolhida considerando o seu elevado grau de antropização e presença de atividades de mineração. A bacia do Amaná foi escolhida por apresentar intensa atividade garimpeira, porém pouco antropizada.

A rede hidrográfica utilizada foi apresentada por Gardner et al. (2021), que extraiu os corpos hídricos com larguras maiores que 30 metros, devido a limitação de resolução das imagens Landsat utilizadas, onde *pixels* apresentam essa resolução.

2.1.2 Dados

Foram utilizadas imagens da série Landsat Quadro 1, devido a resolução das imagens e tamanho do pixel de 30 metros, foram analisados e classificados corpos hídricos com dimensões acima deste limiar, melhores resultados são obtidos em rios mais largos que abrangem mais *pixels*.

Quadro 1 – Satélites utilizados.

Série Landsat – Landsat Missions (USGS)					
Satélite	Orbita	Altitude	Ciclo	Operação	Nº das Bandas, R, G, B, NIR
L. S - 5	Sol-síncrona, quase polar, 98º, de 99 minutos	705 km	16 dias	1992-1999	3, 2, 1, 4
L. S - 7				1999-2022	3, 2, 1, 4
L. S - 8				Desde 2013	4, 3, 2, 5

Considerando o objetivo principal de monitorar a cor das águas e presença de sedimentos resultantes das atividades de mineração e garimpo, foram escolhidas imagens do período de seca na região, de junho a setembro, para que a sazonalidade das chuvas, e a contribuição de sedimentos pela erosão difusa não prejudicasse a análise, também foi aplicado um filtro para seleção de cenas com no máximo 10% de nuvens (Lobo et al., 2017; Abe et al., 2019).

2.2 Métodos

Para obtenção das características de cor das águas foram utilizados o ângulo e coordenadas cromáticas, para utilização da cor como *proxy* de sedimentos. Onde as águas com poucos sedimentos apresentam coloração mais azulada, enquanto as ricas em sedimentos apresentam cores avermelhadas (Wang et al., 2014; Gardner et al., 2021). Foram analisados dois períodos 1994/2005 e 2006/2021, onde a série estudada de 1994 até 2021 foi subdivida em duas. Conforme o período de maior crescimento das atividades mineradoras, com aumento significativo a partir de 2005 (Agência Nacional de Mineração, 2022b).

Com os arquivos vetoriais das bacias, foi recortada a hidrografia com corpos hídricos maiores que 30 metros de largura (Gardner et al., 2021). Os *pixels* foram selecionados na sobreposição entre a camada vetorial de hidrografia e as imagens de satélite. Foram extraídos os valores médios dos pixels em cada trecho de hidrografia, obtendo um comprimento de onda médio dominante.

2.2.1 Dados de mineração



Figura 2 – Trecho garimpado na sub-bacia do Rio Ji-Paraná 2024.
Fonte: Google Earth (2024).

Foram selecionadas bacias em diferentes graus de antropização, e também com diferentes status de ocupação pela atividade de mineração/garimpo. A bacia do Canumã, apresenta pequeno grau de antropização, e mineração insignificante. Na região do Ji-Paraná, a antropização é muito significativa, com presença de mineração (Figura 2). Na bacia do Amaná, a antropização é insignificante, porém a presença de garimpo é significativa nas margens de seus rios (Figuras 3 e 4).

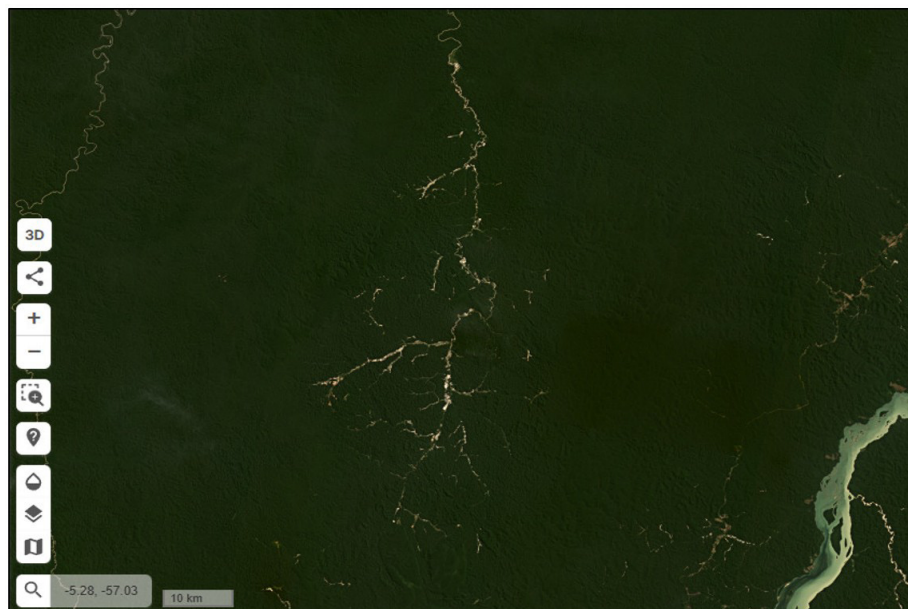


Figura 3 – Garimpo na sub-bacia do Rio Amaná 2024.

Fonte: MAPBIOMAS, Souza Junior et al. (2020).

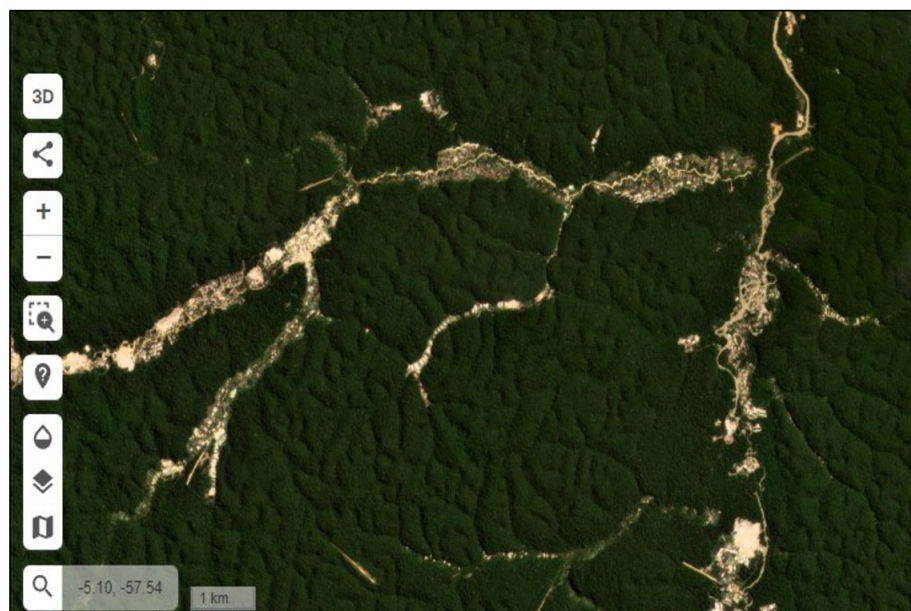


Figura 4 – Trecho garimpado na sub-bacia do Rio Amaná 2024.

Fonte: MAPBIOMAS, Souza Junior et al. (2020).

Após a escolha das sub-bacias, estas foram selecionadas em arquivo vetorial, da coleção de bacias Ottocodificadas da Agência Nacional de Águas e Saneamento (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2017). Esses vetores foram utilizados com áreas de recorte, nas rotinas elaboradas no GEE, em que foram recortados os rios com larguras maiores que 30 metros (Gardner et al., 2021), para elaboração das escalas FU (Wang et al., 2014). Assim como também foram utilizadas como áreas de cálculo das equações de solo exposto BSI.

2.2.2 Série de comprimento médio de onda dominante, *hue angle*(α) e Forel-Ule scale (Scala FU)

Para o método adotado para determinar a cor da água, utilizou-se além das cores visíveis, o ângulo de reflectância de cada uma das bandas RGB. Na primeira etapa utilizou-se o GEE para cálculo dos ângulos X, Y e Z, por meio das equações de Wang et al. (2014). Para a obtenção de uma única cor por trecho, primeiro por meio das equações são obtidos os X, Y e Z, que são os ângulos de reflectância em cada um dos eixos, e as coordenadas cromáticas x, y e z, e destes o **ângulo de hue (α)**, a partir do qual se obtém o **comprimento de onda dominante**, e de acordo com este comprimento se adota uma **escala FU** para cada intervalo entre 471 e 583nm (Quadro 2).

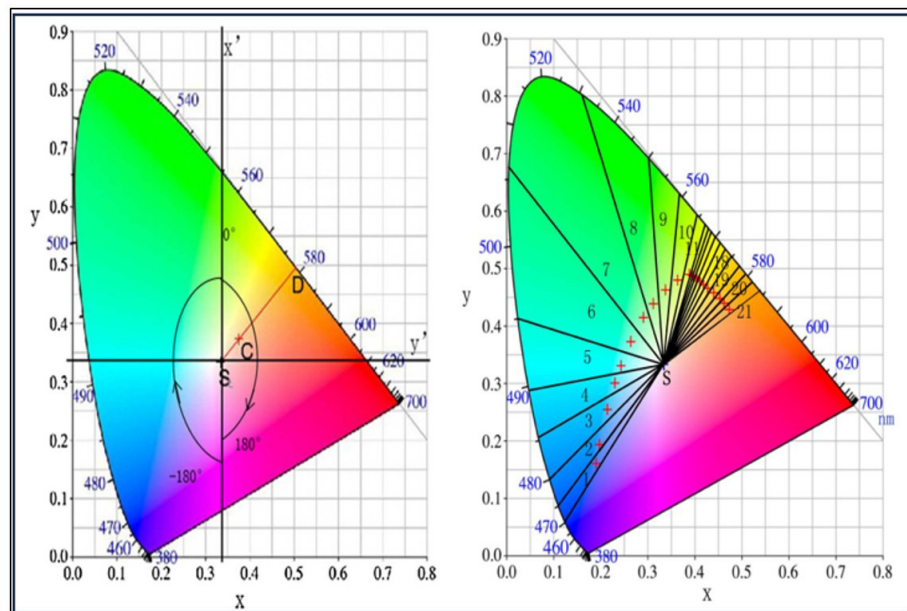


Figura 5 - Diagrama de cromaticidade (esq), escala de cores FU (dir).

Fonte: Wang et al. (2014).

Para a obtenção dos ângulos de reflectância em cada um dos eixos foram utilizadas equações adaptadas para rios por Gardner et al. (2021).

$$X = 2.7689R + 1.7517G + 1.1302B \quad (1)$$

$$Y = 1.0000R + 4.5907G + 0.0601B \quad (2)$$

$$Z = 0.0565G + 5.5943B \quad (3)$$

Onde:

X, Y e Z: ângulos de reflectância em cada um dos eixos.

R: comprimento da banda *red* (vermelha).

G: comprimento da banda *green* (verde).

B: comprimento da banda *blue* (azul).

Para obtenção das coordenadas cromáticas foram utilizadas equações adaptadas para rios por Gardner et al. (2021).

$$x = X/(X + Y + Z) \quad (4)$$

$$y = Y/(X + Y + Z) \quad (5)$$

$$z = Z/(X + Y + Z) \quad (6)$$

Onde:

x, y e z: coordenadas cromáticas.

X, Y e Z: ângulos de reflectância em cada um dos eixos.

O valor do *hue angle* (α) foi calculado por meio das coordenadas cromáticas, obtendo o comprimento de onda dominante, adotado pela *International Commission on Illumination* (CIE), e utilizado para a obtenção de uma cor em escala FU (Figura 5), de acordo com (Wang et al., 2014; Gardner et al., 2021).

$$\alpha = (\arctan2((x - 0.33)/(y - 0.33)))(\frac{180}{\pi}) \quad (7)$$

Onde:

α : *hue angle* (CIE).

x e y : coordenadas cromáticas.

As equações foram adaptadas em códigos para GEE e RStudio (RS), por Fontoura & Paiva (2021). Foram selecionados para a coleta das imagens de satélites o período de junho a setembro de 1994 e 2021, estação de seca na região, após o processamento foi exportado para o Google Drive uma planilha em arquivo “CSV”. Esta foi processada no aplicativo RS onde um algoritmo foi elaborado para converter ângulos em comprimentos de onda, e por meio desta obter uma cor (CIE) no espectro visível (Figura 6). Após tratamento no RS gerou-se uma tabela, mesclada por meio do QGIS à tabela de atributos do arquivo com os corpos hídricos. A simbologia foi tratada de forma que cada trecho recebesse a cor predominante, foi utilizada como parâmetro a FU-class (Wernand & van der Woerd, 2010) apresentada por Wang et al. (2014) Quadro 2.

Quadro 2 – Esquema de cor FU-scale, por faixa de comprimento de onda (W. L.).

FU	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
WL	471 - 475	476 - 480	481 - 485	486 - 489	490 - 495	495 - 509	510 - 530	531 - 549	550 - 590	560 - 564	564 - 567	568	569	570	571	572 - 573	574 - 575	576 - 577	578 - 579	580 - 581	582 - 583

Fonte: Adaptado de Wang et al. (2014).

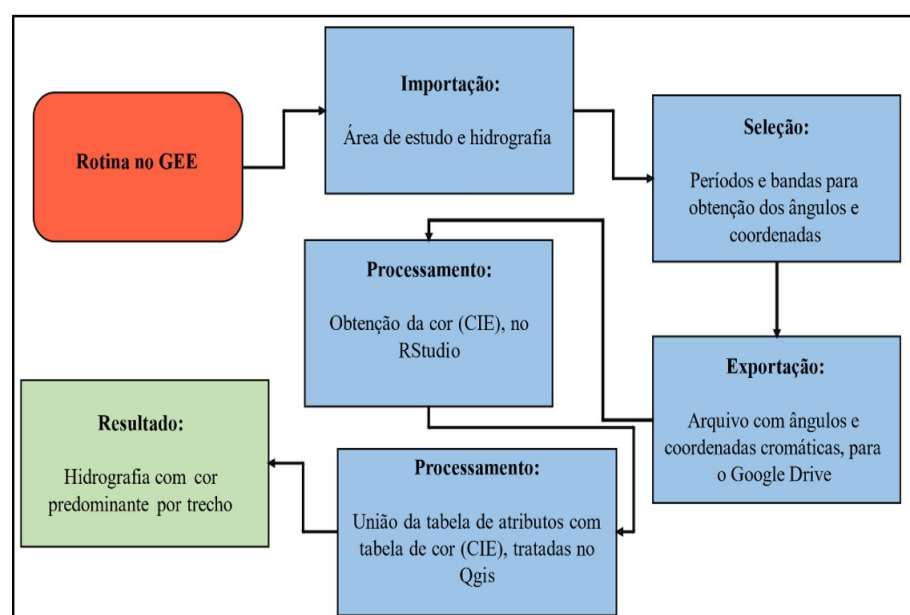


Figura 6 - Fluxograma para obtenção da cor na escala FU.

2.2.3 Estatística

As ferramentas estatísticas possibilitam admitir ou descartar uma hipótese, verificando se os dados apoiam ou não a hipótese formulada, para o trabalho foi considerada hipótese:

H_0 : Onde não há diferenças significativas entre as séries analisadas, e.

H_1 : Onde há diferenças significativas ou para mais ou para menos (Salas, 1993; Wilks, 2011).

Para considerar ou não a significância de H_0 , o valor numérico resultado do teste deve ser comparado com valores críticos, onde cada teste possui seus valores limites tabelados. “Essas tabelas geralmente associam dois parâmetros, que permitem localizar o valor crítico tabelado: nível de probabilidades (usualmente 5% [α : 0,05], ou 1% [α : 0,01]), e o número de graus de liberdade das amostras comparadas” (Campos, 2000, p. 1). Valores inferiores que os apresentados pelas tabelas

indicam “que ele não pode ser considerado diferente do que se obteria se as amostras comparadas fossem iguais” (Campos, 2000, p. 17). Desta forma se configura o que se chama de não-significância estatística, ou de aceitação da hipótese zero, ou de nulidade (H_0).

Dentre os muitos testes possíveis de aplicação, estes podem ser divididos em dois grupos principais, os paramétricos e não paramétricos. Onde os paramétricos são indicados para amostras que seguem a distribuição normal, e os não paramétricos oferecem melhores resultados para as amostras que não se encaixam na normalidade distributiva. Os testes paramétricos, em geral, apresentam melhores resultados que os não paramétricos, devendo ser observadas as suas particularidades (Salas, 1993; Campos, 2000; Wilks, 2011).

O teste t de Student, considerado um teste paramétrico, compara os valores médios e de variância das amostras. Onde o valor de t é definido pela diferença entre as médias das amostras dividida pela variância combinada de ambos os grupos. A hipótese considerada nula (H_0) é rejeitada se o valor de t obtido for maior em módulo, do que o inverso da probabilidade bicaudal para o nível de significância adotado (α : 0,05) e graus de liberdade (Tamanho da série +1) (Salas, 1993; Wilks, 2011).

O teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1948), é uma métrica utilizada para verificar se há tendência e se esta é significativa em uma série temporal. Quando não se conhece qual a distribuição da série, o uso de um método não paramétrico é o mais indicado. Neste contexto que se insere o teste de Mann-Kendall, onde:

H_0 (Hipótese nula): Não há tendência significativa.

H_1 (Hipótese alternativa): Há tendência significativa (Mann, 1945; Kendall, 1948; Wilks, 2011).

O teste de Mann-Whitney baseia-se na diferença das medianas, é um teste considerado não-paramétrico, usado para comparar amostras não relacionadas, é uma alternativa para o teste t-Student quando as amostras não seguem distribuição normal. Portanto, o teste de Mann-Whitney é usado para testar se as medianas das amostras são iguais nos casos em que a suposição de normalidade não é satisfeita ou quando não for possível checar essa suposição (Wilks, 2011).

As análises estatísticas para verificar se as alterações nas cores dos trechos estudados são significativas, foram realizadas por meio do Excel, utilizando como ferramenta o suplemento *Real Statistics* (Zaiontz, 2023). Inicialmente a série foi dividida em dois períodos, o primeiro entre 1994/2005, o segundo entre 2006/2021. Os intervalos foram escolhidos observando os dados fornecidos sobre mineração (Agência Nacional de Mineração, 2022b; MapBiomias, Souza Junior et al., 2020), onde se observa uma intensificação da atividade mineradora a partir de 2005.

Com os trechos separados foram obtidas as médias das duas subséries, com o suplemento *Real Statistics* (Zaiontz, 2023). Foram observadas, a normalidade da série e também a normalidade da diferença entre as séries, com os testes de Shapiro-Wilk (González-Estrada & Cosmes, 2019; Wilks, 2011), e D'Agostino-Pearson (D'Agostino et al., 1990). Considerando as séries normais foram realizados os testes paramétricos (Campos, 2000; Salas, 1993; Wilks, 2011), como o Teste t Student (Salas, 1993). Quando as amostras não corresponderam à normalidade foram utilizados os testes de Mann-Whitney (Salas, 1993) e o de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1948).

2.2.4 Material em suspensão *in loco*

Por meio de dados fornecidos no portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2024). Foram extraídos da estação n.º 15560000, leituras de material em suspensão realizadas *in loco* no período entre 1994 e 2021. Foram filtrados dados compatíveis com as dadas observadas nas imagens de satélites, entre junho e setembro do ano hidrológico. As informações foram tratadas estatisticamente por meio do Excel e plugin *Real Statistics* (Zaiontz, 2023). Primeiro foi verificada a normalidade da série de dados obtidos, posteriormente escolhido o teste estatístico mais adequado. Após a realização do teste verificou-se a significância dos testes realizados. Também foi elaborado um gráfico, com os valores médios dos sedimentos em mg/l, assim como a média da série selecionada.

2.2.5 Bare Soil Index – BSI

Para visualização do percentual de solo exposto nas regiões observadas, foram utilizadas equações apresentadas por Nguyen et al. (2021), Li & Chen (2014), e Ariza et al. (2017). A equação que apresentou um melhor resultado visual, foi com a utilização das bandas SWIR2, R, NIR e B, eq. 08, o processo foi realizado com os dados dos satélites Landsat 5 para os anos entre 1995 e 2010, e Landsat 8 para os anos de 2015 e 2020, em rotina elaborada no GEE.

$$BSI = ((SWIR2 + R) - (NIR - B))/((SWIR2 + R) + (NIR + B)) \quad (8)$$

Foi elaborada uma rotina no GEE, onde foram selecionados os vetores das sub-bacias do Canumã, Ji-Paraná e Amaná. No código foram selecionados os anos de, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2020, para que se fosse obtido o BSI das médias anuais. O arquivo raster obtido, foi exportado para o Google Drive, e tratados no Qgis, para configuração do estilo de cor. Posteriormente foram gerados no Qgis cartogramas para as áreas selecionadas, com as imagens obtidas em cores para os métodos e parâmetros BSI apresentados anteriormente.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Estatística

Após a execução dos códigos e rotinas, os dados foram tratados no Excel, e forneceram uma série de dados, em comprimentos médios de onda dominante para cada uma das sub-bacias.

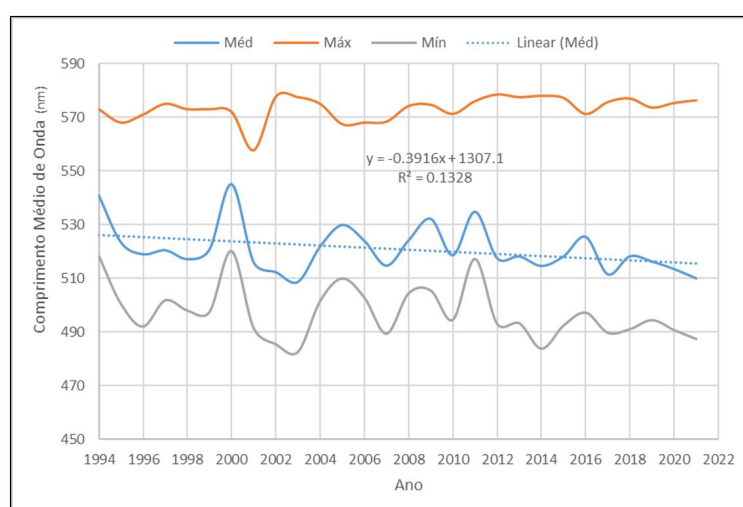


Figura 7 – Comprimentos médios dominantes em (nm) por ano na bacia do Rio Canumã.

Com a obtenção das séries de comprimento médio de onda dominante, entre 1994 e 2021 para as três sub-bacias estudadas, podemos observar o comportamento destas quanto aos valores máximo, médio e mínimo. Na bacia do Canumã, os valores foram de 579, 521 e 483 nanômetros respectivamente (Figura 7).

Quadro 3 – Resumo estatístico das séries obtidas.

Bacia	Max	Méd.	Min	Des. P.
Canumã	579	521	483	9
Ji-Paraná	576	555	494	9
Amaná	577	568	492	17

Para o Rio Ji-Paraná o valor máximo foi de 576, com média de 555 e mínimo de 494 nanômetros (Figura 8). Para a bacia Amaná, os valores foram, máximo de 577, média de 568 e um mínimo de 492 nanômetros, apresentando valores médios e máximos maiores que as anteriores (Figura 9), (Quadro 3).

As linhas de tendência dos gráficos das três regiões apresentam comportamentos distintos, nas sub-bacias do Ji-Paraná e Amaná, apresenta um movimento de aumento dos valores médios. Enquanto que a sub-bacia do Canumã apresenta um cenário de redução, ou estabilidade, dos valores médios dos comprimentos de onda dominantes no período analisado (Figuras 7, 8 e 9).

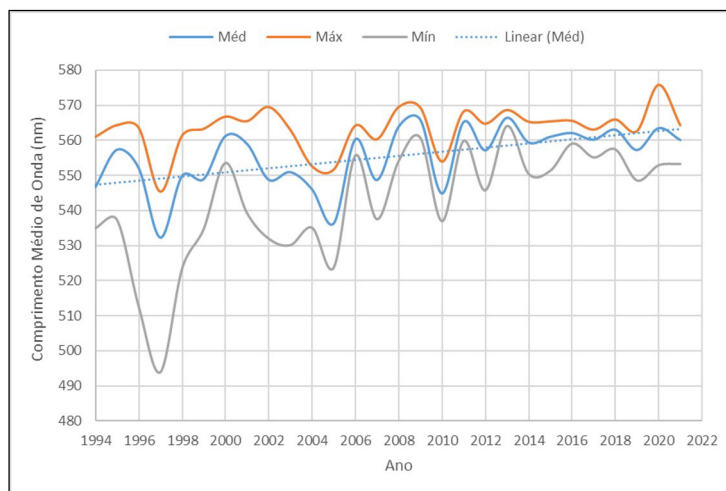


Figura 8 – Comprimentos médios dominantes em (nm) por ano na bacia do Rio Ji-Paraná.

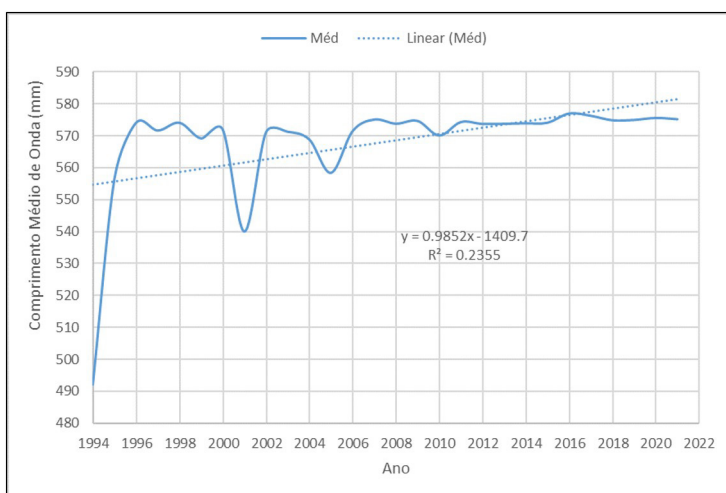


Figura 9 – Comprimentos médios dominantes em (nm) por ano na bacia do Rio Amaná.

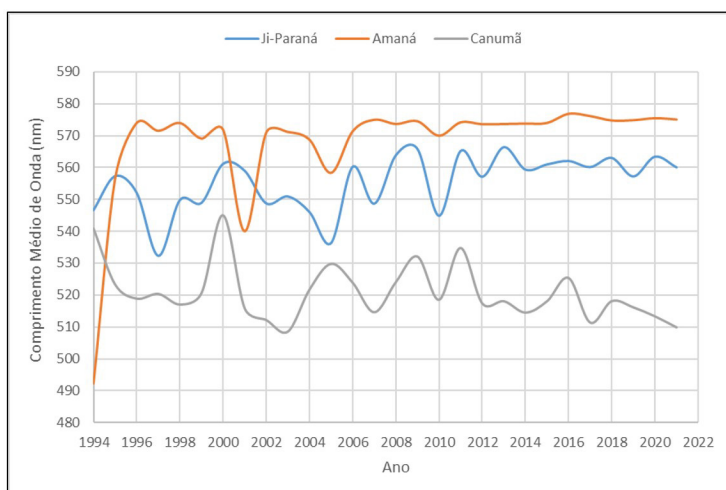


Figura 10 – Comprimentos médios dominantes em (nm) por ano nas três bacias estudadas.

Em um comparativo entre as três sub-bacias analisadas Figura 10, observa-se que a bacia do Amaná, apresenta valores médios significativamente mais elevados que as demais, enquanto que a bacia do Canumã apresentas médias menores, e para o Rio Ji-Paraná temos valores intermediários, também de acordo com o Quadro 3.

Foram analisados estatisticamente os valores médios de comprimento de onda dominante, obtidos para a elaboração da escala de cor FU (Wang et al., 2014). Como ferramenta foi utilizado o *Real Statistics* (Zaiontz, 2023) e suas pré-configurações para realização dos testes.

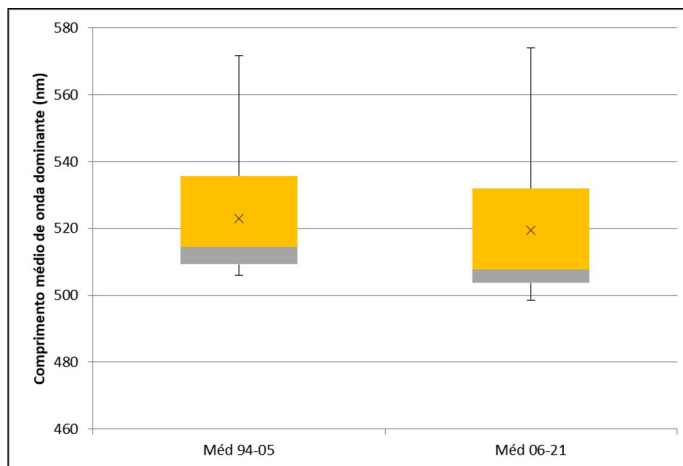


Figura 11 - Gráfico dos valores médios para as duas subséries do Canumã.

Inicialmente verificou-se a normalidade das subséries, 1994/2005 e 2006/2021 para as três bacias analisadas. Verificou-se também a normalidade da diferença entre os dois períodos, (Figuras 11, 13 e 15).

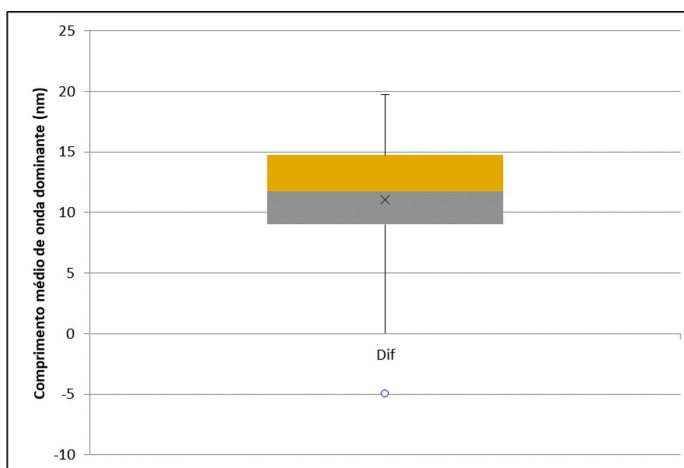


Figura 12 - Gráfico dos valores médios da diferença entre as subséries do Canumã.

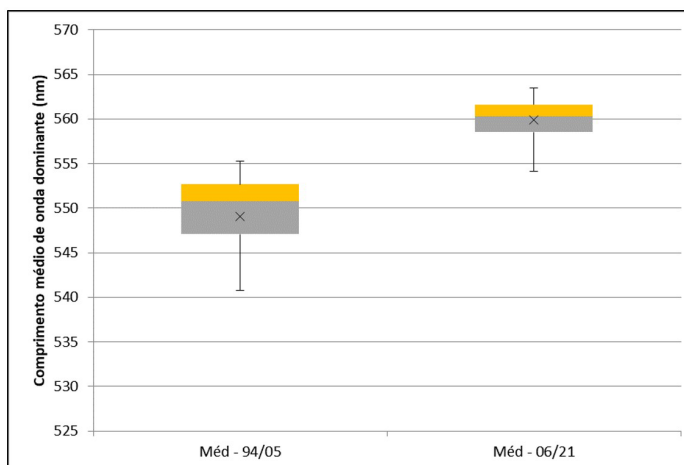


Figura 13 - Gráfico dos valores médios para as duas subséries do Ji-Paraná.

Os dados obtidos em valores médios para as séries são bastante consistentes, apresentando poucos *outliers* nas séries (Figuras 11, 12, 13, 14 e 15), e apenas um em cada subsérie, quando se analisa a diferença entre os períodos de 1996/2005 e 2006/2021, sendo possível a utilização dos testes t, e Mann-Kendall, e da ferramenta *Real Statistics* (Zaiontz, 2023).

Conforme os testes de Shapiro-Wilk (González-Estrada & Cosmes, 2019; Wilks, 2011) e D'Agostino-Pearson (D'Agostino et al., 1990), as séries da bacia do Canumã não possui características de normalidade, com um valor p menor que $\alpha: 0,05$, sendo indicado um teste não paramétrico. A bacia do Ji-Paraná apresentou valores de p maiores que $\alpha: 0,05$, admitindo-se a normalidade, sendo um teste paramétrico como mais adequado. Para a bacia do Amaná, a série apresentou um valor menor que $\alpha: 0,05$, sendo mais indicado um teste não paramétrico (Salas, 1993; Wilks, 2011).

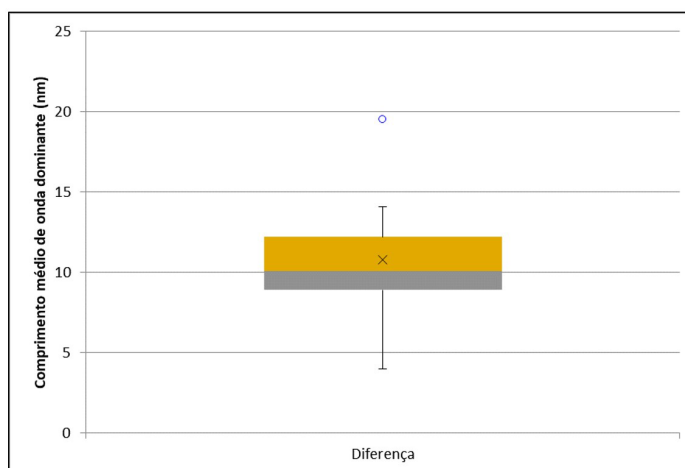


Figura 14 - Gráfico dos valores médios da diferença entre as subséries do Ji-Paraná.

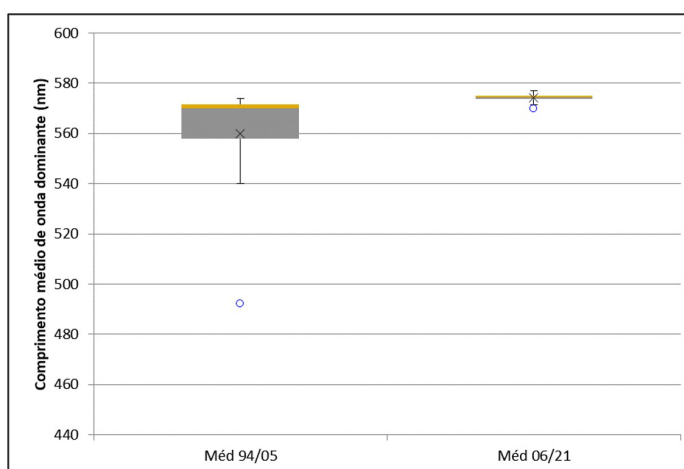


Figura 15 - Gráfico dos valores médios da diferença entre as subséries do Amaná.

Para as bacias do Rio Canumã e Amaná, foram analisadas duas subséries vinculadas, porém não correspondendo a normalidade, desta forma foi realizado o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1948). Para a bacia do Rio Ji-Paraná foi considerada análise para duas subséries vinculadas, consideradas normais. Desta forma foi utilizado o teste paramétrico Teste t Student (Salas, 1993). Na sub-bacia do Canumã o teste não paramétrico de Mann-Kendall, demonstrou que o valor de p: 0,0002 é menor que o nível de significância adotado de $\alpha: 0,05$, indicando que a diferença entre as duas subséries é significativa. Com tendência de valores médios menores no período de 2006/2021 que no anterior de 1994/2005 (Figura 11) (Mann, 1945; Kendall, 1948).

Para a sub-bacia do Ji-Paraná, o teste t demonstrou que existe diferença significativa entre os dois períodos analisados, nas subséries de 1994/2005 e 2006/2021, onde o valor de p: 0,000036 é menor que o nível de significância adotado de $\alpha: 0,05$. Na bacia do Ji-Paraná a subsérie de 2006/2021 apresentou valores médios maiores que o período anterior (Figura 13) (Salas, 1993; Wilks, 2011). O teste de Mann-Kendall,

demonstrou que o valor de p : 0,003 é menor que o nível de significância adotado de α : 0,05, indicando que a diferença entre as duas subséries é significativa. Observa-se que a diferença é para mais, indicando um ganho de comprimento médio de onda dominante nos trechos da bacia do Ji-Paraná (Figura 13).

Quanto a sub-bacia do Amaná, o teste de Mann-Kendall, demonstrou que o valor de p : 0,0012 é menor que o nível de significância adotado de α : 0,05, indicando que a diferença entre as duas subséries é significativa. Com tendência de valores médios maiores no período de 2006/2021 que no anterior de 1994/2005 (Figura 15) (Mann, 1945; Kendall, 1948).

3.2 Dados de sedimentos *in loco*

Para a bacia do Rio Ji-Paraná, foram extraídos dados de material em suspensão da estação ANA n.º 15560000, localizada no município de Ji-Paraná (Figura 16).

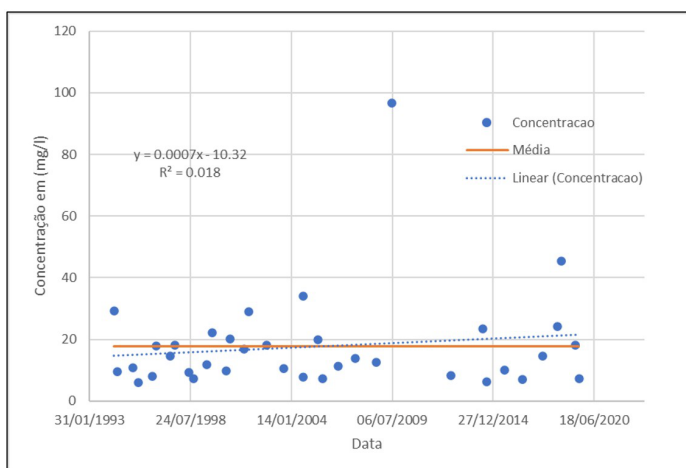


Figura 16 – Série histórica de sedimentos, estação (15560000).

Quadro 4 – Resumo estatístico do material em suspensão em (mg/l).

Bacia	Max	Méd.	Min	Des. P.
Ji-Paraná	96.71	18.08	5.95	16.04

Após uma primeira análise com o *Real Statistis* (Zaiontz, 2023) foram verificadas as características da série quanto à normalidade (Figura 17). A série apresentou uma média 18,08 mg/l de material em suspensão, com um máximo de 96,71, e um mínimo de 5,95 mg/l (Quadro 4).

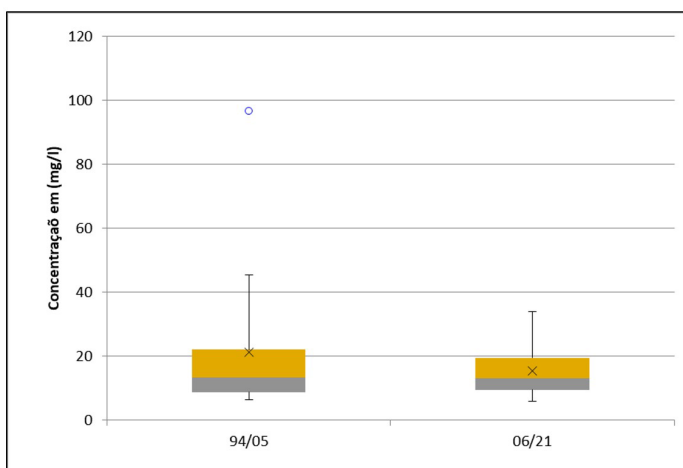


Figura 17 – Valores médios observados de material em suspensão.

Estatisticamente a série não atendeu aos critérios de normalidade (Salas, 1993), com os testes de Shapiro-Wilk (González-Estrada & Cosmes, 2019; Wilks, 2011) e D'Agostino-Pearson (D'Agostino et al., 1990), sendo mais indicado um teste não paramétrico (Campos, 2000), sendo utilizado o de Mann-Kendall. Para o teste Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1948), após a análise das medianas, este resultou na não significância das variações entre 1994 e 2021, ou variação entre as subséries de 1994/2005 e 2006/2021, onde o valor p : 0,58 é maior que o nível de significância α : 0,05. Para o teste t , o resultado de p : 0,28, maior que α : 0,05, também indicou a não significância das variações, quanto aos dados de sedimentos.

3.3 Bare Soil Index - BSI

Após o processamento das imagens de satélite, foram obtidos dados de solo exposto (NDSI e BSI), e outras informações por meio da matemática de bandas espectrais. Separando o solo nu de outras características da cobertura da terra, principalmente a diferenciação entre solo descoberto e áreas de floresta (Li & Chen, 2014; Nguyen et al., 2021).

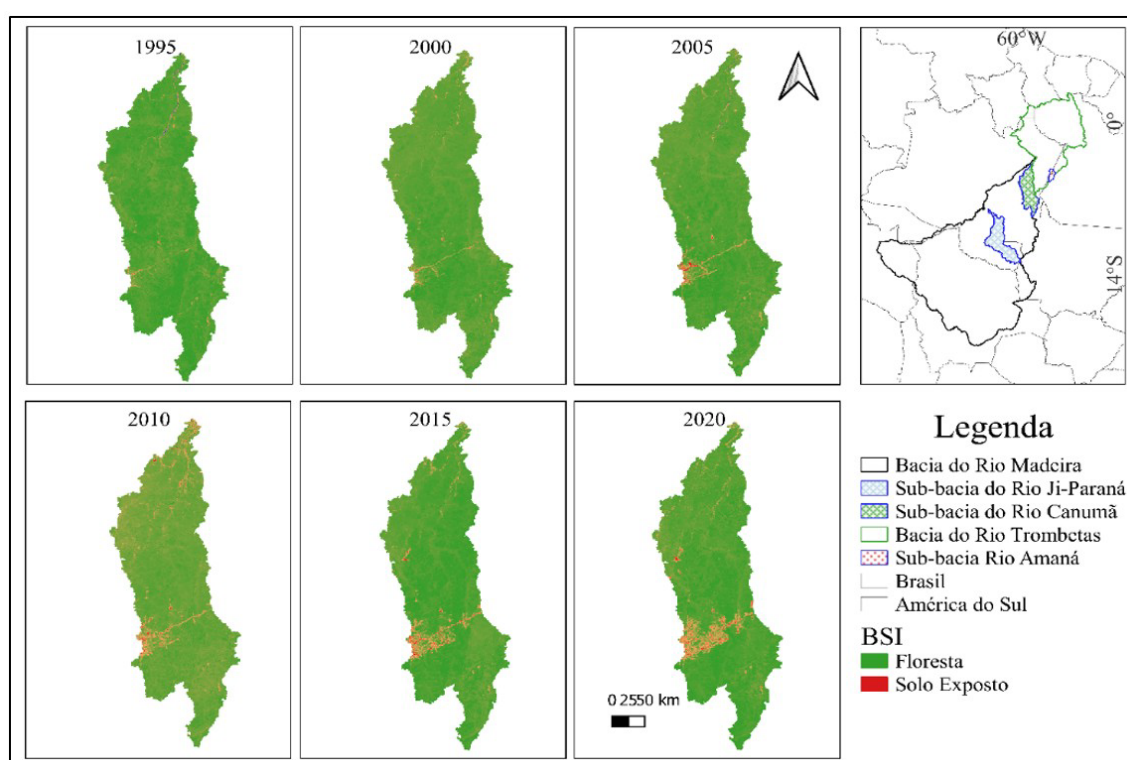
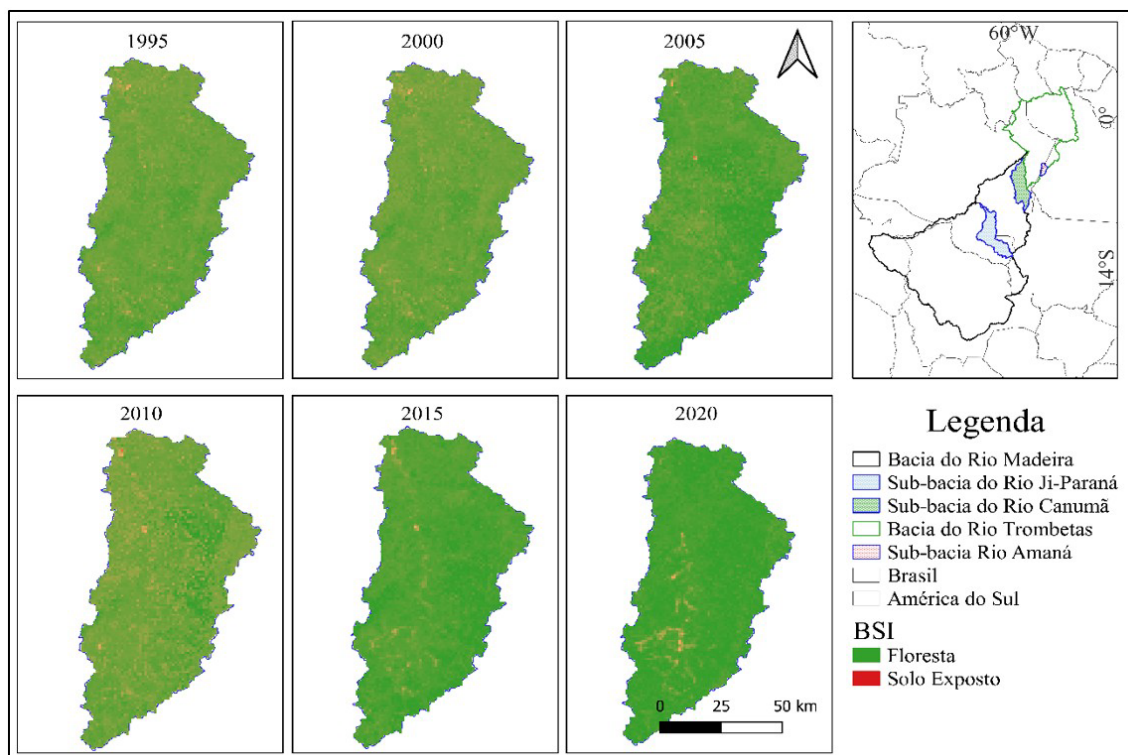
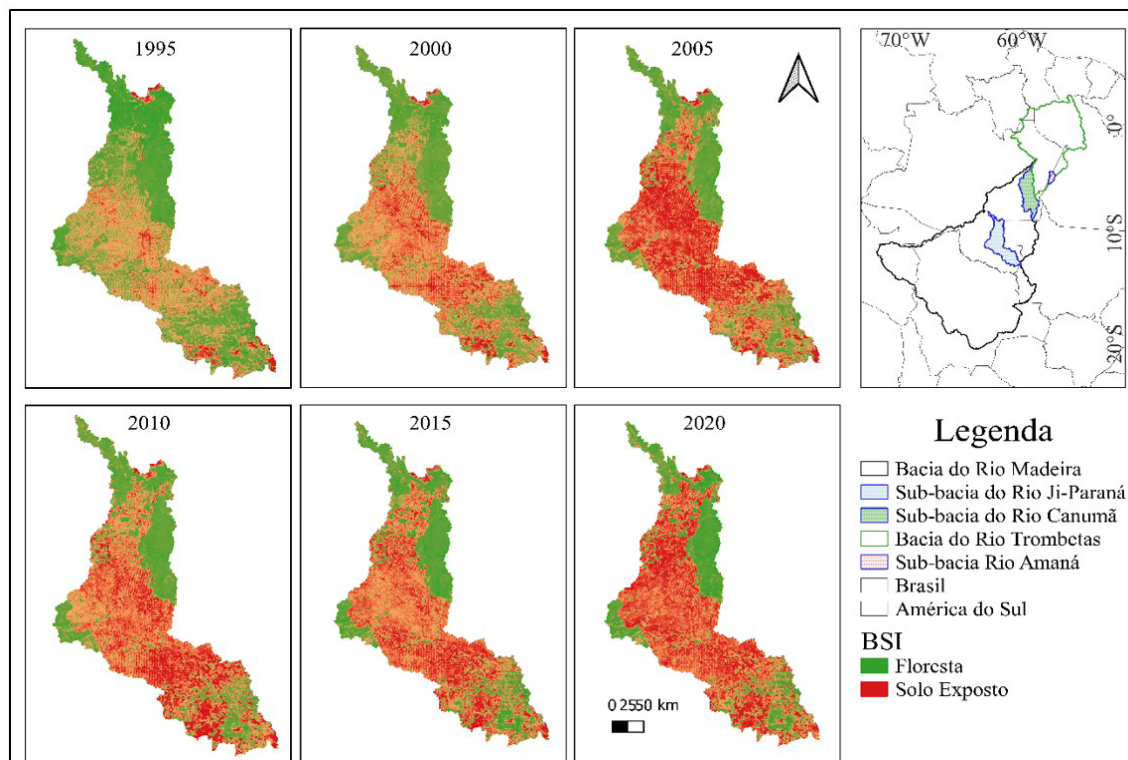


Figura 18 - Índice BSI para a bacia do Rio Canumã.

Como demonstrado na Figura 18, as áreas de valores médios de BSI variaram na bacia do Canumã, em 1995 a área ocupada ainda era pouco significativa, com grande parte da bacia em bom estado de preservação. Em 2005 observa-se um início das atividades antrópicas, que tem crescido na região centro-sul da bacia.

Na bacia do Ji-Paraná, observam-se alterações entre 1995 e 2021, demonstrando uma região atualmente bastante antropizada, com ocupação e áreas de solo expostas bem significativas desde o início dos anos 2000 (Figura 19). A bacia do Ji-Paraná encontra-se bastante antropizada, altamente afetada pela ocupação rondoniense, implantada entre nos anos de 1960 e 1980, intensificada nas últimas décadas com a consolidação das atividades econômicas, da agricultura e da pecuária na região (Rondônia, 2018).

Na bacia do Amaná (Figura 20), a preservação de suas florestas se mantém, com pouca ou nenhuma presença de atividade mais extensiva como a pecuária e a agricultura. De 2015 a 2020 é possível observar supressão das florestas no entorno dos seus igarapés, como apresentado também na Figura 03.



Os dados para cálculo do BSI, as bandas NIR, SWIR1 e SWIR2, podem ser afetadas por condições do solo e cobertura (Nguyen et al., 2021), para contornar a sazonalidade foram utilizados valores médios anuais, devido ao tamanho da área dos trechos analisados, características dos perímetros urbanos como as ruas e telhados são pouco significativos, assim como a altura da vegetação no entorno pouco representativa para a escala utilizada (Li & Chen, 2014). As condições de solo exposto, podem

afetar as características dos corpos hídricos. Onde solos expostos permitem um maior transporte de sedimentos, principalmente em períodos chuvosos, sendo pouco significativas em períodos secos. Ao contrário, as atividades mineradoras se intensificam em períodos de seca, favorecendo o lançamento de material inorgânicos nas águas (Abe et al., 2019).

3.4 Análise das alterações de cor da água

Três séries de cor foram obtidas entre 1994 e 2021, uma para cada sub-bacia estudada, para a escala de cor FU. Variando do azul FU1 para as águas transparentes e com poucos sedimentos, para o vermelho FU21 representando as águas mais avermelhadas com maior presença de sedimentos (Wang et al., 2014; Gardner et al., 2021).

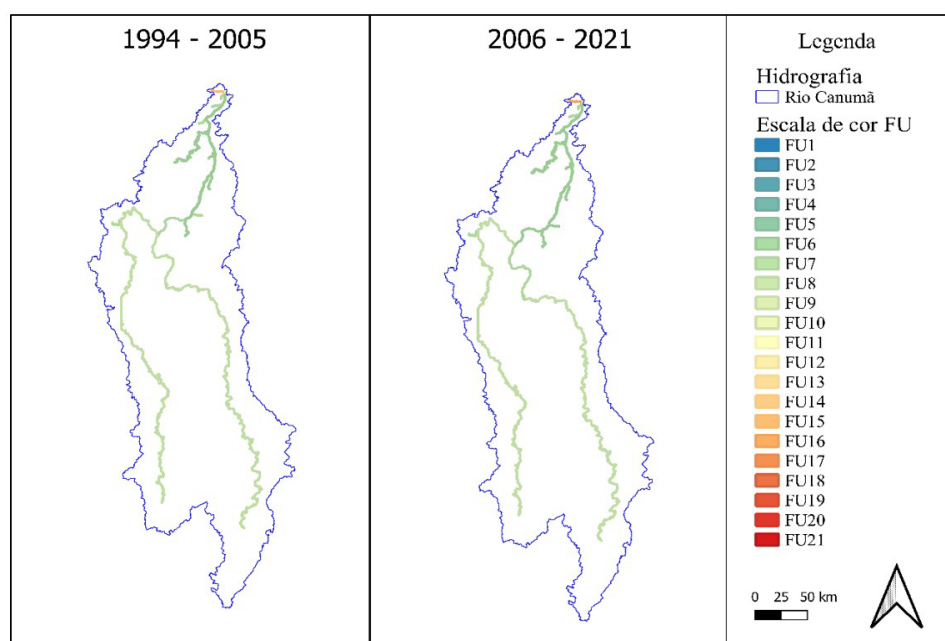


Figura 21 - Escala de cor para a bacia do Rio Canumã.

A sub-bacia do Canumã (Figura 21), apresentou em seus 27 trechos maiores que 30 metros de largura, valores médios menores no período entre 2006/2021, do que no período entre 1994/2005 (Quadro 5). Considerando as escalas de cor FU, o período inicial possuía 9 classes variando entre FU6 à FU15, enquanto que no intervalo final variou entre a FU6 e a FU17 com 11 classes. Considerando a figura 21, observam-se poucas diferenças na escala de cores (Wernand, 2011; Wang et al., 2014; Gardner et al., 2021). Com exceção do último trecho no extremo norte da bacia, com uma cor mais avermelhada com FU17, próximo à foz com o Rio Madeira, fenômeno comum em afluentes de Rios de elevada turbidez como o Amazonas e Madeira (Diniz et al., 2022).

Quadro 5 – Resumo de comprimentos de ondas observados na bacia do Canumã.

Ano	Trechos	Max	Méd.	Min	Des. P.	FU
94-05	27	572	523	506	19	6-15
06-21	27	574	519	499	23	6-17

A sub-bacia do Ji-Paraná apresentou em seus 11 trechos maiores que 30 metros de largura, valores médios, máximo e mínimos, maiores no período entre 2006/2021 que no período entre 1994/2005. Considerando as escalas de cor FU o período inicial possuía 2 classes variando entre FU8 à FU9, enquanto que no intervalo final variou entre a FU8 e a FU10 com 03 classes, (Quadro 6).

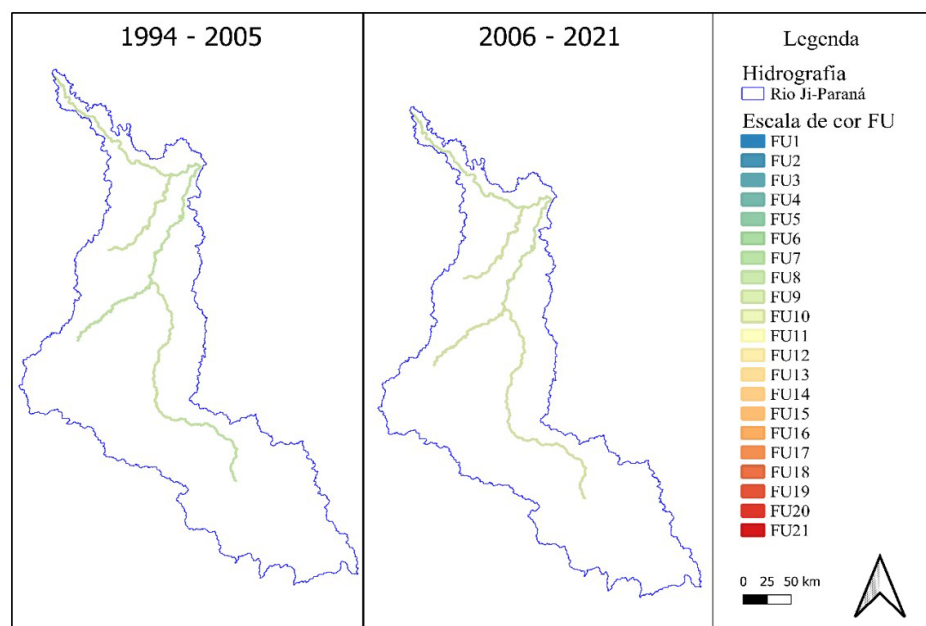


Figura 22 - Escala de cor para a bacia do Rio Ji-Paraná.

Considerando a figura 22 observam-se poucas diferenças na escala de cores, onde no período 2006/2021 o verde tende para um tom mais amarelado, devido à variação das escalas médias de FU9 para FU10 (Wernand, 2011; Wang et al., 2014; Gardner et al., 2021).

Quadro 6 – Resumo estatístico dos comprimentos de ondas observados, Ji-Paraná.

Ano	Trechos	Max	Méd.	Min	Des. P.	FU
94-05	11	555	549	541	5	8-9
06-21	11	563	560	554	3	8-10

Na sub-bacia do Amaná, os resultados obtidos apresentam valores médios maiores no período entre 2006/2021. Quanto a escala FU, no período anterior a escala apresentada era FU 10, enquanto que no período mais recente o trecho é representado pela escala FU 17, indo de uma média de 560 nm, para 574 nm, nos períodos entre 1994/05 e 2006/21 respectivamente (Quadro 7). Quanto às cores, (Figura 23), o trecho analisado, variou da cor verde amarelado, para um vermelho, compatível com águas com uma considerável presença de sedimentos (Wernand, 2011; Wang et al., 2014; Gardner et al., 2021).

As características de cor, baseadas em comprimentos médios de onda dominante por trecho observado, demonstraram as condições e as variações de cor no período analisado. Onde as bacias do Ji-Paraná (Figura 22, Quadro 6), e Amaná (Figura 23, Quadro 7), apresentaram tendências de crescimento no comprimento médio e consequentemente na escala de cor FU, de FU8 para FU10, e de FU10 para FU17, respectivamente. Na bacia do Canumã não ocorreu crescimento dos comprimentos médios de onda (Figura 21, Quadro 5). Na bacia do Canumã sua escala FU variou consideravelmente devido ao trecho de sua foz que sofre influência do Rio Madeira deixando as águas mais barrentas, no restante da bacia ou ocorreu uma perda do comprimento médio, ou um ganho pouco significativo.

A variabilidade da cor da água ao longo de um rio, sugere fatores atuantes tanto dentro do canal, quanto na paisagem influenciando a cor dominante do trecho de rio. Embora as propriedades climáticas e da paisagem influenciem a gama de cores que um rio pode ter, efeitos dentro do canal, transições rápidas de uso e cobertura do solo, podem redefinir a cor predominante das águas. A fragmentação e as transições de cor ao longo dos rios são importantes porque a cor provavelmente está ligada à função ecoantropológicas. Os padrões espaciais observados na cor podem ser indicativos de regimes de produtividade primária, sedimentos suspensos (Gardner et al., 2021).

Quadro 7 – Resumo estatístico dos comprimentos de ondas observados, Amaná.

Ano	Trechos	Max	Méd.	Min	Des. P.	FU
94-05	1	574	560	492	24	10
06-21	1	577	574	570	2	17

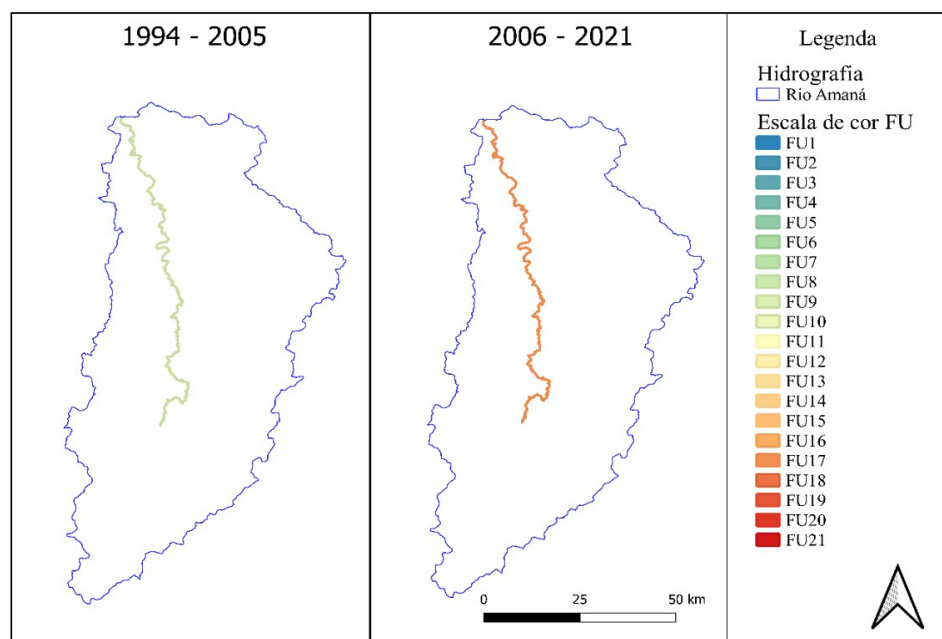


Figura 23 - Escala de cor para a bacia do Rio Amaná.

O sensoriamento remoto da cor da água pode oferecer novas maneiras de quantificar a sazonalidade dos rios, complementando os esforços focados na medição de processos ecossistêmicos. Com mais validação, a cor do rio pode ser usada como um potencial indicador para processos ecossistêmicos. A cor do rio também pode fornecer uma camada crítica de dados para modelos de distribuição de condições ambientais, como a turbidez (Gardner et al., 2021). Os resultados obtidos neste estudo indicam que a cor da água, em termos de comprimento de onda dominante e classe FU, pode ser, até certo ponto, em águas naturais um indicador da qualidade, e também pode ser considerada um produto primário da qualidade da água. Isso também possibilita o monitoramento contínuo de longo prazo de águas opticamente complexas em amplas áreas usando técnicas de sensoriamento remoto (Wang et al., 2014).

4 - CONSIDERAÇÕES

Foram demonstradas as alterações nas cores das águas das sub-bacias dos Rios Canumã, Ji-Paraná e Amaná. Onde os trechos analisados apresentaram uma coloração mais amarelada, com mudança na cor da água para tons mais avermelhados nas bacias do Ji-Paraná e Amaná, um indicativo de aumento de material sedimentar. A presença das atividades garimpeiras e mineradoras pelas bacias, mais significativamente no Rio Amaná, indicam uma possível origem destes sedimentos, devido às características destas atividades, e das condições de solo exposto da sub-bacia.

A série histórica criada demonstrou as tendências das médias das três sub-bacias, onde a região do Rio Ji-Paraná e Amaná, apresentaram movimento de crescimento, dos comprimentos médios de ondas observados nos trechos, enquanto que a bacia do Canumã apresentou um decréscimo das médias. O método de cálculo de cor por meio de ângulos e comprimentos médios de onda dominante, permitiu observar as bacias com maiores alterações. Com tendências de crescimento e aumento dos valores médios.

Resultados obtidos por cálculos de BSI, demonstraram as alterações sofridas pelas bacias, onde as regiões de solo exposto foram consolidadas na bacia do Ji-Paraná, e já eram bastante significativas em 1995, com alterações para 2020, seguindo as literaturas consultadas a respeito da consolidação das atividades antrópicas nas últimas décadas, com as atividades mineira e principalmente agropecuárias. Para a bacia do Canumã os dados de BSI apresentaram um início de ocupação na bacia, com um crescimento de 2005 para 2021. Na Bacia do Amaná, a presença antrópica se resume às margens dos igarapés. O levantamento estatístico corroborou com os dados de cor, material em suspensão, mineração e solo exposto, demonstrando que as alterações são significativas estatisticamente quanto às condições de cor, e que há diferenças entre os períodos e subséries analisadas.

O trabalho demonstrou que as águas das sub-bacias do Rio Madeira e Trombetas vêm sofrendo alterações, principalmente a bacia do Ji-Paraná, área com características antrópicas bastante consolidadas, com grandes áreas de solo exposto, ocupadas por atividades econômicas como agropecuária, e Amaná com presença de atividades de garimpo, onde as águas de seus afluentes adquiriram maiores comprimentos de onda médios, devido ao ganho de material sedimentar, resultado das suas condições atuais de uso e ocupação. O uso do sensoriamento remoto mostrou-se como uma ferramenta valiosa para compreensão e tratamento de dados em grandes áreas e com informações escassas. O uso associado de ferramentas locais como Qgis e processamentos em nuvem com o GEE, mostraram-se favoráveis, evitando o *download* de grande volume de dados.

Os resultados obtidos podem contribuir para a compreensão da formação da qualidade das águas nas bacias hidrográficas, demonstrando as suas condições de uso e ocupação e das atividades desenvolvidas e como estas impactam no ambiente. O sensoriamento remoto associado a metodologia aplicada, viabilizam observar as alterações na cor da água, permitindo o gerenciamento das bacias quanto a presença de mineração e garimpo, possibilitando a elaboração de políticas públicas voltadas para as condições ambientais e boas práticas na indústria da mineração. Assim como também rastrear fontes poluidoras produtoras de sedimentos, identificando os trechos afetados pela presença dos garimpos ilegais, e sua expansão pelo interior das florestas densas e de difícil acesso. Tornando o monitoramento e fiscalização das atividades mineradoras mais efetivas, coibindo o garimpo ilegal e os impactos dessa atividade na qualidade das águas e do meio ambiente.

Com sugestão para trabalhos futuros, fica a adaptação dos códigos e rotinas para outras missões de satélites, principalmente aquelas de mais alta resolução, permitindo a observação de corpos hídricos menores, como pequenos igarapés, tornando o rastreamento das influências da mineração mais efetivos. Buscar métodos que automatizem os processos de obtenção das imagens, das rotinas de geoprocessamento, permitindo a aplicação em grandes bacias, e/ou em grande número de áreas menores.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- Abe, C. A., Lobo, F. L., Novo, E. M. L. M., Costa, M., & Dibike, Y. (2019). Modeling the effects of land cover change on sediment concentrations in a gold-mined Amazonian basin. *Regional Environmental Change*, 19(6), 1801-1813.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2017). *Bacias Hidrográficas Ottocodificadas (Nível 2 e 4)*. Brasília. Recuperado em 5 de maio de 2022, de <https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/93d6c46c6a4e47fbb5bb281b7cbc8847/explore?location=-15.485141%2C-60.179825%2C4.43>
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA. (2024). *Hidroweb*. Brasília. Recuperado em 14 de fevereiro 2024, de <https://www.snirh.gov.br/hidroweb>
- Agência Nacional de Mineração – ANM. (2022b). *Sistema de Informações Geográficas da Mineração – SIGMINE*. Brasília. Recuperado em 12 de maio 2024, de app.anm.gov.br/-/dadosabertos/SIGMINE/
- Ariza, A., Davila, N. A., Kemper, H., & Kemper, G. (2021). Landslide detection in central america using the differential bare soil index. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 679-684.
- Barbosa, C. C. F., Novo, E. M. L. M., & Martins, V. S. (Eds.), (2019). *Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- Campos, G. M. (2000). *Estatística Prática para Docentes e Pós-Graduandos: a escolha do teste mais adequado*. Online. São Paulo. Recuperado em 15 de agosto 2023, de https://www.forp.usp.br/restauradora/gmc/gmc_livro/gmc_livro_cap14.html.
- D'Agostino, R. B., Belanger, A., & D'Agostino Junior, R. B. (1990). A suggestion for using powerful and informative tests of normality. *The American Statistician*, 316-321.
- Diniz, C., Marinho, R., Cortinhas, L., Sadeck, L., Walfir, P., Shimbo, J., Rosa, M., & Azevedo, T. (2022). *Nota Técnica sobre os sedimentos em Suspensão na Bacia do Tapajós* (No. 06). MAPBIOMAS. Recuperado em 17 de abril

- 2022, de
https://www.researchgate.net/publication/358078041_Nota_Tecnica_sobre_Sedimentos_em_Suspensao_na_Bacia_do_Tapajos
- Espinoza-Villar, R., Martinez, J.-M., Armijos, E., Espinoza, J.-C., Filizola, N., Santos, A., Willems, B., Fraizy, P., Santini, W., & Vauchel, P. (2018). Spatio-temporal monitoring of suspended sediments in the Solimões River (2000–2014). *Comptes Rendus Geoscience*, 350(1-2), 4-12.
- Fassoni-Andrade, C., Fleischmann, A. S., Papa, F., Paiva, R. C. D., Wongchuig, S., Melack, J. M., Moreira, A. A., Paris, A., Ruhoff, A., Barbosa, C., Maciel, D. A., Novo, E., Durand, F., Frappart, F., Aires, F., Abrahão, G. M., Ferreira-Ferreira, J., Espinoza, J. C., Laipelt, L., Costa, M. H., Espinoza-Villar, R., Calmant, S., & Pellet, V. (2021). Amazon hydrology from space: scientific advances and future challenges. *Reviews of Geophysics*, 59(4), e2020RG000728.
- Fontoura, J. R., & Paiva, R. C. D. (2021). Dinâmica da qualidade da água de rios brasileiros a partir da determinação da cor da água por imagens de satélite. In *Anais do 24º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Porto Alegre: ABRHidro. Recurso eletrônico.
- Gardner, J. R., Yang, X., Topp, S. N., Ross, M. R. V., Altenau, E. H., & Pavelsky, T. M. (2021). The color of rivers. *Geophysical Research Letters*, 48(1), e2020GL088946. <https://doi.org/10.1029/2020GL088946>.
- González-Estrada, E., & Cosmes, W. (2019). Shapiro–Wilk test for skew normal distributions based on data transformations. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 89(17), 3258-3272.
- González-Estrada, E., & Cosmes, W. (2019). Teste de Shapiro–Wilk para distribuições normais assimétricas com base em transformações de dados. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 89(17), 3258-3272.
- Google Earth. (2024). *Google Earth website*. Recuperado em 15 de agosto 2023, de <http://earth.google.com/>.
- Kendall, M. G. (1948). *Rank correlation methods*. Hafner Publishing Company.
- Li, S., & Chen, X. (2014). A new bare-soil index for rapid mapping developing areas using LANDSAT 8 data. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial, Information Sciences*, 2(4), 139-144.
- Lobo, F. L., Costa, M. P. F., & Novo, M. L. M. (2015). Time-series analysis of Landsat-MSS/TM/OLI images over Amazonian waters impacted by gold mining activities. *Remote Sensing of Environment*, 157, 170-184.
- Lobo, F. L., Costa, M., Novo, E. M. L. M., & Telmer, K. (2017). Effects of small-scale gold mining tailings on the underwater light field in the Tapajós river basin, Brazilian amazon. *Remote Sensing*, 9(8), 861.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 245-259.
- Nascimento, C. P., Silva, M., & Santos, C. (2014). A Formação do Espaço de Rondônia: uma análise do zoneamento sócioecológico econômico e do uso e cobertura da terra. *Revista Geografar*, 9(1), 117-141.
- Nasser, F. C., Mello, D. C., Francelino, M. R., Krause, M. B., Soares, H. M., & J. A. M. Demattê (2024). Mapping deactivated mine areas in the amazon forest impacted by seasonal flooding: Assessing soil-hydrological processes and quality dynamics by remote sensing techniques. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 101148.
- Nguyen, C. T., Chidthaisong, A., Diem, P. K., & Huo, L.-Z. (2021). A modified bare soil index to identify bare land features during agricultural fallow-period in southeast Asia using Landsat 8. *Land (Basel)*, 10(3), 231.
- Rondônia. Secretaria de Meio Ambiente. (2018). *Plano Estadual de Recursos Hídricos – Relatório Final*. Curitiba: RHA Engenharia e Consultoria.
- Salas, J. D. (1993). Analysis and modeling of hydrologic time series. In: D. R. Maidment. *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill: New York.
- Souza Junior, C. M., Shimbo, J. Z., Rosa, M. J., Parente, L. L., Alencar, A. A., Rudorff, B. F. T., Hasenack, H., Matsumoto, M., G. Ferreira, L., Souza-Filho, P. W. M., de Oliveira, S. W., Rocha, W. F., Fonseca, A. V., Marques, C. B., Diniz, C. G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E. R., Vélez-Martin, E., Weber, E. J., Lenti, F. E. B., Paternost, F. F., Pareyn, F. G. C., Siqueira, J. V., Viera, J. L., Neto, L. C. F., Saraiva, M. M., Sales, M. H., Salgado, M. P. G., Vasconcelos, R., Galano, S., Mesquita, V. V., & Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12172735>
- Villar, R. E., Martinez, J.-M., Guyot, J.-L., Fraizy, P., Armijos, E., Crave, A., Bazán, H., Vauchel, P., & Lavado, W. (2012). The integration of field measurements and satellite observations to determine river solid loads in poorly monitored basins. *Journal of Hydrology*, 444, 221-228.
- Vincent, H. D., & Vasconi, M. C. M. (2016). Mineração na América do Sul Neoeextrativismo e Lutas Territoriais. *Interfaces-Revista de Extensão da UFMG*, 5(2), 66-76.

- Vincent, H. D., & Vasconi, M. C. M. (2017). Mineração na América do Sul Neoextrativismo e Lutas Territoriais. *Interfaces-Revista de Extensão da UFMG*, 5(2), 66-76.
- Wang, S., Li, J., Shen, Q., Zhang, B., Zhang, F., & Lu, Z. (2014). MODIS-based radiometric color extraction and classification of inland water with the Forel-Ule scale: a case study of Lake Taihu. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(2), 907-918.
- Wernand, M. R. (2011). *Poseidon's paintbox: historical archives of ocean colour in global-change perspective*. Ph. D. Thesis.
- Wernand, M. R., & van der Woerd, H. J. (2010). Análise espectral da escala comparadora de cores Forel-Ule Ocean. *Journal of the European Optical Society-Rapid Publications*, 5, 10014s.
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press.
- Zaiontz, C. (2023). *Real statistics using excel*. Recuperado em 1 de agosto 2023, de <https://real-statistics.com>

Contribuições dos autores:

Flavio Fagundes de Paula: Conceitualização, metodologia, coleta e análise de dados, análise formal, escrita, revisão.

Jéssica Ribeiro Fontoura: Metodologia, análise formal, revisão.

Rodrigo Cauduro Dias de Paiva: Conceitualização, metodologia, análise formal, revisão.