

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOGRAFIA

Guilherme Vanz dos Santos

**EXPANSÃO URBANA EM ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO
DE ITAJAÍ (SC) ENTRE 1985 E 2021**

Florianópolis

2021

Guilherme Vanz dos Santos

**EXPANSÃO URBANA EM ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO
DE ITAJAÍ (SC) ENTRE 1985 E 2021**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Geografia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Geografia.
Orientador: Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Guilherme Vanz dos

Expansão urbana em áreas suscetíveis à inundação no
município de Itajaí (SC) entre 1985 e 2021 / Guilherme Vanz
dos Santos ; orientador, Roberto Fabris Goerl, 2022.

67 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geografia,
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Inundação. 3. Desastre. 4.
Sensoriamento remoto. I. Goerl, Roberto Fabris. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Geografia. III. Título.

Guilherme Vanz dos Santos

EXPANSÃO URBANA EM ÁREAS SUSCETÍVEIS À INUNDAÇÃO NO MUNICÍPIO DE ITAJAÍ (SC) ENTRE 1985 E 2021

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Geografia e aprovado em sua forma final pelo Coordenador do Curso de Geografia

Florianópolis, 23 de março de 2022.



Documento assinado digitalmente
Lindberg Nascimento Junior
Data: 22/04/2022 12:08:49-0300
CPF: 049.596.139-63
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Lindberg Nascimento Junior
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Roberto Fabris Goerl
Data: 22/04/2022 09:31:48-0300
CPF: 033.006.639-03
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Roberto Fabris Goerl
Orientador(a)
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Michele Monguilhott
Data: 22/04/2022 11:35:02-0300
CPF: 609.299.280-91
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Profa. Dra. Michele Monguilhott
Avaliador(a)
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Pedro Luiz Borges Chaffe
Data: 22/04/2022 07:46:08-0300
CPF: 005.170.430-76
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Pedro Luiz Borges Chaffe
Avaliador(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus maravilhosos pais, a minha querida irmã e a toda a população itajaiense afetada pelas inundações.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus pais, Vlademir e Marilene, que me incentivaram na busca pelo conhecimento durante minha vida e jornada acadêmica, dando suporte não apenas financeiro mas também, e sobretudo, emocional.

À minha irmã, Mariana, futura geóloga, pelas boas risadas, mesmo nos momentos de fragilidade, e todo o afeto dado com a mais bela gentileza.

Ao professor e amigo Dr. Roberto Fabris Goerl pelo ilustre trabalho como orientador, fazendo-se presente nos momentos de dúvida e compartilhando seu amplo conhecimento geográfico, sobretudo em relação às técnicas de sensoriamento remoto e ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica.

Aos meus estimados amigos que coleciono desde o ensino médio até a graduação, compartilhando alegrias, tristezas, fofocas, jogos, piadas ruins, músicas ruins, bebidas ruins e ótimas companhias presenciais e virtuais: Alan, Ana Julia, Ananda, Denise, Fernando, Kassia, Mateus e Pablo.

Aos colegas e colaboradores da Agrosatélite Geotecnologia Aplicada, que contribuíram fundamentalmente para o meu desenvolvimento como geógrafo tanto em âmbito profissional quanto no domínio das técnicas e conhecimentos de geoprocessamento de imagens de satélite.

Por fim, aos médicos e enfermeiros brasileiros que, nesta conjuntura de extremo perigo durante a pandemia de COVID-19, somada a uma administração política nacional medíocre e perversa, põem suas vidas em risco para garantir de todos os modos possíveis o direito à vida.

“Mas sei que uma dor assim pungente
Não há de ser inutilmente a esperança
Dança na corda bamba de sombrinha
E em cada passo dessa linha pode se machucar
Azar, a esperança equilibrista
Sabe que o show de todo artista
Tem que continuar.”

(Elis Regina, 1979)

RESUMO

As inundações são desastres naturais que regularmente impactam o município de Itajaí (SC). Com a ocupação sem regularização desde a formação dos primeiros núcleos urbanos no início da colonização e inexistentes políticas públicas de prevenção e disponibilização de habitações regulares para a população em áreas de risco, os danos desses eventos são enormes em eventos de grande escala como os de 2008 e 2011. O sensoriamento remoto, dotado de ferramentas de análise espacial, se faz um ótimo recurso para compreender a expansão urbana sobre áreas suscetíveis a inundação. Dessa forma, este trabalho desenvolveu uma análise acerca da expansão da malha urbana de Itajaí na mancha de inundação resultante dos últimos cinco grandes eventos, através da aplicação de índices espectrais em imagens Landsat 5 e Landsat 8 entre 1985 e 2021, com intervalo médio de 5 anos. Dos quatro índices testados para identificação de alvos urbanos (EBBI, NDBI, NDVI e UI), o *Urban Index* foi o mais acurado em relação ao dado de referência do MapBiomas, apresentando acurácia média de 80,83%. Mesmo sendo o mais eficiente, o índice possui obstáculos para áreas com grande número de talhões agrícolas em reforma ou com o solo exposto, tendo em vista que a resposta espectral se assemelha muito com a de estruturas urbanas. A delimitação da mancha de inundação, que representa cerca de 42% do território de Itajaí, mostrou que aproximadamente 80% das áreas urbanas estão alocadas dentro de áreas suscetíveis a inundações. Identificou-se uma média de crescimento urbano maior na área da mancha que para o município como um todo na maior parte dos recortes, com exceção do período entre 2010 e 2015. Esta diferença pode ser explicada pelos grandes eventos de 2008 e 2011 que acometeram o município, trazendo novamente à tona os perigos de residir em áreas de risco à inundação e freando a ocupação. Contudo, com o esquecimento do desastre por parte da administração pública e da população sem opções de acesso à moradia, essas mesmas áreas voltam a ser ocupadas.

Palavras-chave: Inundação. Desastre. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Floods are natural disasters that regularly affect the municipality of Itajaí (SC). With unregulated occupation since the formation of the first urban centers at the beginning of colonization and the inexistence of public policies for the prevention and availability of regular habitation for the population in hazard areas, the damages of these events are enormous in large-scale events such as those of 2008 and 2011. Remote sensing, equipped with spatial analysis tools, is a great resource for understanding urban sprawl over areas susceptible to flooding. In this way, this work developed an analysis about the expansion of the urban of Itajaí in the flood area resulting from the last five major events, through the application of spectral indices in Landsat 5 and Landsat 8 images between 1985 and 2021, with an average interval of 5 years. Of the four indexes tested to identify urban targets (EBBI, NDBI, NDVI and UI), the Urban Index was the most accurate in relation to the MapBiomas reference data, with an average accuracy of 80.83%. Even though it is the most efficient, the index has obstacles for areas with a large number of agricultural stands under renovation or with exposed soil, given that the spectral response is very similar to that of urban structures. The delimitation of the flood zone, which represents about 42% of the territory of Itajaí, showed that approximately 80% of the urban areas are located within areas susceptible to flooding. A higher average of urban growth was identified in the area susceptible to flooding than for the municipality as a whole in most of the clippings, with the exception of the period between 2010 and 2015. This difference can be explained by the major events of 2008 and 2011 that affected the municipality, bringing up again the dangers of living in areas at risk of flooding and putting a brake on occupation. However, with the forgetting of the disaster by the public administration and the population without options of access to habitation, these same areas are occupied again.

Keywords: Inundation. Disaster. Remote sensing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Elevação do nível de um rio do nível normal até a ocorrência de uma inundação.....	18
Figura 2: Mapa de localização de Itajaí (SC).....	31
Figura 3: Geomorfologia de Itajaí (SC).	32
Figura 4: Geologia de Itajaí (SC).	33
Figura 5: Média da precipitação pluviométrica acumulada mensal.	34
Figura 6: Bandas e intervalos de comprimento de onda para cada sensor.	35
Figura 7: Exemplo de diferença radiométrica entre os sensores TM (Landsat 5) e OLI (Landsat 8).....	36
Figura 8: Distribuição dos pontos da classe urbana.	38
Figura 9: Pontos de validação das classes.	39
Figura 10: Classificação dos índices, mapa do MapBiomias e pontos urbanos utilizados.	42
Figura 11: Número de acertos e erros por classe: a) EBBI, b) NDBI, c) NDVI, d) UI, e e) fonte de dados de referência	44
Figura 12: Áreas suscetíveis à inundação em Itajaí.	45
Figura 13: Uso urbano identificado pelo UI em Itajaí entre 1985 e 2000.....	48
Figura 14: Uso urbano identificado pelo UI em Itajaí entre 2005 e 2021.....	49
Figura 15: Sobreposição do uso urbano identificado pelo UI em Itajaí entre 1985 e 2000.	50
Figura 16: Uso urbano identificado pelo UI em Itajaí entre 2005 e 2021.....	51
Figura 17: Uso urbano identificado pelo UI em Itajaí em 1985 e 2021.....	52
Figura 18: Uso urbano (km ²) classificado em Itajaí por ano em relação ao MapBiomias.	53
Figura 19: Uso urbano (km ²) classificado em Itajaí por ano em relação a demografia.	53
Figura 20: Imagem Landsat 5 (RGB) de Itajaí do ano 2000 (esquerda) e o UI aplicado (direita).	54
Figura 21: Imagem Landsat 5 (RGB) de Itajaí do ano 2005 (esquerda) e o UI aplicado (direita).	55
Figura 22: Área urbana (km ²) identificada em Itajaí por ano.....	56
Figura 23: Taxa média de crescimento urbano a cada 5 anos em Itajaí.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Bandas, intervalos de comprimento de onda e resolução espacial para cada sensor.....	36
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Base de dados auxiliares.....	28
Tabela 2: Imagens Landsat adquiridas.	29
Tabela 3: Equações dos índices espectrais e bandas utilizadas em imagens Landsat 5 e Landsat 8.	37
Tabela 4: Valores de máximo e mínimo para a classe urbano em cada índice.	41
Tabela 5: área em Km ² para as classes urbano e não urbano.	42
Tabela 6: Acurácia dos índices por classe e média.	44
Tabela 7: Áreas do uso do solo no município de Itajaí por ano.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas
AVADAN - Relatório de Avaliação de Danos
BH - Bacia Hidrográfica
DEDC - Departamento Estadual de Defesa Civil
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
CPRM - Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais)
DOS - *Dark Object Subtraction*
EBBI - *Enhanced Built-Up and Bareness Index*
ERTS - *Earth Resources Technology Satellite*
GEE - Gás de Efeito Estufa
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ND - Número Digital
NDBI - *Normalized Difference Built-Up Index*
NDSI - *Normalized Difference Snow Index*
NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*
NDWI - *Normalized Difference Water Index*
NIR - *Near infrared*
NMM - Nível médio dos mares
PIB - Produto Interno Bruto
RGB - *Red, Green, Blue*
S2iD - Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres
SDS - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável
SIG - Sistema de Informações Geográficas
SIGSC - Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina
SINDEC - Sistema Nacional de Defesa Civil
SWIR - *Shortwave infrared*
TIR - *Thermal infrared*
UI - *Urban Index*
USGS - *United States Geological Survey*

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

km² - quilômetro quadrado

m² - metro quadrado

mm - milímetro

μm - micrômetro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo geral.....	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	A INUNDAÇÃO COMO DESASTRE	17
2.2	EVOLUÇÃO URBANA NO BRASIL	19
2.3	ÍNDICES ESPECTRAIS APLICADOS AO MAPEAMENTO URBANO.....	21
3	ITAJAÍ: CARACTERIZAÇÃO E HISTÓRICO DE INUNDAÇÕES	25
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO	Erro! Indicador não definido.
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS MAIORES EVENTOS DE INUNDAÇÃO	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	BASE DE DADOS AUXILIARES	27
4.2	AQUISIÇÃO DAS IMAGENS	28
4.3	CORREÇÃO ATMOSFÉRICA	30
4.4	ANÁLISE DO MELHOR ÍNDICE PARA O MAPEAMENTO	35
4.4.1	Calibração dos índices.....	38
4.4.2	Validação e escolha do índice	39
4.5	DELIMITAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO	40
4.6	APLICAÇÃO DO ÍNDICE ESCOLHIDO NAS IMAGENS	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1	ESCOLHA DO ÍNDICE MAIS EFICIENTE	41
5.2	MANCHA DE INUNDAÇÃO	45
5.3	TAXAS DE CRESCIMENTO URBANO	47
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
	REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

Desastre, como proposto por Castro (1998), é o “resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais”. Vargas (2010) acrescenta que desastre pode ser compreendido como consequências de um episódio adverso induzido pela natureza (alta de maré, furacão, terremoto, tsunami) e/ou pelo ser humano (impermeabilização do solo, retirada/acumulação de sedimentos/rejeitos, desflorestamento) que traz danos materiais e sociais para a população atingida, pondo em foco a inter-relação entre os assentamentos urbanos, os fenômenos naturais e as condições climático-ambientais de pequena e grande escala.

Desde a década de 1970, nota-se um aumento na ocorrência desses eventos tanto no Brasil como no mundo, ao mesmo tempo em que se observa um crescimento contínuo no adensamento populacional nos centros urbanos, agravando ainda mais os impactos sociais e infraestruturais dos desastres (MARCELINO, NUNES e KOBIYAMA, 2006; ROBAINA, 2008). Dentro deste contexto, Santa Catarina também apresenta o mesmo padrão de aumento no número de casos, tendo comumente fatores atmosféricos como gênese, associados a chuvas intensas, granizo, tornados e vendavais (MARCELINO, NUNES e KOBIYAMA, 2006; HERMANN, 2014).

O município de Itajaí, no estado de Santa Catarina, localiza-se dentro da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu, onde recorrentemente ocorrem inundações. Nos últimos 35 anos, ao menos cinco grandes desastres desse tipo acometeram a cidade, repercutindo midiaticamente em escala regional e nacional. Santos (2010) nos mostra, em seu trabalho acerca da visão e do sentimento dos habitantes locais sobre esses eventos, um forte sentimento de insegurança que, em determinado momento, originou um grande trauma na sociedade itajaiense.

Dado este preâmbulo, o propósito desta pesquisa é compreender o crescimento urbano dentro das áreas de inundação no município de Itajaí, analisando a taxa de expansão da malha urbana para as últimas três décadas. À vista disso, o Brasil tendo como desígnio o cumprimento do Objetivo 11 da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável acordada entre líderes mundiais em 2015, o estudo compete diretamente aos itens 11.3 e 11.5 de, respectivamente, “até 2030, aumentar a urbanização inclusiva e sustentável, e a capacidade para o planejamento e a gestão participativa, integrada e sustentável dos assentamentos humanos” e, sobretudo,

[...] reduzir significativamente o número de mortes e o número de pessoas afetadas por catástrofes e diminuir substancialmente as perdas econômicas diretas causadas por elas em relação ao produto interno bruto global, incluindo os desastres relacionados à água, com o foco em proteger os pobres e as pessoas em situação de vulnerabilidade (AGENDA 2030, 2020).

Este trabalho se faz importante para a compreensão mais aprofundada de um dos aspectos que são inerentes ao contexto de inundações: a ocupação e evolução urbana nas áreas suscetíveis ao desastre. Os trabalhos acerca da temática para o município de Itajaí abrangem, de modo geral, os aspectos sociais, econômicos e/ou políticos, aos quais esta pesquisa se soma. Entender como esta área em específico se desenvolve ao decorrer do tempo deve elucidar práticas benéficas ou maléficas para o bem-estar e segurança dos habitantes de Itajaí.

Tendo em vista a problemática das ocupações em área irregular, a pesquisa pode contribuir para o desenvolvimento de uma gestão territorial mais eficiente em Itajaí, que sofre ante medidas paliativas e pouco efetivas na redução das ocorrências e danos dos desastres hídricos. O fato de grandes eventos ocorrerem em amplos intervalos de tempo e serem de baixa probabilidade põe à tona um provável sintoma de negligência por parte da administração pública ante aos riscos alarmantes que as inundações possuem. Desse modo, cabe a apresentação dos dados aqui levantados na construção e reformulação do próximo Plano Diretor da cidade. Uma nova prática de gestão do território dispõe mecanismos adequados de prevenção à ocupação de áreas de risco e consequentes danos materiais e sociais, contribuindo para a qualidade de vida e estabilidade econômica de moradores e empreendimentos itajaienses.

A partir dos resultados do presente trabalho, o conhecimento gerado poderá ser também utilizado para produções científicas que compartilhem a mesma temática, premissa metodológica e (ou), possivelmente, a mesma área de estudo. A aplicação do sensoriamento remoto e geoprocessamento para identificação da malha urbana, como já realizado por outros trabalhos científicos em diversas localidades, potencialmente dará suporte para outros estudos que possam tirar proveito deste procedimento técnico, especificamente em Itajaí. Do mesmo modo, a análise geográfica deve acrescentar ao debate científico acerca da produção do espaço urbano em áreas de risco de inundação com enfoque nas dimensões sociais do problema.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a expansão da malha urbana de Itajaí nas áreas suscetíveis à inundação por meio de índices espectrais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Comparar e avaliar índices espectrais para a detecção das estruturas urbanas em Itajaí-SC;
- Caracterizar os maiores eventos de inundação com base nos relatórios de dano;
- Identificar a área de inundação dentro dos limites territoriais de Itajaí-SC com base nos registros históricos;
- Analisar a taxa de expansão da malha urbana nas áreas de inundação ao longo das últimas três décadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A INUNDAÇÃO COMO DESASTRE

As inundações são processos hidrológicos de origem natural. Alguns povos historicamente conviveram e foram moldados ao redor deste contexto, baseando seu desenvolvimento em direta relação com a natureza. Essa dinâmica de sociedade-natureza, para este caso sociedade-rio, transformou-se com o tempo. O que em primeiro momento representou a utilização dos corpos hídricos com fins de irrigação agrícola e drenagem fluvial como no caso das sociedades hidráulicas, toma funções de navegação e transporte, força mecânica para os moinhos, passando para resfriamento hidráulico e geração de energia durante a revolução industrial (ALMEIDA e CARVALHO, 2010; PORTO e BREMER, 2018).

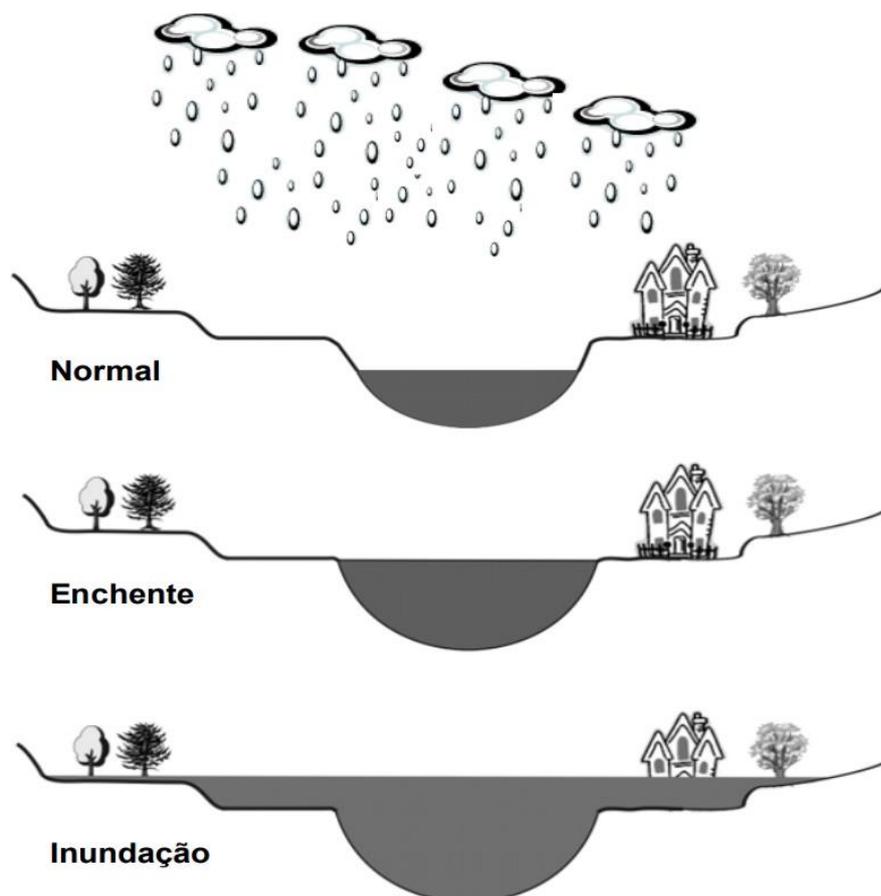
Em meio a rápida expansão das cidades que continuamente crescem em números de população e densidade, as inundações começam a se tornar um problema. A gestão ineficaz das

ocupações próximas aos cursos d'água, somadas às ações de modificação das dinâmicas fluviais como a retificação e represamento, levou a dinâmica de inundações a causar danos às cidades, caracterizando-as como um desastre (ALMEIDA e CARVALHO, 2010).

Com este panorama, entende-se que a inundação é um problema de âmbito social e de gestão territorial. Mesmo que de origem natural, tem como cerne a relação do homem com a natureza e sua organização no espaço.

Cabe pôr em evidência que comumente é possível observar em trabalhos e no próprio cotidiano um emprego errôneo de termos relativos à dinâmica de inundação. Alguns desses casos podem estar ligados à uma tradução rasa ou interpretações equivocadas de um termo estrangeiro. De qualquer modo, enchente refere-se ao enchimento do rio até a capacidade máxima de água sem até a altura das margens. A partir do momento que essa capacidade é excedida e ocorre a transbordamento passa a ser uma inundação. A Figura 1 abaixo, elaborada por Goerl e Kobiyama (2005) ilustra bem a significação de cada termo.

Figura 1: Elevação do nível de um rio do nível normal até a ocorrência de uma inundação.



Fonte: Goerl e Kobiyama (2005).

A formação socioespacial das cidades com assentamentos urbanos que se acomodam às margens dos rios e encostas, em conjunto ao contexto de intensa exploração dos recursos naturais, somam-se para o desenvolvimento de um cenário que favorece estes eventos de inundação. O desflorestamento e instalação de represas, que aos poucos contribuem para erosão e assoreamento dos cursos d'água, remete à ação direta do homem sobre o ambiente como fator de influência. Este é um problema tipicamente socioambiental (FRAGA, 2003).

As estruturas urbanas, sobretudo nas grandes cidades, atuam fortemente na impermeabilização do solo e na modificação da dinâmica de drenagem, contribuindo tanto para a cheia dos rios quanto para os movimentos gravitacionais de massa em encostas, gerando risco para as habitações assentadas nesse ambiente (MARANDOLA JR. e HOGAN, 2004). Além disso, a abertura das fronteiras agrícolas juntamente com a mecanização da agricultura propiciaram o uso extensivo do solo para plantio nas áreas rurais, impulsionando esse processo de impermeabilização e alteração de drenagem (MUELLER, 1992).

Os impactos das inundações nas cidades são majoritariamente danosos, sobretudo nas casas de baixa renda, normalmente localizadas em terrenos irregulares. Além dos danos materiais em relação à infraestrutura urbana de arruamentos, moradias, luz elétrica, saneamento e acesso à água, dependendo das proporções do evento, há a ocorrência de grande número de pessoas desabrigadas, feridas e, no pior cenário, mortas.

A questão das ocupações irregulares está historicamente ligada ao rápido desenvolvimento dos centros urbanos e gestão do território fortemente influenciada pelo capital imobiliário especulativo. Ademais, estes desastres, ao atingirem com maior expressividade as moradias irregulares que se localizam próximas às margens dos rios, expressam no território a materialização da vulnerabilidade social, explicitando a direta conexão com o contexto de subdesenvolvimento das cidades e a segregação socioespacial (ROBAINA, 2008).

2.2 EVOLUÇÃO URBANA NO BRASIL

A partir da metade do século XX ocorre no Brasil um grande processo de urbanização, veementemente influenciado pelas características da urbanização europeia, de certa forma uma tentativa inconsciente de reprodução desse contexto em território brasileiro. É notado o êxodo

rural e o crescimento dos adensamentos urbanos regrados por uma nova realidade industrial que se amplifica subitamente.

Entre 1940 e 1980, ocorre uma inversão quanto ao lugar de residência da população brasileira. Há meio século atrás (1940), a taxa de urbanização era de 26,35%, em 1980 alcança 68,86%. Nessa época, através de instrumentos político-econômicos e cultural-ideológicos, a sociedade brasileira passa a ser organizada via modelo urbano-industrial. Nas décadas de 50 e 60 o Brasil viveu o auge da explosão demográfica, sendo que nesse período intensificou-se o processo de industrialização e isso resultou em uma urbanização em ritmo intenso, dado pelo alto índice de crescimento demográfico e por fortes migrações inter-regionais e rurais. Dessa forma, enquanto a urbanização na Europa prolongou-se por mais de um século e meio, no Brasil durou aproximadamente cinquenta anos. A rapidez deste processo trouxe consigo severas consequências de ordem sócio-econômica e ambientais (ROBAINA, 2008, p. 95-96).

Conforme Porto e Bremer (2018), entre as décadas de 1960 e 2000 houve um aumento significativo tanto na ocorrência quanto na intensidade dos desastres hidrológicos nas cidades em geral, causados principalmente pelas abruptas mudanças climáticas relacionadas à elevação da temperatura e formação de chuvas mais frequentes e fortes, além da perturbação antrópica no clima através da produção de gases de efeito estufa (GEEs). Outro fator importante é o uso da terra sem adequação ou planejamento, sem preocupação com a preservação do ambiente. Somado a este cenário, o alto grau de adensamento urbano, sobretudo nas margens dos rios e áreas naturais de inundação, agrava ainda mais o problema, tendo em vista que, além de impermeabilizar o solo, aumenta expressivamente a vulnerabilidade dos moradores que ali residem.

Simultaneamente, durante a década de 1970 tem-se uma crise capitalista que resulta em uma reestruturação neoliberal da economia global. Com isso, economias consolidadas como das grandes potências mundiais conseguem voltar a crescer, tendo como base da reforma uma reinvenção tecnológica na produção, a negação de benefícios e direitos dos trabalhadores e um grande advento de privatização e benefícios fiscais para empreendimentos estrangeiros dentro de países periféricos como o Brasil. Com isso, o Estado perde força na regulamentação econômica e, conseqüentemente, passa a ser domado pelo mercado, incluindo neste contexto empreendimentos de caráter altamente especulativo.

O papel do setor imobiliário dentro do contexto de desenvolvimento das cidades e formação das políticas urbanas é decisivo, ao passo que, tendo o Estado submisso, ditou a dinâmica de ocupação do espaço de acordo com os interesses do capital privado. Com o rápido desenvolvimento da estrutura urbana, as políticas territoriais foram moldadas de acordo com imposições deste setor. A alta dos preços aliada a uma renda ínfima para os trabalhadores joga

essa massa populacional para as áreas não regulamentadas pela administração pública: encostas de morros, várzeas e planícies de inundação, que são as áreas irregulares (MARANDOLA JR. e HOGAN, 2004).

Estes dois espaços, regular e irregular, são necessários para o modo de produção que está posto, na medida que o acúmulo de capital pelos grandes empresários é assegurada pela numerosa mão de obra que se aloca nestes terrenos de ocupação irregular (ROBAINA, 2008). Dessa maneira, observa-se que o padrão de segregação espacial é evidente: as áreas irregulares são ocupadas majoritariamente por trabalhadores das classes mais baixas, com menor poder aquisitivo, enquanto que as classes mais abastadas se mantêm nas áreas regulamentadas. Esta segregação espacial, propõe Robaina (2008, p. 97), “[...] é reflexo de uma história marcada pelo interesse especulativo da classe dominante pela terra, pela política habitacional deficiente, técnicas construtivas inadequadas e um crescimento muito rápido das cidades”.

Com a rápida expansão das cidades, o planejamento urbano, idealizado para dar eficiência e organização ao território, no Brasil foi, de maneira geral, débil e em vezes inexistente, o que contribuiu para o grande número de ocupações irregulares e estruturas que agravam o problema das cheias. Além disso, com as deficitárias políticas habitacionais desenvolvidas pelas administrações através dos vários eventos de inundação que acometem as cidades, o problema é comumente mitigado e nunca definitivamente resolvido. De todo modo, sem mais opções devido ao abandono do Estado nas questões habitacional e socioeconômica e a consequente falta de recursos para aquisição de terrenos em localidades regularizadas, atualmente as populações de baixa renda continuam a ocupar as áreas de risco.

2.3 ÍNDICES ESPECTRAIS APLICADOS AO MAPEAMENTO URBANO

A década de 1960 foi marcada por grandes avanços no lançamento de satélites e no que seria o embrião do sensoriamento remoto que possuímos hoje. Com o lançamento do *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), que mais tarde viria a se tornar o programa Landsat, iniciavam-se estudos com as imagens capturadas pelos sensores, identificando a necessidade de normalizar a resposta dois alvos de interesse alvos, majoritariamente a vegetação, nos variados zênites do ângulo solar em diferentes momentos. Um destes estudos, conduzido por Rouse (1973), acerca dos Grandes Planos que se estendem da ponta do estado estadunidense do Texas até a fronteira com o Canadá, dava as bases nas quais se edificaria um dos índices de

normalização mais utilizados dentro do sensoriamento remoto, o *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI (RODRIGUES et al., 2013).

Utilizando as bandas do Infravermelho próximo e do vermelho visível, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada consegue diferenciar áreas que possuem ou não vegetação, sendo possível também discriminar, dependendo da escala de estudo, sua vigorosidade e saúde da mesma. Com valores que variam entre -1 e 1, os valores de vegetação tendem a ficar na porção positiva, entre 0,3 e 0,8, enquanto outros usos geralmente possuem valores abaixo desse parâmetro (RODRIGUES et al., 2013).

Sendo uma proposta pioneira, o NDVI proporcionou também grandes avanços para o desenvolvimento de outros novos índices que, como se abordará a seguir, possuem propostas parecidas ou com enfoque em outras classes de uso que não a vegetação. No Brasil e no mundo, com a possibilidade de identificar a saúde de diferentes plantios, o uso do NDVI para o monitoramento da produtividade agrícola foi significativo, tal como as contribuições de Ribeiro et al. (2017) no acompanhamento da condição da vegetação de culturas irrigadas através da aplicação do índice em imagens do satélite SENTINEL-2A e Pauletto et al. (2017) no monitoramento do cultivo de videiras na Região da Campanha, extremo sul do estado do Rio Grande do Sul. Dada a diferenciação entre área com e sem vegetação, este índice também teve aplicação para a identificação de áreas de desmatamento ilegal e monitoramento de áreas de proteção ambiental, assim como nas pesquisas de Bayma e Sano (2015) na aplicação do NDVI para identificação de área de desmatamento no bioma Cerrado e Arantes et al. (2019) na análise qualitativa do desmatamento da Floresta Amazônica.

Mesmo não tendo relação direta com alvos urbanos, autores também desenvolveram, semelhantemente a proposta deste trabalho, estudos acerca da identificação de estruturas urbanas, como a utilização do índice para o monitoramento do uso do solo em uma bacia hidrográfica do estado do Paraná na pesquisa de Oliveira e Silva (2019) e a comparação de índices (NDVI e NDBI) na avaliação da expansão urbana em Jaguariúna (SP) de Prates e Lacerda (2020).

Com o passar do tempo e o progresso nas pesquisas acerca das cidades que crescem a ritmo cada vez mais rápido, índices voltados para o urbano foram propostos. Em pesquisa realizada, tendo com área de estudo a região metropolitana de Colombo no Sri Lanka, Kawamura, Jayamanna e Tsujiko (1996) propuseram o *Urban Index* (UI) com o intuito identificar com maior assertividade as estruturas urbanas através da aplicação do índice em

imagens de satélite. O UI utiliza as bandas do infravermelho de onda curta (SWIR-2) e do infravermelho próximo (NIR).

Fazendo uma relação com o NDVI, que é amplamente usado para identificação de alvos relacionados a vegetação e biomassa, emerge uma diferença: enquanto que os valores de NDVI diminuem em áreas com maior urbanização, os valores do novo índice urbano crescem. Da mesma forma que o primeiro, os valores deste índice variam entre -1 e 1. Avançando com a proposição do índice, os autores realizam a relação do UI com a densidade de infraestruturas urbanas, mostrando que os dados advindos dessa normalização apresentam coerência com a maior ou menor densidade de urbanização em um determinado espaço. Ademais, os dados ambientais e socioeconômicos de Colombo e o índice possuem tendências para a mesma área de estudo que se equiparam, demonstrando que o dado gerado pode ser utilizado também para fins de planejamento urbano. Grande parte dos estudos envolvendo o *Urban Index* são de fora do Brasil, como os trabalhos de Mushore et al. (2018) na predição do crescimento e características de temperatura na cidade de Harare, Zimbábue, e Ali, Hasim e Abidin (2019) com o monitoramento da transformação de área urbanas utilizando o UI em comparação com o NDBI.

Em 2003, tendo como base vários outros índices que partiram ou foram concebidos de forma parecida ao já estabelecido NDVI, tal como o *Normalized Difference Snow Index* (NDSI) e o *Normalized Difference Water Index* (NDWI), Zha, Gao e Ni (2003) desenvolveram o *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI), na busca de desenvolver um método simples para o mapeamento automático dos alvos urbanos. Para isto, aplicaram-no na área de estudo, a cidade de Nanjing, no leste chinês. As bandas utilizadas pelo índice são a infravermelho de onda curta (SWIR-1) e a infravermelho próximo (NIR).

O NDBI, assim como o UI, é uma normalização entre bandas que busca evidenciar estruturas urbanas nas imagens, realizando o estudo diferenciando apenas a classe *built-up* (construções) e outras classes. Comparando dados de mapeamento por interpretação manual, o NDBI se mostrou bastante eficaz na identificação desses alvos, com acurácia de 92,6%, mostrando-se uma alternativa simples e confiável (ZHA, GAO e NI 2003). Entendendo que, diferentemente da dinâmica vegetativa, as áreas urbanas não tem a sazonalidade como característica, o estudo conseguiu consolidar bons resultados ao longo das diferentes estações do ano. Trabalhos como o já citado de Ali, Hasim e Abidin (2019), comparando os resultados da aplicação com o UI, e de Luz et al. (2019) que também realiza uma análise de dois índices, NDBI e NDVI, para a avaliação de expansão urbana no município de Rio das Ostras (RJ)

através da plataforma *Google Earth Engine*, concluíram que o índice tem bons resultados na segmentação supervisionada e faz um bom trabalho identificando infraestruturas urbanas.

Com uma proposta parecida ao índice anterior, o *Enhanced Built-Up and Bareness Index* (EBBI) é criado em 2012, com o intuito de refinar a identificação de áreas construídas e solo exposto. As-syakur et al. (2012) desenvolveram um estudo na cidade de Denpasar, na Indonésia, onde aplicaram o EBBI para verificar a sua eficiência na identificação de alvos urbanos e solo sem cobertura. As bandas utilizadas para o cálculo de normalização são o infravermelho próximo (NIR), o infravermelho de onda curta (SWIR-1) e o infravermelho termal (TIR).

Este é o único dos índices aplicados neste estudo que faz uso de uma banda termal, que, como justificado pelo estudo, a diferença na retenção de calor do topo das construções associada sobretudo ao material das telhas e coberturas, ajuda na identificação de áreas não construídas, que normalmente possuem temperaturas mais baixas. Também variando entre valores de -1 a 1, os valores dos dois diferentes alvos principais são divididos em duas faixas: áreas construídas de 0,10 até 0,35, e solo exposto, com valores maiores que 0,35. Em teoria, este índice é uma válida opção para a diferenciação de áreas construídas e solo exposto, alvos que possuem respostas espectrais que se sobrepõe, tornando a diferenciação muitas vezes incerta e gerando confusões em situações de classificação supervisionada (AS-SYAKUR et al., 2012).

Da mesma forma que o *Urban Index*, somado ao fato de que o EBBI é uma proposição relativamente recente, há poucas pesquisas nacionais desenvolvidas. Entretanto, como este índice é mais complexo ao passo que se propõe a fazer a distinção de duas classes diferentes mas com respostas espectrais significativamente próximas, a aplicação desta normalização pode ser de grande utilidade. Trabalhos como a aplicação do índice em cidades de clima seco ao utilizar imagens do satélite Landsat 8 de Rasul et al. (2018) e o estudo de mesmo caráter de aplicação do EBBI em centros urbanos, dessa vez realizado por Tin et al. (2021) em Yangon, no Myanmar, dão base para essa promissora normalização. Por também conseguir discriminar o *bare soil*, estudos como os de De Alban et al. (2020) e Kotharkar et al. (2021) fazem uso do EBBI para identificar e estimar área de desflorestamento, incluindo comparações de desempenho na identificação desses alvos com outros diversos índices.

Dado este breve contexto, devido à consolidação e proximidade de alguns destes índices apresentados acima em relação à questão central do trabalho, o *Normalized Difference Vegetation Index*, *Urban Index*, *Normalized Difference Built-up Index* e *Enhanced Built-Up*

and Barenness Index, foram, como se discorrerá mais adiante, escolhidos para a primeira etapa deste estudo.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MAIORES EVENTOS DE INUNDAÇÃO

De acordo com os documentos cadastrados na plataforma S2iD – Sistema Integrado de Informações Sobre Desastres, o município de Itajaí registrou 29 ocorrências entre inundações e enxurradas de 1970 até 2021. Alguns destes eventos tiveram proporções incomuns, alcançando grande área de abrangência e causando maiores danos materiais e sociais.

Na história recente do município, as primeiras duas inundações que tiveram grandes proporções aconteceram em anos consecutivos, 1983 e 1984. A primeira, além de afetar a cidade de Itajaí e a região do Vale do Itajaí, trouxe danos expressivos para cidades em grande parte do território catarinense. De acordo com dados dos relatórios de Avaliação de Danos – AVADANs da Defesa Civil de Santa Catarina, este primeiro desastre hidrológico de grande porte da década atingiu 90 municípios, totalizando 197.790 desabrigados e 49 mortos (HERRMANN, 2014). O valor estimado em danos materiais para o estado de Santa Catarina apenas na inundação de 1983 é estimado em 1,1 bilhão de dólares americanos, o que expõe as dimensões espantosas do evento (SANTOS, 2010).

As inundações de 1983 aconteceram em decorrência de uma anormalidade enquanto ocorria o fenômeno El Niño, que apresentou intensidade maior do que a comum (HERRMANN, 2014). Este evento climático tem ligação direta entre a interação oceano-atmosfera, em que a normal de baixa pressão que em condições normais se encontra na porção oeste do Oceano Pacífico (nas proximidades da Indonésia) é alterada, movendo-se em direção ao centro do Pacífico. Como decorrência deste fenômeno, há a ocorrência de água superficiais mais quentes na região da costa peruana e equatoriana e um aumento da frequência e intensidade das chuvas na porção sul do Brasil (KAYANO e MOURA, 1986; BERLATO e FONTANA, 2011).

No contexto da época, a cidade de Itajaí começava a apresentar crescimento demográfico significativo, com expansão da malha urbana e relativa concentração onde hoje é a porção central (urbanizada) da cidade. Este crescimento que tomava força desde antes ainda da década de 1980 tornou os danos materiais destas duas enchentes ainda mais expressivos (ZIMMERMANN, 2011). Durante a inundação de 1983, o Rio Itajaí-Açú alcançou um pico de 15,34 metros (BIEGING e BUSARELLO, 2018). O município teve 40.000 pessoas

desabrigadas (correspondendo à 42,3% da população de Itajaí neste período) e 5 mortos, com danos materiais importantes para a estrutura urbana da cidade (HERRMANN, 2014).

No ano seguinte, outro desastre de intensidade semelhante assolou novamente Santa Catarina. Neste evento, foram 155.200 desabrigados no estado e 2 mortos, todos os óbitos em Itajaí (HERRMANN, 2014). Dados apresentados por Fraga (2009) apresentam danos ainda maiores, 255.885 pessoas desabrigadas e 19 mortes entre os 82 municípios que foram afetados pelos eventos, atingindo um prejuízo material estimado em 323,05 milhões de cruzados, moeda vigente na época. Este valor correspondia a aproximadamente 2,2% do PIB estadual.

Nestes desastres hidrológicos de 1984 o Rio Itajaí-Açú chegou a atingir um pico de 15,46 metros, deixando a área da bacia hidrográfica submersa por três dias (FRAGA, 2009). Ao levarmos em consideração que no curto espaço de tempo de um ano houveram dois eventos de tamanha magnitude, é fato que o impacto que este segundo desastre provocou nas cidades afetadas foi contundente, dificultando a reestruturação de uma Itajaí já devastada pela primeira grande ocorrência de inundação no ano anterior (SANTOS, 2010).

Avançando no tempo, 24 anos após o evento de 1984, Itajaí e o estado novamente iriam sofrer com um desastre repentino e avassalador. Naquele novembro de 2008, os registros de danos apontam 85 municípios atingidos e 38.467 pessoas desalojadas. Neste evento o município mais afetado foi Itajaí, atingindo quase metade do total de desabrigados com 18.208, equivalente a 11,16% da população da cidade na data e um, 5 mortes e dano material estimado superior a R\$ 1.622.163.000 (HERRMANN, 2014). A estimativa do AVANDAN emitido relativo ao desastre aponta que aproximadamente 98% dos 166.483 habitantes itajaienses foram afetados pelas inundações naquela ocasião (SINDEC, 2008).

As circunstâncias deste evento se deram em contexto de La Niña, que, ao oposto do El Niño, se caracteriza pelo fortalecimento dos ventos alísios que movem o ponto de baixa pressão em direção a Oceania e Indonésia. Precedidas por meses significativamente secos, as chuvas do mês de novembro ultrapassaram médias históricas com folga, superando os 144,8 mm anteriores com o espantoso número de 472,7 mm só entre os dias 20 e 24, quase a metade da precipitação anual esperada. Em um único dia, 23 de novembro, a precipitação bateu a marca de 190,5 mm, que por si só ultrapassaria a média histórica do mês. Neste mesmo dia, o Itajaí-Açú alcançou o maior pico registrado no evento, atingindo 4,5 m (nível médio dos mares), equivalente a 11,52 m (DEDC/SC, 2008; SANTOS, 2010).

A última grande inundação a atingir o município de Itajaí aconteceu no ano de 2011. Do mesmo modo que os eventos anteriores, também houveram danos em grande parte do estado

de Santa Catarina, com 86 municípios atingidos, 10 destes decretando calamidade pública (PERIÇATO, SILVA E MARCATTO, 2016). E, novamente, Itajaí tem grandes danos, com um total de 48.845 pessoas deslocadas, 1 morte e 110.023 afetadas, 60% dos 183.373 habitantes estimados no mesmo ano (DEDC/SC, 2011). Em questão de área, a porção urbana foi 60% impactada, enquanto a parte rural 80%. Foram registradas quedas de pontes e barreiras de contenção, além de danos estruturais na infraestrutura urbana da cidade (MORAES, MARENZI e LONGARETE, 2015). Devido ao intenso volume de chuvas em setembro, o Itajaí-Açú alcançou um pico de 12,6 metros (BLUMENAU, 2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizadas ferramentas e técnicas do sensoriamento remoto e geoprocessamento para mapeamento e desenvolvimento dos resultados na área de estudo, unidas à revisão bibliográfica para embasamento da análise centrada nos aspectos políticos, econômicos, sociais e demográficos da cidade.

A pesquisa foi dividida em sete etapas principais: (1) caracterização da área de estudos, (2) a definição de um índice espectral eficiente para a detecção das estruturas urbanas em Itajaí; (3) delimitação da área suscetível a desastres hídricos na cidade; (4) aplicação do índice selecionado durante a primeira etapa nas imagens de satélite escolhidas; (5) cálculo da taxa de crescimento urbano para a mancha de inundação e para todo o município; (6) comparação da área obtida em relação aos dados da plataforma MapBiomas e, por fim; (7) análise e discussão dos resultados.

3.1 BASE DE DADOS AUXILIARES

Foram utilizados neste trabalho, além da bibliografia, dados auxiliares textuais e cartográficos (vetoriais e matriciais) de várias fontes, discriminados na Tabela 1.

Tabela 1: Base de dados auxiliares.

Itens	Fonte	Tipo do dado	Ano
Massas d'água	Agência Nacional de Águas - ANA	Vetorial (polígono)	2019
Manchas de inundação	Defesa Civil de Itajaí	Matricial	1983, 1984, 2001, 2008 e 2011
Rodovias	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT	Vetorial (linha)	2021
Divisão territorial de municípios, estados e países, arruamentos e massas d'água	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE	Vetorial (polígono)	2019, 2016, 2016, 2019, 2020 (respectivamente)
Perímetro urbano de Itajaí	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Habitação de Itajaí	Vetorial (polígono)	2019
Pedologia	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE	Vetorial (polígono)	2021
Comparação dos resultados da aplicação de índices e taxas de crescimento urbano	MapBiomias	Matricial	1985, 1991, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 e 2019
Imagens de alta resolução	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina – SDS	Matricial	2010

Enquanto alguns dos dados serviram para a análise da área de estudo, outros, ademais, foram utilizados também para a confecção de mapas. Além disso, utilizou-se de alguns destes para a validação dos resultados nas diferentes etapas da pesquisa, como no caso dos mapas de uso da terra da plataforma MapBiomias e do levantamento aerofotogramétrico da SDS.

3.2 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram selecionadas imagens do satélite Landsat 5 (sensor TM) e Landsat 8 (sensor OLI) do tipo Level-1¹, órbita ponto 220/79, fornecidas pelo órgão governamental estadunidense *United States Geological Survey* – USGS, através da plataforma digital *Earth Explorer*. As imagens, que são disponibilizadas já com correção geométrica, apresentam resoluções espacial e temporal adequadas para o estudo e são gratuitas.

¹ Imagens que já possuem correção geométrica e georreferenciamento.

Tendo em vista o recorte temporal proposto para este estudo, as imagens adquiridas estão dentro do período contido entre os anos de 1985 e 2021, procurando manter o intervalo fixo de 5 anos para cada uma e entre os meses de maio até agosto, equivalentes à estação seca e com nenhuma incidência de nuvens. A escolha deste intervalo foi feita com a intenção de visualizar mais facilmente as áreas de crescimento, com maior tempo hábil para a consolidação de estruturas urbanas.

Utilizando imagens da mesma época do ano há maior correlação de resposta espectral entre as imagens, considerando que, por exemplo, imagens do verão (janeiro a março) apresentam resultados expressivamente diferentes se comparadas a imagens do período próximo do inverno e na própria estação (maio a agosto). Em caso de cobertura de nuvens para os meses delimitados nos anos escolhidos, utilizou-se uma imagem do ano seguinte. Na Tabela 2 são apresentadas as imagens Landsat adquiridas.

Foram também utilizadas imagens do levantamento aerofotogramétrico realizado pela SDS em 2010, obtidas através da plataforma de acesso de dados públicos Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina – SIGSC. Os índices de nomenclatura são SG.22-Z-B-V-3, SG.22-Z-B-V-4, SG.22-Z-D-II-1 e SG.22-Z-D-II-2. Estas serviram para a coleta de pontos em relação às classes de validação dos índices, tópico abordado na seção 4.4.2.

Tabela 2: Imagens Landsat adquiridas.

Data da Imagens	Satélite	Sensor
06/05/1985	Landsat 5	TM
23/05/1991	Landsat 5	TM
18/05/1995	Landsat 5	TM
19/08/2000	Landsat 5	TM
01/08/2005	Landsat 5	TM
15/08/2010	Landsat 5	TM
29/08/2015	Landsat 8	OLI
29/05/2021	Landsat 8	OLI

3.3 CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

Os satélites Landsat, possuindo sensores passivos, necessitam de outra fonte de energia, o Sol. Antes dos raios solares atingirem a superfície e serem em parte absorvidos e parte refletidos até o sensor, existem obstáculos na atmosfera, gases e partículas, que atuam como ruído e modificam o resultado que seria encontrado sem a presença destes elementos. O fenômeno conhecido como espalhamento (difusão ou dispersão) é definido por Zullo Junior (1994, p. 7) como a “mudança aleatória da direção de propagação da radiação solar devido à sua interação elástica com os componentes atmosféricos”.

Dessa forma, é importante realizar a correção atmosférica das imagens obtidas pelo satélite antes de aplica-las ao estudo. Para isso, as imagens Landsat 5 e Landsat 8 foram submetidas ao *plugin Semi-Automatic Classification Plugin* através do SIG QGIS versão 3.10, utilizando como método de correção o DOS1 (*Dark Object Subtraction*).

O DOS, idealizado por Chavez (1989), estima a interferência atmosférica com base nos valores diretos de ND (números digitais) da imagem, sem considerar a absorção da atmosfera. Este método assume que haverá na imagem pixels escuros, relativos a sombras de vegetação, relevo ou nuvens e, assim, estes irão manifestar NDs consideravelmente baixos, de reflectância próxima à 1%. Quando apresentam valores mais altos, devido ao espalhamento atmosférico, estes vão ser acolhidos como pixels de referência. É calculado um histograma dos valores de ND, preferencialmente da banda com o comprimento de onda menor, em que se encontrará um valor de referência dos pixels escuros. Esse valor é utilizado no modelo que irá projetar a correção para a banda em questão, utilizando o ganho calculado em relação à normalização dos pixels escuros e subtraindo do resto da imagem (SANCHES et al., 2011; CHAVEZ, 1989).

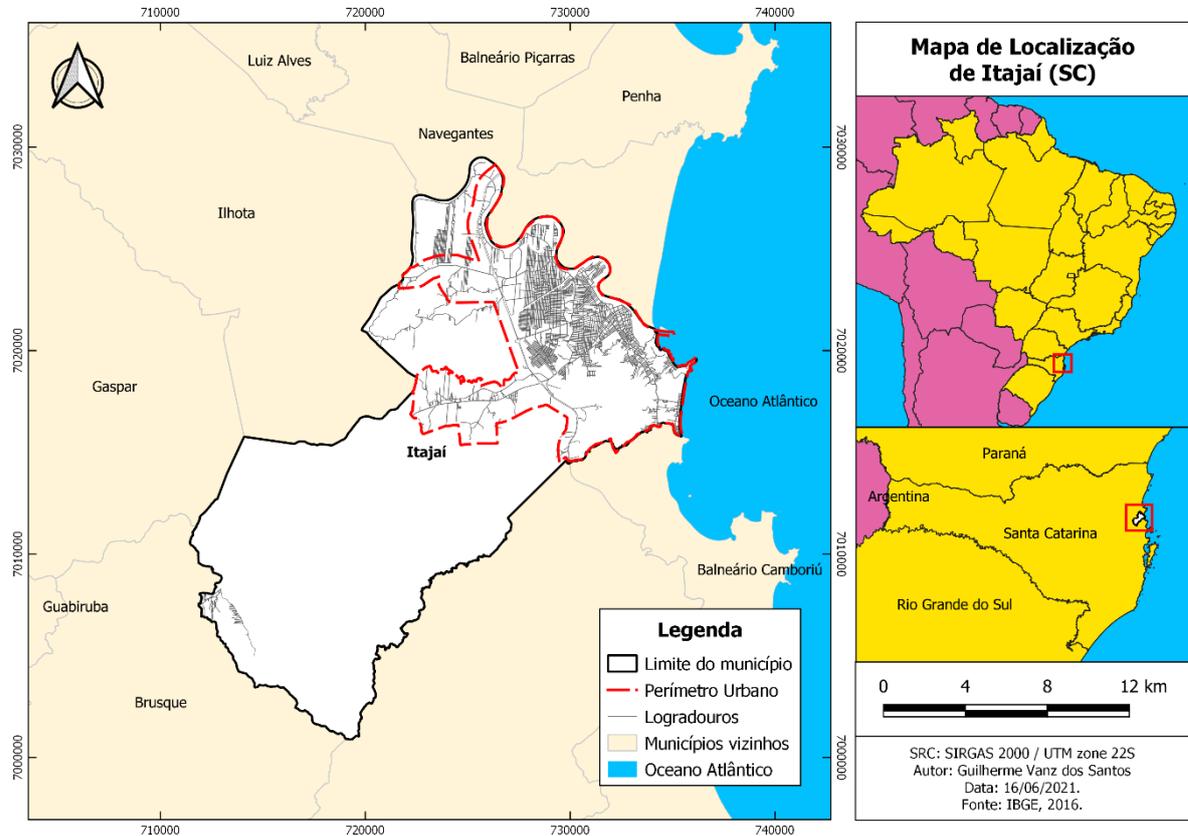
Como saída, além da correção atmosférica, os valores de DN são convertidos para reflectância em TOA, permitindo assim a comparabilidade temporal.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

O município de Itajaí está localizada na porção litorânea do estado de Santa Catarina, dentro da mesorregião do Vale do Itajaí. Possui aproximadamente 289,15 Km² de extensão,

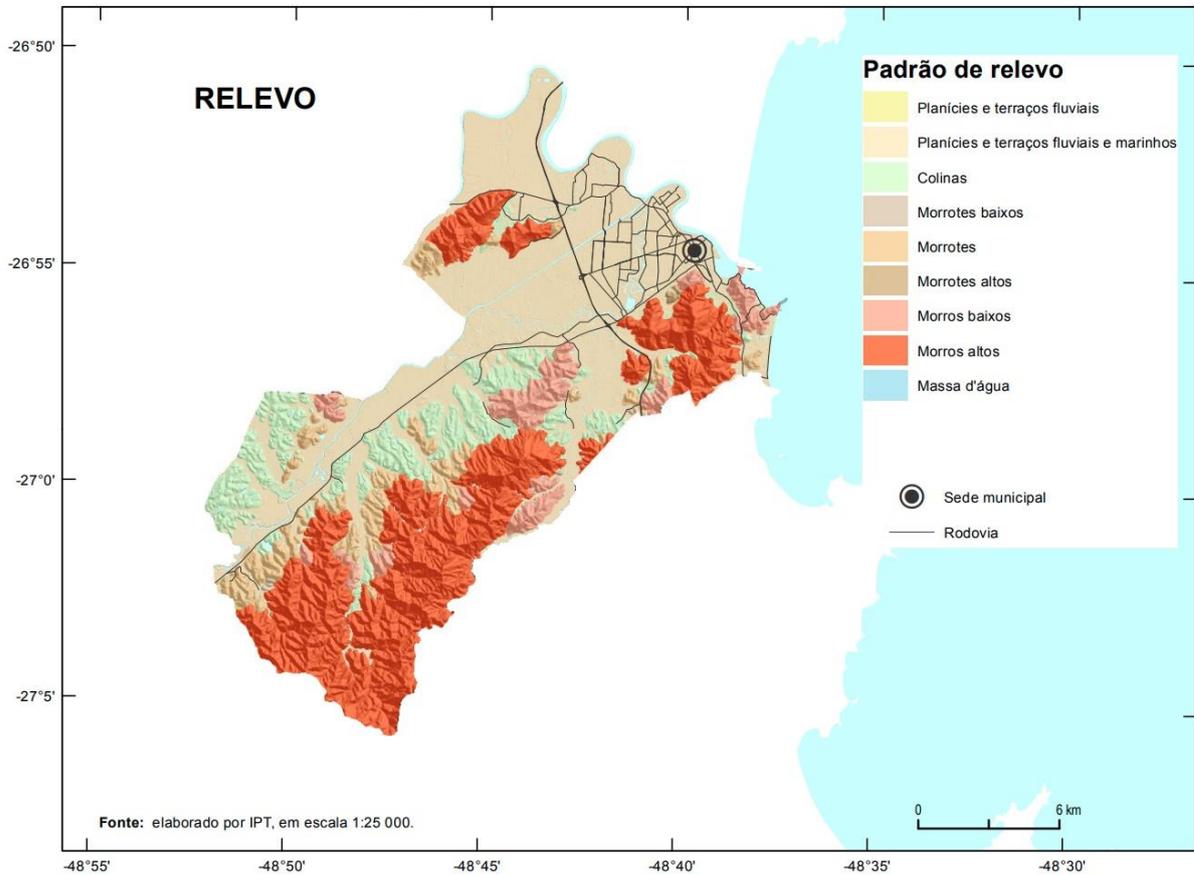
fazendo divisa com Balneário Camboriú, Camboriú, Brusque, Gaspar, Ilhota e Navegantes. A população estimada no ano de 2020 é de 223.112 habitantes (IBGE, 2020).

Figura 2: Mapa de localização de Itajaí (SC).



Se encontra nos limites da conformação geológica do Escudo Catarinense, inserida na zona de Planície Costeira que é majoritariamente composta por depósitos sedimentares quaternários (SCHOREODER, 2006). Em seu território possui predominância geomorfológica de colinas, morros, planícies e terraços fluviais marinhos. Nas áreas de planície prevalecem sedimentos que variam entre cascalhos, areias e argilas. Morros e colinas são substancialmente compostos por quartzitos e metassedimentos síltico-argilosos, com a ocorrência de séries graníticas subcalcinas na porção oeste do município (VIERO e SILVA, 2016). Os dois principais solos dentro do território itajaiense são o Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico e Gleissolo Háplico Distrófico.

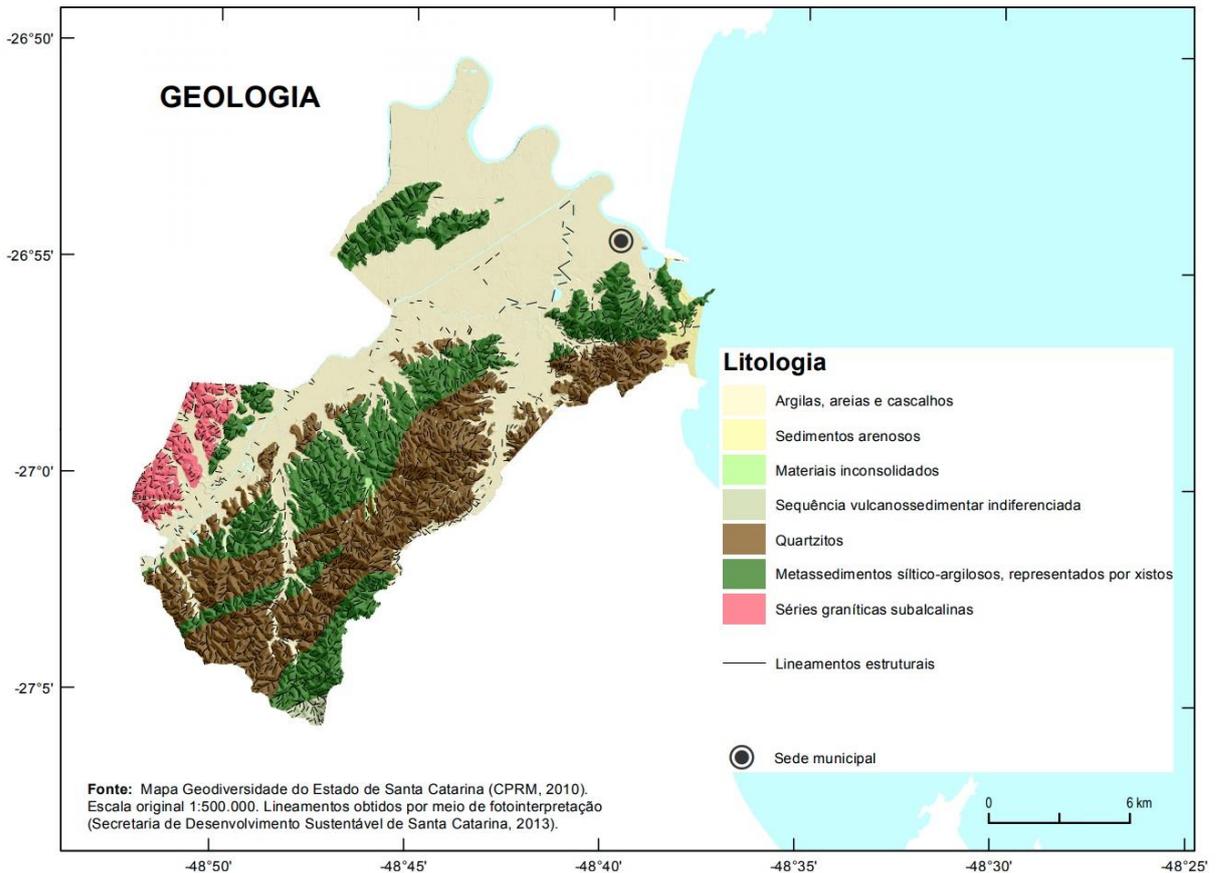
Figura 3: Geomorfologia de Itajaí (SC).



Fonte: IPT, 2015.

De acordo com a classificação Köppen-Geiger, a cidade de Itajaí apresenta clima temperado úmido com verão quente (PEEL et al., 2007). Possui chuvas relativamente bem distribuídas entre as estações, com maior constância e intensidade no verão (Figura 5). Durante o ano tem influência direta das massas de ar Tropical Atlântica e Polar Atlântica. Enquanto a primeira perdura durante o verão, a segunda impera em sua ausência, ascendendo sobre a massa de ar continental. Esta dinâmica, em conjunto com a posição latitudinal, justifica o clima temperado presente na área (MARCUSO et al., 2011).

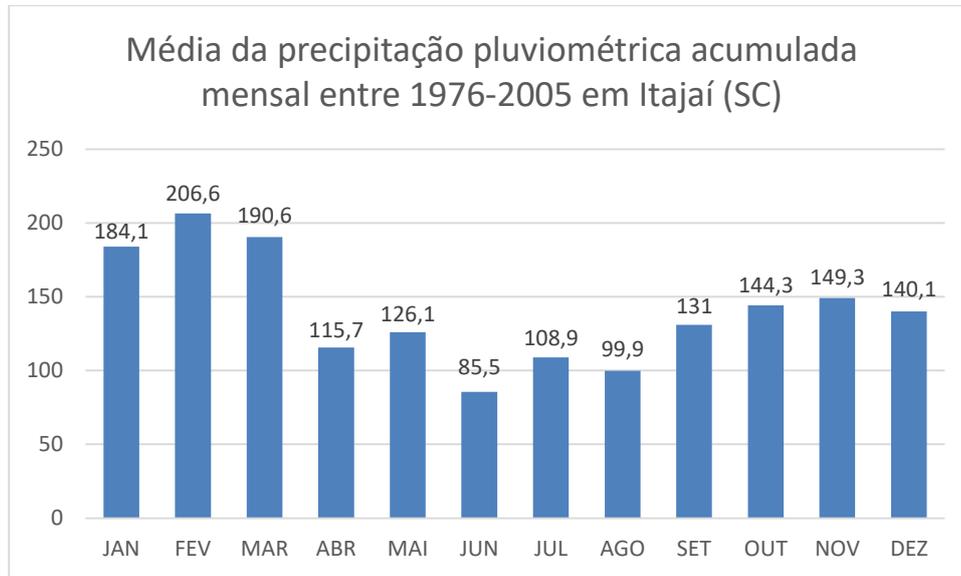
Figura 4: Geologia de Itajaí (SC).



Fonte: IPT, 2015.

Itajaí está localizada dentro da Bacia Hidrográfica do Vale do Itajaí (BHVI), que tem área de aproximadamente 14944 Km² e comporta 72 municípios. A BHVI está integralmente dentro do bioma Mata Atlântica e a vegetação predominante é a de Floresta Ombrófila Densa, com preservação de boa parte da vegetação pioneira do bioma. O destaque no uso antrópico da terra é a agropecuária, sobretudo nas porções sudoeste, centro-norte e nordeste da bacia hidrográfica. O Rio principal é o Itajaí-Açú, que mede 169,91 km lineares e deságua diretamente no Oceano Atlântico, tendo como último destino a cidade de Itajaí (MARCUIZZO et al., 2011). Além do Rio Itajaí-Açú, o Rio Itajaí-Mirim também perpassa o município.

Figura 5: Média da precipitação pluviométrica acumulada mensal.



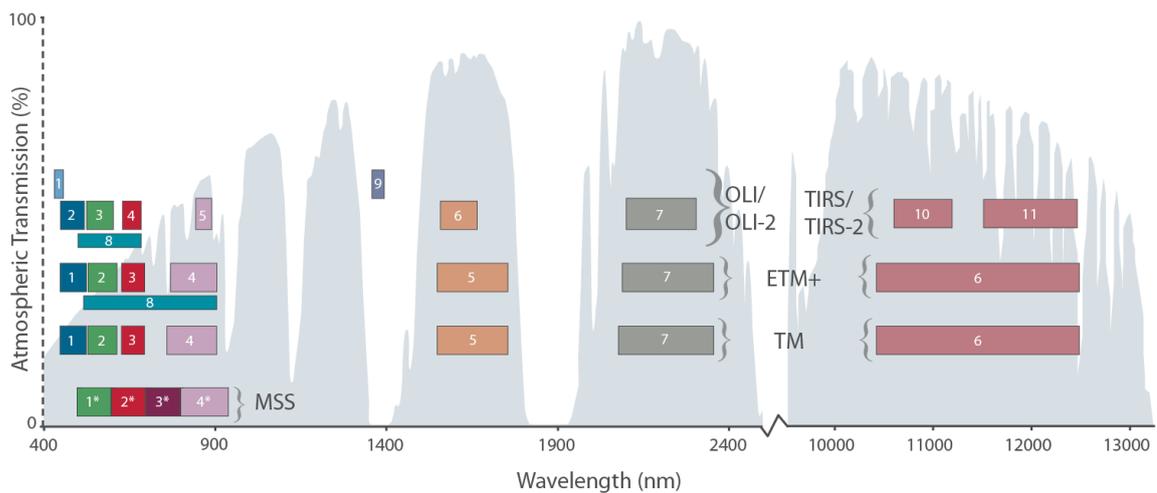
Fonte: adaptado de WREGE et al., 2012.

O município, como também grande parte dos municípios da bacia hidrográfica, é reconhecidamente arremetida por desastres hidrológicos de média e grande intensidade. Esta região do Brasil é uma das mais suscetíveis a sofrer com inundações, atrás apenas do Pantanal brasileiro (MARCUIZZO et al., 2011). Um dos fatores que contribui significativamente para as inundações é a geomorfologia da BHVI, que em sua porção final forma uma grande depressão que atua como uma piscina natural, acumulando a água que fica sem outro lugar para escoar ao passo que o solo não consegue absorvê-la por sua saturação e forte impermeabilização (SANTOS, 2010; MARCUIZZO et al., 2011). Esta impermeabilização do solo na área de estudo é sustentada por vários fatores, dentre os quais a geomorfologia de área de várzea, a pedologia de baixa impermeabilidade, o mal uso da terra para fins agropecuários e, nos centros urbanos, pela própria estrutura da cidade (BRAUN, VIBRANS e PINHEIRO, 2008; FLORES, PELLERIN e ÉGAS, 2009). Além disso, igualmente importante é o contexto de distribuição de precipitação dentro da bacia hidrográfica, que concentra grande parte do volume de chuvas entre os meses de janeiro, fevereiro e março (vide Figura 5), aumentando o risco de inundações (NERY, BALDO e MARTINS, 2000).

3.5 ANÁLISE DO MELHOR ÍNDICE PARA O MAPEAMENTO

Para a aplicação dos índices, neste estudo, foram utilizadas imagens de dois sensores diferentes, ambos do programa Landsat: imagens TM do satélite Landsat 5 entre os anos de 1985 e 2010 e imagens OLI do Landsat 8 entre os anos de 2015 e 2021. Houve a necessidade de utilizar dois satélites diferentes devido a descontinuação do Landsat 5 durante o ano de 2011. É relevante salientar que estes dois sensores, apesar de possuírem a mesma resolução espacial, possuem diferenças no número de bandas disponíveis (Figura 6) e no intervalo do comprimento de onda de cada uma delas (Figura 7). Essa diferença também pode ser visualizada no Quadro 1. Assim, os sensores possuem resolução espectral e radiométricas diferentes.

Figura 6: Bandas e intervalos de comprimento de onda para cada sensor.



Fonte: NASA, 2021.

Figura 7: Exemplo de diferença radiométrica entre os sensores TM (Landsat 5) e OLI (Landsat 8).



Quadro 1: Bandas, intervalos de comprimento de onda e resolução espacial para cada sensor.

Sensor TM (Landsat 5)			Sensor OLI (Landsat 8)		
Bandas	Comprimento de onda (micrômetros)	Resolução espacial (metros)	Bandas	Comprimento de onda (micrômetros)	Resolução espacial (metros)
Banda 1 – Azul	0,45-0,52	30	Banda 1 – Aerosol	0,43-0,45	30
Banda 2 – Verde	0,52-0,60	30	Banda 2 – Azul	0,45-0,51	30
Banda 3 – Vermelho	0,63-0,69	30	Banda 3 – Verde	0,53-0,59	30
Banda 4 – Infravermelho próximo (NIR)	0,76-0,90	30	Banda 4 – Vermelho	0,64-0,67	30
Banda 5 – Infravermelho de onda curta 1 (SWIR-1)	1,55-1,75	30	Banda 5 – Infravermelho próximo (NIR)	0,85-0,88	30
Banda 6 – Infravermelho termal	10,4-12,5	120	Banda 6 – Infravermelho de onda curta 1 (SWIR-1)	1,57-1,65	30
Banda 7 - Infravermelho de onda curta 2 (SWIR-2)	2,08-2,35	30	Banda 7 – Infravermelho de onda curta 2 (SWIR-2)	2,11-2,29	30
			Banda 8 – Pancromática	0,50-0,8	15
			Banda 9 – Cirrus	1,36-1,38	30
			Sensor TIRS (Landsat 8)		

Banda 10 – Infravermelho termal 1 (TIRS-1)	10,60-11,19	100
Banda 11 – Infravermelho termal 2 (TIRS-2)	11,50-11,51	100

Fonte: adaptado de SILVA, 2012 e CARREL, 2019.

Os índices espectrais avaliados foram: *Enhanced Built-Up and Bareness Index* (EBBI), *Normalized Difference Built-Up Index* (NDBI), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Urban Index* (UI). Todos estes possuem valores entre 1 e -1. Para validação foram utilizadas ortofotos do Levantamento Aerofotogramétrico disponibilizado no Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIGSC), mediante comparação de pontos coletados nesta fonte em relação à classificação pelos índices. A Tabela 3 ilustra as equações para cada respectivo índice espectral. Para a análise comparativa entre os índices, foi escolhida apenas uma imagem dentre as selecionadas para o estudo para a aplicação dos índices. Tendo em vista que as imagens de alta resolução do levantamento aerofotogramétrico foram feitas no ano de 2010, é coerente usar a imagem de Landsat do mesmo ano, neste caso a de 15/08/2010 (sensor TM).

Tabela 3: Equações dos índices espectrais e bandas utilizadas em imagens Landsat 5 e Landsat 8.

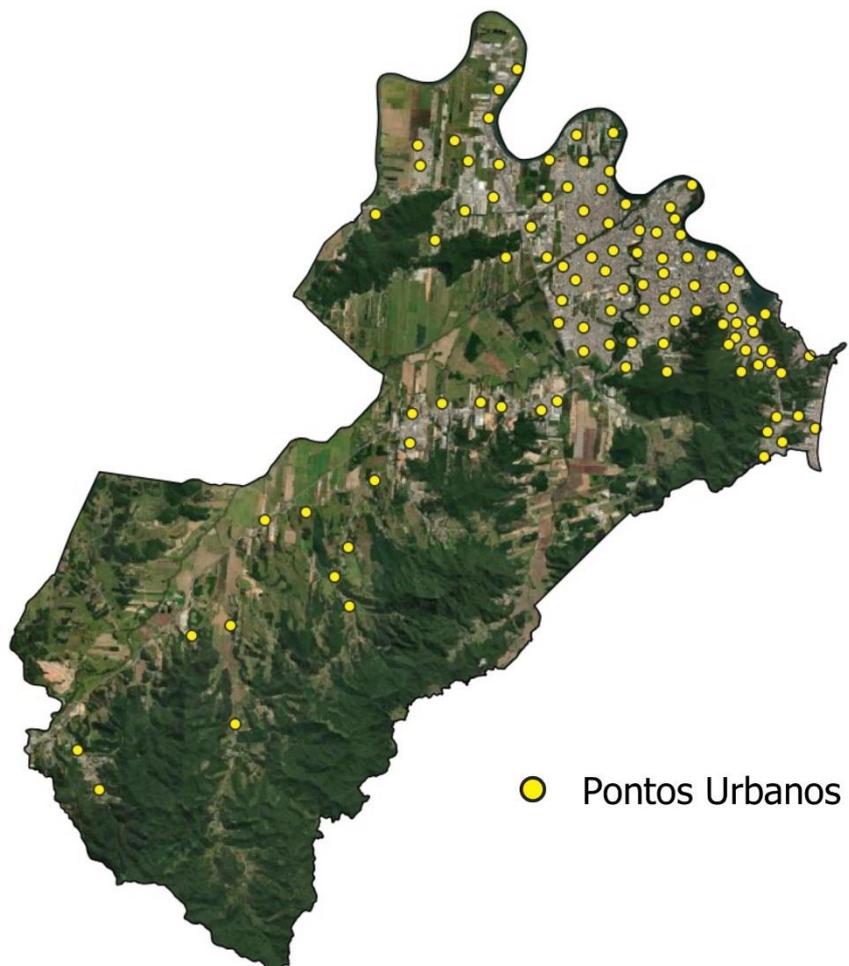
Índice espectral	Equação	Bandas (L5)	Bandas (L8)
<i>Enhanced Built-Up and Bareness Index</i> (EBBI)	$EBBI = \frac{SWIR-1 - NIR}{10\sqrt{SWIR-1 + NIR}}$	4, 5 e 6	5, 6 e 10
<i>Normalized Difference Built-Up Index</i> (NDBI)	$NDBI = \frac{SWIR-1 - NIR}{SWIR-1 + NIR}$	4 e 5	5 e 6
<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI)	$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	3 e 4	4 e 5
<i>Urban Index</i> (UI)	$UI = \frac{SWIR-2 - NIR}{SWIR-2 + NIR}$	4 e 7	5 e 7

3.5.1 Calibração dos índices

Para encontrar os valores correspondentes às estruturas urbana em cada índice, foram coletados 102 pontos (Figura 8) que foram utilizados para extrair os resultados na imagem Landsat escolhida para a aplicação dos índices. As estruturas urbanas foram identificadas nas imagens de alta resolução do levantamento aerofotogramétrico da SDS, realizado no ano de 2010. Além da validação do índice por meio de pontos de uma imagem de melhor resolução, os resultados de cada índice foram comparados com os dados da classe urbana do MapBiomias.

Foram escolhidas apenas duas classes: urbano e não-urbano. A fins de comparação, as classes do mapa original do MapBiomias foram reduzidas às mesmas da aplicação deste estudo, urbano e não-urbano. Na imagem Landsat, utilizou-se para a classificação da classe urbano os valores máximos e mínimos de cada índice, coletados entre os 102 pontos.

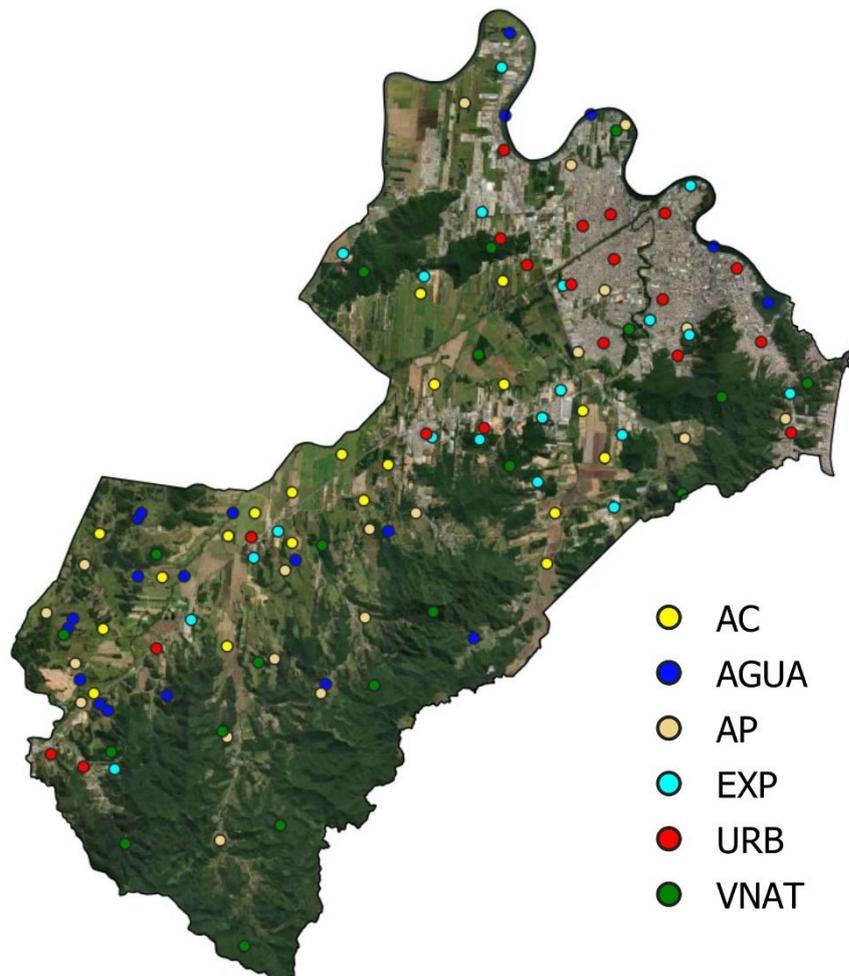
Figura 8: Distribuição dos pontos da classe urbana.



3.5.2 Validação e escolha do índice

Para validar os resultados obtidos de cada índice foi realizada uma nova amostragem de pontos, utilizando novamente como referência o levantamento aerofotogramétrico da SDS de 2010. Determinou-se seis classes: agricultura (AC), massa d'água (AGUA), área de pastagem (AP), solo exposto (EXP), área urbana (URB) e vegetação (VEG). Todas as classes determinadas nesta etapa possuem a mesma quantidade de pontos, 20. Etiketando os pontos com suas respectivas classes, pôde-se identificar qual(is) classe(s) os índices estão errando ou acertando mais. Esta validação também foi realizada para o mapa de dados de referência (MapBiomias).

Figura 9: Pontos de validação das classes.



3.6 DELIMITAÇÃO DA MANCHA DE INUNDAÇÃO

A delimitação da mancha de inundação em Itajaí foi feita através dos mapas de levantamento de enchente disponibilizados pela Defesa Civil de Itajaí. A conjunção entre as manchas de inundação dos eventos de 1983, 1984, 2001, 2008 e 2011 (todos os que estão disponíveis via online) resultou na área suscetível ao desastre que este estudo adotou para a análise.

Para isso, os mapas referentes aos cinco anos foram primeiramente georreferenciados através do SIG. Em seguida, as manchas de inundação foram vetorizadas manualmente de forma individual. A escala adotada para a vetorização foi de 1:10.000, conservando, desta forma, o nível de detalhamento dos mapas. Por fim, os 5 produtos da vetorização foram dissolvidos em uma única camada resultante, representando as áreas suscetíveis à inundação.

3.7 APLICAÇÃO DO ÍNDICE ESCOLHIDO NAS IMAGENS

Após a análise de qual índice possui o maior acerto e menor erro em identificar a área urbana, o mesmo foi aplicado às imagens adquiridas para o recorte temporal do estudo, entre 1985 e 2021. Sabendo do intervalo da classe urbano adquirido durante a etapa de classificação, a imagem é reclassificada para que a todos os pixels dentro desse *range* sejam atribuídos à classe urbano, enquanto os demais são classificados como não-urbano.

A partir desta classificação, é possível efetuar o cálculo da área, utilizando como parâmetro a resolução espacial da imagem Landsat. Sabendo que cada pixel possui uma área de 30 m por 30 m, faz-se a multiplicação da quantidade de pixels de cada classe por 900 m². Tendo em vista que o arquivo matricial do mapa de uso da terra de referência (MapBiomias) possui a mesma resolução espacial, o cálculo de área foi feito da mesma forma.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESCOLHA DO ÍNDICE MAIS EFICIENTE

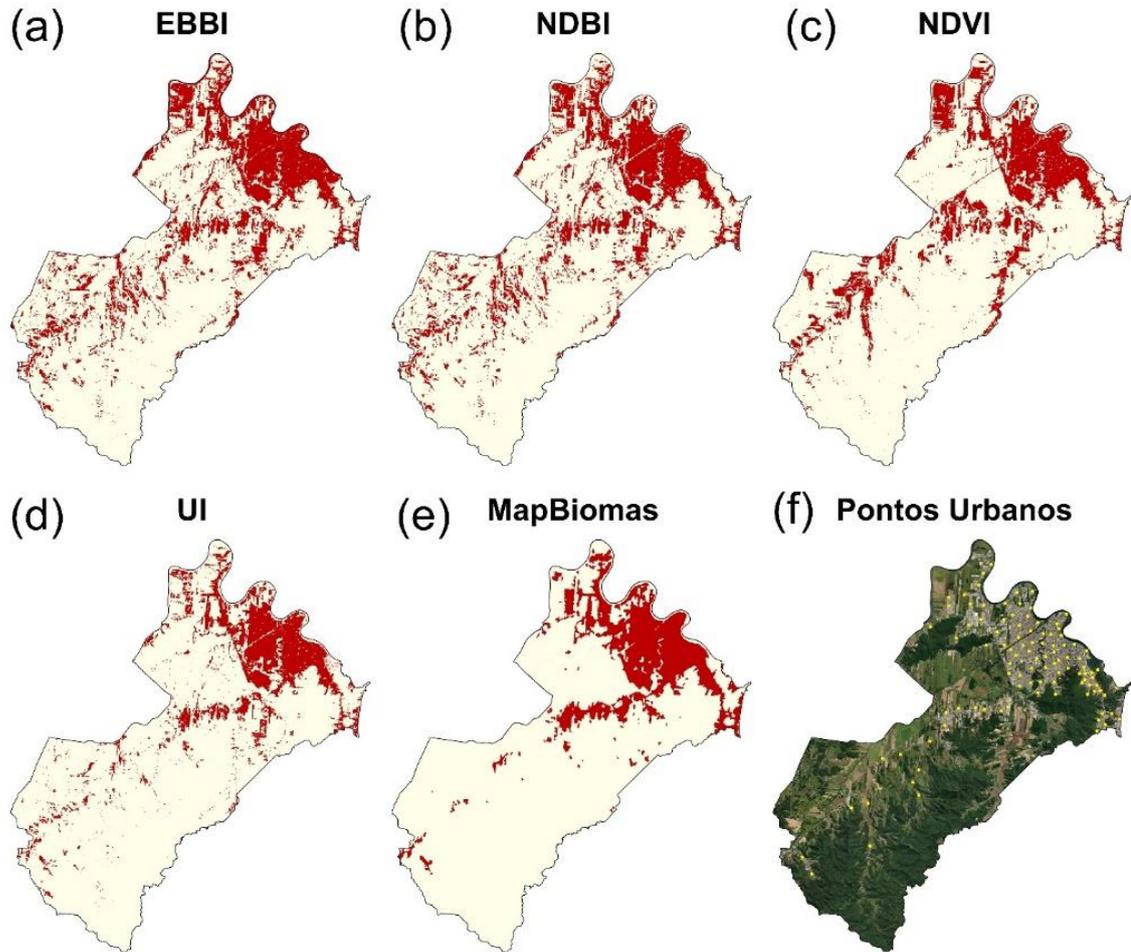
Ao extrair os valores de cada índice espectral para os 102 pontos coletados em áreas urbanas na imagem de alta resolução do levantamento aerofotogramétrico, pôde-se determinar os valores limite para a classe urbano em cada um. A Tabela 4 ilustra esses valores.

Tabela 4: Valores de máximo e mínimo para a classe urbano em cada índice.

Índice	Máximo	Mínimo
EBBI	0,077390082	-0,024702895
NDBI	0,330005139	-0,094142884
NDVI	0,311287046	-0,026089812
UI	0,287605822	-0,225405037

Dados os parâmetros para cada uma das duas classes, realizou-se a classificação da imagem Landsat. Em seguida, para melhor análise, a área da imagem foi recortada para os limites da cidade de Itajaí. Dessa forma, foram gerados 4 espacializações das classes urbano e não-urbano para o município, além do mapa de referência de uso da terra do MapBiomas adaptado para uma primeira comparação. A Figura 10 contém as classificações geradas pelo (a) EBBI, (b) NDBI, (c) NDVI, (d) UI, (e) o dado de referência e a localização e (f) os pontos utilizados para a delimitação dos valores máximos e mínimos, com a classe urbano em vermelho e não urbano em amarelo-claro. Visualmente pode-se notar grandes similaridades entre os índices EBBI e NDBI, ao passo que o UI se destaca como mais próximo do mapa de referência.

Figura 10: Classificação dos índices, mapa do MapBiomias e pontos urbanos utilizados.



Quanto aos valores de área para cada classe, observa-se novamente uma expressiva semelhança do índice UI com o dado de referência. Ao mesmo tempo, em comparação aos anteriores, o EBBI e o NDBI estão sobrestimando a classe urbano. O NDVI tem resultados até então medianos, mas que ainda não se aproximam de forma relevante do MapBiomias.

Tabela 5: área em Km² para as classes urbano e não urbano.

Índice	Urbano (Km ²)	Não-urbano (Km ²)
EBBI	72,74	216,39
NDBI	67,95	221,18
NDVI	59,85	229,33
UI	47,16	243,93
MapBiomias	48,95	240,25

Para compreender essas diferenças e calcular a acurácia de cada um dos índices foi feito um novo conjunto de pontos, intencionando validar os resultados obtidos. Para isto, a aplicação das seis classes – agricultura (AC), água (AGUA), área de pastagem (AP), solo exposto (EXP), área urbana (URB) e vegetação natural (VNAT), cada uma com 20 pontos – foi realizada, possibilitando identificar quais classes são mais passíveis de acerto e erro em cada um dos índices. A classe URB foi atrelada à validação da classe Urbano da primeira parte, enquanto o restante das classes foram atribuídas a Não-urbano. Abaixo, a Figura 11 e o Quadro 4 ilustram os produtos desenvolvidos nesta etapa.

Em primeiro lugar é importante apontar que mesmo o dado de referência utilizado neste trabalho (MapBiomias) não atingiu o nível mais alto possível de acurácia. É possível observar que a classe que foi responsável pela redução na precisão do dado, além da própria validação de todos os índices aplicados, é a de solo exposto. As proposições de alguns índices como o NDBI e o EBBI estão atreladas a identificação, além das estruturas urbanas, do solo exposto, entendido como parte inicial de uma consequente expansão urbana (AS-SYAKUR, 2012; MACAROF e STATESCU, 2017). O fato deste trabalho ter adotado a classe solo exposto como não-urbano reflete diretamente nos resultados. Esta escolha se justifica na significativa presença de áreas de pecuária e cultivo no município, sobretudo de arroz, o que gera confusão espectral de uma considerável parte da área agrícola com áreas urbanas.

Além da classe de solo exposto, outras três apresentaram maior ocorrência de confusão espectral em determinados índices: água, área de pastagem e agricultura. Os índices EBBI e NDVI classificaram mais de 50% dos pontos de validação da classe água como área urbana. A área de pastagem causou maior número de erros nos índices EBBI e NDBI, variando entre 35% e 40% dos pontos em confusão com o urbano. A classe de agricultura afetou os resultados negativamente para EBBI, NDBI e especialmente para NDVI, que é um índice tipicamente usado para vegetação e saúde de cultivos e, por isso, é mais sensível à resposta dos talhões, sobretudo falhados e com preparo de solo (ALVARES et al., 2013). Destaca-se o índice UI, que teve confusão espectral apenas na classe de solo exposto e se aproximou muito da acurácia do MapBiomias.

Classes que, de modo geral, tiveram bons resultados foram área urbana e vegetação natural. Estas possuem respostas bastante específicas e, portanto, menor probabilidade de confusão, superando 95% de acerto em todos os índices. Abaixo a Tabela 6 traz a porcentagem de acerto em cada classe e a acurácia total em relação ao município de Itajaí.

Figura 11: Número de acertos e erros por classe: a) EBBI, b) NDBI, c) NDVI, d) UI, e) fonte de dados de referência



Tabela 6: Acurácia dos índices por classe e média.

Classe	EBBI	NDBI	NDVI	UI	MapBiomias
AC	75%	70%	40%	85%	100%
AGUA	30%	100%	50%	90%	100%
AP	65%	60%	100%	100%	100%
EXP	15%	10%	0%	15%	20%
URB	95%	95%	100%	95%	100%
VNAT	100%	100%	100%	100%	100%
Média	63,33%	72,5%	65%	80,83%	86,66%

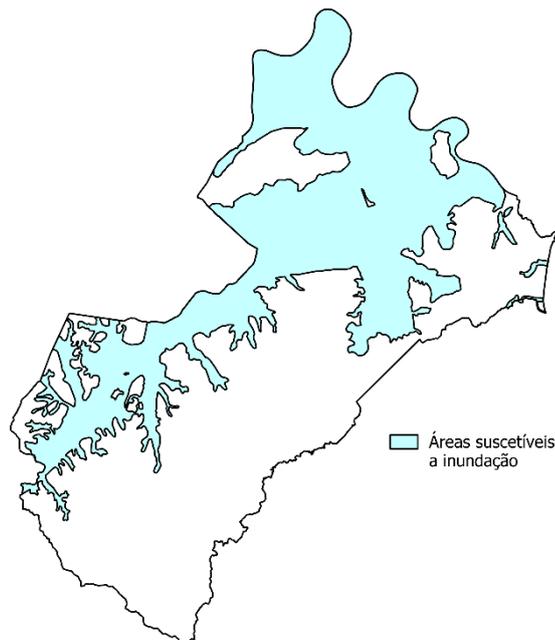
Com base na análise realizada para os quatro índices, o mais bem qualificado para identificar as estruturas urbanas na cidade de Itajaí é o *Urban Index* – UI, ao apresentar a melhor acurácia na maior parte das classes de verificação e em geral maior consistência. Este foi então aplicado nas demais imagens do recorte temporal desta pesquisa para classificação da área urbana e cálculo das taxas de crescimento urbano para dentro e fora das áreas suscetíveis à inundações.

4.2 MANCHA DE INUNDAÇÃO

Somadas as áreas suscetíveis à inundações de cinco grandes desastres no município, a área total da mancha de inundações totalizou 121,8 km², cerca de 42% da área total de Itajaí (289,3 km²). A Figura 12 exibe mancha de inundações em relação ao município.

Ao comparar com o dado mais recente de uso urbano para Itajaí, o mapa de uso do MapBiomas para o ano 2019, tem-se que aproximadamente 80% das estruturas urbanas estão dentro de áreas suscetíveis à inundações. Essa informação, que é expressiva, dá base para os grandes números dos desastres naturais que eventualmente acontecem no Vale do Itajaí.

Figura 12: Áreas suscetíveis à inundações em Itajaí.



Nota-se que a mancha de inundação tem relação com a geomorfologia do município, admitindo o fato de que está quase que sobreposta às áreas de planície e terraços fluviais, como se pode observar na Figura 3 (página 26). Estas unidades, onde tipicamente ocorre a deposição de sedimentos advindos da plataforma continental, possuem as mais baixas cotas, que por fim encontram o mar na costa. Enquanto isso, nas áreas de morros e montanhas, a média de declividade é consideravelmente elevada, tanto para Itajaí quanto para o Vale como um todo. O tipo de solo mais impermeável, por ser predominantemente de característica rochosa nas áreas mais altas, somado a declividade, resulta em condições que agravam os riscos de inundação no município.

A ocupação histórica do Vale do Itajaí como um todo segue um padrão de proximidade aos corpos hídricos e de baixa declividade, dado que essas condições de modo geral facilitavam as atividades econômicas e a edificação das estruturas citadinas (SANTOS, 2010). Esse modelo de ocupação desconsiderou, desde o princípio, a eminência de inundações e desastres advindos das características climáticas locais, mesmo com eventos alertando para esse cenário ainda durante a colonização. Acrescentando-se a esta conjuntura, os rios tributários determinaram a instalação de novos núcleos de povoamento, consolidando, dessa forma, a influência dos corpos d'água na formação da malha urbana da região (MATTEDI, 1994; SIEBERT, 2009).

Com planos diretores falhos, as cidades do Vale do Itajaí só tiveram a primeira sanção para a prevenção dos desastres de inundação no fim da década de 1980, em que, no caso blumenauense, proibiu-se edificar abaixo da cota de 10 metros. Desde então se desenvolveu um modelo de verticalização das habitações, direcionado às classes média e alta, que, por exemplo, passaram a utilizar os primeiros pisos como garagem e salão de festas (SIEBERT, 2009). Para as classes baixas, sem acesso à habitações legalizadas e de baixo custo, a solução foi ocupar a beira dos rios e morros. O grande crescimento populacional que se inicia nos anos 1970 e o agravamento da condição socioeconômica da população com o contexto de mundo globalizado e escassez de empregos nos anos 1990 culmina em uma crise socioambiental, determinada por construções em áreas de risco, sem drenagem e com a remoção não controlada da vegetação, condições mais que suficientes para a intensificação da recorrência e intensidade de desastres (SIEBERT, 2009, SANTOS, 2010).

4.3 TAXAS DE CRESCIMENTO URBANO

Feito o procedimento de aplicação do *Urban Index* nas imagens, pôde-se obter os números de área das classes urbano e não urbano para o município de Itajaí, que estão discriminados na Tabela 7. As Figuras 13 e 14 ilustram a espacialização dos dados para cada ano. Nas Figuras 15, 16 e 17 é possível visualizar o crescimento urbano no município.

Tabela 7: Áreas do uso do solo no município de Itajaí por ano.

Ano	Urbano (km²)	Não urbano (km²)
1985	20,5	268,8
1991	22,5	266,8
1995	44,3	245,1
2000	83,8	205,5
2005	37,3	252,0
2010	44,1	245,3
2015	46,3	243,0
2021	50,5	238,8

Figura 13: Uso urbano identificado pelo UI em Itajaí entre 1985 e 2000.

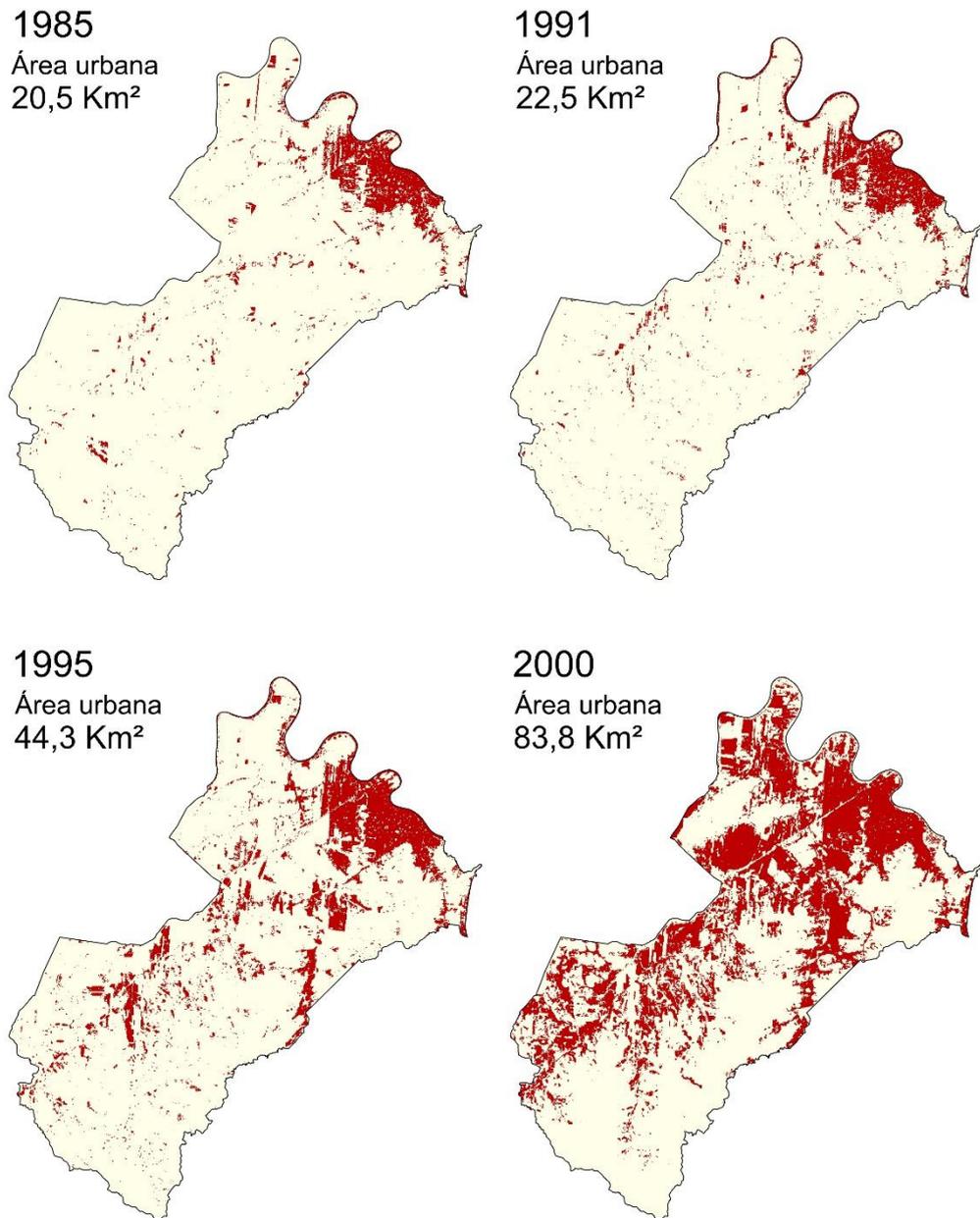


Figura 14: Uso urbano identificado pelo UI em Itajaí entre 2005 e 2021.

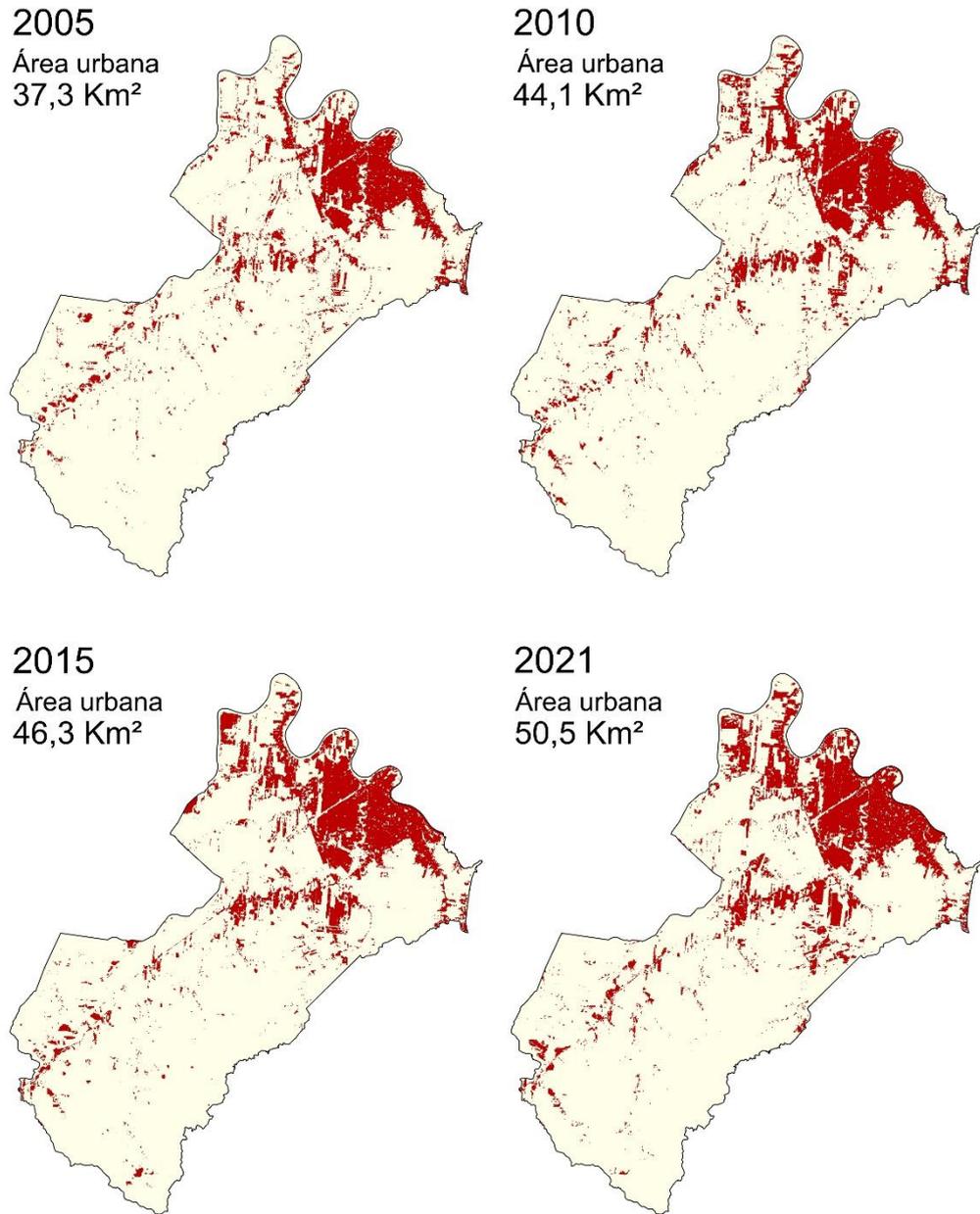


Figura 15: Sobreposição do uso urbano identificado pelo UI em Itajaí entre 1985 e 2000.

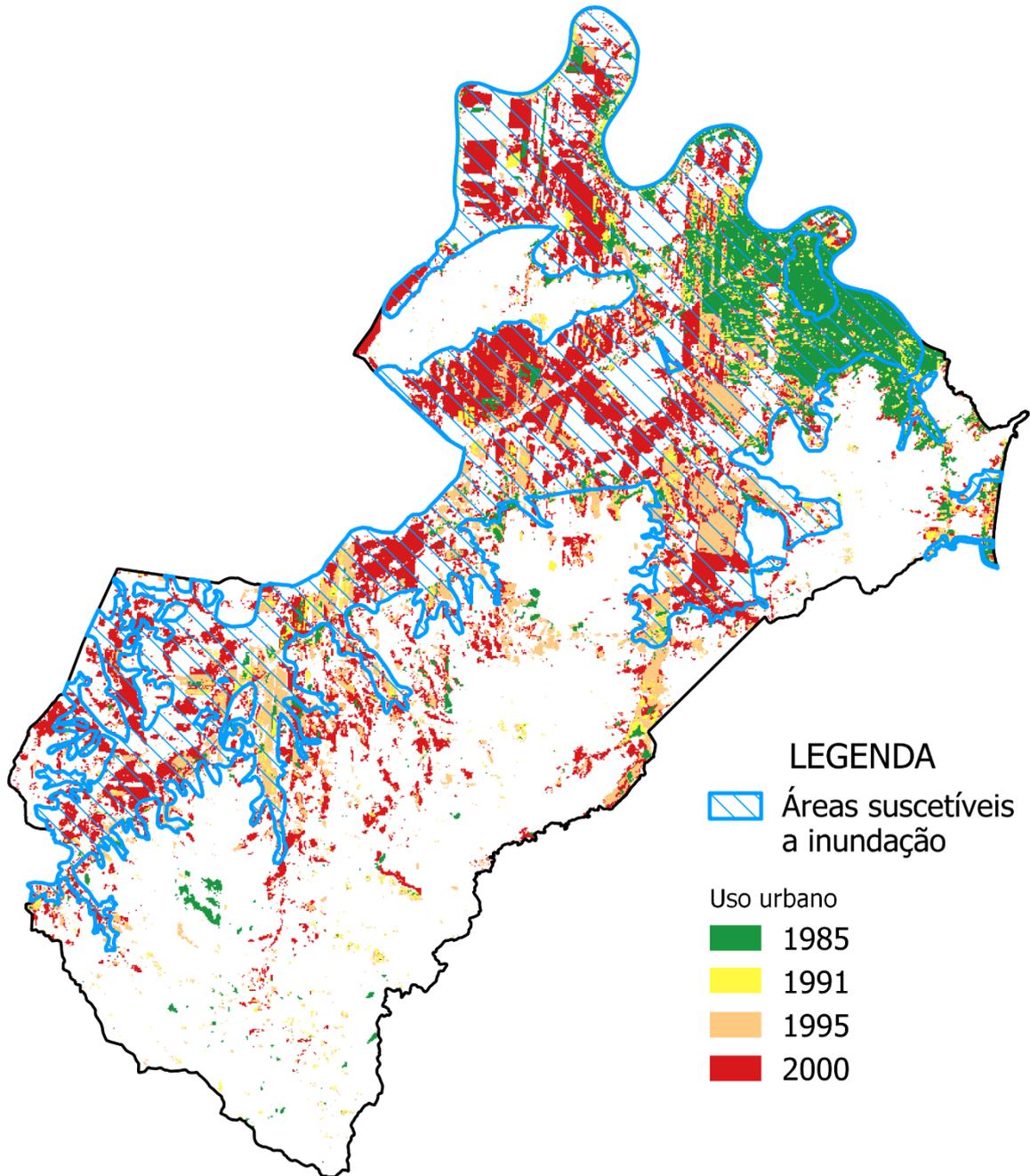


Figura 16: Uso urbano identificado pelo UI em Itajaí entre 2005 e 2021.

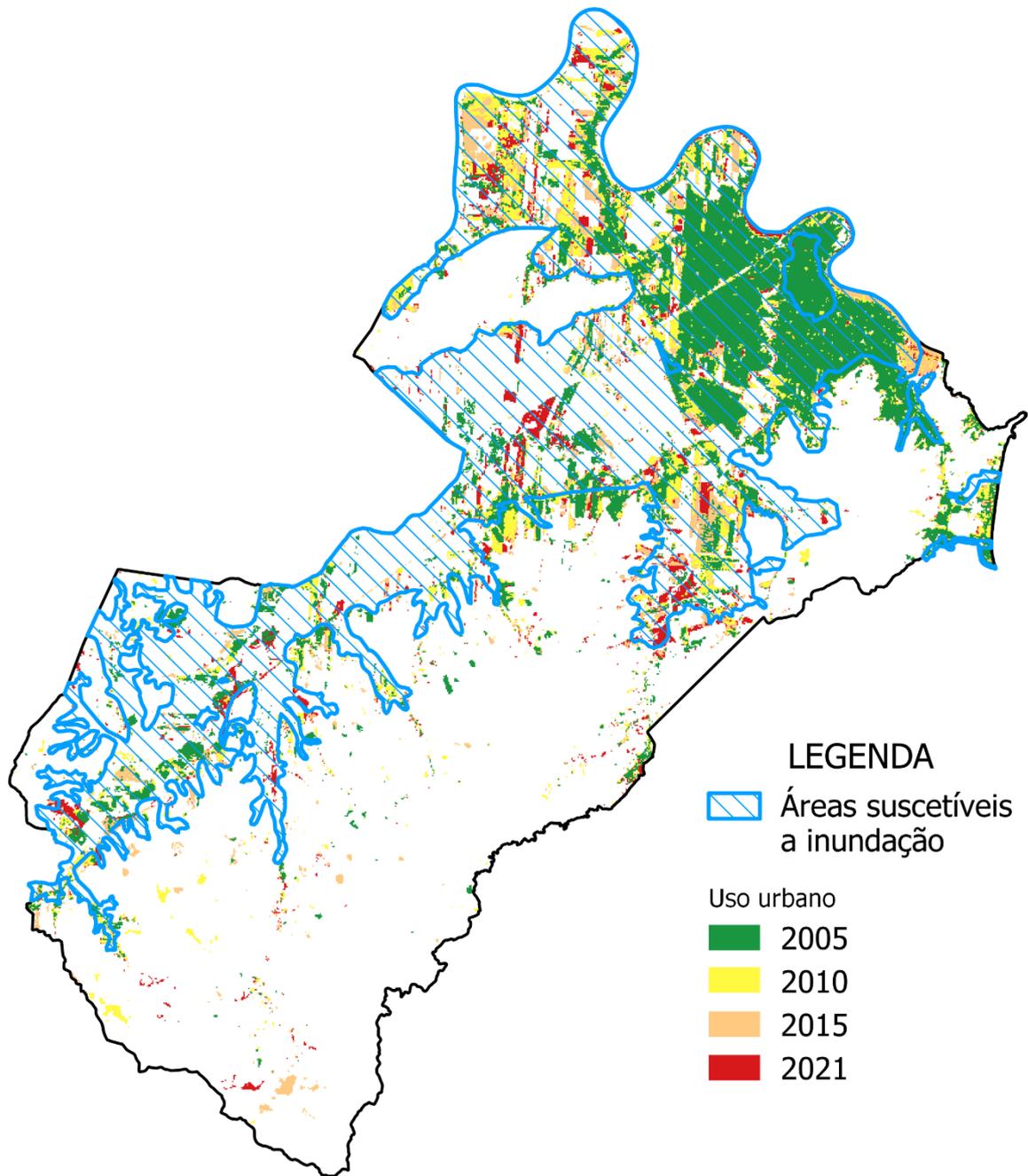
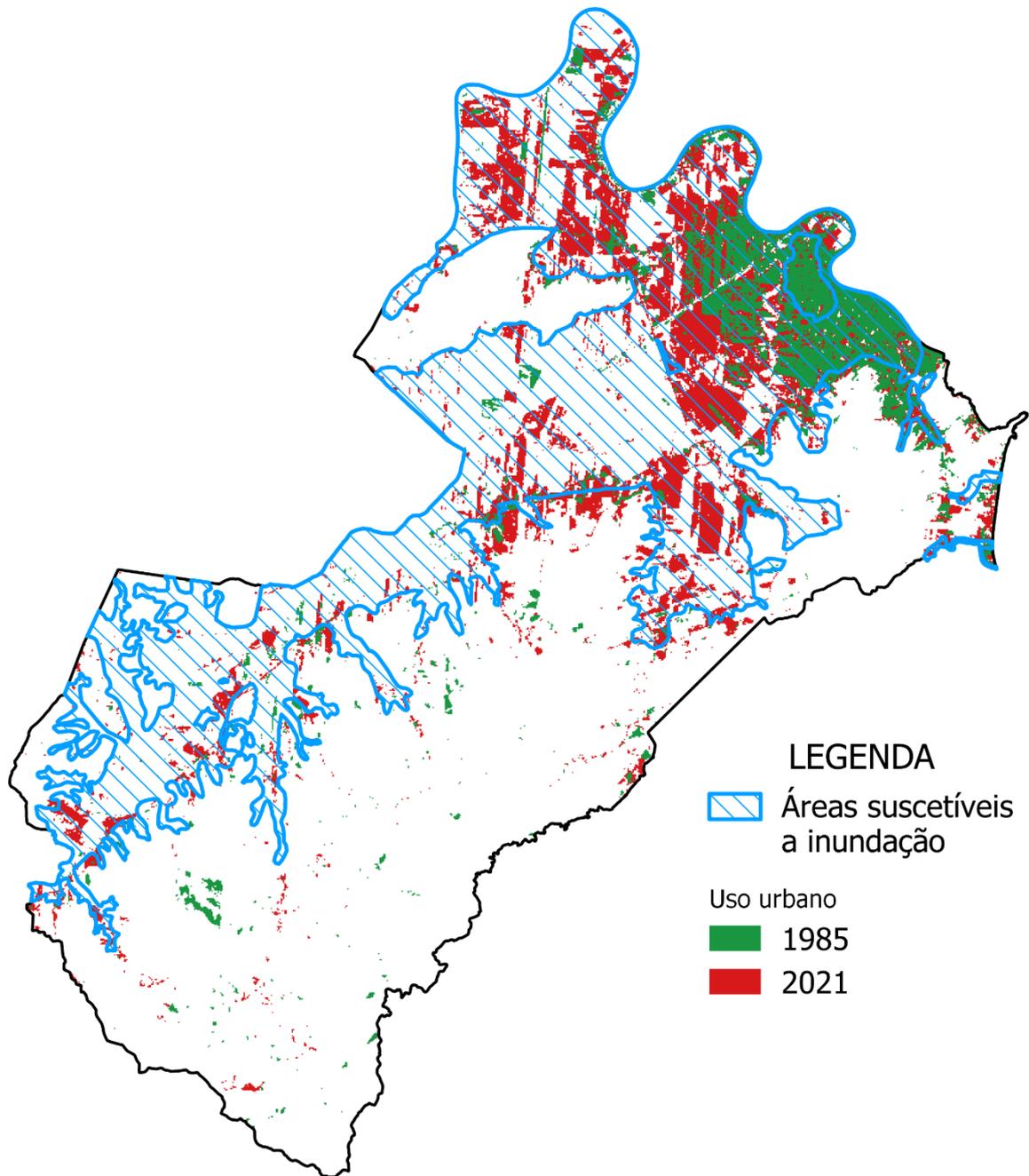


Figura 17: Uso urbano identificado pelo UI em Itajaí em 1985 e 2021.



Ao comparar os dados encontrados com os do mapeamento de referência do MapBiomias, identificou-se uma quebra do padrão esperado para os números, ficando evidente uma tendência irregular para os anos de 1995 e 2000 no gráfico ilustrado na Figura 18. Ao comparar com os dados de crescimento populacional disponibilizados pelo IBGE, a mesma irregularidade pôde ser identificada (Figura 19).

Figura 18: Uso urbano (km²) classificado em Itajaí por ano em relação ao MapBiomias.

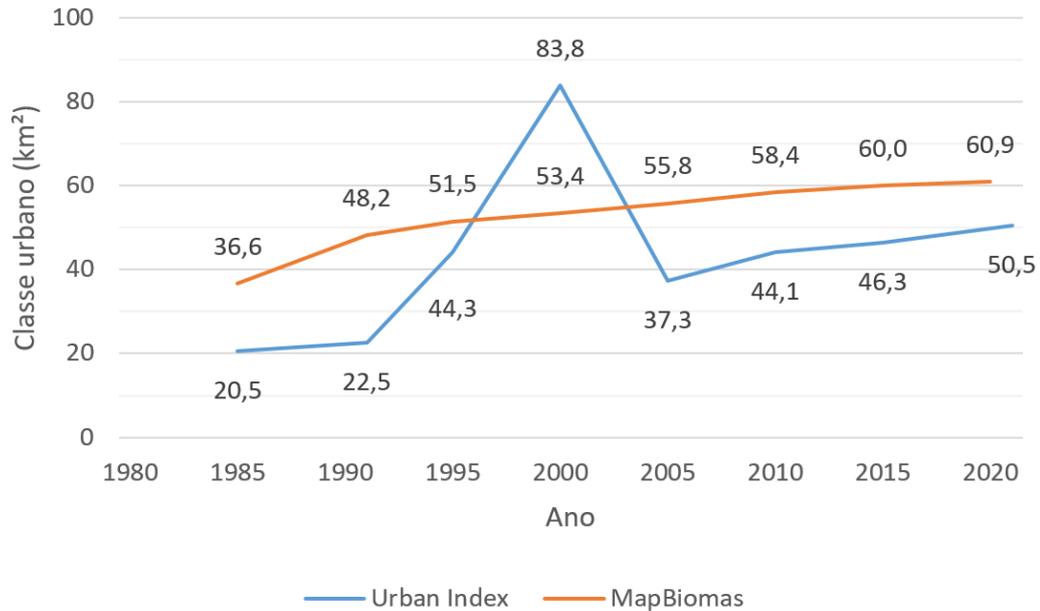
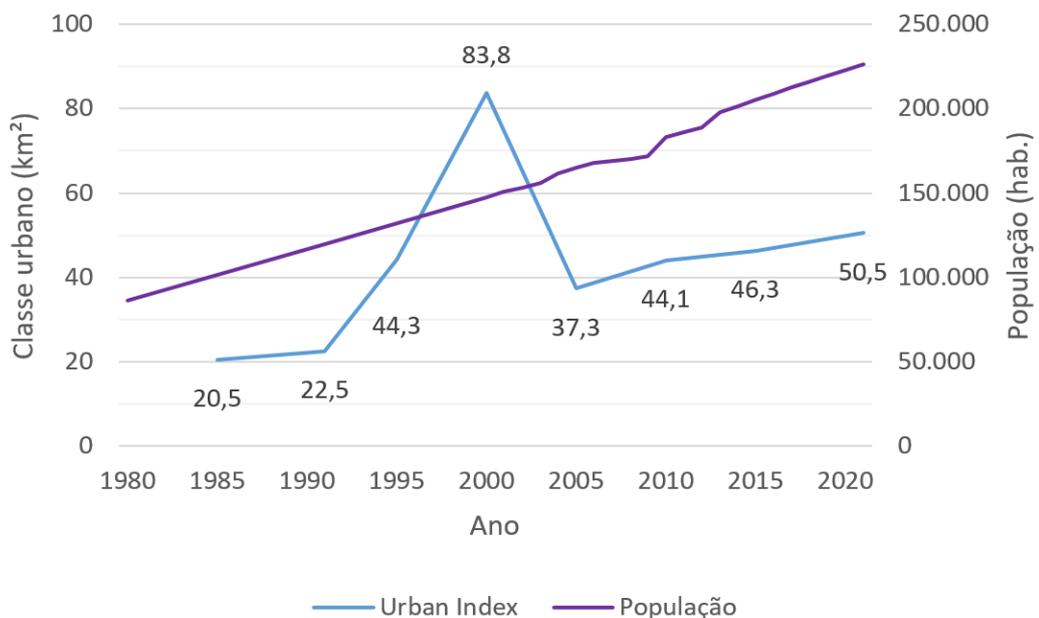


Figura 19: Uso urbano (km²) classificado em Itajaí por ano em relação a demografia.



Para investigar a inconsistência, a primeira hipótese levantada logo se confirmou, em que especificamente nas imagens desses dois anos havia um número acima do normal de áreas de manejo do solo agrícola na porção rural do município para a época do ano. Confirmou-se esta constatação ao comparar as imagens Landsat com a composição do espectro visível (RGB), em que é possível observar a ausência da cobertura vegetal em várias áreas do município na imagem do ano 2000 (Figura 20), enquanto que na imagem de 2005 (Figura 21), que segue o padrão esperado na identificação das estruturas urbanas, a vegetação é facilmente identificável.

Figura 20: Imagem Landsat 5 (RGB) de Itajaí do ano 2000 (esquerda) e o UI aplicado (direita).

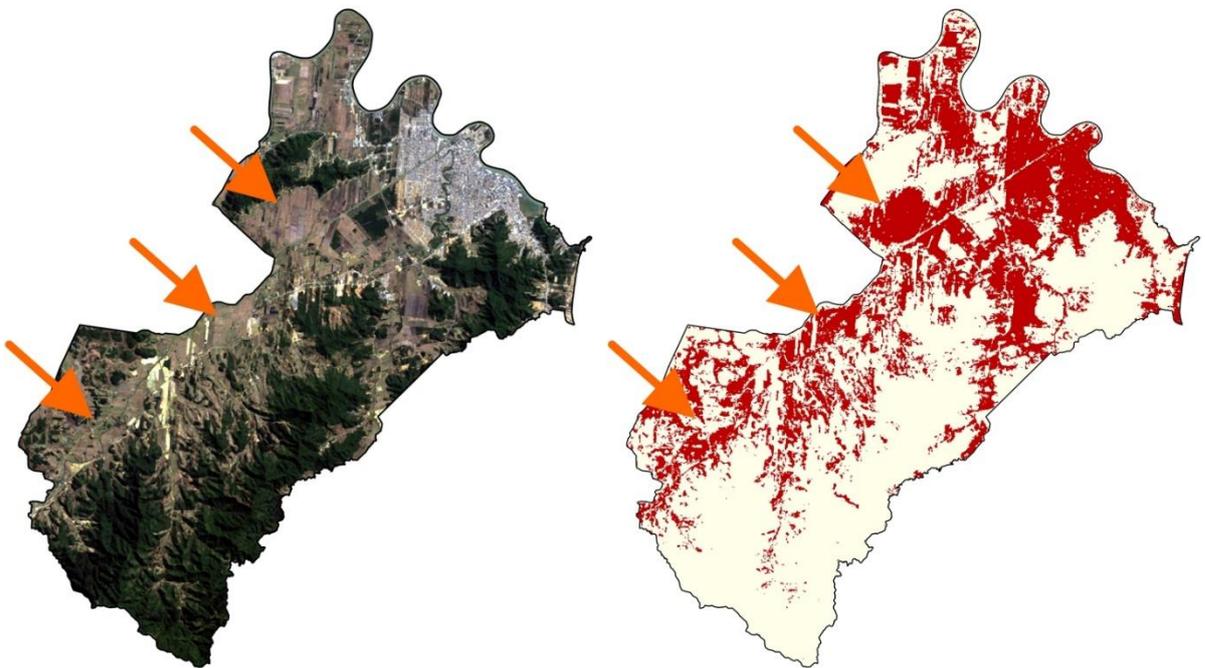
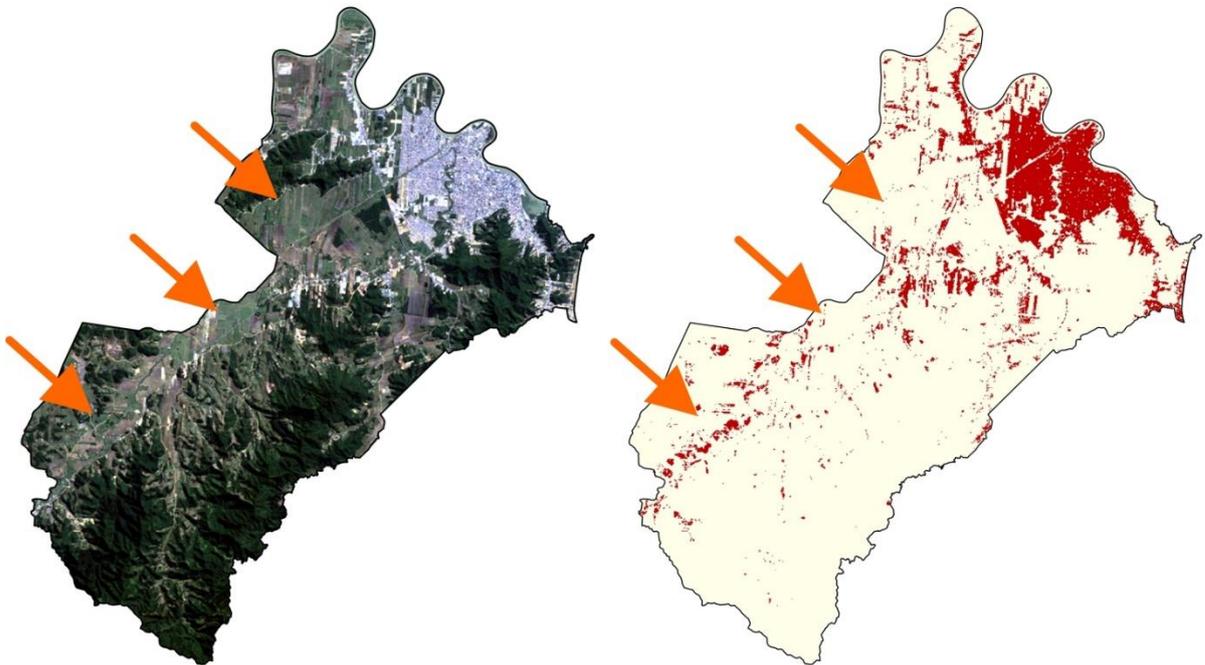


Figura 21: Imagem Landsat 5 (RGB) de Itajaí do ano 2005 (esquerda) e o UI aplicado (direita).



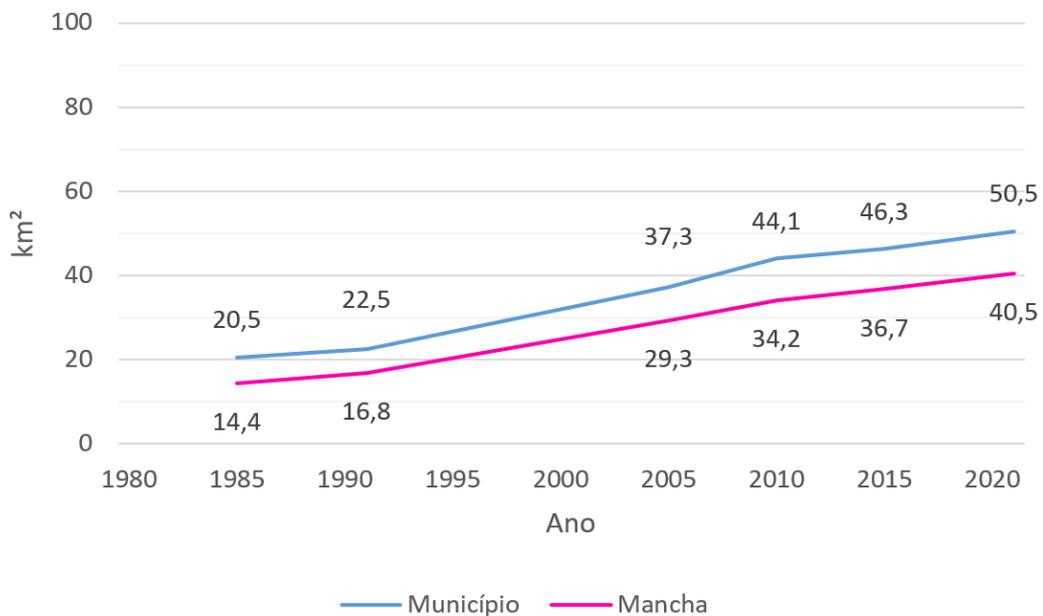
Este caso vai ao encontro da problemática em torno da semelhança entre as respostas espectrais das classes urbano e solo exposto. Resgatando o debate iniciado no tópico anterior, As-syakur (2012) contribui mostrando que, próximo aos centros urbanos, o solo exposto muitas vezes está atrelado a expansão da infraestrutura urbana, e, por isso, pode ter grande utilidade de análise em ser identificado juntamente ao uso urbano, sobretudo em estudos temporais. Contudo, com a dinamicidade da agricultura, que possui um calendário sujeito a diversos fatores incluindo o clima, o mercado de grãos e a demanda de determinado cultivo, uma área de estudo que está contemplada tanto por localidades urbanas como também rurais terá obstáculos para diferenciar este solo exposto para a construção de um galpão, casa ou estrada e o solo exposto que está sendo preparado pra uma nova safra ou está em reforma de pousio.

Portanto, nestas duas datas, uma série de fatores podem ter levado áreas tipicamente agropastoris a terem uma resposta vegetativa muito baixo ou nula. Ao atentar-se para a imagem de 2000, pode-se identificar que as áreas que possuem menor ou nenhuma cobertura vegetal estão concentradas na região que se inicia na porção norte do município e que vai se estendendo pelo centro-oeste e sudoeste do município, onde predomina o uso do solo para pastagem e agricultura. No caso da agricultura, que em Itajaí tem o arroz como carro-chefe, é possível que

a colheita tenha sido feita antes do período mais comum ou ainda que tenha sido realizada de forma tardia, a ponto de não haver tempo hábil para que uma nova safra ou cobertura vegetal cresça, diferentemente das demais imagens da série temporal (tal como no exemplo da imagem de 2005). Quanto as áreas de pastagem, que normalmente não são removidas, um período mais extenso sem chuvas resultam em um desenvolvimento lento e por vezes pífio do pasto, dividindo, dessa forma, a resposta espectral na imagem entre a vegetação desvanecida e o próprio solo.

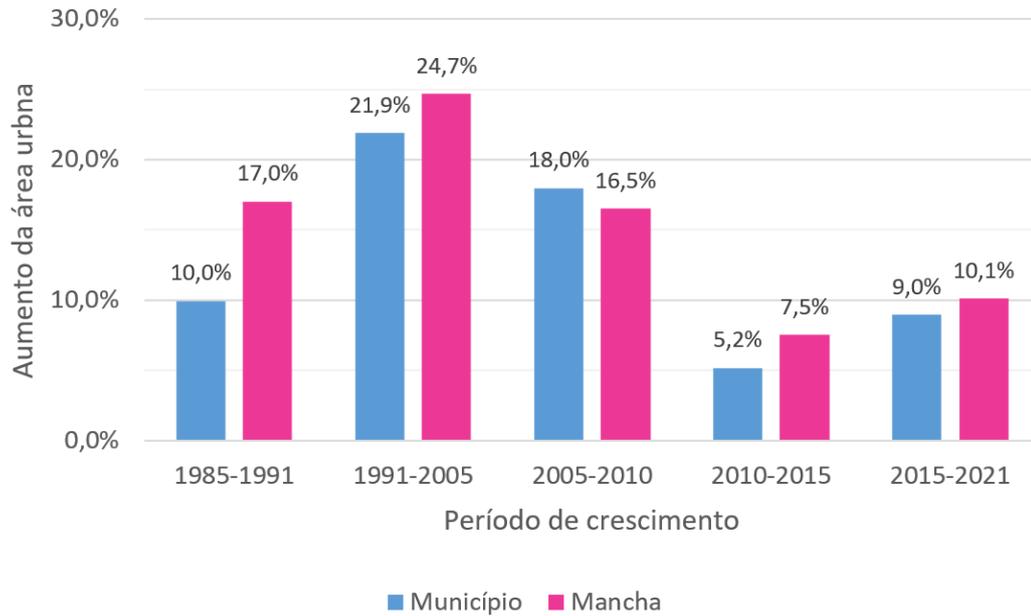
Compreendidos os valores anômalos de 1995 e 2000 e retornando à análise geral dos resultados, é visível a expansão do uso urbano no decorrer dos anos, tanto dentro das áreas suscetíveis à inundação quanto no município como um todo. O ritmo de crescimento é próximo entre os dois recortes, proximidade justificada pelo tamanho da mancha de inundação que, de acordo com os dados produzidos por este trabalho até o ano de 2021, representa 86 dos 120 km² de urbanização identificados em Itajaí pelo *Urban Index*. Com a remoção dos valores anômalos, a Figura 22 ilustra o desenvolvimento desses dados, enquanto a Figura 23² apresenta a taxa de crescimento urbano para os dois casos.

Figura 22: Área urbana (km²) identificada em Itajaí por ano.



² Levando em consideração a remoção dos dados inconsistentes dos anos de 1995 e 2000, o período de crescimento entre 1991 e 2005 é relativo a média a cada 5 anos durante o período de 14 anos. Dessa forma, o crescimento total do município como um todo e da mancha de inundação durante o tempo indicado foi, respectivamente, de 65,7% e 74,1%.

Figura 23: Taxa média de crescimento urbano a cada 5 anos em Itajaí.



Na maior parte dos casos a taxa de crescimento urbano é maior para as áreas suscetíveis à inundação do que no território total do município. O único momento em que o crescimento urbano na mancha é menor é durante o período de 2010-2015. Esta diferença pode ser justificada pelos dois eventos de inundação de forte intensidade que assolaram Itajaí em 2008 e 2011 respectivamente. Como propõe Fraga (2009) e Santos (2010), o fato de desastres de grandes escalas ocorrerem com menor frequência, depois de algum tempo desses grandes eventos volta a se ocupar essas áreas de risco outrora deixadas de lado pela eminência de uma nova ocorrência. Esse esquecimento dos desastres, que também está presente na população residente e que busca moradia dentro dos limites de Itajaí, tem como maior problema a omissão do Estado que tende a prevenir e regularizar cada vez menos a questão dos desastres naturais e das políticas públicas de acesso a moradia e de controle sobre as edificações no território.

Por esse motivo, se faz importante os estudos e levantamentos espaciais sobre os territórios que sofrem continuamente com desastres naturais, a fim de compreender seus os fatores chave que contribuem para estes eventos e planejar estratégias de prevenção, apoio e reparação a quaisquer danos que estes possam acarretar. É fato que existem inúmeras nuances políticas que entram este debate, desde a questão da continuidade dos mandatos até a discussão e implantação do Plano Diretor nas cidades, mas, em todo caso, a informação é o

primeiro passo para a resolução deste problema que, dado seu impacto na sociedade itajaiense, já não é uma novidade há muito tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o constante desenvolvimento da ciência e da pesquisa em todos as áreas de conhecimento, as disciplinas que têm contato com a tecnologia estão constantemente pondo seus conhecimentos à prova e propondo novas perspectivas de algo já consolidado. No sensoriamento remoto, a pluralidade de possibilidades permite esse desenvolvimento em diversos tipos de aplicações. Neste estudo, foi possível realizar uma comparação de índices de normalização espectral, buscando o que tivesse sucesso em identificar da forma mais acurada possível as estruturas urbanas em imagens de satélite no município de Itajaí. Dessa forma, pôde-se aprofundar as características de 4 índices diferentes e seus desempenhos em uma localidade com clima subtropical, com suas sazonalidades particulares e com expressiva dinâmica na atividade agrícola na porção rural.

Em Itajaí, bem como no Vale do Itajaí, as inundações são um problema vigente e que representa um impacto imensurável na vida de toda a população do entorno. Com uma atuação apática do Estado na prevenção, suporte e reparação dos eventos de desastre natural, criam-se novos problemas como a poluição dos corpos hídricos e a precarização das moradias para pessoas de baixa renda, gerando uma grave crise socioambiental. Estudos que pormenorizam esse contexto são relevantes para a idealização de ações mais efetivas por parte dos órgãos públicos reguladores em parceria com a defesa civil, provendo dados acerca da ocupação em áreas de risco, tendências de urbanização e expansão citadina, além de promover a difusão da informação e o debate acerca da temática tanto no âmbito político quanto no âmbito acadêmico.

Este trabalho se propôs a realizar uma análise da expansão das estruturas urbanas dentro de áreas suscetíveis à inundação no município de Itajaí de 1985 até 2021 através da aplicação da classificação supervisionada de imagens de satélite utilizando um índice espectral capaz de identificar esse uso. Para isso, foram realizados testes em uma imagem de referência com quatro índices: o *Enhanced Built-Up and Bareness Index*, o *Normalized Difference Built-Up Index*, o *Normalized Difference Vegetation Index*, e o *Urban Index*. Destes, o *Urban Index* se mostrou o mais próximo aos dados de referência do MapBiomas, apresentando acurácia média de 80,83%, e, assim, foi escolhido como o índice mais adequado para a continuidade do estudo.

Para compreender o histórico de eventos de inundação em Itajaí, realizou-se a caracterização dos principais desastres que atingiram o município até o presente momento, sendo estes os eventos de 1983, 1984, 2008 e 2011. Por meio dos relatórios de avaliação de danos emitidos pela Defesa Civil, somados ao referencial bibliográfico, foi possível desenvolver um panorama geral do contexto de grandes inundações, constatando ações e negligências que se repetem evento após evento, tal como a não regularização das moradias de baixa renda em paralelo com a ausência de uma política habitacional que garanta o acesso a moradia digna a todos os cidadãos e evite a ocupação em áreas de risco. Ações paliativas podem e devem ser substituídas com um enfoque na prevenção dos danos.

Através dos mapas produzidos pela Defesa Civil de Itajaí de áreas inundadas referentes aos últimos grandes desastres, o estudo cumpriu a confecção da delimitação das áreas suscetíveis à inundação, assumindo, portanto, que eventos da mesma magnitude que estes possam afetar as mesmas áreas que foram afetadas anteriormente. A mancha de inundação resultante, que representa aproximadamente 42% (por volta de 121,8 km²) do território de Itajaí, comportava em 2021 cerca de 80% da área de uso urbano mapeada por este estudo, o que indica que uma grande parcela da malha urbana do município está sujeita a danos por inundações.

Por fim, realizou-se uma análise dos dados produzidos por este trabalho acerca da taxa de expansão da malha urbana tanto para o todo o território de Itajaí como só o recorte da mancha de inundação. Identificou-se em um primeiro momento uma discrepância da tendência esperada dos números de crescimento urbano nos anos de 1995 e 2000. Buscando compreender a anomalia, descobriu-se que, mesmo que as imagens sejam do mesmo período do ano que as demais, a quantidade de solo exposto nesses dois anos era consideravelmente alta. Tendo em vista que a classe urbano e solo exposto possuem respostas espectrais que são bastante parecidas, isso gerou a uma superestimação da área urbana.

Após a remoção dos dados inconsistentes, foi calculada a taxa de crescimento médio para Itajaí e sua mancha de inundação. É interessante ressaltar que, na maior parte dos casos, a urbanização crescia mais dentro das áreas suscetíveis à inundação do que no território do município como um todo, com apenas um recorte temporal de exceção: o período entre 2010 e 2015. Este cenário pode ser justificado pelos dois grandes eventos que aconteceram entre 2008 e 2011, o que pode ter trazido à tona mais uma vez a dimensão dos perigos que habitar em áreas de risco.

Os resultados deste trabalho, que assume caráter pioneiro e exordial, apontam para novas perguntas e encaminhamentos de estudo. Ainda dentro da área de conhecimento do

sensoriamento remoto, podemos pensar em identificar quais usos estão sendo convertidos para áreas urbanas dentro das áreas suscetíveis a inundações: vegetação, agricultura, pastagem, entre outros. Quanto ao índice, realizar testes mais aprofundados a fim de verificar a capacidade de eficientemente identificar o uso urbano em diferentes períodos do ano, e não apenas em um único período como proposto neste. A aplicação do desvio padrão pode ser uma boa ferramenta para a redução da confusão espectral e aumentar a credibilidade dos dados, criando uma margem de erro. Ademais, perguntas acerca das ocupações irregulares e vetores de expansão ficam no ar, e podem ser resgatadas para o desenvolvimento de uma nova pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AGENDA 2030. ONU. **Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Objetivo 11.** Cidades e Comunidades Sustentáveis. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/ods/11/>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- ALMEIDA, Lutiane Queiroz de; CARVALHO, Pompeu Figueiredo de. Representações, riscos e potencialidades de rios urbanos: análise de um (des) caso histórico. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 34, 2010. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15918>. Acesso em: 09 dez. 2020.
- ALVARES, Clayton Alcarde et al. Caracterização da dinâmica dos índices de vegetação NDVI e EVI em plantações de Pinus do Brasil. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 16, 2013. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.01.13.58/doc/p1715.pdf>. Acesso: 29 jun. 2021.
- ARANTES, Claudia Arantes et al. Análise qualitativa do desmatamento na Floresta Amazônica a partir de sensores SAR, óptico e termal. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 4, p. 18-29, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/download/31314/17792>. Acesso em: 03 mar. 2022.
- AS-SYAKUR, Abd et al. Enhanced built-up and bareness index (EBBI) for mapping built-up and bare land in an urban area. **Remote Sensing**, v. 4, n. 10, p. 2957-2970, 2012. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/4/10/2957>. Acesso em: 07 out. 2020.
- AUMOND, Juarês José et al. Condições naturais que tornam o vale do Itajaí sujeito aos desastres. In: FRANK, Beate et al. **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009.
- BAYMA, Adriana Panhol; SANO, Edson Eyji. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor modis para detecção de desmatamentos no bioma cerrado. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, p. 797-813, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bcg/a/Dpb3F7SjVH9THmZTyYjzbzQm/abstract/?lang=pt> Acesso em: 03 mar. 2022.
- BIEGING, Patricia; BUSARELLO, Raul Inácio. **Experiências e memórias: as grandes enchentes de Blumenau na voz de Maria**. In: Cultura, história de vida e memória: lugares de enunciação. Pimenta Cultural, São Paulo, 2018. 174p. Disponível em: shorturl.at/yCSX8. Acesso em: 12 jul. 2021.
- BERLATO, Moacir A.; FONTANA, Denise Cybis. El Niño e a agricultura da região Sul do Brasil. **Embrapa Trigo**, 2011. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/agromet/elniolanina/elni2.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2021.

BLUMENAU. PREFEITURA DE BLUMENAU. **Enchentes registradas**. 2021. Disponível em: <http://alertablu.cob.sc.gov.br/p/enchentes>. Acesso em: 15 jul. 2021.

BRAUN, Priscila Dionara Krambeck; VIBRANS, Alexander Christian; PINHEIRO, Adilson. Desenvolvimento de um modelo de avaliação da capacidade de armazenamento de água na Bacia do Rio Itajaí-SC. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 10, n. 2, p. 32-44, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alexander-Vibrans/publication/277215288_DESENVOLVIMENTO_DE_UM_MODELO_DE_AVALIACAO_DA_CAPACIDADE_DE_ARMAZENAMENTO_DE_AGUA_NA_BACIA_DO_RIO_ITAJAI_-_SC/links/5630ee6f08ae506cea675f04/DESENVOLVIMENTO-DE-UM-MODELO-DE-AVALIACAO-DA-CAPACIDADE-DE-ARMAZENAMENTO-DE-AGUA-NA-BACIA-DO-RIO-ITAJAI-SC.pdf. Acesso em: 10 jul. 2021.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de. **Glossário de Defesa Civil: estudos de riscos e medicina de desastres**. Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria Especial de Políticas Regionais, Departamento de Defesa Civil, 1998. Disponível em: <https://www.crpsp.org/uploads/impresso/362/yQBUEKe9zYbM1-FIB6FM9-GAVHzgnrU4.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2021.

CHAVEZ JR, Pat S. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 55, n. 9, p. 1285-1294, 1989. Disponível em: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70016102>. Acesso em: 21 jun. 2021.

DE ALBAN, Jose Don T. et al. Improved estimates of mangrove cover and change reveal catastrophic deforestation in Myanmar. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 3, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab666d/meta>. Acesso em: 03 mar 2022.

DEDC/SC – DEPARTAMENTO ESTADUAL DE DEFESA CIVIL/ SANTA CATARINA. Relatórios de Avaliação de Danos (AVADANs). Florianópolis, 2011.

FLORES, Juan Antonio Altamirano; PELLERIN, J. R. G. M.; ÉGAS, Harideva Marturano. Movimentos Gravitacionais de Massa no Município de Gaspar, Vale do Itajaí, SC, na catástrofe de novembro de 2008. Caracterização dos processos por critérios geomorfológicos, geológicos e pedológicos. **XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física e Aplicada**, Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2009. Disponível em: https://www.geomorfologia.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo7/016.pdf. Acesso em: 21 abr. 2021.

FRAGA, Nilson Cesar. Clima, gestão do território e enchentes no Vale do Itajaí-SC. **Terra Livre**, v. 1, n. 20, p. 159-170, 2003. Disponível em: <http://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/view/181>. Acesso em: 23 out. 2020.

FRAGA, Nilson Cesar. Enchentes urbanas no Vale do Itajaí, Brasil. 25 anos da enchente catástrofe de 1983-reflexos socioambientais e culturais no século XXI. **Encuentro de Geógrafos da América Latina: Caminando a una América Latina en Transformación**, v. 12, 2009. Disponível em:

<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Impactoambiental/39.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2021.

GOERL, Roberto Fabris; KOBIYAMA, Masato. Considerações sobre as inundações no Brasil. **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2005. Disponível em: https://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf. Acesso em: 20 jun. 2021.

HERRMANN, Maria Lúcia de Paula. Atlas de desastres naturais do estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010. 2. ed. atual. e rev.– Florianópolis: **IHGSC/Cadernos Geográficos**, 2014. 219 p. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Atlas+de+desastres+naturais+do+Estado+de+Santa+Catarina&btnG=. Acesso em: 12 jul. 2021.

IBGE. **IBGE Cidades**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/itajai/panorama>. Acesso em: 08 jul. 2021.

IPT. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações:** município de Itajaí - SC. Rio de Janeiro, 2015. 1 mapa, color. Escala 1:50.000. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15133>. Acesso em: 08 jul. 2021.

KAWAMURA, Makoto; JAYAMANNA, Sanath; TSUJIKO, Yuji. Relation between social and environmental conditions in Colombo Sri Lanka and the urban index estimated by satellite remote sensing data. **Proc. 51st Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers**, 1996. Disponível em: <https://a-a-r-s.org/proceeding/ACRS1996/Papers/GLE96-3.htm>. Acesso em: 01 mar. 2022.

KAYANO, Mary Thosie; MOURA, Antônio Divino. O El Niño de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, vol. 4, 1986, 201-214. Disponível em: <https://sbgf.org.br/revista/index.php/rbgf/article/view/1055>. Acesso em: 12 jul. 2021.

KÖHLER, Vera Beatriz; FRAGA, Nilson Cesar. As enchentes no Vale do Itajaí-Açu, SC: das obras de contenção a indústria da enchente. **Boletim de Geografia**, v. 17, n. 1, p. 81-92, 1999. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/12065>. Acesso em: 09 dez. 2020.

KOTHARKAR, Ankit et al. Predicting the Lost Green Cover in Deforestation Using a Neural Network. SSRN, 2021. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3867995. Acesso em: 03 mar. 2022.

LATORRE, Marcelo Lopes et al. Correção atmosférica: conceitos e fundamentos. **Espaço & Geografia**, Vol.5, nº 1, p. 153-178, 2002. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/10659>. Acesso em: 22 jun. 2021.

LUZ, Leonardo B. da et al. Utilização do NDVI E NDBI para avaliação da expansão urbana no município do Rio das Ostras-RJ, utilizando a plataforma Google Earth Engine. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, São José dos Campos: INPE, p. 3493-3495, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Samuel-Gameiro/publication/333965053_UTILIZACAO_DO_NDVI_E_NDBI_PARA_AVALIACAO_DA_EXPANSAO_URBANA_NO_MUNICIPIO_DO_RIO_DAS_OSTRAS_-

RJ_UTILIZANDO_A_PLATAFORMA_GOOGLE_EARTH_ENGINE/links/5d0ee31b92851cf4404440c1/UTILIZACAO-DO-NDVI-E-NDBI-PARA-AVALIACAO-DA-EXPANSAO-URBANA-NO-MUNICIPIO-DO-RIO-DAS-OSTRAS-RJ-UTILIZANDO-A-PLATAFORMA-GOOGLE-EARTH-ENGINE.pdf. Acesso em: 03 mar. 2022.

MARANDOLA JR., Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 2, p. 95-110, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1414-753X2004000200006&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 09 dez. 2020.

MARCELINO, Emerson Viera; NUNES, Luci Hidalgo; KOBAYAMA, Masato. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. **Caminhos da Geografia**, v. 8, n. 17, 2006. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15273/8574>. Acesso em: 23 fev. 2022.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha et al. Caracterização hidromorfológica da bacia do Vale do Itajaí. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió, 2011. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/17404/4/bacia_itajai.pdf. Acesso em: 08 jul. 2021.

MATTEDI, Marcos. **Enchentes em Blumenau**: um estudo sobre o comportamento do Sistema político no período de 1983-1994. 1994. 142 f. Dissertação (Mestrado em Sociologia Política) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1994. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/76136>. Acesso em: 12 mar. 2022.

MORAES, Adão de Souza; MARENZI, Rosemeri Carvalho; LONGARETE, Camila. Percepção de atores sociais de Itajaí (SC) a respeito das variações climáticas, com foco nas Inundações. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 35, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/40275/27109>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MUELLER, Charles Curt. Dinâmica, condicionantes e impactos socioambientais da evolução da fronteira agrícola no Brasil. **Revista de Administração Pública**, v. 26, n. 3, p. 64 a 87-64 a 87, 1992. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/8760>. Acesso em: 21 abr. 2022.

MUSHORE, Terence et al. Predicting Urban Growth and Implication on Urban Thermal Characteristics in Harare, Zimbabwe. In: **IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**. IEEE, 2018. p. 846-849. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8517625>. Acesso em: 03 mar. 2022.

NASA. Landsat 9 Bands. 2021. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-bands/>. Acesso em: 08 fev. 2022.

NERY, Jonas Teixeira; BALDO, Maria Cleide; MARTINS, Maria de Lourdes Orsini Fernandes. O comportamento da precipitação na Bacia do Itajaí. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 22, p. 1429-1435, 2000. Disponível em:

<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/3101>. Acesso em: 10 jul. 2021.

OLIVEIRA, Vinícius Fernandes de; SILVA, Mara Rubia. Aplicação do NDVI no monitoramento do uso da terra na bacia do Rio Tamanduá-PR, utilizando imagens sentinel-2, série temporal 2016-2018. **2ª Semana Integrada de Ensino, Pesquisa e Extensão**, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, 2019. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/handle/123456789/5329>. Acesso em: 03 mar 2022.

PAULETTO, Henrique et al. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no monitoramento do ciclo de videiras por imagens orbitais como apoio à agricultura de precisão na região da Campanha, Brasil. Embrapa Uva e Vinho-Resumo em anais de congresso (ALICE). **Encontro de pós-graduandos da EMBRAPA Uva e Vinho**, 2017, Bento Gonçalves, RS. Embrapa Uva e Vinho, 2017.

PEEL, Murray C.; FINLAYSON, Brian L.; MCMAHON, Thomas A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and earth system sciences**, v. 11, n. 5, p. 1633-1644, 2007. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021.

PERIÇATO, André Jesus; SILVA, Valdeir Demétrio da; MARCATTO, Francieli Sant'ana. Identificação e mapeamento das áreas de risco no município de Itajaí-SC a partir das inundações ocorridas em 2011. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 06, p. 1895-1909, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/233897/27387>. Acesso em: 15 jul. 2021.

PORTO, Daniel Trespach; BREMER, Ulisses Franz. Interfaces entre planejamento territorial e gestão de risco de desastres na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 32, p. 82-97, 2018. Disponível em: <https://revistas.fee.tche.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/4212>. Acesso em: 15 nov. 2020.

PRATES, Larissa P.; LACERDA, Camila S. dos. A. Comparação entre o uso de NDVI, NDBI e classificação não-supervisionada para avaliação da expansão urbana. **Anais da 12ª Jornada Científica e Tecnológica**, Instituto Federal do Sul de Minas Gerais, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Camila-Anjos/publication/351813770_COMPARACAO_ENTRE_O_USO_DE_NDVI_NDBI_E_CLASSIFICACAO_NAO-SUPERVISONADA_PARA_AVALIACAO_DA_EXPANSAO_URBANA/links/60ab999a299bf1031fc496be/COMPARACAO-ENTRE-O-USO-DE-NDVI-NDBI-E-CLASSIFICACAO-NAO-SUPERVISONADA-PARA-AVALIACAO-DA-EXPANSAO-URBANA.pdf. Acesso em: 03 mar. 2022.

RASUL, Azad et al. Applying built-up and bare-soil indices from Landsat 8 to cities in dry climates. **Land**, v. 7, n. 3, p. 81, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/7/3/81>. Acesso em: 03 mar. 2022.

RIBEIRO, Rayssa Balieiro et al. Variabilidade espaço-temporal da condição da vegetação na agricultura irrigada por meio de imagens SENTINEL-2a. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, p. 1884-1893, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Filgueiras/publication/320913648_VARIABILIDADE_ESPACO-TEMPORAL_DA_CONDICAO_DA_VEGETACAO_NA_AGRICULTURA_IRRIGADA_POR_MEIO_DE_IMAGENS_SENTINEL-2/links/5a044350a6fdcc1c2f5bd550/VARIABILIDADE-ESPACO-TEMPORAL-DA-CONDICAO-DA-VEGETACAO-NA-AGRICULTURA-IRRIGADA-POR-MEIO-DE-IMAGENS-SENTINEL-2.pdf. Acesso em: 03 mar. 2022.

ROBAINA, Luís Eduardo de Souza. Espaço urbano: relação com os acidentes e desastres naturais no Brasil. **Ciência e Natura**, v. 30, n. 2, p. 93-105, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4675/467546319006.pdf>. Acesso: 08 out. 2020.

RODRIGUES, Evandro Luís et al. Avaliação da cobertura vegetal por meio dos índices de vegetação SR, NDVI, SAVI e EVI na sub-bacia do Vale do Rio Itapecerica, Alto São Francisco, em Minas Gerais. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 16, p. 1472-1479, 2013. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.22.02.12/doc/p0059.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2022.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). **Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, Greenbelt**. Dezembro, 1973, SP-351, 309-317. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>. Acesso em: 01 mar. 2022.

SANCHES, Ieda Del'Arco et al. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5-TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: **Embrapa Territorial - Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, 2011. Anais. São José dos Campos: INPE, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/902348>. Acesso em: 21 jun. 2021.

SANTOS, Caio Floriano dos. **A enchente em Itajaí (SC): relatos, percepções e memórias**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/866/caio_floriano_dos_santos.pdf. Acesso em: 29 out. 2020.

SANTOS, Caio Floriano dos; TORNQUIST, Carmen Susana; MARIMON, Maria Paula Casagrande. Indústria das enchentes: Impasses e desafios dos desastres socioambientais no vale do Itajaí. **Geosul**, v. 29, n. 57, p. 197-216, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/2177-5230.2014v29n57p197>. Acesso em: 09 dez. 2020.

SCHROEDER, Guilherme Saut. **Análise tectônica da Bacia do Itajaí**. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006. 109 p. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/13536/000633889.pdf?sequence=1>. Acesso em: 05 jul. 2021.

SIEBERT, Claudia. (Des)controle urbano no vale do Itajaí. In: FRANK, Beate et al. **Desastre de 2008 no Vale do Itajaí: água, gente e política**. Blumenau: Agência de Água do Vale do Itajaí, 2009. Disponível em: https://44701095-8c49-4585-bd44-ac6cad1dc41c.filesusr.com/ugd/ba995b_b2dfd4baedf04b60962c712b2369a3dd.pdf. Acesso em: 12 mar. 2022.

SILVA, Charles Evaristo da. Geoprocessamento com utilização do satélite Landsat 5 TM para estudo de caso do município de Betim. 2012. Disponível em: <https://mundogeo.com/2012/02/14/geoprocessamento-com-utilizacao-do-satelite-landsat-5-tm-para-estudo-de-caso-do-municipio-de-betim/>. Acesso em: 07 fev. 2022.

TIN, S. N. et al. Analysis of Enhanced Built-up and Bare Land Index (EBBI) in the Urban Area of Yangon, Myanmar. **International Journal of Geoinformatics**, v. 17, n. 4, 2021. Disponível em: <https://journals.sfu.ca/ijg/index.php/journal/article/download/1957/1033/2609>. Acesso em: 03 mar. 2022.

VARGAS, Richard Alberto Hernández. **Guía Municipal Para la Gestión del Riesgo 2010**. Bogotá DC Colombia: Proyecto de Asistencia Técnica en Gestión del Riesgo a Nivel Municipal y Departamental en Colombia, 2010. Disponível em: <http://www.planesmojana.com/documentos/estudios/21.Guia%20Municipal%20para%20la%20gestion%20del%20riesgo.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2021.

VIERO, Ana Claudia; SILVA, Diogo Rodrigues Andrade da. **Geodiversidade do estado de Santa Catarina**. CRPM, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/17126>. Acesso em: 05 jul. 2021.

WREGGE, Marcos Silveira et al. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Embrapa, Pelotas, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1045852/atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil-estados-do-parana-santa-catarina-e-rio-grande-do-sul>. Acesso em: 08 jul. 2021.

ZHA, Yong; GAO, Jay; NI, Shaoxiang. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. **International journal of remote sensing**, v. 24, n. 3, p. 583-594, 2003. Disponível em: shorturl.at/lvDQX. Acesso em: 01 mar. 2022.

ZIMMERMANN, Keith Damas. As enchentes de 1983 em Santa Catarina: as cidades atingidas, cidades esquecidas. **Revista Santa Catarina em História**, v. 5, n. 2, p. 137-141, 2011. Disponível em: <https://nexos.ufsc.br/index.php/sceh/article/view/338>. Acesso em: 12 jul. 2021.

ZULLO JUNIOR, Jurandir. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 1994. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica, Campinas, SP. 201 f. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/260461>. Acesso em: 29 jun. 2021.