

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**

LUCAS MIKLASEVICIUS DA COSTA

**Adaptação e avaliação do modelo de estimativa da concentração de
sedimentos em suspensão no Guaíba (RS) com dados do satélite Landsat**

Porto Alegre

2023

LUCAS MIKLASEVICIUS DA COSTA

Adaptação e avaliação do modelo de estimativa da concentração de sedimentos em suspensão no Guaíba (RS) com dados do satélite Landsat

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Luiza Correa da Camara Rosa

Coorientador: Dr. Fernando Comerlato Scottá

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Geografia pela Comissão de Graduação de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BANCA EXAMINADORA:

Prof Dr. Elírio Ernestino Toldo Júnior

Prof Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Miklasevicius da Costa, Lucas

Adaptação e avaliação do modelo de estimativa da concentração de sedimentos em suspensão no Guaíba (RS) com dados do satélite Landsat / Lucas Miklasevicius da Costa. -- 2023.

43 f.

Orientadora: Maria Luiza Correa da Camara Rosa.

Coorientador: Fernando Comerlato Scottá.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Bacharelado em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Sensoriamento remoto. 2. Landsat. 3. Sedimentos em suspensão . 4. Microplásticos. I. Correa da Camara Rosa, Maria Luiza, orient. II. Comerlato Scottá, Fernando, coorient. III. Título.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudo.....	9
Figura 2: Espectro eletromagnético.....	11
Figura 3: Comportamento espectral da água.....	12
Figura 4: Reflectância conforme a diferença na concentração de sedimentos em suspensão.....	13
Figura 5: Equações para as bandas analisadas.....	14
Figura 6: Fórmula banda 4 (<i>red</i>).....	17
Figura 7: Fórmula adaptada C2-L2.....	18
Figura 8: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 08/11/2015.....	20
Figura 9: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 27/01/2016.....	21
Figura 10: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 16/04/2016.....	23
Figura 11: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 22/08/2016.....	24
Figura 12: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 10/11/2016.....	26
Figura 13: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 26/11/2016.....	27
Figura 14: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 12/12/2016.....	29
Figura 15: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 13/01/2017.....	31
Figura 16: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 02/03/2017.....	33
Figura 17: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 03/11/2022.....	35
Figura 18: Correlação do modelo x dados <i>in situ</i>	37
Figura 19: Correlação do modelo x dados de validação.....	37
Figura 20: Correlação do modelo x concentração de microplásticos.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores para a utilização do fator de escala.....	16
Tabela 2: Valores dos pontos 08/11/2015.....	20
Tabela 3: Valores dos pontos 27/01/2016.....	22
Tabela 4: Valores dos pontos 16/04/2016.....	23
Tabela 5: Valores dos pontos 22/08/2016.....	25
Tabela 6: Valores dos pontos 10/11/2016.....	26
Tabela 7: Valores dos pontos 26/11/2016.....	28
Tabela 8: Valores dos pontos 12/12/2016.....	30
Tabela 9: Valores dos pontos 13/01/2017.....	31
Tabela 10: Valores dos pontos 02/03/2017.....	34
Tabela 11: Valores dos pontos 03/11/2022.....	36
Tabela 12: Valores da concentração de microplásticos.....	37

RESUMO

O Guaíba é um importante corpo d'água localizado no Rio Grande do Sul. Nele, há grande presença de sedimentos provenientes dos seus afluentes e, por estar próximo a uma grande concentração urbana, de resíduos oriundos de diversas atividades. Este trabalho objetivou utilizar um modelo de estimativa da concentração de sedimentos em suspensão elaborado para o Guaíba e atualizá-lo conforme a nova coleção de imagens dos satélites Landsat. Na área de estudo, amostras coletadas *in situ* foram utilizadas para a adaptação do modelo e por seguinte para sua validação. Dos 163 pontos coletados, 161 foram utilizados na adaptação do modelo, que obteve um resultado positivo e forte, conforme o Coeficiente de Correlação de Pearson. Para a validação, foi utilizada uma imagem de novembro de 2022, onde coletas em campo foram realizadas pelo LAPACE (Laboratório de Processos Ambientais e Contaminantes Emergentes), que desde 2021 estuda a presença de microplásticos no Guaíba. O resultado da validação, conforme o coeficiente, foi moderado e positivo. Por fim, buscou-se uma correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a concentração de microplásticos, contudo o resultado foi considerado fraco e negativo, já que contou com poucos dados. A calibração do modelo é a base para que outros estudos possam ser feitos, dentre os quais a continuidade da busca de uma correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão, a dinâmica do corpo d'água e a presença de microplásticos.

ABSTRACT

The Guaíba is an important water body located in Rio Grande do sul. There is a significant amount of sediments from its tributaries and, because is located next to a big urban concentration, waste from different activities. This work intends to use the model to estimate the suspended sediment concentration elaborate to the Guaíba and update to the new collection of images of Landsat satellite. In the research area, where data were collected *in situ* and used to adapt and validate the model. 161 of the total 163 points were used to adapt the model, which got a positive and strong result, according to the Pearson Correlation Coefficient. To validate, an image of november 2022 was used, that the field samples were collected by the LAPACE (Laboratório de Processos Ambientais e Contaminantes Emergentes), that since 2021 studies the presence of microplastics into the Guaíba. The result of the validation according to the coefficient was moderate and positive. Lastly, the attempt to find the correlation between the suspended sediment concentration and the microplastics concentration, yet the result was considered weak and negative, due to the few collected samples. The calibration of the model is the basis to other studies can use it, among which the continued search for the correlation between the suspended sediment concentration, the water body dynamics and the microplastics presence.

Palavras-chave: Sensoriamento remote; Landsat; Sedimentos em suspensão; Microplásticos.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	Objetivo Geral	9
1.2	Objetivos Específicos	9
1.3	Justificativa.....	9
1.4	Área de Estudo	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1	Sensoriamento Remoto.....	11
2.2	Sensoriamento Remoto da Água	12
2.3	Modelo Scottá (2018).....	14
3	METODOLOGIA	15
3.1	Aquisição de imagens dos satélites Landsat.....	15
3.2	Fator de escala.	16
3.3	Adaptação do Modelo Scottá, (2018).....	17
3.4	Análise de correlação.....	19
3.5	Avaliação preliminar da presença de microplásticos.....	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1	08/11/2015	20
4.2	27/01/2016	21
4.3	16/04/2016	23
4.4	22/08/2016	24
4.5	10/11/2016	26
4.6	26/11/2016	28
4.7	12/12/2016	29
4.8	13/01/2017	31
4.9	02/03/2017	33
4.10	Validação do modelo - 03/11/2022	36
4.11	Análise de correlação.....	37
4.12	Avaliação preliminar da correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão e os microplásticos.	39
5	CONCLUSÕES.....	41
6	REFERÊNCIAS:	42

1 INTRODUÇÃO

O estudo das áreas próximas a ocupações urbanas é de grande importância para entender a dinâmica dos seres humanos com o meio. Estes estudos estão ligados a um dos papéis fundamentais da ciência, buscando minimizar os efeitos nocivos dos processos que ocorrem em nossa sociedade. O uso de sensoriamento remoto para investigar questões de interesse tem se tornado cada vez mais comum. Por ser uma área em que há uma grande opção de ferramentas possibilita a investigação de forma remota, seu uso se torna muito prático para analisar e interpretar diversas situações.

Os rios são caminhos através dos quais diversos tipos de materiais são transportados dos continentes no sentido dos oceanos. Esses materiais podem ser advindos da erosão de rochas e materiais naturais ou de produtos de origem antrópica. Recentemente, diversos estudos tem demonstrado a ampla distribuição de microplásticos no meio ambiente, os quais se comportam de forma semelhante a outras materiais sedimentares. Em uma sociedade de consumo crescente é cada vez maior a necessidade de medidas que evitem ou busquem solucionar problemas advindos da geração de resíduos. Neste contexto um problema que afeta diretamente a vida dos seres humanos, e de outras espécies são os microplásticos. Ao serem ingeridos por animais marinhos, acabam entrando na cadeia alimentar, nos (Setälä *et al.*, 2014).

O sensoriamento remoto permite estudar a dinâmica dos corpos d'água, analisando a partir de imagens o comportamento espectral da superfície aquática e podendo fazer relações como a presença de materiais em suspensão. Neste sentido, o presente trabalho visa atualizar um modelo elaborado para estimar a concentração de sedimentos em suspensão no Guaíba (Scottá, 2018) utilizando produtos de reflectância de superfície dos satélites Landsat 8 e 9. A calibração do modelo é a base para que outros estudos possam ser feitos, dentre os quais a busca de uma correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão com a presença de microplásticos.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é adaptar e avaliar o modelo de estimativa da concentração de sedimentos em suspensão no Guaíba desenvolvido por Scottá (2018) com a “Landsat Collection 1 Level-2” e adaptá-lo com os novos produtos da “Landsat Collection 2 Level-2”.

1.2 Objetivos Específicos

- a) Elaborar mapas dos sedimentos em suspensão no Guaíba e comparar com dados diretos.
- b) Realizar uma avaliação preliminar da correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão e microplásticos.

1.3 Justificativa

Ao longo dos anos a ciência se atualiza e suas ferramentas são atualizadas. Para que isso ocorra com modelos e pesquisas já publicados, é necessário fazer uma validação para que se prove ou não ajustes na matriz de estudo. Com esse propósito, este trabalho pretende validar e adaptar um modelo para que este sirva de base para novos estudos em desenvolvimento.

Propõe-se com o resultado obtido, contribuir no campo prático, diagnosticando os locais que podem possuir o material estudado e com a produção de mapas temáticos após a análise dos dados obtidos, que permitirá uma visualização do Guaíba, fundamental para entender o comportamento do local estudado.

1.4 Área de Estudo

O Guaíba é um corpo d’água localizado no Estado do Rio Grande do Sul e abrange as cidades da Região Metropolitana de Porto Alegre: Barra do Ribeiro, Eldorado do Sul, Guaíba, Porto Alegre e Viamão (Figura 1). Esta região possui clima do tipo Cfa (Subtropical úmido), com uma temperatura média de 19,5 C° e precipitação média de 1347,40 mm (Cardia, 2010). Possui uma área de 496 km², que começa na

ponta da Usina do Gasômetro e percorre 50 km até encontrar a Laguna dos Patos, tem 20 km de largura máxima e profundidade média de 2 metros, chegando a 12 metros no canal de navegação. A vazão média é de $1500\text{m}^3/\text{s}$ (DMAE, 2020). O Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) é o responsável pela gestão do Guaíba. Há seis Sistemas de Abastecimento de Água (SAAs) com seis Estações de Tratamento de Água (ETAs), que geram aproximadamente 6,4 mil litros de água por segundo. O Guaíba recebe água de quatro rios, que são: Rio Jacuí (84,6% da vazão); Rio dos Sinos (7,5% da vazão); Rio Caí (5,2% da vazão) e Rio Gravataí (2,7% da vazão) (DMAE, 2020). Para este trabalho não será analisado toda a área, somente os pontos onde houveram coletas serão analisados.



Figura 1: Área de estudo. Fonte: próprio autor.

Há uma discussão enquanto a classificação hidrológica do Guaíba. Segundo o DMAE o Guaíba é um lago (DMAE, 2023). Entretanto, a Marinha Brasileira, através de suas cartas náuticas, define o Guaíba como um rio (CNH, 2017). Debates dentro da comunidade acadêmica também não dão certeza a definição correta para este corpo hídrico (Menegat e Carraro, 2009, Toldo Jr e Almeida, 2009). Mas há

características que também podem o definir como um rio, como o fluxo norte-sul com correntes entre a coluna de água, que indicam que o local possui um declive (Scottá, 2018). Contudo, para este trabalho, o corpo d'água será designado como Guaíba, não se detendo em uma classificação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto é a técnica que utiliza sensores para a captação e registro à distância, sem o contato direto, da energia refletida ou absorvida pela superfície terrestre (Fitz, 2005). Desde o século XIX há o interesse do ser humano em estudar a terra vista de cima, inicialmente era mais comum o uso de aerofotogrametria, uso de técnicas que visam obter informações quantitativas e fidedignas de fotografias (Ftiz, 2005). Dessa forma, sensores ópticos a bordo de aeronaves e satélites permitiram produzir dados sobre a superfície terrestre, permitindo importantes aplicações da tecnologia do sensoriamento remoto para estudos ambientais, agrícolas e monitoramento e detecção de mudanças globais (SCHOWENGERDT, 2007).

A obtenção de informações pelos sensores remotos é baseada na interação da radiação eletromagnética incidente em determinada área da superfície terrestre, podendo a radiação ser refletida, absorvida e transmitida (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2008). A radiação eletromagnética está distribuída em um espectro em que o intervalo do comprimento de onda define a sua denominação, conforme a Figura 2. Essa radiação é principalmente emitida pelo sol, contudo nem toda emissão chega à superfície terrestre, já que uma parte é absorvida pela nossa atmosfera.

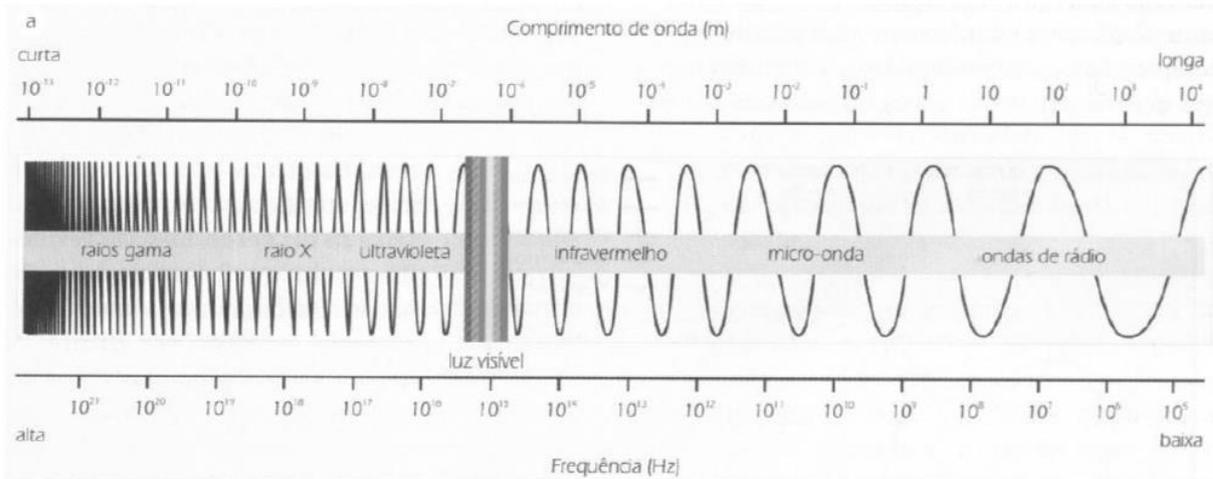


Figura 2: Espectro eletromagnético. Fonte: Florenzano (2011)

Para este trabalho serão utilizadas imagens de reflectância de superfície da região espectral do vermelho (banda número quatro), correspondente à banda do vermelho dos satélites Landsat 8 e 9. Estes satélites possuem o *Operational Land Imager* (OLI) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), respectivamente, com resolução espacial de trinta metros. Além dos produtos de reflectância de superfície, ele também gera imagens de temperatura de superfície. A classe de imagens escolhidas para este trabalho estima a medição de reflectância de superfície como se fossem medidas na superfície terrestre, obtida após a realização de processamentos que corrigem a dispersão e absorção atmosférica.

2.2 Sensoriamento Remoto da Água

O comportamento espectral da água varia de acordo com o estado físico em que ela se encontra (Baptista, 2021). No estado sólido, possui reflectância alta na faixa do visível e do infravermelho próximo, no estado gasoso, conforme a figura 3, possui valor elevado entre os comprimentos de onda 0.5 a 2.5 μm . No estado líquido, que é o de maior interesse para este trabalho, possui pico de reflectância na região do verde dentro do visível e absorve todos os comprimentos de onda após o infravermelho próximo.

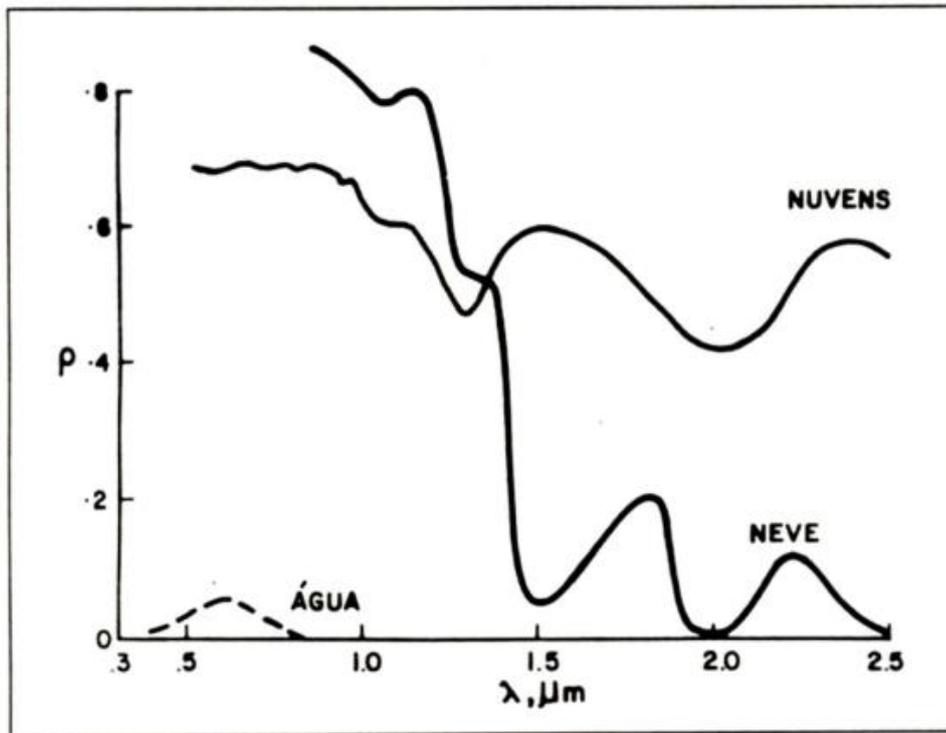


Figura 3. Comportamento espectral da água. Fonte: Baptista, (2021).

Entretanto, a água encontrada perto de aglomerações urbanas, como é o caso do Guaíba, não está pura no ambiente. Há uma mistura de matérias ao meio aquoso que podem ser de origem orgânica, como clorofila, ou de origem inorgânica, como sedimentos em suspensão (Jansen, 2009). Essas duas variantes alteram o comportamento espectral comparada com a água pura, assim se torna necessário uma interpretação diferente para analisar os dados. No caso para este trabalho, a intenção é detectar os sedimentos em suspensão, logo é preciso compreender melhor como a radiação eletromagnética interage na área do Guaíba.

Conforme a figura 4 podemos entender melhor como a reflectância funciona conforme a diferença na concentração de sedimentos em suspensão em solos siltosos e argilosos. Nota-se um aumento no valor de reflectância em comparação com a água clara, sem a presença de sedimentos. Em ambos os gráficos da figura, pode-se observar que o pico de reflectância ocorre próximo a onda com comprimento de 0,65 μm, o que para os satélites Landsat 8 e 9, utilizados neste trabalho, corresponde a banda de número quatro, também chamada de banda do vermelho, que abrange o intervalo de comprimento de onda de 0,64 até 0,67 μm (USGS, 2023).

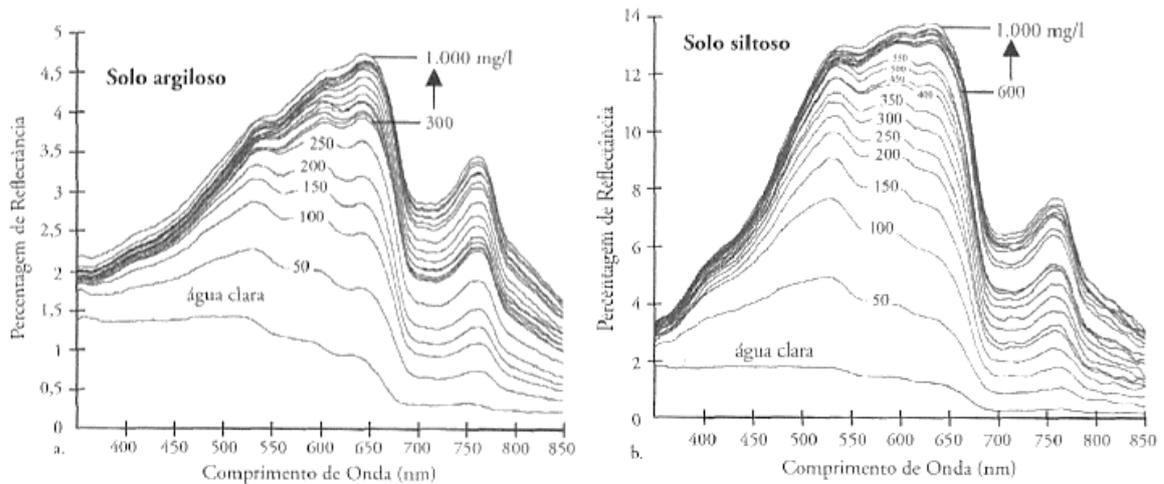


Figura 4: Reflectância conforme a diferença na concentração de sedimentos em suspensão. Fonte: Jansen (2009).

2.3 Modelo Scottá (2018)

O modelo para estimar a concentração de sedimentos em suspensão no Guaíba foi feito utilizando imagens da coleção 1 do Landsat 8 com a intenção de desenvolver um modelo empírico para estimar a concentração de sedimentos em suspensão no Guaíba e caracterizar a distribuição espacial desses sedimentos na área de estudo (Scottá, 2018). O modelo foi desenvolvido a partir de nove coletas em campo, entre os anos de 2015 e 2017, nos mesmos dias em que o Landsat 8 passaria sobre a área de estudo. Um total de 171 amostras de água superficial foram coletadas, junto com as coordenadas do ponto de coleta, entretanto, 27 tiveram que ser descartadas por interferência das nuvens ou por problemas na filtragem do material coletado. As amostras de água foram levadas ao laboratório do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO), da UFRGS, onde foram filtradas utilizando o método gravimétrico até o momento em que a saturação do filtro fosse atingida. O processo utilizou uma bomba de pressão a vácuo com filtros de nitrato de celulose com diâmetro de 47 mm (Scottá, 2018).

Inicialmente, foram avaliadas seis bandas do satélite: azul, verde, vermelho, infravermelho próximo, SWIR1 e SWIR2, e para cada banda foi gerada uma equação de acordo com a figura 5 em que a reflectância do *pixel* era relacionada com a concentração dos sedimentos em suspensão em mg/L. A análise do modelo concluiu

que a banda do vermelho é com melhor correlação, sendo a mais adequada para quantificar a concentração de sedimentos em suspensão, constatação que segue o que a literatura cita para outros corpos d'água (Genú & Demattê, 2011, Lodhi *et al.*, 1997). Consta também uma variabilidade na pluma de sedimentos visíveis, variações que dependem da descarga dos rios que alimentam o Guaíba, também maior presença de sedimentos nas margens, indicando a volta à superfície pela ação de ondas impulsionadas pelo vento de sedimentos que estavam depostos.

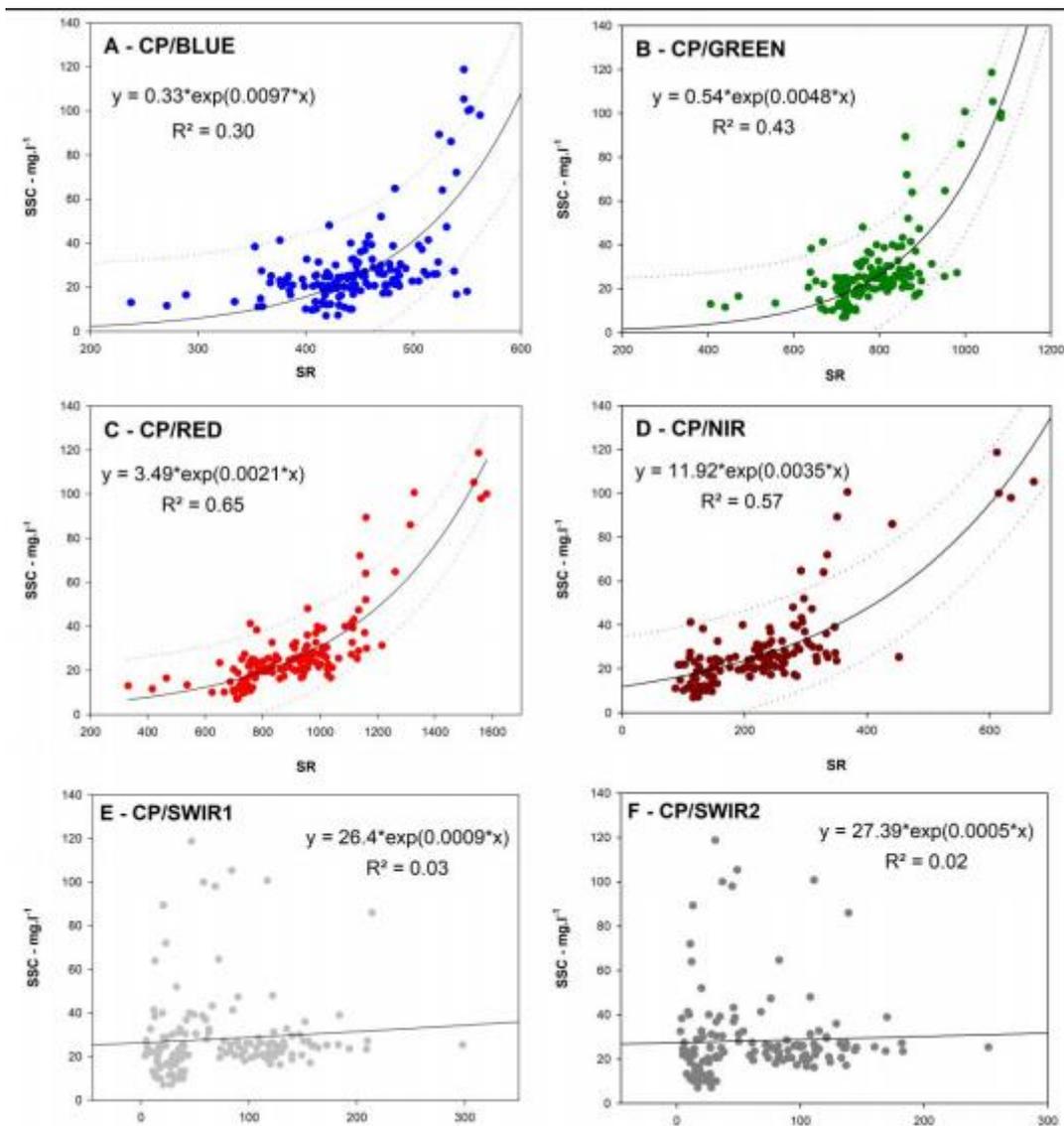


Figura 5: Equações para as bandas analisadas. Fonte: Scottá (2018)

3 METODOLOGIA

3.1 Aquisição de imagens dos satélites Landsat

O primeiro passo deste trabalho foi a aquisição de imagens do satélite Landsat. No trabalho que está sendo usado como base para desenvolver esta tese, o autor utilizou o sensor OLI do Landsat 8 para obter os produtos de reflectância de superfície, atualmente disponibilizado como Coleção 2 – Nível 2 de processamento (C2-L2) de dados do satélite Landsat. No entanto, na época do desenvolvimento do modelo de Scottá (2018), havia apenas sido lançada a Coleção 1 dessas imagens, a qual não está mais disponível.

As imagens da C2-L2 foram adquiridas gratuitamente pelo portal da base de dados da USGS (*United States Geological Survey*), no endereço *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Primeiramente foram pesquisados produtos de data iguais as realizada no trabalho base, que corresponde aos dias: 8 de novembro de 2015; 27 de janeiro de 2016; 16 de abril de 2016; 22 de agosto de 2016; 10 de novembro de 2016; 26 de novembro de 2016; 12 de dezembro de 2016; 13 de janeiro de 2017; 2 de março de 2017. Para a validação do modelo, foi obtida uma imagem do dia 3 de novembro de 2022, relacionada a coleta realizada pelo LAPACE (Laboratório de Processos Ambientais e Contaminantes Emergentes) do Instituto de Química da UFRGS, em parceria com o DMAE e com o CECO/UFRGS para o desenvolvimento do projeto “Ocorrência, distribuição e fontes de microplásticos de água superficiais da região metropolitana de Porto Alegre”.

De acordo com Scottá (2018), a banda mais adequada para a análise é a de número quatro, na faixa espectral do vermelho. Assim foram selecionadas nove imagens da banda 4 para as datas indicadas.

3.2 Fator de escala.

As imagens da Coleção 1 do Landsat ficaram disponíveis até o dia 31 de dezembro de 2022 no catálogo do USGS, após essa data só é possível adquirir as imagens da Coleção 2. Esses produtos sofreram um reprocessamento, desde o Landsat 1 até o Landsat 9. Essa alteração buscou um aprimoramento nos algoritmos de processamento e para distribuição das imagens. Para este trabalho será utilizada a C2-L2, na qual são disponibilizados os produtos com a correção da reflectância de

superfície. Para tornar possível a comparação é necessária a aplicação do fator de escala, conforme a tabela 1.

	Reflectância de superfície	Reflectância de superfície
Coleção	Um	Dois
Valor de preenchimento	-9999	0
Fator de escala	0.0001	0.0000275 + -0.2
Tipo de dado	16-bit assinado	16-bit não assinado
Intervalo válido	0-10000	1-65455

Tabela 1: Valores para a utilização do fator de escala. Fonte: USGS

De acordo com o USGS (2022), o fator de escala deve ser aplicado nos produtos Landsat Level-2 antes de usá-los. O procedimento pode ser realizado através de programação, cálculo manual ou, o caso deste trabalho, aplicado em um *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Como mostra a tabela 1, o intervalo de valores para a coleção dois é de 1-65455, tendo em vista adequar os resultados, no ArcMap 10.5.1, todos os valores menores do que 1 e maiores do que 65455 serão definidos como nulos. Assim ao aplicar o fator de escala na imagem de interesse só serão considerados valores válidos. O USGS pontua que há diferença do fator de escala e valores de preenchimento da Coleção 2 em comparação à Coleção 1, pois os produtos foram atualizados para que os resultados sejam mais consistentes em comparação aos dados da Coleção 1, já que o tipo de dado 16-bit não assinado é mais eficiente USGS (2022).

3.3 Adaptação do Modelo Scottá, (2018)

Após a aquisição das imagens da área de estudo e a aplicação do fator de escala nos produtos a validação do modelo para estimar a concentração de sedimentos em suspensão foi iniciada. Conforme a figura 6, a fórmula do Modelo Scottá (2018) é: $y=3.49*\exp(0.0021*x)$ com $R^2=0.65$. Essa fórmula foi criada ao comparar o valor da reflectância do pixel da imagem com o valor da amostra analisado

em laboratório, criando-se uma linha de tendência exponencial que corresponde a fórmula.

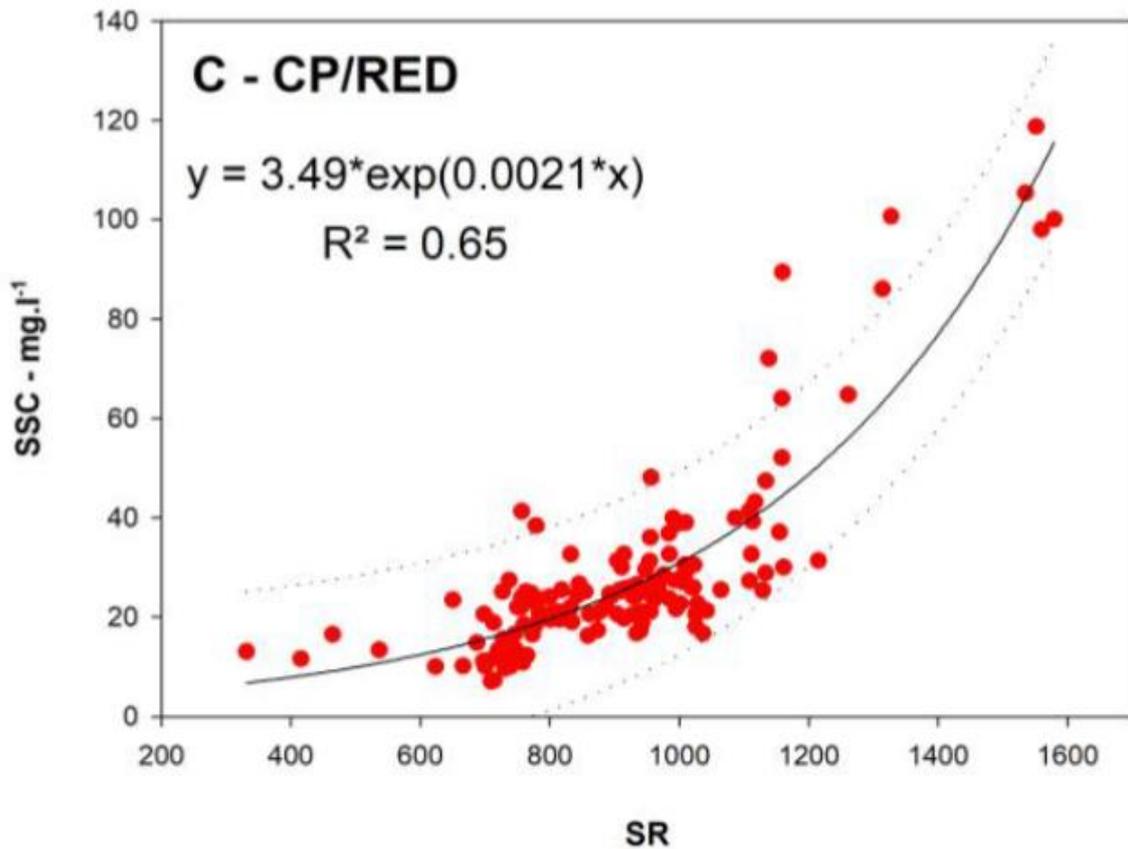


Figura 6: Fórmula banda 4 (red). Fonte: Scottá (2018)

Entretanto, como já citado, a equação foi desenvolvida utilizando a Coleção 1 do Landsat 8, e ao tentar rodar a fórmula com as imagens da Coleção 2, não foram encontrados os mesmos valores. Assim, foi necessária uma adaptação da fórmula para estimar as concentrações de sedimentos em suspensão nas imagens da nova coleção. Esta foi realizada após aplicação do fator de escala para todas as imagens, as quais foram separadas e processadas utilizando a calculadora *raster* do ArcMap 10.5.

Com as imagens das datas necessárias da Coleção 2 adquiridas e com o fator de escala aplicado, foi realizado o processo para encontrar a nova equação. Obtiveram-se os valores de reflectância dos *pixels* para cada coordenada de coleta e o valor dos sedimentos em suspensão das amostras. Com esses dados, foi elaborada a correlação tal como realizado por Scottá, (2018). Ao comparar o valor da reflectância

com a amostra dos sedimento em suspensão, uma nova linha de tendência exponencial foi encontrada, representada pela figura 7, correspondendo a nova fórmula a ser utilizada para imagens Landsat C2-L2: $y=4.43*\exp(20.2*x)$ com $R^2=0.61$.

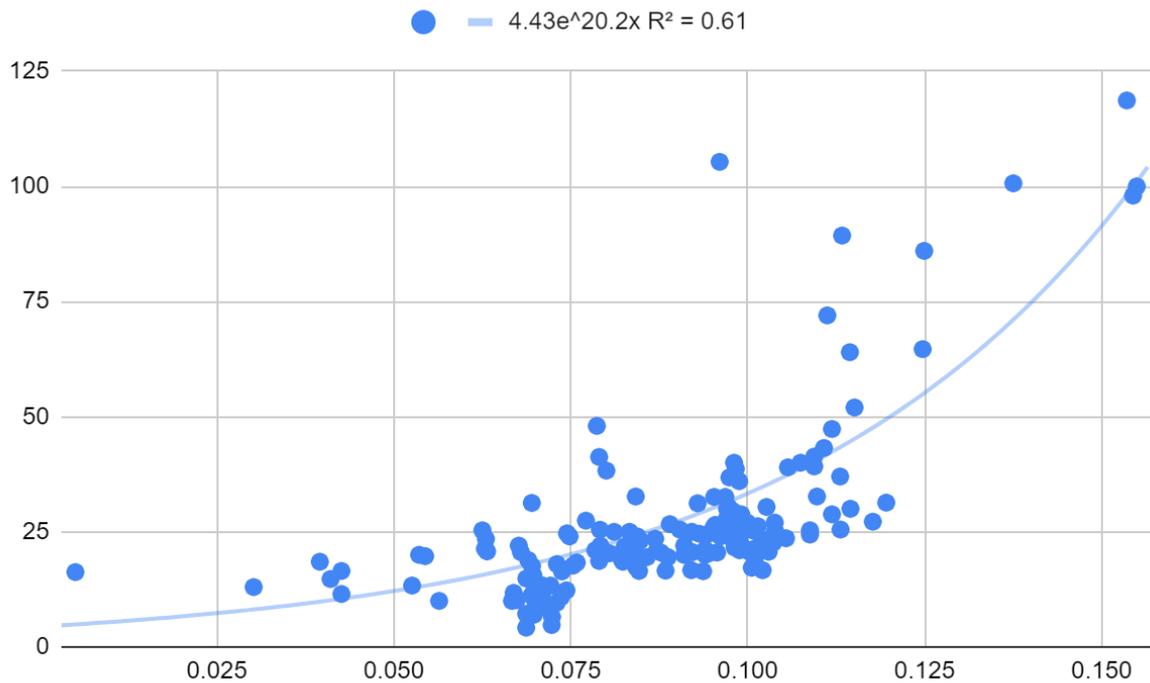


Figura 7: Fórmula adaptada C2-L2. Fonte: Próprio Autor.

3.4 Análise de correlação

Para testar a associação linear entre valores do modelo e valores *in situ*, foram realizadas três análises de correlação entre:

- 1) Dados do modelo x dado *in situ*
- 2) Dados do modelo x dados da data de 03/11/2022

Essa análise estatística dos dados foi feita utilizando o Coeficiente de Correlação de Pearson, correlação que requer dados intervalares para ser uma medida precisa do relacionamento linear entre duas variáveis (FIELD, 2009). A análise estatística indicará se há correlação entre os dados ao classificar entre um intervalo de -1 a 1 o coeficiente, onde os valores próximos a 1 indicam uma correlação forte e

os próximos a -1 uma correlação fraca. Esse levantamento foi realizado no *software* Excel onde foram gerados gráficos que demonstram o comportamento da correlação entre os dados.

3.5 Avaliação preliminar da presença de microplásticos

A adaptação e validação do modelo de estimativa da concentração de sedimentos em suspensão no Guaíba, tem como plano futuro a utilização do modelo para correlacionar com materiais específicos que estão em suspensão em corpos d'água. O LAPACE tem realizado estudos sobre a presença de microplásticos no Guaíba, tendo identificado a primeira evidência da contaminação (BERTOLDI et al, 2021). A avaliação preliminar da presença de microplásticos será feita comparando os dados coletados em campo pelo grupo de pesquisa com os resultados obtidos pelo modelo para a data de 03/11/2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho estão retratados a seguir de acordo com as datas das coletas na área de estudo.

4.1 08/11/2015

A primeira coleta realizada em 8 de novembro de 2015, obteve cinco amostras espalhadas por diferentes pontos da margem leste do Guaíba (Figura 8 e Tabela 2). Todas elas situam-se próximas à beira, o que indica baixa profundidade no local de coleta. As amostras coletadas nos pontos 1 e 2 são as que o modelo mais se aproximou do valor obtido em campo. As demais amostras tiveram valores diferentes calculados, sendo os pontos 3 e 4 com diferença de até 7 mg/L e o ponto 5 com uma diferença de aproximadamente 15 mg/L.

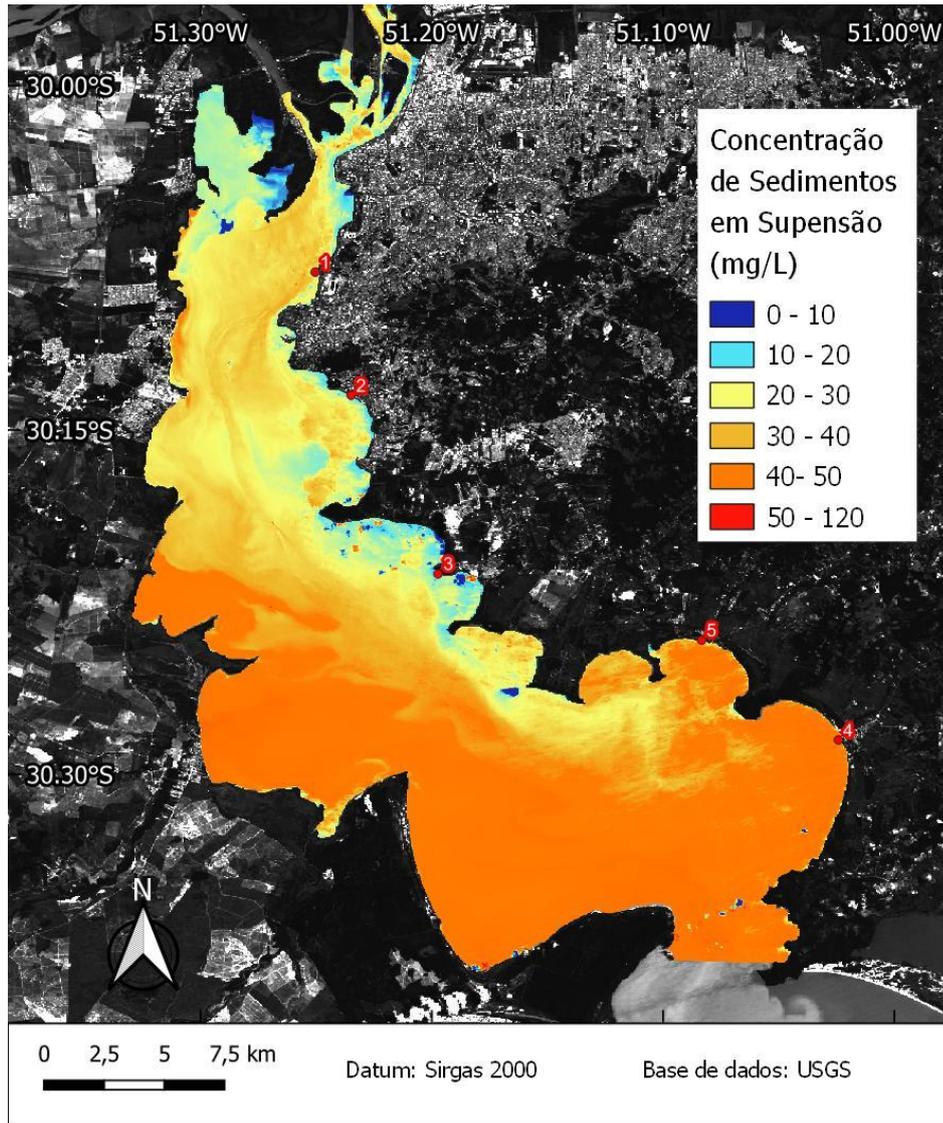


Figura 8: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 08/11/2015. Fonte: Próprio Autor

Ponto	Latitude	Longitude	Reflectância do pixel	Valor da amostra (mg/L)	Cálculo da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)
1	-30,0812	-51,2505	0,1056900	39,00	37,462383
2	-30,1348	-51,2349	0,1087974	24,40	23,901423
3	-30,2126	-51,1974	0,0676575	22,00	17,375841
4	-30,2849	-51,0243	0,1029675	20,66	13,074517
5	-30,2415	-51,0834	0,0535775	20,00	35,457780

Tabela 2: Valores dos pontos 08/11/2015. Fonte: Próprio Autor.

4.2 27/01/2016

Na segunda data de trabalho de campo, treze amostras foram obtidas. As duas primeiras foram coletadas mais próximas da margem leste e as demais estão localizadas mais afastadas das margens (Figura 9 e Tabela 3). Pela imagem, pode-se observar que nesse dia havia a presença de nuvens no céu. A presença delas fez com que dois dos pontos fossem descartados, os pontos 2 e 6, devido o valor da reflectância ter sido afetado pela presença das nuvens, ou no caso do ponto 6, que está sobre a sombra de uma nuvem. Nessa data o modelo não conseguiu obter valores muito próximos com os das amostras. Os pontos 1 e 5 são os que obtiveram os resultados mais próximos.

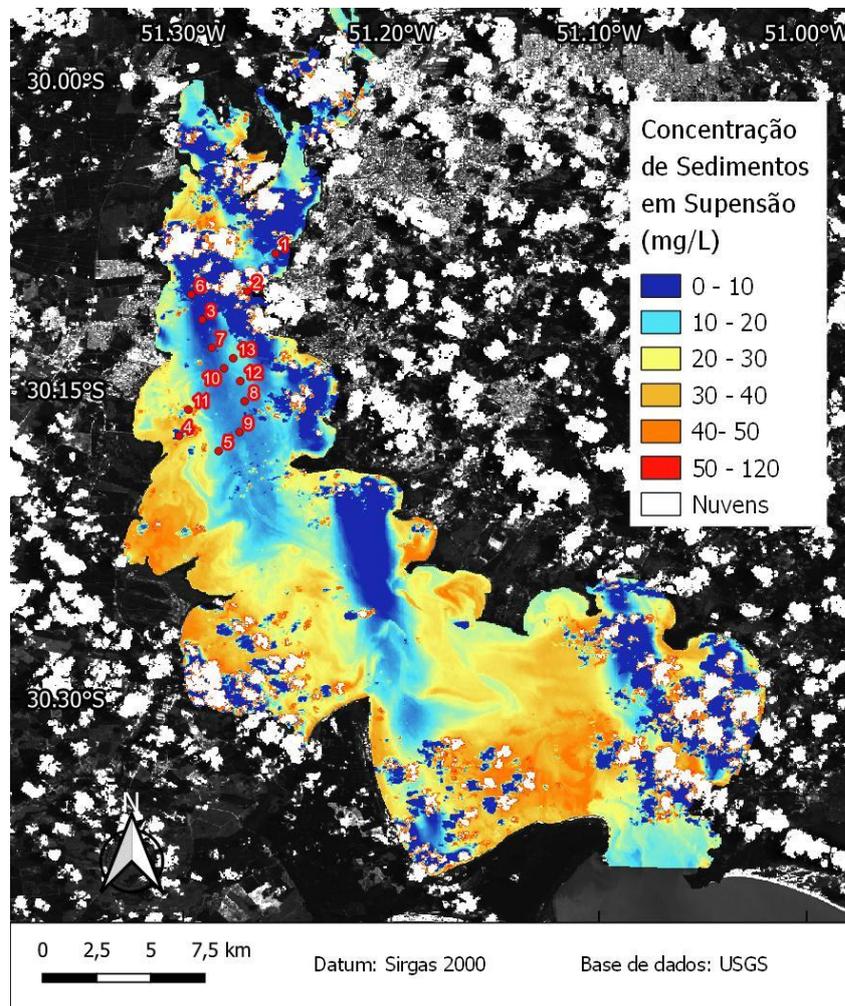


Figura 9: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 27/01/2016. Fonte: Próprio Autor.

Ponto	Latitude	Longitude	Reflectância do pixel	Valor da amostra (mg/L)	Cálculo da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)
1	-30,0838	-51,2556	0,041065	15	10,154454
2	-30,1022	-51,2691	0,321125001*	15,625	2.907,72
3	-30,1159	-51,2909	0,0050125	16,25	4,902042
4	-30,1722	-51,3020	0,039552499	18,5	9,848901
5	-30,1796	-51,2830	0,079015002	18,667	21,856592
6	-30,1037	-51,2962	-0,033377498*	18,886	2,257310
7	-30,1295	-51,2863	0,05443	20	13,301614
8	-30,1555	-51,2705	0,063175	21	15,871654
9	-30,1704	-51,2730	0,062872499	21,333	15,774957
10	-30,1395	-51,2804	0,062514998	25	15,661458
11	-30,1595	-51,2976	0,079125002	25	21,905214
12	-30,1457	-51,2726	0,069499999	31,269	18,034730
13	-30,1346	-51,2760	0,078685001	48	21,711381

Tabela 3: Valores dos pontos 27/01/2016. Fonte: Próprio Autor.

4.3 16/04/2016

Na terceira data de coleta seis amostras foram obtidas. Todas elas se encontram próximas à margem leste do Guaíba na Praia de Ipanema, localiza no Bairro de Ipanema na zona sul de Porto Alegre (Figura 10 e Tabela 4). Nota-se que nesse dia também havia presença de nuvens na cena da imagem, entretanto nenhuma delas atrapalhou nos resultados. Somente o cálculo para o ponto 1 não teve um resultado tão próximo com o que foi coletado em campo. Para os demais, observa-se um resultado semelhante aplicando o modelo para estimar a concentração de sedimentos em suspensão com o valor que foi obtido em laboratório com as amostras.

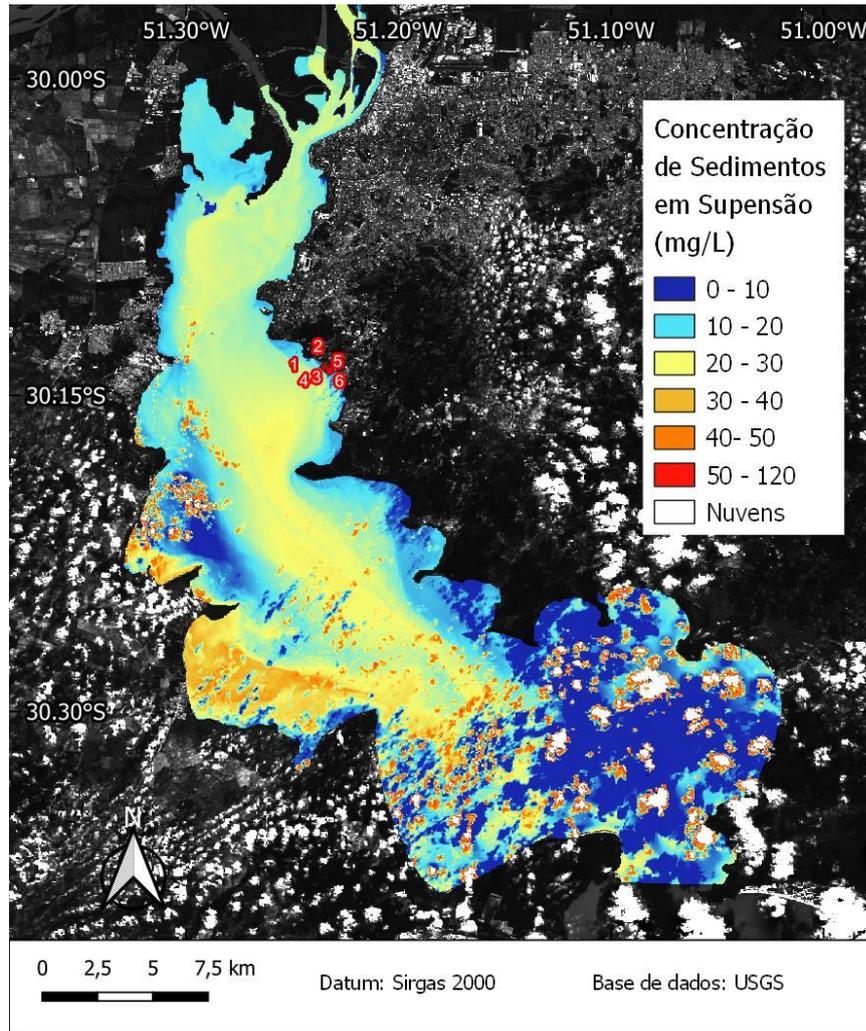


Figura 10: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 16/04/2016. Fonte: Próprio Autor.

Ponto	Latitude	Longitude	Reflectância do pixel	Valor da amostra (mg/L)	Cálculo da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)
1	-30,1355	-51,2496	0,088392504	16,571	26,414903
2	-30,1361	-51,2349	0,082204998	19	23,311361
3	-30,1366	-51,2346	0,080472499	20,333	22,509654
4	-30,1374	-51,2340	0,075329997	17,667	20,288732
5	-30,1380	-51,2330	0,069527499	17,538	18,044754
6	-30,1385	-51,2324	0,073047496	18	19,374525

Tabela 4: Valores dos pontos 16/04/2016. Fonte: Próprio Autor.

Na quarta data de coleta foram obtidas oito amostras no Guaíba. Os pontos 1, 2 e 8 estão situados mais afastados das margens, enquanto os demais estão bem próximos a margem oeste, ao lado do município de Guaíba. Nessa imagem fica nítida a presença de uma pluma de sedimentos, que fica mais evidente nas regiões de baixa descarga, como nas margens. Para essa imagem o modelo só conseguiu se aproximar do resultado coletado no ponto 3, nos demais os valores não ficaram próximos do desejado. Mas pode-se observar, a partir dos pontos 5, 6 e 7 a influência do valor de reflectância do pixel no modelo. Esses três pontos tiveram os maiores valores, mas todos os pontos se encontram em pixels com valores de reflectância parecidos (Figura 11 e Tabela 5).

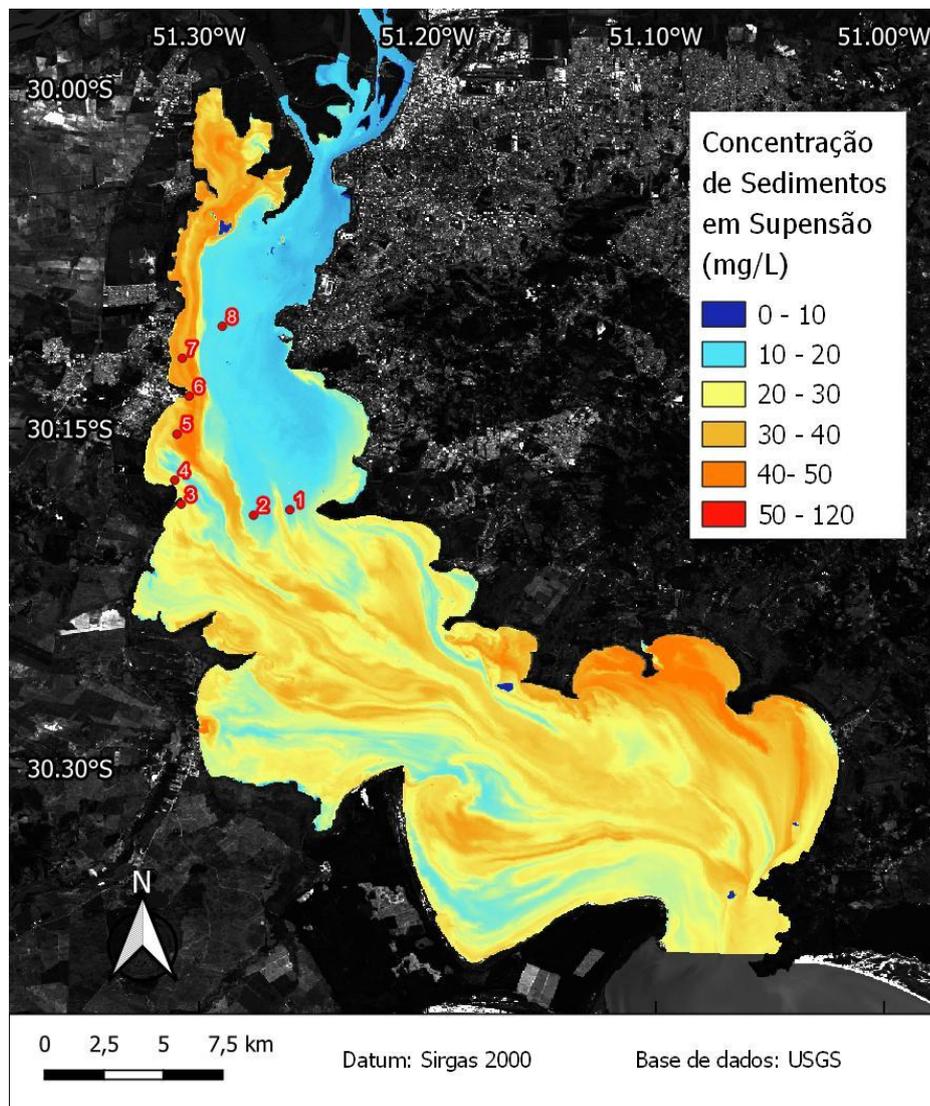


Figura 11: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 22/08/2016. Fonte: Próprio Autor.

Ponto	Latitude	Longitude	Reflectância do pixel	Valor da amostra (mg/L)	Cálculo da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)
1	-30,1858	-51,2603	0,079015002	41,250	21,856592
2	-30,1882	-51,2762	0,080032498	38,286	22,310474
3	-30,1833	-51,3079	0,095267497	32,571	30,350193
4	-30,1727	-51,3107	0,098072499	40,000	32,119537
5	-30,1524	-51,3097	0,113334998	89,333	43,718288
6	-30,1356	-51,3044	0,114435002	64,000	44,700588
7	-30,1189	-51,3074	0,111244999	72,000	41,911010
8	-30,1048	-51,2899	0,077145003	27,429	21,046379

Tabela 5: Valores dos pontos 22/08/2016. Fonte: Próprio Autor.

4.5 10/11/2016

Na quinta data de coleta mais sete amostras foram obtidas (Figura 12 e Tabela 6). Todas elas se localizam na margem leste do Guaíba na parte mais ao sul de Porto Alegre. As amostras 1, 2, 3, 4, 5 e 6 estão localizadas no Bairro de Belém Novo, enquanto o ponto 7 está situado em Itapuã, que é um distrito do município de Viamão. Para essa data o modelo obteve resultados próximos em alguns pontos, como o 1, 2 e 3.

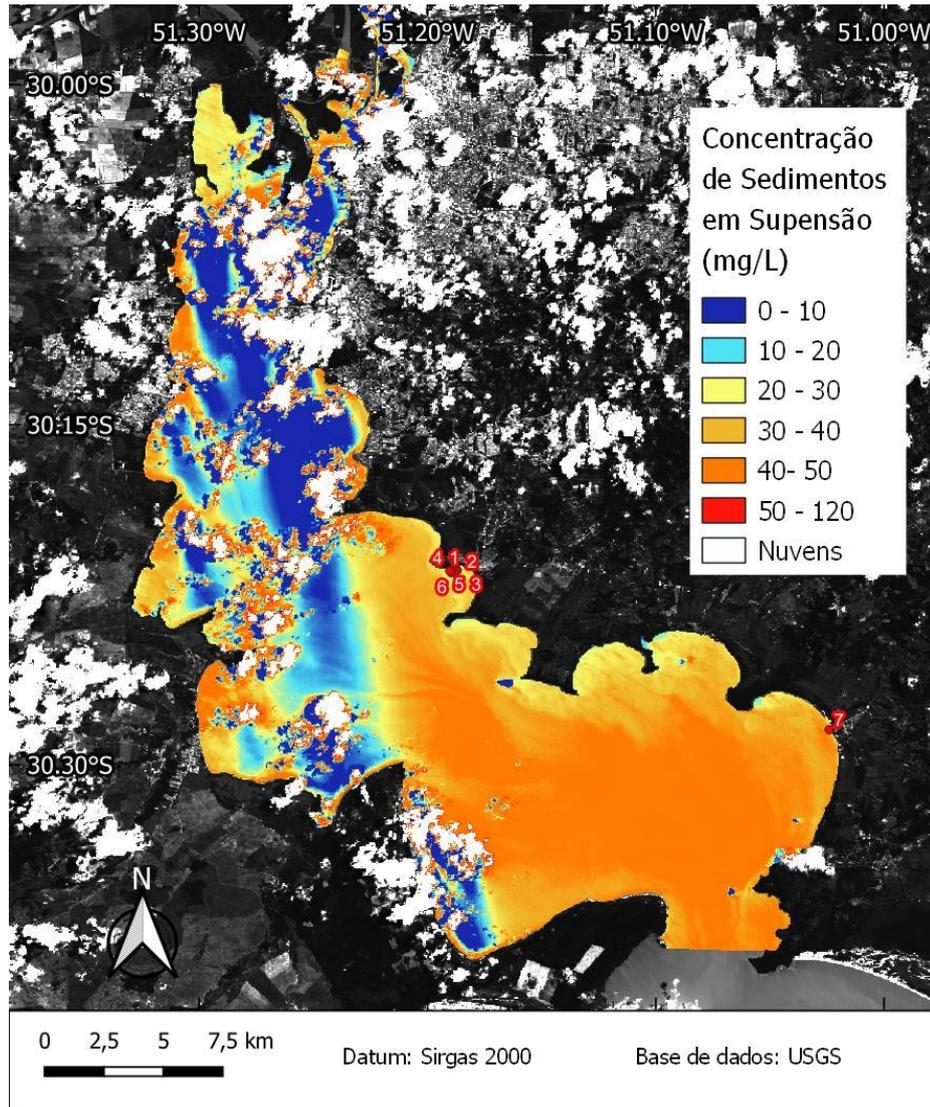


Figura 12: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 10/11/2016. Fonte: Próprio Autor.

Ponto	Latitude	Longitude	Reflectância do pixel	Valor da amostra (mg/L)	Cálculo da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)
1	-30,2133	-51,1877	0,097082503	30,000	31,483587
2	-30,2141	-51,1871	0,098787501	36,000	32,586795
3	-30,2146	-51,1874	0,097907498	29,500	32,012649
4	-30,2149	-51,1886	0,099942498	27,000	33,356010
5	-30,2152	-51,1896	0,105415002	23,600	37,254871
6	-30,2144	-51,1902	0,103874996	25,200	36,113777
7	-30,2844	-51,0241	0,100657500	25,333	33,841278

Tabela 6: Valores dos pontos 10/11/2016. Fonte: Próprio Autor.

4.6 26/11/2016

A sexta coleta obteve mais dezesseis amostras. Todas elas estão localizadas próximas na região do Bairro de Ipanema na zona sul de Porto Alegre conforme a figura 13. Os pontos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 apresentaram os valores mais próximos (Tabela 7). Todos eles são os que estão situados mais distantes da margem do Guaíba. Os demais pontos, localizados mais próximos a beira não tiveram uma diferença tão grande com os valores das amostras, contudo não tão próximos como os sete primeiros.

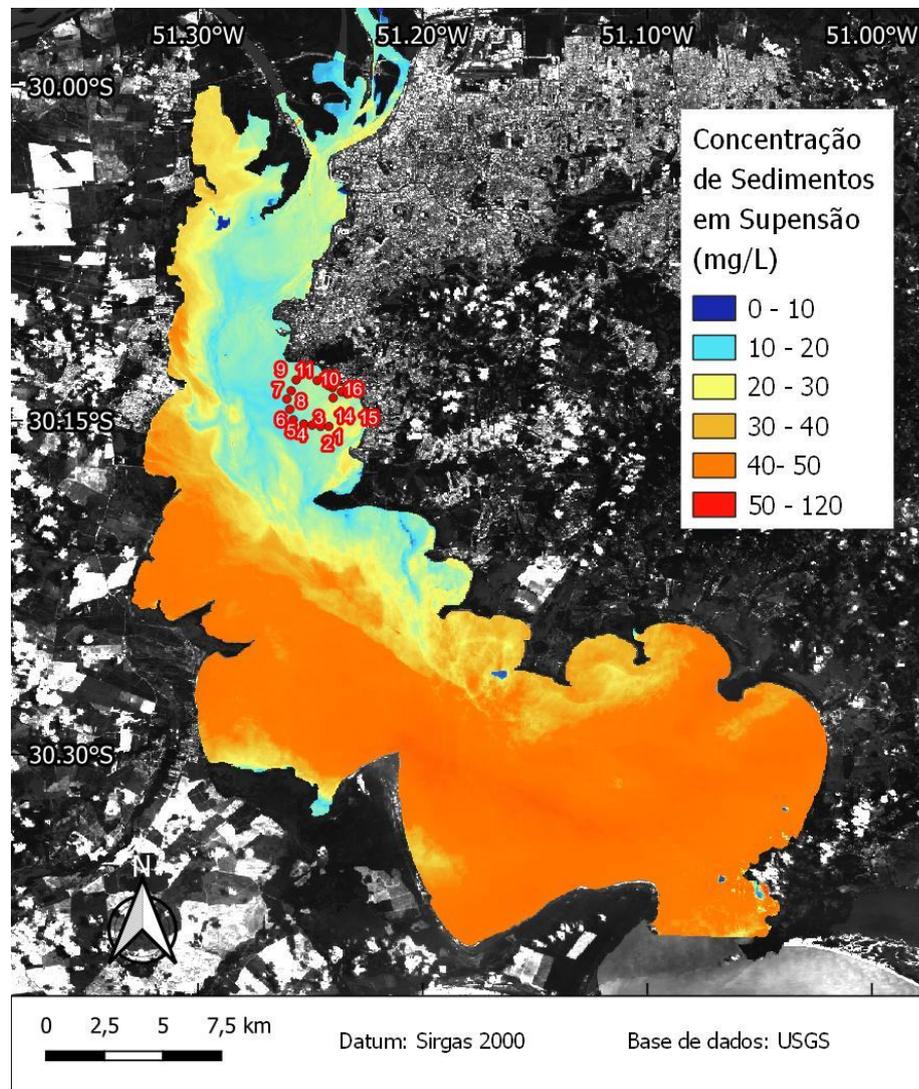


Figura 13: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 26/11/2016. Fonte: Próprio Autor.

Ponto	Latitude	Longitude	Reflectância do pixel	Valor da amostra (mg/L)	Cálculo da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)
1	-30,1526	-51,2418	0,090400003	25,500	27,508071
2	-30,1526	-51,2455	0,086934999	23,500	25,648553
3	-30,1520	-51,2493	0,087154999	20,889	25,762775
4	-30,1515	-51,2530	0,084817499	23,111	24,574598
5	-30,1496	-51,2577	0,083305001	25,000	23,835124
6	-30,1449	-51,2592	0,081132501	25,000	22,811754
7	-30,1403	-51,2605	0,082617499	21,778	23,506412
8	-30,1366	-51,2586	0,084047496	22,000	24,195322
9	-30,1317	-51,2564	0,084652498	16,500	24,492818
10	-30,1276	-51,2517	0,082369998	18,500	23,389181
11	-30,1398	-51,2399	0,088722497	19,500	26,591571
12	-30,1352	-51,2402	0,087732501	20,500	26,065074
13	-30,1342	-51,2421	0,084212497	20,500	24,276092
14	-30,1320	-51,2470	0,085752502	19,500	25,043146
15	-30,1371	-51,2362	0,091004997	20,000	27,846321
16	-30,1380	-51,2337	0,092215002	20,571	28,535312

Tabela 7: Valores dos pontos 26/11/2016. Fonte: Próprio Autor.

4.7 12/12/2016

Na sétima data de coletas mais trinta amostras foram coletadas (Tabela 8). São amostras que estão mais espalhadas na área de estudo, os pontos de número um a onze e dezoito a vinte e cinco estão localizados na margem oeste do Guaíba, no município de Guaíba. Os pontos de número doze a dezoito e os pontos vinte e seis e vinte e sete, estão localizados da margem leste do Guaíba, em direção a uma área mais central do Guaíba. Os últimos três pontos do número vinte e oito a trinta se localizam próximos ao delta do Jacuí ao norte da área de estudo figura 14. Nessa data observa-se que os resultados mais próximos estão nos pontos 12, 19, 23, 24, 28 e 29.

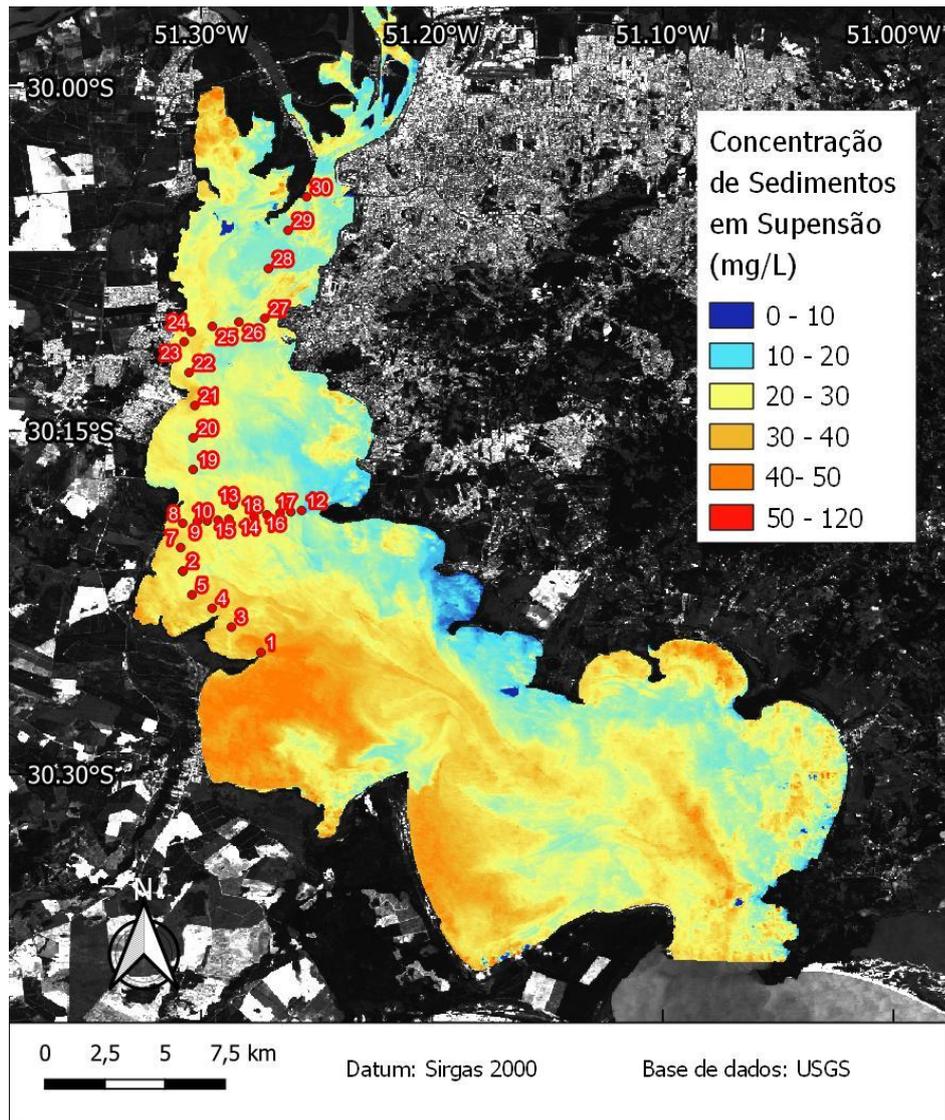


Figura 14: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 12/12/2016. Fonte: Próprio Autor.

Ponto	Latitude	Longitude	Reflectância do pixel	Valor da amostra (mg/L)	Cálculo da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)
1	-30,2467	-51,2741	0,117679998	27,200	47,728828
2	-30,2416	-51,2813	0,113114998	25,500	30,604160
3	-30,2356	-51,2869	0,101977497	23,429	34,755764
4	-30,2274	-51,2953	0,100575000	17,200	33,784912
5	-30,2215	-51,304	0,098732501	24,889	32,550601
6	-30,2112	-51,308	0,095679998	20,500	30,604160
7	-30,2009	-51,3089	0,101427503	26,222	34,371761

8	-30,1903	-51,3080	0,098842502	21,000	32,620087
9	-30,1895	-51,3017	0,098154999	26,000	32,173103
10	-30,1893	-51,2974	0,102142498	21,000	34,871784
11	-30,1890	-51,2927	0,097549997	25,714	31,782297
12	-30,1847	-51,2565	0,084404998	24,000	24,370670
13	-30,1823	-51,2861	0,095294997	25,143	30,367063
14	-30,1874	-51,2771	0,097549997	24,571	29,848606
15	-30,1885	-51,288	0,097302496	24,000	31,623811
16	-30,1858	-51,2659	0,092105001	25,000	28,471979
17	-30,1853	-51,2612	0,084184997	32,667	24,262607
18	-30,1866	-51,2715	0,096147500	24,000	30,894525
19	-30,1668	-51,3035	0,088997498	26,667	26,739607
20	-30,153	-51,3035	0,091032498	22,000	27,861782
21	-30,1389	-51,3028	0,103820004	27,000	36,073692
22	-30,1245	-51,3053	0,094690003	20,444	29,998214
23	-30,1110	-51,3074	0,098347500	28,500	32,298446
24	-30,1067	-51,3043	0,095184997	26,000	30,299666
25	-30,1043	-51,2952	0,095432498	26,500	30,451528
26	-30,1024	-51,2837	0,093699999	16,444	29,404266
27	-30,1008	-51,2725	0,094002500	20,000	29,584486
28	-30,0791	-51,2709	0,082424998	20,800	23,415185
29	-30,0624	-51,2624	0,084707499	19,273	24,520057
30	-30,0478	-51,2543	0,094002500	21,091	29,584486

Tabela 8: Valores dos pontos 12/12/2016. Fonte: Próprio Autor.

4.8 13/01/2017

Na oitava data de coleta quarenta e uma amostras foram coletadas (Tabela 9). Novamente, as amostras estão bem espalhadas na poligonal de estudo e algumas foram coletadas na foz do Rio dos Sinos e Delta do Jacuí (Figura 15). Dos pontos que foram coletados dentro da área de estudo destaca-se os pontos de número um a nove, que se situam numa área ao centro das margens leste e oeste, que tiverem resultados muitos próximos com os valores coletados em campo. Na área do Rio dos Sinos e do Delta do Jacuí destaca-se os altos valores das amostras de sedimentos em suspensão, devido a produção industrial da região, e que o modelo também conseguiu identificar os altos valores de sedimentos em suspensão.

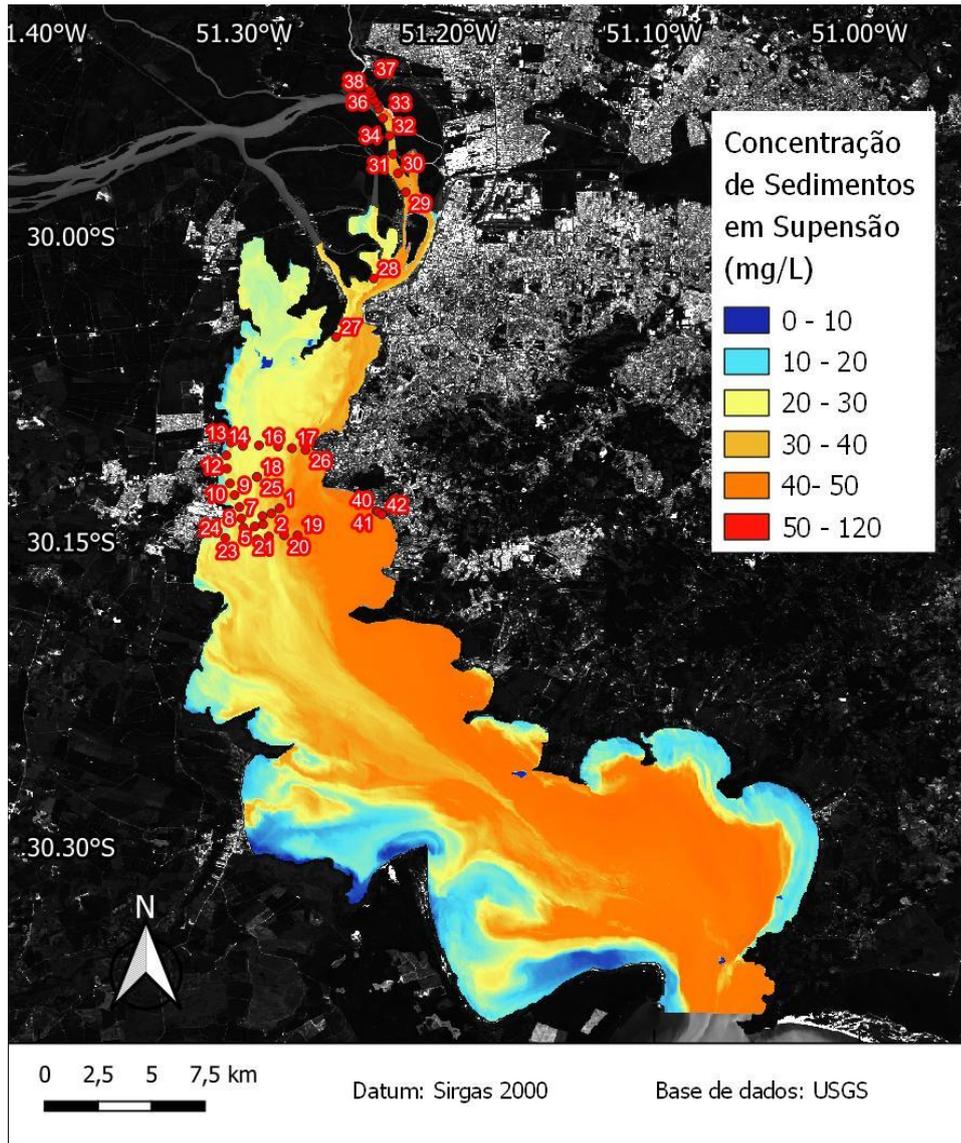


Figura 15: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 13/01/2017. Fonte: Próprio Autor.

Ponto	Latitude	Longitude	Reflectância do pixel	Valor da amostra (mg/L)	Cálculo da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)
1	-30,1335	-51,2826	0,113060	37,000	43,476119
2	-30,136	-51,2866	0,111905	47,333	42,473503
3	-30,1414	-51,2907	0,097275	30,400	31,606241
4	-30,1373	-51,291	0,102665	30,400	35,241786
5	-30,1424	-51,2947	0,092930	31,200	28,950448
6	-30,143	-51,3003	0,100630	26,000	33,822475

7	-30,1384	-51,3013	0,097083	28,000	31,483587
8	-30,1329	-51,3022	0,099777	26,000	32,245033
9	-30,127	-51,3046	0,098155	21,600	32,173103
10	-30,1213	-51,3068	0,098953	22,667	32,695579
11	-30,114	-51,3083	0,102115	16,667	34,852416
12	-30,1075	-51,3086	0,084240	17,333	24,289585
13	-30,1013	-51,3064	0,101098	18,000	34,143402
14	-30,1029	-51,3005	0,091748	20,667	28,267118
15	-30,1026	-51,2927	0,092023	16,667	28,424570
16	-30,1032	-51,2834	0,100327	20,571	33,616436
17	-30,104	-51,2766	0,108797	25,333	39,889347
18	-30,1181	-51,2937	0,099090	28,800	32,786518
19	-30,1468	-51,2739	0,119577	31,333	49,593780
20	-30,1468	-51,2804	0,109403	41,333	40,379810
21	-30,1473	-51,2879	0,100933	21,333	34,029781
22	-30,1487	-51,2935	0,098320	38,667	32,280506
23	-30,1492	-51,3007	0,097193	27,333	31,553619
24	-30,1481	-51,3091	0,103628	22,667	35,933673
25	-30,1181	-51,2937	0,099090	28,800	32,786518
26	-30,1049	-51,27	0,111905	36,800	42,473503
27	-30,0494	-51,2552	0,096835	32,571	31,326570
28	-30,0207	-51,2368	0,095487	25,000	30,485372
29	-29,9782	-51,2212	0,114518	30,000	44,775135
30	-29,969	-51,2249	0,115095	52,000	45,300529
31	-29,9596	-51,2273	0,109788	32,667	40,695087
32	-29,9506	-51,2292	0,107478	40,000	38,839782
33	-29,9419	-51,2323	0,109403	39,200	40,379810
34	-29,9373	-51,2344	0,110777	43,200	41,517105
35	-29,9349	-51,2354	0,153567	118,667	98,540084
36	-29,933	-51,2366	0,154970	100,000	101,37168
37	-29,93	-51,2378	0,154447	98,000	100,30739
38	-29,9284	-51,2388	0,096038	105,333	30,825925
40	-30,1347	-51,2355	0,124720	64,667	55,022567
41	-30,1352	-51,2346	0,124940	86,000	55,267639
42	-30,1366	-51,2327	0,137535	100,667	71,279330

Tabela 9: Valores dos pontos 13/01/2017. Fonte: Próprio Autor.

4.9 02/03/2017

A última data de coleta realizada no trabalho obteve trinta e oito amostras (Tabela 10). Nesse dia uma nova área foi abrangida, a região dos pontos nove a quinze, numa área entre a cidade de Eldorado do Sul e a Ilha da Pintada (Figura 16). Novamente, os pontos que foram coletados no Delta do Jacuí tiveram resultados próximos com os que foram obtidos nas amostras em laboratório. Os pontos da nova área abrangida também tiveram resultados próximos com os valores das amostras. Os demais pontos estão situados mais próximos a margem oeste do Guaíba, e nesses pontos não houve uma constância nos resultados. Alguns resultados do modelo se aproximaram com os valores das amostras, mas outros não.

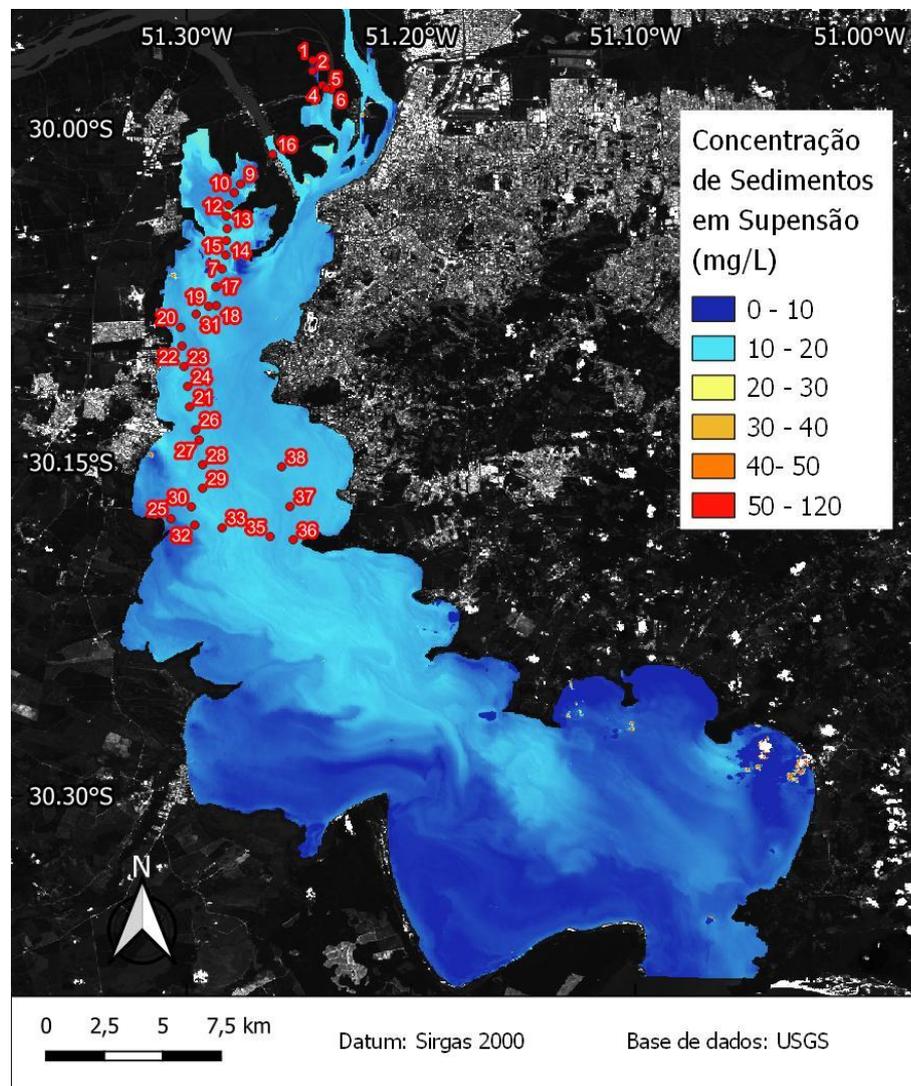


Figura 16: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 02/03/2017. Fonte: Próprio Autor.

Ponto	Latitude	Longitude	Reflectância do pixel	Valor da amostra (mg/L)	Cálculo da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)
1	-29,9693	-51,2438	0,030203	13,000	8,153847
2	-29,9741	-51,2439	0,042605	11,500	10,475303
3	-29,9748	-51,2493	0,042605	,16,500	11,598751
4	-29,9806	-51,2395	0,052588	13,333	12,815649
5	-29,982	-51,2377	0,073762	16,400	19,656379
6	-29,9825	-51,2355	0,07302	9,600	19,363765
7	-30,0631	-51,2842	0,071012	13,333	18,594249
9	-30,025	-51,276	0,06796	20,571	17,482349
10	-30,0288	-51,2788	0,06301	23,429	15,818837
11	-30,0344	-51,2813	0,074478	24,667	19,942344
12	-30,0393	-51,2823	0,078465	21,000	21,615108
13	-30,045	-51,282	0,074835	24,000	20,086870
14	-30,0504	-51,2823	0,075852	18,333	20,503999
15	-30,0569	-51,2826	0,074395	12,286	19,909128
16	-30,0115	-51,2617	0,07214	13,333	19,022594
17	-30,0712	-51,287	0,067355	10,154	17,269992
18	-30,0796	-51,2868	0,069803	7,000	18,145275
19	-30,0799	-51,2902	0,06972	15,556	18,115053
20	-30,0894	-51,3027	0,066695	10,000	17,041227
21	-30,1251	-51,2987	0,071122	10,000	18,635612
22	-30,0977	-51,3021	0,068702	4,190	17,746532
23	-30,107	-51,3012	0,072305	4,762	19,086111
24	-30,1159	-51,2996	0,071287	8,952	18,697824
25	-30,1754	-51,307	0,05641	10,000	13,844410
26	-30,1354	-51,296	0,068702	7,200	17,746532
27	-30,14	-51,2944	0,069005	18,857	17,855330
28	-30,1511	-51,2929	0,07104	12,000	18,604572
29	-30,1617	-51,2929	0,07236	6,538	19,107318
30	-30,17	-51,2979	0,06994	12,222	18,195735
31	-30,0834	-51,2958	0,069968	10,000	18,205850
32	-30,1782	-51,2964	0,066942	11,750	17,126689
33	-30,1795	-51,2842	0,073625	10,824	19,601867
35	-30,1834	-51,2628	0,069968	7,921	18,205850
36	-30,1848	-51,2525	0,069472	11,250	18,024719

37	-30,1699	-51,254	0,06873	14,857	17,756397
38	-30,152	-51,2577	0,069885	11,111	18,175537

Tabela 10: Valores dos pontos 02/03/2017. Fonte: Próprio Autor.

4.10 Validação do modelo - 03/11/2022

Essa coleta foi realizada pelo Laboratório de Processos Ambientais e Contaminantes Emergentes (LAPACE), em parceria com o DMAE e com o CECO/UFRGS para o desenvolvimento do projeto “Ocorrência, distribuição e fontes de microplásticos de águas superficiais da região metropolitana de Porto Alegre”. Dezoito pontos foram coletados (Tabela 11), destacando-se os pontos 1, 4, 5, 10, 13, 14, 16 e 18 que tiveram resultados do modelo parecidos com os valores de amostra. Essas amostras tem em comum a coleta próxima às às margens, em locais de baixa profundidade (Figura 17).

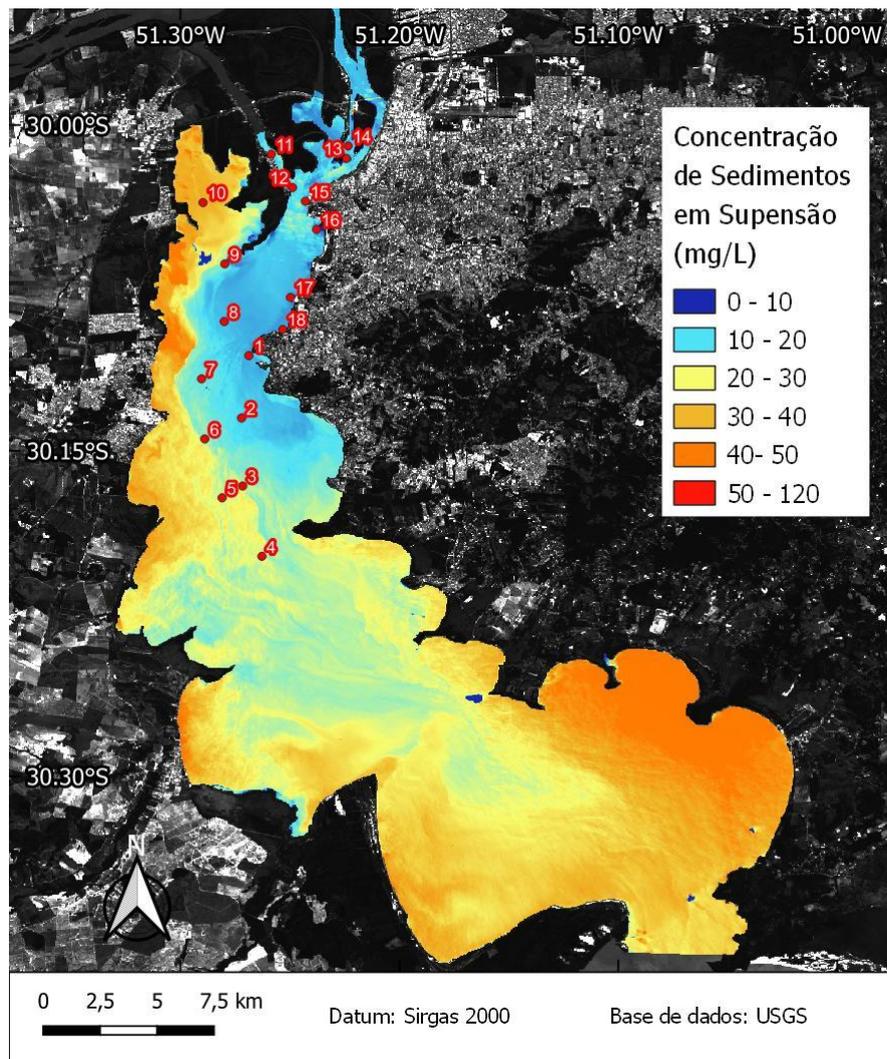


Figura 17: Estimativa da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L) data 03/11/2022. Fonte: Próprio Autor.

Ponto	Latitude	Longitude	Reflectância do pixel	Valor da amostra (mg/L)	Cálculo da concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)
1	-30,1061	-51,2687	0,066722497	12,6	17,05074883
2	-30,1348	-51,2720	0,073075011	9,63	19,38529396
3	-30,1661	-51,2716	0,091692492	16,85	28,2357254
4	-30,1985	-51,2628	0,092544988	28	28,72616386
5	-30,1715	-51,2809	0,091059998	25,66	27,87726593
6	-30,1444	-51,2889	0,084872499	17,5	24,60190964
7	-30,1168	-51,2903	0,076567486	8,8	20,80228424
8	-30,0904	-51,2800	0,071122512	8,166	18,63561249
9	-30,0638	-51,2797	0,083690003	34,5	24,02122307
10	-30,0356	-51,2897	0,110090002	40	40,94450378
11	-30,0133	-51,2585	0,07720001	10	21,06978035
12	-30,0287	-51,2488	0,073185012	12,5	19,42841911
13	-30,0153	-51,2242	0,072882488	18	19,31005287
14	-30,0095	-51,2234	0,069060013	21,6	17,8751564
15	-30,0350	-51,2429	0,077557489	15	21,22247887
16	-30,0479	-51,2378	0,068372503	12,57	17,62862778
17	-30,0792	-51,2497	0,063779995	37	16,06680679
18	-30,0940	-51,2533	0,067162499	14,66	17,2029705

Tabela 11: Valores dos pontos 03/11/2022. Fonte: Próprio Autor.

4.11 Análise de correlação

A análise da correlação utilizou 161 dos 163 pontos coletados entre 2015 e 2017, os dois pontos descartados são do dia 27/01/2016 e não foram utilizados, pois seus resultados foram atrapalhados pela presença de nuvens. O resultado está disposto conforme a figura 18.

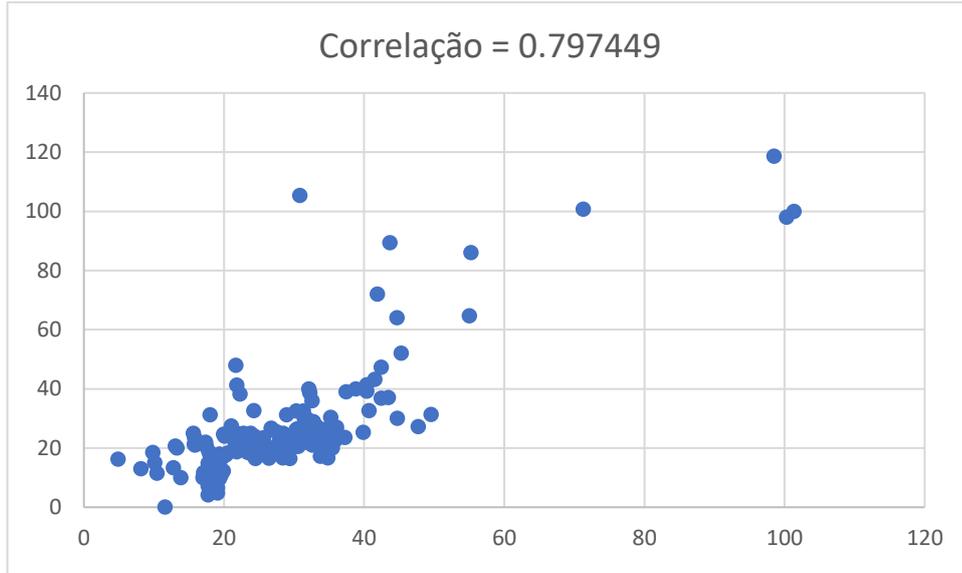


Figura 18: Correlação do modelo x dados *in situ*. Fonte: Próprio Autor.

Seguindo o Coeficiente de Correlação de Pearson o resultado para a correlação entre o modelo e os dados *in situ* é positiva e forte. Indicando que há correlação entre os dados obtidos aplicando o modelo de estimativa da concentração de sedimentos em suspensão com os valores de sedimentos em suspensão colhidos em campo e analisados em laboratório. Foi realizada a análise de correlação para a validação do modelo (Figura 19).

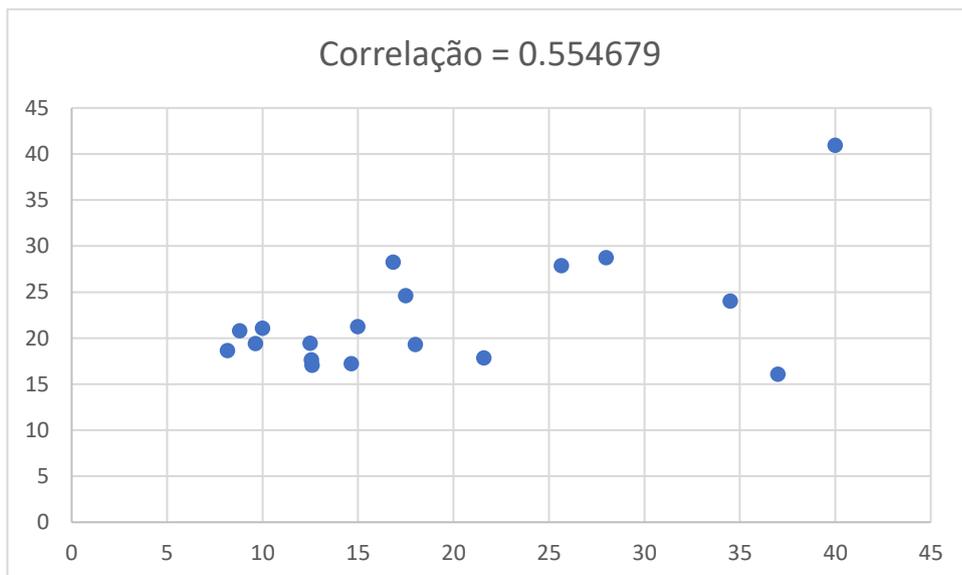


Figura 19: Correlação do modelo x dados de validação. Fonte: Próprio Autor.

O resultado do coeficiente de correlação foi menor (0,554679), mas ainda sim um valor moderado e positivo. Entretanto, para a validação adequada do modelo, mais coletas com imagens em datas diferentes devem ser realizadas para avaliar com maior detalhamento a performance do modelo.

4.12 Avaliação preliminar da correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão e os microplásticos.

As coletas do dia 3 de novembro de 2022 foram realizadas pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Processos Ambientais e Contaminantes Emergentes (LAPACE). Além de analisar a quantidade de sedimentos em suspensão em superfície, o grupo também quantificou a concentração de microplásticos em cinco dos dezoito pontos coletados (Tabela 12). A identificação da presença de microplásticos no Guaíba é de grande importância para entender os efeitos antrópicos sobre o corpo d'água, em razão de ser um local que ao longo dos anos vem recebendo águas residuais, tanto domésticas quanto industriais (Bertoldi *et al.*, 2021).

Ponto	Profundidade no local de coleta (m)	Concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)	Cálculo concentração de sedimentos em suspensão (mg/L)	Concentração de microplástico (Itens/m ³)
15	9,2	15	21,22247887	163
11	9	10	21,06978035	98
10	1,8	40	40,94450378	13
16	1	12,57	17,62862778	152
4	5	28	28,72616386	68

Tabela 12: Valores da concentração de microplástico. Fonte: Próprio Autor.

Seguindo o terceiro objetivo específico deste trabalho, o uso do modelo para estimar a concentração de sedimentos em suspensão e uma avaliação preliminar da correlação entre os valores encontrados com a concentração de microplásticos nos pontos. Pode-se observar a relação entre profundidade e a concentração de sedimentos em suspensão, quanto mais profundo for o local de coleta, menor é a

concentração em superfície. Entretanto, tal relação não se aplica à concentração de microplásticos, onde os pontos de maior e menor profundidade são os que apresentam maior concentração de microplásticos respectivamente. A presença de microplásticos está diretamente relacionada aos processos hidrológicos do Guaíba e a densidade populacional (Bertoldi *et al.*, 2021), o que acompanha os resultados obtidos, onde os dois maiores valores estão no ponto 15, localizado no centro de Porto Alegre e próximo ao Delta do Jacuí, onde há grande descarga dos afluentes do Guaíba. O ponto 16 também demonstrou alto valor da concentração de microplásticos, está localizado próximo a foz do Arroio Dilúvio (Figura 17). Naquela localidade há uma alta concentração urbana, o que fez o arroio ser canalizado. Essa concentração populacional resulta em maior descarga de materiais no arroio, conseqüentemente chegando até o Guaíba. Contudo, ao analisar estatisticamente o resultado não foi bom (Figura 20).

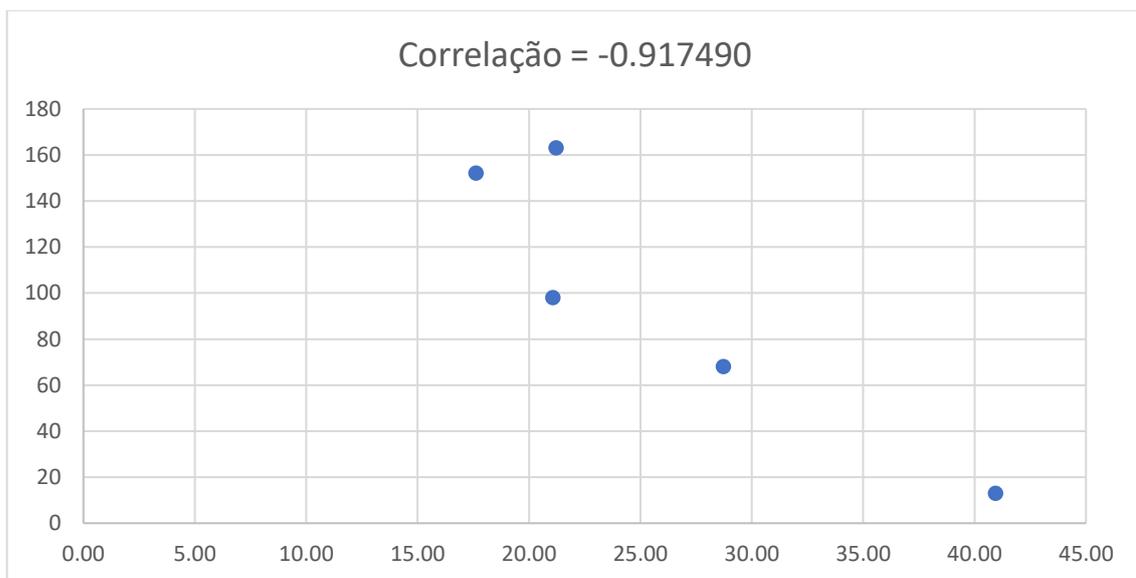


Figura 20: Correlação do modelo x concentração de microplásticos. Fonte: Próprio Autor.

O resultado do coeficiente ficou próximo a -1, indicando que o resultado foi forte e negativo. Tal qual a correlação do modelo com os dados *in situ* do dia 03/11/2022, seriam necessárias mais amostras e datas para que a correlação seja mais adequada, apenas cinco pontos de uma única data são poucas variáveis para avaliar os resultados.

5 CONCLUSÕES

No Guaíba há uma grande dinâmica hidrológica. Cada data analisada neste trabalho demonstrou uma variedade na quantidade de sedimentos em suspensão para cada imagem analisada. Foram analisadas um total de dez imagens que passaram pelos processamentos de fator de escala e aplicação da fórmula do modelo para estimar a concentração de sedimentos em suspensão. Devido a descarga do Delta do Jacuí e de fatores meteorológicos a concentração de sedimentos em suspensão no Guaíba está em constante mudança.

Pode-se observar nas regiões das margens a maior efetividade do modelo, que conseguiu obter resultados mais próximos com os valores das amostras obtidas em laboratório. Nas outras áreas do Guaíba alguns pontos de algumas das datas também tiveram resultados próximos, contudo não houve constância nos valores.

A avaliação da correlação entre a concentração de sedimentos em suspensão e os microplásticos não obteve resultados conclusivos para a utilização do modelo para detectar essas partículas. Contudo, esse é um passe inicial do projeto, onde com novas coletas no futuro, buscar identificar correlações entre a concentração de sedimentos em suspensão com a presença de microplásticos em águas superficiais do Guaíba.

Os próximos passos para este modelo deverão ser a realização de mais coletas em campos para que o modelo possa chegar a resultados mais próximos, e se necessário alterar a fórmula utilizada. Também, devido a dinâmica do Guaíba, seria ideal realizar as coletas no mesmo intervalo de hora da passagem do satélite, para que os resultados do modelo para estimar a concentração dos sedimentos em suspensão do Guaíba se aproximem dos valores reais.

6 REFERÊNCIAS:

BAPTISTA, G. M. M. Fundamentos de Sensoriamento Remoto. 2021. Laboratório de Propulsão Digital. 68 p.

BERTOLDI, C.; LARA, L. Z.; MIZUSHIMA, F. A. L.; MARTINS, F. CG.; BATTISTI, M. A.; HINRICHS, R.; FERNANDES, A. N. (2021) First evidence of microplastic contamination in the freshwater of Lake Guaíba, Porto Alegre, Brazil. *Science of The Total Environment*, 759, 143503. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.143503

CNH. Centro de Hidrografia da Marinha. —de Itapuã a Porto Alegre. II 2013. Acesso em 31/10/2022. https://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-cartas-raster/raster_disponiveis.htm

DMAE. Departamento Municipal de Água e Esgotos. 2020. “Relatório Anual da qualidade da água”. Acesso em 16/06/2023. https://prefeitura.poa.br/sites/default/files/usu_doc/sites/dmae/Folder%20Relat%C3%B3rio%20Qualidade%20da%20%C3%81gua%202020%20WEB.pdf

Field, Andy. Descobrimo a estatística usando o SPSS [recurso eletrônico] / Andy Field ; tradução Lorí Viali. – 2. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre : Artmed, 2009.
Fitz, P.R, 2005. Cartografia Básica. 2. Ed., rev. e ampl. – Canoas, RS 219 p.

FLORENZANO, T.G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. São Paulo: Oficina de Texto, 2011. 3ª ed. Ampliada e atualizada.

Genú, A, L., and J. A. Demattê. 2012. —Soil spectroradiometry and comparison with orbital sensors. II [in Portuguese] *Bragantia* 71:82-89.

Hale, R.C., Seeley, M.E., La Guardia, M.J., Mai, L., Zeng, E.Y., 2020. A global perspective on microplastics. *J. Geophys. Res. Oceans* 125, e2018JC014719.

JANSEN, J. R; Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres; tradução José Carlos Neves Epiphanyo (coord. et al); São José dos Campos, Sp: Parêntese, 2009.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. Remote sensing and Image Interpretation. 6. ed. New York: Wiley, 2008. 756 p.

Lodhi, M. A., Rundquist, D. C., L. Han, and M. S. Kuzila. 1997. —The potential for remote sensing of loess soils suspended in surface water. II *Journal of the American Water Resources Association* 33(1):111-117.

MENEGAT, R.; CARRARO, C.C. (2009) *Manual para saber por que o Guaíba é um lago: Análise integrada de geologia, geomorfologia, hidrografia, estratigrafia e história da ciência*. Porto Alegre: Armazém Digital. 108 p.

SCHOWENGERDT, R. A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. 3. ed. San Diego: Elsevier (Academic Press), 2007. 515 p.

SCOTTÁ, F. 2018. Empirical models to estimate the suspended sediment concentration in the Guaíba river with Landsat 8 satellite data.

Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., Lehtiniemi, M., 2014. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Enviro. Pollut.* 185, 77-83.

TOLDO Jr, E. E & ALMEIDA L. E. S. B. 2009. Rio Guaíba. PROCEMPA, Porto Alegre, Brazil. 7 pp.

USGS, United States Geological Survey. 2023. "Landsat 8-9 Collection 2 Level 2 Science Product Guide". Acesso em 12/04/2023. <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-9-collection-2-level-2-science-product-guide>

USGS, United States Geological Survey. 2022. "How do I use a scale factor with Landsat Level-2 science products?". Acesso em 22/01/2023. <https://www.usgs.gov/faqs/how-do-i-use-a-scale-factor-landsat-level-2-science-products>

USGS, United States Geological Survey. 2022. "How do Landsat Collection 2 Level-2 products compare with products from Collection 1". Acesso em 12/11/2022. <https://www.usgs.gov/faqs/how-do-landsat-collection-2-level-2-products-compare-products-collection-1>