



ISSN 2447-6102



Artigo

## USO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTIMATIVAS DE ÁREA INUNDADA EM EVENTOS DE ENCHENTE NO RIO NEGRO – PR

Silveira Júnior, M.H. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro Universitário UniBrasil; engmarcioheron@gmail.com

Received: 30/05/2025; Accepted: 03/06/2025; Published: 10/06/2025

**Resumo:** O estudo aborda a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para estimar a área inundada por eventos de enchente no Rio Negro, Paraná. Com uma bacia hidrográfica de 9.768 km<sup>2</sup> abrangendo 22 municípios entre Paraná e Santa Catarina, o Rio Negro, com 350 km de extensão, é historicamente sujeito a inundações graduais. As maiores enchentes ocorreram em 1983 e 1992, com cerca de 5.000 desabrigados cada. Este trabalho foca na análise de um evento de julho de 1996, utilizando imagens de satélite da série Landsat, únicas com qualidade suficiente para tal estudo.

As imagens capturadas nos dias 14 e 30 de julho de 1996 representam, respectivamente, o período de enchente e o nível regular do rio. A análise foi realizada com o software MultiSpec W32, permitindo a classificação por máxima verossimilhança para identificar a área coberta por água. Com base nos pixels correspondentes e na resolução do satélite (30x30 metros), foi estimada a área inundada. Adicionalmente, os dados das imagens foram correlacionados com séries históricas de cotas e vazão do rio.

A pesquisa destaca a relevância do sensoriamento remoto no monitoramento ambiental, corroborando sua aplicação em eventos de enchente para gerar estimativas precisas. Esse método é fundamental não apenas para estudos acadêmicos, mas também para auxiliar na gestão de desastres naturais e planejamento territorial.

**Palavras-Chave:** Sensoriamento Remoto; Enchentes; Estudo de Caso.

**Abstract:** The study addresses the application of remote sensing techniques to estimate the flooded area caused by flood events in the Rio Negro, Paraná. With a watershed of 9,768 km<sup>2</sup> covering 22 municipalities between Paraná and Santa Catarina, the Rio Negro, spanning 350 km in length, has historically been prone to gradual floods. The largest floods occurred in 1983 and 1992, each displacing around 5,000 people. This work focuses on analyzing a flood event from July 1996, using satellite images from the Landsat series, the only ones with sufficient quality for this study.

Images captured on July 14 and 30, 1996, represent, respectively, the flood period and the river's regular level. The analysis was conducted using the MultiSpec W32 software, allowing maximum likelihood classification to identify the water-covered area. Based on the corresponding pixels and the satellite resolution (30x30 meters), the flooded area was estimated. Additionally, the image data were correlated with the historical series of river levels and flow rates.

The research highlights the relevance of remote sensing in environmental monitoring, demonstrating its application in flood events to generate accurate estimates. This method is essential not only for academic studies but also for aiding in natural disaster management and territorial planning.

**Keywords:** Remote Sensing; Floods; Case Study.



## 1. Introdução

A bacia hidrográfica do rio Negro possui uma área de 9.768 km<sup>2</sup>, abrangendo 22 municípios localizados entre os Estados do Paraná e Santa Catarina. O rio Negro tem suas nascentes na borda Oeste da Serra do Mar, possuindo cerca de 350 km de extensão com um canal meândrico que segue para o sentido Oeste até alcançar o rio Iguaçu. A cidade de Rio Negro, localizada junto a margem direita do médio curso do rio Negro, possui uma população de 31.274 habitantes dos quais 82,2% residem na área urbana da cidade (IBGE, 2010). Na cidade foram registradas várias inundações ao longo de toda a sua história, as maiores inundações foram nos anos de 1983 e 1992 com aproximadamente 5.000 desabrigados em cada uma. As inundações que ocorrem na cidade de Rio Negro são causadas pelo rio Negro e apresentam sempre uma dinâmica gradual. A inundação, comumente tratada como enchente, é caracterizada pelo aumento do nível das águas do rio além da sua vazão média, ocorrendo o transbordamento, com as águas atingindo áreas próximas às margens do rio, ou a planície de inundação (KÖENE, 2012). Com base nisso, e com o avanço das tecnologias de sensoriamento remoto e imageamento por satélite, propõe-se neste trabalho um estudo de caso envolvendo a análise de um evento de enchente utilizando técnicas de sensoriamento remoto para realizar uma estimativa de área inundada por tal evento.

O sensoriamento remoto é uma ferramenta essencial para a obtenção de dados geoespaciais sem a necessidade de contato direto com a superfície terrestre. Essa tecnologia permite a coleta de informações sobre fenômenos naturais e atividades humanas, facilitando o monitoramento ambiental, a gestão de recursos naturais e o planejamento urbano. Por exemplo, o uso de sensores embarcados em satélites e veículos aéreos não tripulados (VANTs) tem se mostrado eficaz na perícia ambiental, proporcionando acesso rápido a dados geoespaciais e contribuindo para a elaboração de laudos periciais detalhados (ROSA, 2023). Além disso, o sensoriamento remoto é fundamental na agricultura, permitindo o monitoramento de culturas, a avaliação da saúde das plantas e a gestão eficiente de irrigação (MENDES et al., 2021). Sua importância é reconhecida em diversas áreas, como a climatologia, onde é utilizado para estudar o clima urbano e suas variações (SILVA, 2023), (CENTENO, 2009).

Este trabalho visa aplicar técnicas de sensoriamento remoto para estimar a área inundada devido a eventos de enchente no Rio Negro - PR. Para isto, foi realizado um estudo de caso utilizando imagens de satélite da bacia hidrográfica do Rio Negro do período do mês de julho do ano de 1996, obtidas pela série de satélites Landsat.

A escolha deste período deve-se ao fato que este foi o único período de enchente do Rio Negro em que foi possível encontrar imagens nítidas de satélite, com mínima obstrução por nuvens. Foram analisadas duas imagens: uma imagem do dia 14/07/1996, data em que estava ocorrendo um evento de enchente; e outra imagem do dia 30/07/1996, data em que o rio já havia voltado a seu nível regular. A análise das imagens foi realizada através do software MultiSpec W32, onde foi possível estimar a quantidade de pixels correspondente a área coberta por água nas duas imagens, e assim, tomando a diferença entre a quantidade de pixels das imagens, com base também na resolução do satélite, é possível estimar a área inundada. Além disso, também é feita uma correlação entre as imagens de satélite e as séries históricas de cotas e de vazão do rio.

## 2. Materiais e Métodos

O primeiro passo deste trabalho foi determinar quais eventos de enchente seriam analisados, bem como a obtenção das séries históricas de cotas e de vazão do rio. Para isso, foi realizada uma busca por imagens de satélite nos principais períodos de enchente do Rio Negro – PR. Concluiu-se com esta busca que o evento analisado seria o uma enchente ocorrida em julho do ano de 1996, pois este foi o único evento em que foi possível obter imagens de satélite com obstrução mínima por nuvens no período chuvoso. Como mencionado anteriormente, foram obtidas duas imagens deste período: uma imagem do dia 14/07/1996, data em que estava ocorrendo um evento de enchente; e uma imagem do dia 30/07/1996, data em que o rio já estava em seu nível normal.

Em seguida, as imagens foram analisadas através do software MultiSpec W32, onde foi possível delimitar a área a ser analisada, bem como realizar uma classificação por contagem de pixels das imagens. Neste processo, as imagens foram divididas em três classes: Área Urbana; Vegetação e Água. Em cada classe são atribuídos campos de treinamento através da seleção de pixels correspondentes a cada classe. Então o software realiza uma varredura na imagem, classificando todos os seus pixels por máxima verossimilhança e atribuindo-os em alguma das classes

estipuladas. Por fim, o software fornece o resultado destas estatísticas, estimando a quantidade total de pixels de cada classe em toda a imagem.

Após este processo, com conhecimento da resolução do sistema sensor utilizado, foi possível realizar uma estimativa da área inundada tomando a diferença entre quantidade de pixels correspondente a água nas duas imagens e multiplicá-la pela “área” cada pixel. Por fim, relaciona-se as os resultados obtidos na análise das imagens com os dados hidrológicos das series históricas do Rio Negro.

### 2.1 Escolha do evento de estudo

Para definir o evento a ser estudado, primeiramente foi realizada uma busca por todas as enchentes já registradas do Rio Negro – PR até 2014. Esta busca foi feita utilizando os dados da seguinte tabela 1:

**Tabela 1.** Eventos de Inundação do Rio Negro – PR até 2014.

| Ano  | Mês    | Cota Máxima<br>(m) | Ano  | Mês    | Cota Máxima<br>(m) |
|------|--------|--------------------|------|--------|--------------------|
| 1935 | Out-35 | 7,70               | 1992 | Mai-92 | 13,86              |
| 1938 | Jun-38 | 7,44               | 1992 | Jun-92 | 14,42              |
|      | Jul-38 | 7,82               | 1992 | Jul-92 | 7,77               |
| 1939 | Nov-39 | 6,94               | 1993 | Set-93 | 7,06               |
| 1946 | Fev-46 | 9,80               | 1993 | Out-93 | 8,40               |
|      | Mar-46 | 7,05               | 1995 | Jul-95 | 8,30               |
| 1953 | Out-53 | 8,91               | 1996 | Jul-96 | 8,09               |
| 1954 | Mai-54 | 10,10              | 1997 | Jan-97 | 7,01               |
| 1955 | Mai-55 | 7,87               | 1997 | Out-97 | 7,84               |
| 1957 | Ago-57 | 9,44               | 1998 | Jan-98 | 7,12               |
|      | Set-57 | 7,39               | 1998 | Abr-98 | 7,68               |
| 1961 | Nov-61 | 7,10               | 1998 | Mai-98 | 7,60               |
| 1970 | Dez-70 | 8,03               | 1998 | Ago-98 | 8,72               |
| 1971 | Jan-71 | 7,15               | 1998 | Set-98 | 7,35               |
|      | Jun-71 | 7,13               | 1998 | Out-98 | 7,56               |
| 1973 | Jun-73 | 7,54               | 1999 | Jul-99 | 9,81               |
|      | Ago-73 | 8,59               | 2005 | Set-05 | 7,43               |
|      | Set-73 | 8,55               | 2007 | Mai-07 | 7,36               |
| 1975 | Out-75 | 7,13               | 2009 | Set-09 | 8,60               |
|      | Nov-75 | 7,38               | 2009 | Out-09 | 9,22               |
| 1980 | Ago-80 | 7,48               | 2010 | Jan-10 | 7,89               |
|      | Dez-80 | 8,58               | 2010 | Mar-10 | 7,24               |
| 1981 | Jan-81 | 7,84               | 2010 | Abr-10 | 10,47              |
| 1982 | Nov-82 | 7,23               | 2010 | Mai-10 | 10,08              |
| 1983 | Mai-83 | 8,26               | 2010 | Dez-10 | 6,94               |
|      | Jun-83 | 7,85               | 2011 | Ago-11 | 7,70               |
|      | Jul-83 | 14,63              | 2011 | Set-11 | 9,84               |
|      | Ago-83 | 7,82               | 2012 | Jun-12 | 7,14               |

|      |        |       |      |        |       |
|------|--------|-------|------|--------|-------|
|      | Set-83 | 14,63 | 2013 | Jun-13 | 7,51  |
| 1984 | Ago-84 | 10,08 | 2013 | Jul-13 | 7,04  |
| 1987 | Mai-87 | 7,50  | 2013 | Set-13 | 8,54  |
| 1988 | Mai-88 | 7,34  | 2014 | Jun-14 | 13,68 |
| 1989 | Set-89 | 8,24  |      |        |       |
| 1990 | Jan-90 | 7,09  |      |        |       |
|      | Jun-90 | 7,78  |      |        |       |
|      | Jul-90 | 7,74  |      |        |       |

A partir das datas de eventos de inundações foram realizadas buscas por imagens de satélite através do site <http://earthexplorer.usgs.gov>. Neste site é possível obter imagens de vários satélites diferentes. A busca foi realizada utilizando a base de dados da série de satélites LandSat, e abrangeu os períodos mencionados na tabela acima. A partir desta busca, foi definido que o evento a ser estudado seria o ocorrido em julho de 1996, pois este foi o único evento encontrado com imagens sem obstrução por nuvens. As imagens deste evento foram obtidas na base de dados dos satélites LandSat L4-L5.

## 2.2 Séries históricas do Rio Negro – PR

Através do site <http://hidroweb.ana.gov.br> foi possível obter vários dados sobre o Rio Negro – PR, inclusive suas séries históricas de cotas e de vazões. A tabela 2 abaixo contém informações sobre a estação fluviométrica do Rio Negro – PR.

**Tabela 2.** Dados da estação fluviométrica do Rio Negro - PR.

|                                     |                                  |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| Código                              | 65100000                         |
| Nome                                | Rio Negro                        |
| Bacia                               | Rio Paraná (6)                   |
| Sub-bacia                           | Rio Paraná, Iguaçu e outros (65) |
| Rio                                 | Rio Negro                        |
| Estado                              | Paraná                           |
| Município                           | Rio Negro                        |
| Responsável                         | COPEL                            |
| Operadora                           | COPEL                            |
| Latitude                            | -26:6:35                         |
| Longitude                           | -49:48:4                         |
| Altitude (m)                        | 766                              |
| Área de Drenagem (km <sup>2</sup> ) | 3450                             |

A tabela 3 abaixo contém as séries históricas de cotas e vazões do mês de julho do ano de 1996.

**Tabela 3.** Séries Históricas de Cotas e Vazões do Rio Negro – PR no mês de julho de 1996.

| Dia | Cota 7:00h (cm) | Cota 17:00h (cm) | Vazão (m <sup>3</sup> /s) |
|-----|-----------------|------------------|---------------------------|
| 1   | 320             | 310              | 135,5                     |
| 2   | 299             | 290              | 125,6                     |

|    |     |     |       |
|----|-----|-----|-------|
| 3  | 279 | 272 | 116,5 |
| 4  | 273 | 270 | 114,5 |
| 5  | 255 | 241 | 104,2 |
| 6  | 226 | 217 | 92,14 |
| 7  | 218 | 237 | 94,78 |
| 8  | 291 | 364 | 141,5 |
| 9  | 510 | 602 | 261,6 |
| 10 | 695 | 737 | 354,6 |
| 11 | 792 | 799 | 403   |
| 12 | 811 | 809 | 413   |
| 13 | 795 | 778 | 397,6 |
| 14 | 744 | 708 | 360,6 |
| 15 | 647 | 601 | 300,4 |
| 16 | 530 | 491 | 236   |
| 17 | 437 | 401 | 187,5 |
| 18 | 631 | 335 | 152   |
| 19 | 298 | 276 | 122,5 |
| 20 | 252 | 242 | 103,8 |
| 21 | 232 | 230 | 96,59 |
| 22 | 225 | 217 | 92,14 |
| 23 | 207 | 199 | 84,29 |
| 24 | 194 | 189 | 79,22 |
| 25 | 188 | 183 | 76,7  |
| 26 | 178 | 173 | 72,5  |
| 27 | 169 | 175 | 71,24 |
| 28 | 177 | 172 | 72,08 |
| 29 | 173 | 164 | 69,58 |
| 30 | 161 | 168 | 65,9  |
| 31 | 154 | 149 | 62,7  |

### 2.3 Sistema sensor utilizado – Satélite LANDSAT 5

LANDSAT é a nomenclatura de um programa de satélites de observação da Terra de origem norte americana. A série teve início na segunda metade da década de 1960, a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), sendo dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. Esse programa foi inicialmente denominado ERTS (Earth Resources Technology Satellite) e em 1975 passou a se denominar Landsat.

O Landsat 5 foi o quinto satélite do Programa Landsat da NASA. Foi lançado em 1º de março de 1984 da Base da Força Aérea de Vandenberg, Califórnia, Estados Unidos, através de um foguete Delta 3920. Programa Landsat é administrado pela NASA e gerenciado pelo USGS e os dados obtidos dos satélites são coletados e distribuídos pelo USGS's Center for Earth Resources Observation and Science. O satélite foi um dos mais longevos em funcionamento,

estando em uma órbita baixa da Terra. Em 21 de dezembro de 2012, o USGS anunciou que o Landsat 5 seria desativado nos meses seguintes após a falha de um dos giroscópios do satélite. O satélite foi desativado em 2013.

Algumas características sobre o satélite em seu período de funcionamento:

- Os sensores TM e ETM dos satélites LANDSAT 5 possuem sete bandas, com numeração de 1 a 7, sendo que cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo satélite.
- O satélite LANDSAT 5 revisita (observa) a mesma área a cada 16 dias.
- Uma imagem inteira do satélite representa no solo uma área de abrangência de 185 x 185 km.
- A resolução geométrica das imagens nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30 metros (isto é, cada "pixel" da imagem representa uma área no terreno de 0,09 ha). Para a banda 6, a resolução é de 120 m (cada "pixel" representa 1,4 ha).
- O mapeamento temático a partir de cada uma dessas bandas depende ainda das características da área em estudo (região plana ou acidentada); época do ano (inverno ou verão); ou de variações regionais (Nordeste, Sudeste, Sul, Amazônia, Pantanal). Os trabalhos de interpretação das imagens tornam-se mais fáceis quando se dispõe de conhecimento de campo.

#### *2.4 Software de análise de imagens utilizado - MultiSpec W32*

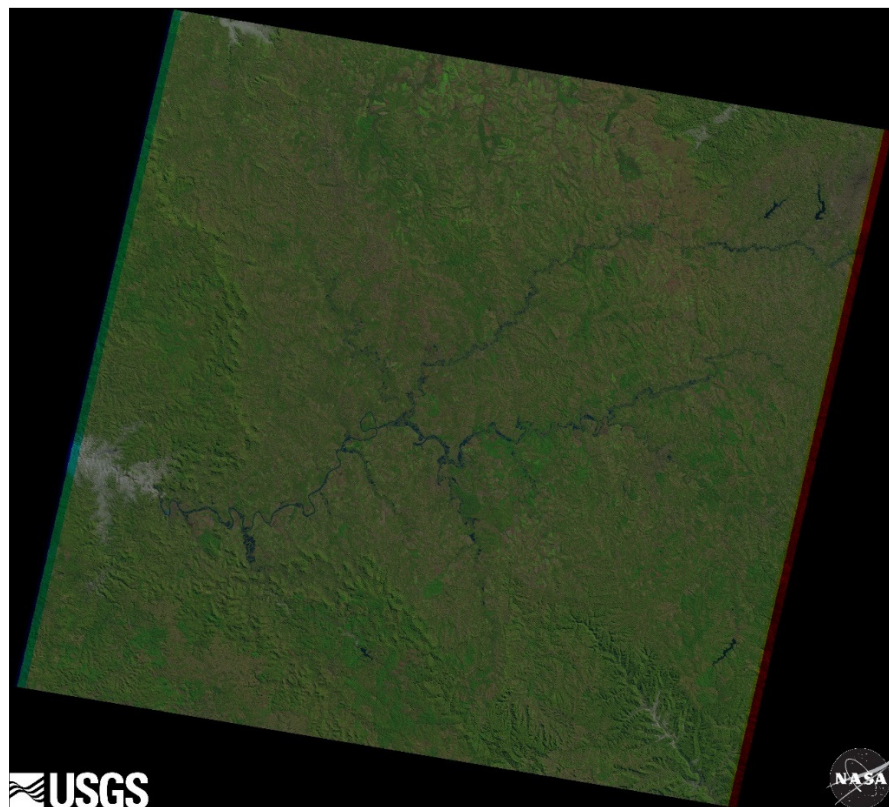
Trata-se um programa gratuito de Análise de Dados de Imagens Multiespectrais, desenvolvido na Universidade de Purdue, Indiana - Estados Unidos, por David Landgrebe e Larry Biehl da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computadores, ITaP (Information Technology at Purdue) e LARS (Laboratory for Applications of Remote Sensing).

O programa é portátil (não precisa de instalação) e bem pequeno e simples, rodando bem em Windows 7 x 64 (ele é 32 bits) e com versões para MAC também (foi desenvolvido originalmente para esse sistema). Na página do MultiSpec tem além do programa, documentação (manuais) e tutoriais com imagens para treino, incluindo Hiperspectrais. O programa pode ser baixado no site: <https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec>.

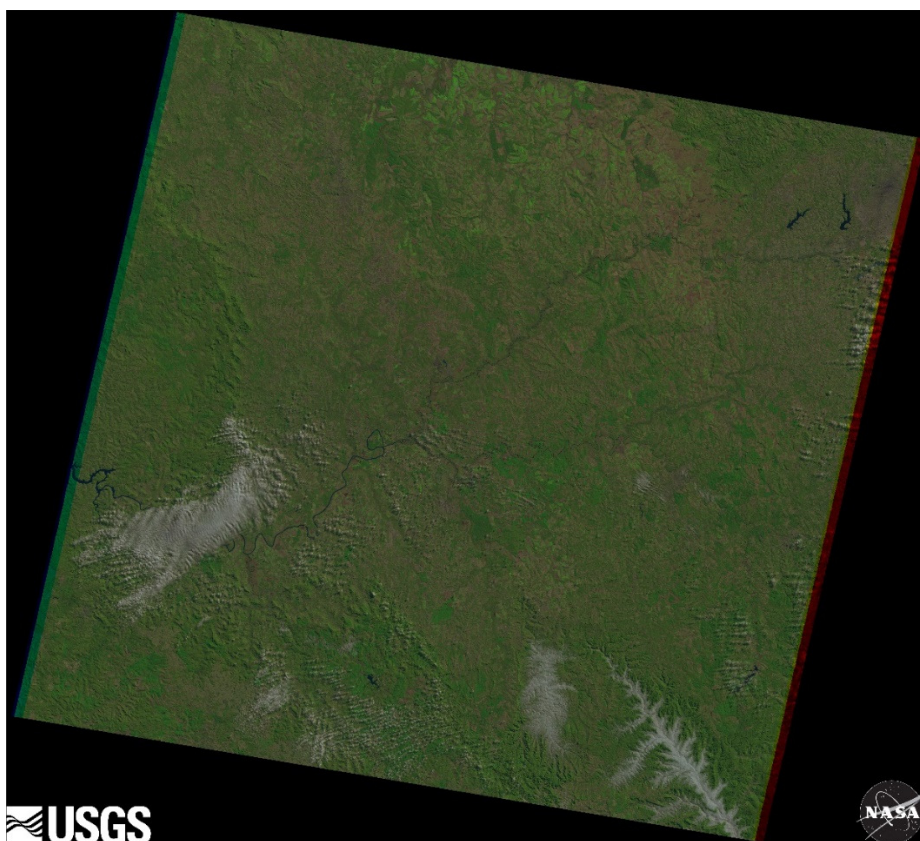
### **3. Resultados**

#### *3.1 Imagens obtidas*

As duas imagens que foram estudadas abrangem uma grande área no globo terrestre. Para realizar o estudo de interesse, as imagens foram delimitadas uma área de interesse e cortadas. As imagens originais utilizadas neste trabalho são representadas pelas Figuras 1 e 2:



**Figura 1.** Imagem do satélite LANDSAT 5 abrangendo o Rio Negro – PR em evento de enchente - 14/07/1996.



**Figura 2.** Imagem do satélite LANDSAT 5 abrangendo o Rio Negro - PR – em seu nível normal- 30/07/1996

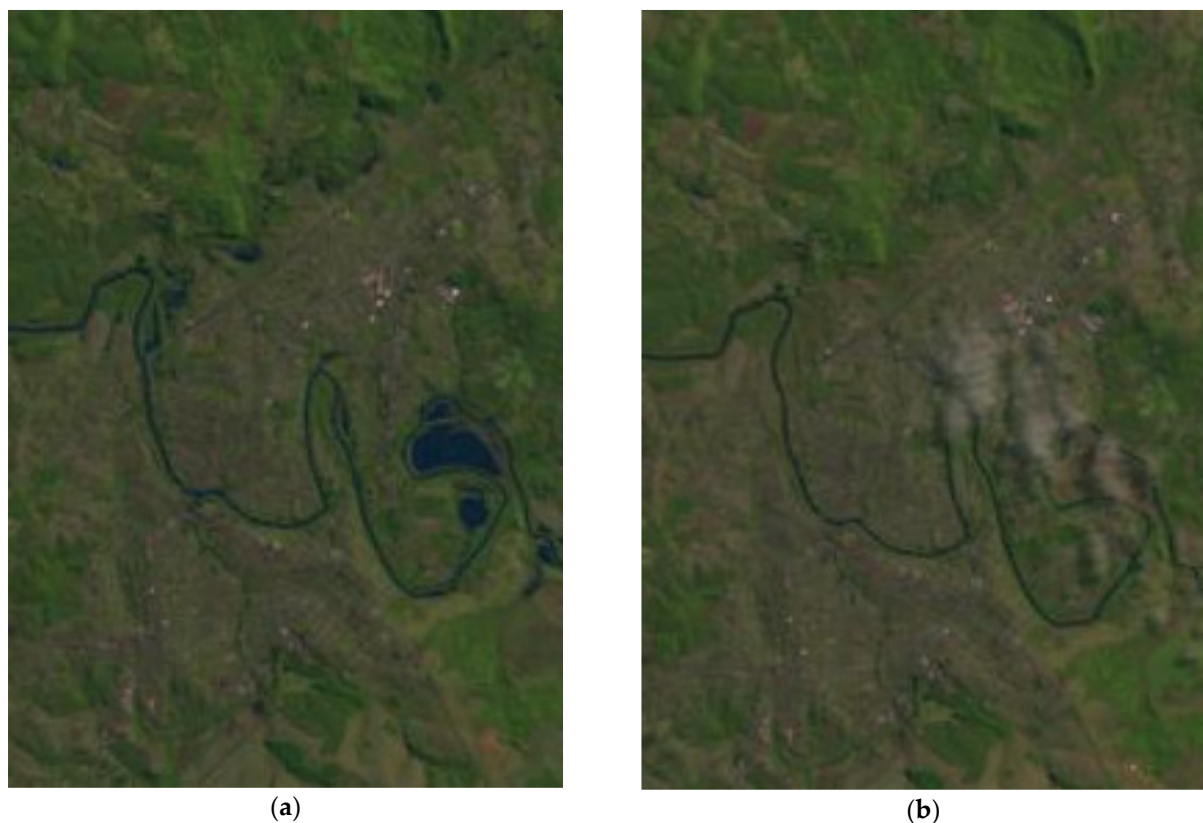


A Figura 1 consiste na imagem onde está ocorrendo o evento de enchente no Rio Negro – PR enquanto a Figura 2 consiste na imagem do Rio Negro em seu nível regular.

### 3.2 Análise das imagens

O primeiro passo na análise foi delimitar a área de interesse dentro da imagem. Neste caso, a área de interesse neste trabalho é o trecho do Rio Negro que abrange os Municípios de Mafra – SC e Rio Negro – PR. Para isto, realizado um corte nas duas imagens de maneira que as imagens resultantes contenham apenas a região de interesse.

As imagens cortadas estão a seguir, representadas pela Figuras 3:



**Figura 3.** (a): Municípios de Rio Negro – PR e Mafra – SC em um período de enchente de 14/07/1996. (b): Municípios de Rio Negro – PR e Mafra – SC em um período de nível normal, 30/07/1996.

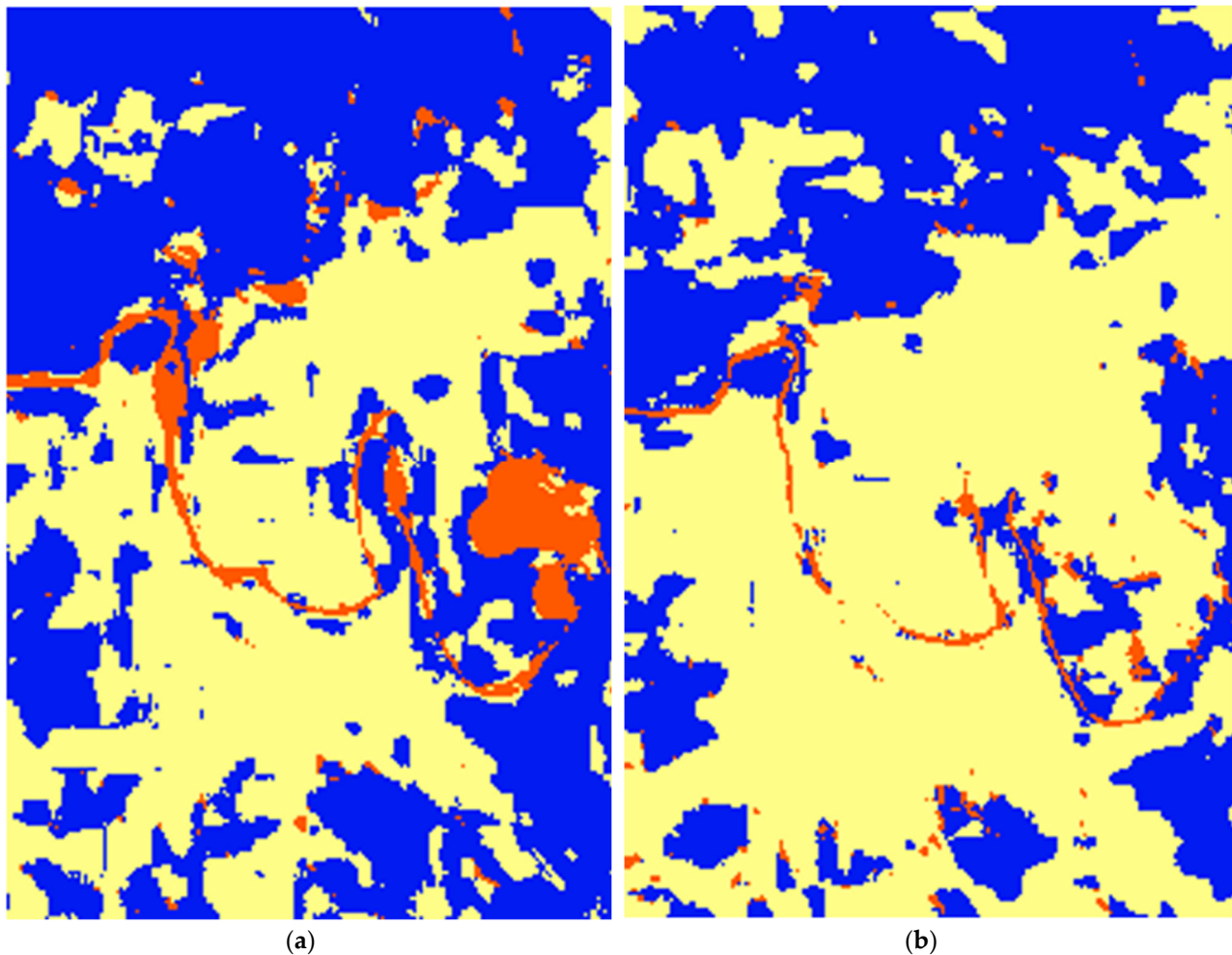
É importante salientar que ambos os cortes das imagens possuem 282 x 201 pixels, e foram feitos visando abranger a mesma região nas duas imagens, de maneira a manter um espaço amostral semelhante para a análise das duas imagens.

A partir disso foi realizado um processo de treinamento das imagens, onde definiu-se que as imagens seriam subdivididas e classificadas em 3 classes: Área Urbana, Vegetação e Água. Tendo definido estas 3 classes, atribuiu-se a cada uma delas, campos de treinamento, que nada mais são do que a seleção de pixels “conhecidos” na imagem.

Tendo definido as classes a atribuído a cada uma delas campos de treinamento, o MultiSpec realizou uma classificação por máxima verossimilhança, gerando assim resultados estatísticos para a classificação de todos os pixels da imagem.

As imagens processadas encontram-se na figura 4 a seguir:





**Figura 4.** (a): Imagem processada dos Municípios de Rio Negro – PR e Mafra – SC em um período de enchente de 14/07/1996. (b): Imagem processada dos Municípios de Rio Negro – PR e Mafra – SC em um período de nível normal, 30/07/1996.

Na figura 4, foram atribuídas cores contrastantes as classes para uma melhor visualização. A cor azul representa Vegetação, amarela representa a Área Urbana e a cor laranja representa a Água. Os resultados do processo de classificação da imagem do Rio Negro – PR, no período de enchente (14/07/1996) encontra-se na seguinte tabela 4:

**Tabela 4.** Resultados da Imagem do Rio Negro - PR - 14/07/1996 - Processada.

| Classe      | Amostra (pixels) | Porcentagem (%) |
|-------------|------------------|-----------------|
| Área Urbana | 23874            | 41,8            |
| Vegetação   | 30054            | 52,6            |
| Água        | 3238             | 5,7             |
| TOTAL:      | 57166            | 100             |

Para estimar a área total na imagem a que cada classe corresponde, basta multiplicar o valor da amostra de cada classe pela resolução das imagens de satélite. Neste caso, a resolução de cada pixel das imagens do LandSat 5 é de 30x30 metros. A estimativa pode ser observada na tabela 5 a seguir.

**Tabela 5.** Estimativas de Áreas da Imagem do Rio Negro - 14/07/1996 - Processada

| Classe      | Área (m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------|
| Área Urbana | 21.486.600             |
| Vegetação   | 27.048.600             |
| Água        | 2.914.200              |
| TOTAL:      | 51.449.400             |

Os resultados do processamento da imagem do Rio Negro em seu nível normal e as estimativas de áreas de cada classe analisada encontram-se nas tabelas 6 e 7:

**Tabela 6.** Resultados da Imagem do Rio Negro - PR - 30/07/1996 - Processada

| Classe      | Amostra (pixels) | Porcentagem (%) |
|-------------|------------------|-----------------|
| Área Urbana | 33907            | 59,3            |
| Vegetação   | 21853            | 38,2            |
| Água        | 1406             | 2,5             |
| TOTAL:      | 57166            | 100             |

**Tabela 7.** Estimativas de Áreas da Imagem do Rio Negro - 30/07/1996 - Processada

| Classe      | Área (m <sup>2</sup> ) |
|-------------|------------------------|
| Área Urbana | 30.516.300             |
| Vegetação   | 19.667.700             |
| Água        | 1.265.400              |
| TOTAL:      | 51.449.400             |

#### 4. Discussão

Com a análise das imagens feita, é possível relacionar estes resultados com os dados hidrológicos obtidos nas séries históricas do Rio Negro para cada um dos dias analisados, através da tabela 8:

**Tabela 8.** Comparativo entre os períodos analisados

| Data       | Cota 7:00h (cm) | Cota 17:00h (cm) | Vazão (m <sup>3</sup> /s) | Área de Água (km <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------|------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 14/07/1996 | 744             | 708              | 360,6                     | 2,9142                          |
| 30/07/1996 | 161             | 168              | 65,9                      | 1,2654                          |

Pela tabela 8 é possível constatar que o Rio Negro estava com uma cota média cerca de 4,5 vezes maior na data do dia 14/07/1996 do que na data do dia 30/07/1996, bem como sua vazão, que se apresenta cerca de 5,5 vezes maior que a comum, caracterizando assim o evento de inundação.

Com relação a área de água nas duas imagens, o valor encontrado para dia 14/06/1996 supera em 130% o valor encontrado para o dia 30/06/1996.

Para estimar o valor da área inundada, basta calcular a diferença entre os valores de áreas de água encontrados pela análise dos dois períodos. O valor estimado para a área inundada é de 1,6488 km<sup>2</sup>.

Esta estimativa é razoável, considerando o método de análise utilizado. Para obter valores mais confiáveis, seria recomendado repetir o processo de classificação várias vezes, a fim de obter um valor médio estimado para a medida de área inundada, uma vez que o processo de atribuição de campos de treinamento para a classificação de imagens do software MultiSpec W32 sempre está sujeito a erros do usuário. Também seria recomendado utilizar imagens de satélite com maior resolução, já que as imagens do LandSat 5 possuem resolução de 30 metros, áreas menores que 900 m<sup>2</sup> não são possíveis de serem identificadas e classificadas, o que pode gerar uma perda de informação sobre o objeto de estudo.

Outra observação é com relação a imagem do dia 30/06/1996. Esta imagem possui uma pequena área que está encoberta por nuvens, fator este que possivelmente interferiu no processamento desta imagem e, consequentemente, no resultado deste trabalho.

Dessa forma, pode-se concluir que a ação antrópica exerce mínima ou nenhuma influência sobre os eventos de inundação do Rio Negro. As inundações registradas na região apresentam uma dinâmica gradual, o que indica que sua ocorrência está fortemente associada a fatores naturais, como o regime de precipitação e o relevo da bacia hidrográfica. O Rio Negro possui uma bacia extensa, e sua resposta hidrológica aos eventos de chuva é condicionada principalmente pela distribuição da precipitação ao longo do tempo e pelas características topográficas da região. Diferentemente de pequenas bacias urbanizadas, onde a impermeabilização do solo e a modificação do escoamento superficial podem amplificar os efeitos das cheias, no Rio Negro esses fatores exercem pouca influência, uma vez que as inundações ocorrem de forma progressiva e não como eventos de cheias súbitas.

Além disso, o levantamento histórico realizado demonstra que eventos de inundação semelhantes ocorrem há mais de 80 anos, independentemente do crescimento urbano ou de alterações no uso do solo, sugerindo que a influência antrópica sobre essas cheias é pouco significativa. A literatura reforça essa conclusão, indicando que, em grandes bacias hidrográficas, o relevo e o volume de precipitação ao longo do tempo são os principais determinantes para a ocorrência de inundações. Dessa forma, os dados analisados neste estudo corroboram a hipótese de que as enchentes no Rio Negro são controladas essencialmente por processos naturais.

Para aprimorar a confiabilidade dos resultados obtidos, recomenda-se a repetição do processo de classificação de imagens a fim de minimizar possíveis erros associados à seleção de campos de treinamento, bem como a utilização de imagens de satélite de maior resolução para uma melhor delimitação das áreas inundadas. Além disso, a comparação dos resultados encontrados com estimativas realizadas por outros métodos poderia contribuir para a validação e aprimoramento das análises.

## Referências

1. KÖENE, R. **A influência do relevo da bacia hidrográfica do Rio Negro nas inundações graduais ocorridas na cidade de Rio Negro/PR**. In: **Anais do 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia, SINAGEO**, Rio de Janeiro, RJ, 2012. p. 1-10.
2. ROSA, Nicolas dos Santos. **A importância do sensoriamento remoto aplicado em estudos forenses ambientais**. In: **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, SC, Brasil, 2023. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/a-importancia-do-sensoriamento-remoto-aplicado-em-estudos-forenses-ambientais?lang=pt-br>. Acesso em: 14 jan. 2025.
3. MENDES, José A. et al. **Aplicações do sensoriamento remoto na agricultura: desafios e perspectivas**. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 43, n. 1, p. 45-60, 2021. Disponível em: <https://www.rb.sbrt.org.br/rbsr/article/view/23059>. Acesso em: 14 jan. 2025.
4. SILVA, João da. **O sensoriamento remoto e o clima urbano: uma análise das variações térmicas nas áreas urbanas**. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 10, n. 2, p. 123-135, 2023. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14302>. Acesso em: 14 jan. 2025.
5. CENTENO, Jorge A. Silva. **Sensoriamento remoto e processos de imagens digitais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2009.

6. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat 5**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>. Acesso em: 14 jan. 2025.
7. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **EarthExplorer**. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em: 14 jan. 2025.
8. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Hidroweb**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 14 jan. 2025.
9. BIEHL, L. **MultiSpec**. Disponível em: <https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec>. Acesso em: 14 jan. 2025.