



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

SENSORIAMENTO REMOTO PARA RESPOSTA RÁPIDA A DESASTRES

Larissa Mioni Vieira Alves

Relatório de Iniciação Científica do
programa PIBIC, orientado pelo Dr.
Thales Sehn Körting

INPE
São José dos Campos
2023



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

SENSORIAMENTO REMOTO PARA RESPOSTA RÁPIDA A DESASTRES

Larissa Mioni Vieira Alves

Relatório de Iniciação Científica do
programa PIBIC, orientado pelo Dr.
Thales Sehn Körting

INPE
São José dos Campos
2023

RESUMO

Os grandes desastres comprometem muitas vidas humanas anualmente, além de trazerem expressivos prejuízos socioeconômicos. Dentre os desafios que surgem na gestão de eventos extremos, a fase de resposta pós-desastre demanda o fornecimento de informações rápidas. Então, o Sensoriamento Remoto (SR) pode contribuir nesse processo, a partir de técnicas já consolidadas de Processamento Digital de Imagens (PDI). Durante a realização do projeto de Iniciação Científica, primeiramente foram realizados cursos de PDI e Introdução ao Python para serem as ferramentas de realização da pesquisa. Houve a leitura e estudo de livros e artigos científicos do tema, para haver a familiarização e entendimento do assunto. Como participante do International Charter Space and Major Disasters (Charter), o qual é uma cooperação mundial entre agências e operadores espaciais (incluindo o INPE) voltada para o fornecimento de imagens em casos de eventos extremos, quando haviam chamados do Charter, imagens de arquivo dos satélites brasileiros CBERS-4, CBERS-4A e AMAZONIA-1 foram buscadas no catálogo do INPE da área afetada pelo desastre e técnicas como registro de imagens, fusão, realce, Análise de Componentes Principais (ACP), transformações de espaços de cores e índices espectrais foram aplicadas utilizando o software SIG TerraView, bem como através da construção do programa utilizando a linguagem Python, servindo de subsídio à análise de mudanças de cobertura de terra e o impacto à sociedade, produzidas por desastres. Um dos principais trabalhos realizados durante o projeto foi após o desastre em fevereiro de 2023 no Litoral Norte de São Paulo, mais precisamente no município de São Sebastião, em que 633 mm de precipitação foram registrados entre os dias 18 e 19 de fevereiro, causando o deslizamento das encostas e o soterramento de várias residências e que levou a morte de 64 pessoas, com isso imagens do CBERS-4 e CBERS-4A foram buscadas e trabalhadas junto ao Value Adder (VA) do chamado do Charter, gerando imagens que puderam ajudar a reconhecer e analisar a área afetada, além de auxiliar os responsáveis pelo resgate das vítimas.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto. Processamento de imagens. Resposta a desastre.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 – Imagem WPM/CBERS-4A de 14 de maio de 2021 da cidade de Diyarbakir, Turquia.....	7
Figura 2.1 – Imagem WFI/AMAZONIA-1 de 26 de agosto de 2021 da Síria.	8
Figura 2.3 – Imagem WFI/AMAZONIA-1 de 28 de junho de 2021 com índice espectral NDWI de região atingida por cheia dos rios Dee, Doo, Esk e Tay na Escócia.....	8
Figura 2.4 – Bairro de Toque Toque Grande em São Sebastião.	9
Figura 2.5 –. Combinação RGB proposta (R=CP3, G=NDWI e B=CP4) para destacar os deslizamentos em uma das áreas atingidas do município de São Sebastião (imagem à esquerda); visualização em cor verdadeira do sensor MUX/CBERS-4 A (imagem à direita).....	10

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	1
2 DESENVOLVIMENTO	3
2.1 Revisão da literatura	3
2.2 Material e métodos	4
2.2.1 Cursos de Processamento Digital de Imagens e linguagem <i>Python</i>	4
2.2.2 Leitura e estudo de livros e artigos sobre o tema.....	4
2.2.3 Chamados <i>Charter</i>	4
2.2.4 Construção de <i>paper</i> para apresentação no GeolInfo 2023	4
2.2.4.1 Índices espectrais	5
2.2.4.2 Análise de componentes principais (ACP)	5
2.2.4.3 Transformação RGB-IHS	6
2.2.4.4 Linguagem <i>Python</i>	6
2.3 Resultados e discussões	6
3 CONCLUSÃO	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	12

1 INTRODUÇÃO

Todos os dias, a população mundial está sob ameaças de diversos tipos de desastres naturais, como deslizamento de terra, enchentes, erosão e furacões, podendo causar vários impactos negativos nas comunidades afetadas, bem como perdas econômicas (KUHN, 2022). No período entre 1980 e 2014, mais de 2 milhões de pessoas perderam suas vidas devido a desastres naturais, além disso as perdas econômicas somam mais de US\$ 3 bilhões (WIRTZ, 2014).

A fase pós-desastre demanda o fornecimento de respostas rápidas, dessa forma o Sensoriamento Remoto (SR) pode contribuir nesse processo, a partir de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI). O *International Charter Space and Major Disasters (Charter)* é uma cooperação mundial entre agências e operadores espaciais voltada para o fornecimento de imagens em casos de eventos extremos. Diante disso, o Charter visa a busca de imagens pré-desastres das áreas afetadas no catálogo de imagens dos satélites CBERS (4 e 4A) e AMAZONIA-1, bem como aplicar um conjunto dos principais métodos de PDI nas imagens, voltados para as análises emergenciais pós-desastres, tendo como base a metodologia proposta por Rocha (2023).

1.1 Objetivos

O projeto possui como objetivos gerais estudar técnicas de Processamento Digital de Imagens e uso da linguagem *Python*, auxiliando na busca de imagens nos chamados do projeto *Charter* e aplicar as técnicas propostas por Rocha (2023).

Os objetivos específicos são:

- 1) Estudar técnicas de Processamento de Imagens (PDI) para Sensoriamento Remoto;
- 2) Realizar buscas por imagens de arquivo que possam servir de subsídio à análise de mudanças de cobertura de terra, produzidas por desastres;
- 3) Aplicar técnicas de PDI em conjuntos de imagens de arquivo, e novas imagens obtidas no contexto de resposta a desastres;

- 4) Documentar os resultados mais relevantes para subsidiar publicações
- 5) Gerar relatório sobre utilização de imagens CBERS e AMAZONIA-1 em resposta a desastres.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão da literatura

Devido a mudanças climáticas e atividades antropogênicas, a intensidade e a frequências dos desastres naturais vem aumentando gradualmente e segundo Gahler (2016), os impactos causados pelos desastres podem ser encontrados no aumento da vulnerabilidade das sociedades, infraestrutura e população. Portanto, a ocorrência cada vez mais comum de desastres naturais tem criado desafios complexos para a segurança das populações e das propriedades, bem como do crescimento sustentável da economia (TAN, 2020). Além disso, o Brasil apresenta os deslizamentos de terra e as inundações como desastres naturais de grande destaque devido ao elevado número de óbitos provocados anualmente e sua frequência tem se intensificado nos últimos anos (ROCHA, 2023).

Segundo Sausen et. al. (2015), para a realização de tomada de decisão, é preciso seguir um ciclo de quatro etapas, sendo ela a mitigação (análise da vulnerabilidade), preparação (planejamento de estratégias de ação pelos órgãos competentes), respostas (esforço de emergência) e recuperação (processo de reabilitação). Com isso, o Sensoriamento Remoto se destaca como uma importante ferramenta no gerenciamento de desastres, devido à aquisição de dados a partir de satélites artificiais e a geração de produtos que podem ser empregados em todas as etapas de gestão dos riscos (SAUSEN, 2015; ROCHA, 2023)

Criado em 1999, o *International Charter "Space and Major Disasters"* conhecido como a Carta em português, é um programa que visa facilitar o acesso a dados espaciais de emergência, proporcionando imagens sem custos para agilizar respostas a desastres naturais. Funciona através de uma cooperação entre as agências mundiais para a disponibilização de imagens especificamente para resposta a ventos extremos (ROCHA, 2023). O Brasil passou a fazer parte do programa em 2011, através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibilizando imagens gratuitas dos satélites CBERS (*China-Brazil Earth-Resources Satellite*) 4 e 4A e do satélite brasileiro AMAZONIA-1, a partir de 2022

(ICSMD, 2022). Com isso, a partir de técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), as áreas atingidas por desastres podem ser rapidamente detectadas e gerenciadas, fornecendo respostas rápidas e precisas para os órgãos de defesa civil nacionais (ROCHA, 2023).

2.2 Material e métodos

2.2.1 Cursos de Processamento Digital de Imagens e linguagem *Python*

Para a realização do projeto, inicialmente foi realizado curso de Processamento Digital de Imagens e Programação para Sensoriamento Remoto através da plataforma SELPER – Associação de Especialistas Latinoamericanos em Sensoriamento Remoto, em que a aluna pode aperfeiçoar seus conhecimentos das técnicas de PDI e da linguagem *Python*.

2.2.2 Leitura e estudo de livros e artigos sobre o tema

A aluna realizou a leitura e estudo de diversos livros e artigos sobre os temas de Desastres Naturais e técnicas de Sensoriamento Remoto, a fim de aumentar seus conhecimentos sobre o assunto.

2.2.3 Chamados *Charter*

Durante os chamados de desastres do *Charter*, a aluna era responsável por buscar imagens do pré-desastre da área afetada no catálogo de imagens do INPE dos satélites CBERS (4 e 4A) e AMAZONIA-1 para serem disponibilizados para os usuários do *Charter*.

2.2.4 Construção de *paper* para apresentação no GeolInfo 2023

Em parceria com a doutoranda Brenda Oliveira Rocha, foi elaborado um *paper* para apresentação no simpósio GeolInfo 2023, em que foi organizado um fluxo de processamento em *Python* de técnicas de PDI, como índices espectrais, análise de componentes principais (ACP) e transformação RGB-IHS em imagens do MUX/CBERS-4A, para avaliar rapidamente áreas atingidas por desastres do tipo deslizamentos de terra e inundações, tendo como base principal a metodologia proposta por Rocha (2023).

Para isso, foram empregadas as metodologias descritas a seguir:

2.2.4.1 Índices espectrais

Os índices utilizados na pesquisa foram NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*), os quais são índices de vegetação utilizados para monitorar a distribuição espacial e quantificar as condições da vegetação (ROCHA, 2023).

O NDVI proposto por Rouse et al (1973), é caracterizado pela razão entre a diferença e a soma da banda do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED), como descreve a Equação 2.1. O SAVI, proposto por Huete (1988), possui um fator de ajuste (L) para a minimização das influências do solo na resposta da vegetação, sendo que os valores de L variam de 0 a 1 e está de acordo com a biomassa da área analisada (Equação 2.2). O índice EVI (HUETE, 1997) minimiza as influências do solo e considera a redução da influência dos efeitos atmosféricos na resposta espectral da vegetação, com seus fatores e valores empíricos de C1=6, C2=7,5 e L = 0,5 (Equação 2.3).

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (2.1)$$

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \cdot (1 + L) \quad (2.2)$$

$$EVI = 2,5 \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 \cdot RED - C2 \cdot BLUE + L)} \cdot (1 + L) \quad (2.3)$$

2.2.4.2 Análise de componentes principais (ACP)

A ACP tem o objetivo de reduzir a dimensionalidade dos dados, ressaltando a redundância existente, através de uma transformação matemática ortogonal em um conjunto de dados correlacionados, em novos componentes não correlacionados (ROCHA, 2023). A primeira componente é posicionada na direção de máxima variabilidade possível dos dados, gerando um novo produto com informações comuns entre as bandas e, a partir da segunda componente, gerando informações não correlacionadas (ROCHA, 2023).

Também como alternativa de detecção de mudanças na cobertura do solo, a ACP é frequentemente utilizada em conjuntos de bandas espectrais de antes e depois do fenômeno analisado, de modo a serem identificadas as mudanças nas informações e conseqüentemente, das áreas alteradas (GERENTE et al., 2017; DENG et al., 2008).

2.2.4.3 Transformação RGB-IHS

A transformação RGI-IHS é definida pela conversão do espaço tradicional RGB (*Red, Green, Blue*) para um novo espaço IHS (*Intensity, Hue, Saturation*), o qual separa o atributo *Intensity* das informações relacionadas à percepção das cores (*Hue e Saturation*) em uma imagem colorida. Isso facilita a descrição das cores para a interpretação humana (ROCHA, 2023).

2.2.4.4 Linguagem Python

Para a realização da pesquisa, foi construído código utilizando a linguagem *Python* devido à grande variedade de bibliotecas disponíveis, suporte de ativa comunidade e otimização de processos antes manuais. Foram utilizadas bibliotecas como *Rasterio, TiffFile, Matplotlib e Scikit-Learn*. A finalidade da utilização da linguagem é de automatizar os processos de Processamento Digital de Imagem de desastres naturais, sendo possível obter resultados mais rápidos e que poderão ser fornecidos às organizações de defesa civil.

2.3 Resultados e discussões

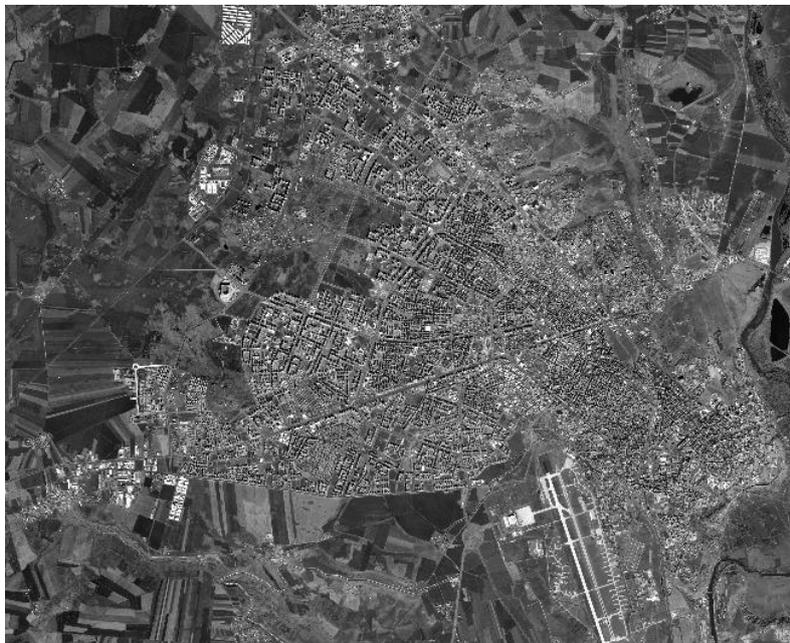
Uma das atividades da pesquisa foi a busca de imagens pré-evento dos satélites CBERS-4, CBERS-4A e AMAZONIA-1 dos chamados do Charter, para auxiliar na identificação das áreas atingidas pelos desastres. Ao todo, a aluna trabalhou em 13 chamados Charter gerando aproximadamente 182 imagens. A seguir estão alguns exemplos de produtos gerados.

No dia 6 de fevereiro de 2023, 2 grandes terremotos atingiram regiões da Turquia e da Síria destruindo centenas de prédios e levando a vida de pessoas. A aluna ficou responsável por encontrar imagens pré-desastre dos satélites CBERS 4 e 4A e AMAZONIA-1. A Figura 2.1 é uma imagem WPM/CBERS-4A, com fusão da banda Pancromática, logo com resolução espacial de 2 metros da cidade turca

Diyarbakir, sendo uma das cidades mais afetadas pelo terremoto. Com essa imagem e devido à alta resolução espacial, é possível identificar os prédios e construções e comparar com imagens pós-desastre, auxiliando as equipes de defesa civil e resgate a identificar as áreas mais afetadas e localizar possíveis vítimas.

A Figura 2.2 pertence a uma das regiões mais atingidas pelo terremoto na Síria. Trata-se de uma imagem WFI/AMAZONIA-1 com 60 metros de resolução espacial e em composição de cores em contraste que destaca as áreas urbanas.

Figura 2.1 - Imagem WPM/CBERS-4A de 14 de maio de 2021 da cidade de Diyarbakir, Turquia



Fonte: Produção do autor

Figura 2.2 - Imagem WFI/AMAZONIA-1 de 26 de agosto de 2021 da Síria.



Fonte: Produção do autor

Chuvas torrenciais atingiram a costa leste da Escócia em novembro de 2022, causando cheia dos rios Dee, Doo, Esk e Tay. Houve a ativação do Charter e a aluna encontrou imagens WFI/AMAZONIA-1 antes das cheias dos rios, sendo aplicado o índice espectral NDWI (Figura 2.3), o qual destaca a água, o que facilita a comparação do nível do rio e as áreas de alagamento com imagens pós evento.

Figura 2.3 – Imagem WFI/AMAZONIA-1 de 28 de junho de 2021 com índice espectral NDWI de região atingida por cheia dos rios Dee, Doo, Esk e Tay na Escócia.

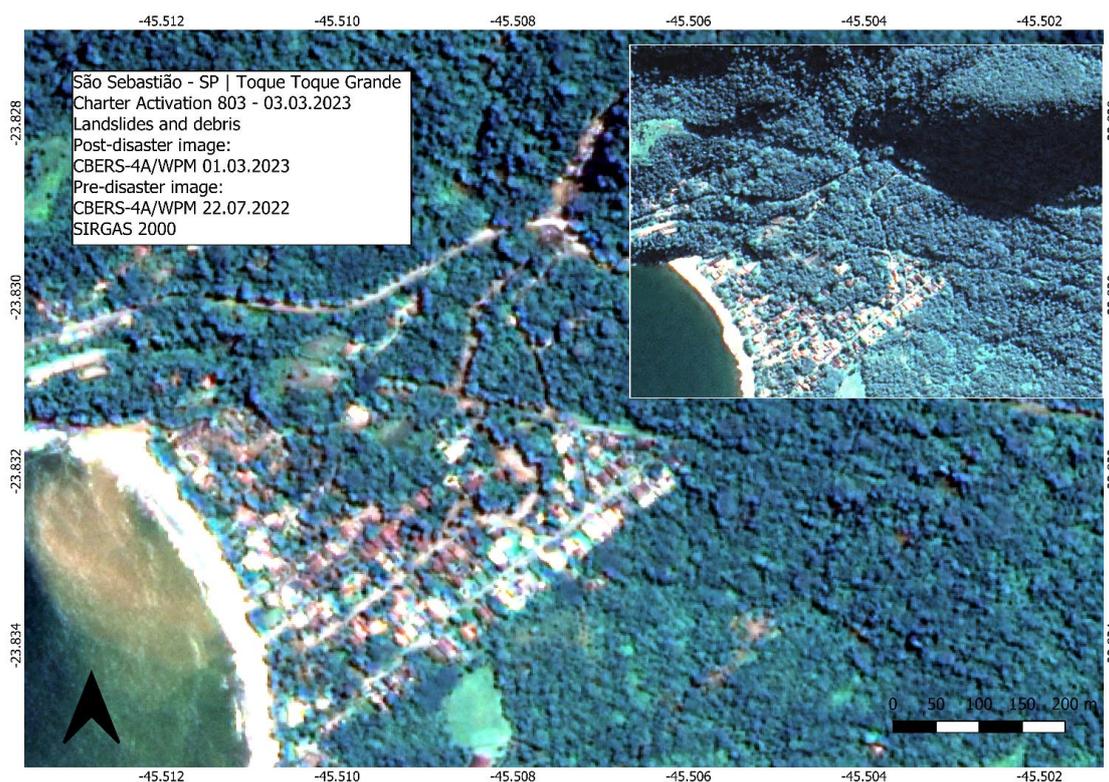


Fonte: Produção do autor

Na madrugada de 19 de fevereiro de 2023, um temporal atingiu o Litoral Norte de São Paulo, principalmente o município de São Sebastião, com 682 milímetros acumulados, segundo o CEMADEN, levando a óbito 64 pessoas e deixando um rastro de destruição (G1, 2023). Devido ao desastre, houve o chamado no Charter e a aluna trabalhou junto com os pesquisadores do INPE, mapeando as áreas atingidas.

Na Figura 2.4, é possível ver o bairro Toque Toque Grande, sendo uma das áreas mais atingidas pelas chuvas. Trata-se de uma imagem pré-desastre do satélite CBERS-4 A/WPM de 22.07.2022 e uma imagem pós desastre do mesmo satélite no dia 01.03.2023, sendo possível identificar as áreas atingidas pelos deslizamentos de terra.

Figura 2.4 – Bairro de Toque Toque Grande em São Sebastião.

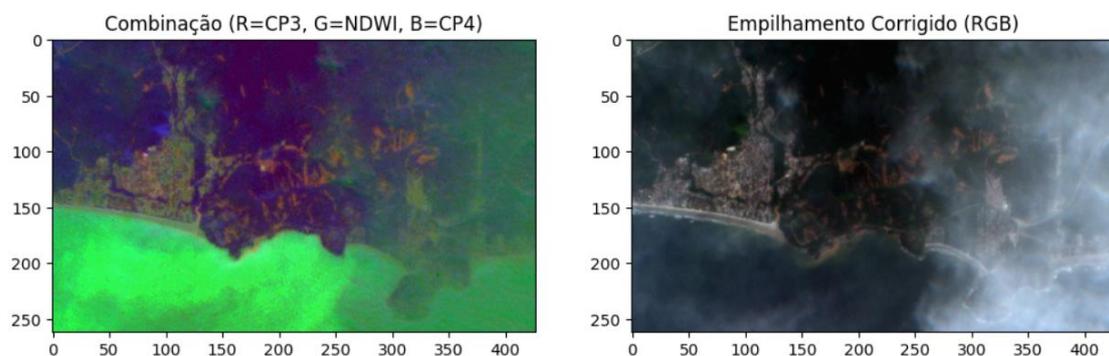


Fonte: Produção do autor.

Utilizando como referência o estudo de Rocha (2023) sobre as técnicas de PDI e combinações no espaço RGB de cores e utilizando o programa em Python criado, foram estudadas as áreas afetadas pelo desastre de 18 e 19 de fevereiro de 2023 no município de São Sebastião. Como pode ser visto na Figura 2.5, a

combinação dos atributos (R=CP3, G=NDWI e B=CP4) em imagem MUX/CBERS-4A, retornou a melhor correspondência visual. Devido ao posicionamento da terceira componente no canal do vermelho, houve o realce das cicatrizes, gerando um melhor contraste entre os demais alvos. Os resultados do estudo foram apresentados em *paper* do GeolInfo 2023.

Figura 2.5 Combinação RGB proposta (R=CP3, G=NDWI e B=CP4) para destacar os deslizamentos em uma das áreas atingidas do município de São Sebastião (imagem à esquerda); visualização em cor verdadeira do sensor MUX/CBERS-4 A (imagem à direita).



Fonte: Rocha et al (Submetido em 2023)

3 CONCLUSÃO

Com a realização da pesquisa, foi possível aprender sobre desastres naturais, técnicas de Processamento Digital de Imagens, como índices espectrais, análise de componentes principais (ACP) e transformação RGB-IHS e aumentar os conhecimentos de programação e linguagem *Python*.

Foi possível trabalhar ativamente nos chamados aos desastres do Charter, fornecendo imagens de satélite que ajudariam na identificação das áreas afetadas, bem como no resgate das populações afetadas e reconstrução da área. Foram aplicadas técnicas de PDI propostos por Rocha (2023) na área afetada no desastre de fevereiro de 2023 no município de São Sebastião, destacando as cicatrizes dos deslizamentos de terra e comprovando as técnicas propostas pela pesquisadora, bem como a eficácia do uso da linguagem *Python* no processamento de imagens digitais. Os resultados da pesquisa foram apresentados em *paper* do GeolInfo 2023.

Dessa forma, com os resultados da pesquisa de Iniciação Científica, foi possível confirmar a utilidade dos satélites brasileiros CBERS 4 e 4A e AMAZONIA-1 nas análises de desastres naturais, como deslizamento de terra e inundações com aplicações no Brasil, bem como no exterior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DENG, J. S. et al. **PCA-based land-use change detection and analysis using multitemporal and multisensor satellite data**. International Journal of Remote Sensing, v. 29, n. 16, p. 4823-4838, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160801950162>.

GAHLER, M. **Remote Sensing for Natural or Man-made Disasters and Environmental Changes**. In: Environmental applications of remote sensing. InTech, 2016. P. 309-338.

GERENTE, J.; PLETSCH, M. A. J. S.; SOTHE, C.; FRANCISCO, C. N. **Classificação semiautomática de cicatrizes de movimentos de massa por meio de técnicas de detecção de mudanças**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 18, n.4, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20502/rbg.v18i4.1249>.

G1. **Temporal devastador no litoral norte de SP completa um mês**. Grupo Globo. 19 de março de 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/2023/03/19/temporal-devastador-no-litoral-norte-de-sp-completa-um-mes-confira-um-resumo-da-tragedia.ghtml>.

HUETE, A. R.; JACKSON, R. D. **Soil and atmosphere influences on the spectra of partial canopies**. Remote Sensing of Environment, v. 25, n. 1, p. 89-105, 1988. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90043-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90043-0).

INTERNATIONAL CHARTER ON SPACE AND MAJOR DISASTERS (ICSMD) **History. 2022**. Disponível em: <https://disastersCarta.org/web/guest/history>.

Kuhn C. E. S, Reis, F. A. G. V. Oliveira, V. G. Cabral, V. C. Gabelini, B. M. Veloso, V. Q. (2022). **Evolution of public policies on natural disasters in Brasil and**

worldwide. In: annals of the Brazilian Academy of Sciences. Printed ISSN 0001-3765. DOI 10.1590/0001-3765202220210869

ROCHA, B. O. (2023) **Processamento de imagens de satélites brasileiros CBERS-4, CBERS-4^a e Amazonia-1 para respostas rápidas a desastres.** Dissertação de mestrado. Disponível em: <http://mtc-m21d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21d/2023/03.28.13.59/doc/publicacao.pdf>

ROCHA, B. O.; ALVES, L. M. V.; OLIVEIRA, A. C.; COSTA, C. A. M.; KORTING, T. S. (2023) **Fluxo de Processamento de imagens para Respostas Rápidas à Desastres Naturais.** Trabalho submetido ao GeolInfo 2023.

ROUSE, J.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with erts. NASA Special Publication, v. 351, n. 1974, p. 309–317, 1973.

SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento remoto para desastres.** São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

TAN, L.; GUO, J.; MOHANARAJAH, S.; ZHOU, K. **Can we detect trends in natural disaster management with artificial intelligence? A review of modeling practices.** Natural Hazards, v. 107, n.3, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04429-3>.

WIRTZ, A. KRON, W. and LOW, P. (2014). **The need for data: natural disasters and the challenges of database management.** Nat Hazards 70: 135-157. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0312-4>.