

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos



Dissertação

**Uso de veículo aéreo não tripulado (Vant) na estimativa da turbidez das águas
do Canal São Gonçalo, Pelotas – RS, Brasil.**

Janice Ferreira da Silveira

Pelotas, 2022

Janice Ferreira da Silveira

**Uso de veículo aéreo não tripulado (Vant) na estimativa da turbidez das águas
do Canal São Gonçalo, Pelotas – RS, Brasil.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, do Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Gilberto Loguercio Collares

Coorientador: Felipe de Lúcia Lobo

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S587u Silveira, Janice Ferreira da

Uso de veículo aéreo não tripulado (Vant) na estimativa da turbidez das águas do canal São Gonçalo, Pelotas - RS, Brasil / Janice Ferreira da Silveira ; Gilberto Loguercio Collares, orientador ; Felipe de Lúcia Lobo, coorientador. — Pelotas, 2022.

104 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. UAV. 2. Vant. 3. Turbidez. 4. Calibração espectral. 5. Sensoriamento remoto. I. Collares, Gilberto Loguercio, orient. II. Lobo, Felipe de Lúcia, coorient. III. Título.

CDD : 627

Janice Ferreira da Silveira

Uso de veículo aéreo não tripulado (Vant) na estimativa da turbidez das águas
do Canal São Gonçalo, Pelotas – RS, Brasil.

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em
Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal
de Pelotas.

Data da Defesa: 26 de maio de 2022

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares (Orientador)

Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria



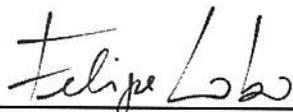
Prof. Dr. Alexandre Felipe Bruch

Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul



Prof. Dr. Angélica Cirolini

Doutora em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul



Prof. Dr. Felipe de Lucia Lobo (Coorientador)

Doutor em Geografia pela Universidade de Victoria (Canadá)

**“A luz da natureza, a luz da razão e a luz da
revelação se unirão.” Karl Von Eckartshausen**

**Dedico este trabalho a todos incógnitos que
buscam e oferecem respostas através da luz.**

Agradecimentos

Agradeço Aquele que faz tudo que é, vir a ser.

Ao prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares pela parceria de muitos anos, pelo apoio, paciência e compreensão na orientação deste trabalho.

Ao prof. Dr. Felipe de Lúcia Lobo pela parceria, todo o apoio, orientações e conhecimento que abrilhantaram esta pesquisa.

A todos aqueles que trouxeram uma parcela de contribuição direta ou indiretamente, seja em uma conversa, seja apoiando as saídas de campo ou de outras maneiras.

A Universidade Federal de Pelotas por me oportunizar o ensino, em especial ao curso de Graduação em Engenharia Hídrica.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da UFPel pela oportunidade e todo suporte de conduzir este estudo.

Resumo

SILVEIRA, Janice Ferreira da. **Uso de veículo aéreo não tripulado (Vant) na estimativa da turbidez das águas do Canal São Gonçalo, Pelotas – RS, Brasil.**

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares. Coorientador Prof. Dr. Felipe de Lucia Lobo. 2022. 104f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

A água é um elemento integrador e fundamental para o desenvolvimento humano. Para assegurar a disponibilidade hídrica com qualidade adequada para os distintos usos, são necessários instrumentos de gestão e controle eficazes e alinhados com a velocidade de resposta que o mundo moderno impõe. As técnicas convencionais de amostragem para monitoramento de recursos hídricos possuem limitações espaciais e temporais e neste sentido o sensoriamento remoto apoiado com uso de veículos aéreos não tripulados (Vants) se insere como uma das ferramentas capazes de agregar velocidade e amplitude de áreas de monitoramento. O objetivo deste estudo foi estimar a turbidez da água por meio de valores de reflectâncias obtidos a partir da calibração de ortomosaicos produzidos por Vants no espectro visível (RGB). A metodologia desenvolvida neste estudo compreendeu atividades de campo com amostragem de turbidez, captura de imagens aéreas por Vants e aquisição de imagens satelitais do Sentinel 2. As amostragens de turbidez, *in situ*, foram realizadas utilizando uma sonda multiparamétrica e a captura de imagens aéreas foi através de sensor de imagem RGB embarcado em Vant Phantom 4 (DJI) em sincronia com a passagem do sensor MSI (Sentinel 2). Para calibração espectral foram utilizadas placas de referência com reflectância conhecida. A relação entre as variáveis investigadas permitiu identificar 7 principais fatores que afetaram os resultados alcançados, além de diversas recomendações para aplicação em pesquisas envolvendo estudos similares em pequenos ecossistemas aquáticos.

Palavras-chave: UAV. Turbidez. Calibração espectral. Sensoriamento remoto.

Abstract

SILVEIRA, Janice Ferreira da. **Use of an unmanned aerial vehicle (UAV) in the estimation of the turbidity of the waters of the São Gonçalo Channel, Pelotas – RS, Brazil.** 2022. 104p. Dissertation (Master Degree em Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

Water is an integrating and fundamental element for human life and development. To ensure the availability of water with adequate quality for different uses, effective and aligned management and control tools are needed as the speed of that the modern world presents. Conventional sampling techniques for monitoring water resources have spatial and temporal limitations and in this point remote sensing through unmanned aerial vehicles (UAVs) is one of the technologies capable of adding speed and expanding the monitoring areas. The objective of this dissertation was to estimate the turbidity of water through reflectance values obtained from the calibration of orthomosaics produced by UAVs in the visible spectrum (RGB). The methodology developed in this study included field activities of turbidity sampling, aerial image capture by UAVs and Sentinel 2 satellite image acquisition. In situ turbidity sampling was performed using a multiparametric probe and aerial imagery was captured using an RGB image sensor embedded in a Phantom 4 drone (DJI) in almost sync with the passage of the MSI sensor (Sentinel 2). For spectral calibration, reference plates with known reflectance were used. The relationship between the variables investigated allowed the identification of 7 main factors that affected the results achieved, in addition to several recommendations for application in research involving similar studies in small aquatic ecosystems.

Keywords: UAV. Turbidity. Spectral calibration. Remote sensing.

Lista de Figuras

Figura 1. Representação do espectro eletromagnético. Fonte: Adaptado de Universidade Politécnica de Madrid, 2015.	20
Figura 2. Representação da interação da radiação solar com distintos alvos. Fonte: Autora.....	21
Figura 3. Espectros de reflectância bidirecional coletados em campo. Fonte: Adaptado de Breunig et al (2007).....	22
Figura 4. Representação de diferentes formas de espalhamento na água. Fonte: Barbosa et al, 2019.	22
Figura 5. Representação dos fenômenos de absorção, reflexão e transmissão em uma superfície. Fonte: Adaptado de L3Harris Geospatial, 2015.	24
Figura 6. Representação dos fenômenos de irradiância (a) e exitância (b) em uma superfície. Fonte: Adaptado de Steffen e Moraes, 1993.	25
Figura 7. Representação do processo da radiância. Fonte: Adaptado de Steffen e Moraes, 1993.	25
Figura 8. Espectros da água sob dominância dos COAs: total de sólidos em suspensão (TSS), clorofila-a (chl-a) e matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM). Na barra superior, a posição das bandas espectrais dos sensores orbitais ilustra o potencial das mesmas para os estudos em águas continentais. Fonte: adaptado de Barbosa et al, 2019.	27
Figura 9. Espectros em reflectância de superfície dos tipos de água identificados para as áreas alagáveis da Amazônia e respectivas concentrações de parâmetros limnológicos: chl-a (clorofila-a) e SIS (Sólidos Inorgânicos em Suspensão). Fonte: adaptado de Lobo et al, 2012.....	27
Figura 10. Bandas espectrais do satélite Sentinel 2. Fonte: Adaptado de Dogliotti et al, 2015.....	29
Figura 11. Bandas espectrais do satélite Sentinel 2. Fonte: Adaptado de Immitzer, 2016.....	30
Figura 12. Sensores multiespectrais acopláveis em Vants Parrot Sequóia (a), Sentera 6X (b), Mapir Survey 3 (c), Micasense RedEdge MX e RedEdge MX Blue (d), DJI Phantom multiespectral (e), Flir Duo R (f), Maia WV (g) e Micasense Altum (h). Fonte: Autora.....	31

Figura 13. Comparativo das bandas espectrais dos satélites Sentinel 2, Landsat 8 e câmeras multiespectrais de pequeno formato RedEdge-MX e RedEdge-MX Blue. Fonte: Micansese, 2022.	32
Figura 14. Diferentes modelos de Vants multirrotores e asa fixa. Fonte: Autora.	32
Figura 15. Imagem mostrando 3 condições de aquisição no lago Pink. Fonte: Zeng et al, 2017.	33
Figura 16. Localização da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo e pontos monitorados. Fonte: Autora.	35
Figura 17. Localização das seções de monitoramento no canal São Gonçalo. Fonte: Adaptado de Esri.	36
Figura 18. Fluxograma as atividades desenvolvidas nesta pesquisa. Fonte: Autora.	37
Figura 19. Localização da seção de monitoramento Barragem São Gonçalo e pontos levantados. Fonte: Esri.	39
Figura 20. Localização das seções de monitoramento Porto de Pelotas, Pepino e Campus Anglo UFPel e pontos levantados. Fonte: Esri.	40
Figura 21. Localização da seção de monitoramento Arroio Pelotas e pontos levantados. Fonte: Esri.	41
Figura 22. GPS Garmin modelo Etrex Vista H utilizado durante as campanhas amostrais. Fonte: Autora.	41
Figura 23. Sonda de qualidade de água multiparamétrica, modelo U-50, fabricante Horiba. Fonte: Autora.	42
Figura 24. Veículo aéreo não tripulado modelo Phantom 4, fabricante DJI. Fonte: Autora.	43
Figura 25. Placas de níveis de cinza GC-3, fabricante Movo Micnova. Fonte: Autora.	44
Figura 26. Imagem Sentinel 2 MSI na região do estudo. Fonte: ESA.	44
Figura 27. Imagens aéreas testando diferentes condições de aquisição. Fonte: Autora.	46
Figura 28. Imagens dos trabalhos de levantamento em campo. Fonte: Autora.	47
Figura 29. Esquema de captura das imagens aéreas. Fonte: Autora.	48

Figura 30. Linhas de voo e taxas de sobreposição lateral e longitudinal. Fonte: Figueiredo e Figueiredo, 2018.....	48
Figura 31. Calibração de balanço de branco (white balance) no software DJI GO 4. Fonte: Autora.....	49
Figura 32. Plugin do software QGIS “Semi Automatic Classification Plugin – SCP”. Fonte: Autora.....	50
Figura 33. Registro fotográfico de informações da sonda multiparamétrica. Fonte: Autora.....	50
Figura 34. Parte do conjunto de dados obtidos pela sonda e gps tabulados. Fonte: Autora.....	51
Figura 35. Imagens do processamento fotogramétrico da seção Barragem São Gonçalo. Fonte: Autora.....	54
Figura 36. Representação do número digital em escala de cinzas e matriz numérica. Fonte: Autora.....	54
Figura 37. Legenda referente aos pontos amostrais apresentados nas figuras seguintes.....	57
Figura 38. Gráfico de distribuição da turbidez entre os pontos amostrais e seções ao longo das campanhas amostrais.....	63
Figura 39. Ortomosaico e pontos amostrais na seção Arroio Pelotas na data de 18/11/2021.....	64
Figura 40. Ortomosaico e pontos amostrais na seção Barragem São Gonçalo na data de 18/11/2021.....	65
Figura 41. Ortomosaico na data de 28/12/2021 e pontos amostrais na seção Porto.....	66
Figura 42. Ortomosaico na data de 03/12/2021 e pontos amostrais nas seções Campus Anglo UFPel e Pepino.....	66
Figura 43. Ortomosaico e pontos amostrais na seção Campus Anglo UFPel e Pepino na data de 28/12/2021.....	68
Figura 44. Gráficos de reflectâncias dos sensores MSI vs Vant (seções Arroio Pelotas e Campus Anglo UFPel).....	70
Figura 45. Gráficos de reflectâncias dos sensores MSI vs Vant (seções Pepino e Porto).....	70
Figura 46. Ortomosaico de reflectâncias Vant de 28/12/21 (seção Porto).....	73

Figura 47. Mapa de reflectâncias MSI L2A em 28/12/21 (seção Campus Anglo UFPel).	73
Figura 48. Sobreposição de mapas de reflectâncias Vant e MSI L2A 28/12/21 (seção Campus Anglo UFPel e Pepino).	74
Figura 49. Gráficos comparando a variável turbidez (NTU) observada e a estimada pelo sensor MSI (FNU) utilizando o algoritmo Nechad et al (2009) (seções Arroio Pelotas e Campus Anglo UFPel).	75
Figura 50. Gráficos comparando a variável turbidez (NTU) observada e a estimada pelo sensor MSI (FNU) utilizando o algoritmo Nechad et al (2009) (seções Pepino e Porto).	76
Figura 51. Gráficos comparando a variável turbidez (FNU) estimada por Vant com valores observados (seções Arroio Pelotas e Campus Anglo UFPel).	77
Figura 52. Gráficos comparando a variável turbidez (NTU) estimada pelo sensor Vant (FNU) utilizando o algoritmo Nechad et al (2009) com valores observados em campo (seções Arroio Pelotas e Campus Anglo UFPel).	78
Figura 53. Gráfico comparando a variável turbidez estimada (pontos vermelhos) com a mensurada (pontos azuis) ao longo do tempo. Fonte: De Keukelaere et al, 2019.	79

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Quantidade de pontos amostrados com sonda de qualidade de água nas seções de estudo.	47
Tabela 2 – Workflow utilizado no software Agisoft Metashape no processamento das imagens.....	53
Tabela 3 – Coeficientes <i>AT</i> e <i>CT</i> para a banda do vermelho, correspondente a 665 nm (Sentinel 2) extraídos de Nechad et al (2009) e Nechad et al (2010).....	57
Tabela 4 – Pontos amostrados com sonda de qualidade de água na seção Arroio Pelotas – ID, Latitude e Longitude (graus decimais), Data (dd/mm/aa) e Turbidez (NTU).....	58
Tabela 5 – Pontos amostrados com sonda de qualidade de água na seção Campus Anglo UFPel – ID, Latitude e Longitude (graus decimais), Data (dd/mm/aa) e Turbidez (NTU).....	59

Tabela 6 – Pontos amostrados com sonda de qualidade de água na seção Pepino – ID, Latitude e Longitude (graus decimais), Data (dd/mm/aa) e Turbidez (NTU).	60
Tabela 7 – Pontos amostrados com sonda de qualidade de água na seção Porto – ID, Latitude e Longitude (graus decimais), Data (dd/mm/aa) e Turbidez (NTU).....	61
Tabela 8 – Pontos amostrados com sonda de qualidade de água na seção Barragem São Gonçalo – ID, Latitude e Longitude (graus decimais), Data (dd/mm/aa) e Turbidez (NTU).....	61
Tabela 9 – Equações de calibração de reflectâncias para mosaicos Vant produzidas para a banda do vermelho.	68
Tabela 10 – Reflectâncias na banda do vermelho na seção Porto (figura 46) na data de 28/12/2021.	74
Tabela 11 – Dados amostrados na seção Foz do Arroio Pelotas com sonda multiparamétrica - Temperatura (°C), Ph, Ph* (mV), ORP - Potencial de redução de oxidação (mV), Condutividade (mS/cm), Turbidez (NTU), Oxigênio dissolvido (mg/L), Oxigênio dissolvido (%), Sólidos totais dissolvidos - TDS (g/l), Salinidade (pp+), Densidade específica água mar (σ), data (dd/mm/aa), Latitude e Longitude (graus decimais).....	98
Tabela 12 – Dados amostrados na seção Campus Anglo UFPel com sonda multiparamétrica - Temperatura (°C), Ph, Ph* (mV), ORP - Potencial de redução de oxidação (mV), Condutividade (mS/cm), Turbidez (NTU), Oxigênio dissolvido (mg/L), Oxigênio dissolvido (%), Sólidos totais dissolvidos - TDS (g/l), Salinidade (pp+), Densidade específica água mar (σ), data (dd/mm/aa), Latitude e Longitude (graus decimais).....	99
Tabela 13 – Dados amostrados na seção Pepino com sonda multiparamétrica - Temperatura (°C), Ph, Ph* (mV), ORP - Potencial de redução de oxidação (mV), Condutividade (mS/cm), Turbidez (NTU), Oxigênio dissolvido (mg/L), Oxigênio dissolvido (%), Sólidos totais dissolvidos - TDS (g/l), Salinidade (pp+), Densidade específica água mar (σ), data (dd/mm/aa), Latitude e Longitude (graus decimais).	100
Tabela 14 – Dados amostrados na seção Porto com sonda multiparamétrica - Temperatura (°C), Ph, Ph* (mV), ORP - Potencial de redução de oxidação (mV), Condutividade (mS/cm), Turbidez (NTU), Oxigênio dissolvido (mg/L), Oxigênio dissolvido (%), Sólidos totais dissolvidos - TDS (g/l), Salinidade (pp+), Densidade	

específica água mar (σ_t), data (dd/mm/aa), Latitude e Longitude (graus decimais).

..... 100

Tabela 15 – Dados amostrados na seção Barragem São Gonçalo com sonda multiparamétrica - Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Ph, Ph* (mV), ORP - Potencial de redução de oxidação (mV), Condutividade (mS/cm), Turbidez (NTU), Oxigênio dissolvido (mg/L), Oxigênio dissolvido (%), Sólidos totais dissolvidos - TDS (g/l), Salinidade (pp+), Densidade específica água mar (σ_t), data (dd/mm/aa), Latitude e Longitude (graus decimais)..... 102

Lista de abreviaturas e siglas

ALM – Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim

CDOM – Matéria orgânica dissolvida colorida

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CHL-A – Clorofila-a

COAs – Componentes opticamente ativos

DN – Número digital

DSM – Dense stereo matching

FDRB – Função de distribuição de reflectância bidirecional

IQA – Índice de qualidade das águas

MERIS – Espectrômetro de imagem de média resolução

MSI – Multispectral instrument

MODIS – Espectrorradiômetro de imagem de resolução moderada

MVS – Multi-view stereo

NDVI – Índice de vegetação com diferença normalizada

NDWI – Índice de água com diferença normalizada

NIR – Infravermelho próximo

REM – Radiação eletromagnética

RGB – Red, green e blue (vermelho, verde e azul)

Red Edge – Vermelho limítrofe

SFM – Structure from motion

SIFT – Scale invariant feature transform

SIS – Sólidos inorgânicos em suspensão

SS – Sedimentos em suspensão

SWIR – Infravermelho de ondas curtas

POIs – Propriedades ópticas inerentes

TSS – Total de sólidos em suspensão

Vant – Veículo aéreo não tripulado

SUMÁRIO

1	Introdução	16
2	Objetivos.....	18
2.1	Geral.....	18
2.2	Específicos	18
3	Revisão de Literatura.....	19
3.1	Sensoriamento remoto	19
3.1.1	Radiação eletromagnética (REM) e espectro eletromagnético	20
3.1.2	Interação da energia na atmosfera e na água.....	20
3.1.3	Fundamentos radiométricos	23
3.2	Propriedades ópticas da água.....	26
3.3	Monitoramento hidrológico	28
3.3.1	Monitoramento hidrológico via sensoriamento remoto	28
3.4	Veículos aéreos não tripulados	30
4	Material e Métodos.....	34
4.1	Área de estudo	35
4.2	Fluxo de trabalho.....	36
4.3	Planejamento de campo e equipamentos	38
4.3.1	Definição das seções de monitoramento	38
4.3.2	Descrição dos equipamentos utilizados	41
4.3.3	Testes prévios de captura de imagens aéreas.....	45
4.4	Campanhas de monitoramento	46
4.4.1	Levantamento aéreo com Vant	47
4.4.2	Aquisição de imagens satelitais Sentinel 2	49
4.4.3	Levantamento com sonda multiparamétrica de qualidade de água.....	50
4.5	Análise e tratamento de dados de campo	51
4.5.1	Tabulação de dados de sonda multiparamétrica e GPS	51
4.5.2	Ortorretificação e mosaico das imagens aéreas	52
4.5.3	Calibração radiométrica.....	54
4.5.4	Conversão e extração dos valores de reflectância.....	55
4.5.5	Estimativa da turbidez	56
5	Resultados e Discussões.....	57
5.1	Variabilidade da turbidez <i>in situ</i>	58

5.2	Condições ambientais na aquisição de dados	63
5.3	Correção geométrica	67
5.4	Calibração radiométrica.....	68
5.5	Avaliação de reflectâncias	69
5.6	Estimativas de turbidez a partir de reflectâncias MSI L2A e Vant	75
6	Considerações Finais	79
7	Referências.....	82
	Apêndices	98

1 Introdução

A aplicação do sensoriamento remoto a partir de veículos aéreos não tripulados (Vant) em diferentes áreas do conhecimento tornou-se uma prática com grande crescimento nos últimos anos, principalmente, em razão das vantagens que a tecnologia pode propiciar em termos financeiros, na escalabilidade da aquisição de informações simultâneas e na redução do tempo de atividades de campo [Yao (2019), Alvarez-Vanhard et al (2021)].

Em se tratando dos necessários diagnósticos e descrições dos processos que descrevem os recursos hídricos, são necessárias realizar inúmeras campanhas de amostragem e medições em planejadas saídas de campo, para coletar amostras de água, mapeamentos de uso e ocupação do solo, análises laboratoriais e outras ações necessárias para a caracterização e diagnóstico para o adequado manejo de bacias hidrográficas. Tais ações remetem no dispêndio de tempo, estruturas, recursos humanos e financeiros e, além disso, muitas análises requerem um monitoramento contínuo, ou seja, a longo prazo, especialmente, em se tratando de ambientes críticos para a conservação ambiental como áreas para o abastecimento urbano e portuárias [CETESB (2019), Stewart (2015), Pereira et al (2020)].

O ambiente portuário é um tipo de ecossistema muito importante e está constantemente sob pressão antrópica. O fluxo de embarcações carrega consigo não somente o desenvolvimento econômico, assim como também os riscos ambientais associados à esta atividade. O monitoramento contínuo é recomendado nestes ambientes a fim de observar as principais variáveis hidrológicas como forma de compreender as dinâmicas presentes e acompanhar mudanças. Atenção especial deve ser dada à mudanças nos padrões de turbidez, pois esta variável está diretamente associada à presença de material fino em suspensão na água (oriundos de vazamentos ou lançamentos de dejetos, por exemplo) que interferem na passagem da luz através do fluido. Além disso, a turbidez está relacionada com o fenômeno do assoreamento, no qual a profundidade do curso d'água torna-se mais rasa em virtude do acúmulo de sedimentos. Especialmente em se tratando de hidrovias, tal fenômeno pode levar à necessidade de dragagem para manutenção do calado hidroviário. Esta variável já pode ser estimada através de imagens orbitais e a adaptação à tecnologia dos Vants abre a possibilidade para a ampliação da janela de aquisição, resolução

das informações e para obtenção de outras variáveis com baixo impacto ambiental e financeiro [Porto e Teixeira (2001), Jensen (2009), Kirk (2011), Barbosa et al (2019), McCabe et al (2017), Alvarez-Vanhard et al (2021)].

Com isso, a adoção da tecnologia dos Vants associada ao sensoriamento remoto para estudos de pequenos ecossistemas aquáticos surge como alternativa científica e financeira justificada de investigação. Ainda que os Vants sejam ferramentas acessíveis e de baixo custo, seu uso ainda é incipiente no que tange a estudos em recursos hídricos. Seus resultados podem ser divergentes ainda que para uma aplicação semelhante, principalmente, devido aos diferentes sensores, métodos de aquisição, processamento de dados e plataformas aéreas disponíveis para utilização. Tal flexibilidade dos Vants, quando em comparação às formas tradicionais do sensoriamento remoto onde os dados são captados de maneira padronizada por um mesmo sensor, pode tornar-se um fator negativo [Yao (2019), Valavanis e Vachtsevanos (2015)].

Com isso, para garantir uma análise sistemática, válida e confiável para estimativas de turbidez empregando a coleta de imagens por meio de Vants é necessário estar ancorado em uma metodologia de aquisição de dados que seja replicável e que se dê por meio de sensores passíveis de calibração com dados locais. Por meio de correlações entre este conjunto de informações e processos será possível estimar esta importante variável de forma ágil, com baixo custo e escalabilidade [Dalamagkidis (2014), Valavanis e Vachtsevanos (2015)]

2 Objetivos

2.1 Geral

- Estabelecer uma correlação capaz de estimar a turbidez na camada superficial da água a partir de sensor RGB embarcado em Veículo aéreo não tripulado (Vant).

2.2 Específicos

- Estabelecer procedimento para calibração radiométrica e geração de medidas de reflectância a partir das imagens de sensor RGB;
- Estabelecer modelo para estimar turbidez a partir de dados de reflectância produzidos por Vant;
- Correlacionar turbidez obtida *in situ* com estimativas de turbidez produzidas a partir de dados oriundos de sensores Sentinel 2 e Vant;
- Avaliar a influência das condições do ambiente na estimativa de reflectâncias e da turbidez por meio de dados capturados por Vant;

3 Revisão de Literatura

3.1 Sensoriamento remoto

Embora os métodos de análise de turbidez tradicionais produzam medições precisas e acuradas, exigem um maior intervalo de tempo, necessitam de recursos financeiros recorrentes e podem se mostrar complexos quando em ambientes de grande escala [Kageyama et al (2016)]. A variação na concentração de sólidos em suspensão afeta as propriedades ópticas da água [Breunig et al (2007)] e com isso o sensoriamento remoto surge como alternativa para a quantificação indireta de informações e parâmetros de qualidade da água. Sensoriamento remoto é o conjunto de técnicas através das quais são obtidas informações de maneira remota de qualquer elemento na superfície terrestre (objetos, áreas, fenômenos), por meio do registro da radiação eletromagnética refletida por este elemento, através de sensores distantes (ou remotos), ativos ou passivos [Rosa (1990); Florenzano (2011); Tullio (2018); Lillesand, Kiefer e Chipman (2015)]. Considerando estes fatores, vários sensores de satélite já foram utilizados na investigação de parâmetros vinculados à qualidade da água [Palmer et al (2015); Duan et al (2014); Park & Latrubesse (2014); Jiang et al (2016)]. O sensoriamento remoto é uma ferramenta poderosa para o monitoramento capaz representar as variações espaciais e temporais na qualidade da água [Zhang et al (2016)], principalmente no que tange a problemas de qualidade da água associados à sedimentação e eutrofização, uma vez que esses problemas afetam diretamente as propriedades ópticas e, conseqüentemente, a resposta espectral de um corpo d'água nas bandas do visível e de regiões infravermelhas [Jiang et al (2015)]. Sensores multiespectrais projetados para aplicações em recursos hídricos são desenhados principalmente para uso em águas oceânicas [Cillero Castro et al (2020)] e fornecem resolução espacial com menor detalhamento como MODIS (espectrorradiômetro de imagem de resolução moderada) [Wang & Tian (2015), Breunig et al (2017)] e MERIS (espectrômetro de imagem de média resolução), que possui resolução espacial de 300m [Campbell et al, 2011]. Dois dos satélites mais comuns para investigações acerca de recursos hídricos, embora projetados originalmente para ambientes terrestres, são o Landsat 8 e Sentinel 2 conforme Cillero Castro et al (2020), Qun et al (2008), Kong et al (2017) e Din et al (2016).

3.1.1 Radiação eletromagnética (REM) e espectro eletromagnético

A radiação eletromagnética é uma forma de energia que se propaga, tanto no vácuo, quanto em um meio material, no formato de onda sendo que suas propriedades são comprimento de onda (λ), frequência (ν) e amplitude (A). O sol é a principal fonte natural de energia eletromagnética utilizada pelo sensoriamento remoto óptico. A radiação solar interage com os processos atmosféricos, biológicos e físico-químicos que se produzem sobre a superfície terrestre e, nessa interação com os elementos, passa por modificações. Tais mudanças na radiação, quando detectadas por um sensor, tornam-se valiosa fonte de dados para interpretar importantes propriedades do fenômeno (p. ex.: temperatura) [Moraes (2002); Liu (2006); Jensen (2009); Barbosa et al (2019)]. O conjunto de todos os comprimentos de onda que compõem a REM é conhecido como espectro eletromagnético (figura 1) [Novo & Ponzoni (2001)].

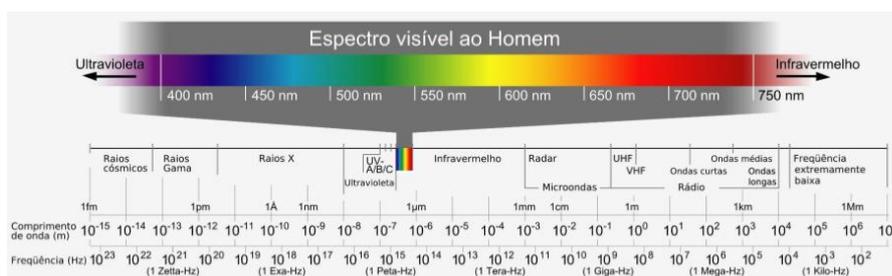


Figura 1. Representação do espectro eletromagnético. Fonte: Adaptado de Universidade Politécnica de Madrid, 2015.

3.1.2 Interação da energia na atmosfera e na água

Três interações principais podem ocorrer a partir da incidência da energia eletromagnética sobre um alvo: ser parcialmente refletida, absorvida e transmitida (figura 2) sendo que as frações de cada fenômeno se dão em função das propriedades inerentes do próprio alvo [Lillesand, Kiefer e Chipman (2015)].

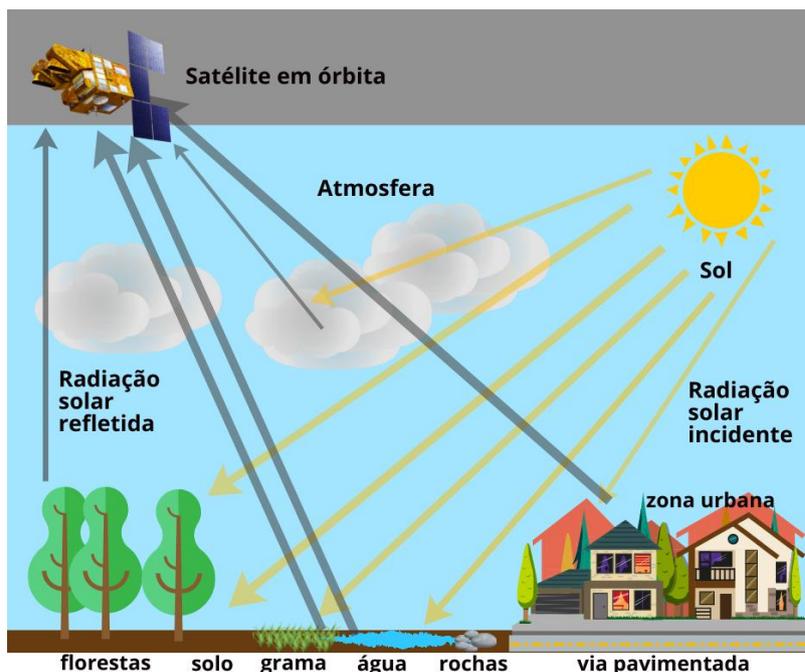


Figura 2. Representação da interação da radiação solar com distintos alvos. Fonte: Autora.

A refração refere-se ao desvio da radiação quando ela se propaga de um meio a outro cuja densidade é diferente e a velocidade da REM é diferente em cada um deles. O espalhamento é o fenômeno no qual a radiação modifica sua trajetória reta ao atingir atmosfera, moléculas de gás, vapores de água, entre outros. Já a absorção é o processo pelo qual a energia radiante é absorvida e convertida em outras formas de energia como, por exemplo, o calor [Jensen (2009)]. Ao atingir um alvo as propriedades direcionais da superfície também irão influenciar sua distribuição. A função de distribuição da reflectância bidirecional (FDRB) é a reflectância medida em todas as possíveis direções fonte-alvo-sensor, descrevendo a contribuição de cada componente da irradiância incidente para a formação da radiância final do elemento da superfície na direção de reflexão (Steffen (1995) apud Nogueira et al (1996)]. A figura 3 apresenta as respostas espectrais que Breunig et al (2007) obtiveram ao estudar diversos pontos em um mesmo corpo hídrico, onde no qual houve dificuldade no estabelecimento de relações entre os parâmetros de reflectância espectral e qualidade da água em razão, principalmente, da baixa variabilidade dos componentes opticamente ativos.

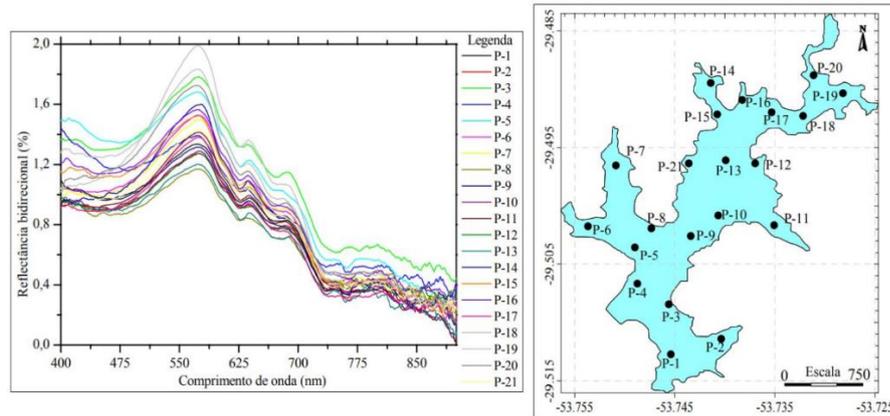


Figura 3. Espectros de reflectância bidirecional coletados em campo. Fonte: Adaptado de Breunig et al (2007).

A figura 4 demonstra resumidamente a trajetória da luz solar ao atingir um alvo aquático onde ocorrem os seguintes processos: (p1) processo de espalhamento atmosférico, (p2) processo de reflexão especular da luz difusa do céu, (p3) processo de reflexão especular da luz solar direta, (p4) radiação emergente da coluna d'água, (p5) processo de espalhamento e absorção da luz por fitoplâncton, (p6) processo de espalhamento da luz por sedimentos, (p7) processo de absorção da luz por matéria orgânica dissolvida.

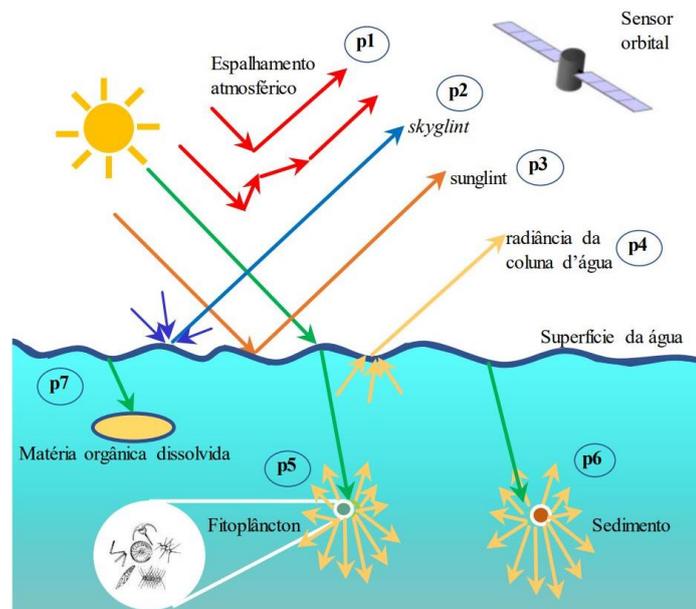


Figura 4. Representação de diferentes formas de espalhamento na água. Fonte: Barbosa et al, 2019.

3.1.3 Fundamentos radiométricos

Para entender a relação entre REM e a superfície terrestre, é importante estimar algumas medidas que quantifiquem a energia produzida pela fonte, a quantidade atenuada pelo meio entre a fonte e o alvo, assim como a quantidade de energia absorvida pelo alvo [Novo (2010)]. A radiometria é o conjunto das técnicas utilizadas para a medida das quantidades de energia radiante e os sistemas utilizados para a medida dessas quantidades são denominados radiômetros [Steffen e Moraes (1993)]. Para melhor entendimento dos fundamentos radiométricos é necessário compreender as métricas de quantificação da energia que é transmitida, refletida ou absorvida pelas superfícies, conforme dado por Lorenzzetti (2015) (figura 5):

Reflectância: razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente sobre a superfície.

$$\rho\lambda = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}$$

Equação 1. Reflectância. Fonte: Lorenzzetti, 2015.

Onde $\rho\lambda$ = reflectância, Φ_r = fluxo radiante refletido e Φ_i = fluxo radiante incidente.

Transmitância: razão entre o fluxo radiante transmitido e o fluxo incidente sobre a superfície.

$$\tau\lambda = \frac{\Phi_t}{\Phi_i}$$

Equação 2. Transmitância. Fonte: Lorenzzetti, 2015.

Onde $\tau\lambda$ = transmitância, Φ_t = fluxo radiante transmitido e Φ_i = fluxo radiante incidente.

Absorbância: relação adimensional – razão entre o fluxo absorvido e o fluxo incidente sobre a superfície.

$$a\lambda = \frac{\Phi_a}{\Phi_i}$$

Equação 3. Absorbância. Fonte: Lorenzetti, 2015.

Onde $a\lambda$ = absorbância, Φ_a = fluxo radiante absorvido e Φ_i = fluxo radiante incidente.

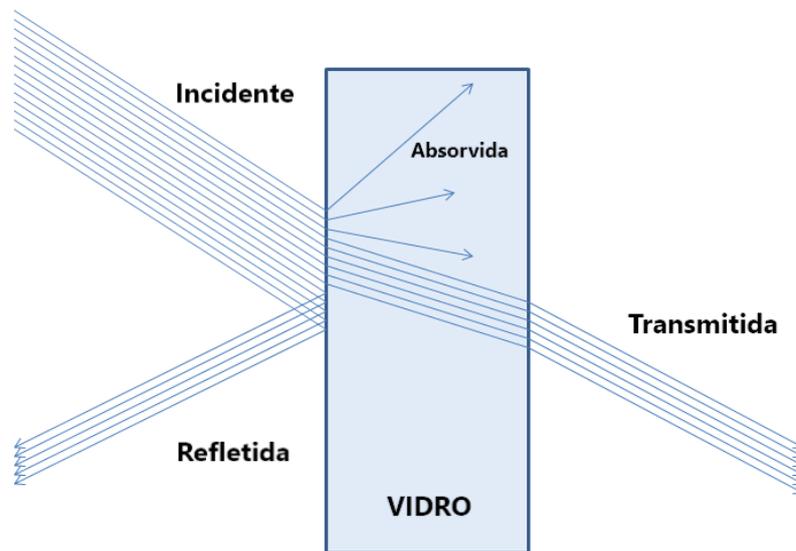


Figura 5. Representação dos fenômenos de absorção, reflexão e transmissão em uma superfície. Fonte: Adaptado de L3Harris Geospatial, 2015.

A irradiância e a exitância se distinguem apenas pelo sentido de fluxo envolvido em sua determinação (figura 6). Adicionalmente, nenhuma referência é feita à distribuição espacial desses fluxos, valendo portanto, para a determinação da irradiância ou da exitância todo o fluxo contido num dos hemisférios determinados pelo plano da amostra [Steffen e Moraes (1993)].

Irradiância: quantidade de radiação que incide sobre uma superfície, por unidade de área (E) $W.m^{-2}$

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta A}$$

Equação 4. Irradiância. Fonte: Lorenzetti, 2015.

Exitância: é a quantidade de radiação que deixa determinada superfície (emitida e não refletida) por unidade de área, expressa em (M) $W.m^{-2}$.

$$M = \frac{\Delta\Phi}{\Delta A}$$

Equação 5. Exitância. Fonte: Lorenzetti, 2015.

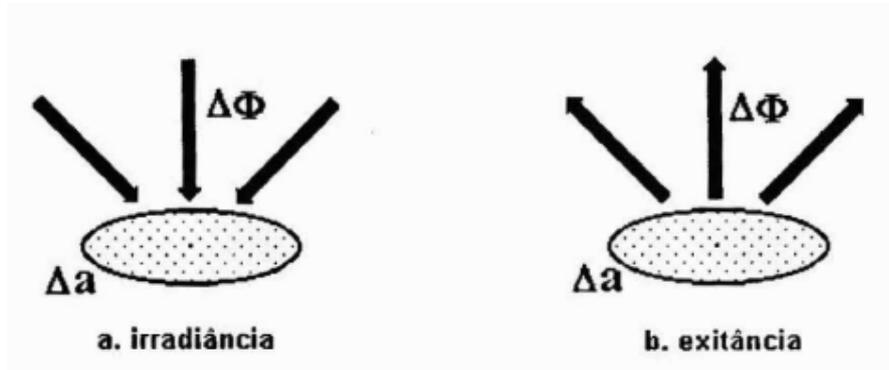


Figura 6. Representação dos fenômenos de irradiação (a) e exitância (b) em uma superfície. Fonte: Adaptado de Steffen e Moraes, 1993.

Radiância: quantidade de radiação que deixa determinada superfície por unidade de área em uma direção medida (L) $W.m^{-2}.sr^{-1}$.

$$L = \frac{\Delta\Phi}{\Delta A \cdot \cos\theta \cdot \Delta\omega}$$

Equação 6. Radiância. Fonte: Lorenzetti, 2015.

A radiância é uma grandeza direcional e corresponde à sensação visual de brilho da amostra de superfície (figura 7). Quando a radiância de uma amostra de superfície não varia com a direção, a superfície é denominada lambertiana (difusor perfeito) [Steffen e Moraes (1993)].

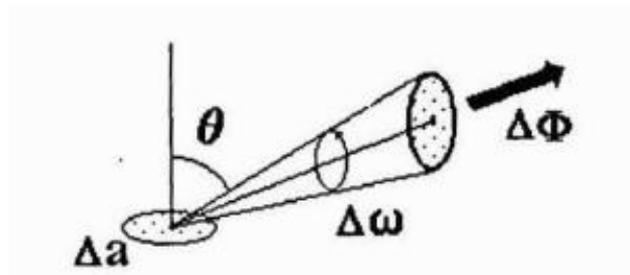


Figura 7. Representação do processo da radiância. Fonte: Adaptado de Steffen e Moraes, 1993.

3.2 Propriedades ópticas da água

A água pura tem baixa reflectância mesmo na região do visível do espectro, sendo que quanto mais pura (baixo teor de constituintes suspensos ou dissolvidos) mais baixa é sua reflectância. Quando não pura, ou seja, na existência de outros constituintes na água, em decorrência de suas propriedades gerais, a água apresenta grande variabilidade no tempo e no espaço de suas propriedade ópticas. [Novo & Ponzoni (2001), Barbosa et al (2019)]. Estes constituintes (partículas e materiais dissolvidos ou em suspensão) que alteram os processos de absorção e espalhamento da radiação são denominados componentes opticamente ativos (COAs). A interação de alguns destes materiais com a radiação incidente modificam as respostas espectrais e a coloração da água, como demonstram as figura 8 e 9 [Lobo e Jorge (2019)]. Os COAs são: a água pura, a matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM) e os particulados totais (fitoplâncton e sedimentos minerais e orgânicos). Cada componente possui propriedades ópticas específicas de absorção e de espalhamento da radiação solar, ou seja, têm propriedades ópticas que lhes são inerentes [Kirk (2011), Barbosa et al (2019)].

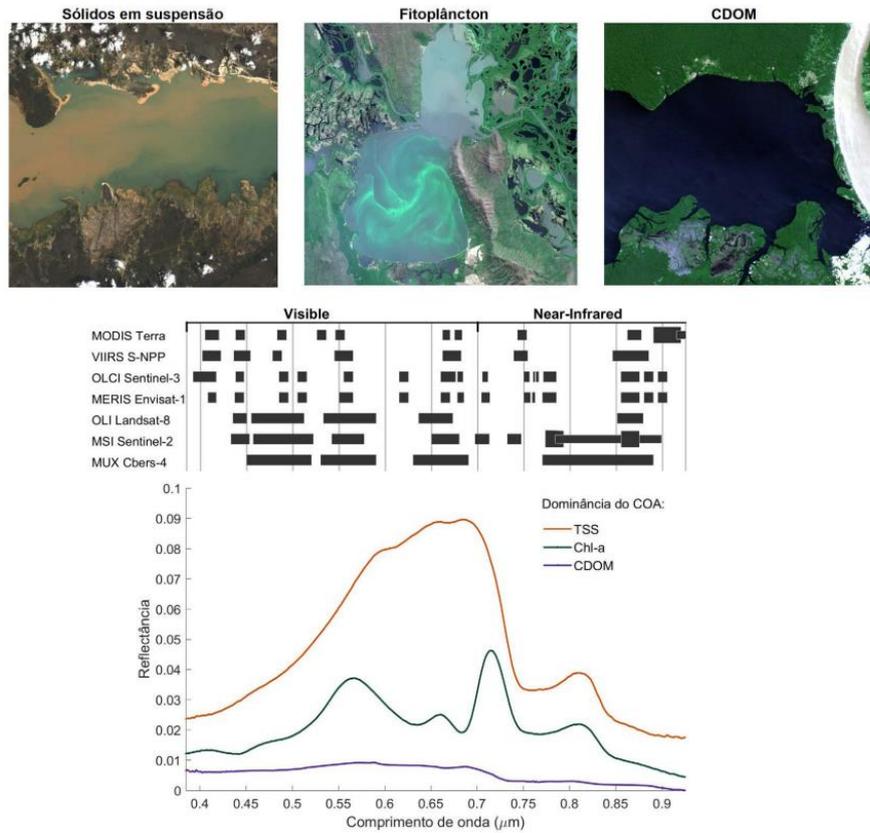


Figura 8. Espectros da água sob dominância dos COAs: total de sólidos em suspensão (TSS), clorofila-a (chl-a) e matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM). Na barra superior, a posição das bandas espectrais dos sensores orbitais ilustra o potencial das mesmas para os estudos em águas continentais. Fonte: adaptado de Barbosa et al, 2019.

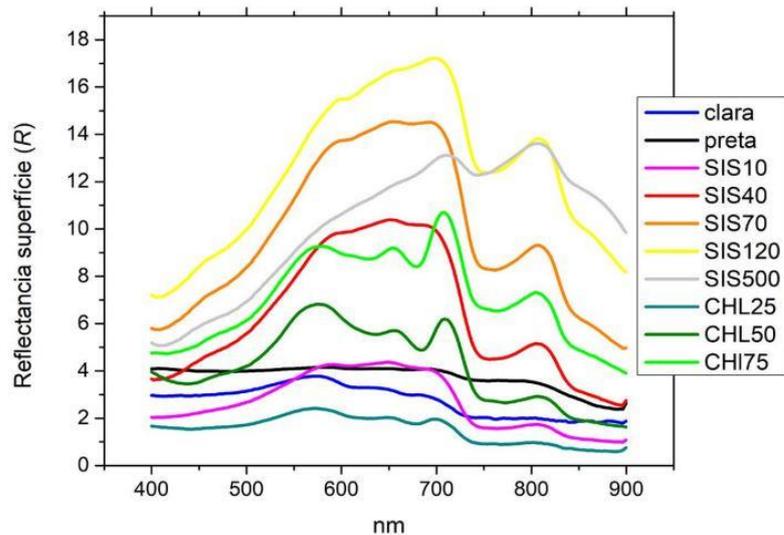


Figura 9. Espectros em reflectância de superfície dos tipos de água identificados para as áreas alagáveis da Amazônia e respectivas concentrações de parâmetros limnológicos: chl-a (clorofila-a) e SIS (Sólidos Inorgânicos em Suspensão). Fonte: adaptado de Lobo et al, 2012.

3.3 Monitoramento hidrológico

O monitoramento hidrológico é de fundamental importância para o planejamento, aproveitamento e conservação dos recursos hídricos. Para um gerenciamento adequado, é necessário conhecer sua localização, quantidade e qualidade e o quão variáveis podem ser suas características em um futuro previsível [Stewart (2015)]. O monitoramento em campo configura-se como uma tarefa árdua e dispendiosa, pois a implementação de equipamentos de medições e o treinamento de equipes de campo aptas a realizar o monitoramento requer investimento [Pereira et al (2020)]. No que tange ao monitoramento da qualidade da água, CETESB (2019) adaptou e desenvolveu o IQA – Índice de Qualidade das Águas que incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a qualidade: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais. A turbidez tem como origem natural partículas de rocha, argila, silte, alga e microrganismos, contudo quando de origem antrópica, caracteriza-se pela possibilidade de conter compostos tóxicos e patógenos adsorvidos nos sólidos [Sperling (2014), EPA (1999)]. Para expressar a turbidez, dentre outras unidades de medida, são utilizadas as unidades NTU - Unidades Nefelométricas de Turbidez e NFU - Unidade Nefelométrica de Formazina. A unidade NTU é dada segundo o método de dispersão à 90° por EPA (1993), assim como a unidade FNU também utiliza metodologia equivalente dada segundo ISO (1999), tornando-as unidades equivalentes. O método tradicional de aquisição de dados de turbidez se dá pela utilização de turbidímetros ou nefelômetros em laboratório ou ainda através de sondas multiparamétricas em campo. Este parâmetro integra um conjunto de variáveis limnológicas consideradas opticamente ativas, que podem ser relacionadas com o espalhamento e absorção de luz por COAs [EPA (1999), Dall'olmo et al (2005)], ou seja, o grau de turbidez pode refletir em modificações na REM.

3.3.1 Monitoramento hidrológico via sensoriamento remoto

Um dos principais interesses na utilização de produtos de sensoriamento remoto no ambiente aquático é o estudo das mudanças temporais e espaciais na composição da água para entender a origem e deslocamento de componentes específicos suspensos ou dissolvidos nela [Jensen (2009)]. Alguns componentes

utilizados na avaliação da qualidade da água interagem com a REM na região do visível e do infravermelho próximo [Kirk (2011)] alterando a cor da água. Desta forma, a cor da água está diretamente relacionada com a presença e as diferentes concentrações destes constituintes na coluna d'água, os quais por sua vez provocam diferenças nas características óticas subaquáticas (IOCCG, 2000). A presença de sólidos suspensos e, conseqüentemente, a turbidez em corpos de água aumenta a reflectância nas bandas do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético [Dogliotti et al (2015)]. Nechad et al (2009) propuseram um algoritmo genérico para estimativas de turbidez em águas costeiras. Posteriormente, este algoritmo foi adaptado para ser utilizado em qualquer ambiente costeiro e estuarino através de dados reflectâncias nas bandas do vermelho e infravermelho próximo de sensores remotos [Dogliotti et al (2011); Dogliotti et al (2015)]. A figura 10, extraída do trabalho de Dogliotti et al (2015), demonstra que para valores de reflectância em 645 nm inferiores a 0.05 há uma boa correlação entre valores preditos e modelados de turbidez. Em valores de reflectância mais altos, ocorre uma redução da sensibilidade do modelo à medida que se afasta do regime linear, aproximando-se assim da região de saturação, denotada pela linha vertical. Esse limite assintótico é determinado pelo valor do parâmetro C do algoritmo dos autores, descrito na equação 9.

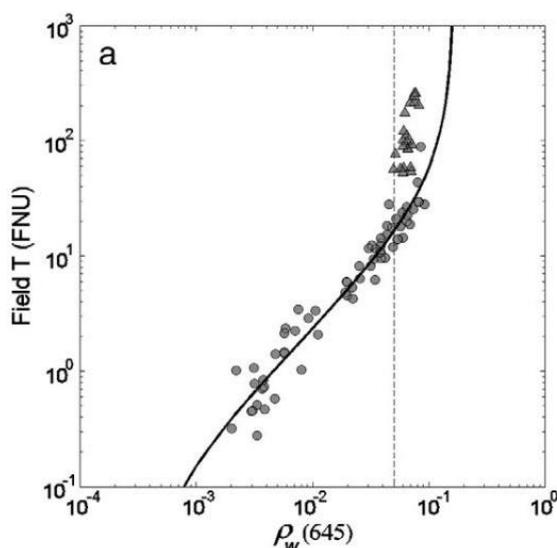


Figura 10. Bandas espectrais do satélite Sentinel 2. Fonte: Adaptado de Dogliotti et al, 2015.

Diversos satélites e sensores têm sido utilizados no monitoramento de sistemas aquáticos, entre eles destaca-se o sensor multispectral - MultiSpectral Instrument

(MSI), a bordo dos satélites gêmeos da missão Sentinel-2, que apresenta período de revisita de 5 dias e possui alta resolução geométrica e espectral com pixels de até 10 metros e imageando 13 bandas espectrais (figura 11). São três bandas no espectro do visível e uma no infravermelho próximo (NIR) com resolução espacial de 10 metros, quatro bandas no vermelho limítrofe (Red Edge) e duas bandas no infravermelho de ondas curtas (SWIR - short wave infrared) com resolução espacial de 20 metros e ainda 3 bandas usadas na correção atmosférica da cena, com resolução de 60 metros [ESA (2022)]. Já o sensor MODIS, à bordo do satélite Aqua, é um projeto anterior e foi desenvolvido especificamente para o monitoramento de recursos hídricos, contando com 36 bandas espectrais com período de revisita de 1 a 2 dias. Sua resolução é de 250 metros para as bandas 1 e 2, 500 metros para as bandas 3 – 7 e 1000 metros para as bandas 8 – 36 [USGS, (2022)].

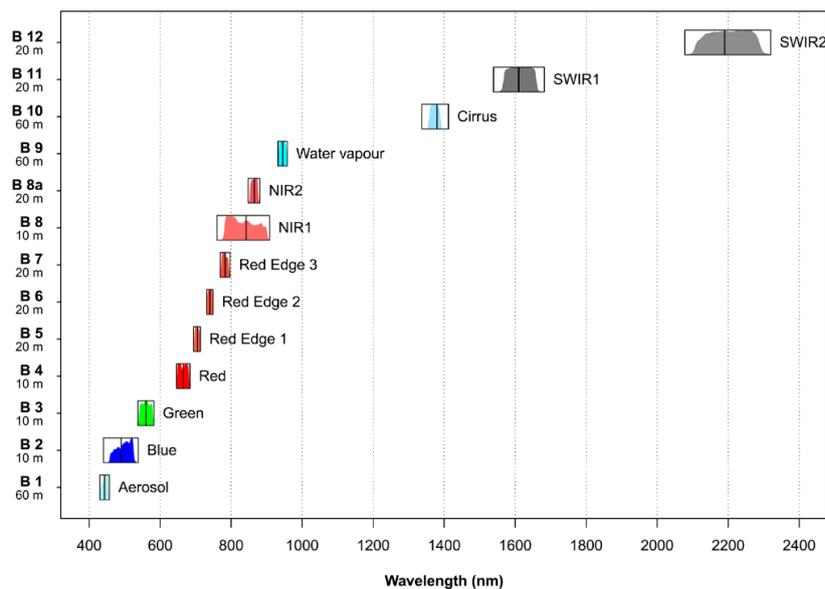


Figura 11. Bandas espectrais do satélite Sentinel 2. Fonte: Adaptado de Immitzer, 2016.

3.4 Veículos aéreos não tripulados

Duas das principais limitações que afetam o monitoramento periódico ou sistemático de ecossistemas aquáticos por meio do sensoriamento remoto são: por um lado, a presença de efeitos atmosféricos, e por outro, a resolução espacial de sensores a bordo de satélites [Cillero Castro et al (2020)]. Em se tratando de pequenos ecossistemas aquáticos como rios, lagos e lagoas o impacto destas limitações é amplificado. A baixa resolução espacial e temporal são fator limitante para a aplicação

de sensoriamento remoto por meio de satélites. Considerando tais limitações do uso de satélites para aplicação em recursos hídricos, os veículos aéreos não tripulados surgem como técnica alternativa de sensoriamento remoto em franca expansão nos últimos anos pelas imagens de alta resolução, baixo custo e escalabilidade temporal e espacial que oferecem [Yao (2019)]. Prudkin e Breunig (2019) compilaram em “Drones e Ciência: teoria e aplicações metodológicas” diversas aplicações da tecnologia dos Vants na ciência. O uso de câmeras de pequeno formato (figuras 12 e 13) acopladas à plataformas aéreas (figura 14) dotadas de sensores de localização (GNSS) e telemetria tornou-se uma alternativa viável, principalmente, pela miniaturização de componentes, a queda no custo de aquisição dos componentes necessários para sua fabricação e na evolução dos algoritmos e softwares de processamento de imagens [Yao (2019)].



Figura 12. Sensores multiespectrais acopláveis em Vants Parrot Sequóia (a), Sentera 6X (b), MAPIR Survey 3 (c), Micasense RedEdge MX e RedEdge MX Blue (d), DJI Phantom multiespectral (e), FLIR Duo R (f), Maia WV (g) e Micasense Altum (h). Fonte: Autora.

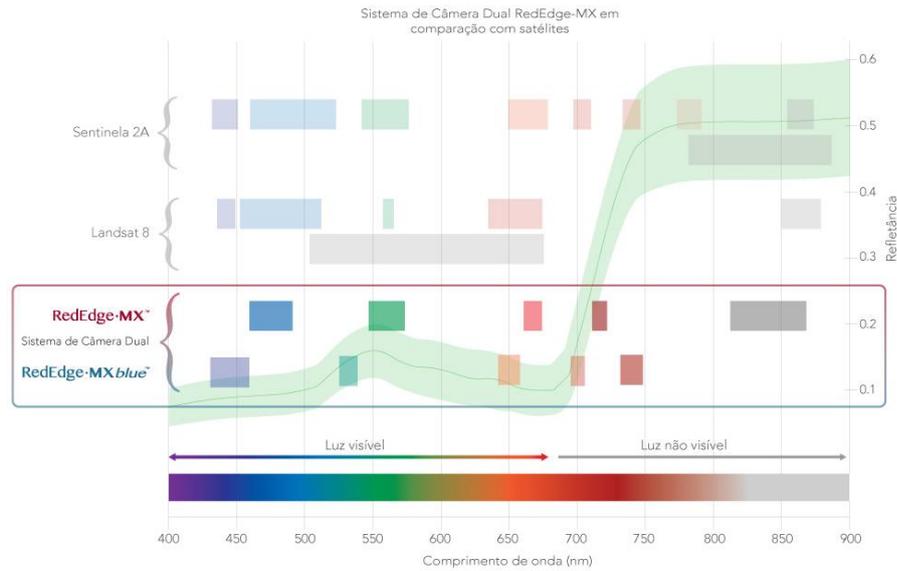


Figura 13. Comparativo das bandas espectrais dos satélites Sentinel 2, Landsat 8 e câmeras multiespectrais de pequeno formato RedEdge-MX e RedEdge-MX Blue. Fonte: Micansese, 2022.



Figura 14. Diferentes modelos de Vants multirrotoreiros e asa fixa. Fonte: Autora.

Veronez et al (2018) e Sáenz et al (2015) conduziram o monitoramento de sólidos em suspensão (SS) por meio de análises de regressão entre os valores de SS obtidos em campo e as respostas de obtidas por meio de imagens capturadas por Vants nas regiões do espectro visível e infravermelho próximo (NIR) para então gerar modelos de previsão. Relações entre bandas espectrais individuais e combinações entre elas (como NIR-vermelho, por exemplo), índices de vegetação como o índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI) e o índice de água com diferença normalizada (NDWI) foram explorados por Veronez et al (2018) e Sáenz et al (2015). O estudo conduzido por Guimarães et al (2019) utilizou dados obtidos por meio de um

sensor acoplado a um Vant, a fim de estimar a concentração de sólidos em um lago no sul do Brasil com base na relação de imagens espectrais e dados limnológicos. Zeng et al (2017) conduziram estudo utilizando diferentes sensores acoplados à Vant em um ambiente aquático onde demonstraram que o maior fator de variabilidade dos espectros foi o brilho do sol devido às ondas superficiais. A figura 15 mostra cenas capturadas com menos de um minuto de intervalo e em mesma altitude de (a) águas calmas e sol claro, (b) tempo parcialmente nublado, (c) ondas e brilho sobre a superfície da água e as (d) distintas respostas espectrais médias da água observadas com espectrorradiômetro acoplado ao Vant.

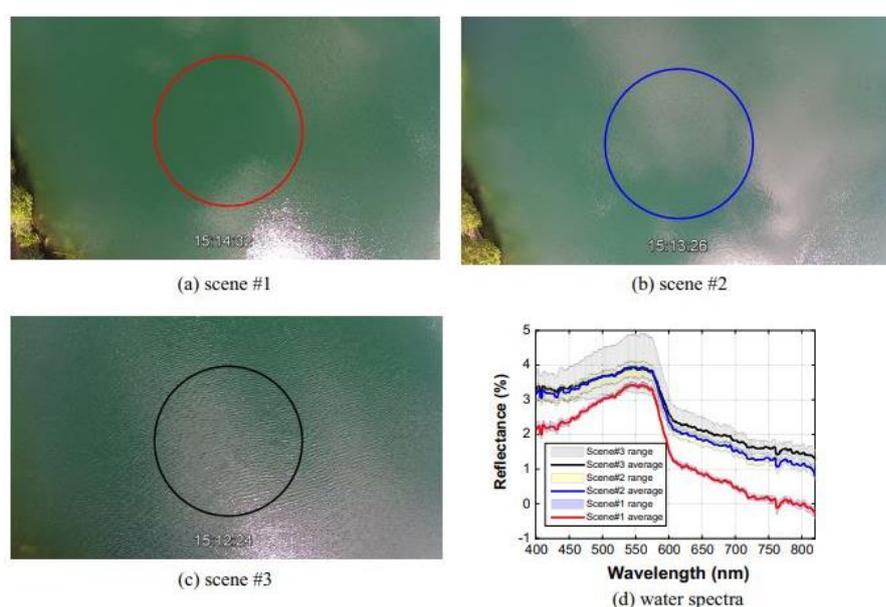


Figura 15. Imagem mostrando 3 condições de aquisição no lago Pink. Fonte: Zeng et al, 2017.

O autor ainda determinou que águas profundas sem ondas e brilho óbvios produziram um desvio padrão de 2,8% dos espectros médios, enquanto a água com ondas e brilho aumentou a reflectância geral e o desvio padrão em até 9,3% da média dos espectros. Os resultados da regressão linear dos parâmetros de qualidade da água com base em uma razão simples de duas bandas foram animadores, apresentando valores de R^2 de 0.61 para turbidez.

Embora o monitoramento de parâmetros de qualidade da água por meio de Vants, como de clorofila [Cândido et al (2016), Guimarães et al (2017)], matéria orgânica [Veronez et al (2018)], sólidos em suspensão e turbidez [Sáenz et al (2015), Roig et al (2013), Dias (2020), Ehmann et al (2019)], já tenham sido demonstrados

pela literatura, ainda é uma pequena parcela de pesquisas com enfoque nessa aplicação pelos Vants. Tal como ocorre com sensores multiespectrais a bordo de satélites, a tecnologia comercial atualmente disponível para sensores embarcados em Vants não é específica para o meio aquático, mas para aplicações terrestres, sendo principalmente para agricultura de precisão [Cillero Castro et al (2020)].

A aplicação de Vants para as tarefas apresentadas anteriormente impõe desafios na identificação de práticas e viabilidades que sejam comuns e que permitam a comparação e reprodução destes métodos de maneira confiável. O acesso a sensores ópticos multiespectrais para Vants e equipamentos de espectrorradiometria possuem alto custo de aquisição, tornando os sensores do espectro visível (RGB) mais acessíveis. Yao (2019) aponta que em muitos casos estudos foram conduzidos por meio de métodos que não consideravam as características únicas dos dados levantados por Vants. Além disso, a variedade de sensores e plataformas aéreas vem aumentando e com isso estabelecer métodos passíveis de reprodução fiel por outros usuários é imprescindível para permitir análises verdadeiras e comparação confiável entre estudos [Dalamagkidis (2014)].

Por fim, Sibanda et al (2021) conduziram uma pesquisa a fim de avaliar o progresso, oportunidades e desafios no mapeamento e modelagem da qualidade e quantidade da água usando dados de Vants. Os autores verificaram que os altos custos e uma lacuna de conhecimentos agravam o progresso no campo, além de uma falta geral de pesquisa com foco na aplicação de Vant no monitoramento e avaliação de recursos hídricos. Com isso, o presente estudo busca contribuir para o progresso no campo investigando a utilização de Vants para a estimativa de turbidez por meio de sensor de banda única na faixa do espectro visível.

4 Material e Métodos

Aqui estão apresentados os locais onde este estudo foi conduzido, a caracterização da região e sua importância. São abordados também as estratégias e os equipamentos utilizados, exploradas suas características, configurações e devidamente descritas as etapas percorridas para a obtenção dos resultados deste trabalho.

4.1 Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido no Canal São Gonçalo, localizado no município de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul. Com 76km de extensão, é a via fluvial que liga a Laguna dos Patos à Lagoa Mirim. O Canal São Gonçalo está inserido dentro da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo (Figura 16), cuja área possui cerca de 62 mil km² e é considerada detentora do maior complexo lagunar da América do Sul [Gonçalves (2020), Fernandes, Collares e Corteletti (2021)].

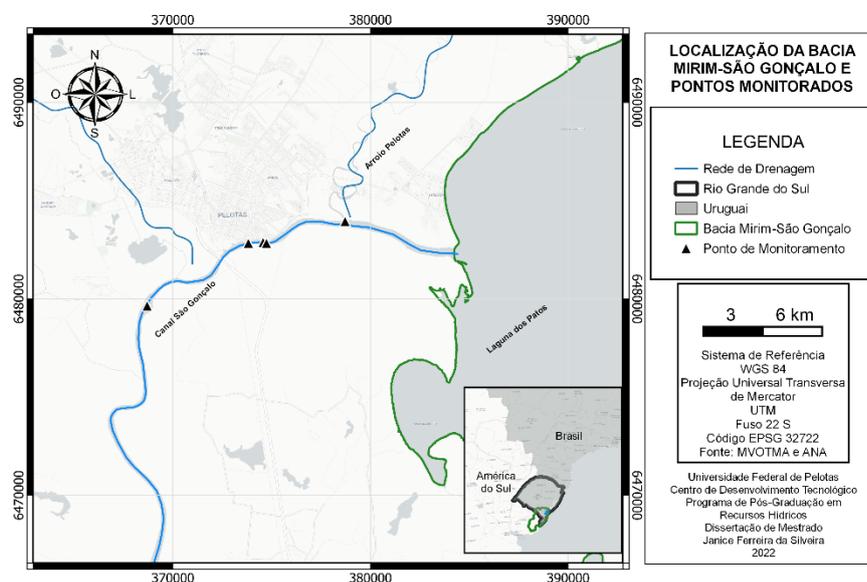


Figura 16. Localização da bacia hidrográfica Mirim-São Gonçalo e pontos monitorados. Fonte: Autora.

Destaca-se sua relevância econômica pelo ativo transporte aquaviário de clínquer, grãos (soja e trigo) e madeiras por meio do Porto de Pelotas, as atividades de pesca, o abastecimento de água urbano e agrícola e a extração de areia [Jornal Diário Popular (2022), Portos RS (2022)]. Ademais, o Canal São Gonçalo tem o importante papel integrador de dois grandes e importantes ambientes lacustres do sul do brasileiro. Sua ligação com a Laguna dos Patos propicia o acesso a outros canais de navegação: águas internas ao longo da costa doce gaúcha e acesso ao mar por meio do canal de acesso ao Porto de Rio Grande.

Para este estudo foram selecionados cinco locais de monitoramento (figura 17), identificados ao longo do canal: Barragem do São Gonçalo (A), Porto de Pelotas (B), desague do Canal do Pepino (C), região do atracadouro do Campus Porto da

Universidade Federal de Pelotas (D) e foz do Arroio Pelotas no canal São Gonçalo (E).

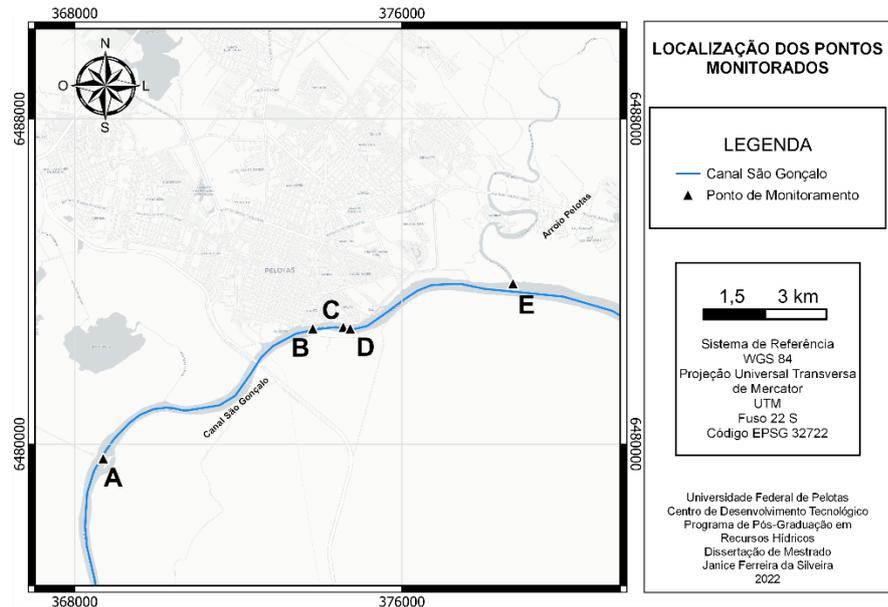


Figura 17. Localização das seções de monitoramento no canal São Gonçalo. Fonte: Adaptado de Esri.

4.2 Fluxo de trabalho

O objetivo desta pesquisa foi estabelecer um método capaz de estimar a turbidez com auxílio de imagens capturadas por Vant com sensor RGB embarcado. Para isso, foi necessário compreender como ocorre a interação local entre radiação eletromagnética solar, água, partículas e outros fatores ambientais. A partir dessas inter-relações então entender como a resposta espectral da água e a variável turbidez se correlacionam. Assim, para atender aos objetivos propostos por esta pesquisa e obter respostas sobre as hipóteses formuladas, a metodologia definida foi baseada no fluxograma da figura 18.

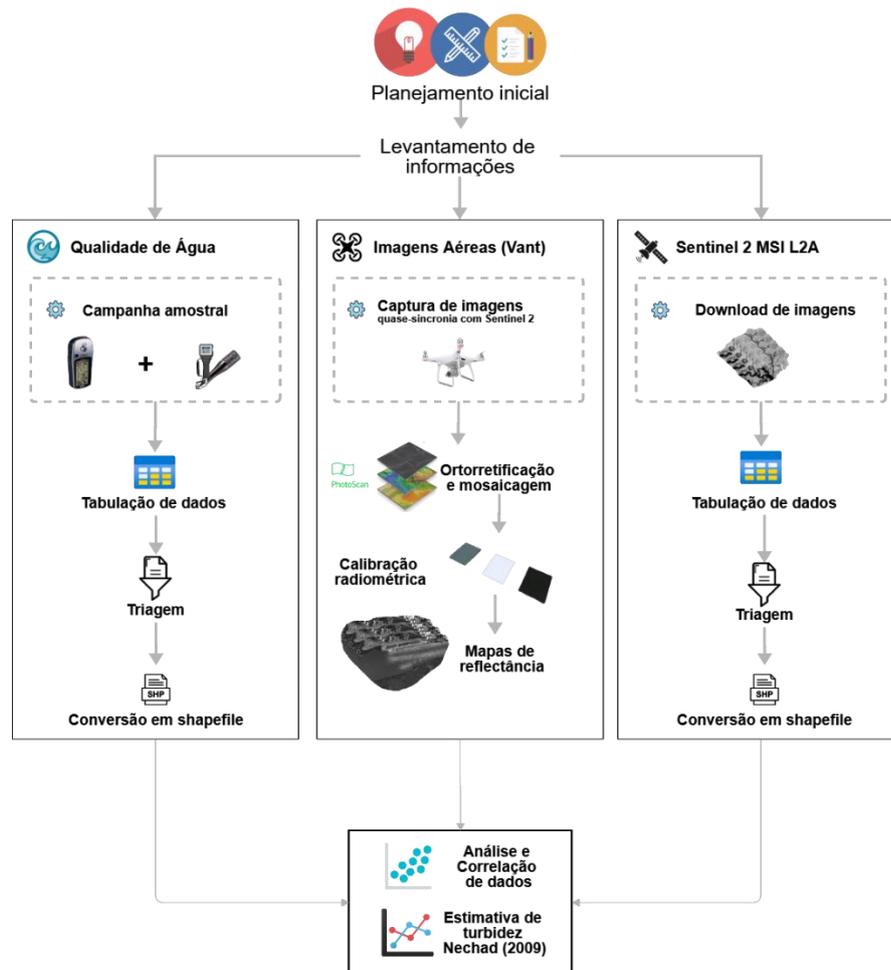


Figura 18. Fluxograma as atividades desenvolvidas nesta pesquisa. Fonte: Autora.

Após um planejamento inicial e definição das seções de estudo, os dados de campo foram levantados em sincronia com os horários e datas de passagem do satélite Sentinel 2. Os dados de campo consistiram da aquisição de informações turbidimétricas por meio sonda multiparamétrica de qualidade de água e de imagens aéreas com Vant. Na sequência foram então adquiridas as imagens Sentinel 2 com correção atmosférica ao nível L2A (ortoimagem em reflectância de superfície) (ESA, 2021) para cada data das campanhas amostrais. Os dados de turbidez foram transcritos, tabulados e então filtrados com base em observações realizadas em imagens Sentinel 2 quanto a presença de sombreamento ou nuvens sobre os pontos amostrados. As imagens aéreas adquiridas por Vant passaram por processos de ortorretificação, mosaicação e calibração radiométrica. Os mosaicos foram então convertidos em valores de reflectâncias. A presença de sólidos suspensos e, conseqüentemente, a turbidez em corpos de água aumenta a reflectancia nas bandas do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, portanto foi

selecionada a banda do vermelho para a condução dos estudos [Dogliotti et al (2015)]. Na sequência esses foram correlacionados com os valores de reflectância obtidos das imagens Sentinel 2 L2A. Posteriormente, os dados de turbidez obtidos em campo foram correlacionados com as estimativas de turbidez produzidas por reflectâncias de imagens aéreas e satelitais geradas a partir da aplicação do algoritmo de Nechad et al (2009). Por fim, foram avaliadas as influências das condições ambientais em cada análise e pontuadas as limitações dos métodos aplicados.

4.3 Planejamento de campo e equipamentos

4.3.1 Definição das seções de monitoramento

Os locais considerados estratégicos para o presente estudo foram definidos por acessibilidade, proximidade entre os pontos e diversidade ambiental.

O primeiro local de monitoramento selecionado foi junto à Barragem do São Gonçalo (figura 19). Esta obra hidráulica tem por objetivo impedir a intrusão de águas com elevado teor de sais provenientes da interação da Laguna dos Patos com o mar, fato que pode ocorrer em estações secas severas ou por influência de ventos. Pelo represamento de águas é favorecida a ocorrência de contraste nos parâmetros hidrológicos entre montante e jusante. Sua construção data de 1977 e atualmente está sob a gerência da Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim (ALM) [ALM (2022), Vianna (2012)].

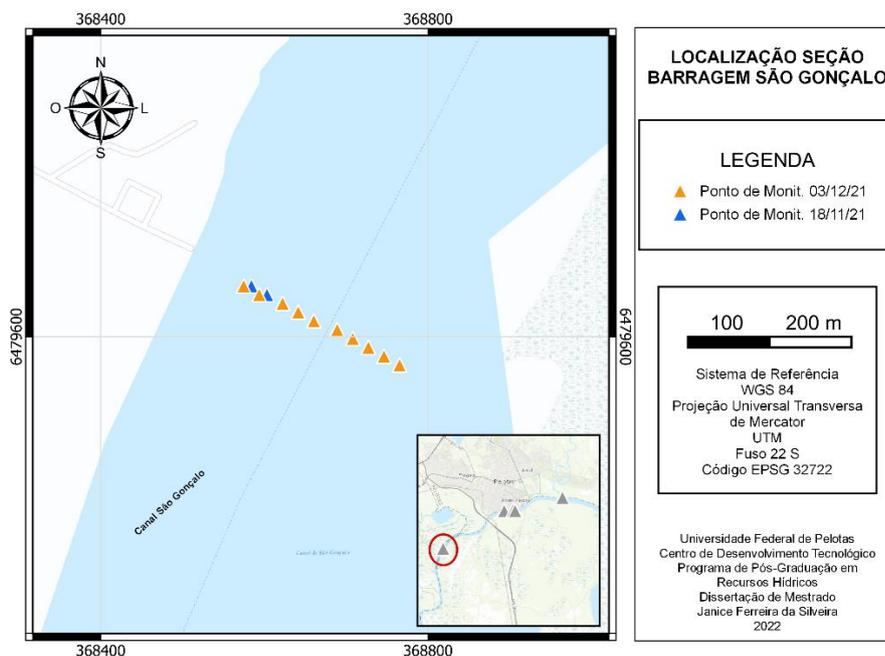


Figura 19. Localização da seção de monitoramento Barragem São Gonçalo e pontos levantados. Fonte: Esri.

O porto de Pelotas (figura 20) está localizado nas proximidades da Laguna dos Patos e do Porto de Rio Grande. Segundo a autarquia Portos RS (2021), os principais tipos de carga transportados são clínquer, grãos (soja e trigo) e madeira. O fluxo de embarcações nesta região e suas potenciais alterações nas condições ambientais tornou relevante o monitoramento do ponto neste trabalho.

Como terceiro local de monitoramento foi definido o Canal do Pepino (figura 20), um dos sistemas de drenagem do município de Pelotas. Além de águas pluviais, existem vários pontos de despejo de esgoto doméstico e dejetos. Com isso, a desembocadura do canal do Pepino no Canal São Gonçalo foi selecionada pela proximidade de outros pontos monitorados e por suas características hidroquímicas.

O atracadouro do Campus Anglo – UFPel (figura 20) fica situado em local de fácil acesso, nas dependências da Universidade Federal de Pelotas e nas proximidades do Porto de Pelotas e da desembocadura do Canal do Pepino. Este ponto de monitoramento fica centralizado entre a Barragem São Gonçalo e a foz do Arroio Pelotas.

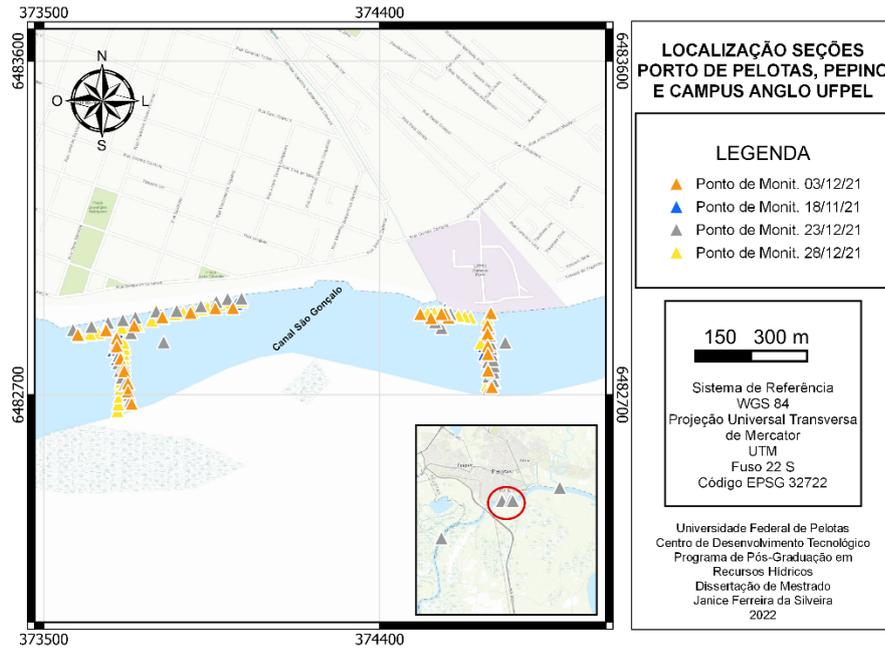


Figura 20. Localização das seções de monitoramento Porto de Pelotas, Pepino e Campus Anglo UFPel e pontos levantados. Fonte: Esri.

O último local de monitoramento é o Arroio Pelotas (figura 21), um importante afluente do Canal São Gonçalo que percorre ao longo de seu curso tanto áreas rurais, quanto zonas urbanizadas. Sua foz no Canal São Gonçalo foi selecionada para o monitoramento neste estudo, pois ali pode ser observado o encontro de massas de água com distintas qualidades e com isso maior amplitude na variação dos dados a serem analisados.

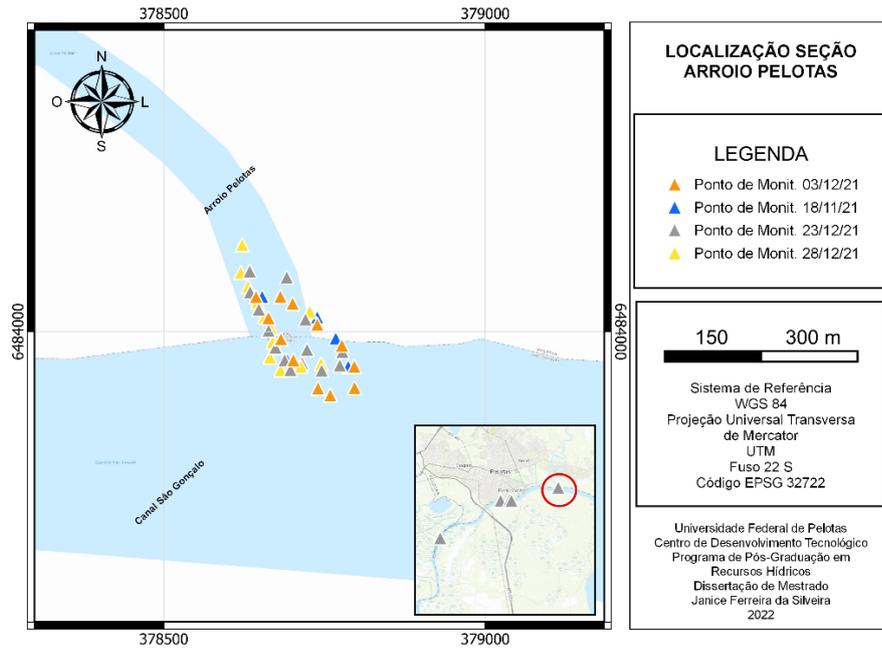


Figura 21. Localização da seção de monitoramento Arroio Pelotas e pontos levantados. Fonte: Esri.

4.3.2 Descrição dos equipamentos utilizados

a) GPS

Para coleta das informações geográficas associadas à sonda multiparamétrica foi utilizado GPS modelo Etrex Vista H, marca Garmin (figura 22).



Figura 22. GPS Garmin modelo Etrex Vista H utilizado durante as campanhas amostrais. Fonte: Autora.

b) Sonda multiparamétrica de qualidade de água

A sonda multiparâmetros modelo U-50, fabricante Horiba (figura 23) foi utilizada para o monitoramento da qualidade da água, mais especificamente para aquisição da variável turbidez (NTU). Seus sensores são protegidos por uma capa de plástico rígido perfurado e é conectada via cabo até a leitora de dados. A referida sonda é capaz de medir simultaneamente os parâmetros: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), Ph, Ph (mV), ORP - Potencial de redução de oxidação (mV), Condutividade (mS/cm), Turbidez (NTU), Oxigênio dissolvido (mg/L), Oxigênio dissolvido (%), Sólidos totais dissolvidos - TDS (g/l), Salinidade (pp+), Densidade específica água mar (σ_t), Latitude e Longitude (graus decimais). A sonda foi operada a partir de embarcações e também em terra quando do monitoramento da seção Barragem São Gonçalo.



Figura 23. Sonda de qualidade de água multiparamétrica, modelo U-50, fabricante Horiba.
Fonte: Autora.

c) Veículo aéreo não tripulado

Para a captura das imagens aéreas foi utilizado o Vant multirrotor modelo Phantom 4, fabricante DJI (figura 24). O equipamento possui GPS/GLONASS, alcance

de até 5km, autonomia de voo de 28 minutos e possui sensor RGB acoplado com 12 megapixels de resolução, sendo capaz de adquirir imagens em formato vídeo (MP4 e MOV) e foto (JPEG e DNG - RAW) [DJI (2022)].



Figura 24. Veículo aéreo não tripulado modelo Phantom 4, fabricante DJI. Fonte: Autora.

d) Painéis de Calibração

Para aquisição de referências radiométricas foram utilizados os painéis de calibração (figura 25) de 3 tonalidades modelo GC-3, fabricante Movo Micnova. As reflectâncias obtidas a partir da descrição do produto, onde a aferição conduzida em laboratório, resultou sendo: 6% (placa preta), 21% (placa cinza) e 61% (placa branca). As placas foram escolhidas por se tratar de um produto acessível, sendo comercializado em lojas globais e pelo baixo custo de aquisição (50 dólares) frente a outras opções do mercado (800 a 1500 dólares).

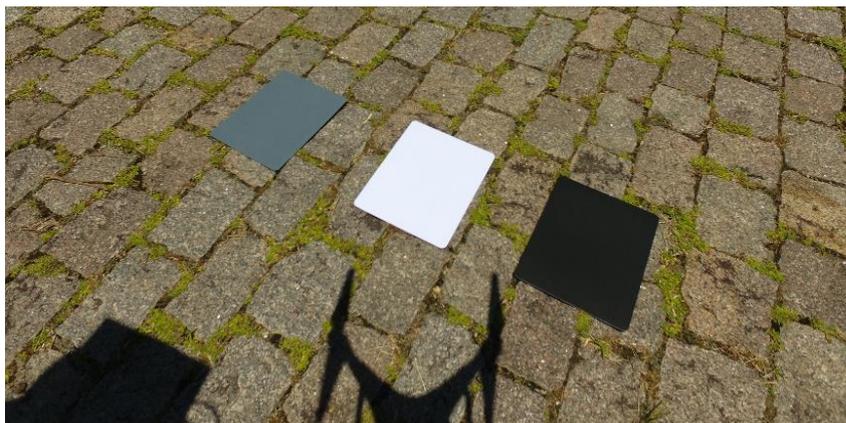


Figura 25. Placas de níveis de cinza GC-3, fabricante Movo Micnova. Fonte: Autora.

e) Satélite Sentinel 2

O satélite Sentinel 2A (figura 26) faz parte uma missão do programa Copernicus sendo operado pela Agência Espacial Européia (ESA). Conta com sensor multiespectral MSI que possui 13 bandas espectrais, variando de 443 a 2190 nm, com resolução espacial de 10m para as bandas do visível, 20m para o infravermelho e 60m para as bandas de correção atmosférica. Suas aplicações são vastas, sendo utilizado com frequência para o monitoramento de agricultura, áreas de florestas, zonas costeiras, águas interiores e uso e ocupação das terras.

Para este trabalho foram adquiridas as imagens de reflectância Sentinel 2 para as bandas 4, 3 e 2 (R, G e B) com correção atmosférica a nível de superfície (L2A).

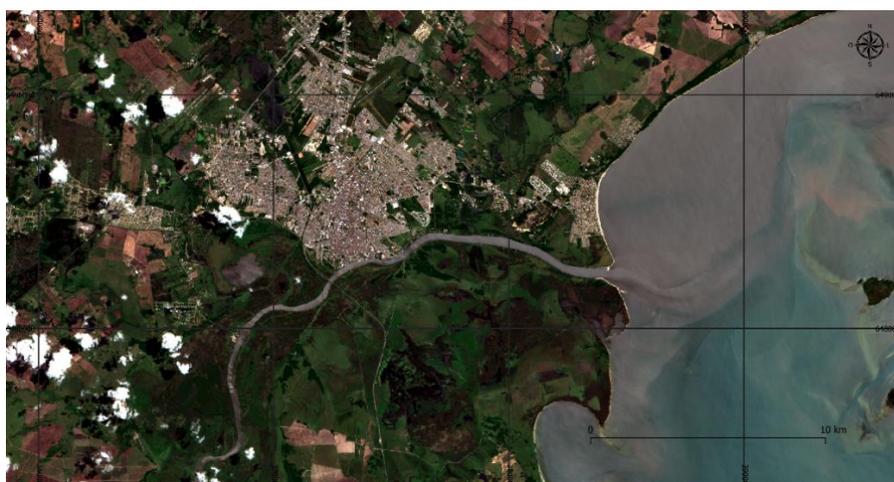


Figura 26. Imagem Sentinel 2 MSI na região do estudo. Fonte: ESA.

4.3.3 Testes prévios de captura de imagens aéreas

Foram conduzidos testes iniciais a fim de verificar os diferentes cenários e condições nos quais a pesquisa seria conduzida. Foram realizados testes das variáveis: altura de voo, posições solares, ângulo de tomada, formato de imagem, modo de captura e balanço de branco e o software utilizado para os voos foi o “DJI GO 4”, produzido pelo próprio fabricante do Vant.

Distintos modos de cores foram testados (Vivid, Normal, D-Cinelike, True Color). O balanço de branco foi testado nos modos pré-definidos do software (automático, sunny, cloudy e manual). A posição de observação da câmera foi testada mantendo o Sol em diferentes pontos em relação à câmera (Figura 27 – c,d). Foram tomadas imagens nos ângulos de 90 graus e 45 graus em relação ao solo. Em relação à altura de voo, foram capturadas imagens à 60m, 80m e 110m. As imagens foram salvas em modo .JPG e .DNG.

Após os testes foram definidos os seguintes parâmetros: voo manual, captura de imagens em modo automático, modo de cores “True Color”, balanço de brancos: manual, altura de voo 110m, posição de observação da câmera mantida com Sol atrás e ângulo de aproximadamente 45 graus em relação ao solo e formato .DNG.

O voo manual, ou seja, sem missões de voo e captura de imagens automáticas, permitiu manter todas as definições estabelecidas para os levantamentos. O modo automático de captura define automaticamente, conforme as condições ambientais, as melhores velocidades de abertura, ISO, entre outras configurações de captura. O modo de cores “True Color” foi aquele capaz de registrar as cenas sem realizar modificações nos tons de cores (figura 27 – a,b). O balanço de branco foi definido como manual com calibração realizada antes de cada voo com placas de referência. A altura de 110 metros foi aquela que retornou melhores resultados no processamento fotogramétrico, sendo esta altura próxima ao limite legal (120m) para operações VLOS (Visual Line Of Sight – em linha de visão) [DECEA (2022)]. A maior altura permite a captura de mais elementos na imagem, além do corpo hídrico, assim facilitando a busca de pontos homólogos, fundamento da aerofotogrametria. Destaca-se que os efeitos de reflexo solar foram menores quando a posição de observação da câmera mantinha o Sol em sua parte traseira (Figura 27 – c,d) e um ângulo de aproximadamente 45 graus em relação

ao solo, portanto esta foi a posição de captura selecionada. O formato RAW (DNG) preserva as informações originais obtidas para cada pixel, diferentemente do formato JPG que realiza uma compressão de dados (e conseqüente modificação) no momento de sua geração [Alvarenga (2008)].

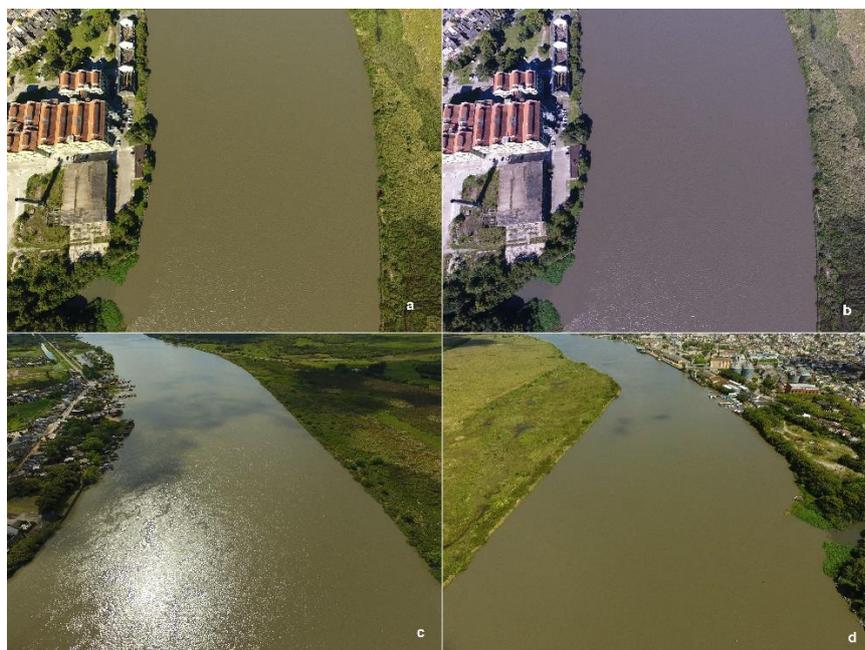


Figura 27. Imagens aéreas testando diferentes condições de aquisição. Fonte: Autora.

4.4 Campanhas de monitoramento

Durante o ano de 2021 foram conduzidas 4 campanhas de monitoramento (figura 28) utilizando sonda de qualidade de água e veículo aéreo não tripulado multirrotor com sensor de imagem RGB em sincronia com a passagem do satélite Sentinel 2 sobre a região, sendo este horário aproximadamente de 10h00 (horário GMT -3h). Os estudos se deram nas datas de 18/11/2021, 03/12/2021, 23/12/2021 e 28/12/2021 iniciando sempre por volta das 8h30 da manhã e extendendo-se até, no máximo, 14h30, período no qual, utilizando embarcações, foram adquiridos dados de qualidade de água com sonda multiparamétrica nas seções de estudo e capturadas imagens aéreas e das placas de referência.



Figura 28. Imagens dos trabalhos de levantamento em campo. Fonte: Autora.

Durante as campanhas foram coletados um total de 200 pontos com sonda de qualidade de água (tabela 1) e 1141 imagens aéreas em todas as seções, ao longo de todos os dias de campanha.

Tabela 1 – Quantidade de pontos amostrados com sonda de qualidade de água nas seções de estudo.

Data / Seção	Barragem São Gonçalo	Porto	Pepino	Campus Anglo UFPel	Foz do Arroio Pelotas
18/11/2021	11	15	5	4	8
03/12/2021	10	15	5	7	12
23/12/2021	-	21	3	13	13
28/12/2021	-	27	5	14	12
Total				200	

4.4.1 Levantamento aéreo com Vant

Após percorrer uma seção realizando as leituras com sonda multiparamétrica, a embarcação era atracada e iniciados os levantamentos aéreos. Estes foram realizados decolando a partir de 3 bases em solo: margens do Arroio Pelotas para seção Arroio Pelotas, docas do Clube de Regatas Pelotense para levantamento das seções Porto, Pepino e Campus Anglo UFPel e instalações da Barragem São Gonçalo para capturas na mesma.

A figura 29 exibe o esquema de captura das imagens que obedeceu os seguintes parâmetros: voos em modo manual, captura de imagens em modo de fotografia automático, modo de cores “True Color”, balanço de brancos em manual, altura de voo 110m, posição de observação da câmera mantida com Sol atrás e ângulo de cerca de 45 graus em relação ao solo e formato de arquivo .DNG (RAW) + .JPG.



Figura 29. Esquema de captura das imagens aéreas. Fonte: Autora.

Tranversalmente às seções eram percorridas 3 linhas de voo com taxas de sobreposição de aproximadamente 80% longitudinal x 70% lateral, conforme exemplifica a figura 30.

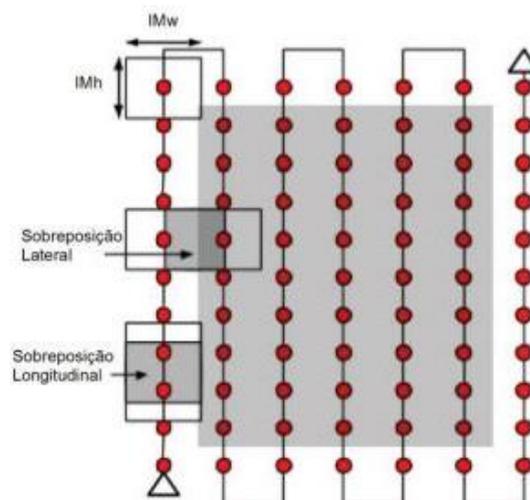


Figura 30. Linhas de voo e taxas de sobreposição lateral e longitudinal. Fonte: Figueiredo e Figueiredo, 2018.

Antes de cada decolagem foi realizado procedimento de configuração de balanço de branco através do menu de configuração (figura 31). O balanço de branco (white balance) busca equilibrar a cor da luz no ambiente. Em dias mais nublados a luz é mais azulada, enquanto nos dias ensolarados é mais amarela, com isso a câmera digital faz uma compensação gerando um equilíbrio na obtenção de fotos sequenciais [Figueiredo e Figueiredo (2018)].

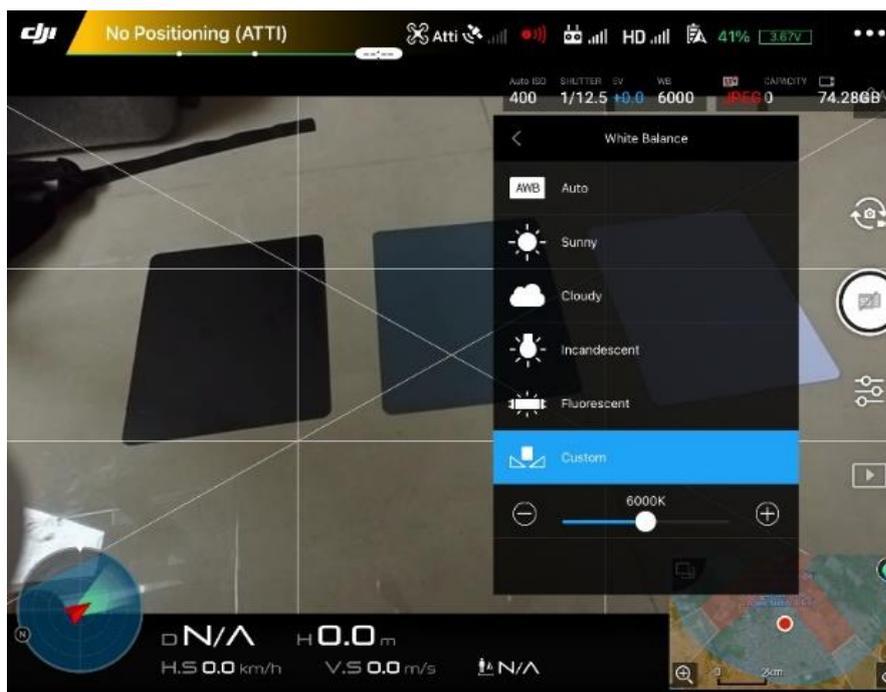


Figura 31. Calibração de balanço de branco (white balance) no software DJI GO 4. Fonte: Autora.

4.4.2 Aquisição de imagens satelitais Sentinel 2

Foram adquiridas imagens do satélite Sentinel 2 nas bandas R, G e B já com correção atmosférica ao nível L2A (ortoimagem em reflectância de superfície) pelo algoritmo Sen2Cor [ESA (2022)] para as datas 18 de novembro e 03, 23 e 28 de dezembro de 2021 através do software QGIS e seu plugin “Semi Automatic Classification Plugin – SCP” (figura 32).

As leituras foram realizadas em nível de superfície da água, apenas mergulhando suficientemente os sensores até seu recobrimento total, o que corresponde a cerca de 20 cm de profundidade. Após era aguardado período de cerca de 8 a 10 segundos para estabilização das leituras e então feito o registro das informações por fotografia sincronizadamente com a gravação da coordenada geográfica no GPS.

4.5 Análise e tratamento de dados de campo

4.5.1 Tabulação de dados de sonda multiparamétrica e GPS

As informações registradas pela sonda foram armazenadas em fotografias (figura 33) e posteriormente transcritas e tabuladas juntamente com as coordenadas geográficas adquiridas pelo GPS em formato kmz. Com isso, foram organizadas tabelas (figura 34) a partir da correlação das leituras para cada data e seção correspondente contendo as seguintes informações: ID do ponto, latitude, longitude, data, turbidez (NTU).

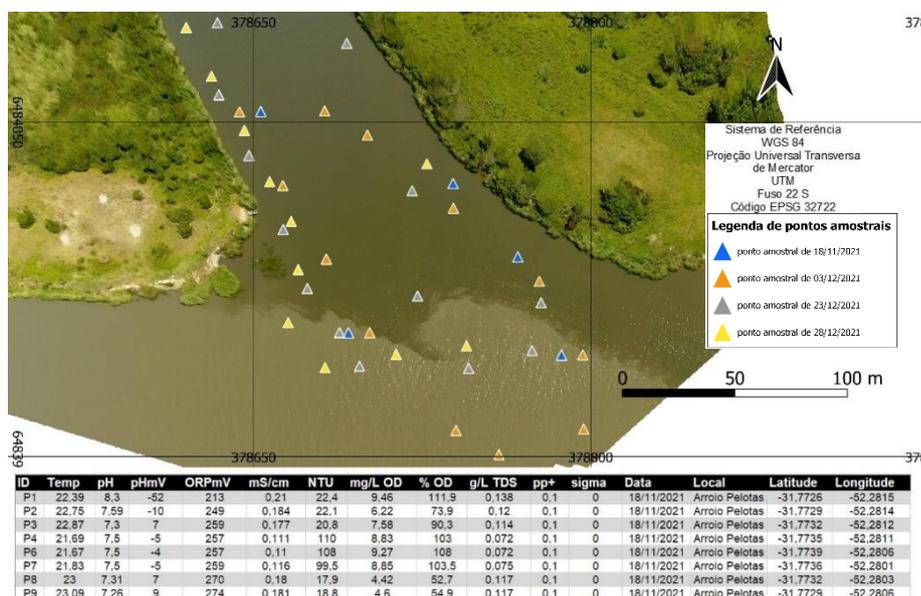


Figura 34. Parte do conjunto de dados obtidos pela sonda e gps tabulados. Fonte: Autora.

Foi conduzida uma análise espacial dos dados a partir de sua plotagem em ambiente SIG comparando-os com imagens Sentinel 2 para cada data e seção

correspondente. Com isso, foram triados pontos amostrais que se encontravam sob alguma das seguintes influências: cobertura por nuvens, sombreamento por nuvens e pontos situados em pixels sobre a margem. Além disso, houve descarte também no caso de baixa quantidade amostral.

4.5.2 Ortorretificação e mosaico das imagens aéreas

As imagens aéreas capturadas passaram por um processamento fotogramétrico para então serem obtidos produtos cartográficos. A técnica da fotogrametria pode ser definida como ciência de mensurar imagens, e é parte do campo de sensoriamento remoto [Linder (2013)]. O software Agisoft Metashape versão 1.7.3 foi utilizado e seu funcionamento se dá através de algoritmos aperfeiçoados similares ao *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT), que consiste em um método de extração de características invariantes à escala e rotação (*pitch*, *yaw* e *roll*) em imagens digitais [Lowe (2004)], e da aplicação de técnicas de *Structure from Motion* (SFM) e *Multi-view Stereo* (MVS) [Agisoft (2021), Semyonov (2011)]. As etapas executadas no software para esta pesquisa são descritas a seguir e resumidas na tabela 2, tendo sido gerados 14 ortomosaicos. Além disso, uma imagem do processamento é apresentada pela figura 35 onde em azul são exibidas as câmeras (imagens) e abaixo a nuvem de pontos produzida a partir destas.

Na etapa inicial foi realizado o *align photos* a fim de produzir correções geométricas nas imagens provenientes de variações nos ângulos de rotação (*yaw*, *pitch* e *roll*) do Vant, de inconsistências nas sobreposições entre imagens [Song et al (2016)] e gerar a nuvem de pontos esparsa (*sparse cloud*). A seguir aplicou-se procedimentos de otimização de câmeras, filtragem e remoção de dados seguindo as orientações de Over et al (2021) com vias a reduzir erros de reconstrução e geometria. Na etapa seguinte foi gerada a nuvem densa (*build dense cloud*), advinda do adensamento dos pontos com base nos mapas de profundidade por meio de *dense stereo matching* (DSM). A seguir foram executadas as etapas de reconstrução do terreno (*build DEM*), sendo este a criação de modelo digital de superfície em forma de grid regular, e a geração de ortomosaico (*build orthomosaic*) a partir da qual foram exportados ortomosaicos com resolução de 20cm/pixel.

Tabela 2 – Workflow utilizado no software Agisoft Metashape no processamento das imagens.

Etapa	Menu	Função	Ação/Configuração
1	Main Menu >> Workflow	Add photos	selecionar o conjunto de imagens do levantamento
2	Main menu >> Workflow	Align photos	configurações: high, reference preselection, source, 40000, 10000, adaptative camera model fitting
3	Main menu >> Tools	Optimize cameras	marcações em: f, cx, cy, k1, k2, k3, p1, p2, fit adicional corrections
4	Main menu >> Model>> Gradual selection	Reconstruction uncertainty (geometry)	nível: 10 (se >50% pontos forem selecionados, aumentar até <50% pontos sejam selecionados). Deletar pontos e otimizar
5	Main menu >> Tools	Optimize cameras	marcações em: f, cx, cy, k1, k2, k3, p1, p2
6	Main menu >> Model>> Gradual selection	Projection accuracy (pixel matching errors)	nível: 2 (se >50% pontos forem selecionados, aumentar até <50% pontos sejam selecionados). Deletar pontos e otimizar
7	Main menu >> Tools	Optimize cameras	marcações em: f, cx, cy, k1, k2, k3, p1, p2
8	Main menu >> Model>> Gradual selection	Reprojection error (pixel residual errors)	nível: 0.3 ou deixar no nível quando cerca de 10% dos pontos são selecionados. Deletar pontos e otimizar
9	Main menu >> Tools	Optimize cameras	marcações em: f, cx, cy, k1, k2, k3, k4, p1, p2, b1, b2, fit adicional corrections
10	Main menu >> Workflow	Build dense cloud	medium, agressive, calculate point colors
11	Main menu >> Workflow	Build DEM	dense cloud, interpolation enabled
12	Main menu >> Workflow	Build orthomosaic	build from DEM, mosaic

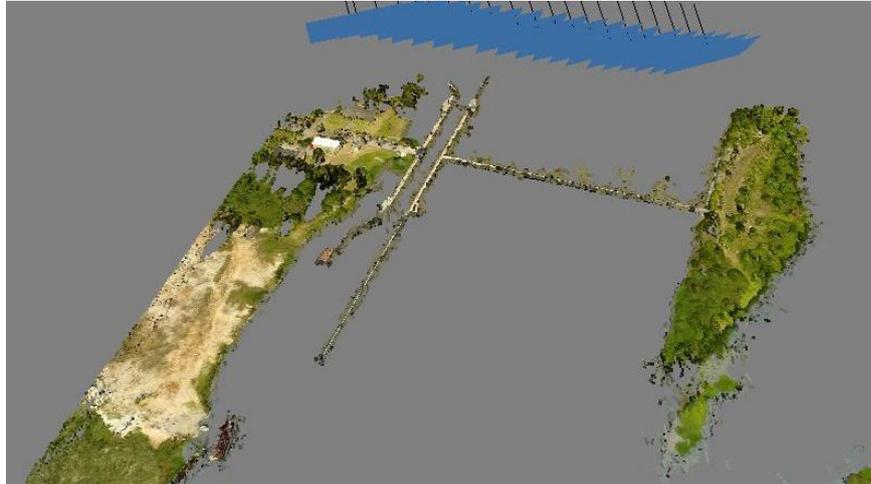


Figura 35. Imagens do processamento fotogramétrico da seção Barragem São Gonçalo. Fonte: Autora.

4.5.3 Calibração radiométrica

Calibração radiométrica consiste no processo de conversão do número digital (DN) (figura 36) de uma imagem para uma quantidade física de valores de reflectância [Iqbal et al (2018)].

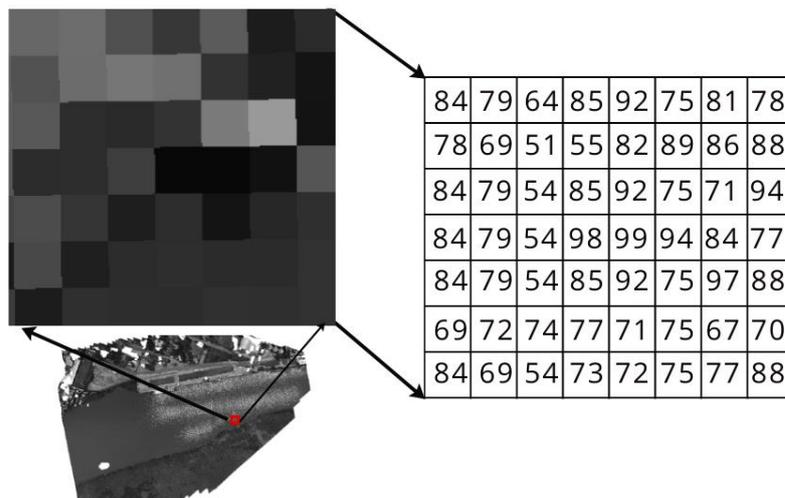


Figura 36. Representação do número digital em escala de cinzas e matriz numérica. Fonte: Autora.

Para realizar este procedimento foram adquiridos os valores de número digital armazenados nos pixels de imagem de cada placa (branca, cinza e preta) em cada banda dos mosaicos (Vermelho – Banda 1, Verde – Banda 2 e Azul – Banda 3) por meio da ferramenta “identificar feições” do software QGIS. Após sua tabulação, segundo seção, data e banda, uma análise de regressão foi realizada entre os valores de reflectância dos alvos de calibração e os valores do número digital nos comprimentos de onda de cada banda da câmera (equação 7). Para estabelecer esta relação foram utilizados 3 painéis de referência da marca MOVO nas cores preto, cinza e branco, cuja reflectância é conhecida como sendo 0.06, 0.21 e 0.61, respectivamente [Micnova (2021)]. A escolha se deu devido ao baixo custo de aquisição em comparação com outras alternativas do mercado, por se tratar de um material comercializado em diferentes países, fabricado em material durável e possuir informações de reflectância.

$$R_{seção-data(\lambda)} = \alpha_{\lambda} \times e^{(\beta_{\lambda} \times DN_{\lambda})}$$

Equação 7. Regressão empírica para determinação da reflectância do pixel.

Onde R é a reflectância resultante do pixel na respectiva seção e data, λ é a banda espectral, α e β são coeficientes determinados pela regressão, e corresponde ao número de euler e DN é o número digital armazenado no pixel.

A partir destas informações foram construídas equações empíricas (com auxílio do software Microsoft Excel), com base no método da linha empírica [Smith e Milton (1999), Baugh e Groenevel (2008), Wang e Myint (2015), García-Fernández et al (2021)] para cada campanha amostral em cada grupo de seções, a saber: Barragem São Gonçalo (2), Porto, Campus Anglo UFPel e Pepino (4) e Arroio Pelotas (4).

4.5.4 Conversão e extração dos valores de reflectância

As equações de calibração obtidas foram utilizadas para produzir mapas de reflectância a partir dos mosaicos. Os ortomosaicos foram submetidos a um processo de conversão por meio da ferramenta “calculadora raster” do software QGIS, onde neste processo os valores DN de cada pixel foram convertidos para valores de

reflectância. Ao final da operação, todos os ortomosaicos resultantes continham níveis de reflectância para cada um dos comprimentos de onda Vermelho, Verde e Azul em cada pixel.

Por fim, o algoritmo “*amostrar valores do raster*” foi aplicado utilizando como camada de entrada arquivo shapefile dos pontos amostrados com sonda multiparamétrica e como camadas raster as bandas 1, 2 e 3, respectivamente vermelho, verde e azul dos ortomosaicos de reflectância (originais e reamostrados) e as imagens Sentinel 2 L2A em suas bandas 4 (vermelho) , 3 (verde) e 2 (azul).

4.5.5 Estimativa da turbidez

O trabalho desenvolvido por Nechad et al (2009) propôs um algoritmo para estimar valores de turbidez por meio de sensoriamento remoto para ambientes costeiros e estuarinos (equação 8). Em estudos posteriores, Dogliotti et al (2011) e Dogliotti et al (2015) realizaram calibração e validação de coeficientes utilizando dados do sensor MODIS. Nos estudos os autores estabelecem a utilização de valores de reflectância registrados para a faixa de comprimento de onda 645 nm (banda vermelho) ou 859 nm (banda NIR) indicando os respectivos coeficientes A e C para cada comprimento de onda. Nechad et al (2009) e Nechad et al (2010) estabeleceram uma tabela de equivalência de coeficientes de acordo com o comprimento espectral adotado. Neste trabalho a equação 8 foi aplicada utilizando os coeficientes para a banda do vermelho (665nm) apresentados na tabela 3.

$$T = \frac{(A_T^\lambda \rho_w(\lambda))}{(1 - \frac{\rho_w(\lambda)}{C^\lambda})}$$

Equação 8. Algoritmo semi-empírico de estimativa de turbidez (T). Fonte: Nechad et al, 2009

Onde T é a turbidez (FNU), A_T e C_T são dois coeficientes de calibração associados às propriedades óticas inerentes e ao comprimento de onda, ρ_w é a reflectância da água e λ indica o comprimento de onda.

Tabela 3 – Coeficientes A_T e C_T para a banda do vermelho, correspondente a 665 nm (Sentinel 2) extraídos de Nechad et al (2009) e Nechad et al (2010).

λ (nm)	A_T	C_T
665	282.95	0.1728

Os coeficientes A e C idealmente seriam calibrados com propriedades ópticas inerentes (POIs), incluindo absorção de partículas, absorção de não partículas e coeficientes de retroespalhamento [Dogliotti et al. (2015)]. Infelizmente, as POIs não foram medidas durante a coleta de dados de campo, dificultando a determinação desses parâmetros do modelo. Com isso, foram adotados os coeficientes estabelecidos por Nechad et al (2009) e Nechad et al (2010) ajustados ao espectro da banda utilizada.

Por fim, utilizando as informações contidas nas imagens raster de reflectância (na banda do vermelho de ortomosaicos Vant e de imagens Sentinel 2 L2A) nas coordenadas geográficas nas quais houve amostragem com sonda foi aplicado o algoritmo supracitado. Com isso foram obtidas estimativas de turbidez a partir de dados Vant e Sentinel 2 e correlacionadas com os dados de turbidez registrados *in situ*.

5 Resultados e Discussões

Aqui são apresentados os resultados obtidos no presente estudo. A simbologia relativa às datas de campanha dos pontos amostrais em figuras e gráficos é apresentada conforme a figura 37.



Figura 37. Legenda referente aos pontos amostrais apresentados nas figuras seguintes.

5.1 Variabilidade da turbidez *in situ*

Foram agrupados e tabulados por seção todos os pontos medidos durante as campanhas amostrais realizadas em quase-sincronia com a passagem do satélite Sentinel 2, contendo as seguintes informações: ID, latitude e longitude (graus decimais), data e turbidez (NTU). Estes dados são apresentados nas tabelas 4 a 8 formando um total de 200 pontos amostrados *in situ*, sendo 151 considerados válidos mediante os critérios de seleção apontados na metodologia. Os pontos descartados foram listados com células em destaque na cor cinza. Cabe salientar ainda que, as campanhas amostrais foram afetadas pela pandemia Covid-19, que infelizmente ceifou muitas vidas e afetou em nível global todo tipo de atividades. Com isso, não foi possível obter a quantidade amostral idealizada para o presente estudo e pelo fato da janela de execução ocorrer em quase sincronia com a passagem do satélite Sentinel 2, reduziram-se mais ainda as oportunidades de campo.

Devido a utilização de sonda multi paramétrica, outros parâmetros também foram coletados para estes pontos (temperatura, pH, ORP, condutividade, salinidade, oxigênio dissolvido e sólidos totais dissolvidos), entretanto não foram utilizadas tais informações, e seus dados suprimidos das tabelas para um maior enfoque nos objetivos deste estudo, porém permanecendo à disposição para eventuais consultas nos apêndices desta pesquisa.

Tabela 4 – Pontos amostrados com sonda de qualidade de água na seção Arroio Pelotas – ID, Latitude e Longitude (graus decimais), Data (dd/mm/aa) e Turbidez (NTU).

ID	Latitude	Longitude	Data	Turbidez
P1	-31,7726	-52,2815	18/11/2021	22,4
P2	-31,7729	-52,2814	18/11/2021	22,1
P3	-31,7732	-52,2812	18/11/2021	20,8
P4	-31,7735	-52,2811	18/11/2021	110,0
P6	-31,7739	-52,2806	18/11/2021	108,0
P7	-31,7736	-52,2801	18/11/2021	99,5
P8	-31,7732	-52,2803	18/11/2021	17,9
P9	-31,7729	-52,2806	18/11/2021	18,8
201	-31,7726	-52,2812	03/12/2021	105,0
211	-31,7727	-52,2810	03/12/2021	105,0
221	-31,7730	-52,2806	03/12/2021	106,0
231	-31,7733	-52,2802	03/12/2021	106,0
241	-31,7736	-52,2800	03/12/2021	108,0
251	-31,7739	-52,2800	03/12/2021	105,0
261	-31,7740	-52,2804	03/12/2021	106,0

271	-31,7739	-52,2806	03/12/2021	104,0
281	-31,7735	-52,2810	03/12/2021	104,0
291	-31,7732	-52,2812	03/12/2021	107,0
301	-31,7729	-52,2814	03/12/2021	109,0
311	-31,7726	-52,2816	03/12/2021	105,0
21	-31,7734	-52,2808	23/12/2021	72,3
22	-31,7729	-52,2808	23/12/2021	75,2
23	-31,7723	-52,2811	23/12/2021	73,9
24	-31,7722	-52,2817	23/12/2021	72,1
25	-31,7725	-52,2817	23/12/2021	70,9
26	-31,7728	-52,2816	23/12/2021	70,9
27	-31,7731	-52,2814	23/12/2021	68,4
28	-31,7733	-52,2813	23/12/2021	73,2
29	-31,7735	-52,2811	23/12/2021	73,1
30	-31,7736	-52,2811	23/12/2021	72,5
31	-31,7736	-52,2805	23/12/2021	75,8
32	-31,7736	-52,2802	23/12/2021	70,5
33	-31,7734	-52,2802	23/12/2021	71,0
72	-31,7728	-52,2807	28/12/2021	70,7
73	-31,7719	-52,2818	28/12/2021	82,2
74	-31,7723	-52,2818	28/12/2021	75,0
75	-31,7725	-52,2817	28/12/2021	72,0
76	-31,7727	-52,2816	28/12/2021	71,7
77	-31,7729	-52,2815	28/12/2021	75,1
78	-31,7730	-52,2814	28/12/2021	64,2
79	-31,7732	-52,2813	28/12/2021	61,4
80	-31,7735	-52,2814	28/12/2021	81,2
81	-31,7736	-52,2812	28/12/2021	65,2
82	-31,7736	-52,2809	28/12/2021	63,2
83	-31,7736	-52,2805	28/12/2021	64,6

Tabela 5 – Pontos amostrados com sonda de qualidade de água na seção Campus Anglo UFPel – ID, Latitude e Longitude (graus decimais), Data (dd/mm/aa) e Turbidez (NTU).

ID	Latitude	Longitude	Data	Turbidez
P42	-31,7832	-52,3236	18/11/2021	120,0
P52	-31,7834	-52,3236	18/11/2021	118,0
P62	-31,7838	-52,3235	18/11/2021	141,0
P72	-31,7842	-52,3234	18/11/2021	129,0
321	-31,7824	-52,3234	03/12/2021	109,0
331	-31,7827	-52,3235	03/12/2021	103,0
341	-31,7829	-52,3235	03/12/2021	104,0
351	-31,7832	-52,3235	03/12/2021	106,0
361	-31,7834	-52,3235	03/12/2021	104,0
371	-31,7838	-52,3235	03/12/2021	111,0
381	-31,7842	-52,3234	03/12/2021	117,0
35	-31,7827	-52,3235	23/12/2021	76,6
36	-31,7836	-52,3235	23/12/2021	78,7
37	-31,7839	-52,3235	23/12/2021	83,2

38	-31,7843	-52,3235	23/12/2021	81,3
39	-31,7840	-52,3234	23/12/2021	81,4
40	-31,7838	-52,3233	23/12/2021	81,7
41	-31,7837	-52,3233	23/12/2021	80,2
42	-31,7835	-52,3234	23/12/2021	79,4
43	-31,7834	-52,3234	23/12/2021	78,6
44	-31,7833	-52,3234	23/12/2021	77,4
45	-31,7831	-52,3234	23/12/2021	75,5
46	-31,7830	-52,3234	23/12/2021	74,8
47	-31,7828	-52,3235	23/12/2021	73,0
84	-31,7825	-52,3235	28/12/2021	67,7
85	-31,7831	-52,3237	28/12/2021	67,5
86	-31,7835	-52,3235	28/12/2021	74,1
87	-31,7836	-52,3234	28/12/2021	71,1
88	-31,7838	-52,3234	28/12/2021	66,9
89	-31,7841	-52,3233	28/12/2021	66,8
90	-31,7841	-52,3235	28/12/2021	71,3
91	-31,7839	-52,3235	28/12/2021	66,9
92	-31,7838	-52,3234	28/12/2021	66,3
93	-31,7836	-52,3234	28/12/2021	65,7
94	-31,7833	-52,3234	28/12/2021	65,1
95	-31,7825	-52,3240	28/12/2021	62,4
96	-31,7825	-52,3241	28/12/2021	63,9
97	-31,7825	-52,3243	28/12/2021	64,8

Tabela 6 – Pontos amostrados com sonda de qualidade de água na seção Pepino – ID, Latitude e Longitude (graus decimais), Data (dd/mm/aa) e Turbidez (NTU).

ID	Latitude	Longitude	Data	Turbidez
P82	-31,7825	-52,3246	18/11/2021	113,0
P92	-31,7823	-52,3247	18/11/2021	118,0
P103	-31,7824	-52,3249	18/11/2021	115,0
P113	-31,7824	-52,3251	18/11/2021	114,0
P123	-31,7824	-52,3254	18/11/2021	109,0
391	-31,7825	-52,3246	03/12/2021	106,0
401	-31,7824	-52,3247	03/12/2021	106,0
411	-31,7824	-52,3248	03/12/2021	106,0
421	-31,7825	-52,3251	03/12/2021	106,0
431	-31,7824	-52,3254	03/12/2021	105,0
48	-31,7826	-52,3250	23/12/2021	84,4
49	-31,7824	-52,3248	23/12/2021	72,6
50	-31,7824	-52,3245	23/12/2021	77,6
98	-31,7824	-52,3246	28/12/2021	70,0
99	-31,7824	-52,3247	28/12/2021	74,9
100	-31,7824	-52,3249	28/12/2021	72,0
101	-31,7824	-52,3250	28/12/2021	74,7
102	-31,7824	-52,3252	28/12/2021	55,1

Tabela 7 – Pontos amostrados com sonda de qualidade de água na seção Porto – ID, Latitude e Longitude (graus decimais), Data (dd/mm/aa) e Turbidez (NTU).

ID	Latitude	Longitude	Data	Turb.	ID	Latitude	Longitude	Data	Turb.
P131	-31,7821	-52,3306	18/11/2021	109,0	60	-31,7826	-52,3347	23/12/2021	93,1
P141	-31,7822	-52,3312	18/11/2021	107,0	61	-31,7827	-52,3352	23/12/2021	92,2
P152	-31,7823	-52,3319	18/11/2021	110,0	62	-31,7828	-52,3336	23/12/2021	86,8
P16	-31,7824	-52,3327	18/11/2021	110,0	63	-31,7830	-52,3340	23/12/2021	74,0
P17	-31,7826	-52,3334	18/11/2021	116,0	64	-31,7832	-52,3340	23/12/2021	72,5
P18	-31,7827	-52,3343	18/11/2021	111,0	65	-31,7833	-52,3340	23/12/2021	73,7
P19	-31,7828	-52,3351	18/11/2021	110,0	66	-31,7835	-52,3340	23/12/2021	72,6
P20	-31,7829	-52,3339	18/11/2021	113,0	67	-31,7837	-52,3339	23/12/2021	71,4
P211	-31,7832	-52,3341	18/11/2021	119,0	68	-31,7839	-52,3339	23/12/2021	73,6
P22	-31,7834	-52,3340	18/11/2021	122,0	69	-31,7840	-52,3338	23/12/2021	79,7
P23	-31,7835	-52,3338	18/11/2021	128,0	70	-31,7843	-52,3337	23/12/2021	88,5
P24	-31,7837	-52,3339	18/11/2021	111,0	71	-31,7844	-52,3336	23/12/2021	74,7
P25	-31,7840	-52,3337	18/11/2021	118,0	103	-31,7820	-52,3305	28/12/2021	75,2
P26	-31,7842	-52,3337	18/11/2021	133,0	104	-31,7821	-52,3308	28/12/2021	58,4
P27	-31,7845	-52,3336	18/11/2021	121,0	105	-31,7821	-52,3311	28/12/2021	61,1
441	-31,7822	-52,3307	03/12/2021	104,0	106	-31,7822	-52,3314	28/12/2021	61,7
451	-31,7822	-52,3312	03/12/2021	106,0	107	-31,7822	-52,3316	28/12/2021	61,0
461	-31,7823	-52,3319	03/12/2021	106,0	108	-31,7823	-52,3318	28/12/2021	55,1
471	-31,7824	-52,3327	03/12/2021	105,0	109	-31,7823	-52,3321	28/12/2021	63,1
481	-31,7826	-52,3335	03/12/2021	105,0	110	-31,7823	-52,3323	28/12/2021	59,2
491	-31,7827	-52,3343	03/12/2021	107,0	111	-31,7824	-52,3327	28/12/2021	47,6
501	-31,7828	-52,3351	03/12/2021	106,0	112	-31,7825	-52,3330	28/12/2021	65,8
511	-31,7829	-52,3340	03/12/2021	106,0	113	-31,7826	-52,3334	28/12/2021	61,5
521	-31,7831	-52,3340	03/12/2021	109,0	114	-31,7827	-52,3339	28/12/2021	82,5
531	-31,7834	-52,3339	03/12/2021	114,0	115	-31,7827	-52,3343	28/12/2021	67,6
541	-31,7836	-52,3338	03/12/2021	109,0	116	-31,7828	-52,3345	28/12/2021	66,0
551	-31,7837	-52,3338	03/12/2021	109,0	117	-31,7828	-52,3347	28/12/2021	57,1
561	-31,7840	-52,3337	03/12/2021	112,0	118	-31,7828	-52,3350	28/12/2021	63,2
571	-31,7842	-52,3337	03/12/2021	115,0	119	-31,7847	-52,3340	28/12/2021	67,6
581	-31,7845	-52,3336	03/12/2021	114,0	120	-31,7845	-52,3340	28/12/2021	70,5
51	-31,7820	-52,3305	23/12/2021	78,2	121	-31,7843	-52,3339	28/12/2021	70,2
52	-31,7820	-52,3308	23/12/2021	72,3	122	-31,7841	-52,3339	28/12/2021	65,5
53	-31,7820	-52,3312	23/12/2021	76,8	123	-31,7840	-52,3339	28/12/2021	65,3
54	-31,7821	-52,3316	23/12/2021	63,1	124	-31,7838	-52,3339	28/12/2021	69,6
55	-31,7823	-52,3323	23/12/2021	73,6	125	-31,7836	-52,3338	28/12/2021	67,4
56	-31,7823	-52,3329	23/12/2021	72,5	126	-31,7834	-52,3338	28/12/2021	69,9
57	-31,7824	-52,3335	23/12/2021	111,0	127	-31,7833	-52,3338	28/12/2021	65,4
58	-31,7825	-52,3338	23/12/2021	98,2	128	-31,7832	-52,3338	28/12/2021	65,5
59	-31,7825	-52,3342	23/12/2021	94,2	129	-31,7830	-52,3338	28/12/2021	61,2

Tabela 8 – Pontos amostrados com sonda de qualidade de água na seção Barragem São Gonçalo – ID, Latitude e Longitude (graus decimais), Data (dd/mm/aa) e Turbidez (NTU).

ID	Latitude	Longitude	Data	Turbidez
P30	-31,8111	-52,3884	18/11/2021	118,0

P311	-31,8112	-52,3882	18/11/2021	122,0
P321	-31,8113	-52,3880	18/11/2021	118,0
P33	-31,8114	-52,3878	18/11/2021	105,0
P34	-31,8115	-52,3876	18/11/2021	134,0
P35	-31,8116	-52,3873	18/11/2021	110,0
P36	-31,8117	-52,3871	18/11/2021	108,0
P37	-31,8118	-52,3869	18/11/2021	105,0
P38	-31,8119	-52,3867	18/11/2021	106,0
P39	-31,8120	-52,3865	18/11/2021	194,0
P40	-31,8120	-52,3865	18/11/2021	157,0
591	-31,8111	-52,3885	03/12/2021	97,7
601	-31,8112	-52,3883	03/12/2021	98,2
611	-31,8113	-52,3880	03/12/2021	97,5
621	-31,8114	-52,3878	03/12/2021	105,0
631	-31,8115	-52,3876	03/12/2021	98,4
641	-31,8116	-52,3873	03/12/2021	98,9
651	-31,8117	-52,3871	03/12/2021	102,0
661	-31,8118	-52,3869	03/12/2021	90,6
671	-31,8119	-52,3867	03/12/2021	129,0
681	-31,8120	-52,3865	03/12/2021	124,0

Os valores de turbidez observados neste estudo situaram-se na faixa de 17,9 a 194 NTU (figura 38). De acordo com Libânio (2010), a turbidez dos corpos d'água no Brasil é particularmente elevada em regiões onde os solos são mais erodíveis, uma vez que eventos de precipitação podem contribuir para o carreamento de sedimentos para dentro dos mananciais, e além do fato da turbidez ser natural em grande parte dos rios em decorrência das características geológicas das bacias de drenagem. Os valores encontrados neste estudo já eram esperados, conforme a pesquisa realizada por Souza (2015) para o canal São Gonçalo que indentificou turbidez entre 20 a 154 NTU, com exceção de amostragem pontual de 194 NTU junto à margem direita da seção Barragem São Gonçalo. A autora (Souza, 2015) menciona ainda que é observada uma maior variação deste parâmetro no canal São Gonçalo para o período de alta pluviosidade.

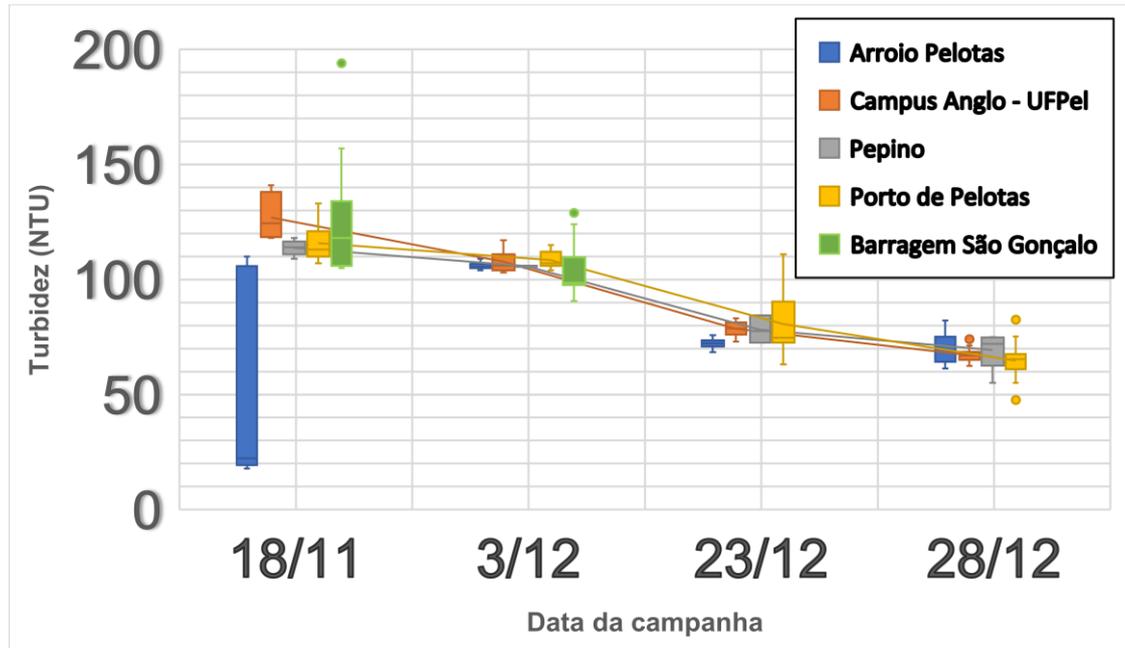


Figura 38. Gráfico de distribuição da turbidez entre os pontos amostrais e seções ao longo das campanhas amostrais.

5.2 Condições ambientais na aquisição de dados

Os ortomosaicos em composição RGB produzidos para as seções de estudo mostram a variabilidade das condições ambientais quando da aquisição dos dados (figuras 39, 40, 41 e 42). É possível observar na figura 39 duas regiões no corpo hídrico onde existe clara separação e distintas colorações. Investigando os valores de turbidez espacialmente, observou-se que as regiões de coloração marrom claro evidenciaram uma turbidez registrada *in situ* maior em relação a esta região limítrofe. Para a campanha amostral realizada os pontos P4, P6 e P7 apresentaram média de 105,8 NTU, enquanto que os demais apresentaram índices de turbidez menores com média de 20,4 NTU. Souza (2015) aponta que em locais que estão situados em desembocaduras de arroios ou canais entende-se como de significativas influências para a variabilidade e amplitude dos dados amostrados. Pode-se inferir ainda que fatores como ventos, velocidade de fluxo e pluviometria podem contribuir para a heterogeneidade observada na seção.

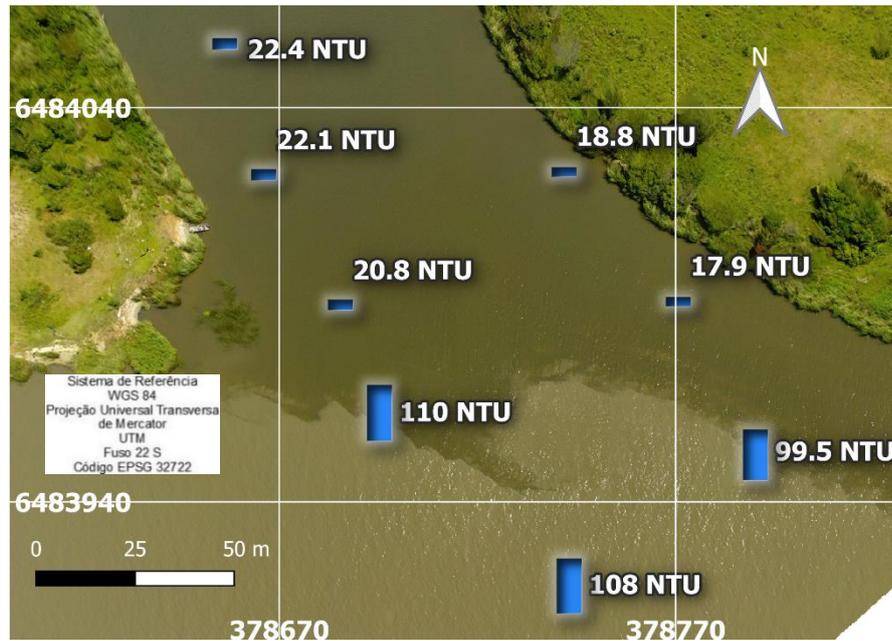


Figura 39. Ortomosaico e pontos amostrais na seção Arroio Pelotas na data de 18/11/2021.

A figura 40 mostra a seção (Barragem São Gonçalo) em composição RGB na qual é possível observar linhas de fluxo formadas no sentido Lagoa Mirim – Lagoa dos Patos e zonas de ressurgência de águas. A correnteza é formada em razão do deslocamento das massas d'água pela diferença de nível propiciado pela estrutura da barragem, cuja principal finalidade é de evitar a intrusão de água salgada na Lagoa Mirim [Gouvêa et al (2010)]. Seguindo o sentido da corrente, observa-se um fluxo mais turbulento no qual ondulações são formadas e verifica-se espalhamento ou brilho da luz solar (*sun glint*) sobre a superfície da água.

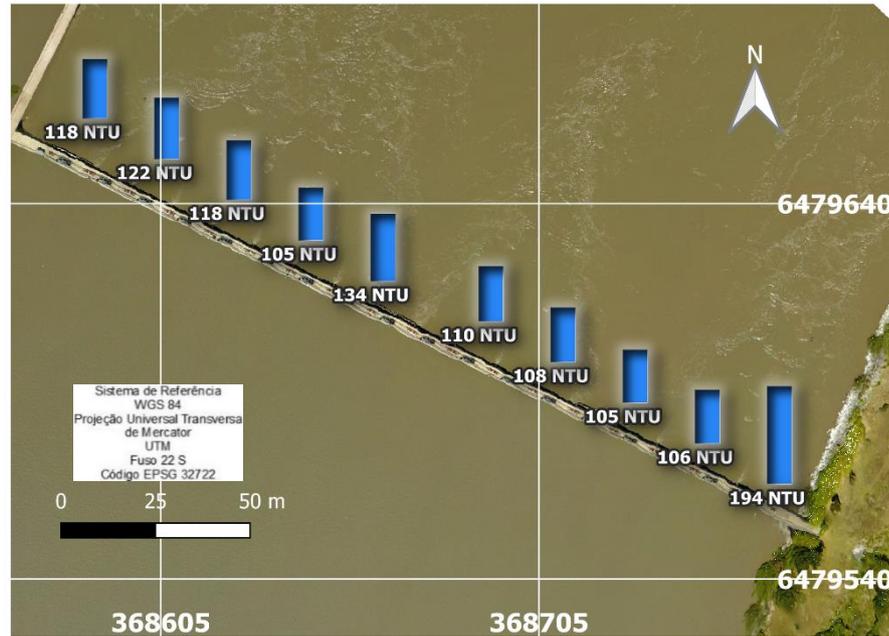


Figura 40. Ortomosaico e pontos amostrais na seção Barragem São Gonçalo na data de 18/11/2021.

O efeito de reflexão solar também foi identificado em outros mosaicos como, por exemplo, nas figuras 41 e 42. No processo de captura foram adaptados os métodos propostos por De Keukelaere et al (2021a) de ajustar o ângulo de captura e orientação solar, a fim de mitigar o efeito do brilho solar. O autor disponibiliza ainda o *Monocle Flight Planner*, ferramenta online que auxilia na definição dos parâmetros corretos para configurar um plano de voo para aquisição de dados sobre a água. Análises da superfície da água e das condições de iluminação realizadas por Zeng et al (2017) com espectrômetro embarcado em *unmanned aerial vehicle* (UAV) demonstraram que o impacto do brilho e da sombra na reflectância da água é complicado e que não há uma tendência consistente observada entre a proporção de brilho e a refletância da água nas leituras. A presença de ondulações também pode ser observada em ambas imagens, sendo ocasionadas pela ação de ventos associada ao próprio fluxo natural do corpo hídrico. Zeng et al (2017) apontam ainda que mudanças abruptas de reflectância associadas ao ângulo de incidência e interações de linha de visão por ondas são fontes de incertezas, pois modificam as proporções relativas de brilho e sombra nas imagens.

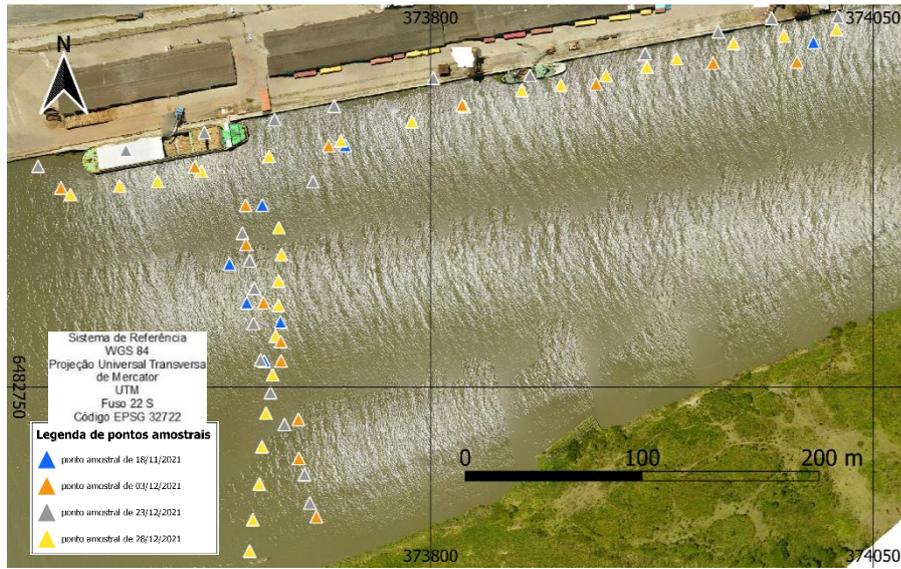


Figura 41. Ortomosaico na data de 28/12/2021 e pontos amostrais na seção Porto.

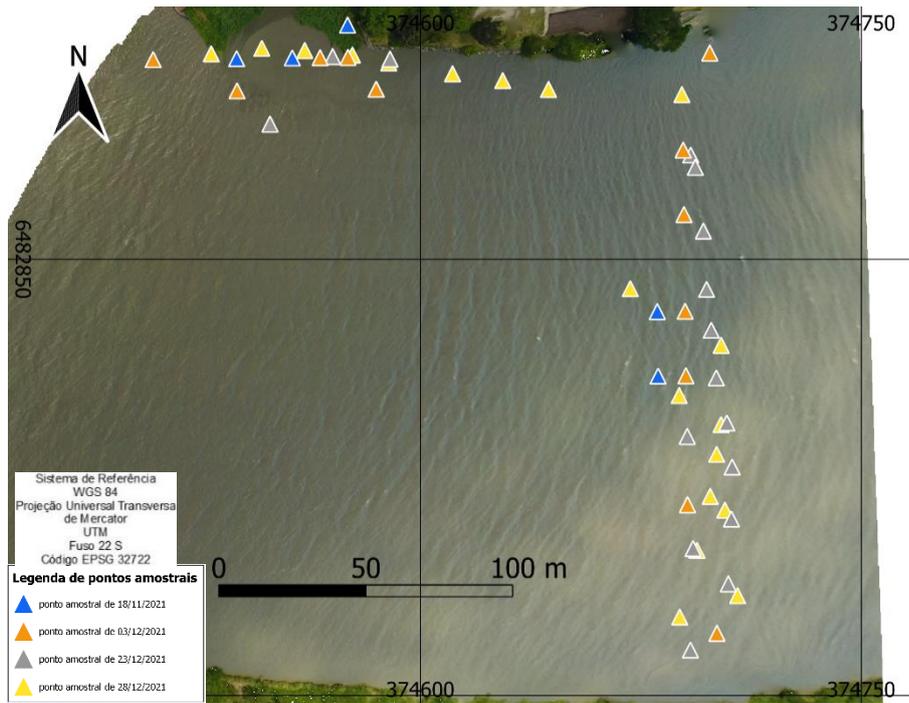


Figura 42. Ortomosaico na data de 03/12/2021 e pontos amostrais nas seções Campus Anglo UFPel e Pepino.

5.3 Correção geométrica

Na figura 43 podem ser observadas a presença de irregularidades na junção do ortomosaico, fruto de incertezas durante a reconstrução geométrica. Um dos processos iniciais envolvidos na técnica fotogramétrica é a localização de pares homólogos (*match points*) em distintas imagens (convolução gaussiana) [Agisoft (2020)]. Lowe (2004) aponta que quando um menor número de *key points* é identificado, posteriormente, seus *match points* nas fotos vizinhas são reduzidos, o que dificulta o alinhamento e a calibração das imagens para a montagem final da ortofoto. Figueiredo et al (2020) menciona que situação semelhante pode ser verificada em florestas onde a tipologia do ambiente estabelece um aspecto de manto verde homogêneo, assim dificultando significativamente o processamento das imagens. Em se tratando de um ambiente aquático lótico, a superfície está constantemente formando ondulações com maior ou menor intensidade devido ao fluxo da água, a ação de ventos, assim como pelo tráfego de embarcações. O sombreamento em decorrência da passagem de nuvens durante o imageamento altera as condições de iluminação dos alvos. Com isso, podem ocorrer modificações posicionais e morfológicas dos alvos entre uma e outra imagem capturada.

A partir das observações de Figueiredo et al (2020) sugere-se, como alternativa para mitigar problemas de reconstrução geométrica, adquirir imagens de alturas maiores ou utilizar lentes de menor distância focal que permitam assim aumentar o campo de captura das fotos, respeitados os limites legais de altura de voo de cada país. Figueiredo et al (2020) sugere ainda ajustar a sobreposição lateral e longitudinal das fotos (para maior densidade de dados), corrigir velocidade do Vant e ajustar o shutter da máquina fotográfica, a fim de evitar arrastamento e perda de foco.

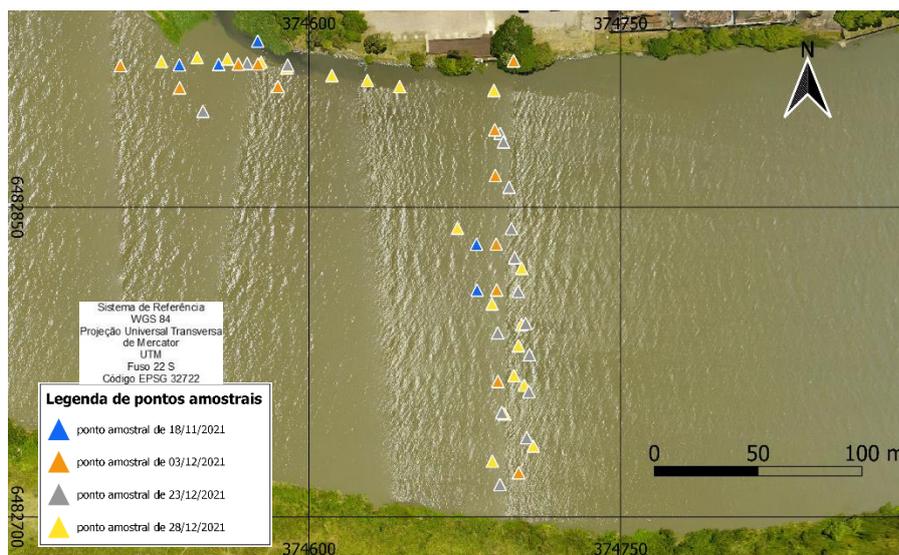


Figura 43. Ortomosaico e pontos amostrais na seção Campus Anglo UFPel e Pepino na data de 28/12/2021.

5.4 Calibração radiométrica

As equações de calibração produzidas em cada seção e data de campanha amostral são apresentadas na tabela 9. Os coeficientes α determinados oscilaram de 0.0364 (Arroio Pelotas) à 0.05490 (Campus Anglo UFPel|Porto|Pepino), enquanto que os coeficientes β situaram-se entre 0.0098 (Arroio Pelotas) e 0.0113 (Arroio Pelotas).

Tabela 9 – Equações de calibração de reflectâncias para mosaicos Vant produzidas para a banda do vermelho.

Data	Seção	Coefficiente α	Coefficiente β
18/11/2021	C. A. UFPel Porto Pepino	0,0549	0,0100
03/12/2021	C. A. UFPel Porto Pepino	0,0518	0,0105
23/12/2021	C. A. UFPel Porto Pepino	0,04560	0,0101
28/12/2021	C. A. UFPel Porto Pepino	0,04410	0,0105
18/11/2021	Arroio Pelotas	0,0379	0,0110
03/12/2021	Arroio Pelotas	0,0364	0,0113
23/12/2021	Arroio Pelotas	0,0465	0,0102
28/12/2021	Arroio Pelotas	0,0541	0,0098

O trabalho proposto por García-Fernández et al (2021) realizou a calibração segundo o mesmo método e utilizou o sensor embarcado no modelo DJI phantom 3 Professional (similar ao presente no Vant DJI Phantom 4) para aquisição de imagens. Os autores obtiveram como coeficientes médios para banda do vermelho $\alpha = 0.013089$ e $\beta = 0.015672$, além de encontrarem correlações de até 0.77 entre variáveis qualitativas de cultivos e razões de bandas espectrais. A quantidade de alvos (41 alvos de referência espectral) e a aquisição de reflectâncias *in situ* por meio do espectrômetro portátil ASD FieldSpec4 são etapas que diferem daquelas executadas no presente estudo, além do fato de ser conduzido em ambiente exclusivamente terrestre. A pesquisa de García-Fernández et al (2017) demonstrou que o sensor DJI Phantom 3 Pro atingiu R^2 ajustado de 0.95 para o comprimento de onda do vermelho em comparação com leituras realizadas por espectroradiômetro. Os trabalhos conduzidos por García-Fernández et al (2017) e García-Fernández et al (2021) demonstram que as regressões adotadas são consistentes desde que amparadas pela aquisição de informações radiométricas em campo associada a um maior número de referenciais espectrais. Em seu estudo García-Fernández et al (2017) menciona que um banco de dados espectrais com todos os alvos que foram utilizados no estudo, sendo estes fabricados de forma padronizada pela marca Pantone, foi criado e encontra-se disponível. Clements et al (2018) mencionam bases de dados de medições espectrais e bio-ópticas em ecossistemas aquáticos ao redor do mundo, abertas e de acesso controlado, que também podem ser utilizadas para apoiar estudos: WISPcloud, LIMNADES, PML Thredds server e PML GISportal.

5.5 Avaliação de reflectâncias

As avaliações entre as reflectâncias na banda do vermelho do estimadas para o Vant e do sensor MSI L2A e são apresentadas nas figuras 44 e 45. Todas apresentaram alto nível de incertezas com baixos fatores de correlação, sendo o R^2 igual a 0.023, 0.0073, 0.0329 e 0.0269 e o erro médio absoluto (MAE) em 0.077, 0.106, 0.081 e 0.099 para Arroio Pelotas, Campus Anglo UFPEl, Pepino e Porto, respectivamente. A seção Barragem São Gonçalo não compôs esta avaliação devido a quantidade de amostras resultantes após a triagem de dados se mostrar insuficiente.

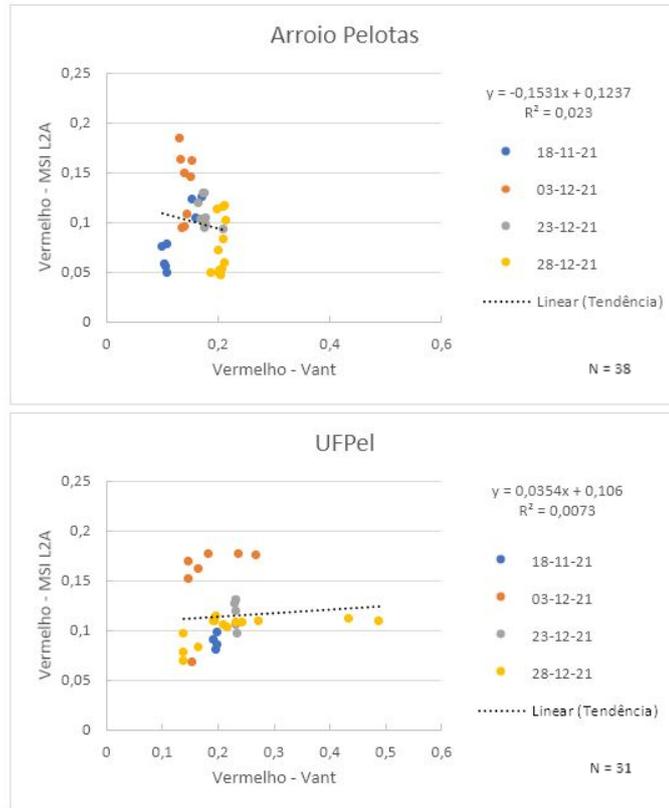


Figura 44. Gráficos de reflectâncias dos sensores MSI vs Vant (seções Arroio Pelotas e Campus Anglo UFPeI).

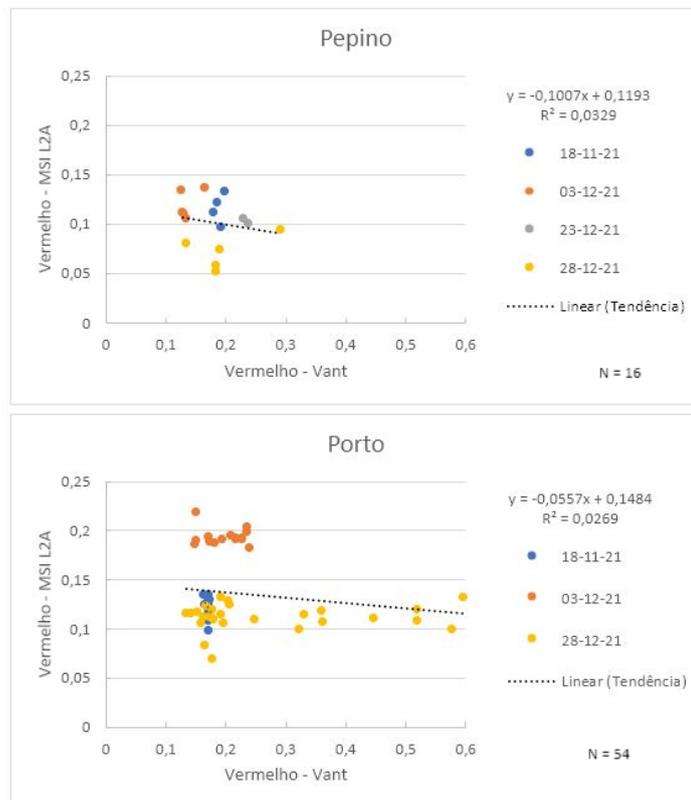


Figura 45. Gráficos de reflectâncias dos sensores MSI vs Vant (seções Pepino e Porto).

Conforme ESA (2022) as imagens do sensor MSI L2A já possuem com correções atmosféricas a nível de superfície, utilizando o algoritmo Sen2Cor, sendo este produto largamente utilizado em estudos de ambientes aquáticos [Toming et al (2016), Katlane et al (2020), Zhou et al (2020)]. Já o método empregado para a aquisição das reflectâncias para imagens Vant (método da linha empírica) é largamente aplicado para conversão do DN registrado pelo sensor para valores físicos de reflectância de superfície, assumindo que existe uma relação linear entre a reflectância dos alvos e os DNs capturados pelo sensor [Smith e Milton (1999), Baugh e Groenevel (2008), García-Fernández et al (2021)].

Warren et al (2019) avaliaram, além do Sen2Cor, outros 5 algoritmos de correção atmosférica para produtos Sentinel 2 MSI e verificaram altos níveis de incertezas apontando baixo R^2 para a maioria das combinações de algoritmo/conjunto de dados/banda espectral tanto para ambientes costeiros, quanto em águas interiores. Além disso, os resultados apontaram que as maiores incertezas foram justamente para as bandas do vermelho e infra-vermelho, um dos comprimentos de ondas selecionado neste estudo. Renosh et al (2020) avaliaram um conjunto de 9 algoritmos do estado da arte e obtiveram os melhores resultados para Acolite DSF e iCOR. Da mesma forma, Tavares et al (2021) avaliaram 6 algoritmos obtendo Acolite DSF e GRS como os mais consistentes para mensurar a reflectância da água.

A cerca do método de calibração espectral de imagens Vant, Deng et al (2018), Staben et al (2014) e Wang e Myint (2015) demonstraram que a relação pode ser não linear devido a fatores inerentes ao próprio sensor, sendo necessário aplicar modelos não lineares, como o adotado. No que diz respeito a sensores multispectrais com canais individuais, inúmeros estudos propuseram metodologias de calibração [Cao et al. (2019), Del Pozo et al. (2014), Iqbal et al. (2018)], mas ainda são poucas as metodologias relacionadas a sensores modificados ou que possuem apenas uma lente óptica. Ademais, a configuração de sensores no momento da aquisição e a manipulação de dados em softwares, quando de formas inadequadas, também são potenciais fatores de contribuição de erros e, conseqüentemente, baixas correlações. Dessa forma, os resultados obtidos neste estudo podem estar vinculados à estas incertezas em ambos conjuntos de dados de reflectâncias, tanto aqueles adquiridos pelo Vant e quanto pelo sensor MSI L2A.

Na tabela 10, os pontos 115, 116 e 127 (figura 46) são destacados denotando picos de reflectância registrados em comparação às respectivas leituras do sensor MSI L2A, sendo estes possivelmente devido brilho solar e do céu. Zeng et al (2017) menciona que em particular, a função de distribuição de reflectância bidirecional (FDRB) da reflectância da água dificulta o estudo dos espectros da água em diferentes ângulos do sol e ângulos de visão. Além disso, a presença de falhas nas junções das imagens causa uma transição mais abrupta dos valores de DN_s, acrescentando assim mais incertezas ao processo. As figuras 47 e 48 mostram ainda o efeito da contaminação de pixels por borda. Quando nas proximidades da borda do curso d'água, os valores registrados pelos pixels adjacentes à borda são influenciados pelo distinto padrão de comportamento espectral da superfície terrestre. Com isso, os valores de reflectância são contaminados e os pixels perdem sua pureza.

De Keukelaere (2018) desenvolveu o algoritmo de correção atmosférica iCOR e De Keukelaere (2021b) adaptou-o para utilização em imagens de Vantss a fim de mitigar os efeitos causados por brilho do céu e solar. Os parâmetros de entrada da ferramenta são altura, posição e ângulo solar e simulação de nuvens e cobertura e mais informações podem ser encontradas em <https://remotesensing.vito.be/case/mapeo>. Outra solução adotada pelos autores foi o uso de sensor de irradiância acoplado ao Vant a fim de quantificar as mudanças nas condições de iluminação.

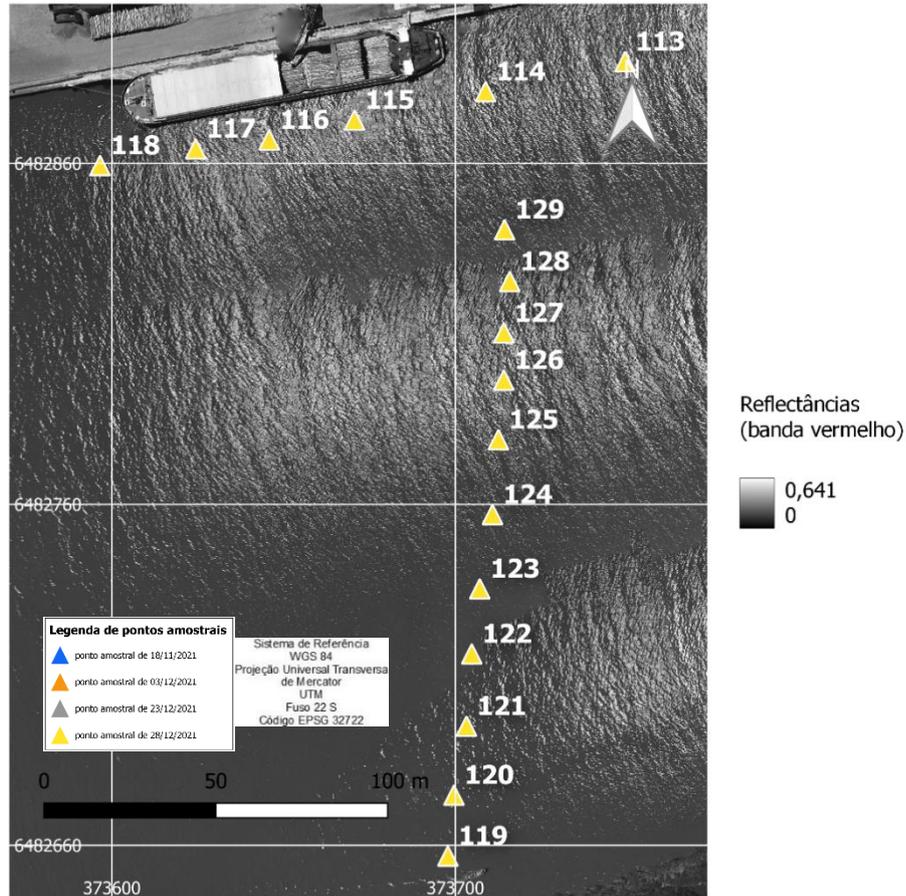


Figura 46. Ortomosaico de reflectâncias Vant de 28/12/21 (seção Porto).

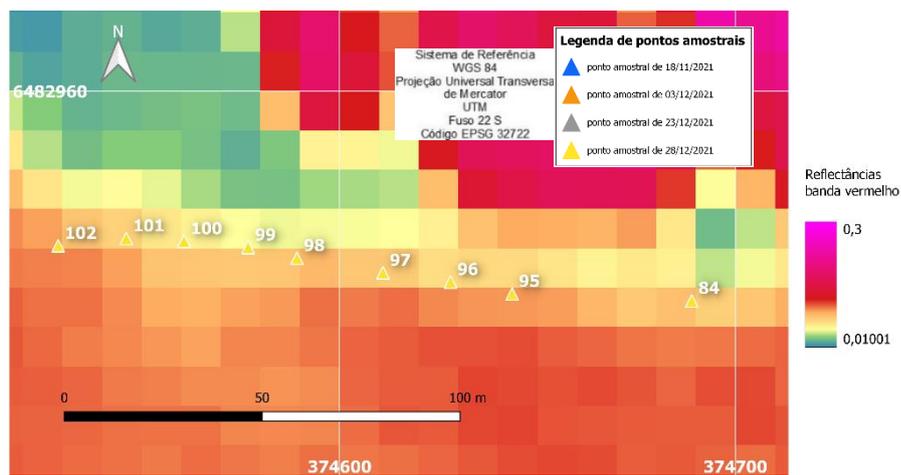


Figura 47. Mapa de reflectâncias MSI L2A em 28/12/21 (seção Campus Anglo UFPel).

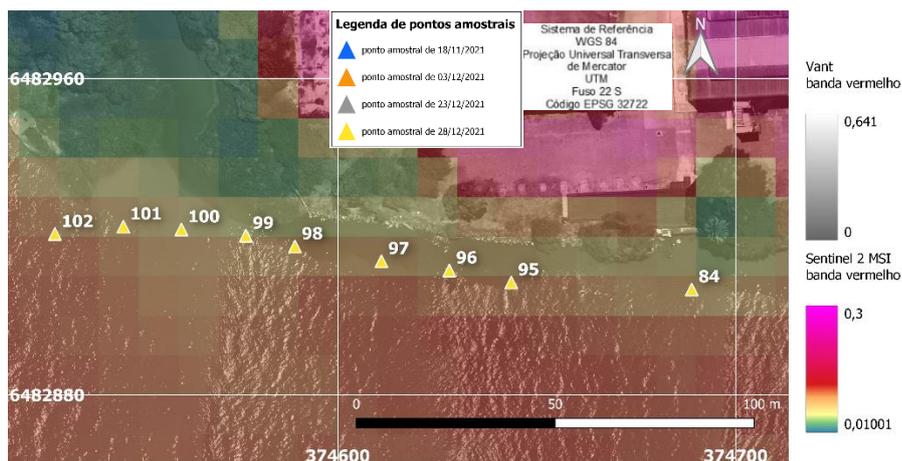


Figura 48. Sobreposição de mapas de reflectâncias Vant e MSI L2A 28/12/21 (seção Campus Anglo UFPel e Pepino).

Tabela 10 – Reflectâncias na banda do vermelho na seção Porto (figura 46) na data de 28/12/2021.

ID	R_{VANT}	$R_{MSI L2A}$
113	0,1763	0,1118
114	0,2493	0,1090
115	0,4489	0,1104
116	0,5200	0,1186
117	0,2064	0,1280
118	0,2086	0,1234
119	0,1782	0,0689
120	0,1655	0,0826
121	0,1604	0,1050
122	0,1938	0,1132
123	0,1638	0,1116
124	0,1444	0,1154
125	0,1979	0,1050
126	0,1800	0,1084
127	0,3601	0,1178
128	0,1342	0,1152
129	0,1782	0,1186

A partir dos estudos anteriormente citados [Figueiredo (2020), García-Fernández et al (2017), García-Fernández et al (2021), De Keukelaere et al (2021a), De Keukelaere et al (2021b) e Zeng et al (2017)] pode-se inferir que os dados apresentados foram afetados por um somatório de incertezas oriundas da reconstrução geométrica, calibração espectral, ondulações superficiais, brilho solar e brilho do céu.

5.6 Estimativas de turbidez a partir de reflectâncias MSI L2A e Vant

As estimativas da turbidez aplicando o algoritmo de Nechad (2009) apresentaram saturação a partir do valor estabelecido para o fator C (0.1728), conforme menciona Dogliotti et al (2015). Dessa forma, descartaram-se da análise todas as reflectâncias que ultrapassaram este valor.

Nas figuras 49 e 50 são apresentadas as correlações utilizando o sensor MSI L2A que apresentaram R^2 de 0.2087, 0.054, 0.4245 e 0.0536 para as seções Arroio Pelotas, Campus Anglo UFPel, Pepino e Porto, respectivamente. Os valores obtidos para o MAE foram de 65.54, 112.17, 31.86 e 33.69 e de RMSE em 145.28, 313.79, 38.42, 40.56 respectivamente para as seções Arroio Pelotas, Campus Anglo UFPel, Pepino e Porto.

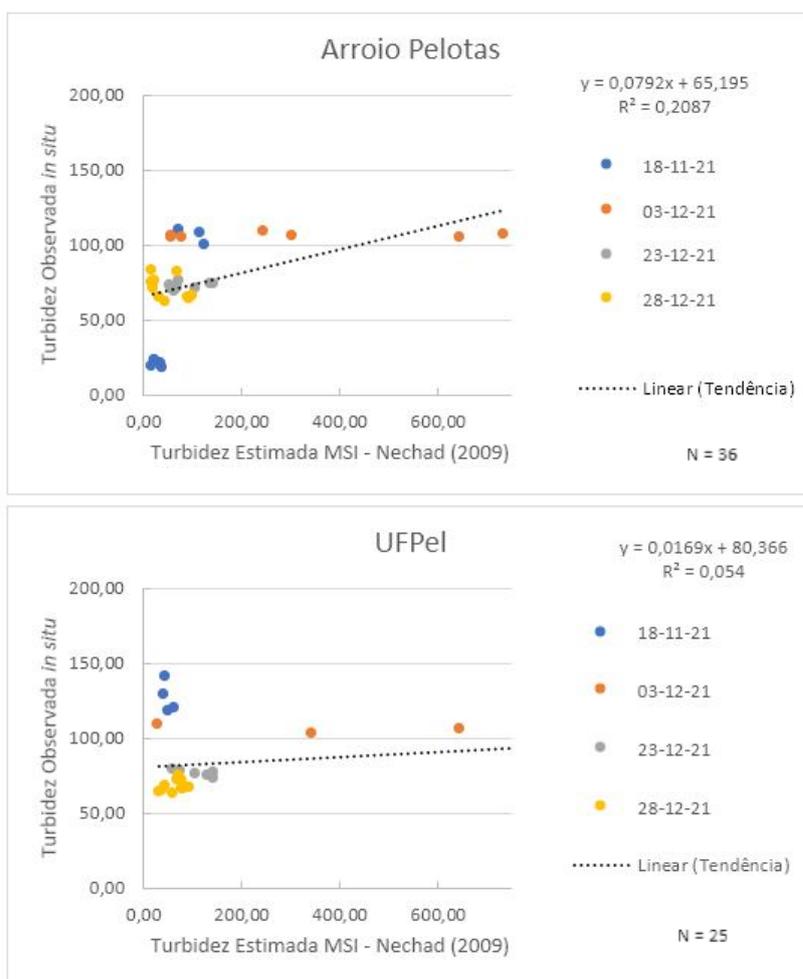


Figura 49. Gráficos comparando a variável turbidez (NTU) observada e a estimada pelo sensor MSI (FNU) utilizando o algoritmo Nechad et al (2009) (seções Arroio Pelotas e Campus Anglo UFPel).

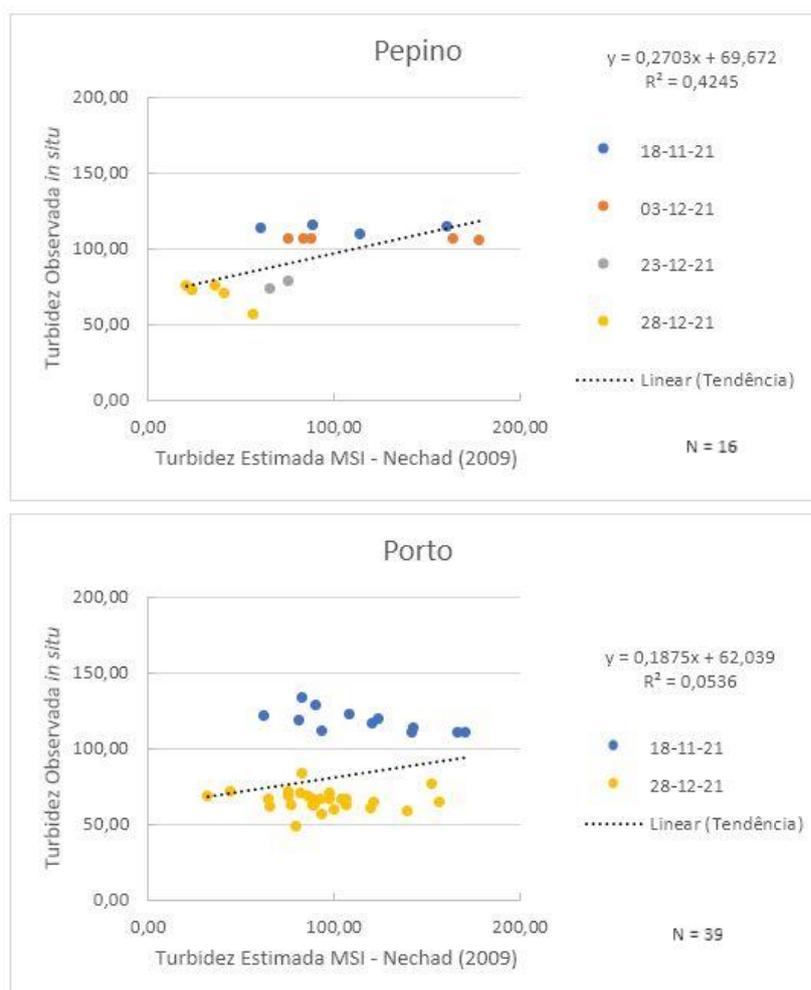


Figura 50. Gráficos comparando a variável turbidez (NTU) observada e a estimada pelo sensor MSI (FNU) utilizando o algoritmo Nechad et al (2009) (seções Pepino e Porto).

Lee et al (2021) utilizou imagens do sensor MSI com correção atmosférica ACOLITE para estimar a turbidez em um estuário por meio do algoritmo de Nechad et al (2009) obtendo R^2 de 0.63. Zhou et al (2020), Sun et al (2021) e Katlane et al (2020) também utilizaram imagens Sentinel 2 MSI para estimativas de turbidez utilizando distintas regressões exponenciais empíricas obtendo coeficientes R^2 em 0.72, 0.67 e 0.70, respectivamente.

As melhores correlações R^2 encontradas para o presente estudos foram para seções Arroio Pelotas e Pepino. Ambos são pontos de desembocadura, zonas que podem receber significativa influência na variabilidade e amplitude de valores amostrais, conforme indicado por Souza (2015). Além disso, o RMSE e MAE obtidos para a seção Pepino também foram os melhores resultados dentro do conjunto amostral avaliado. Os resultados observados neste trabalho distinguem-se daqueles

obtidos pelos autores mencionados anteriormente, sendo que boa parte das estimativas mostrou baixa aderência, podendo estar associada à problemáticas de correção atmosférica das imagens e à baixa densidade amostral, conforme menciona o estudo de Warren et al (2019).

Já as estimativas de turbidez conduzidas a partir da aplicação dos dados de reflectância Vant produziram correlações R^2 de 0.0014, 0.0461, 0.0225 e 0.3368 (figuras 51 e 52) para as seções Arroio Pelotas, Campus Anglo UFPel, Pepino e Porto, respectivamente, onde a seção Porto apresentou a melhor correlação.

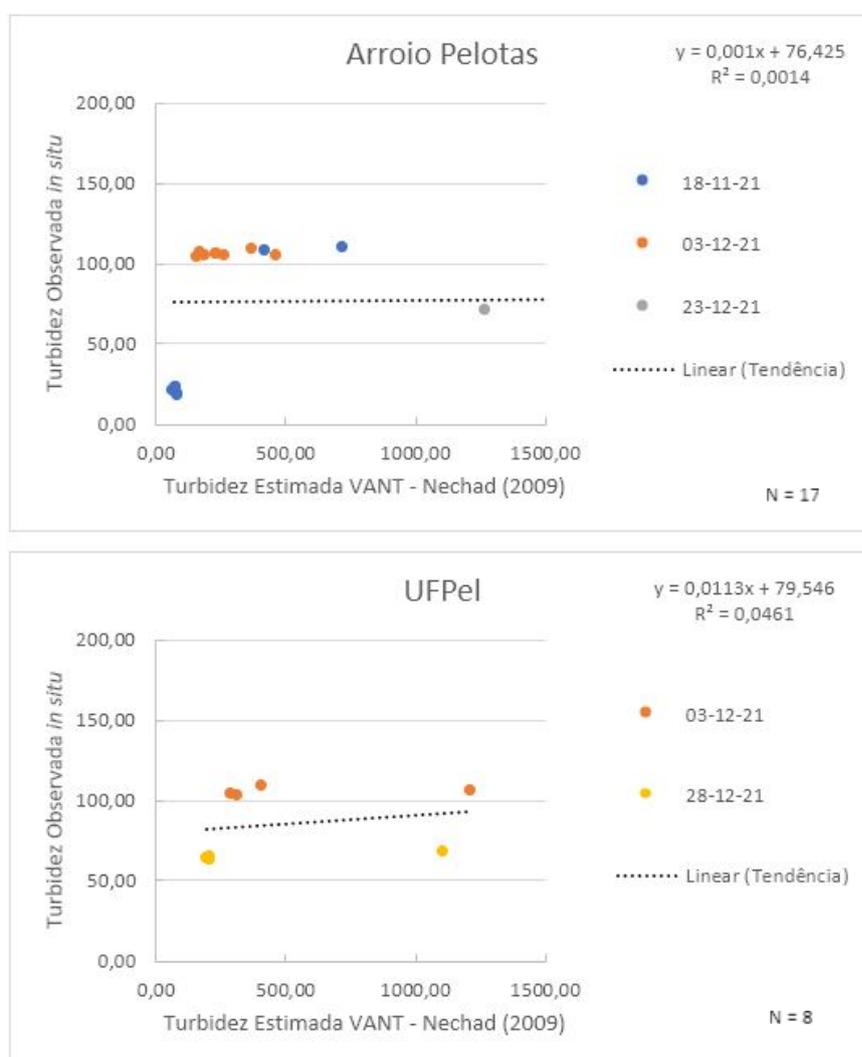


Figura 51. Gráficos comparando a variável turbidez (FNU) estimada por Vant com valores observados (seções Arroio Pelotas e Campus Anglo UFPel).

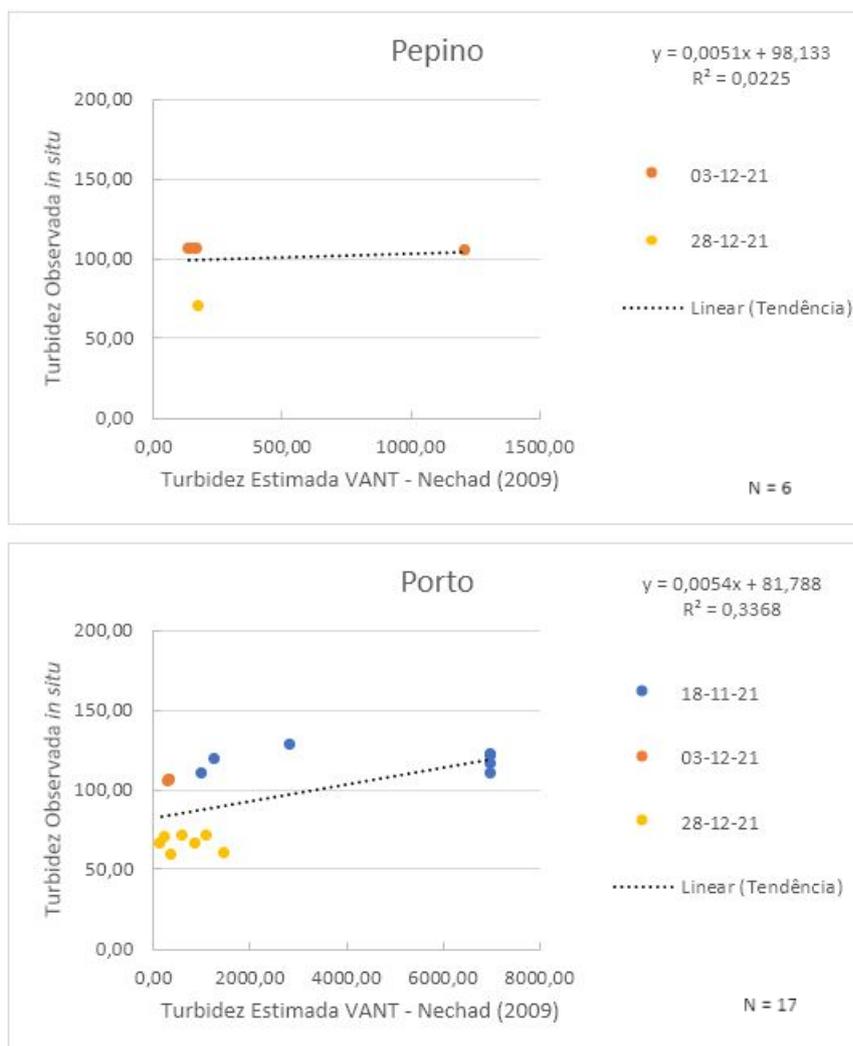


Figura 52. Gráficos comparando a variável turbidez (NTU) estimada pelo sensor Vant (FNU) utilizando o algoritmo Nechad et al (2009) com valores observados em campo (seções Arroio Pelotas e Campus Anglo UFPel).

Como apontado no estudo de Sibanda et al (2021) ainda é necessário avançar em estudos que envolvem a utilização Vants e recursos hídricos. Estimativas de turbidez a partir da modelagem com dados de reflectâncias de Vantss foram conduzidos por De Keukelaere et al (2019). Os autores utilizaram o algoritmo desenvolvido por Nechad (2009) aplicando dados obtidos por meio do sensor multiespectral Micasense Rededge para o qual foram estabelecidos os coeficientes $A = 366.14$ e $C = 0.19563$ através da reamostragem espectral nos valores tabelados existentes, mesmo procedimento adotado nesta investigação. Contudo, apenas é exibido gráfico com dados *in situ* e estimados (figura 53), não sendo mencionados outros índices estatísticos.

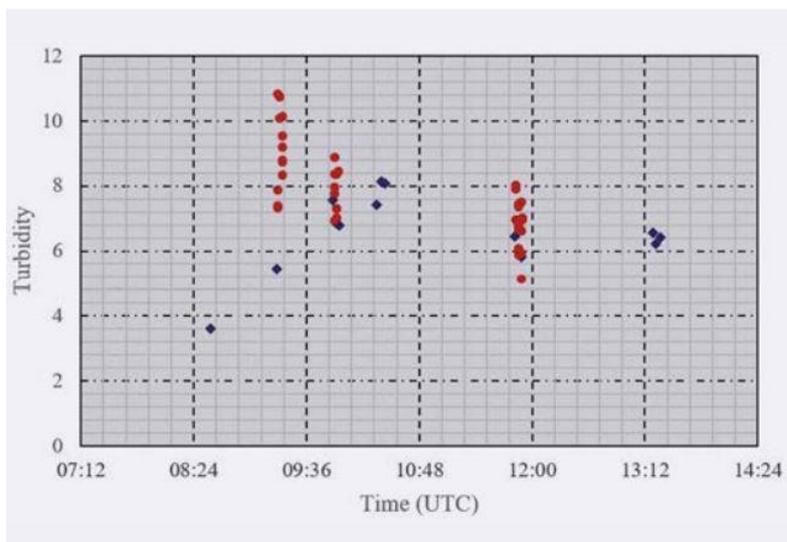


Figura 53. Gráfico comparando a variável turbidez estimada (pontos vermelhos) com a mensurada (pontos azuis) ao longo do tempo. Fonte: De Keukelaere et al, 2019.

Ademais, Dias (2020) e Guimarães et al (2019) foram outros autores que realizaram estudos que utilizaram dados espectrais capturados por sensores multiespectrais embarcados em Vant para a estimativa da concentração de sólidos suspensos totais (SST). Guimarães et al (2019) mencionam em seu estudo que, apesar de os métodos de regressão sejam utilizados no sensoriamento remoto, podem não ser adequados para capturar as relações lineares e/ou não lineares. Além disso, os autores apontam que a integração de Vants no mapeamento de corpos hídricos junto à aplicação de redes neurais na análise de dados é uma abordagem promissora para prever SST, bem como seus efeitos temporais e variações espaciais, corroborando com as conclusões da pesquisa de Sibanda et al (2021).

6 Considerações Finais

Os resultados obtidos para a estimativa de turbidez com base em dados espectrais de sensor RGB embarcado em veículo aéreo não tripulado (Vant), mostraram baixos valores de índices estatísticos entre predição e observação. Essa baixa correlação se deve a 7 principais fatores: baixa densidade amostral, calibração espectral, reconstrução geométrica, ondulações de superfície, brilho solar, brilho do céu e efeitos atmosféricos.

Dentre muitos dos impactos causados pela pandemia Covid-19, as campanhas amostrais do presente estudo não ocorreram conforme o idealizado. Devido à pouca quantidade de amostras os resultados obtidos nesta pesquisa podem ter sido descaracterizados, sendo mais indicado a utilização de densidades maiores em estudos posteriores.

Os resultados sugerem que os espectros coletados sob condições de iluminação não ideais (ondas de superfície, brilho do sol, sombreamento e adjacência à margens) associados à incertezas na calibração espectral reduziram a precisão dos modelos de regressão em comparação com modelos baseados em espectros coletados por sensoriamento remoto tradicional e com dados *in situ*. Como o brilho do sol ainda é uma fonte importante de incertezas e não pode ser evitado durante a aquisição de dados, novos métodos serão necessários para detectar, remover o brilho e suas contribuições para os espectros da água.

Os resultados também apontam que a coleta de informações quando evitada em locais de adjacência de margens (de modo a não contaminar os pixels mensurados por outros elementos da paisagem), em águas cuja zona fótica estende-se ao leito do corpo hídrico, em zonas com a presença de macrófitas ou plantas aquáticas, em águas turbulentas ou com ondulações e durante o sombreamento parcial por nuvens pode levar a melhores resultados, especialmente em pequenos ecossistemas aquáticos onde os fatores mencionados tem maior peso quando comparados à ambientes oceânicos.

A partir dessas considerações recomenda-se em trabalhos futuros:

- Capturar imagens aéreas com Vant em altitudes maiores (ou ainda a utilização de lentes de menor distância focal) e o aumento nas taxas de sobreposição entre imagens como aponta Figueiredo (2020) de maneira a prevenir falhas de reconstrução geométrica;
- Investigar outros ângulos de captura a fim de explorar as melhores práticas de aquisição de imagens em ecossistemas aquáticos;
- Avaliar o uso da ferramenta *Monocle Flight Planner* em voos;
- A utilização da ferramenta de correção atmosférica iCOR com adaptações para Vants desenvolvido por De Keukelaere (2019) e De Keukelaere (2018)

a fim de mitigar os efeitos de brilho do céu e solar, assim como de sensor de irradiância acoplado ao Vant;

- Investigação da variável velocidade do vento como parâmetro de entrada na adaptação de modelos de correção atmosférica para imagens capturadas por Vants;
- Utilizar como procedimentos de calibração espectral dados adquiridos por espectrorradiômetro de campo em alvos de referência estáveis ou ainda o uso de painéis Pantone, bem como o banco de dados espectrais criado e disponibilizado por García-Fernández (2017);
- Sugere-se estudos envolvendo os algoritmos de correção atmosférica considerados estado da arte para imagens Sentinel 2 MSI Acolite DSF e iCOR que demonstraram melhores resultados em ecossistemas aquáticos, conforme estudos de De Keukelaere (2018), De Keukelaere (2019), Renosh et al (2020) e Tavares et al (2021).

Por fim, salienta-se que este estudo é um dos primeiros na linha de pesquisa envolvendo Vants e recursos hídricos do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da UFPel. Espera-se ainda que os resultados encontrados inspirem à outras pesquisas mais aprofundadas a fim de encontrar métodos e procedimentos capazes de contornar as problemáticas levantadas.

7 Referências

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA LAGOA MIRIM. **ALM**. Barragem São Gonçalo. 2022. Disponível em: https://wp.ufpel.edu.br/alm/?page_id=2057 Acesso em: 01 abr. 2022

AGISOFT. **Agisoft Metashape User Manual Professional Edition, Version 1.7**. 2021. Disponível em: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf

ALVARENGA, André Luis de. **Introdução a fotografia digital**. Botucatu. São Paulo, 2008.

ALVAREZ-VANHARD, E.; HOUET T.; CORPETTI T. UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review. **Science of Remote Sensing**, v. 4, Junho, 100019, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.srs.2021.100019>

ASSMANN, J. J.; KERBY, J. T.; CUNLIFFE, A. M.; MYERS-SMITH, I. H. Vegetation monitoring using multispectral sensors — best practices and lessons learned from high latitudes. **Journal of Unmanned Vehicle Systems**, v. 7, n. 1, p. 54–75, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/juvs-2018-0018>

BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; MARTINS, V. S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos: princípios e aplicações**. 1ª edição. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 161p. 2019. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/labisa/livro/>

BAUGH, W. M. & D. P. GROENEVELD. Empirical Proof of the Empirical Line. **International Journal of Remote Sensing** v. 29, n.3, p. 665–672. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01431160701352162>

BILLOTA, G. S. & BRAZIER, R. E. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. **Water Research**. v. 42, n. 12, p. 2849-2861, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.018>

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente, Resolução n. 357 de 17 de março de 2005**. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Brasília - DF, 18 mar. 2005.

BREUNIG, F.; WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W.; RUDORFF, C. Análise das propriedades ópticas da água do reservatório Rodolfo Costa e Silva – Itaara, RS, Brasil, usando dados espectrais de campo e imagens orbitais multiespectrais. **Revista Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 2, 2007. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/12.13.16.51/doc/76.pdf>

BREUNIG, F. M.; PEREIRA FILHO, W.; GALVÃO, L. S.; WACHHOLZ, F.; CARDOSO, M. A. G. Dynamics of limnological parameters in reservoirs: A case study in South Brazil using remote sensing and meteorological data. **Science of the Total Environment**, v. 574, p. 253–263, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.050>

CAMPBELL, G.; PHINN, S. R.; DEKKER, A. G.; BRANDO, V. E. Remote sensing of water quality in an Australian tropical freshwater impoundment using matrix inversion and MERIS images. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 9, p. 2402–2414, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.003>

CÂNDIDO, A. K.; PARANHOS FILHO, A. C.; HAUPENTHAL, M. R.; DA SILVA, N. M.; DE SOUSA CORREA, J.; RIBEIRO, M. L. Water Quality and Chlorophyll Measurement Through Vegetation Indices Generated from Orbital and Suborbital Images. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 227, n. 7, p. 224, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2919-7>

CAO, S.; DANIELSON, B.; CLARE, S.; KOENIG, S.; CAMPOS-VARGAS, C.; SANCHEZ-AZOFEIFA, A. Radiometric calibration assessments for UAS-borne

multispectral cameras: Laboratory and field protocols. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 149, p. 132–145, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.01.016>.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2019**. São Paulo: CETESB, 2019 (Série Relatórios). Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Relatorio-da-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo-2019.pdf>

CHAPRA, Steven. **Surface Water-Quality Modeling**. Wave Land Press, 2008. 843 p.

CILLERO CASTRO, C., DOMÍNGUEZ GÓMEZ, J. A., DELGADO MARTÍN, J., HINOJO SÁNCHEZ, B. A., CEREIJO ARANGO, J. L., CHEDA TUYA, F. A., & DÍAZ-VARELA, R. An UAV and Satellite Multispectral Data Approach to Monitor Water Quality in Small Reservoirs. **Remote Sensing**, v. 12, n. 9, 1514, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12091514>

CLEMENTS, O.; SIMIS, S. G. H.; HEARD, J.; POSER, K.; RIDDICK, C. **D9.3 Open Data Repositories**. Deliverable report 9.3 of project H2020 MONOCLE (grant 776480), 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1492132>

DALAMAGKIDIS, K. Classification of UAVs. In: **Handbook of Unmanned Aerial Vehicles**; VALAVANIS, K.P.; VACHTSEVANOS, G.J. Springer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 83–91, 2015.

DALL'OLMO, G.; GITELSON, A. A. Effect of bio-optical parameter variability on the remote estimation of chlorophyll-a concentration in turbid productive waters: experimental results. **Applied Optics**, v. 44, n. 3, p. 412 – 422, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1364/AO.44.000412>

DE KEUKELAERE, L.; MOELANS, R.; KNAEPS, E. Mapeo-Water: Drone Data Processing into Water Quality Products. In: **IEEE International Geoscience and**

Remote Sensing Symposium – IGARSS, p. 7008–7010, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9555081>

DE KEUKELAERE, L.; STRACKX, G.; MOELANS, R.; SIMIS, S.; MARTINEZ VICENTE, V.; WRIGHT, A.; RODERA GARCÍA, C.; BARDAJÍ, R.; PIERA, J.; BURGGRAAFF, O.; PETERS, S.; WOOD, J.; VAN DER VAEREN, S.; RAYM, M.; SOBRECUEVA, A. **D3.2 Operational protocols for acquisition and deployment**. Deliverable report of project H2020 MONOCLE (grant 776480). 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4486430>

DE KEUKELAERE, L.; MOELANS, R.; KNAEPS, E.; STRACKX, G. Mapping water quality with drones - test case in Texel. **Terra et Aqua**. p. 6–15, 2019. Disponível em: <https://www.iadc-dredging.com/wp-content/uploads/2020/01/terra-et-aqua-157-complete.pdf>

DE KEUKELAERE, L.; STRACKX, G.; ADRIAENSEN, S.; KNAEPS, E.; REUSEN, I.; GIARDINO, C.; BRESCIANI, M.; HUNTER, P.; NEIL, C.; VAN DER ZANDE, D.; VAICIUTE, D. Atmospheric correction of Landsat-8/OLI and Sentinel-2/MSI data using iCOR algorithm: validation for coastal and inland waters. **European Journal of Remote Sensing**, v. 51, n. 1, p. 525–542, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1457937>

DENG, L.; HAO, X.; MAO, Z.; YAN, Y.; SUN, J.; ZHANG, A. A Subband Radiometric Calibration Method for UAV-Based Multispectral Remote Sensing. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 11, n. 8, p. 2869–2880, 2018.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. DECEA. Orientações. 2022. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/drone/>

DEL POZO, S.; RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ, P.; HERNÁNDEZ-LÓPEZ, D.; FELIPE-GARCÍA, B. Vicarious radiometric calibration of a multispectral camera on board an unmanned aerial system. **Remote Sensing**, v. 6, n.3, p. 1918–1937, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs6031918>

DIAS, Rafael Luís Silva. **Desenvolvimento de Sistema de Monitoramento da Concentração de Sólidos Suspensos Totais em Reservatórios com Base em Sensor Multiespectral Acoplado a Aeronave Remotamente Pilotada e Aprendizado de Máquina**. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/28376>

DIN, E. S.; ZHANG, Y.; SULIMAN, A. Mapping concentrations of surface water quality parameters using a novel remote sensing and artificial intelligence framework. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 4, p. 1023–1042, 2017.

DJI. **Phantom 4 Especificações**. 2022. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4/info>

DOGLIOTTI, A. I.; RUDDICK, K. G.; NECHAD, B.; DOXARAN, D.; KNAEPS, E. A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters. **Remote Sensing of Environment**. v. 156, p. 157–168, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.020>

DOGLIOTTI, A.; RUDDICK, K.; NECHAD, B.; LASTA, C.; MERCADO, A.; HOZBOR, M.; GUERRERO, R.; LÓPEZ, G.; ABELANDO, M. Calibration and validation of an algorithm for remote sensing of turbidity over La Plata River Estuary, Argentina. **EARSeL eProceedings**, v. 10, n. 2, p. 119–130, 2011. Disponível em: https://odnature.naturalsciences.be/downloads/publications/dogliotti_earsel_2011.pdf

DUAN, H.; FENG, L.; MA, R.; ZHANG, Y.; LOISELLE, S. A. Variability of particulate organic carbon in inland waters observed from MODIS Aqua imagery. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 8, 2014. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/8/084011/pdf>

EHMANN, K.; KELLEHER, C.; CONDON, L. E. Monitoring turbidity from above: Deploying small unoccupied aerial vehicles to image in-stream turbidity. **Hydrological**

Processes. v. 33, p. 1013–1021, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hyp.13372>

EPA. **Method 180.1: Determination of Turbidity by Nephelometry.** 1993. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-08/documents/method_180-1_1993.pdf

EUROPEAN SPACE AGENCY. **ESA.** Copernicus Sentinel-2. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.5270/S2_-zmk9xsj Acesso em: 01 abr. 2022

EUROPEAN SPACE AGENCY. **ESA.** Missions. Sentinel-2. 2022. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>

FERNANDES, F. M., COLLARES, G. L., CORTELETTI, R. A água como elemento de integração transfronteiriça: o caso da Bacia Hidrográfica Mirim-São. **Estudos Avançados**, v. 35, n. 102, p. 59-77, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.004>

FIGUEIREDO, E. O.; JUNIOR, A. M.; OLIVEIRA, L. C.; D'OLIVEIRA, M. V. N. et al. **Manejo Florestal 4.0 – passos para emprego de Aeronaves Remotamente Pilotadas (drones) no planejamento florestal em nativas.** Rio Branco, AC, Embrapa Acre, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222837/1/27123.pdf>

FIGUEIREDO, E. O.; FIGUEIREDO, S. M. M. **Planos de Voo Semiautônomos para Fotogrametria com Aeronaves Remotamente Pilotadas de Classe 3.** Rio Branco, AC, Embrapa Acre, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/187874/1/26750.pdf>

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em Sensoriamento Remoto.** São Paulo: Oficina de Texto, 2011. 128 p.

GARCÍA-FERNÁNDEZ, M.; SANZ-ABLANEDO, E.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R. Calibración Radiométrica de Cámaras Compactas mediante Espectro Radiómetro

de Campo. In: **XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección**. Murcia, Espanha, p. 481 – 484, 2017. Disponível em: <https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/2c1e1d9f-581e-4326-8f11-dea62a518a85/6418.pdf>

GARCÍA-FERNÁNDEZ, M.; SANZ-ABLANEDO, E.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J.R. High-Resolution Drone-Acquired RGB Imagery to Estimate Spatial Grape Quality Variability. **Agronomy**, v. 11, n. 4, 655, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy11040655>

GONÇALVES, George Marino Soares. **Estimativa da Concentração de Sedimento em Suspensão no Canal São Gonçalo a partir de equipamentos acústicos**. 2020. 101 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

GOUVÊA, T.; ZARNOT, D. H.; ALBA, J. M. F. Caracterização geoambiental e histórico do processo de desenvolvimento da bacia da Lagoa Mirim. In: ALBA, J. M. F. **Sustentabilidade Socioambiental da Bacia da Lagoa Mirim**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010.

GUIMARÃES, T.; VERONEZ, M.; KOSTE, E.; GONZAGA, L.; BORDIN, F.; INOCENCIO, L.; LAROCCA, A.; DE OLIVEIRA, M.; VITTI, D.; MAUAD, F. An Alternative Method of Spatial Autocorrelation for Chlorophyll Detection in Water Bodies Using Remote Sensing. **Sustainability**, v. 9, p. 416, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su9030416>

GUIMARÃES, T. T.; VERONEZ, M. R.; KOSTE, E. C.; GONZAGA, L., Jr.; SOUZA, E. M.; BRUM, D.; MAUAD, F. F. Evaluation of Regression Analysis and Neural Networks to Predict Total Suspended Solids in Water Bodies from Unmanned Aerial Vehicle Images. **Sustainability**, v. 11, n. 9, p. 416, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11092580>

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7027: Water quality - Determination of turbidity**. Geneva, 1999. 19 p.

IOCCG. Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically Complex, Waters. In: **International Ocean-Colour Coordinating Group**. Dartmouth, Canada, 2000. Disponível em: <https://www.ioccg.org/reports/report3.pdf>

IQBAL, F.; LUCIEER, A.; BARRY, K. Simplified radiometric calibration for UASmounted multispectral sensor. **European Journal of Remote Sensing**, v. 51, n. 1, p. 301–313, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1432293>

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos-SP: Ed. Parêntese, 2009. 598 p.

JIANG, L.; XIA, M.; LUDSIN, S.; RUTHERFORD, E. S.; MASON, D. M.; JARRIN, J. M.; PANGLE, K. L. Biophysical modeling assessment of the drivers for plankton dynamics in dreissenid-colonized western Lake Erie. **Ecological Modelling**, v. 308, p. 18-33, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.04.004>

JORNAL DIÁRIO POPULAR. Pelotas (RS), 21 de junho de 2021. Zona Sul. Disponível em: <https://www.diariopopular.com.br/zona-sul/porto-de-pelotas-apresenta-crescimento-pelo-segundo-mes-consecutivo-161977/>

KAGEYAMA, Y.; TAKAHASHI, J.; NISHIDA, M.; KOBORI, B.; NAGAMOTO, D. Analysis of Water Quality in Miharu Dam Reservoir, Japan, using UAV Data. **IEEJ Transactions**, v. 11, n. 1, p. 183–185, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tee.22253>

KIRK, J. T. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. Ed. Cambridge university press, 2011. 665 p.

KONG, J.; SHAN, Z.; CHEN, Y.; YANG, J.; HU, Y.; WANG, L. Assessment of remote-sensing retrieval models for suspended sediment concentration in the Gulf of Bohai. **International Journal of Remote Sensing**. v. 40, n. 5-6 p. 2324–2432, 2018.

KATLANE, R.; DUPOUY, C.; KILANI, B. E.; BERGES, J. C. Estimation of Chlorophyll and Turbidity Using Sentinel 2A and EO1 Data in Kneiss Archipelago Gulf of Gabes, Tunisia. **International Journal of Geosciences**, v. 11, n. 10 , p. 708-728, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/ijg.2020.1110035>

LEÃO, M. F.; OLIVEIRA, E. C.; PINO, J. C. D. Análises de água: um estudo sobre os métodos e parâmetros que garantem a potabilidade dessa substância fundamental para a vida. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 6, n. 4, p. 40 – 47, 2014. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/435/427>

LEE, C. M.; HESTIR, E. L.; TUFILLARO, N.; PALMIERI, B.; ACUÑA, S.; OSTI, A.; BERGAMASCHI, B. A.; SOMMER, T. Monitoring Turbidity in San Francisco Estuary and Sacramento–San Joaquin Delta Using Satellite Remote Sensing. **Journal of the American Water Resources Association**. v. 57, n. 5, p. 737 – 751, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12917>

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. 7ª edição, 2015. 770 p.

LINDER, Wilfried. **Digital photogrammetry: theory and applications**. Springer Science & Business Media, 2013. 189 p.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. 908 p.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. São Paulo: Blucher, 2015.

LOWE, D. G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints. **International Journal of Computer Vision**, v. 60, n. 2, p. 91 – 110, 2004. Disponível

em: <https://doi-org.ez66.periodicos.capes.gov.br/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>

MCCABE, M. F.; RODELL, M.; ALSORFD. E.; MIRALLES, D. G.; UIJLENHOET, R. et al The future of Earth observation in hydrology. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 21, n. 7, p. 3879–3914, 2017. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/21/3879/2017/>

MEDRONHA, G. A.; MILANI, I. C. B.; SOUZA, M. F.; BONCZYNSKI, R.; JÚNIOR, R. D.; SUZUKI, L. E. A. S.; PRÁ, M. D.; COLLARES, G. L. Avaliação da qualidade da água do canal são gonçalo-rs através do índice de qualidade de água. In: **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves, 2013. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/ec8fbef7d4521d76d6259ee2ace0f3d4_379743990bb4f27116c5d76b0e601b64.pdf

MICHAELIS. Drone. In: **Dicionário da Língua Portuguesa**. 2022. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/drone/>

MICNOVA. Comunicação pessoal de informação, em 07 de julho de 2021, recebida por contato via suporte ao cliente (Movo Suport).

MORAES, Elisabete Caria. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. In: **INPE**. Curso de Uso de Sensoriamento Remoto no Estudo do Meio Ambiente. São José dos Campos, 2002. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.13.16.47/doc/indice.pdf>

NECHAD, B.; RUDDICK, K. G.; NEUKERMANS, G. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of turbidity in coastal waters. In: **SPIE Remote Sensing**, Berlin, Germany, v. 74730H, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1117/12.830700>

NECHAD, B.; RUDDICK, K. G.; PARK, Y. Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of total suspended matter in turbid waters. **Remote Sensing of Environment**. v. 114, n. 4, p. 854 – 866, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.11.022>

NOGUEIRA, J. L. M.; MORAES, E. C.; BASTOS, E. J. B.; ESPOSITO, E. S. C.; FREIRE, M. L. F. Reflectância de uma superfície vegetada em função da geometria de aquisição. In: **VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais. INPE, Salvador, Brasil, 1996. p. 941-949

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

NOVO, E. M. L. M. & PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. INPE. São José dos Campos, 2001. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf

OLIVEIRA, H. A.; FERNANDES, E. H. L.; MOLLER, O. O.; COLLARES, G. L. Processos Hidrológicos e Hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, p. 34 – 35, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p34-45>

OVER, J. R.; RITCHIE, A. C.; KRANENBURG, C. J.; BROWN, J. A.; BUSCOMBE, D.; NOBLE, T.; SHERWOOD, C. R.; WARRICK, J. A.; WERNETTE, P. A. Processing coastal imagery with Agisoft Metashape Professional Edition, version 1.6 Structure from motion workflow documentation. In: **USGS - United States Geological Survey Open-File Report 2021**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/ofr20211039>.

PALMER, S. C.J.; KUTSER, T.; HUNTER, P. D. Remote sensing of inland waters: Challenges, progress and future directions. **Remote Sensing of Environment**, v. 157, p. 1-8, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.021>

PARK, E. & LATRUBESSE, E. M. Modeling suspended sediment distribution patterns of the Amazon River using MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 147, p. 232 – 242, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.013>

PEREIRA, M. A. F.; BARBIEIRO, B. L.; QUEVEDO, D. M. Importância do monitoramento e disponibilização de dados hidrológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 32, p. 308 – 320, 2020. Disponível em: http://old.scielo.br/pdf/sn/v32/pt_1982-4513-sn-32-292.pdf

PORTOS RS. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria de Logística e Transportes. 2022. Disponível em: <https://transportes.rs.gov.br/portos-rs-registra-movimentacao-recorde-no-primeiro-bimestre> Acesso em: 01 abr. 2022

PORTO, Marcos Maia & TEIXEIRA, Sérgio Grein. **Portos e Meio Ambiente**. Ed. Aduaneiras, 2001. 230 p.

PRUDKIN, G. & BREUNIG, F. M. **Drones e Ciência: teoria e aplicações metodológicas**. Volume I. FACOS – UFSM. Santa Maria, RS, 2019. 126 p. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/13134>

QUN, M.; TAN, X.; LIU, Z.; LIU, C.; LI, Q. Monitoring Chlorophyll-a and Suspended Substance in Nansi Lake, China through Remote Sensing Technology. In: **International Workshop on Geosc. and Rem. Sensing**, Shanghai, China, p. 348–351, 2008. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5070377>

RENOSH, P. R.; DOXARAN, D.; DE KEUKELAERE, L.; GOSSN, J. I. Evaluation of Atmospheric Correction Algorithms for Sentinel-2-MSI and Sentinel-3-OLCI in Highly Turbid Estuarine Waters. **Remote Sensing**. v. 12, n. 8, 1285, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12081285>

ROIG, H. L.; FERREIRA, A. M. R.; MENEZES, P. H. B. J.; MAROTTA, G. S. Uso de câmeras de baixo custo acopladas a veículos aéreos leves no estudo do aporte de sedimentos no Lago Paranoá. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais. Foz do Iguaçu, Brasil, 2013. p. 9332–9339. Disponível em:

<http://marte2.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.51.59/doc/p1438.pdf>

ROSA, Roberto. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Ed. EDEFU; 1990. 136 p.

SÁENZ, N. A.; PAEZ, D. E.; ARANGO, C. Local algorithm for monitoring total suspended sediments in micro-watersheds using drones and remote sensing applications. Case study: Teusacá River, La Calera, Colombia. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.**, XL-1/W4, p. 159–165, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-159-2015>

SEMYONOV, Dmitry. Blog post in topic “Algorithms used in Photoscan”. 2011. Disponível em: <http://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=89.0>.

SIBANDA, M.; MUTANGA, O.; CHIMONYO, V. G. P.; CLULOW, A. D.; SHOKO, C.; MAZVIMAVI, D.; DUBE, T.; MABHAUDHI, T. Application of Drone Technologies in Surface Water Resources Monitoring and Assessment: A Systematic Review of Progress, Challenges, and Opportunities in the Global South. **Drones**. V. 5, n. 84, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/drones5030084>

SMITH, G. M. & E. J. MILTON. The Use of the Empirical Line Method to Calibrate Remotely Sensed Data to Reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 13, p. 2653–2662, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/014311699211994>

SONG, H.; YANG, C.; ZHANG, J.; HOFFMANN, W. C.; HE, D.; THOMASSON, J. A. Comparison of mosaicking techniques for airborne images from consumer-grade cameras. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 10, n. 1, p. 16030, 2016.

SOUZA, Mariana Farias. **Qualidade da água do canal são gonçalo-rs/brasil – uma avaliação hidroquímica considerando seus usos múltiplos**. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

SPERLING, Marcos Von. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 4ª Edição. Editora da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

STABEN, G. W.; PFTZNER, K.; BARTOLO, R.; LUCIEER, A. Empirical line calibration of WorldView-2 satellite imagery to reflectance data: Using quadratic prediction equations. **Remote Sensing Letters**, v.3, n. 6, p. 521 – 530, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.609187>.

STEFFEN, C. A. **Reflectância**. Publicação didática, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995. 9p. (INPE - 5638 -PUD/070)

STEFFEN, C. A. & MORAES, E. C. Radiometria Espectral. In: **VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, Paraná, 1993. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/10.18.16.17/doc/INPE-7605.pdf>

STEWART, Bruce. Measuring what we manage – the importance of hydrological data to water resources management. In: **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences (PIAHS)**, Paris, França, v. 366, n. 366, p. 80–85, abr. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/piahs-366-80-2015>

SUN, X.; LIU, J., WANG, J.; TIAN, L.; ZHOU, Q.; LI, J. Integrated monitoring of lakes' turbidity in Wuhan, China during the COVID-19 epidemic using multisensor satellite observations. **International Journal of Digital Earth**. v.14, n. 4, p. 443-463, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1868584>

TAVARES, M. H.; LINS, R. C.; HARMEL, T.; FRAGOSO JR, C. R.; MARTÍNEZ, J.; MOTTA-MARQUES, D. Atmospheric and sunglint correction for retrieving chlorophyll-a in a productive tropical estuarine-lagoon system using Sentinel-2 MSI imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. v. 174, p. 215 - 236, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.01.021>

TAN, J.; CHERKAUER, K. A.; CHAUBEY, I.; TROY, C. D.; ESSIG, R. Water quality estimation of River plumes in Southern Lake Michigan using Hyperion. **Journal of Great Lakes Research**, v. 42, n. 3, p. 524–535, 2016.

TOMING, K.; KUTSER, T.; LAAS, A.; SEPP, M.; PAAVEL, B.; NÕGES, T. First Experiences in Mapping Lake Water Quality Parameters with Sentinel-2 MSI Imagery. **Remote Sensing**. v. 8, n. 8, 640, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs8080640>

TULLIO, Leonardo. **Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2**. Atena Editora, 2018.

USGS. United States Geological Survey. Modis Overview. 2022. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/data/get-started-data/collection-overview/missions/modis-overview/>

VALAVANIS, K.P.; VACHTSEVANOS, G.J. **Handbook of Unmanned Aerial Vehicles**. Springer: Dordrecht, The Netherlands, p. 83–91, 2015.

VERONEZ, M.R.; KUPSSINSKU, L.S.; GUIMARÃES, T.T.; KOSTE, E.C.; SILVA, J.M.; SOUZA, L.V.; OLIVERIO, W.F.M.; JARDIM, R.S.; KOCH, I.É.; SOUZA, J.G.; et al. Proposal of a Method to Determine the Correlation between Total Suspended Solids and Dissolved Organic Matter in Water Bodies from Spectral Imaging and Artificial Neural Networks. **Sensors**, v. 18, n.1, p. 159, 2018.

VIANNA, Manoel Luiz. **Extremo Sul do Brasil: um lugar esquecido**. Ed.Textos; Pelotas. 2012. 186 p.

WANG, C. & MYINT, S. W. A Simplified Empirical Line Method of Radiometric Calibration for Small Unmanned Aircraft Systems-Based Remote Sensing. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**. v. 8, n. 5, 2015.

WANG, J. & TIAN, Q. Estimation of total suspended solids concentration by hyperspectral remote sensing in Liaodong Bay. **Indian Journal of Geo-Marine Science**, v. 44, n. 18, p. 1137–1144, 2015. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/f6cf/65bbe5c76ae55a67e3e07a982c1d245b808b.pdf>

WARREN, M. A.; SIMIS, S. G. H.; MARTINEZ-VICENTE, V.; POSER, K.; BRESCIANI, M.; ALIKAS, K.; SPYRAKOS, E.; GIARDINO, C.; ANSPER, A. Assessment of atmospheric correction algorithms for the Sentinel-2A MultiSpectral Imager over coastal and inland waters. **Remote Sensing of Environment**, v. 225, p. 267-289, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.018>

YAO, H.; QIN, R.; CHEN, X. Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications — A Review. **Remote Sensing**. v. 11, n. 12, p. 1443, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs11121443>

ZENG, C.; RICHARDSON, M.; KING, D. J. The impacts of environmental variables on water reflectance measured using a lightweight unmanned aerial vehicle (UAV)-based spectrometer system. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 130, p. 217–230, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.06.004>

ZHANG, Y. B.; ZHANG, Y. L.; SHI, K.; ZHA, Y.; ZHOU, Y. Q.; LIU, M. L. A Landsat 8 OLI-Based, Semianalytical Model for Estimating the Total Suspended Matter Concentration in the Slightly Turbid Xin'anjiang Reservoir (China). **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 9, n. 1, p. 398–413, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2509469>

ZHOU, Q.; LI, J.; TIAN, L.; SONG, Q.; WEI, A. Coupled approach for radiometric calibration and parameter retrieval to improve SPM estimations in turbid inland/coastal waters. **Optic Express**. v. 28, n. 4, p. 5567 – 5586, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1364/OE.384035>

Apêndices

Tabela 11 – Dados amostrados na seção Foz do Arroio Pelotas com sonda multiparamétrica - Temperatura (°C), Ph, Ph* (mV), ORP - Potencial de redução de oxidação (mV), Condutividade (mS/cm), Turbidez (NTU), Oxigênio dissolvido (mg/L), Oxigênio dissolvido (%), Sólidos totais dissolvidos - TDS (g/l), Salinidade (pp+), Densidade específica água mar (σ), data (dd/mm/aa), Latitude e Longitude (graus decimais).

ID	Temp.	pH	pH*	ORP	Cond.	Turbidez	OD	% OD	TDS	pp+	σ	Data	Lat.	Long.
P1	22,39	8,30	-52	213	0,210	22,40	9,46	111,90	0,138	0,10	0,0	18/11/21	-31,7726	-52,2815
P2	22,75	7,59	-10	249	0,184	22,10	6,22	73,90	0,120	0,10	0,0	18/11/21	-31,7729	-52,2814
P3	22,87	7,30	7	259	0,177	20,80	7,58	90,30	0,114	0,10	0,0	18/11/21	-31,7732	-52,2812
P4	21,69	7,50	-5	257	0,111	110,00	8,83	103,00	0,072	0,10	0,0	18/11/21	-31,7735	-52,2811
P6	21,67	7,50	-4	257	0,110	108,00	9,27	108,00	0,072	0,10	0,0	18/11/21	-31,7739	-52,2806
P7	21,83	7,50	-5	259	0,116	99,50	8,85	103,50	0,075	0,10	0,0	18/11/21	-31,7736	-52,2801
P8	23,00	7,31	7	270	0,180	17,90	4,42	52,70	0,117	0,10	0,0	18/11/21	-31,7732	-52,2803
P9	23,09	7,26	9	274	0,181	18,80	4,60	54,90	0,117	0,10	0,0	18/11/21	-31,7729	-52,2806
201	22,67	5,58	58	340	0,118	105,00	10,08	119,40	0,077	0,10	0,0	03/12/21	-31,7726	-52,2812
211	22,59	5,89	40	322	0,117	105,00	8,71	103,10	0,076	0,10	0,0	03/12/21	-31,7727	-52,2810
221	22,64	6,13	26	312	0,116	106,00	8,20	97,10	0,076	0,10	0,0	03/12/21	-31,7730	-52,2806
231	22,62	6,23	20	310	0,116	106,00	8,26	97,80	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,7733	-52,2802
241	22,61	6,32	15	310	0,115	108,00	8,52	100,90	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,7736	-52,2800
251	22,62	6,38	11	311	0,115	105,00	8,12	96,20	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,7739	-52,2800
261	22,62	6,48	5	309	0,116	106,00	8,15	96,60	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,7740	-52,2804
271	22,63	6,60	-2	307	0,117	104,00	7,95	94,20	0,076	0,10	0,0	03/12/21	-31,7739	-52,2806
281	22,64	6,57	-1	312	0,116	104,00	8,11	96,20	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,7735	-52,2810
291	22,49	6,70	-8	307	0,117	107,00	8,02	94,20	0,076	0,10	0,0	03/12/21	-31,7732	-52,2812
301	22,52	6,65	-5	314	0,115	109,00	7,97	94,30	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,7729	-52,2814
311	22,54	6,77	-12	309	0,116	105,00	7,77	91,90	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,7726	-52,2816
21	25,61	7,93	-61	211	0,124	72,30	9,49	118,20	0,081	0,10	0,0	23/12/21	-31,7734	-52,2808
22	25,58	7,48	-54	239	0,124	75,20	7,74	96,20	0,080	0,10	0,0	23/12/21	-31,7729	-52,2808
23	25,55	7,37	-48	253	0,124	73,90	7,50	93,30	0,081	0,10	0,0	23/12/21	-31,7723	-52,2811
24	25,67	7,25	-41	261	0,126	72,10	6,94	86,50	0,082	0,10	0,0	23/12/21	-31,7722	-52,2817
25	25,75	7,18	-36	265	0,126	70,90	6,78	84,60	0,082	0,10	0,0	23/12/21	-31,7725	-52,2817
26	25,71	7,20	-37	264	0,127	70,90	6,33	78,90	0,082	0,10	0,0	23/12/21	-31,7728	-52,2816
27	25,72	7,23	-39	262	0,124	68,40	6,46	80,60	0,081	0,10	0,0	23/12/21	-31,7731	-52,2814
28	25,59	7,23	-39	263	0,120	73,20	6,61	82,30	0,078	0,10	0,0	23/12/21	-31,7733	-52,2813
29	25,58	7,26	-41	262	0,122	73,10	6,50	80,90	0,080	0,10	0,0	23/12/21	-31,7735	-52,2811
30	25,60	7,19	-37	268	0,117	72,50	6,52	81,20	0,076	0,10	0,0	23/12/21	-31,7736	-52,2811
31	25,60	7,28	-42	264	0,123	75,80	6,42	79,90	0,080	0,10	0,0	23/12/21	-31,7736	-52,2805
32	25,54	7,19	-37	271	0,108	70,50	6,37	79,20	0,070	0,00	0,0	23/12/21	-31,7736	-52,2802
33	25,57	7,17	-36	271	0,116	71,00	6,32	78,70	0,075	0,10	0,0	23/12/21	-31,7734	-52,2802
72	26,92	7,43	-51	197	1,960	70,70	6,34	80,90	1,250	1,00	0,0	28/12/21	-31,7728	-52,2807
73	26,83	7,20	-37	213	1,370	82,20	4,86	61,90	0,856	0,70	0,0	28/12/21	-31,7719	-52,2818
74	26,75	7,43	-51	197	1,700	75,00	4,68	59,50	1,080	0,90	0,0	28/12/21	-31,7723	-52,2818
75	26,79	7,40	-49	202	1,770	72,00	4,59	58,40	1,120	0,90	0,0	28/12/21	-31,7725	-52,2817
76	26,89	7,43	-51	203	1,740	71,70	4,61	58,80	1,100	0,90	0,0	28/12/21	-31,7727	-52,2816
77	26,97	7,46	-53	204	2,050	75,10	4,61	59,00	1,290	1,00	0,0	28/12/21	-31,7729	-52,2815

78	27,19	7,47	-54	204	2,390	64,20	4,61	59,20	1,530	1,20	0,0	28/12/21	-31,7730	-52,2814
79	27,32	7,48	-54	204	2,110	61,40	4,70	60,30	1,350	1,10	0,0	28/12/21	-31,7732	-52,2813
80	27,05	7,40	-50	212	1,370	81,20	4,83	61,60	0,897	0,70	0,0	28/12/21	-31,7735	-52,2814
81	27,04	7,80	-73	192	1,220	65,20	4,72	60,30	0,774	0,60	0,0	28/12/21	-31,7736	-52,2812
82	27,04	7,59	-61	206	1,220	63,20	4,61	58,90	0,779	0,60	0,0	28/12/21	-31,7736	-52,2809
83	27,05	7,68	-66	200	1,240	64,60	4,57	58,30	0,794	0,60	0,0	28/12/21	-31,7736	-52,2805

Tabela 12 – Dados amostrados na seção Campus Anglo UFPel com sonda multiparamétrica - Temperatura (°C), Ph, Ph* (mV), ORP - Potencial de redução de oxidação (mV), Condutividade (mS/cm), Turbidez (NTU), Oxigênio dissolvido (mg/L), Oxigênio dissolvido (%), Sólidos totais dissolvidos - TDS (g/l), Salinidade (pp+), Densidade específica água mar (σ), data (dd/mm/aa), Latitude e Longitude (graus decimais).

ID	Temp.	pH	pH*	ORP	Cond.	Turbidez	OD	% OD	TDS	pp+	σ	Data	Lat.	Long.
P42	21,40	7,74	19	269	0,107	120,00	8,56	99,30	0,069	0,00	0,0	18/11/21	-31,7832	-52,3236
P52	21,44	7,63	12	274	0,106	118,00	8,62	11,10	0,069	0,00	0,0	18/11/21	-31,7834	-52,3236
P62	21,40	7,55	-8	280	0,106	141,00	8,37	97,10	0,069	0,00	0,0	18/11/21	-31,7838	-52,3235
P72	21,50	7,66	14	274	0,106	129,00	8,24	95,70	0,069	0,00	0,0	18/11/21	-31,7842	-52,3234
P42	21,40	7,74	19	269	0,107	120,00	8,56	99,30	0,069	0,00	0,0	18/11/21	-31,7832	-52,3236
P52	21,44	7,63	12	274	0,106	118,00	8,62	11,10	0,069	0,00	0,0	18/11/21	-31,7834	-52,3236
P62	21,40	7,55	-8	280	0,106	141,00	8,37	97,10	0,069	0,00	0,0	18/11/21	-31,7838	-52,3235
P72	21,50	7,66	14	274	0,106	129,00	8,24	95,70	0,069	0,00	0,0	18/11/21	-31,7842	-52,3234
35	26,00	7,16	-35	245	0,117	76,60	9,82	123,00	0,076	0,10	0,0	23/12/21	-31,7827	-52,3235
36	25,93	7,13	-33	224	0,122	78,70	6,87	86,00	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7836	-52,3235
37	25,91	6,94	-22	247	0,111	83,20	6,61	82,60	0,072	0,10	0,0	23/12/21	-31,7839	-52,3235
38	26,01	6,99	-25	251	0,122	81,30	6,21	77,80	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7843	-52,3235
39	25,99	7,07	-30	254	0,122	81,40	6,13	76,70	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7840	-52,3234
40	25,89	7,06	-29	258	0,122	81,70	6,07	75,80	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7838	-52,3233
41	25,91	7,07	-30	259	0,122	80,20	6,04	75,50	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7837	-52,3233
42	25,95	7,05	-28	262	0,122	79,40	6,03	75,40	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7835	-52,3234
43	25,96	7,02	-26	265	0,122	78,60	5,98	74,90	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7834	-52,3234
44	25,92	7,00	-25	267	0,122	77,40	5,96	74,60	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7833	-52,3234
45	25,93	6,97	-24	269	0,122	75,50	5,99	75,00	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7831	-52,3234
46	26,00	6,95	-22	271	0,122	74,80	6,01	75,30	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7830	-52,3234
47	26,04	7,00	-25	269	0,122	73,00	5,92	74,20	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7828	-52,3235
35	26,00	7,16	-35	245	0,117	76,60	9,82	123,00	0,076	0,10	0,0	23/12/21	-31,7827	-52,3235
36	25,93	7,13	-33	224	0,122	78,70	6,87	86,00	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7836	-52,3235
37	25,91	6,94	-22	247	0,111	83,20	6,61	82,60	0,072	0,10	0,0	23/12/21	-31,7839	-52,3235
38	26,01	6,99	-25	251	0,122	81,30	6,21	77,80	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7843	-52,3235
39	25,99	7,07	-30	254	0,122	81,40	6,13	76,70	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7840	-52,3234
40	25,89	7,06	-29	258	0,122	81,70	6,07	75,80	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7838	-52,3233
41	25,91	7,07	-30	259	0,122	80,20	6,04	75,50	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7837	-52,3233
42	25,95	7,05	-28	262	0,122	79,40	6,03	75,40	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7835	-52,3234
43	25,96	7,02	-26	265	0,122	78,60	5,98	74,90	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7834	-52,3234
44	25,92	7,00	-25	267	0,122	77,40	5,96	74,60	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7833	-52,3234
45	25,93	6,97	-24	269	0,122	75,50	5,99	75,00	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7831	-52,3234
46	26,00	6,95	-22	271	0,122	74,80	6,01	75,30	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7830	-52,3234
47	26,04	7,00	-25	269	0,122	73,00	5,92	74,20	0,079	0,10	0,0	23/12/21	-31,7828	-52,3235

Tabela 13 – Dados amostrados na seção Pepino com sonda multiparamétrica - Temperatura (°C), Ph, Ph* (mV), ORP - Potencial de redução de oxidação (mV), Condutividade (mS/cm), Turbidez (NTU), Oxigênio dissolvido (mg/L), Oxigênio dissolvido (%), Sólidos totais dissolvidos - TDS (g/l), Salinidade (pp+), Densidade específica água mar (σ), data (dd/mm/aa), Latitude e Longitude (graus decimais).

ID	Temp.	pH	pH*	ORP	Cond.	Turbidez	OD	% OD	TDS	pp+	σ	Data	Lat.	Long.
P82	21,44	7,79	-21	267	0,113	113,00	8,34	96,90	0,073	0,10	0,0	18/11/21	-31,7825	-52,3246
P92	21,49	7,66	-14	271	0,123	118,00	8,38	97,40	0,080	0,10	0,0	18/11/21	-31,7823	-52,3247
P103	21,46	7,57	-9	278	0,117	115,00	8,40	97,50	0,076	0,10	0,0	18/11/21	-31,7824	-52,3249
P113	21,41	7,57	-8	279	0,111	114,00	8,60	99,80	0,072	0,10	0,0	18/11/21	-31,7824	-52,3251
P123	21,42	7,60	-11	277	0,113	109,00	8,17	94,80	0,073	0,10	0,0	18/11/21	-31,7824	-52,3254
391	22,64	6,82	-15	311	0,130	106,00	7,46	88,40	0,085	0,10	0,0	03/12/21	-31,7825	-52,3246
401	22,61	6,93	-21	303	0,126	106,00	6,99	82,80	0,082	0,10	0,0	03/12/21	-31,7824	-52,3247
411	22,61	6,77	-12	304	0,132	106,00	7,44	88,10	0,087	0,10	0,0	03/12/21	-31,7824	-52,3248
421	22,54	6,93	-21	299	0,116	106,00	7,61	90,00	0,076	0,10	0,0	03/12/21	-31,7825	-52,3251
431	22,56	6,85	-17	304	0,116	105,00	7,59	89,90	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,7824	-52,3254
48	26,07	6,88	-18	283	0,111	84,40	6,20	77,70	0,071	0,10	0,0	23/12/21	-31,7826	-52,3250
49	26,08	6,87	-18	279	0,127	72,60	5,88	73,70	0,082	0,10	0,0	23/12/21	-31,7824	-52,3248
50	26,06	6,81	-14	267	0,144	77,60	5,42	67,90	0,093	0,10	0,0	23/12/21	-31,7824	-52,3245
98	26,44	7,07	-30	253	0,931	70,00	3,97	50,20	0,597	0,40	0,0	28/12/21	-31,7824	-52,3246
99	26,44	7,69	-66	216	0,988	74,90	3,99	50,40	0,629	0,50	0,0	28/12/21	-31,7824	-52,3247
100	26,41	7,47	-54	234	1,000	72,00	4,01	50,60	0,641	0,50	0,0	28/12/21	-31,7824	-52,3249
101	26,39	7,45	-52	234	1,060	74,70	3,99	50,50	0,674	0,50	0,0	28/12/21	-31,7824	-52,3250
102	26,46	7,45	-52	233	1,090	55,10	3,98	50,30	0,697	0,50	0,0	28/12/21	-31,7824	-52,3252

Tabela 14 – Dados amostrados na seção Porto com sonda multiparamétrica - Temperatura (°C), Ph, Ph* (mV), ORP - Potencial de redução de oxidação (mV), Condutividade (mS/cm), Turbidez (NTU), Oxigênio dissolvido (mg/L), Oxigênio dissolvido (%), Sólidos totais dissolvidos - TDS (g/l), Salinidade (pp+), Densidade específica água mar (σ), data (dd/mm/aa), Latitude e Longitude (graus decimais).

ID	Temp.	pH	pH*	ORP	Cond.	Turbidez	OD	% OD	TDS	pp+	σ	Data	Lat.	Long.
P131	21,40	7,75	-19	269	0,111	109,00	7,96	92,40	0,072	0,10	0	18/11/21	-31,7821	-52,3306
P141	21,41	7,68	-15	275	0,109	107,00	8,58	99,50	0,071	0,10	0	18/11/21	-31,7822	-52,3312
P152	21,38	7,57	-9	281	0,110	110,00	8,49	98,40	0,071	0,10	0	18/11/21	-31,7823	-52,3319
P16	21,40	7,51	-5	285	0,113	110,00	7,97	92,50	0,074	0,10	0	18/11/21	-31,7824	-52,3327
P17	21,35	7,55	-8	285	0,107	116,00	8,55	99,10	0,07	0,00	0	18/11/21	-31,7826	-52,3334
P18	21,36	7,51	-5	288	0,108	111,00	8,40	97,40	0,07	0,00	0	18/11/21	-31,7827	-52,3343
P19	21,36	7,55	-7	286	0,111	110,00	7,93	92,00	0,072	0,10	0	18/11/21	-31,7828	-52,3351
P20	21,39	7,54	-7	290	0,107	113,00	8,46	98,10	0,07	0,00	0	18/11/21	-31,7829	-52,3339
P211	21,39	7,51	-5	293	0,105	119,00	7,80	90,50	0,068	0,00	0	18/11/21	-31,7832	-52,3341
P22	21,37	7,52	-6	294	0,105	122,00	7,90	91,50	0,068	0,00	0	18/11/21	-31,7834	-52,3340

P23	21,30	7,53	-6	294	0,105	128,00	7,94	91,90	0,068	0,00	0	18/11/21	-31,7835	-52,3338
P24	21,51	7,55	-7	294	0,104	111,00	7,53	87,50	0,068	0,00	0	18/11/21	-31,7837	-52,3339
P25	21,42	7,59	-10	292	0,105	118,00	8,16	94,70	0,068	0,00	0	18/11/21	-31,7840	-52,3337
P26	21,36	7,59	-10	293	0,104	133,00	9,65	111,80	0,067	0,00	0	18/11/21	-31,7842	-52,3337
P27	21,52	7,58	9	295	0,104	121,00	8,19	95,20	0,068	0,00	0	18/11/21	-31,7845	-52,3336
441	22,52	6,93	-21	302	0,116	104,00	7,50	88,70	0,075	0,10	0	03/12/21	-31,7822	-52,3307
451	22,52	6,85	-17	309	0,117	106,00	7,43	87,90	0,076	0,10	0	03/12/21	-31,7822	-52,3312
461	22,51	6,83	-15	311	0,116	106,00	7,64	90,40	0,075	0,10	0	03/12/21	-31,7823	-52,3319
471	22,53	6,84	-16	311	0,116	105,00	7,22	85,40	0,076	0,10	0	03/12/21	-31,7824	-52,3327
481	22,47	6,84	-16	312	0,116	105,00	7,65	90,40	0,075	0,10	0	03/12/21	-31,7826	-52,3335
491	22,50	6,83	-16	313	0,115	107,00	7,49	88,50	0,075	0,10	0	03/12/21	-31,7827	-52,3343
501	22,44	6,82	-15	315	0,116	106,00	7,11	84,00	0,075	0,10	0	03/12/21	-31,7828	-52,3351
511	22,42	6,93	-21	310	0,117	106,00	7,67	90,60	0,076	0,10	0	03/12/21	-31,7829	-52,3340
521	22,39	6,84	-16	316	0,116	109,00	7,51	88,60	0,075	0,10	0	03/12/21	-31,7831	-52,3340
531	22,39	6,88	-19	315	0,115	114,00	7,56	89,30	0,075	0,10	0	03/12/21	-31,7834	-52,3339
541	22,41	6,91	-20	314	0,116	109,00	7,50	88,60	0,075	0,10	0	03/12/21	-31,7836	-52,3338
551	22,42	6,88	-19	316	0,116	109,00	7,42	87,60	0,075	0,10	0	03/12/21	-31,7837	-52,3338
561	22,41	6,85	-17	313	0,115	112,00	7,42	87,60	0,075	0,10	0	03/12/21	-31,7840	-52,3337
571	22,41	6,84	-16	320	0,115	115,00	7,33	86,60	0,075	0,10	0	03/12/21	-31,7842	-52,3337
581	22,53	6,88	-18	313	0,108	114,00	7,56	89,50	0,069	0,00	0	03/12/21	-31,7845	-52,3336
51	26,19	6,56	1	276	0,122	78,20	5,73	72,00	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7820	-52,3305
52	26,18	6,54	2	279	0,113	72,30	5,79	72,70	0,074	0,10	0	23/12/21	-31,7820	-52,3308
53	26,11	6,51	4	281	0,121	76,80	5,76	72,20	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7820	-52,3312
54	26,18	6,47	6	285	0,122	63,10	5,80	72,80	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7821	-52,3316
55	26,19	6,43	8	288	0,122	73,60	5,66	71,10	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7823	-52,3323
56	26,20	6,40	10	291	0,122	72,50	5,77	72,50	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7823	-52,3329
57	26,22	6,37	12	293	0,101	111,00	5,69	71,50	0,066	0,00	0	23/12/21	-31,7824	-52,3335
58	26,19	6,35	13	294	0,116	98,20	5,66	71,10	0,076	0,10	0	23/12/21	-31,7825	-52,3338
59	26,22	6,33	14	294	0,120	94,20	5,67	71,30	0,078	0,10	0	23/12/21	-31,7825	-52,3342
60	26,22	6,33	15	294	0,121	93,10	5,60	70,30	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7826	-52,3347
61	26,26	6,32	15	294	0,122	92,20	5,69	71,50	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7827	-52,3352
62	26,35	6,20	22	312	0,120	86,80	5,89	74,20	0,078	0,10	0	23/12/21	-31,7828	-52,3336
63	26,38	6,21	21	308	0,122	74,00	5,76	72,60	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7830	-52,3340
64	26,37	6,22	21	307	0,122	72,50	5,70	71,70	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7832	-52,3340
65	26,33	6,22	21	307	0,122	73,70	5,69	71,60	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7833	-52,3340
66	26,33	6,23	21	306	0,122	72,60	5,69	71,60	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7835	-52,3340
67	26,34	6,23	21	306	0,121	71,40	5,65	71,10	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7837	-52,3339
68	26,27	6,22	21	306	0,122	73,60	5,65	71,10	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7839	-52,3339
69	26,28	6,22	21	306	0,121	79,70	5,64	70,90	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7840	-52,3338
70	26,34	6,22	21	307	0,121	88,50	5,62	70,70	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7843	-52,3337
71	26,31	6,21	21	309	0,122	74,70	5,26	66,30	0,079	0,10	0	23/12/21	-31,7844	-52,3336
103	26,96	7,64	-64	225	0,573	75,20	4,29	54,50	0,367	0,30	0	28/12/21	-31,7820	-52,3305
104	26,94	7,61	-62	226	0,534	58,40	4,27	54,30	0,341	0,30	0	28/12/21	-31,7821	-52,3308
105	26,92	7,61	-62	226	0,512	61,10	4,25	54,00	0,325	0,20	0	28/12/21	-31,7821	-52,3311
106	26,91	7,57	-60	228	0,402	61,70	4,26	54,20	0,265	0,20	0	28/12/21	-31,7822	-52,3314
107	26,82	7,57	-59	228	0,438	61,00	4,26	54,00	0,279	0,20	0	28/12/21	-31,7822	-52,3316
108	26,77	7,58	-60	227	0,487	55,10	4,22	53,50	0,314	0,20	0	28/12/21	-31,7823	-52,3318
109	26,84	7,55	-58	229	0,480	63,10	4,20	53,30	0,311	0,20	0	28/12/21	-31,7823	-52,3321
110	26,83	7,55	-58	228	0,489	59,20	4,16	52,80	0,317	0,20	0	28/12/21	-31,7823	-52,3323

111	26,78	7,55	-58	227	0,512	47,60	4,15	52,70	0,328	0,20	0	28/12/21	-31,7824	-52,3327
112	26,73	7,50	-55	229	0,396	65,80	4,16	52,70	0,257	0,20	0	28/12/21	-31,7825	-52,3330
113	26,80	7,54	-58	226	0,536	61,50	4,14	52,50	0,342	0,30	0	28/12/21	-31,7826	-52,3334
114	26,85	7,55	-58	226	0,516	82,50	4,09	51,90	0,332	0,20	0	28/12/21	-31,7827	-52,3339
115	26,81	7,55	-58	226	0,420	67,60	4,11	52,20	0,27	0,20	0	28/12/21	-31,7827	-52,3343
116	26,78	7,54	-58	226	0,525	66,00	4,10	52,00	0,334	0,30	0	28/12/21	-31,7828	-52,3345
117	26,76	7,56	-59	224	0,503	57,10	4,08	51,70	0,323	0,20	0	28/12/21	-31,7828	-52,3347
118	26,75	7,53	-57	225	0,463	63,20	4,10	52,00	0,3	0,20	0	28/12/21	-31,7828	-52,3350
119	27,85	7,64	-64	221	0,829	67,60	5,07	65,40	0,532	0,40	0	28/12/21	-31,7847	-52,3340
120	27,41	7,63	-63	223	0,753	70,50	4,76	61,00	0,484	0,40	0	28/12/21	-31,7845	-52,3340
121	27,06	7,66	-65	225	0,585	70,20	4,51	57,40	0,38	0,30	0	28/12/21	-31,7843	-52,3339
122	27,04	7,72	-69	225	0,415	65,50	4,39	55,90	0,274	0,20	0	28/12/21	-31,7841	-52,3339
123	27,09	7,72	-69	226	0,313	65,30	4,38	55,80	0,205	0,10	0	28/12/21	-31,7840	-52,3339
124	27,06	7,67	-66	227	0,298	69,60	4,37	55,60	0,194	0,10	0	28/12/21	-31,7838	-52,3339
125	27,09	7,63	-63	228	0,308	67,40	4,29	54,70	0,2	0,10	0	28/12/21	-31,7836	-52,3338
126	27,09	7,61	-62	228	0,314	69,90	4,25	54,10	0,203	0,10	0	28/12/21	-31,7834	-52,3338
127	26,93	7,60	-61	228	0,323	65,40	4,21	53,40	0,21	0,20	0	28/12/21	-31,7833	-52,3338
128	26,79	7,59	-61	229	0,330	65,50	4,12	52,20	0,214	0,20	0	28/12/21	-31,7832	-52,3338
129	26,65	7,58	-60	229	0,340	61,20	4,08	51,60	0,221	0,20	0	28/12/21	-31,7830	-52,3338

Tabela 15 – Dados amostrados na seção Barragem São Gonçalo com sonda multiparamétrica - Temperatura (°C), Ph, Ph* (mV), ORP - Potencial de redução de oxidação (mV), Condutividade (mS/cm), Turbidez (NTU), Oxigênio dissolvido (mg/L), Oxigênio dissolvido (%), Sólidos totais dissolvidos - TDS (g/l), Salinidade (pp+), Densidade específica água mar (σ), data (dd/mm/aa), Latitude e Longitude (graus decimais).

ID	Temp.	pH	pH*	ORP	Cond.	Turbidez	OD	% OD	TDS	pp+	σ	Data	Lat.	Long.
P30	21,49	7,80	-22	296	0,105	118,00	16,85	195,70	0,068	0,00	0,0	18/11/21	-31,8111	-52,3884
P311	21,28	7,30	7	327	0,014	122,00	9,51	110,10	0,010	0,00	0,0	18/11/21	-31,8112	-52,3882
P321	21,26	7,49	-4	312	0,014	118,00	9,09	105,20	0,009	0,00	0,0	18/11/21	-31,8113	-52,3880
P33	21,47	7,48	-4	308	0,030	105,00	9,00	104,40	0,020	0,00	0,0	18/11/21	-31,8114	-52,3878
P34	21,08	7,49	-4	307	0,105	134,00	7,43	85,70	0,068	0,00	0,0	18/11/21	-31,8115	-52,3876
P35	21,38	7,38	2	313	0,043	110,00	8,34	96,70	0,028	0,00	0,0	18/11/21	-31,8116	-52,3873
P36	21,44	7,34	5	312	0,027	108,00	8,63	100,20	0,017	0,00	0,0	18/11/21	-31,8117	-52,3871
P37	21,65	7,35	4	310	0,013	105,00	8,54	99,50	0,008	0,00	0,0	18/11/21	-31,8118	-52,3869
P38	21,43	7,27	9	313	0,021	106,00	8,65	100,30	0,014	0,00	0,0	18/11/21	-31,8119	-52,3867
P39	21,20	7,48	-3	301	0,105	194,00	7,26	83,90	0,068	0,00	0,0	18/11/21	-31,8120	-52,3865
P40	21,15	7,27	9	314	0,037	157,00	8,35	96,40	0,024	0,00	0,0	18/11/21	-31,8120	-52,3865
591	22,29	7,31	-44	269	0,115	97,70	8,84	104,20	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,8111	-52,3885
601	22,16	7,14	-34	288	0,115	98,20	7,91	93,00	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,8112	-52,3883
611	22,05	7,15	-34	291	0,116	97,50	7,01	82,30	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,8113	-52,3880
621	22,12	6,95	-23	302	0,009	105,00	7,59	89,10	0,006	0,00	0,0	03/12/21	-31,8114	-52,3878
631	22,03	7,12	-32	293	0,115	98,40	7,24	85,00	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,8115	-52,3876
641	22,02	7,12	-33	294	0,115	98,90	6,82	80,00	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,8116	-52,3873
651	21,96	7,14	-34	293	0,116	102,00	6,30	73,80	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,8117	-52,3871
661	22,16	6,90	-19	307	0,030	90,60	7,12	83,70	0,020	0,00	0,0	03/12/21	-31,8118	-52,3869
671	21,93	6,87	-18	307	0,033	129,00	6,90	80,80	0,022	0,00	0,0	03/12/21	-31,8119	-52,3867
681	21,89	7,05	-28	295	0,115	124,00	6,44	75,40	0,075	0,10	0,0	03/12/21	-31,8120	-52,3865