

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

DAYANA KARINA CORREA DA SILVA

O CLIMA REGIONAL PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL EM PARCELAMENTO DO
SOLO NAS CIDADES COSTEIRAS
DO CENTRO NORTE DE SANTA CATARINA

Florianópolis, SC

Fev/2022

DAYANA KARINA CORREA DA SILVA

O CLIMA REGIONAL PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL EM PARCELAMENTO DO
SOLO NAS CIDADES COSTEIRAS
DO CENTRO NORTE DE SANTA CATARINA

Dissertação apresentada ao Mestrado
Profissional em Clima e Ambiente do Campus
Florianópolis do Instituto Federal de Santa
Catarina para a obtenção do diploma de Mestre
em Clima e Ambiente.

Orientador: Michel Nobre Muza

Florianópolis

Fevereiro/2022

CDD 551.6
S586c

Silva, Dayana Karina Correa da
O clima regional para o licenciamento ambiental em parcelamento do solo nas cidades costeiras do centro norte de Santa Catarina [DIS] / Dayana Karina Correa da Silva; orientação de Michel Nobre Muza – Florianópolis, 2022.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Clima urbano. 2. Mudanças climáticas. 3. Planejamento urbano. 4. Licenciamento ambiental. I. Muza, Michel Nobre. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC

Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis

Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues - CRB 14/1117

Aluno (a): **DAYANA KARINA CORREA DA SILVA**

Título:	Mestre em Clima e Ambiente
----------------	-----------------------------------

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestre em Clima e Ambiente

Dr(a). **Michel Nobre Muza**



Documento assinado digitalmente
MICHEL NOBRE MUZA
Data: 26/02/2022 09:44:58-0300
CPF: 977.090.260-87
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Michel Nobre Muza
Orientador(a) / Presidente / IFSC / Florianópolis –
SC

Participação: () Presencial (x) Videoconferência
() Aprovado () Reprovado


Dr(a). **Walter Martin Widmer**



Avaliador(a) Interno / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: () Presencial (x) Videoconferência
() Aprovado () Reprovado

Dr(a). **Dirceu Luis Herdies**



Avaliador(a) Interno / INPE / São José dos

Campos/Cachoeira Paulista - SP Participação: ()
Presencial (x) Videoconferência
() Aprovado () Reprovado

Dr(a). **Francisco Henrique de Oliveira**



Avaliador(a) Externo / UDESC / Florianópolis - SC

Participação: () Presencial (x) Videoconferência
() Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

- () maioria simples
(x) unanimidade

#euescolhiavida
Sempre, minha Estrelinha!

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao IFSC pela oportunidade de estudar e concluir meu mestrado na instituição.

Ao Professor Michel Muza, meu orientador, superpaciente, sempre solícito e auxiliando-me a alcançar o título de Mestre, muito obrigada! Que essa etapa seja a primeira de muitas, que venha o doutorado!

Ao meu amor... Muito obrigada por estar ao meu lado! Sem seu apoio, sem as suas palavras pedindo-me calma, não estaria aqui! Você é muito importante para mim, amo-te!

Mãe, Pai, Gaió! O que seria de mim sem vocês? Não tenho palavras para agradecer todo o apoio, desde sempre, toda força, toda estrutura que vocês me deram e me proporcionaram para que eu pudesse finalizar este trabalho, sempre vocês!

À minha família! Todos na expectativa da minha defesa, todos querendo assisti-la e torcendo por mim, sou eternamente grata por tudo! Tia Lucia, com seu português impecável, obrigada pela revisão, fez diferença para mim!

Aos amigos... tenho o privilégio de ter amigos de infância, de faculdade, de ônibus, de mestrado, de vida... a todos que torceram e torcem por mim, muito obrigada!

“Cidade não é problema. Cidade é solução”.
(Jaime Lerner)

RESUMO

O presente trabalho realizou uma revisão de literatura com a legislação atual vigente em relação à matéria climática, licenciamento ambiental e planejamento urbano, apresentou a influência do clima no contexto urbano, suas perspectivas com os cenários futuros e de que maneira as ferramentas disponíveis, como banco de dados globais e modelos de superfície, podem ser utilizadas nos processos de licenciamento ambiental de grandes empreendimentos, cuja atividade seja parcelamento do solo urbano. Para isso, buscou-se a relação do uso e ocupação do solo com os dados climáticos, e foram utilizadas ferramentas de sensoriamento remoto e dados climáticos globais disponíveis na plataforma *WorldClim*, para os cenários futuros dos modelos CanESM5 e MIROC6, além do uso do modelo de superfície CLASS para entender a influência do clima sobre as cidades costeiras e como devem ser considerado como fator crucial nas decisões em relação ao planejamento urbano, garantindo o desenvolvimento sustentável, com enfoque na implantação de parcelamento de solo urbano. Como produto técnico e tecnológico desta pesquisa aplicada, a proposta de resolução para avaliação de aspectos e impactos climáticos nos Estudos de Impactos Ambientais (EIA) para parcelamento do solo de grande porte, acima de 100ha, nos processos de licenciamento ambiental, que pode ser implementada por uma instituição de administração pública como o Instituto Federal de Santa Catarina.

Palavras-Chave: Clima Urbano; Mudanças Climáticas; Planejamento Urbano; Licenciamento Ambiental; Parcelamento Do Solo.

ABSTRACT

This study did a literature review about current legislation on Climate matters, environmental licensing and urban planning and presented the influence of Climate in the urban realities, considering future scenarios. Also showed how available tools, as global database, can be used in environmental licensing processes of big enterprises responsible for the subdivision of urban lands. For that, the use and occupation of the land was related to the Climate data through remote sensing and global Climate data available on the WorldClim platform. To the future scenario was used the models CanESM5 and MIROC6, beyond the CLASS model to understand the Climate influence on coastal cities and how must be considered as crucial factor in decisions regarding urban planning, ensuring sustainable development, especially in urban land subdivision. The technical and technology product of this research is a proposal of assessment of Climate impact aspects in the Environment Impact Studies realized for the subdivision of large urban lands (above 100 acres), to Environmental licensing processes, that can be implemented by a public administration institution such as the Instituto Federal de Sana Catarina.

Keywords: Urban Climate; Climate Change; Urban Planning; Environmental Licensing; Subdivision Lands.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplificação gráfica da composição do espectro eletromagnético	26
Figura 2 - Figura esquemática ilustrativa do sistema de balanço de energia do planeta. 27	
Figura 3 - Layout do software Class, demonstrando uma interface intuitiva e de fácil acesso a consultores ambientais. O layout é dividido por abas, onde é possível parametrizar as variáveis de acordo com o cenário desejado.	38
Figura 2.4 – Croqui de localização da área de estudo, considerando o Brasil, estado de Santa Catarina e os municípios em tela, índices médios de radiação anual do clima presente extraídos do WorldClim	55
Figura 2.5 – Ilustração de uso e ocupação do solo da região de interesse, dividida em 3 áreas: Norte (A), Centro (B) e Sul (C). Foram definidas 5 classes: hidrografia (azul); vegetação (verde); área urbana (rosa); faixa de areia (neon) e área com intervenção (laranja).	62
Figura 2.6 – Dados de TEMPERATURA MÉDIA ATUAL do clima presente e dos cenários futuros SSP585, SSP370 e SSP245 dos modelos CanESM5 e MIROC6. Limitados pelos vértices da região de interesse. (A) Clima Presente; (B/C/D) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo CanESM5; (E/F/G) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo MIROC6.	64
Figura 2.7 – Dados de AMPLITUDE TÉRMICA ANUAL do clima presente e dos cenários futuros SSP585, SSP370 e SSP245 dos modelos CanESM5 e MIROC6. Limitados pelos vértices da região de interesse. (A) Clima Presente; (B/C/D) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo CanESM5; (E/F/G) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo MIROC6.	66
Figura 2.8 - Dados de PRECIPITAÇÃO MÉDIA ATUAL do clima presente e dos cenários futuros SSP585, SSP370 e SSP245 dos modelos CanESM5 e MIROC6. Limitados pelos vértices da região de interesse. (A) Clima Presente; (B/C/D) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo CanESM5; (E/F/G) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo MIROC6.	67
Figura 2.9 – Dados de TEMPERATURA MÍNIMA E MÁXIMA NO INVERNO E NO VERÃO do clima presente e do cenário futuro SSP370 do modelos CanESM5. Limitados pelos vértices da região de interesse. Superior: Temperatura mínima no verão atual e futuro/	

temperatura mínima no inverno atual e futuro. Inferior: Temperatura máxima no verão atual e futuro/ temperatura mínima no inverno atual e futuro.....	68
Figura 2.10 – Ilustração dos resultados da equação de fração efetiva de radiação refletida, para melhor comparação entre as classes de uso e ocupação do solo. Região de interesse dividida em Norte, Centro e Sul.....	69
Figura 2.11 – Ilustração dos resultados da equação de fração efetiva de radiação de onda longa x emissividade para melhor comparação entre as classes de uso e ocupação do solo. Região de interesse dividida em Norte, Centro e Sul.....	70
Figura 2.12 – Gráficos gerados a partir do modelo CLASS que demonstram as curvas de temperatura de superfície do ciclo diurno, a partir dos experimentos realizados no modelo de superfície CLASS.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudo ambiental necessário para o licenciamento ambiental de loteamentos localizados em municípios da Zona Costeira extraído da Instrução Normativa 03 do IMA (Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina).....	16
Tabela 2 - Propriedade de albedo e emissividade de materiais.....	29
Tabela 3 - Dados extraídos do IBGE (CENSO 2010 e projeções) disponíveis na plataforma IBGE Cidades dos municípios que contemplam a área de estudo. Em negrito: principais dados sobre a região.....	48
Tabela 2.4 - Valores de albedo e emissividade, mínimo e máximo para cada classe de uso e ocupação do solo definidas para a região de estudo	58
Tabela 2.5 - Experimentos com modelo de superfície CLASS, os dados do detalhamento foram extraídos a partir do clima presente e considerando as mudanças de uso e ocupação do solo para a atividade de parcelamento do solo na região de interesse de estudo.	61

LISTA DE SIGLAS

a.C. – antes de Cristo

AU – Área Útil

CH₄ - Metano

CLASS - *Chemistry Land Atmosphere Soil Slab*

CLP - Comissão de Legislação Participativa

CMIP - *Coupled Model Intercomparison Project*

CO₂ – dióxido de carbono

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente

EAS – Estudo Ambiental Simplificado

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

GEE – Gases de Efeito Estufa

GERCO – Gerenciamento Costeiro

ha - Hectares

Hab/km² - Habitantes por quilometro quadrado

IAF – Índice de Área Foliar

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

IMA – Instituto de Meio Ambiente

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IV - Infravermelho

K - Kelvin

Km – quilômetro

Km² - quilômetro quadrado

m - metros

MCGAs - Modelos de Circulação Geral da Atmosfera

MPSC – Ministério Público de Santa Catarina

N₂O – Óxido Nitroso

NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

Nm - nanometros

ONGs – Organizações Não-Governamentais

PIB – Produto Interno Bruto

PNMC – Política Nacional de Mudanças Climáticas

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

R\$ - reais

RGB – composição *Red-Green-Blue*

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

SAVI - *Soil Adjusted Vegetation. Index* ou Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

SC – Santa Catarina

SCP – Semi Classification Plugin

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SSP-RCP - *Shared Socioeconomic Pathway-Representative Concentration Pathway*

UNISDR - *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*

UV – Ultravioleta

W/m²K – Watts por metro quadrado Kelvin

WCRP - *World Climate Research Program*

WMO - *World Meteorological Organisation*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	18
1.2 Objetivos.....	20
1.3 Revisão de literatura: Clima.....	21
1.4 Revisão de Literatura: Balanço de Energia.....	25
1.5 Revisão de literatura: Clima e Balanço de Energia em Áreas Urbanas.....	28
1.6 Revisão de Literatura: Ilhas de Calor em Centros Urbanos.....	30
1.7 Revisão de Literatura: Uso e ocupação do solo	31
1.8 Revisão de Literatura: Sensoriamento Remoto	32
1.9 Revisão de Literatura: Modelos de Superfície	35
1.10 Revisão de Literatura: Legislação Ambiental Pertinente e Legislação aplicada ao Clima.....	39
1.11 Revisão de Literatura: <i>Smart Cities</i>	42
1.12 Revisão de literatura: Crescimento urbano – Panorama Geral do País.....	44
1.13 Revisão de Literatura: O caso de estudo de cidades costeiras em SC	46
2. ARTIGO(S) SUBMETIDO(S)	51
3 PRODUTO(S) DESENVOLVIDO(S).....	83
3.1 Introdução.....	83
3.2 Rito de Elaboração e Aprovação	83
3.3 Projeto de Resolução.....	84
3.3 Conclusão.....	87
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
REFERÊNCIAS.....	90
APÊNDICE A – Quadro Geral dos Dados Utilizados.....	96
APÊNDICE B - Artigo Publicado Revista Metodologias e Aprendizado.....	98

1. INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina possui aproximadamente 7,2 milhões de pessoas, e, segundo dados do último censo realizado no ano de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de 78,75% da população é residente de áreas urbanas dos municípios catarinenses.

A revolução urbana, que também podemos considerar como o êxodo rural, ocorre desde 1940 no Brasil (SANTOS, 1988), devido à mecanização da agricultura e nova divisão do trabalho, a população rural buscou novas possibilidades de emprego, e por sua vez a expansão do espaço urbano, que não foi planejada e não houve a execução da infraestrutura correspondente, aumentou os problemas de várias ordens para as cidades, como degradação ambiental, (in)dignidade das moradias, pobreza e violência dos centros urbanos.

Somente em 2001, foi promulgado o Estatuto das Cidades, instrumento legal que busca a ordenação dos espaços urbanos, com diversas ferramentas, como o Plano Diretor. O Plano Diretor é a ferramenta que define os parâmetros de ordenamento do uso e ocupação do solo, garantindo um ambiente ecologicamente equilibrado (BRASIL, 2001). Devido a esta promulgação tardia, a obrigatoriedade da criação do plano determinado por uma série de fatores que os municípios devem atender, e, por fim, o prazo estipulado pelo dispositivo legal para a implantação do Plano Diretor, muitos municípios tiveram seus Planos Diretores firmados há pouco tempo, o que ocasionou a aprovação de loteamentos urbanos nos moldes de dispositivos legais mais antigos, como a Lei Federal n. 6.766/1969 - ainda vigente, além de implantações totalmente irregulares e clandestinas.

Para o último caso, em 2009, a Lei n. 11.977/2009 (Lei do Programa Minha Casa, Minha Vida), posteriormente regulamentada pela Lei da Regularização Fundiária (Lei n. 13.465/2017), surgiu de forma a garantir a segurança jurídica de empreendimentos irregulares/clandestinos, garantindo um dos quesitos do princípio fundamental de todo cidadão: moradia digna (MPSC, 2015).

Outro instrumento que surgiu através de um dispositivo legal foi o licenciamento ambiental. Contemplado pela Política Nacional do Meio Ambiente (Lei n. 6.938/1981), todos os empreendimentos com um grau significativo de impacto ambiental devem se submeter ao processo de licenciamento ambiental a partir de um estudo ambiental, que será avaliado pelo ente federativo competente. A competência é determinada pela Resolução CONAMA n. 237/1997, sendo elencada de acordo com sua localização e impacto; as três esferas de licenciamento ambiental possíveis são: União, Estado e Municípios. De forma a garantir o

Princípio de Celeridade Processual previsto nas normativas legais, surgiu a Lei Complementar n. 140/2011, trazendo à disposição dos órgãos ambientais a possibilidade de declínio/delegação de competências a outro ente licenciador, de acordo com sua demanda e capacidade técnica. Tendo em vista essas premissas, a necessidade de estudos ambientais e do processo de licenciamento ambiental está sendo cada vez mais cobrada pelas instituições, pois tornou-se garantia de que o empreendimento está em conformidade com a legislação ambiental vigente.

O parcelamento do solo urbano, de acordo com o Instituto de Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (IMA), é uma das atividades mais licenciadas no estado de Santa Catarina na atualidade, sendo os municípios da zona costeira (para efeitos deste contexto, utilizar a Lei n. 7661/88 que conceitua zona costeira no art. 2º parágrafo único), a principal escolha dos empreendedores deste tipo de empreendimento, devido ao grande fluxo migratório de pessoas para regiões próximas ao mar.

Já a aprovação ambiental ocorre no processo de licenciamento ambiental, que é considerado “aprovado” quando é emitida a Licença Ambiental de Instalação. No estado de Santa Catarina, é regida pela Instrução Normativa n. 03 do Instituto de Meio Ambiente do Estado, que possui todos os documentos e estudos necessários para a implantação de um loteamento ou condomínio de lotes.

De acordo com a Instrução Normativa 03 do IMA, o estudo ambiental necessário para a implantação de loteamentos varia de acordo com o porte do empreendimento, definido pela área útil em hectares, conforme:

Tabela 1 - Estudo ambiental necessário para o licenciamento ambiental de loteamentos localizados em municípios da Zona Costeira extraído da Instrução Normativa 03 do IMA (Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina).

Código	Atividade	Porte		
		Pequeno	Médio	Grande
71.11.00	Parcelamento do solo urbano: loteamento localizado em municípios da Zona Costeira	$AU \leq 1$ (EAS)	$1 < AU < 5$ (EAS)	$5 \leq AU \leq 100$ (EAS) $AU > 100$ (EIA)
71.21.10	Loteamentos com fins industriais e comerciais	$AU \leq 10$ (EAS)	$10 < AU \leq 50$ (EAS)	$AU > 50$ (EIA)

Fonte: Adaptada do Instituto de Meio Ambiente (IMA, 2019).

Os estudos ambientais possuem o Termo de Referência disponível nas instruções normativas do órgão ambiental, sendo necessário incluir todos os quesitos solicitados na norma em questão, assim como sua estrutura deve ser seguida.

Conforme o demonstrado na

Tabela 1, que é um quadro demonstrativo do que é necessário para o loteamentos, Estudo Ambiental Simplificado (EAS) é o estudo intermediário para o processo do licenciamento ambiental de qualquer atividade, e o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) é o estudo mais complexo para o processo de licenciamento ambiental e o seu Termo de Referência é elaborado pela equipe multidisciplinar que realizará o estudo e esta minuta é aprovada pelo órgão ambiental para seguir com estudo.

São disponibilizados pelo IMA, os Estudos de Impacto Ambiental (EIA) que estão em análise ou com suas licenças já emitidas em nível estadual. O Instituto em suas considerações conceituou EIA como:

um diagnóstico detalhado das condições ambientais da área de influência antes da implantação, avaliando os meios biótico, socioeconômico e físico. O estudo deve abordar a análise das consequências de sua implantação e de sua não implantação, considerando os impactos positivos e negativos, as medidas mitigadoras e compensatórias, e suas formas de acompanhamento e monitoramento por meio de programas ambientais. O Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) sintetiza em linguagem acessível as conclusões ambientais, sociais e econômicas do EIA.

Ainda, o órgão explica que os empreendimentos que são sujeitos à apresentação do EIA/RIMA e estão em tramitação no Instituto precisam de publicação, onde estão listados na mesma página. Todo o processo de publicação é embasado pela Resolução CONSEMA n. 98/2017 (CONSEMA, 2017) e com a Lei Federal n. 11.428/2006 (BRASIL, 2006).

A construção de novos empreendimentos imobiliários e a expansão urbana impactam diretamente nos microclimas existentes e cria novos com grande complexidade, podendo resultar em variações na temática climática urbana, como a modificação da composição atmosférica em nível local e global, modificação das características da superfície em nível regional, modificação no balanço de energia em nível local e mudança na temperatura local e regional (BARRY, CLORLEY, 2013).

Os efeitos meteorológicos relacionados às modificações da composição atmosférica local são sobre a radiação solar direta (luminosidade, visibilidade e desenvolvimento de

névoas, nevoeiros e nuvens), conseqüentemente sobre o balanço de radiação, ao conforto ambiental e à qualidade de vida. Em escala global, ocorre produção dos Gases de Efeito Estufa (GEE), como o CO₂, CH₄, etc., inclusive à formação de ozônio na troposfera, que, nesta camada, atua como gás de efeito estufa (BARRY, CLORLEY, 2013).

Quando ocorre a mudança do uso do solo, especialmente quando há pavimentação, suas características são semelhantes às de um solo exposto, exceto pela emissão de gases de efeito estufa e produção de energia provenientes de atividades antrópicas, que podem variar de acordo com a dinâmica da cidade e dos períodos sazonais. O armazenamento de energia é maior durante o dia e leva a uma conservação do calor sensível durante a noite. Já a evaporação é menor nas cidades e pode ser nula em períodos muito secos, significando que a energia durante o dia pode ser transferida para a atmosfera em forma de calor sensível (BARRY, CLORLEY, 2013).

Há um contraste entre a temperatura do ar urbano e a temperatura de regiões adjacentes, especialmente verificadas na amplitude térmica (diferença entre a temperatura máxima e mínima diária), sendo que nas áreas urbanas, essa amplitude é mais elevada devido aos seguintes fatores de interação superfície-atmosfera: (1) mudanças do balanço de energia devido à composição atmosférica; (2) mudanças no albedo; (3) produção de calor devido a atividades antrópicas; (4) menor escoamento do ar causado pela rugosidade da superfície urbana, causando um efeito duplo de redução de energia térmica de (a) difusão e (b) aquela disponível para evapotranspiração, também impactada pela (5) drenagem pluvial rápida em áreas urbanas (BARRY, CLORLEY, 2013). Os dois primeiros itens são investigados quantitativamente neste estudo.

1.1 Justificativa

O mercado imobiliário na região costeira de Santa Catarina encontra-se superaquecido, com alta valorização dos imóveis em praticamente todos os municípios desta sub-região.

Dentro desse viés, a dinâmica de uso do solo destes municípios tem sido modificada com o decorrer dos anos, ocorrendo de forma exponencial a transição de relativamente pequenas zonas rurais, muitas vezes de agricultura familiar, em áreas urbanas ou industriais, conseqüentemente um aumento considerável no parcelamento do solo, devido ao acréscimo do valor de mercado das áreas - até então utilizadas para agricultura.

O Estatuto das Cidades, principal regimento que regula o ordenamento territorial no âmbito federal, criou a ferramenta Plano Diretor, obrigatório desde sua promulgação de 2001 para praticamente todas as cidades costeiras do estado de Santa Catarina. É a partir deste instrumento, criado e homologado pelo próprio município e sociedade civil organizada que se tem a condição de criar cidades sustentáveis e áreas de expansão urbana com o crescimento ordenado, de forma a garantir uma sociedade, meio ambiente e economia saudáveis a toda a população munícipe (BRASIL, 2001).

Com a criação dos planos diretores e zoneamentos de expansão urbana nas cidades, as áreas que tinham como função social a agricultura e fração mínima de 2 hectares de acordo com a Lei Federal n. 5868/72, tornam-se atrativas à implantação de loteamentos, pois são grandes glebas, geralmente de posse e propriedade de uma só pessoa ou família (BRASIL, 1972).

Outro ponto a ser considerado para esta valorização das áreas em transição é a disponibilidade de glebas, especialmente nas cidades da zona costeira, que praticamente já estão em sua totalidade ocupados, sendo possível alguns condomínios verticais, a depender do potencial de verticalização (também regrado pelo Plano Diretor do município).

Mas, por que o investimento em loteamentos tornou-se mais atrativo do que a construção de condomínios verticais? Primeiro ponto a ser considerado é o valor do investimento inicial: as áreas, por maiores que sejam, possuem um valor de mercado menor do que áreas já inseridas no centro urbano. Segundo ponto é o custo de obra, que para loteamentos é menor do que para edifícios de mesmo padrão. E, terceiro e último ponto, para condomínios verticais é obrigatório, por legislação, a assistência técnica e garantia do imóvel por 5 (cinco) anos, enquanto os loteamentos, após a obra finalizada, a responsabilidade de fiscalização é da prefeitura municipal.

A estrutura do Estudo de Impacto Ambiental e do Estudo Ambiental Simplificado é muito semelhante, apenas são incluídos mais quesitos para criar mais robustez no estudo, detalhando e avaliando os impactos gerados pela instalação e operação do empreendimento. Basicamente, o Estudo de Impacto Ambiental é dividido entre o diagnóstico ambiental e cenários futuros com a instalação e operação do empreendimento, inclusive é necessário diagnosticar o clima local e avaliar os impactos futuros nesse ambiente.

Dentre um dos capítulos necessários no EIA (Estudo de Impacto Ambiental), está o Prognóstico Ambiental, que demonstra uma previsão de como estará a região de influência direta e indireta com ou sem o empreendimento. Ou seja, a partir dos impactos ambientais

listados, a equipe elaboradora do estudo necessita avaliar qual a estimativa do impacto no sistema climático global. Isto é, a estimativa de contribuição para Gases de Efeito Estufa (GEE), pois estes danos climáticos retornam por meio de desconforto térmico com aumento das temperaturas médias, máximas e mínimas locais, aumento de extremos de temperaturas quentes ou frias agravados por intensificação de ondas de calor ou frio, respectivamente. Isso resulta em aumento do uso de ar condicionado durante o período sazonal de verão ou aquecedores no inverno, com acréscimo de consumo de energia, que causa impactos ambientais no aumento da demanda por produção de energia, sendo um exemplo de efeito adverso em cadeia. Também há eventos de grande magnitude que são os extremos de precipitação, causando inundações relacionadas com a impermeabilidade da área licenciada e modificação na infiltração de água no solo.

Por fim, ainda relativo a consequências de implantação do empreendimento e sendo um impacto a médio e longo prazo, tem-se períodos de estiagem ou seca, que podem ser compensados com obras de captação e armazenamento de água da chuva para uso diverso e adequado de forma mitigadora.

Atualmente, é praxe avaliar que o clima será afetado pela implantação e operação desse empreendimento, porém, a avaliação é de forma qualitativa, sendo possível apenas estimar uma quantificação de quanto o empreendimento impactará, seja na temperatura de superfície, seja na geração de ilhas de calor, mudanças nos regimes de chuva. Por isso, faz-se necessário um estudo para investigar padrões de mudanças do clima urbano para contribuir na estimativa de impactos ambientais e climáticos, a fim de demonstrar a importância destes serviços climáticos para tomadas de decisão da gestão pública e melhor gerenciamento do uso do solo das cidades.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Entender a influência do clima sobre as cidades costeiras e considerá-lo como fator crucial nas decisões em relação ao planejamento urbano para que as mesmas tenham desenvolvimento de forma sustentável, com enfoque na implantação de parcelamento de solo urbano.

1.2.2 Objetivo(s) específico(s)

- Elaborar um diagnóstico do uso e ocupação do solo das cidades costeiras do Estado de Santa Catarina.
- Analisar as variáveis climáticas e a cobertura vegetal através de dados climáticos e sensoriamento remoto.
- Comparar projeções futuras do clima global com o clima regional atual da temperatura do ar à superfície, amplitude térmica e precipitação.
- Investigar mudanças no balanço de energia à superfície em relação aos fluxos radioativos e o tipo de cobertura do solo para contribuição e avaliação de impactos relativos ao clima na implantação de loteamentos urbanos, contribuindo para serviços climáticos e ambientais associados.
- Criar um Projeto de Resolução a ser apresentado a Assembleia Legislativa e ao Conselho Estadual de Meio Ambiente de Santa Catarina, propondo a adoção do levantamento dos impactos e ações mitigatórias no licenciamento ambiental, especialmente na atividade de parcelamento do solo urbano.

Para tanto, foi revisada a literatura nos temas de clima, balanço de energia, clima e balanço de energia em áreas urbanas, ilhas de calor em centros urbanos, uso e ocupação do solo, sensoriamento remoto, modelos de superfície, legislação ambiental aplicada ao clima, *smart cities*, panorama geral de crescimento urbano no Brasil, estudo de caso das cidades costeiras em SC.

A partir dos conceitos revisados em literatura foi possível embasar o levantamento de dados e as ferramentas utilizadas no decorrer do trabalho.

1.3 Revisão de literatura: Clima

De acordo com a (WMO, 2018), o sistema climático é uma combinação de elementos meteorológicos como o ar, temperatura, precipitação, umidade, ventos, pressão atmosférica, evaporação e balanço de energia solar. O clima, de forma empírica, pode ser descrito como uma média de condições meteorológicas ocorridas em determinados locais e num certo período. De forma mais ampla, o clima nada mais é que um estudo estatístico, descritivo, com uma tendência central e variação dos relevantes elementos meteorológicos que são típicos de um local e região.

O estudo destes elementos e a composição do clima é denominado climatologia. A climatologia trabalha com todo sistema, suas variações, efeitos extremos e todas as influências que as atividades humanas possam ou não interferir no contexto. Também pode ser considerado um fator decisório e norteador das atividades humanas (WMO, 2018).

Historicamente, o clima tem sido observado e estudado desde 1.800 a.C. Foram encontradas escritas hindus sobre o tempo e condições climáticas desse povo, além de textos e poemas de Hipócrates, Aristóteles, que em seus trabalhos mencionavam a superfície curva da Terra, variações climáticas de acordo com a latitude devido à incidência da radiação solar, por exemplo (WMO, 2018).

Já na era moderna, os principais marcos dos estudos climáticos deram-se no século XV, com a invenção do termômetro por Galileu Galilei e do barômetro por Evangelista Torricelli, já no século XVI. Estas invenções foram cruciais para perceber que o comportamento atmosférico possuía relações com a matemática e física, de forma a poder prever os eventos meteorológicos futuros (WMO, 2018).

No século XX surgiram diversos estudos nesta temática, os quais propiciaram a evolução dos estudos climáticos até a criação de instrumentos e ferramentas de previsão e possibilidade de entender as mudanças climáticas em diversas escalas, desde o microclima até a climatologia global (WMO, 2018). Além disso, existiram duas ações muito importantes, tanto para a ciência atmosférica quanto para as gerações futuras, que foram: o intuito de padronizar as observações mundiais e o de compartilhar informações climáticas entre as nações.

A atmosfera é uma camada gasosa que envolve o planeta Terra. Composta basicamente por nitrogênio e oxigênio, contudo possui outros elementos em pequenas quantidades como o argônio, hélio, dióxido de carbono, ozônio, metano e vários outros traços de gases. Outro composto abundante nesta camada é o vapor d'água, que, quando condensado, se transforma em gotículas de água, as quais formam as nuvens (WMO, 2018).

A hidrosfera, que também compõe o sistema climático da Terra, compreende a água em estado líquido na superfície da Terra, o que inclui os oceanos, mares, rios, lagos e aquíferos.

A camada chamada criosfera é composta pela água em estado sólido, sendo toda a neve e gelo na superfície do planeta, incluindo os mares congelados, lagos e rios congelados, cobertura de neve e sua precipitação, geleiras, calotas polares, solos congelados, sejam permanentes ou sazonais (WMO, 2018).

A outra camada que influencia o sistema climático é a litosfera, que é composta pelos continentes que estão emergidos no oceano e o assoalho oceânico.

E por fim, a biosfera, que compreende os ecossistemas e organismos vivos, seja na atmosfera, litosfera e nos oceanos (WMO, 2018).

O estado da atmosfera em um instante é resultado da interação dos diversos elementos que compõem o sistema climático. Os diversos avanços científicos, inclusive a capacidade de simulação dos sistemas físicos e de interação, proporcionaram a possibilidade de representar numericamente os dados meteorológicos muito próximos da realidade. A previsão do tempo e do clima aumentou sua acurácia nas últimas décadas, aprofundando os processos que controlam a evolução do estado da atmosfera e seus componentes do sistema climático, dos métodos numéricos, das equações que representam todas as partes deste sistema e a evolução da capacidade de processamento das máquinas (SAMPAIO, DIAS, 2014).

Os modelos climáticos foram construídos a partir do século XIX com os princípios fundamentais da física – a termodinâmica e a dinâmica dos fluidos, o que possibilitou a compreensão do fluxo na atmosfera. O meteorologista Cleveland Abbe sugeriu que a aplicação destes princípios (termodinâmica e hidrodinâmica, no caso) consistiria essencialmente na meteorologia. Em um de seus estudos, propôs uma série de aproximações numéricas, construindo um modelo de previsão do estado futuro da atmosfera (SAMPAIO, DIAS, 2014).

Os primeiros Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs) foram procedidos diretamente por modelos numéricos da atmosfera elaborados para a predição em curto período (de um a três dias, no máximo). A primeira simulação numérica a médio prazo (um mês) foi com um modelo realizado por Phillips (1956), utilizando um modelo geostrófico em dois níveis (SAMPAIO, DIAS, 2014).

Atualmente, os modelos de circulação geral da atmosfera possibilitam prever as condições do tempo para médio a longo prazo, dependendo da região e do estado atmosférico, com alto grau de confiança (SAMPAIO, DIAS, 2014). O sistema climático é composto por elementos atmosféricos, oceânicos e terrestres, que quando aplicados em modelos de previsão, são considerados de forma mais simplificada (UNIVERSIDAD DE CHILE, 2006).

No avanço dos modelos climáticos, surgiram os modelos do sistema terrestre, que devido a atual capacidade desses processamentos são capazes de prever o tempo e estudar a variabilidade climática natural e as influências antrópicas, sendo possível associar

a emissão de gases do efeito estufa, uso do solo, atividades agrícolas e diminuição da área vegetada (SAMPAIO, DIAS, 2014).

As classificações climáticas possuem uma finalidade específica, geralmente relacionando o clima com a vegetação-solo e não aborda os efeitos do clima em áreas urbanas (BARRY, CLORLEY, 2013).

A classificação de Köppen, do início do século XX, está entre uma das classificações mais utilizadas no Brasil, inclusive em estudos relacionados à geografia que envolvam critérios de temperatura e aridez.

Outra classificação utilizada é a classificação de Thornthwaite, de 1948, que se baseia no balanço de energia e umidade, considerando a evapotranspiração potencial derivada da temperatura média mensal, duração do dia, número de dias de cada mês do ano e capacidade de armazenamento de água no solo (BARRY, CLORLEY, 2013).

As classificações bioclimáticas incorporam a temperatura e umidade relativa, algumas vezes, a radiação solar e o vento, estimando a sensação térmica e os índices de conforto térmico humano. Um desses índices é o chamado *wind chill* que considera o efeito de baixas temperaturas e do vento sobre os seres humanos (BARRY, CLORLEY, 2013).

A interação superfície-atmosfera ocorre na Camada Limite Atmosférica, camada inferior da troposfera que está em contato direto com a superfície terrestre, ou seja, a *Mixed Layer Theory* assume que as alterações e definições das variáveis climáticas, como temperatura potencial, umidade específica, vento e concentração de CO₂, ocorrem dentro dessa camada da atmosfera, devido aos intensos movimentos convectivos (VAN LOON, DEKKER, *et al.*, 2015).

A convecção na camada limite depende dos fluxos ascendentes e subsidentes de calor e umidade desde a superfície até uma altura variando entre 100 m a 2 km. É a camada atmosférica que é afetada diretamente pelas atividades humanas, seja pela dispersão de poluentes, rugosidade ocasionada pelos edifícios e trocas de energia (VAN LOON, DEKKER, *et al.*, 2015; PACIFICI, 2019).

As escalas climáticas são divididas em: macroclima ou clima regional, corresponde ao clima médio ocorrente num relatório vasto; mesoclima ou clima local que engloba uma situação particular do macroclima, são áreas relativamente pequenas, que possuem influência de relevo, por exemplo; microclima já corresponde às condições climáticas de uma superfície realmente pequena (TONIETTO, MANDELI, 2003). A definição espacial das escalas climáticas é fator crucial para entender a interação entre a camada limite e as áreas urbanas. Entretanto, a relação entre essas escalas e a intervenção do planejamento urbano ainda não é óbvia, ou seja, isoladamente, ainda não é possível verificar de forma concisa

em qual extensão ocorre os efeitos da urbanização no clima (PACIFICI, 2019). As condições microclimáticas têm uma grande influência no bem-estar das pessoas. Os diferentes tipos de cobertura de solo possuem características que determinam essas condições. Por exemplo, a vegetação possui a capacidade de reduzir a penetração da radiação solar no solo (MARONEZE, ZEPKA, et al., 2014).

A climatologia de macro escala é baseada na circulação atmosférica e relacionada com o clima regional em termos de ventos ou frequência de massas de ar. O litoral norte de SC localiza-se na classificação de zona subtropical e extratropical com precipitação distribuída ao longo do ano. Neste aspecto, existe uma concordância aproximada entre esse tipo e o esquema de Köppen. Neste contexto, várias classificações foram propostas, sendo mais específicas e eficazes para determinados mecanismos atmosféricos globais ou regionais, todavia nenhuma com o destaque mais significativo do que as citadas acima.

1.4 Revisão de Literatura: Balanço de Energia

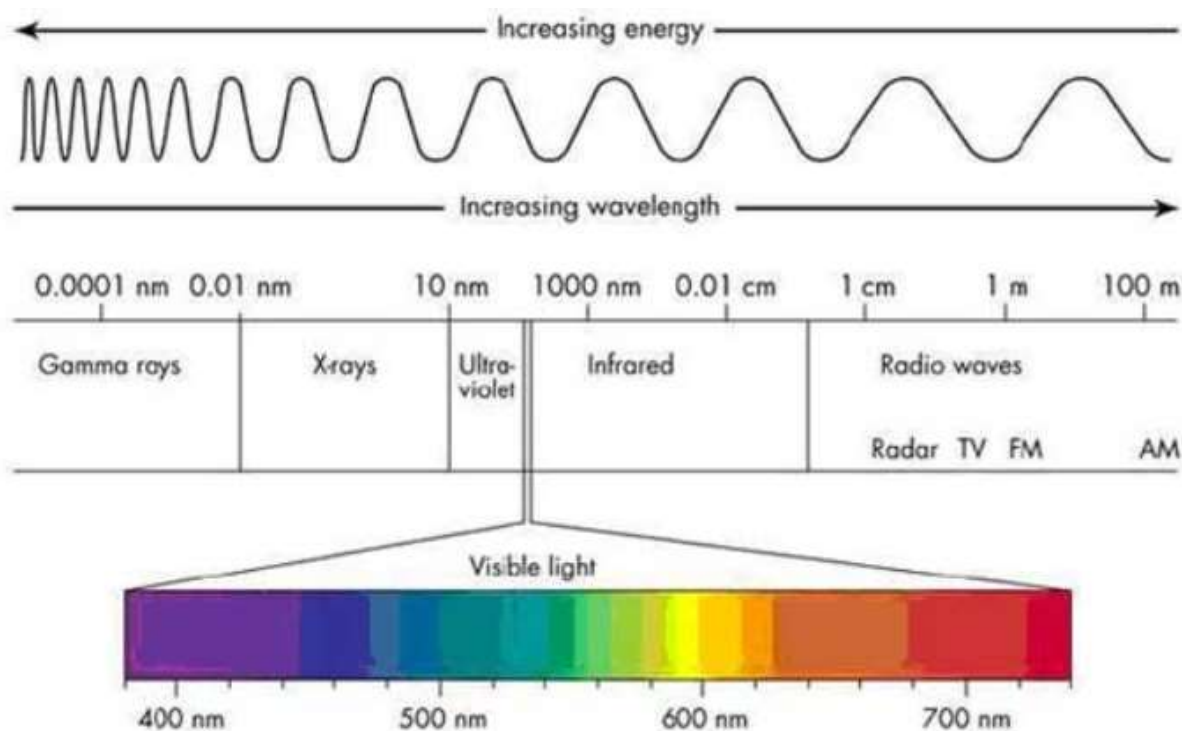
A radiação eletromagnética é relacionada com cargas de eletricidade aceleradas que irradiam energia, ou seja, são variações temporais do campo elétrico, provocando uma oscilação do campo magnético (GÓMEZ, CARLESSO, et al., 2018).

Ela ocorre em diferentes faixas espectrais, de acordo com a interação com a matéria (GÓMEZ, CARLESSO, et al., 2018). A radiação eletromagnética possui uma velocidade no vácuo, na grandeza descrita abaixo e pode ser classificada pelo seu comprimento de onda, compondo o espectro eletromagnético, graficamente exemplificado na Figura 1 (GRIMM, SILVA, et al., 2010).

$$c = 3 * 10^8 \text{ m/s}$$

Sendo c = velocidade da onda de radiação no vácuo

Figura 1 - Exemplificação gráfica da composição do espectro eletromagnético



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/cref/camiladebom/Aulas/Pages/2.html>

De acordo com (GÓMEZ, CARLESSO, et al., 2018), o espectro eletromagnético é classificado em diferentes regiões: Raios γ (gamma), raios-x, ultravioleta (UV), luz visível, infravermelho (IV), micro-ondas ou ondas de rádio (Figura 1).

A energia proveniente do Sol está relacionada aos processos químicos, físicos e biológicos de todo o planeta Terra. A sua variação tem impacto direto na atmosfera, inclusive nas camadas superiores, como a ionosfera e a estratosfera, e no clima do planeta (GÓMEZ, CARLESSO, et al., 2018).

O Sol tem uma estrutura estratificada, sendo o núcleo, zona radiativa, zona convectiva, fotosfera, cromosfera, região de transição e coroa. A radiação que é recebida pelo planeta Terra é originada pelo núcleo e emitida ao planeta pela fotosfera (GÓMEZ, CARLESSO, et al., 2018).

A radiação do sol está mais concentrada no espectro visível (Figura 1), a luz visível corresponde a aproximadamente 43% do total emitido, sendo o restante dividido em: 49% estão no infravermelho próximo e 7% no ultravioleta, >1% está nos espectros de raios-x, raios gama e ondas de rádio (GRIMM, SILVA, et al., 2010).

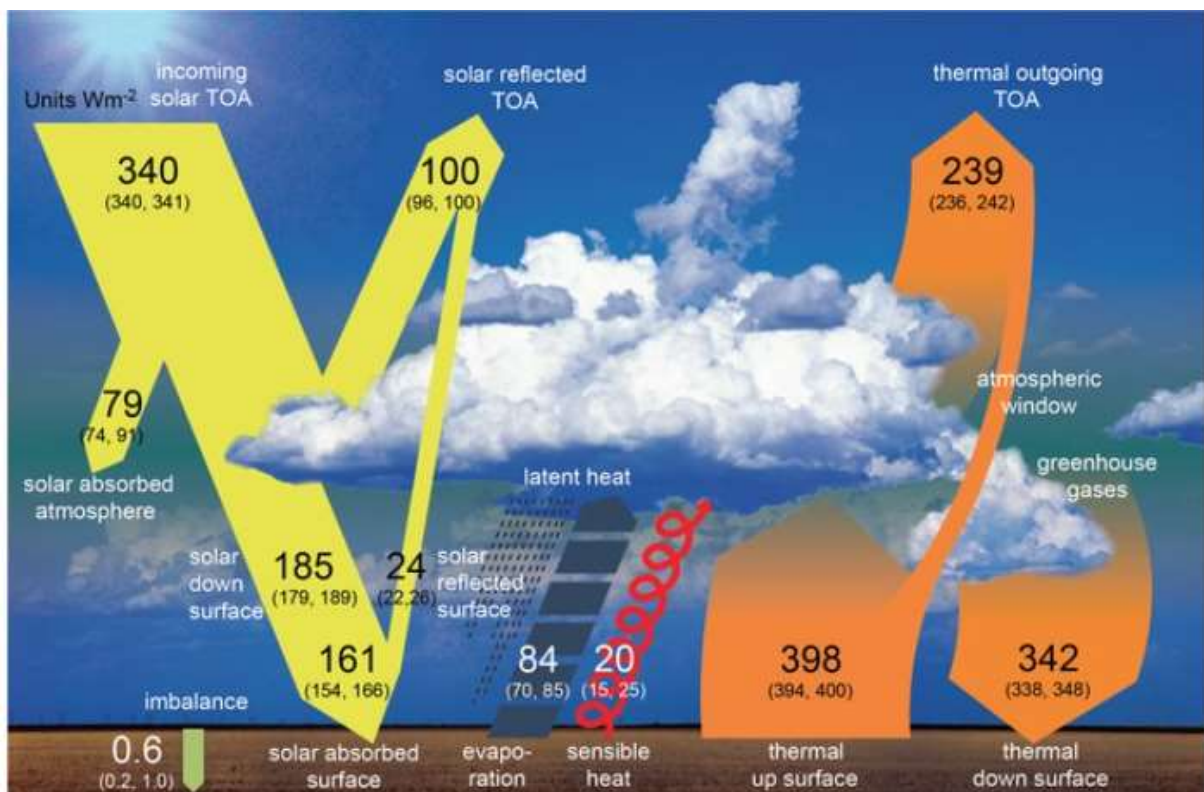
Toda a troca de energia entre o planeta Terra e o universo ocorre por radiação, única forma que a energia pode atravessar o vácuo do espaço. Este sistema, denominado Terra-Atmosfera constantemente absorve radiação e emite sua própria radiação ao espaço. A radiação tem a função de transferência de calor entre a superfície e a atmosfera e entre as camadas da atmosfera (GRIMM, SILVA, et al., 2010).

Instrumentos de medição de irradiância solar tem sido observados e têm como objetivo a obtenção de séries temporais longas das irradiâncias solares espectral e total. Assim, é possível utilizar esses dados como parâmetro em modelos climáticos. A partir dos modelos climáticos é possível avaliar as mudanças climáticas originadas de forças externas e da emissão dos gases de efeito estufa (GÓMEZ, CARLESSO, et al., 2018).

A energia solar que chega à Terra pode ser refletida na atmosfera e na superfície terrestre e retornar ao espaço. A fração dessa radiação incidente que é refletida em uma superfície é o seu albedo. O albedo do planeta está em torno de 30% (

Figura 2).

Figura 2 - Figura esquemática ilustrativa do sistema de balanço de energia do planeta.



Fonte: (FELDMEYER, WILDEN, et al., 2019)

O processo de absorção da radiação resulta nessa energia sendo convertida em calor e manifestada pelo aumento de temperatura. Os gases da atmosfera são bons

absorvedores da radiação emitida pela terra, tendo papel importante no aquecimento da atmosfera (GRIMM, SILVA, et al., 2010).

O processo de espalhamento ocorre quando a energia solar incide em gases e aerossóis, causando a dispersão dos raios em todas as direções. A reflexão também pode ser considerada um processo de espalhamento. O processo do espalhamento depende do tamanho das moléculas dos gases e aerossóis, tendo a seguinte relação (GRIMM, SILVA, et al., 2010):

$$E_{\lambda} \sim \frac{1}{\lambda^4}$$

Sendo:

E_{λ} = Irradiância monocromática espalhada

λ = Comprimento de onda da radiação

1.5 Revisão de literatura: Clima e Balanço de Energia em Áreas Urbanas

Em áreas urbanas é possível encontrar uma infinidade de tipos de superfície, geralmente elementos artificiais que interferem na dinâmica do meio ambiente local, alterando todo o ecossistema, inclusive o balanço de energia urbano. Fatores como rugosidade da superfície, albedo, capacidade térmica, condutividade térmica, emissividade e a poluição irão causar, sobretudo, alterações no balanço de energia urbano, vento, temperatura, umidade do ar, resultando em problemas ambientais (ALVES, VECCHIA, 2012).

O balanço de energia de uma superfície é resultante da soma da energia radiante recebida e perdida pela própria superfície, indicada pela equação (LANDSBERG, 1981; OKE, 1982 apud ALVES, VECCHIA, 2012).

$$Q^* = SW \downarrow + SW \uparrow + LW \downarrow + LW \uparrow$$

Sendo:

Q^* = radiação líquida;

$SW \downarrow$ = radiação solar global;

$SW \uparrow$ = radiação solar refletida pela superfície;

LW_{\downarrow} = radiação de onda longa emitida pela atmosfera;

LW_{\uparrow} = radiação de onda longa emitida pela superfície

O balanço de energia de uma superfície depende de fatores químicos e físicos associados ao sistema superfície-atmosfera, como: rugosidade, albedo, difusividade térmica e emissividade. O albedo é a capacidade que os materiais têm de refletir a radiação solar. A difusividade indica a facilidade de penetração e duração de energia nos objetos. A emissividade é a emissão da radiação absorvida. (OKE, 1987; GARTLAND, 2010 apud ALVES, VECCHIA, 2012).

O aumento de áreas construídas, expostas ao sol, tem um impacto significativo no equilíbrio térmico e hidrológico de uma cidade. Para Erell et al. (2011 apud PACIFICI, 2019), as propriedades de absorvidade e condutividade térmica (W/m^2K) são os principais agentes destes impactos.

Os componentes que são encontrados em um ambiente com características urbanas têm maior capacidade de reter energia, possuindo maior capacidade de armazenamento de energia. A

Tabela 2 demonstra os albedos e emissividades de algumas superfícies (ALVES, VECCHIA, 2012):

Tabela 2 - Propriedade de albedo e emissividade de materiais.

Superfície	Albedo	Emissividade (μm)
Solo	0,05 – 0,40	0,9 – 0,94
Gramma	0,16 – 0,26	0,9 – 0,95
Floresta	0,13 – 0,23	0,97 – 0,99
Água	0,08 – 0,10	0,85 – 0,95
Concreto	0,10 – 0,35	0,90 – 0,96
Asfalto	0,05 – 0,20	95
Tijolo	0,20 – 0,40	0,90 – 0,92
Rocha	0,20 – 0,35	0,85 – 0,95
Cascalho	0,08 – 0,18	0,92
Cerâmica	0,10 – 0,35	0,9

Fonte Adaptada: e Oke (1987) e Brown e Gillespie (1995)

A avaliação do balanço de energia em superfícies inseridas em manchas urbanas possui uma grande dificuldade: definir o tipo de superfície. As regiões urbanizadas são compostas por diversos elementos, dificultando uma prescrição específica de informação para determinar o balanço de energia. Individualmente, é possível realizar esta

identificação, porém, quando se trata de grandes áreas de estudo, muitos estudos buscam uma região com uma certa homogeneidade horizontal, possibilitando a medição. Para isso, os modelos de balanço de energia urbano consideram todos os componentes envolvidos, uma espécie de generalização, obtendo uma média da região do estudo (FREITAS, 2003).

Os efeitos das mudanças de uso e ocupação do solo são percebidos nas mudanças de temperatura, precipitação, concentrações de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) na atmosfera (PACIFICI, 2019).

1.6 Revisão de Literatura: Ilhas de Calor em Centros Urbanos

Ilhas de calor são definidas como uma anomalia caracterizada pelo aumento da temperatura em áreas extremamente urbanizadas, em razão das temperaturas de áreas periféricas. É considerado um dos impactos ambientais decorrentes da urbanização, desde cidades de médio a grande porte. A principal causa da formação deste impacto é a alteração do balanço de energia em duas camadas: dossel urbano e camada limite da atmosfera (LAURA, GAMARRA, *et al.*, 2014).

O processo de urbanização contribui para o desenvolvimento de ilhas de calor devido sua geometria, substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis e com menor albedo e dispersão de poluentes no ar, especialmente os GEE (Gases de Efeito Estufa). Quando se trata da geometria urbana, fala-se do aprisionamento da radiação incidente e a modificação da circulação do ar. A supressão de vegetação, por sua vez, altera os fluxos de energia da superfície, reduzindo a evaporação do solo e o fluxo de calor latente, aumentando o fluxo de calor sensível. Por fim, a poluição do ar incrementa o fluxo de radiação de onda longa entre as superfícies, especialmente rugosas e aumenta a absorção de radiação de onda curta, devido a presença de aerossóis (LAURA, GAMARRA, *et al.*, 2014).

Em um contexto geográfico, áreas urbanas incorporam uma grande quantidade de elementos, como tipos de solos, topografia, espaços verdes e recursos hídricos. Os habitantes desses locais são moldados a partir desse arranjo de interações. O conforto e a satisfação das pessoas dependem diretamente das formas urbanas e suas características do clima local (PACIFICI, 2019).

Por fim, o efeito notoriamente identificado em áreas urbanas nas latitudes médias é que esses locais possuem temperaturas mínimas maiores que em áreas rurais adjacentes, ou seja, são as formações de ilhas de calor no verão, e ilhas de frio durante o inverno, este

último efeito sendo mais observado em climas temperados. É possível afirmar que as características da superfície urbana também são relevantes como controle climático, a mudança do uso e ocupação do solo produz efeitos nas temperaturas mínimas de forma acentuada (BARRY, CLORLEY, 2013).

Embora ainda seja complexo relacionar isoladamente os efeitos na temperatura com as mudanças do uso e ocupação do solo, é sabido que o crescimento das cidades acompanha o aumento da temperatura média anual. Esses fatores podem ser suavizados dependendo da proximidade com o oceano, isto é, a continentalidade também se torna um fator climático (BARRY, CLORLEY, 2013).

1.7 Revisão de Literatura: Uso e ocupação do solo

A Constituição Federal de 1988, no art. 30 atribuiu aos municípios a competência de “Promover, no que couber, adequado ao ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento da ocupação do solo urbano” (Brasil, 1988 apud COUTINHO, LONDE, *et al.*, 2015).

A gestão eficiente da terra e do uso do solo pode diminuir significativamente os riscos socioambientais (UNISDR, 2009). Assim sendo, é necessário planejar e executar medidas para prevenção ou minimização de desastres, consequência do uso indevido do solo, prevenindo possíveis calamidades naturais, como enchentes, alagamentos e escoamento superficial de materiais.

As superfícies impermeáveis são importantes indicadores do grau de urbanização de uma região onde não ocorre infiltração de água no solo devido a edificações e pavimentações. Estão intrinsecamente ligados ao ambiente físico, biológico e à qualidade de vida da população. Grandes áreas pavimentadas – impermeáveis – são os principais incrementos para o escoamento superficial, já que, por consequência, aumentam a magnitude e frequência de inundações (KAWAKUBO, MARTINS, *et al.*, 2019).

Outra alteração significativa das manchas urbanas é a intensificação do fluxo de calor latente e sensível, já que é possível constatar que os bairros com melhor qualidade de vida são os mais arborizados e com menos problemas de alagamentos e inundações (KAWAKUBO, MARTINS, *et al.*, 2019)

A dinâmica de uma cidade envolve diversas variáveis ambientais que modificam e podem ser modificadas, caracterizando o espaço urbano. Neste contexto, referem-se à interação do clima à forma urbana, possibilitando uma infinidade de combinações e

espaços. Ou seja, é possível que um modifique o outro, por exemplo o clima afeta diretamente os espaços urbanos e estes, por sua vez, modificam o clima. O clima urbano nada mais é que a modificação do clima local pelo homem (UNGER, 1995).

Enfim, OLIVEIRA (1985) completa o conceito demonstrando que a forma urbana é um produto das relações das atividades antrópicas e pode ser enquadrado como um instrumento de controle climático, a fim de garantir conforto e salubridade ao espaço.

A necessidade de uma proporção e distribuição de vegetação em áreas urbanas deve ser considerada, devido a seu efeito extremamente localizado nas áreas verdes. A divisão da área verde em pequenos fragmentos, como parques, dispersos por todo conglomerado urbano, estende seus benefícios a uma maior área de influência e por consequência a um maior número de pessoas. Recomenda-se que cada bairro tenha uma parcela de vegetação e espelhos d'água para conforto e qualidade do ar. Além disso, essas áreas verdes podem ser utilizadas como elementos de ligação entre comunidades, possuir equipamentos e serviços públicos. Em relação à paisagem, a distribuição de áreas verdes ocasiona melhor impressão do que um aglomerado de edifícios dominando a visão da população, proporcionando maior conforto estético (DUARTE, 2003).

No município de São Paulo, Marins e Romero (2012; 2013 apud PACIFICI, 2019) apresentaram um planejamento em que se integrou a estrutura morfológica da cidade com a mobilidade urbana, além dos aspectos ambientais e demanda energética. Os resultados demonstraram que a construção e a densidade urbana devem ser mais equilibradas, com o aumento de espaços abertos e áreas verdes, também melhores condições de mobilidade.

1.8 Revisão de Literatura: Sensoriamento Remoto

As geotecnologias estão tornando ferramentas para tomada de decisão de toda uma sociedade, não sendo mais restrita somente à pesquisa e ao meio científico. Composta por um conjunto de coleta, processamento e análise de informações com referência geográfica, possuem condições de tornarem-se subsídios para instrumentos de planejamento e gestão territorial (REMO, VAL, *et al.*, 2019).

Dentre as tecnologias, tem-se o sensoriamento remoto. O seu uso para mapeamento de uso e ocupação do solo permite compreender os fenômenos espaciais de uma determinada área. O uso e ocupação da terra estão diretamente relacionados com a

interação entre a superfície e atmosfera e, por isso, exercem influência em diversas escalas espaciais (REMO, VAL, *et al.*, 2019).

Os sistemas de sensoriamento remoto são capazes de fornecer dados consistentes sobre a superfície da Terra, já que possuem frequência de revisita, resolução espacial, espectral e radiométrica, faixa imageada. As informações obtidas podem ser utilizadas para verificação espacial, como citada anteriormente ou até mesmo para alimentar ou validar modelos climáticos globais, desenvolvidos para avaliar, simular e prever as mudanças climáticas relacionadas a atividades antrópicas (NOVO, 2010).

A radiação eletromagnética estimada resulta-se da superfície terrestre ou atmosfera para os sensores remotos. Desta maneira, a interação entre a radiação e os materiais é o requisito chave para interpretação dos dados coletados pelos sensores. Ou seja, a radiação é responsável por levar as informações da superfície até os satélites.

Os objetos da superfície terrestre como a vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem a radiação com comprimento de onda diferentes, de acordo com suas características bio-física-químicas (ALVARENGA *et al.* (2003); MENESES (2005) *apud* GUEDES, SILVA, 2018).

Ou seja, todos os elementos presentes na superfície terrestre possuem uma assinatura espectral, que se distingue dos demais tipos de cobertura, ocorre devido a capacidade de cada superfície absorver uma porção específica do espectro eletromagnético (GUEDES, SILVA, 2018).

Os sensores remotos são dispositivos que detectam a energia eletromagnética dos objetos, registrando-as e sendo possível convertê-las em informações relacionadas ao objeto em si. Esses sensores podem ser imageadores ou não-imageadores. Podem ser acoplados em plataformas terrestres, veículos aéreos ou satélites (GUEDES, SILVA, 2018)

A qualidade do sensor é definida pela resolução espacial, espectral e radiométrica. A resolução espacial é a capacidade do sensor distinguir objetos e depende do detector, altura do sensor em relação ao objeto; a resolução espectral está relacionada ao intervalo espectral e sua composição espectral no fluxo de energia recebida pelo detector, quanto maior o número de medidas no intervalo de comprimento de onda, melhor a resolução espectral; e por fim, a resolução radiométrica que se trata da eficiência do sensor em detectar e registrar as diferenças na energia refletida e/ou emitida pelos elementos sensoriados, quanto maior a resolução radiométrica, maior a capacidade de medir as diferenças do nível de radiação (GUEDES, SILVA, 2018).

Assim, os sensores podem detectar a intensidade de radiação a partir da elevação de temperatura; estimar a intensidade de radiação relativa a cada comprimento de onda; medir os comprimentos e variações dos comprimentos de onda. Por fim, a resolução radiométrica trata da eficiência do sensor em detectar e registrar as diferenças na energia de sinal de retorno. A radiação ao incidir no sensor é transformada em sinal elétrico, ampliada e retransmitida para um sistema de registro de memória. Para armazenar este sinal, são atribuídos tons de cinza, dado por n bits (2^n). Os sinais de uma superfície de 1 km que apresenta 500 alvos de reflexão diferentes, por exemplo, são registrados em um sensor de resolução radiométrica de 8 bits, ou seja, 256 tons de cinza. Assim, muitos desses diferentes alvos serão agrupados em uma mesma classe (FERREIRA, 2004).

Outra característica importante a ser considerada no sensor, especialmente a aqueles acoplados em satélite é sua resolução temporal, que está relacionada com a frequência em que o sensor repete a mesma cena/área, desta forma é possível verificar a evolução do uso e ocupação do solo (GUEDES, SILVA, 2018).

Ponzoni (2001 apud BORATTO, GOMIDE, 2013) considerou que a aparência da cobertura vegetal em determinado produto de sensoriamento remoto é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. Há a necessidade de avaliar outros parâmetros e fatores, como: fonte de radiação, espalhamento atmosférico, folhas e dossel, teor de umidade do solo, reflectância do solo, sombra, entre outros.

Para a avaliação desses parâmetros, tem-se alguns índices, como NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), SAVI (*Soil Adjusted Vegetation. Index* ou Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) e IAF (*Leaf Area Index* ou Índice de Área Foliar), já que facilita a obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos, como área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo. O NDVI é um índice que varia entre 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais densa a vegetação; mais próximo de 0, a vegetação está mais estressada, menos densas ou totalmente suprimidas. O SAVI consiste num índice que considera efeitos do solo exposto nas imagens analisadas, para ajuste do NDVI, quando a superfície analisada não está totalmente coberta pela vegetação. O Índice de Área Foliar (ou *Leaf Area Index*) é um índice mais utilizado na área de biologia, pois indica os valores de biomassa presentes em uma determinada área. É baseado pela razão da área foliar pela área utilizada pela vegetação (BORATTO, GOMIDE, 2013).

1.9 Revisão de Literatura: Modelos de Superfície

Os modelos de clima em superfície são as ferramentas adotadas tradicionalmente para gerar as projeções do clima no futuro, usando os cenários de desenvolvimento variados de mudanças no clima local e mesoclima, e são adequados para estudos regionais. Os modelos de balanço de energia e da camada limite planetária possibilitam a simulação e a previsão do clima nas cidades, especialmente para dimensionamento das ilhas de calor (MASSON, 2006).

A vantagem dos modelos de superfície aos modelos climáticos é a melhor facilidade das interpretações entre as variáveis. Ao contrário da análise estatística dos dados observados, elas fornece uma inter-relação entre as variáveis do sistema (WOUTERS, PETROVA, et al., 2019).

A interação entre solo, vegetação e atmosfera é fator crucial no desenvolvimento de estudos em relação a eventos climáticos extremos, como secas, ondas de calor e tempestades severas (WOUTERS, PETROVA, et al., 2019).

Porém, a avaliação da relação causa-efeito da mudança do uso e ocupação do solo com os eventos climáticos extremos ainda é complexa, pois é um sistema com muitas variáveis, sendo difícil isolar e verificar individualmente (WOUTERS, PETROVA, et al., 2019).

Os modelos de balanço de energia de superfície, podem ser classificados em 5 categorias: (1) modelos empíricos; (2 e 3) modelos de vegetação que podem ser adaptados a áreas urbanas, especialmente para mesoescala, extensão onde é mais evidente os efeitos da área urbana; (4 e 5) modelos específicos para áreas urbanas, tais modelos são para uma ou mais camadas (MASSON, 2006).

O balanço de energia superficial é resolvido pela equação de Penman-Monteith (MONTEITH, 1995 apud WOUTERS, PETROVA, et al., 2019) e o transporte de calor e umidade no solo é descrito usando um modelo que emprega as propriedades hidráulicas do solo de Clapp e Hornberger (1978 apud WOUTERS, PETROVA, et al., 2019).

O balanço de energia, em termos de fluxo de calor latente é a entrada de energia no sistema, ou seja, a radiação líquida (Q^* , soma entre a radiação solar e a infravermelha), geralmente positiva durante o dia e negativa durante a noite. Porém, em áreas urbanas, as atividades humanas, como tráfego de veículos, indústrias, emissão de calor, ar condicionados, há a adição do fluxo de energia antropogênico (Q_f), em termos de estoque (Q_s), o armazenamento de energia dos materiais, especialmente nas cidades fica positivo durante o dia (MASSON, 2006).

A noite, o Q_s é negativo, pois todo o calor armazenado durante o dia é liberado. A energia disponível ($Q^* + Q_f - Q_s$) vai para atmosfera, causando uma turbulência vertical, modificando o calor sensível (Q_h) ou o calor latente por evaporação (Q_e). O fluxo de calor advectivo é positivo e é considerado originário da mancha urbana

À noite, o Q_s é negativo, pois todo o calor armazenado durante o dia é irradiado em termos de resfriamento radiativo dependendo das condições atmosféricas, principalmente de nebulosidade. A energia disponível ($Q^* + Q_f - Q_s$) vai para atmosfera e contribui para a dinâmica da convecção associada a efeitos turbulentos na vertical. Isso também faz alterar o calor sensível (Q_h) ou o calor latente por evaporação (Q_e) que são complementares ao balanço radiativo originário. O fluxo de calor convectivo é positivo e é associado à mancha urbana (MASSON, 2006).

Os modelos empíricos possuem condições de reproduzir o balanço de energia a partir de dados observados. São utilizados poucas forçantes, como o tipo de superfície, radiação solar recebida e não necessitam resolução de muitas equações. Sua abordagem é baseada em dados observados da climatologia presente (MASSON, 2006).

Em relação a áreas urbanas, os estudos são recentes. Somente na década de 1990 surgiram os primeiros estudos observacionais, porém, com o passar dos anos, aumentou de forma significativa, visto que a heterogeneidade dessas áreas tornou-se um dos desafios relacionados a questões da relação superfície-atmosfera (MASSON, 2006).

Um dos efeitos na interação superfície-atmosfera está relacionado à rugosidade das manchas urbanas, devido à disparidade das alturas dos edifícios. Quanto mais cosmopolita a cidade, maior sua rugosidade. Quando associado a modelos de superfície, a camada de contato com atmosfera sofre maior atrito (MASSON, 2006).

Além do atrito, a radiação em áreas urbanas com alta taxa de verticalização sofrem com o bloqueio da reflexão solar, já que os raios refletidos são interceptados pelas paredes. Desta forma, o albedo urbano é mais baixo do que o albedo individual das superfícies que compõem essas zonas individualmente (MASSON, 2006).

Os modelos de vegetação também podem ser adaptados para áreas urbanas, desde que sejam adaptadas algumas especificações no balanço de energia. A vantagem do uso desses modelos é a vasta bibliografia sobre eles, visto que são modelos mais antigos. Porém, os modelos que utilizam a evaporação como variável principal, possui algumas ressalvas. Em áreas urbanas, a água evaporada é muito baixa, sendo interessante utilizar quando o foco é o estudo hidrológico e a previsão de precipitação, por exemplo (MASSON, 2006).

Os modelos específicos para áreas urbanas são modelos sensíveis a mudança do uso e ocupação do solo e já consideram um perfil vertical da superfície, onde são parametrizadas suas construções em 3 características: altura das construções; provisão de energia das diferentes fontes, como telhados, estradas e passeios; fluxo de energia entre as superfícies. Nestes modelos é considerada a rugosidade em relação a turbulência do fluxo de calor superfície (MASSON, 2006).

O modelo CLASS (*Chemistry Land Atmosphere Soil Slab*) é um modelo simples de balanço radiativo onde a radiação de onda curta recebida é uma função do tempo, dia, latitude e longitude e a radiação de ondas longas recebida é uma função da temperatura da camada limite planetária.

Utiliza-se uma série de equações diferenciais que reproduzem a evolução das propriedades da camada limite no ciclo diurno em resposta à superfície e às forçantes atmosféricas, possui baixo custo operacional e fácil interpretação dos experimentos e resultados (WOUTERS, PETROVA, et al., 2019). Integra um módulo de vegetação do solo, permitindo uma simulação da evolução diurna na camada limite planetária com resolução temporal de 60 segundos.

O modelo CLASS é uma ferramenta de software livre projetada para investigar a dinâmica da camada limite planetária e sua sensibilidade a diferentes condições terrestres e atmosféricas e tem sido avaliada por diversos estudos (DE ARELLANO et al, 2015; VAN LOON et al. 2015), inclusive comparando com dados observados ao longo da camada limite planetária.

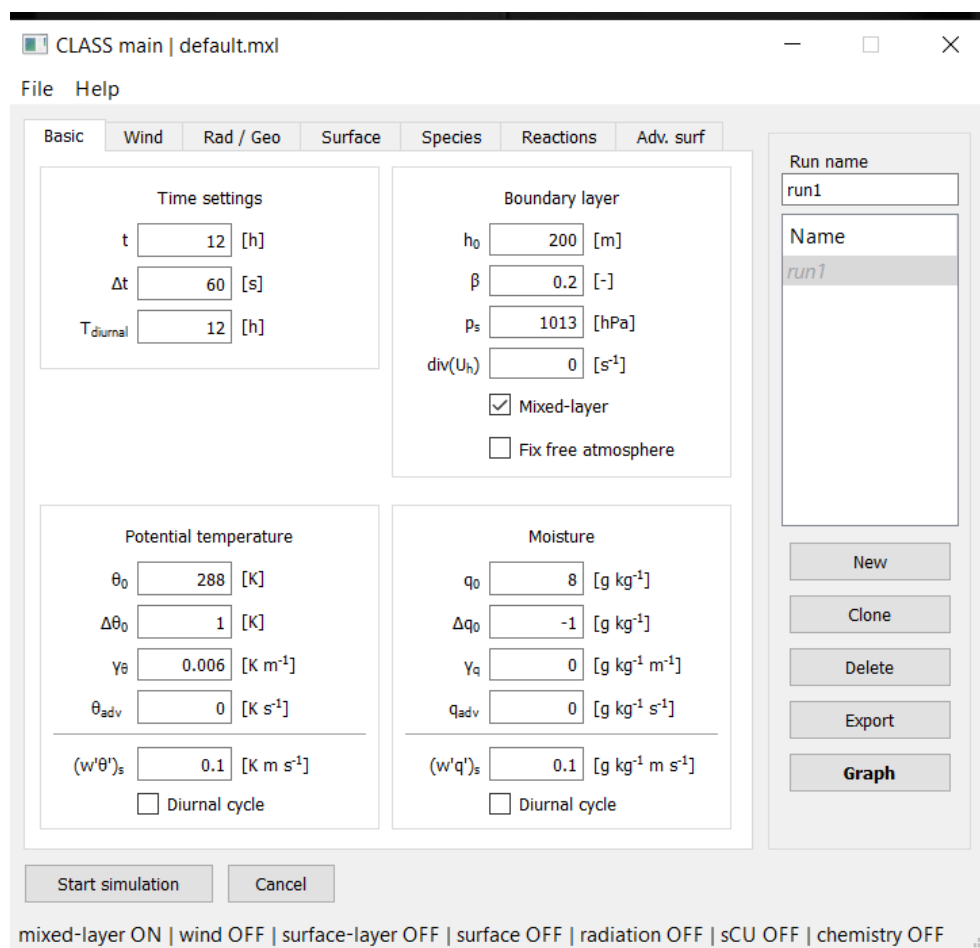
A ferramenta é capaz de extrair dados observacionais de superfície e sondagens globais, estimativas de satélites e dados de reanálise dos últimos 40 anos para inicializar o modelo. Contempla um pacote completo dos processos de superfície da dinâmica da camada limite planetária, incluindo sua química. Reproduz com precisão os essenciais feedbacks da interação superfície-atmosfera, sendo de fácil utilização e aplicação prática para diversos usuários, como partes interessadas em investigar e quantificar as interações entre o clima e mudanças no uso do solo devido à ocupação urbana.

A vantagem deste modelo é a possibilidade de qualquer pesquisador testar sua sensibilidade, pois pode-se perturbar os parâmetros de superfície e de atmosfera. Ainda, pode ser utilizado para investigar o efeito do uso e ocupação do solo em várias escalas e a evolução da camada limite da atmosfera durante o ciclo diurno (WOUTERS, PETROVA, et al., 2019).

Assim, possibilita a montagem de experimentos sistemáticos para avaliar a sensibilidade do próprio modelo, quando do ambiente na qual se quer estudar. Seu grau de incerteza está relacionado aos parâmetros de entrada, porém, quando utilizado na escala regional, seus resultados possuem uma qualidade considerável, atendendo as expectativas (WOUTERS, PETROVA, et al., 2019).

A interface interativa (Figura 3) automatiza permite realizar várias simulações da camada limite planetária em paralelo e experimentos que incluem uma perturbação global. Desta forma, possibilita promover uma melhor compreensão dos feedbacks da superfície terrestre e o microclima/clima. Desta feita, pode-se definir dias base para estudar as interações entre a superfície terrestre e a camada limite, como, por exemplo, dias sem nuvens e pouca influência de sistemas meteorológicos de meso ou grande escala.

Figura 3 - Layout do software Class, demonstrando uma interface intuitiva e de fácil acesso a consultores ambientais. O layout é dividido por abas, onde é possível parametrizar as variáveis de acordo com o cenário desejado.



Fonte: Class

Como resultado, o CLASS automatiza os dados de comportamento da camada limite no ciclo diurno em um local específico do globo e permite explorar localmente a interação superfície-atmosfera. O fluxo de calor sensível, latente e do solo são calculados a partir do albedo, emissividade da onda curta de entrada e radiação de ondas longas, temperatura da superfície e cobertura de nuvens (WOUTERS, PETROVA, et al., 2019).

Por conseguinte, pode-se determinar os elementos locais da mudança do uso do solo, do tempo sob o panorama das mudanças climáticas, proporcionando um melhor entendimento do processo de interação superfície-atmosfera. Ao integrar os cenários futuros de uso da terra, pode-se fomentar o desenvolvimento de estratégias de adaptação às mudanças climáticas (WOUTERS, PETROVA, et al., 2019).

1.10 Revisão de Literatura: Legislação Ambiental Pertinente e Legislação aplicada ao Clima

A matéria climática assim como o planejamento urbano estão inseridos na legislação brasileira, tão logo que o direito ao clima estável encontra-se no direito humano fundamental ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, de acordo com o art. 225 da Constituição Federal Brasileira e o art. 182 desta Carta Magna em relação a políticas de desenvolvimento urbano (MOREIRA, 2021).

O meio ambiente ecologicamente equilibrado é garantia constitucional além de uma série de regras dispostas na legislação infraconstitucionais. Dentre esse reconhecimento do direito ao meio ambiente equilibrado, decorre a obrigação do Poder Público garantir os instrumentos e suas aplicações em defesa ao equilíbrio ambiental (MOREIRA, 2021).

Os instrumentos jurídicos aptos a enfrentar a crise climática estão o licenciamento ambiental e a sua avaliação prévia de impactos ambientais, presentes no sistema jurídico brasileiro há mais de 30 anos. São instrumentos que preveem ampla e completa análise dos impactos diretos e indiretos a curto, médio e longo prazos; considerando fatores sinérgicos e cumulativos de atividades potencialmente poluidoras, como, por exemplo quem emite direta ou indiretamente os Gases de Efeito Estufa (GEE) (MOREIRA, 2021).

O cenário mundial das alterações do clima ocasiona maior frequência nos desastres naturais, impactando severamente na biodiversidade, cidades, patrimônio público e a continuidade da vida na Terra, especialmente nas perspectivas assumidas pelo Brasil no Acordo de Paris e no que prevê a Política Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) (GAIO, 2021).

No ano de 2015, ocorreu a 21ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas, em que os países incluídos no Grupo do G20 foram os signatários. O Acordo de Paris tem como objetivo garantir retardamento do processo de mudanças climáticas no mundo, sendo necessárias algumas ações, tais como: reduzir o desmatamento, usar energias limpas nas indústrias, melhorar a mobilidade urbana e a infraestrutura dos transportes, incentivar o uso de fontes alternativas de energia, reflorestamento e fomentar o uso de bioenergias na matriz energética – no caso do Brasil, 18% até o ano de 2030 (ONU, 2015).

A Política Nacional sobre a Mudança do Clima (PNMC) sancionada sob a Lei Federal n. 12.187/2009 (BRASIL, 2009), após o Brasil tornar-se signatário do Protocolo de Quioto, em que se comprometeu com a redução da emissão de gases de efeito estufa. A Política Nacional sobre a Mudança do Clima é um dispositivo legal que atende ao artigo 225 da Constituição Federal Brasileira, em manter o meio ambiente ecologicamente equilibrado, ou seja, é um conjunto de ações judiciais e administrativas (já que os entes políticos e órgãos de administração pública são os principais atores deste contexto), que possuem o objetivo de exigir o cumprimento ao direito fundamental à estabilidade climática, inserido no conceito de “meio ambiente ecologicamente equilibrado” (MOREIRA, 2021).

Dentre os instrumentos instituídos para garantir o meio ambiente ecologicamente equilibrado, tem-se o licenciamento ambiental. Instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente, sob a Lei Federal n. 6.938/81, tem o objetivo de dar vazão à aplicação dos princípios do direito ambiental durante a implantação de empreendimentos cujas atividades sejam potencialmente poluidoras. Apesar da PNMC ter sido implantada em 2009, pouco de seus princípios foram colocados em prática no licenciamento ambiental, ou seja, poucos empreendimentos com significativos impactos socioambientais são licenciados pelos órgãos responsáveis sem qualquer referência aos impactos e danos ao clima, evidenciando a omissão da governança ambiental, sendo necessária a adoção das providências mínimas no controle das mudanças climáticas (GAIO, 2021).

O cenário climático mundial é emergente. Os estudos e levantamentos realizados pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) demonstram o aumento das concentrações de GEE (Gases do Efeito Estufa) que, conseqüentemente, aumentam a temperatura média da atmosfera e da superfície dos oceanos, derretimento das geleiras, diminuição das espessuras e extensão das calotas polares, elevação do nível do mar, alteração nos regimes pluviométricos em todo o planeta, além do aumento da frequência dos desastres naturais (GAIO, 2021).

Para o enfrentamento, a crise climática apontada no parágrafo anterior, deve-se partir das seguintes premissas: apesar do problema possuir uma evidência global, a mudança climática manifesta-se em escalas menores (nacional e subnacional), que, somadas, compõem a realidade a qual preocupa o mundo; as discussões sobre as mudanças climáticas também estão numa escala global, no entanto são necessárias, cada vez mais, soluções pontuais, mesmo que de forma modesta, desta maneira a ferramenta do EIA/RIMA, com uma matriz de avaliação de impactos ambientais mais coesa com as questões ambientais garantem medidas de minimização ou mitigação dos impactos relacionados ao clima antes do início das atividades potencialmente degradadoras ao meio ambiente (MOREIRA, 2021).

Destarte, a observância do componente dos impactos e danos ambientais relacionados à temática do clima é primordial para a tomada de decisão administrativa que concede ou indefere a viabilidade de um empreendimento, considerando além do diagnóstico socioambiental apresentado no EIA/RIMA, as possibilidades de alternativas locacionais, tecnológicas e seu prognóstico com e sem o empreendimento. Ainda, o instrumento de licenciamento ambiental torna-se uma ferramenta para fixação de medidas mitigadoras e compensatórias dos impactos ambientais apresentados no estudo; os empreendedores de atividades com alto potencial degradador do meio ambiente, devem observar e internalizar seus custos de mitigação e compensação nos custos da atividade e reduzir ao máximo os GEE e efetivar os princípios apresentados na Política Nacional de Mudanças Climáticas (GAIO, 2021).

No estado de Santa Catarina, foi sancionada – 4 meses antes a sanção da Política Nacional de Mudanças Climáticas – a Lei Estadual n. 14.829, que Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina. No Capítulo VI, que aborda o licenciamento ambiental, o artigo único institui que as atividades referentes a projetos passíveis de emissão de gases de efeito estufa devem mitigar seus impactos através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo ou outros projetos a serem aprovados pelo órgão ambiental. Também, no início da norma, no artigo primeiro, é instituído que os municípios desenvolvam e implementem políticas e planos sobre mudanças climáticas, tal qual a legislação estadual (SANTA CATARINA, 2009).

Em consulta à plataforma digital “Leis Municipais”, buscou-se a palavra-chave “climática” para cada município citado no capítulo 1.13 Revisão de Literatura: O caso de estudo de cidades costeiras em SC. Os municípios de Araquari, Balneário Barra do Sul, Itapoá, São Francisco do Sul, Porto Belo, Governador Celso Ramos, Palhoça, São José,

Tijucas e Paulo Lopes não possuem nenhum dispositivo legal, que, de forma explícita possua alguma menção à palavra-chave pesquisada. No entanto, nenhum município possui um plano ou política específicos sobre mudanças climáticas, ou seja, ainda não atendem o dispositivo estadual sobre a matéria.

1.11 Revisão de Literatura: *Smart Cities*

A população e as atividades econômicas estão concentradas em áreas urbanas em todo o mundo, tanto que o século XXI é chamado “Era das Cidades”. De acordo com as Nações Unidas, cerca de 68% da população mundial viverá em áreas urbanas em 2050, sendo que em 1950, essa população era em torno de 30%. O que se deve considerar nesta conta, é que as áreas urbanas ocupam cerca de 2% de todo o território continental do planeta (TAKASE, 2021). Esse crescimento populacional previsto e o processo de urbanização trazem uma variedade de desafios técnicos, sociais, econômicos e corporativos (GENARI, DA COSTA, *et al.*, 2018). A grande população acarreta em problemas já conhecidos, especialmente quando o crescimento ocorre de forma desordenada, entretanto, alguns pontos positivos podem ser elencados, como a facilidade logística entre empresas e até mesmo a troca de informações e insumos devido à proximidade e o incentivo arte e à cultura (TAKASE, 2021).

Considerando esse crescimento urbano, como garantir que as cidades possuam características que proporcionem a seus moradores qualidade de vida? Uma das maneiras é a criação das chamadas *smart cities* ou cidades inteligentes (TAKASE, 2021).

Uma das definições de *smart city* consiste em cidades que proporcionem o crescimento sustentável, através da busca da melhoria contínua dos processos de urbanização e adequação dos espaços urbanos e utilização da tecnologia para todos os habitantes (TAKASE, 2021).

Porém, o significado de *smart city* é mais amplo que este. Na década de 90, o termo foi utilizado pela primeira vez com o intuito de definir o desenvolvimento da informação em uma cidade, ou seja, a busca de melhores infraestruturas para que todos possuam acesso à comunicação e tecnologia (DAS, 2019).

Com o decorrer dos anos, o conceito foi se modificando, sendo um dos principais pilares a busca de comunidades com qualidade de vida, com infraestrutura apropriada e inclusão social (DAS, 2019).

Dentre a evolução do conceito de *smart cities*, tem-se *smart sustainable cities*, que define uma cidade em que é possível atender as necessidades de seus atuais moradores sem comprometer as necessidades das gerações futuras, sem extrapolar suas limitações regionais ou do planeta e ainda sustentado pelas tecnologias da informação e comunicação (GENARI, DA COSTA, *et al.*, 2018).

Nesses conglomerados urbanos há investimentos em capital social, ambiental e humano, através de mobilidade urbana, infraestrutura com tecnologia de ponta para comunicação e tecnologia, crescimento sustentável e alta qualidade de vida, sem considerar a gestão do uso de recursos naturais e governança corporativa (GENARI, DA COSTA, *et al.*, 2018).

As *smart cities* possuem aspectos e mudanças relacionados a questões tecnológicas e sociais, considerando os seguintes fatores: crescimento econômico e social sustentável; capital social e humano; qualidade de vida; governança; meio ambiente e mobilidade (GENARI, DA COSTA, *et al.*, 2018).

A Carta Brasileira a Cidades Inteligentes é um documento lançado pelo Ministério do Desenvolvimento Regional para a construção de uma estratégia no âmbito federal sobre a implantação de cidades inteligentes (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, *et al.*, 2020).

Este documento entende que Cidades Inteligentes são aquelas que são diversas e justas; vivas e para as pessoas; conectadas e inovadoras; inclusivas e acolhedoras; seguras, resilientes e autorregenerativas; economicamente férteis; ambientalmente responsáveis; articuladoras de diferentes noções de tempo e espaço e atentas e responsáveis com seus princípios (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, *et al.*, 2020).

A carta definiu uma série de objetivos estratégicos para o desenvolvimento sustentável urbano das cidades, que incluem todos os conceitos descritos, a partir disso foi criada uma agenda, com prazos e metas para os municípios. Em relação à matéria climática, para atender ao Objetivo Estratégico 1 precisa:

Desenvolver e usar metodologias, dados e indicadores que respondam às mudanças ambientais e climática (aumento da temperatura média global com aumento da ocorrência de eventos climáticos extremos). Atuar nas frentes de adaptação (como prevenção a eventos climáticos extremos – deslizamentos, inundações, secas, erosões etc.) e de mitigação (redução de emissões de carbono).

Trata-se da resiliência das cidades, a questão mais importante nesta temática, que se refere à capacidade do sistema, incluindo seus moradores, em manter suas atividades mesmo durante choques, tensões e emergências, enquanto se adapta e se transforma em direção ao seu desenvolvimento sustentável. As principais estratégias para tornar uma cidade resiliente tem a ver com ações contra o terrorismo, a desastres naturais, adoção de novas tecnologias para energia, mobilidade e comunicação (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, *et al.*, 2020).

1.12 Revisão de literatura: Crescimento urbano – Panorama Geral do País

Arbitra-se que o processo de desconcentração espacial da população, parte do pressuposto da busca de oportunidade de emprego e garantia de moradia, especialmente quando se aborda o movimento migratório em regiões metropolitanas (LOBO, MATOS, 2011).

Embora o processo de urbanização e metropolização no país é recente, os dados dos últimos Censos demográficos (1990, 2000 e 2010) confirmam que houve uma tendência à dispersão geográfica da população, mesmo que os fluxos migratórios concentraram-se dentro dos núcleos metropolitanos, seja por atração de contingentes populacionais para áreas com maior disponibilidade de emprego, oferta de moradia própria, busca por bem-estar e qualidade de vida. Assim, adota-se as regiões metropolitanas como centros de dispersão (LOBO, MATOS, 2011).

Existem dois conceitos no processo de migração, os chamados “fatores de atração” e “fatores de expulsão”. O primeiro conceito refere-se à necessidade de mão de obra, devido ao processo de crescimento da produção das indústrias e expansão do setor de serviços urbanos. O segundo conceito, fatores de expulsão, podem ser divididos em outros dois: “fatores de mudança”, quando ocorre a pressão no campo em relação a um sistema poupador de mão de obra e os “fatores de estagnação” associados à pressão da urbanização e à disponibilidade de terras (BAENINGER, 2000).

Para Richardson (1980 apud (LOBO, MATOS, 2011) ocorre um processo de reversão de polarização, ou seja, para o autor, o crescimento continuado da concentração das atividades econômicas não leva a um aumento perpétuo da eficiência dos instrumentos públicos. Os benefícios derivados da escala urbana e da concentração produtiva tendem a diminuir, ou seja, existe um ponto de inflexão. Os custos para garantir a infraestrutura física, serviços públicos e administrativos aumentam *per capitate* com o crescimento dos

núcleos urbanos. A relação custo-benefício, a partir deste ponto de inflexão tendem a diminuir.

Para o aumento desta inversão de custo-benefício, considera-se os fatores sociais, como aumento da criminalidade e marginalidade, elevação dos preços da terra e aumento do custo de vida devido aos repasses de transporte e habitação, também explicados pelo incremento do preço da terra (a massa trabalhadora busca lugares mais longínquos para moradia, devido à escassez de ofertas de moradia) (LOBO, MATOS, 2011).

Na literatura econômica, cita-se Lo e Salih (1980 apud LOBO, MATOS (2011)), em que-se lista as seguintes condições para o processo de reversão da polarização: disponibilidade de emprego nos espaços urbanos (fomentando os fluxos migratórios rural-urbano), deseconomias de aglomeração (lançamento de novos empreendimentos em regiões de periferia), ocorrência de espraiamento urbano (crescimento urbano desconcentrado) em larga escala e aumento da complexidade organizacional nas atividades empresariais. Ainda, de acordo com Townroe e Keen (apud Lobo e Matos, 2011) a concentração da população urbana em regiões centrais diminui, de modo que “a razão entre a população da maior cidade e a população total do Estado começa a decrescer”. Esse processo de desconcentração das principais regiões metropolitanas acaba favorecendo os centros secundários mais próximos.

O espraiamento industrial brasileiro ocorreu a partir da década de 60 e não se limitou ao eixo de 150km da região metropolitana de São Paulo. Porém, essa desconcentração não ocorreu de modo ampliado, mas em espaços seletivos, bem equipados e ricos, especialmente para o interior de determinados estados da federação; em uma segunda fase, houve uma reconcentração da população nos eixos de Belo Horizonte/Uberlândia, Londrina/Maringá, Porto Alegre/Florianópolis, São José dos Campos (LOBO, MATOS, 2011).

As análises elaboradas a respeito do processo de espraiamento populacional, especialmente ocorrido na década de 70 e 80, demonstrou o significativo fluxo e crescente para a região sudeste, além do processo de urbanização, quando ocorreu o êxodo rural, com cerca de 15,6 milhões de pessoas deixando o campo para a busca de moradia, trabalho em centros urbanos, iniciando o processo de metropolização (MARTINE, 1994).

O processo de espraiamento populacional experimentado pelas regiões brasileiras é resultado de processos complexos. Porém, a urbanização é uma das forças impulsionadoras de mudanças, afetando diretamente nos fluxos migratórios, principalmente internos em todo o país (BAENINGER, 2000).

Ao longo das últimas duas décadas, os fluxos migratórios internos criaram um rearranjo da população em todo território nacional, onde a industrialização e as fronteiras agrícolas constituem os eixos percussores da dinâmica das migrações e sua distribuição espacial, especialmente no âmbito interestadual (BAENINGER, 2000).

Porém, na próxima década, final dos anos 80 e 90, surgiu um novo movimento, nas regiões sul e centro-oeste, o chamado migração de retorno, especialmente ocasionados por novas oportunidades de renda e disponibilidade de moradia. Nesse momento, houve um incremento significativo nos movimentos migratórios em uma mesma região, aumentando o movimento intrarregional neste período (BAENINGER, 2000).

Esta dinâmica intrarregional, presente no Sul, garantiu os processos mais importantes no estado de Santa Catarina, sendo responsável por 72% do fluxo migratório do estado. Santa Catarina, nessa época, foi o polo de atração e absorção regional, sendo um ganho de aproximadamente 35 mil imigrantes nos anos 90, oriundos dos estados vizinhos (BAENINGER, 2000).

1.13 Revisão de Literatura: O caso de estudo de cidades costeiras em SC

O litoral de Santa Catarina possui uma extensão de 561,4 km e possui 43 municípios inseridos no sistema costeiro-marinho, de acordo com os dados extraídos do IBGE Cidades, totalizando aproximadamente 9.922,5 km² de área terrestre e 5.894 km² de área oceânica (SCHERER, FERREIRA, *et al.*, 2006). De acordo com o censo demográfico de 2010 a população destes 43 municípios é de 2.539.797 pessoas com a projeção para 2020 de uma população de 3.048.357 habitantes no censo de 2020, logo a densidade demográfica desta região é de 307,21 hab/km² (IBGE, 2020).

A área de estudo compreende 23 municípios do Sistema Costeiro-Marinho do estado de Santa Catarina. O conceito de sistema costeiro-marinho advém do livro "Biomassas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil (IBGE, 2019), que abrange os municípios os quais são delimitados a partir de áreas de influência marinha e fluviomarinha.

O Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro do estado divide a região litorânea em 5 setores, sendo: setor norte, centro-norte, centro, centro sul e sul (GERCO, 2004 apud (SCHERER, FERREIRA, *et al.*, 2006).

O litoral norte apresenta planície costeiras e a presença da Baía de Babitonga, em que o estudo abrange os municípios de Araquari, Balneário Barra do Sul, Itapoá, São Francisco do Sul, São João do Itaperiú e Barra Velha.

O setor centro-norte possui a maior bacia hidrográfica da vertente atlântica, sendo o Rio Itajaí-Açu o principal curso d'água presente na região. Possui a maior densidade demográfica do estado. Nesse estudo, foram incluídos todos os municípios deste setor, sendo: Balneário Camboriú, Bombinhas, Camboriú, Ilhota, Itajaí, Itapema, Navegantes, Balneário Piçarras, Penha e Porto Belo.

Na região central, o setor 3, tem-se os municípios de Biguaçu, Florianópolis, Governador Celso Ramos, Palhoça, São José e Tijucas, todos inclusos no estudo em tela. É a região onde a capital do estado está inserida, na Ilha de Santa Catarina, a maior ilha do estado.

Para a região centro-sul e sul, só foi eleito o município de Paulo Lopes, sendo nestas regiões que ocorrem a transição entre os manguezais e os marismas, assim como possui o maior complexo lagunar do estado.

Cabe ressaltar que os municípios de Ilhota e São João do Itaperiú foram inseridos no contexto por possuírem características relevantes, como: o município de Ilhota possui uma alta cobertura vegetal, especialmente pelo Parque Natural Municipal do Morro do Baú, além de ter sido um município que teve grandes desastres naturais nos últimos 15 anos. E São João do Itaperiú, que está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Itapocu, com grande relevância em termos de umidade e possui grandes áreas com vegetação exótica.

A Tabela 3 apresenta os dados geopolíticos dos municípios da área de estudo. Todos os dados foram extraídos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), baseado no CENSO de 2010 e projeções elaboradas pela própria instituição a respeito do município. Foram consideradas para a análise população (dados de 2010 e projeção de 2020), PIB (Produto Interno Bruto *per capita em R\$*), IDH (Índice de Desenvolvimento Humano), Urbanização (percentagem de ruas urbanizadas) e domicílios de uso ocasional, considerando o valor absoluto de imóveis residenciais e a quantidade de imóveis que são utilizadas ocasionalmente.

Tabela 3 - Dados extraídos do IBGE (CENSO 2010 e projeções) disponíveis na plataforma IBGE Cidades dos municípios que contemplam a área de estudo.

Município	População (2010 2020)	PIB (R\$)	IDH	Densidade demográfica (hab/km²)	Urbanização (%)	Domicílios de uso ocasional (%)
Araquari	24.810 40.890	113.080,67	0,703	64,61	4,0	11
Balneário Barra do Sul	8.430 11.271	17.626,61	0,716	75,76	12,4	5
Itapoá	14.763 21.766	39.735,17	0,761	59,43	3,3	8
São Francisco do Sul	42.520 54.751	80.165,53	0,762	85,27	35	39
São João do Itaperiú	3.435 3.784	45.959,96	0,738	22,69	2,3	7
Barra Velha	22.386 30.539	48.950,39	0,738	159,78	34,9	46
Balneário Camboriú	108.089 149.227	40.002,30	0,845	2.337,67	89,6	30
Bombinhas	14.293 20.889	34.165,56	0,781	397,99	20,4	39
Camboriú	62.361 87.129	18.570,55	0,726	293,68	31,7	2
Ilhota	12.355 14.531	50.605,82	0,738	48,86	40	4

Itajaí	183.373 226.617	117.712,00	0,795	636,11	79,6	2
Itapema	45.797 69.323	29.597,10	0,796	792,29	35,3	42
Navegantes	60.556 85.734	48.187,98	0,736	540,56	38,9	9
Balneário Piçarras	17.078 24.385	41.741,30	0,756	171,79	34,7	9
Penha	25.141 34.022	23.419,45	0,743	427,87	41	7
Porto Belo	16.083 22.466	56.537,87	0,760	171,77	43,3	35
Biguaçu	58.206 70.471	27.639,57	0,739	159,94	47,1	5
Florianópolis	421.240 516.524	42.719,16	0,847	623,68	54,4	13
Governador Celso Ramos	12.999 14.739	22.084,49	0,747	110,93	20	38
Palhoça	137.334 178.679	32.626,64	0,757	347,56	45,2	15
São José	209.804 253.705	43.665,31	0,809	1.378,78	76,3	2
Tijucas	30.960 39.889	40.901,83	0,706	110,74	34	3
Paulo Lopes	6.692 7.642	25.654,38	0,716	14,88	5,9	13

Fonte: IBGE Cidades.

Em relação à população, o município que projetou o maior crescimento em número de habitantes foi Araquari, com cerca de 64,8%, ultrapassando o crescimento populacional médio de toda região que atingiu em torno de 32,5%.

O maior PIB (2018) dentre os municípios avaliados é da cidade de Itajaí. É o principal município da região da foz do Rio Itajaí-Açu, com uma economia baseada no setor de serviços, como logística. Cabe salientar que Itajaí está em segundo lugar no ranking dos municípios do estado de Santa Catarina e 36º se considerar o país.

O IDH, Índice de Desenvolvimento Humano, é uma medida que resume o progresso a longo prazo de um município, considerando três pilares: renda, educação e saúde (PNUD, 2021). O município de Florianópolis, capital do estado, possui o maior IDH dos municípios avaliados.

A cidade de Balneário Camboriú possui a maior densidade demográfica dentre os municípios avaliados e a menor é do município de Paulo Lopes, com 14,88 hab./km².

Em relação à urbanização destes municípios, pode-se avaliar a taxa de ruas urbanizadas, sendo Balneário Camboriú a cidade mais urbanizada dentre a região avaliada e São João do Itaperiú o que possui o menor índice de ruas urbanizadas, cerca de 2,3%, o que caracteriza um município com ocupação predominante rural.

E por fim, o índice de imóveis com utilização ocasional, sendo Barra Velha o município com maior taxa de imóveis com uso ocasional. Justifica-se, pois trata-se de uma cidade litorânea, próxima a grandes centros urbanos, como Joinville e Blumenau, deduz-se que é uma região escolhida para veraneio e férias. Porém, ao contrário de Barra Velha, os municípios de São José, Itajaí e Camboriú possuem o menor índice de domicílios de uso ocasional, caracterizando cidades de moradia.

É possível afirmar, a partir dos dados compilados, que esta região tem se tornado atraente para o investimento em empreendimentos imobiliários, consequência da grande disponibilidade de terras e a busca de compradores, população que tem migrado a estas regiões devido alguns atrativos, como: região litorânea, alta disponibilidade de emprego, infraestrutura e qualidade de vida.

2. ARTIGO(S) SUBMETIDO(S)

Relação do uso e ocupação do solo diante do clima regional presente e futuro com enfoque no licenciamento ambiental de parcelamento do solo nos municípios costeiros do centro norte de Santa Catarina

RESUMO

O processo de licenciamento ambiental da atividade de parcelamento do solo a partir de 100 hectares, no estado de Santa Catarina, necessita a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental – EIA/RIMA. Quando se aborda a questão climática, não há uma abordagem do clima presente nem do clima futuro para que se possa avaliar o prognóstico de implantação do empreendimento. Desta forma, o presente trabalho buscou demonstrar o estudo do clima urbano presente e futuro a ser empregado no licenciamento ambiental na região do litoral centro-norte de Santa Catarina, avaliando os cenários presente e futuro para estimar os impactos ambientais e climáticos, que são importantes serviços climáticos para tomadas de decisão em busca do melhor ordenamento territorial do município. A partir dos cenários, buscou-se a relação do uso e ocupação do solo com a interação da superfície-atmosfera, de forma a verificar se as alterações oriundas da implantação de grandes empreendimentos imobiliários podem ocasionar impactos climáticos em escalas locais a regionais, utilizando as ferramentas de fração efetiva de radiação refletida, fração efetiva de radiação emitida. Além de apresentar o uso da ferramenta CLASS como forma de avaliação de impacto climático pontual na implantação de loteamentos e condomínios de lotes.

Palavras-chave: licenciamento ambiental; serviços climáticos; meio ambiente urbano; clima urbano

INTRODUÇÃO

O mercado imobiliário do litoral centro-norte de Santa Catarina encontra-se superaquecido, com alta especulação e valorização em terrenos e disponibilidade de grandes glebas passíveis de parcelamento do solo. De acordo com o Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro do Estado, a região é subdividida em cinco setores: norte, centro-norte, centro, centro-sul e sul (GERCO, 2004 apud Scherer et al, 2006). Nesse ínterim, o uso do solo destes municípios tem se modificado de forma exponencial, onde áreas rurais tornam-se áreas urbanas.

O êxodo rural foi um dos principais movimentos que ocasionaram o crescimento dos centros urbanos. A migração da população rural para as cidades em busca de novas possibilidades de emprego ocorreu de forma desregrada, aumentando a degradação ambiental, a precariedade das moradias, a pobreza e a violência.

Apesar deste movimento ter iniciado na década de 40, somente em 2001 que foi promulgado o Estatuto das Cidades, dispositivo legal que prevê instrumentos de ordenamento de uso e ocupação do solo dos centros urbanos, como o plano diretor. Atualmente, muitos municípios possuem planos diretores ainda jovens, considerando a promulgação do Estatuto tardia e o prazo estipulado pelo dispositivo legal para sua implantação, o que ocasionou a aprovação de parcelamentos de solo de acordo com a Lei Federal n. 6.766/1979 – ainda vigente ou até mesmo implantações totalmente irregulares ou clandestinas.

Complementando a aprovação em atendimento ao plano diretor, outro instrumento de regulação de uso e ocupação do solo e implantação de empreendimentos cuja atividade é parcelamento do solo, é o licenciamento ambiental. A Política Nacional do Meio Ambiente, Lei Federal n. 6.938/1981, determina que empreendimentos os quais possuam grau significativo de impacto ambiental devem elaborar um estudo de impacto ambiental a ser apresentado a um órgão competente para devida avaliação e licenciamento, inclusive para empreendimentos imobiliários.

No estado de Santa Catarina, uma das atividades mais licenciadas pelo Instituto de Meio Ambiente – órgão responsável pelo licenciamento ambiental do estado – é o parcelamento do solo, seja para loteamentos ou condomínios de lotes. De acordo com sua instrução normativa, o porte que exige o estudo mais complexo dentre os estudos pré-definidos no licenciamento ambiental é a partir de 100ha (hectares) de área útil, quando é necessário a apresentação de um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

Para a elaboração deste estudo é necessária uma equipe multidisciplinar que discorre a partir de um Termo de Referência pré-aprovado pelo órgão ambiental. Dentre os itens, a temática clima é abordada no diagnóstico do meio físico e na avaliação de impacto ambiental, ambos de forma qualitativa, ou seja, não existe uma mensuração do impacto da mudança do uso do solo, mesmo em empreendimentos maiores que 100 hectares na região. Por exemplo, não há parâmetros ou metodologias de estudo para qualificar ou quantificar o impacto que o empreendimento ocasionará, como mudanças na temperatura do ar e regime de chuvas, e na geração de ilhas de calor.

Uma das alterações mais decorrentes do processo de urbanização na temática do clima é o desenvolvimento de ilhas de calor, seja por supressão de vegetação, presença de edifícios e superfícies com menor albedo, que também são associados ao aumento da dispersão de Gases do Efeito Estufa (GEE) e à presença de áreas impermeáveis. A retirada de vegetação altera o fluxo de calor da superfície, diminuindo a evaporação do solo. A dispersão de poluentes ocasiona o aumento do fluxo de radiação de onda longa entre a superfície e a atmosfera, especialmente as rugosas – mais presentes em áreas urbanizadas – e a absorção de radiação de onda curta (Gamarra *et al.*, 2014). Estas alterações diminuem a qualidade de vida da população local, o que é possível constatar, já que bairros mais arborizados possuem maior conforto térmico e ambiental e também menos problemas relacionados a alagamentos e inundações (Kawakubo *et al.*, 2019).

Os tipos de superfície encontrados em áreas urbanas, geralmente são compostos por elementos artificiais, com maior capacidade de armazenar energia, interferindo diretamente na dinâmica do meio ambiente local, alterando-o biologicamente, modificando fisicamente todo o ecossistema, como o balanço de energia urbano (Alves & Vecchia, 2012).

O processo de balanço de energia depende dos fatores físico-químicos da interação superfície-atmosfera, como a rugosidade, albedo, emissividade e difusividade. Cada material possui essas características definidas, dessa forma é possível estimar o balanço de energia de uma determinada área (Oke, 1987; Gartland, 2010 apud Alves & Vecchia, 2012). Esses processos ocorrem na camada limite, que é a camada mais próxima à superfície terrestre fortemente influenciada pela complexidade de forças de atrito e cisalhamento, também propensa a transporte de massa, momento e energia, inclusive dispersão de poluentes, por meio de difusão e convecção, e é, especialmente, sujeita ao aquecimento diurno e resfriamento noturno.

Essa avaliação em manchas urbanas é mais complexa. Regiões urbanizadas possuem superfícies heterogêneas, compostas por diversos elementos, o que dificulta uma determinação específica da informação. Para isso, é comum e arbitrado, a partir dos componentes envolvidos, uma média de todos os elementos contidos na área (Freitas, 2003).

Este estudo propõe investigar a interação de cenários climáticos presentes e futuros sob a interação no uso e ocupação do solo no litoral centro-norte catarinense, analisando os impactos ambientais associados para a implantação de parcelamento de solo, a fim de compreender a influência do clima em regiões urbanas, o impacto ambiental da mudança do uso e ocupação do solo e a estimativa de crescimento da zona urbana. Ou seja, o objetivo é avaliar cenários de clima urbano para estimar os impactos ambientais e climáticos, que são importantes serviços climáticos para tomadas de decisão em busca do melhor ordenamento territorial de um município.

MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

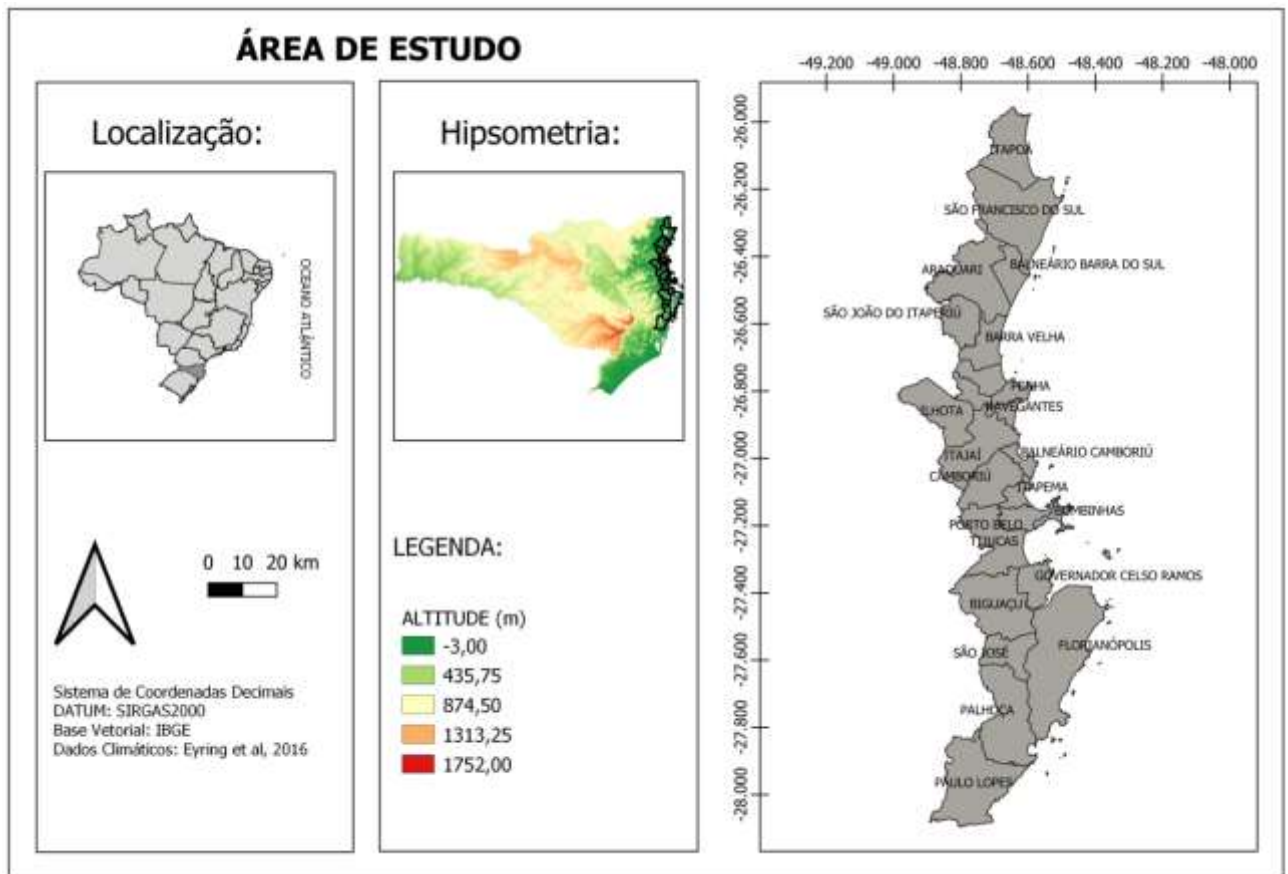
ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende 23 municípios do Sistema Costeiro-Marinho do Estado de Santa Catarina, focado no litoral centro-norte de Santa Catarina, onde ocorre uma intensa pressão do mercado imobiliário para novos empreendimentos.

A região passou por um processo de urbanização que afetou diretamente os fluxos migratórios, ou seja, muitas pessoas buscaram as áreas do litoral, especialmente os municípios da região, devido às oportunidades de empregos e renda, bem como acesso a oportunidades de saúde e serviços, considerando que são cidades com altos Índices de Desenvolvimento Humano (IDH segundo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD, 2000) e Produto Interno Bruto (PIB em R\$ segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2008).

A Figura 2.4 apresenta o croqui de localização dos municípios da área de estudo (sentido norte a sul: Itapoá, São Francisco do Sul, Balneário Barra do Sul, Araquari, São João do Itaperiú, Barra Velha, Balneário Piçarras, Penha, Navegantes, Ilhota, Itajaí, Camboriú, Balneário Camboriú, Itapema, Porto Belo, Bombinhas, Tijucas, Governador Celso Ramos, Biguaçu, São José, Florianópolis, Palhoça e Paulo Lopes), na perspectiva do Brasil, a hipsometria do estado de Santa Catarina e a perspectiva da área de estudo.

Figura 2.4 – Croqui de localização da área de estudo, considerando o Brasil, estado de Santa Catarina e os municípios em tela, índices médios de radiação anual do clima presente extraídos do WorldClim



Fonte Adaptada: Eyring et al, 2016.

A dinâmica migratória intrarregional, presente no Sul do Brasil, foi autora de um dos mais importantes processos de urbanização do estado, sendo responsável por 72% do fluxo migratório da região. Nos anos 90, o estado absorveu cerca de 35 mil imigrantes, oriundos dos estados vizinhos (Baeninger, 2000).

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O uso e ocupação do solo da região foi elaborado a partir das imagens do Satélite Sentinel-2, na data de passagem contemporânea em dia 30 de dezembro de 2020, ilustrando a situação presente. As imagens escolhidas possuem uma resolução espacial de 10 metros para as bandas 2, 3, 4 e 8. A composição RGB utilizada para análise do uso e ocupação do solo foi 4 (*Red*, comprimento de onda central $\lambda=664.6$ nm), 3 (*Green*, $\lambda=559.8$ nm) e 2 (*Blue*, $\lambda= 492,4$ nm), respectivamente. O recorte dessas imagens foi delimitado através do arquivo *shapefile* disponível na base cartográfica do IBGE.

O processamento das imagens ocorreu no software QGIS 3.16 com o plug-in SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*), de forma a automatizar a classificação de uso e ocupação do solo a partir de dados amostrais, assim como preparar as imagens para o processamento.

Inicialmente, foram definidos os parâmetros de busca das imagens da região de interesse, busca realizada na função *Download Products* disponível no próprio *plug-in*, e assim, considerando todas as bandas disponíveis.

Após analisar a disponibilidade das imagens, realizou-se o pré-processamento (função: *preprocessing*) das imagens do Sentinel-2, em que consiste no “empilhamento das bandas”, ou seja, é criada a composição RGB que garante a melhor visualização para definição das classes adotadas.

Nesse caso, foram arbitradas 5 classes principais: hidrografia (todos os corpos d’água naturais ou artificias); vegetação (estágio médio a avançado, com predomínio de espécies nativas); área urbana (áreas urbanas com equipamentos públicos ou não); faixa de areia (faixa de areia de praias, dunas ou terrenos com características de solo arenoso) e áreas com intervenção (áreas que já sofreram alguma intervenção antrópica, seja supressão de vegetação, áreas de mineração, áreas de expansão urbana ou com vocação agrícola).

Ainda na etapa de classificação, são definidas amostras de cada classe pela ferramenta *Create a ROI* e, por fim, através da função *Classification* no menu *Band Processing*, é iniciada a classificação automatizada do uso e ocupação do solo. Uma verificação qualitativa, e os ajustes são adequadamente feitos com base na visualização das ilustrações.

DADOS CLIMÁTICOS

Os dados climáticos espacializados em pontos de grade são como "superfícies climáticas" e utilizados em diversas áreas de estudo como meio ambiente, agricultura e ciências biológicas (Fick et al, 2017).

As superfícies climáticas são disponibilizadas como banco de dados do projeto *WorldClim*, para áreas terrestres globais em que contém dados mensais de temperatura mínima, máxima e média, precipitação de longo prazo, dentre outras variáveis climáticas, que são as forçantes dos modelos de cenários futuros (Hijmans et al., 2005). São compostas por séries temporais de variáveis meteorológicas instrumentais e estimativas de satélite (Fick et al, 2017).

Os dados mensais deste banco de dados vinculado pela WMO (*World Meteorological Organisation*), são provenientes de aproximadamente 2400 estações em todo mundo, com cooperação de diversos países (Harris, *et al.*, 2014).

As superfícies climáticas utilizadas correspondem a dados climáticos mensais de 1980 a 2000 para o clima presente com resolução espacial de 30 segundos que correspondem a aproximadamente 1km e para o futuro 2021 a 2100 com resolução espacial de 2,5 minutos que correspondem a aproximadamente 5km (Fick et al, 2017). Entre 2001 a 2020 é resguardado como período de *spin-up* para as simulações futuras, que é o tempo que leva para um modelo climático atingir um estado de equilíbrio dinâmico sob as forçantes aplicadas.

As superfícies climáticas disponíveis são: temperatura média, mínima e máxima (na qual se obtém a amplitude térmica), precipitação para o clima presente e futuro; radiação solar, velocidade do vento e pressão de vapor de água somente para o clima presente. Neste estudo, foram utilizadas para o clima presente, considerando o período anual: temperatura média, amplitude térmica e precipitação e temperatura mínima para as estações de inverno e verão, já que as mudanças de uso e ocupação do solo afetam diretamente estas variáveis, visto que a relação entre o tipo de superfície, o albedo e a emissividade são condicionantes para a variação destes elementos.

Para o clima futuro, foram utilizados dados do *Coupled Model Intercomparison Project – CMIP* geridos pelo *World Climate Research Program – WCRP*, que participa da documentação dos relatórios do *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC* (Su, *et al.*, 2021).

Os relatórios demonstram o comportamento dos cenários climáticos futuros, principalmente de acordo com as emissões de Gases de Efeito Estufa, cenários estes denominados (*Shared Socioeconomic Pathway-Representative Concentration Pathway - SSP-RCP*).

Dentre os sete cenários projetados pelos modelos climáticos globais e os inúmeros grupos de modelos disponíveis, foram considerados para o estudo: os cenários SSP245 (representa uma diminuição das emissões mundiais em relação à tendência observada); SSP370 (emissão de média a alta e suas consequências futuras, muito próxima ao cenário mais realístico, mesmo com uma parcial mudança de conceitos da sociedade atual) e SSP585 (aumento significativo das emissões dos gases efeito estufa para atender a demanda da sociedade atual e suas expectativas de crescimento). Os modelos utilizados foram o CanESM5, um modelo canadense com sensibilidade climática maior de 5,6 em

uma escala de 0 a 6, enquanto o MIROC6, um modelo japonês menos sensível, ou seja, sensibilidade igual a 2,6 (Fick et al, 2017), na qual sensibilidade dos modelos diz respeito a uma métrica de resposta às condições de clima atual simuladas para a concentração de CO₂ dobrada CO₂ (Su, et al., 2021).

COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA

Com a relação do albedo, com a radiação refletida e a temperatura, buscou-se arbitrar os valores de albedo e emissividade, mínimo e máximo do albedo para cada classe de uso do solo e bibliografia consultada, conforme Tabela 2.4:

Tabela 2.4 - Valores de albedo e emissividade, mínimo e máximo para cada classe de uso e ocupação do solo definidas para a região de estudo

Classe de Uso do Solo	Albedo (α)	α (mínimo)	α (máximo)	Emissividade (ϵ)	ϵ (mínimo)	ϵ (máximo)
Hidrografia	0,09	0,08	0,1	0,9	0,85	0,95
Vegetação	0,2	0,16	0,26	0,98	0,97	0,99
Área Urbana	0,15	0,05	0,4	0,9	0,85	0,96
Faixa de Areia	0,15	0,05	0,4	0,9	0,85	0,96
Área com intervenção	0,175	0,05	0,4	0,9	0,85	0,96

Fonte Adaptada: Oke (1987) e Brown e Gillespie (1995)

Para a análise dos dados climáticos e sua relação do uso do solo, empregou-se a analogia descrita por Hou, Hu, et al. (2014), o qual retratou a relação da fração da vegetação por célula de grade para maior homogeneidade dos resultados obtidos pela imagem, desta forma, foi aplicado ao caso, a mesma relação utilizando os albedos de referência, mínimo e máximo, conforme equação (1):

$$RadRef_{Fr} = \frac{RadRef - RadRef_{min}}{RadRef_{max} - RadRef_{min}}$$

(1)

Sendo, $RadRef_{Fr}$ é a fração da radiação refletida; $RadRef$ é radiação refletida (albedo de referência * radiação recebida); $RadRef_{min}$ é a radiação refletida mínima (albedo mínimo

* radiação recebida); $RadRef_{max}$ é a radiação refletida máxima (albedo máximo * radiação recebida).

Conceitualmente, a fração da radiação refletida é uma maneira de demonstrar o que foi efetivamente refletido, de forma a realçar e homogeneizar, assim, os valores são comparáveis entre as classes de uso e ocupação do solo.

A emissão de radiação de onda longa foi calculada através da Equação de Stefan-Boltzman (2), em que a energia total radiada por unidade de área superficial na unidade de tempo é diretamente proporcional a quarta potência de sua temperatura. Para os cálculos da emissividade de referência, foram utilizados os dados de temperatura média do clima presente, apresentados na Figura 2.6.

$$W = \sigma * T^4 \quad (2)$$

Sendo, $\sigma = 5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$ (constante de proporcionalidade); T é a Temperatura em Kelvin.

A partir destes valores, foi definida a seguinte relação para emissividade (Equação 3):

$$W_{\varepsilon} = \frac{(W * \varepsilon_{tip}) - (W * \varepsilon_{min})}{(W * \varepsilon_{max}) - (W * \varepsilon_{min})} \quad (3)$$

Sendo: W_{ε} é a fração de radiação de onda longa; W é a radiação; ε_{tip} é a emissividade de referência; ε_{min} é a emissividade mínima; ε_{max} é a emissividade máxima.

Entre as maneiras de calcular o balanço de energia, é através de modelos de clima em superfície, que são acoplados a modelos de projeções futuras do clima (tal qual os modelos CanESM5 e MIROC6), utilizando variáveis relacionadas mudança e prognósticos do clima, por exemplo, em ambientes florestais, agroecológicos e cidades (Masson, 2006).

Os modelos direcionados a áreas urbanas são sensíveis às mudanças de uso e ocupação do solo, onde são parametrizadas variáveis relacionadas com a interação superfície e atmosfera (Masson, 2006). Dentre esses modelos, está o CLASS (*Chemistry Land Atmosphere Soil Slab*; Vilà-Guerau de Arellano et al., 2015), que se trata de um modelo simples de balanço de energia, onde a radiação de onda curta recebida é relacionada à posição cronológica anual e geográfica global, já a radiação de ondas longas é relacionada á temperatura da camada limite.

O modelo CLASS é uma ferramenta de software livre baseado em parametrizações de uma série de variáveis, inclusive o fluxo de energia entre as superfícies que foram validadas com dados observados de superfície, estimativas de satélite e dados de reanálise para inicialização do modelo. Sua interface é de fácil utilização e aplicação, trazendo melhor compreensão das retroalimentações da interação entre (micro) clima e superfície de uma determinada região.

Como resultado, o modelo traz o comportamento da camada limite no ciclo diurno, permitindo explorar localmente a interação entre superfície e atmosfera. O fluxo de energia, especialmente o calor sensível, latente e do solo, são calculados a partir do albedo, emissividade, temperatura da superfície e cobertura de nuvens. De forma regional, seus resultados possuem um alto grau de incerteza, atendendo as expectativas (Wouters, *et al.*, 2019).

Para a verificação do modelo CLASS, foram realizados 12 experimentos, além do *Controle* do modelo. As coordenadas geográficas utilizadas foram extraídas através do centroide da região de interesse (-27.09174; -48.67867); foi considerado o dia do ano 364, relacionando ao dia das imagens de uso e ocupação do solo (30/12/2020), tempo total de 24 horas, ciclo diurno de 12 horas e variação temporal dos dados de 3600 segundos.

Cada experimento teve uma variável alterada a partir do *Controle*, esses dados foram extraídos a partir do clima presente e considerando as mudanças de uso e ocupação do solo para a atividade de parcelamento do solo. As variáveis alteradas estão descritas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Experimentos com modelo de superfície CLASS, os dados do detalhamento foram extraídos a partir do clima presente e considerando as mudanças de uso e ocupação do solo para a atividade de parcelamento do solo na região de interesse de estudo.

Experimento	Variável	Detalhamento	Gráfico
0	Controle	Default do modelo	Todos
1	Temperatura Inicial	290,88K (17,33°C)	Gráfico A
2	Radiação	816,11 W/m ²	Gráfico A
3	Tipo de Cobertura vegetal	Milho	Gráfico A
4	Modelo de Evapotranspiração	A-Gs (plant-phys),	Gráfico B
5	Nuvens	0,5	Gráfico B
6	Tipo de solo	Arenoso	Gráfico B
7	Reações Químicas	Simples	Gráfico C
8	Índice de Área Foliar	1,6	Gráfico C
9	Albedo	0,15	Gráfico C
10	Cobertura vegetal	0,15	Gráfico D
11	Condutividade da superfície	2,6	Gráfico D
12	Coordenada Geográfica	-26,36; -48,69	Gráfico D

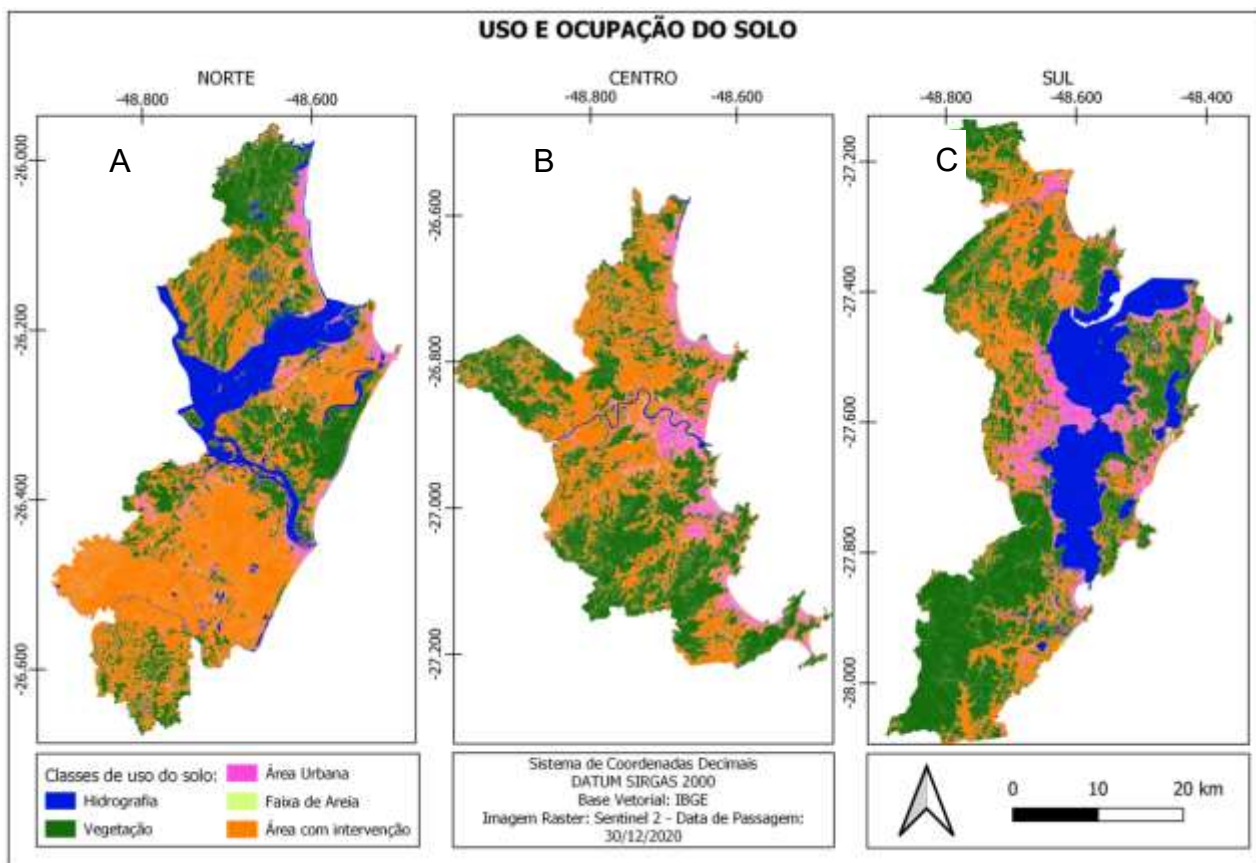
Fonte: Elaborado pela autora.

APRESENTAÇÃO DE DADOS

Para análise e avaliação do uso e ocupação do solo, dos cenários climáticos do clima presente e futuro e suas interações, foram elaborados 5 conjuntos gráficos da região, conforme demonstrado a seguir.

A ilustração de uso e ocupação do solo (Figura 2.5) foi elaborado a partir das imagens extraídas do Satélite Sentinel-2, data de passagem de 30 de dezembro de 2020. Foram arbitradas cinco classes: hidrografia (todos os corpos d'água naturais ou artificiais); vegetação (estágio médio a avançado, com predomínio de espécies nativas); área urbana (áreas urbanas com equipamentos públicos ou não); faixa de areia (faixa de areia de praias, dunas ou terrenos com características de solo arenoso) e áreas com intervenção (áreas que já sofreram alguma intervenção antrópica, seja supressão de vegetação, áreas de mineração, áreas de expansão urbana ou com vocação agrícola).

Figura 2.5 – Ilustração de uso e ocupação do solo da região de interesse, dividida em 3 áreas: Norte (A), Centro (B) e Sul (C). Foram definidas 5 classes: hidrografia (azul); vegetação (verde); área urbana (rosa); faixa de areia (neon) e área com intervenção (laranja).



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A composição das classes na área norte (A), apresentado na Figura 2.5, correspondem a 36,79% a áreas urbanas; 0,81% a faixa de areia e 50,08% a áreas com intervenção, sendo que a vegetação corresponde a 29,53%. A área de hidrografia é de 15,88%, considerando também a baía da Babitonga, uma superfície oceânica, já que a cidade de São Francisco do Sul é uma ilha.

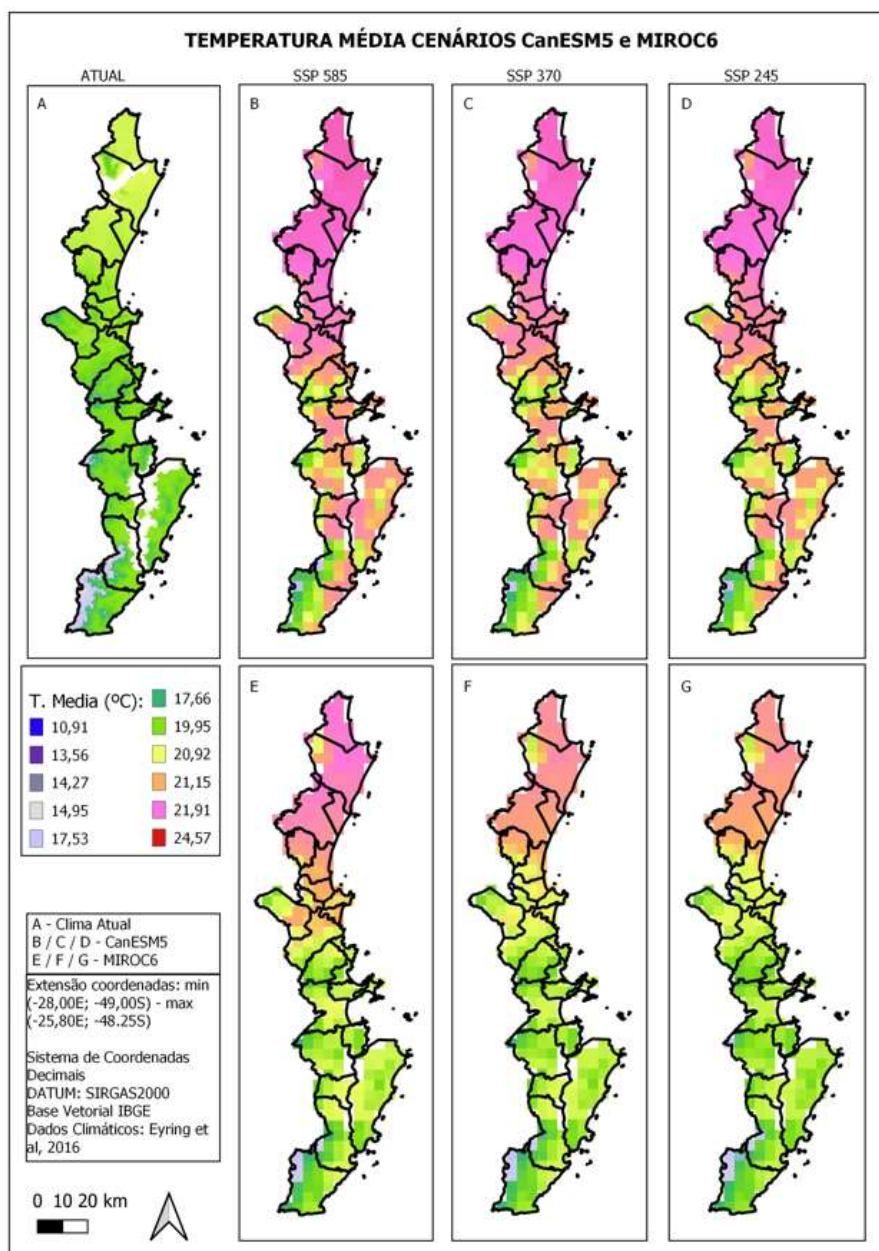
Na área central (B), as classes correspondem a: 43,15% a vegetação; 7,62% a áreas urbanas; 2,04% a faixa de areia; 43,31% a áreas com intervenção e 3,86% a hidrografia.

A área sul (C) tem a composição de classes correspondente a: 44,80% a vegetação; 7,00% a área urbana; 1,11% a faixa de areia; 27,42% a área com intervenção, onde 19,84% é hidrografia, que como o caso da área norte, o município de Florianópolis possui território numa ilha, desta forma considerou-se a superfície oceânica presente.

Os cenários atuais e futuros da temperatura média, estão expostos na Figura 2.6. Os dados para temperatura média também foram extraídos da plataforma *WordClim*, resultado dos modelos CanESM5 e MIROC6.

Para a análise, a concentração considerada no cenário atual foi de SSP410, de acordo com o Relatório do IPCC de 2021 e para o cenário futuro, foram utilizados 3 cenários diferentes, relacionados à concentração de CO₂. Os cenários escolhidos foram: SSP585 (onde ocorreria um aumento significativo da emissão de CO₂ na atmosfera); SSP370 (projeção similar de emissão de CO₂ do período atual) e SSP245 (onde é considerado uma estabilidade ou até diminuição da emissão de CO₂ para a atmosfera). As temperaturas médias variaram de 10,9°C a 24,5°C.

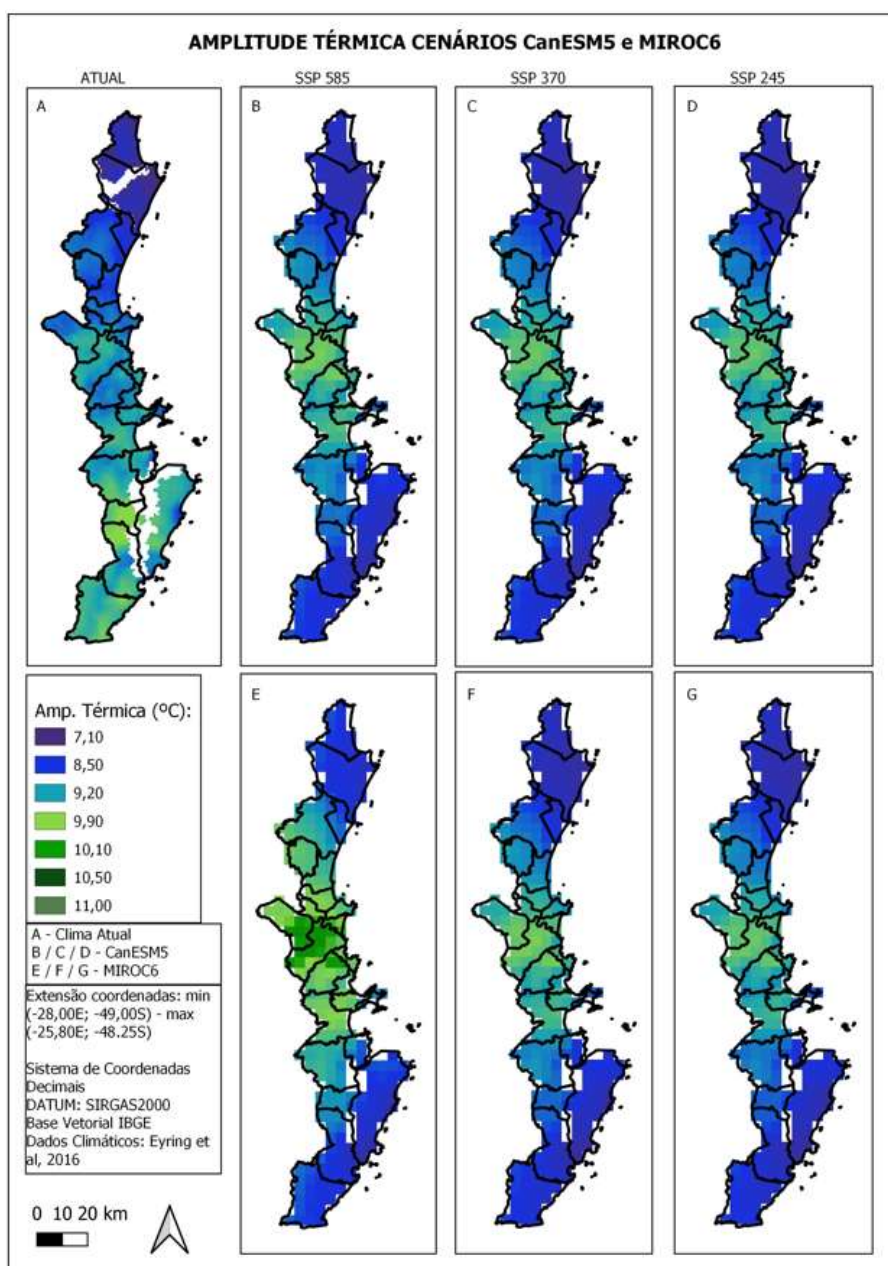
Figura 2.6 – Dados de TEMPERATURA MÉDIA ATUAL do clima presente e dos cenários futuros SSP585, SSP370 e SSP245 dos modelos CanESM5 e MIROC6. Limitados pelos vértices da região de interesse. (A) Clima Presente; (B/C/D) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo CanESM5; (E/F/G) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo MIROC6.



Elaborado pela autora (2021).

Os gráficos do conjunto de comparação de amplitude térmica foram extraídos dos dados climáticos do período atual (1980 – 2000) e futuro (2021 – 2040), dos modelos CanESM5 e MIROC6, com as projeções SSP585, SSP370 e SSP245, conforme Figura 2.7 a variação da amplitude térmica nos gráficos apresentados está entre 7,1 a 11.

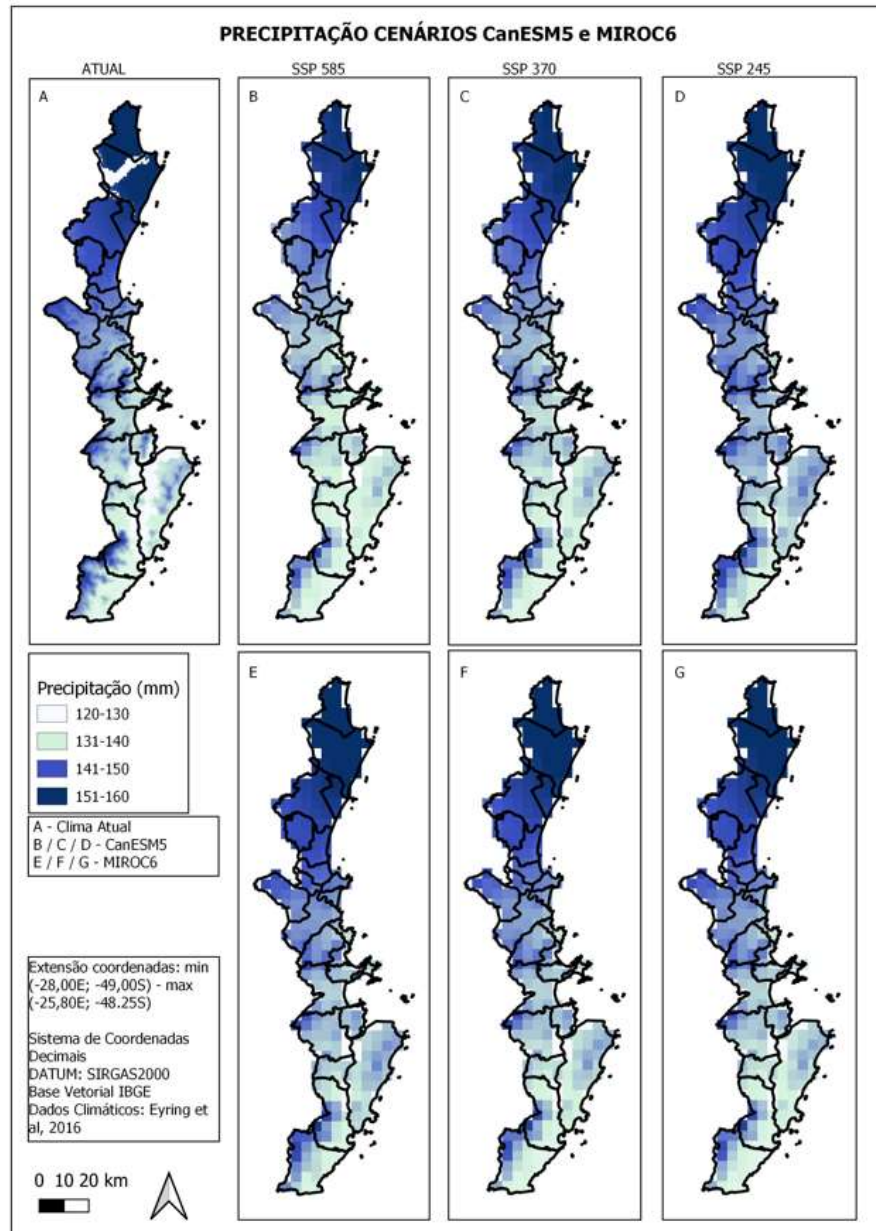
Figura 2.7 – Dados de AMPLITUDE TÉRMICA ANUAL do clima presente e dos cenários futuros SSP585, SSP370 e SSP245 dos modelos CanESM5 e MIROC6. Limitados pelos vértices da região de interesse. (A) Clima Presente; (B/C/D) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo CanESM5; (E/F/G) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo MIROC6.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Os dados de precipitação anual (Figura 2.8) foram também obtidos pela plataforma *WorldClim*, em que demonstrou na região de interesse uma variação entre 4 faixas de valores, em milímetros: 120 – 130; 131 – 140; 141 – 150; 151 – 160.

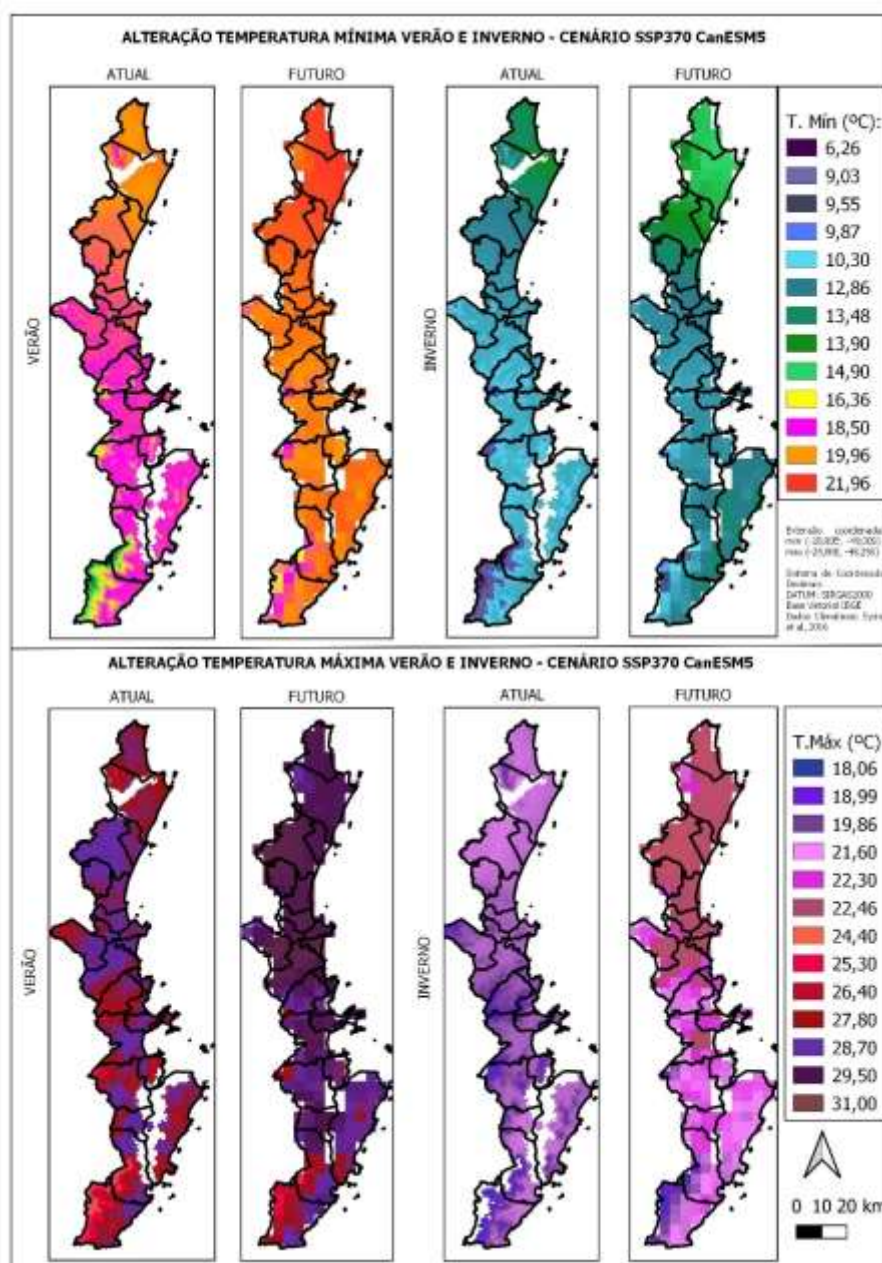
Figura 2.8 - Dados de PRECIPITAÇÃO MÉDIA ATUAL do clima presente e dos cenários futuros SSP585, SSP370 e SSP245 dos modelos CanESM5 e MIROC6. Limitados pelos vértices da região de interesse. (A) Clima Presente; (B/C/D) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo CanESM5; (E/F/G) projeção dos cenários futuros (SSP585, SSP370 e SSP245) do modelo MIROC6.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O comparativo da temperatura mínima nas estações de inverno e verão, do clima presente e futuro, somente com o cenário SSP370, por se tratar de um cenário mais factível, conforme Figura 2.9. As temperaturas mínimas variam entre 6,3 a 22°C e as máximas variam entre 18,1 a 31°C.

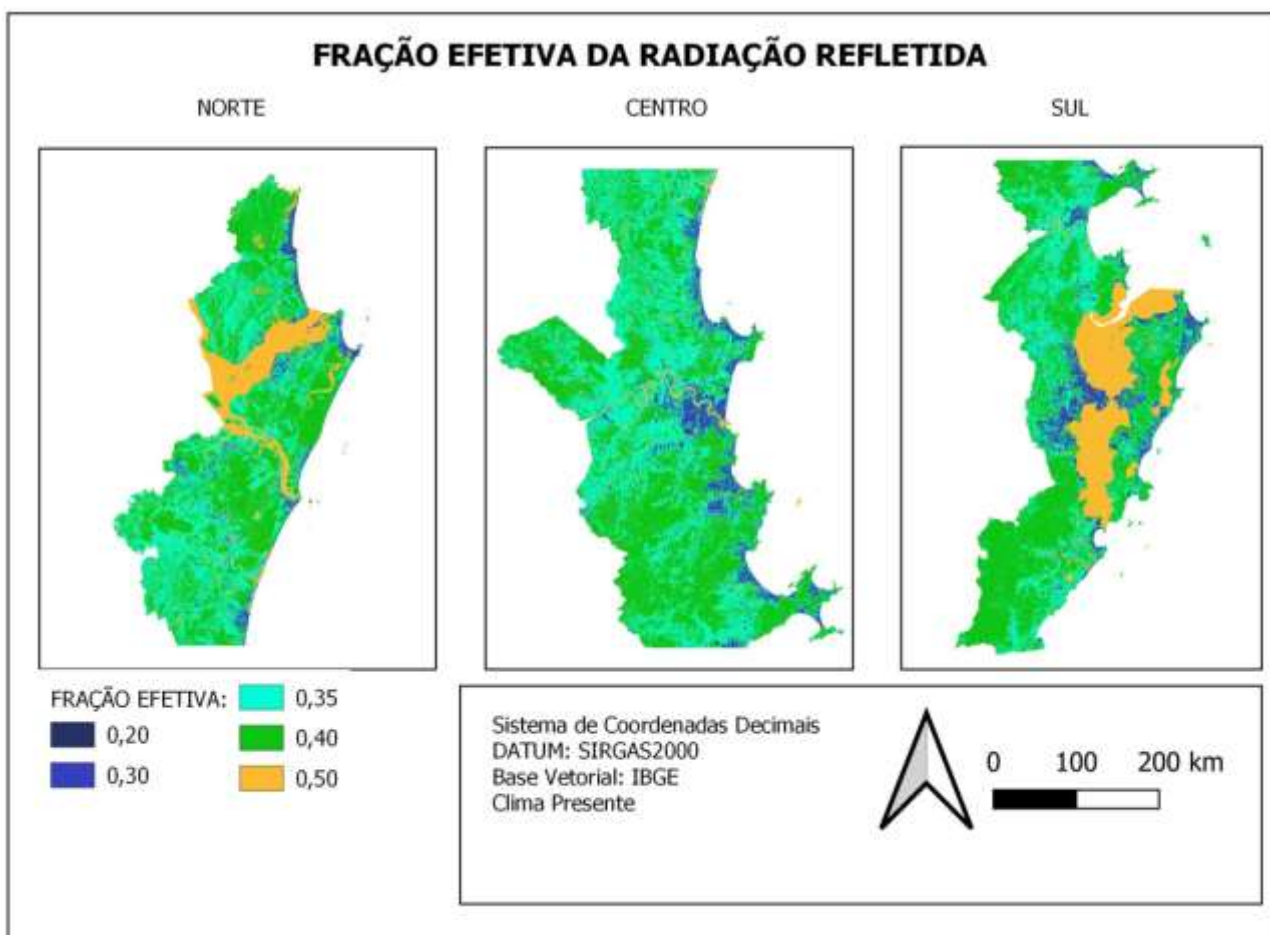
Figura 2.9 – Dados de TEMPERATURA MÍNIMA E MÁXIMA NO INVERNO E NO VERÃO do clima presente e do cenário futuro SSP370 dos modelos CanESM5. Limitados pelos vértices da região de interesse. Superior: Temperatura mínima no verão atual e futuro/ temperatura mínima no inverno atual e futuro. Inferior: Temperatura máxima no verão atual e futuro/ temperatura mínima no inverno atual e futuro.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O resultado para análise da Fração de Radiação Refletida foi representado através de ilustrações (Figura 2.10), subdividindo a região de interesse, conforme já elaborado nos ilustrações de uso e ocupação do solo. A fração refletida possui uma escala de valores entre 0,20 a 0,60.

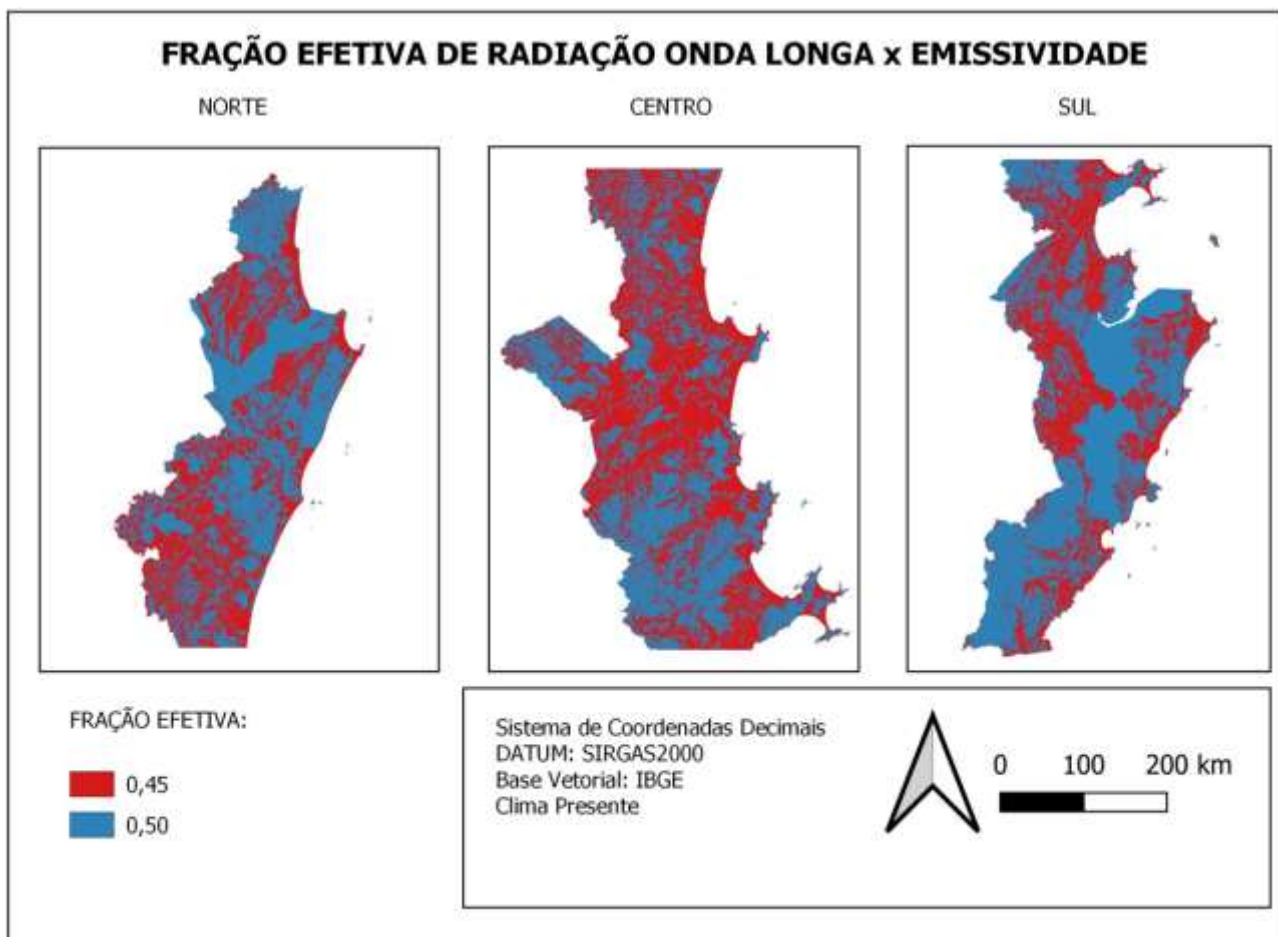
Figura 2.10 – Ilustração dos resultados da equação de fração efetiva de radiação refletida, para melhor comparação entre as classes de uso e ocupação do solo. Região de interesse dividida em Norte, Centro e Sul.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Os gráficos de fração de onda longa em relação à emissividade demonstram somente duas classes, dividida pelo valor da fração em 0,45 e 0,5, conforme segue na Figura 2.11.

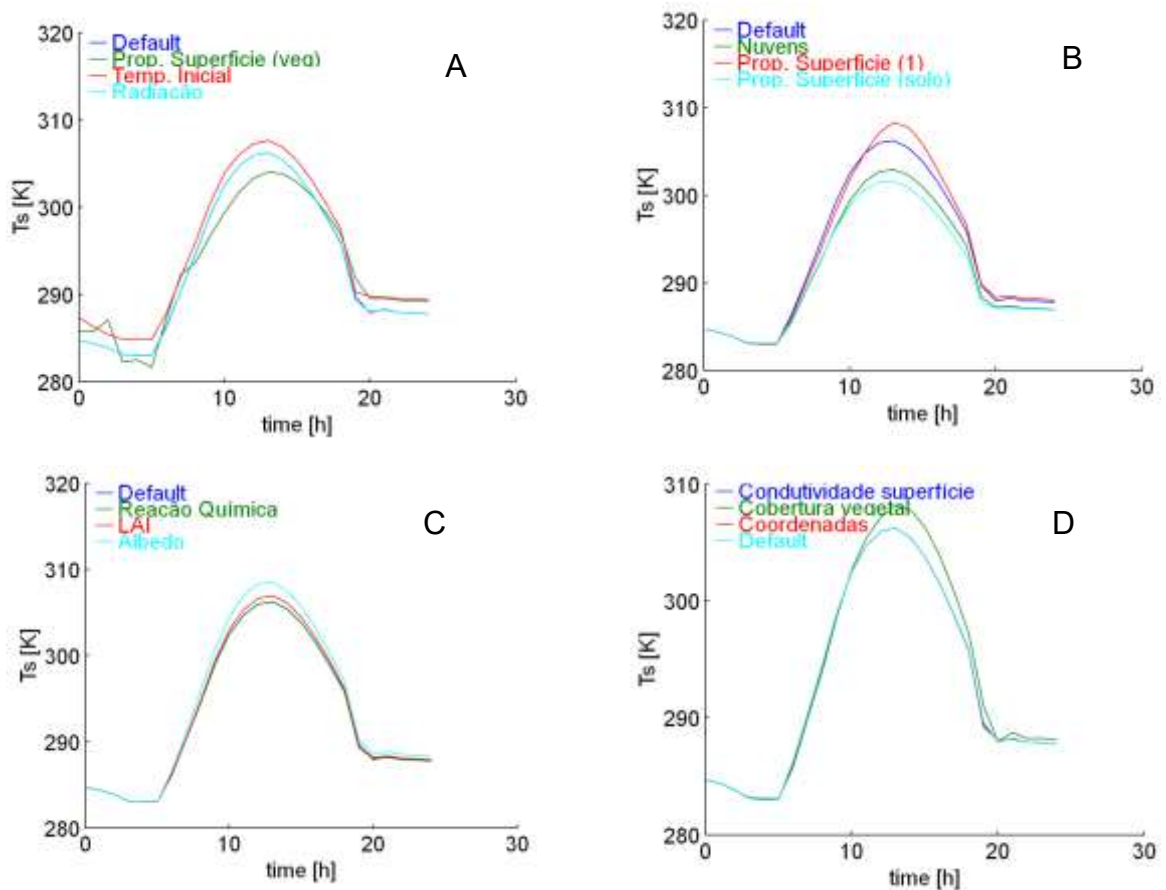
Figura 2.11 – Ilustração dos resultados da equação de fração efetiva de radiação de onda longa x emissividade para melhor comparação entre as classes de uso e ocupação do solo. Região de interesse dividida em Norte, Centro e Sul.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

O modelo CLASS gerou 4 gráficos em que cada linha apresenta o ciclo diurno a partir da variável modificada, de acordo com a Tabela 2.5. Todos os gráficos têm a simulação controle (*Default*) para fins de comparação, o eixo X está relacionado com o tempo do dia, ou seja, 24 horas e o eixo Y é a temperatura de superfície em K (Kelvin).

Figura 2.12 – Gráficos gerados a partir do modelo CLASS que demonstram as curvas de temperatura de superfície do ciclo diurno, a partir dos experimentos realizados no modelo de superfície CLASS.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

DISCUSSÕES, INTERPRETAÇÕES E RESULTADOS

O uso e ocupação do solo da área de interesse (Figura 2.5) demonstra que a região possui grandes áreas passíveis de parcelamento do solo. Essencialmente são as áreas classificadas com intervenção, visto que essas glebas possuem um passivo que facilitaria o licenciamento ambiental, devido a não necessidade de ingressar com o processo de supressão de vegetação, por exemplo.

A região norte (Figura 2.5A) é a região que mais possui áreas que já sofreram alteração antrópica (50,08% da área total analisada) e é a região que menos possui cobertura vegetal (29,53%).

Em relação à classe de mancha urbana é percebido que os conglomerados urbanos estão concentrados nas faixas litorâneas, especialmente nas regiões que compreendem os municípios de Itapoá e São Francisco do Sul, ambas com a principal economia baseada no transporte portuário e outros serviços.

A cobertura vegetal na região compreende parte da Serra do Mar, na porção mais ao norte da região, e um fragmento inserido no município de São Francisco do Sul relacionado ao Parque Estadual do Acaraí. A faixa de areia está relacionada somente com a área de praias da região. Na hidrografia é possível verificar, além da porção oceânica, os principais rios da região, como Rio Cubatão e o Rio Itapocu.

A porção central da região de estudo (Figura 2.5B) possui 43,31% de áreas que já sofreram algum tipo de intervenção antrópica. Ainda há disponibilidade de glebas passíveis de parcelamento do solo. Suas áreas urbanas concentram-se na região de praias, com uma expansão ao interior, maior nos municípios de Itajaí, Navegantes, Balneário Camboriú e Camboriú. Estes municípios são um polo econômico forte na região de interesse, com vocação para a área logística e de turismo.

Em relação à classe de vegetação, a porção central é a que possui menor cobertura, apesar da presença do Refúgio de Vida Silvestre em Itapema e três unidades de conservação em Bombinhas (Parque Natural Municipal Morro do Macaco, Parque Natural Municipal da Galheta e a Área Costeira de Zimbros). Assim, como na porção norte, a faixa de areia está relacionada às praias da região. Quanto à hidrografia, é possível observar o principal rio da região, o Rio Itajaí-Açu.

A região sul, representada na Figura 2.5C, possui a mais baixa porcentagem de cobertura classificada como área de intervenção e, apesar da capital do estado estar inserida nesta área, também possui somente 7% de área urbana consolidada, concentrada especialmente na porção continental de Florianópolis e os municípios de São José, Biguaçu e Palhoça.

Há uma grande porção de vegetação na região, especialmente pela presença do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro e do Parque Estadual do Rio Vermelho. Outrossim, algumas áreas vegetadas na capital estão relacionadas a regiões acidentadas em termos de relevo, com a presença de morros, o que dificulta a intervenção antrópica em parte, podendo também ser enquadradas como Áreas de Preservação Permanente.

Além da faixa de areia de praias, é possível observar as dunas da praia da Joaquina em Florianópolis.

A classe da hidrografia demonstra as lagoas do município de Florianópolis (Lagoa da Conceição, Lagoa do Peri, Lagoa Pequena) e também a porção oceânica, já que a capital do estado possui maior extensão geográfica em uma ilha.

Os modelos globais apresentam a dinâmica do clima na escala global, assim sendo, para o estudo foi utilizado um único recorte da região de interesse, considerando os

cenários de emissão dos gases do efeito estufa, SSP245; SSP370 e SSP585 dos modelos CanESM5 e MIROC6.

As alterações consistem em um aumento da amplitude térmica em grande parte da área de estudo, tendo um comportamento inverso na área sul, temperatura média e a temperatura máxima e a mínima das estações de inverno e verão. No tocante à precipitação, os modelos mostram uma leve divergência, onde o CanESM5 indica uma escassez com o aumento do CO₂, e o MIROC6 mostra um aumento da precipitação com o mesmo aumento de CO₂. Entretanto, considerando o volume anual, não há alterações significativas, porém, o regime de chuvas tem a propensão a ser mais intenso e a frequência menor.

É verificado um gradiente em relação à latitude na variação da temperatura média (Figura 2.6) em toda a área de estudo, sendo possível perceber no cenário atual e nos cenários futuros dos dois modelos. Houve influência da Serra do Tabuleiro, no extremo sul da área de estudo.

Em relação aos cenários futuros (Figura 2.6B/C/D), o modelo CanESM5 apresentou um aumento da temperatura média de 2 a 4°C, nos cenários de SSP585, SSP370 e SSP245. Dentre os cenários, não há variações significativas da temperatura média.

Para os cenários futuros projetados pelo modelo MIROC6 (Figura 2.6E/F/G) também é verificado uma diferença discreta, além da influência da topografia, tal qual os cenários dos modelos do CanESM5 e o atual.

A variação da temperatura média entre o cenário atual e os cenários resultantes desse modelo está em torno de 2°C. Apesar da similaridade dos resultados entre as concentrações de CO₂, o cenário SSP585 possui a maior variação, especialmente em áreas com maior população. É constatado que no modelo CanESM5 há uma homogeneização dos valores de temperatura média, especialmente na porção norte, de Itapoá a Araquari, e uma variação pontual nas demais regiões de interesse. No modelo MIROC6 ocorre uma variação da temperatura média ao norte (de Itapoá a Araquari) e uma homogeneização nos demais municípios.

No cenário atual (Figura 2.7A) é verificado uma amplitude térmica maior em regiões mais urbanizadas, com enfoque especialmente nas regiões da Foz do Rio Itajaí-Açu e Grande Florianópolis (ambos ocorreram na faixa de 9,20 a 9,90°C).

Ao Norte, nos municípios de Itapoá, São Francisco do Sul, Balneário Barra do Sul e Araquari, é verificado uma amplitude térmica que varia entre 7,10 a 8,50°C.

Na porção central, que compreende os municípios de Navegantes, Itajaí, Ilhota, Balneário Camboriú e Camboriú, é percebido a amplitude térmica, que varia entre 8,50 a 9,20°C. Apesar de possuir uma área urbana pequena em termos de extensão territorial, o seu adensamento é considerável, por ter municípios populosos, possuem uma cobertura vegetal extremamente baixa (com exceção do município de Ilhota). Essas características podem ter relação nas amplitudes térmicas mais altas, visto que as atividades antrópicas podem influenciar nesta variável.

Ao sul (área que compreende a Serra do Tabuleiro), apesar de características similares à porção norte da região de estudo, é verificado uma amplitude térmica maior, variando entre 8,50 a 9,20°C, sendo possível relacionar que as regiões adjacentes possuem um adensamento urbano muito maior que a região norte, tendo influência na amplitude térmica dessa região.

No cenário futuro, projetado pelo modelo CanESM5 (Figura 2.7B/C/D), para as três concentrações de CO₂ na atmosfera é verificado um discreto aumento em relação ao cenário atual, ainda é possível constatar que os três cenários possuem projeções similares.

Há uma relação com as regiões mais populosas e com maior concentração de atividades antrópicas, já que se observa na região da Foz do Rio Itajaí-Açu e na região da Grande Florianópolis uma menor amplitude térmica.

O uso e ocupação do solo também influenciou nos resultados, sendo que as regiões com maior cobertura vegetal possuem variações menores que as regiões que já tiveram algum tipo de intervenção antrópica e as que são de áreas urbanas.

Nas projeções de cenários futuros resultantes do modelo MIROC6 (Figura 2.7E/F/G) já ocorrem uma variação entre os cenários de concentração de CO₂, especialmente na região da Foz do Rio Itajaí-Açu, onde a amplitude térmica alcança o maior valor na concentração SSP585, abrangendo o valor de 11°C. Entre os cenários SSP370 e SSP245 não ocorre mudanças significativas entre si e entre o cenário atual.

Em comparação ao cenário atual, a região que compreende os municípios ao norte da área de estudo, possuem um aumento de 7,10 para 8,50°C no cenário SSP585, e nos cenários SSP370 e SSP245 ocorrem variação da amplitude térmica menor e semelhante ao modelo CanESM5.

Na porção que compreende a região metropolitana de Florianópolis, para os três cenários, ocorre uma diminuição da amplitude térmica e até mesmo uma homogeneização de toda a região.

O modelo MIROC6 é menos sensível (2,6) quando comparado com o modelo canadense (5,6), dessa forma, somente na região da Foz do Rio Itajaí-Açu que se pode

verificar uma relação entre a amplitude térmica com o adensamento urbano, visto que na região da Grande Florianópolis, diferente do resultado dos mesmos cenários projetados pelo modelo CanESM5, ocorre até uma diminuição da amplitude térmica quando comparado ao cenário atual.

É interessante observar que ambos os modelos projetaram nas regiões, com maior cobertura vegetal, uma diminuição da amplitude térmica nos três cenários, especialmente na região que compreende a Serra do Tabuleiro e área costeira adjacente.

Os cenários dos dois modelos não apresentam modificações tão profundas em relação ao volume de chuvas, considerando uma média anual. Nesta região é possível verificar a influência da topografia, como ao norte, a ocorrência da Serra do Mar, e ao sul, a Serra do Tabuleiro, ocasionam um maior volume de chuvas, seja no clima presente, seja nas projeções futuras.

Nos cenários do modelo CanESM5, há uma intensidade maior no índice de chuvas no cenário de SSP245, com enfoque na região da Grande Florianópolis e na região da Foz do Rio Itajaí-Açu. Já entre as projeções de SSP585 e SSP370, a variação é discreta, mesmo quando comparado ao cenário atual; ainda na Ilha de Santa Catarina, o cenário SSP585 ocorre uma diminuição na média de volume de chuvas.

A região que possui o maior volume de chuvas, seja no cenário atual, quanto nos cenários futuros é a porção norte da área de interesse, possui influência da Serra do Mar.

Os resultados do modelo MIROC6 possuem uma variação discreta em relação ao cenário atual, ou seja, o índice de volume de chuvas permaneceu semelhante nos três cenários.

Os resultados apresentados em relação à precipitação possuem uma relação direta com a amplitude térmica, possibilitando verificar uma similaridade entre as ilustrações. Foram utilizados o cenário SSP370 do modelo CanESM5 por se tratar de um modelo mais sensível e de um cenário mais factível.

Em relação à temperatura mínima, no verão, ocorre um aumento em torno de 3°C, e o cenário futuro traz uma expansão homogênea, com temperaturas em torno de 19,96 a 21,96°C.

Quando analisado as temperaturas mínimas, no inverno, é percebido uma relação direta com a topografia, além do aspecto latitudinal apresentado nos resultados da temperatura média. Ocorre também um aumento desses valores, em torno de 2 a 3°C. A temperatura mínima do inverno é menor em áreas mais vegetadas, quando se compara com as figuras de uso e ocupação do solo.

Em relação à temperatura máxima, no cenário futuro ocorre um aumento com uma expansão de forma homogênea, especialmente, na porção norte e central, tanto no verão quanto no inverno.

No cenário atual, no verão, é possível verificar uma relação com os maciços de vegetação, porém, no cenário futuro, não é verificado essa relação.

No inverno, é verificada a influência da latitude e da topografia, mas, ao verificar a região da grande Florianópolis, é percebida uma sobreposição entre a mancha urbana (extremamente adensada) e uma temperatura máxima maior do que as áreas adjacentes.

Por se tratar de modelos globais, os dados de entrada em relação à superfície, como o uso e ocupação do solo, são referentes a uma escala espacial maior e refere-se ao clima de grande escala.

Cabe salientar que os modelos globais apresentam um efeito médio anual e suas projeções climáticas tendem ao equilíbrio do balanço de energia, desta maneira, a concentração de CO₂ é a principal variável de entrada alterada, e todas as demais tendem a buscar um novo equilíbrio.

As componentes do balanço de radiativo foram investigadas em relação de Fração efetiva de Radiação Refletida e Fração efetiva de Radiação de Onda Longa, para uma avaliação regional.

No estudo foram definidos os albedos de referência, mínimo e máximo, apresentados na Tabela 2.4. Para a avaliação do balanço de energia em superfícies que compõem as áreas urbanas e as áreas com intervenção, devem ser considerados os diversos elementos presentes nestes locais. De forma a facilitar, especialmente quando se tratam de grandes áreas de estudo, busca-se uma homogeneidade horizontal, de forma a generalizar, conforme arbitrado para o caso. Para a aplicação da equação e análise dos resultados, foram inseridos os dados de entrada descritos na Tabela 2.4. O intuito foi verificar componentes do balanço de energia da região relacionado à intervenção do uso e ocupação do solo, o que gerou os gráficos representados nas Figuras Figura 2.10 e Figura 2.11. Relacionando, assim, a Fração efetiva de Radiação Refletida junto ao albedo de referência e a Fração de Radiação de Onda Longa considerando a emissividade de referência.

Na análise da fração de radiação refletida, a equação que inclui os albedos de referência, mínimo e máximo correspondem ao que é refletido pelo uso do solo, de forma a tornar-se um valor homogêneo e passivo de comparação entre as classes pré-estabelecidas, especialmente devido aos diversos valores de albedo encontrados em cada classe correspondente.

O conceito foi buscar além dessa homogeneidade e o realce das classes, um valor que fosse possível ser comparado entre as classes de uso e ocupação do solo. Além disso, a área de hidrologia exemplifica a métrica da Fração da Radiação Refletida, pois o intervalo do albedo da água é pequeno e se o albedo de referência fosse máximo, a Fração da Radiação Refletida seria igual a 1. Isso corresponderia ao regime diurno do balanço de energia sobre a água, na qual quase todo o saldo de radiação é absorvido pela camada de água.

Ressalva-se que, não necessariamente, o resultado da Fração Efetiva da Radiação Refletida resulta na sobreposição do uso e ocupação do solo, por exemplo, ao observar o ponto, na área norte (Coordenada Geográfica: -26,5S; -48,8W), é possível verificar plantio de eucalipto ou pinus, porém a fração efetiva da radiação refletiva é em torno de 0,3, mesmo sendo caracterizada como área com intervenção.

A variação de albedo das classes de uso e ocupação do solo são diretamente ligadas aos componentes encontrados na região classificada, desta maneira constata-se que as áreas urbanas e áreas com intervenção possuem uma diferença maior entre os valores mínimo e máximo, devido à diversidade de superfícies encontradas nesta classe.

As áreas urbanas ficaram destacadas na representação dos resultados da Fração de Radiação Refletida, sendo possível constatar que as áreas urbanas possuem menor fração de radiação refletida (0,20 – 0,30), ou seja, são áreas com maior absorção da radiação solar, o que resulta em aumento de temperatura. De fato, as áreas classificadas como faixa de areia têm albedo de referência equivalente a áreas urbanas, por isso ambas as classes possuem similar resultado.

No que se refere à classe de área de intervenção, o valor da Fração de Radiação Refletida encontrado foi de 0,35, demonstrando uma menor absorção de radiação e um aumento da temperatura.

A vegetação gerou o valor de 0,40, isso devido ao menor intervalo entre os valores de albedo mínimo e máximo, sendo, o maior valor entre as áreas de uso do solo, com exceção da água que possui o valor de 0,50, ou seja, é a classe com menor absorção de radiação e aumento de temperatura. Por conseguinte, a vegetação apresenta as condições de Fração efetiva da Radiação Refletida mais semelhante ao da área de hidrologia. Isto ocorre, principalmente, devido à pequena amplitude de albedos da vegetação, que é uma característica observada tanto para florestas quanto para vegetação menos vigorosa, e, até mesmo, para vegetação de pequeno porte. A vegetação além de refletir a energia, ela

absorve e a aprisiona, o que indica que o saldo de radiação é armazenado no solo e nas árvores.

Toda a energia que provém da radiação solar (radiação de onda curta) possui um equilíbrio com a radiação solar emitida pela Terra (radiação de onda longa) (Taschetto, Wainer, 2003). Dependente da nebulosidade, cobertura de nuvens, a radiação de onda longa torna-se a principal forçante do efeito estufa.

Ao observar os valores de emissividade, é verificado que as classes de uso e ocupação do solo de hidrografia, área urbana, área com intervenção e faixa de areia possuem valores semelhantes, o que resultou em dois valores de fração de radiação de onda longa (0,45 e 0,50).

A classe vegetação possui alta emissividade e um intervalo restrito, à vista disso o resultado destaca as regiões que possuem maciço vegetal, que aumenta a Radiação de Onda Longa Emitida efetiva e conseqüente perda radiativa da superfície. Quando há uma cobertura vegetal, há um armazenamento bioquímico devido à fotossíntese e o armazenamento físico de folhas, caules e água.

Logo, os resultados das relações das Frações de Radiação Refletida e Frações da Radiação de Onda Longa demonstram que as características de cada tipo de uso e ocupação de solo interferem na dinâmica do balanço de energia, ocasionando alterações na temperatura, amplitude térmica e regime de chuvas e no regime diário de temperatura.

O modelo CLASS trouxe a possibilidade de avaliar o ciclo diurno e a amplitude térmica de um determinado ponto geográfico, ou seja, o modelo pode ser utilizado para a avaliação da alteração do uso e ocupação do solo, por exemplo.

A Figura 2.12A apresenta as curvas dos experimentos 0 (azul), 1 (vermelho), 2 (ciano) e 3 (verde). As curvas dos experimentos 0 e 2 se coincidiram. A curva do experimento 1 teve o deslocamento relacionado à temperatura inicial alterada, porém possuindo o mesmo comportamento que as curvas 0 e 2. A curva do experimento 4 possui um pico de aproximadamente 2K a partir da segunda hora do dia, descendendo até 6K, até a terceira hora. Após esse comportamento, a curva permanece relativamente estável e acompanha as demais curvas do grupo.

A Figura 2.12B apresenta as curvas dos experimentos 0 (azul), 4 (vermelho), 5 (verde) e 6 (ciano). O experimento 4 teve o maior pico de temperatura de superfície, como também o menor resfriamento no menor do dia, valores similares ao experimento 0. Os experimentos 5 e 6 tiveram comportamentos similares, com temperaturas mais baixas que o experimento 0.

A Figura 2.12C apresenta as curvas dos experimentos 0 (azul), 7 (verde), 8 (vermelho) e 9 (ciano). Todas as curvas tiveram comportamento muito semelhantes, sendo a curva do experimento 7 e do experimento 0, idênticas. A curva do experimento 8 possui comportamento similar as curvas do experimento 0, porém seu pico de temperatura é maior. O experimento 9 apresentou o maior pico de temperatura e também a maior temperatura após o resfriamento.

A Figura 2.12D apresenta as curvas dos experimentos 0 (ciano), 10 (verde), 11 (azul) e 12 (vermelho). As curvas dos experimentos 0, 11 e 12 foram idênticas, sendo que somente a curva do experimento 10 possuiu comportamento diferente, com pico maior de temperatura.

CONCLUSÕES

A alteração do uso e ocupação do solo interfere diretamente nas principais variáveis climáticas, como amplitude térmica, temperatura e precipitação, uma vez que uma determinada área tem sua classe de uso do solo modificada, ocorre a alteração de suas características, como o albedo e a emissividade, que por sua vez modifica o balanço de energia na interação superfície-atmosfera.

Somente os dados provenientes dos modelos globais, devido a sua abrangência não são suficientes para a avaliação de impacto ao clima decorrente do uso e ocupação do solo de uma determinada região, sendo necessária uma avaliação mais pontual, como as propostas descritas no artigo. Cabe ressaltar que os modelos trazem a climatologia de 20 anos, apesar de uma variação mínima, e podem acarretar mudanças significativas a longo prazo, o que provoca impactos ambientais.

Experimentos com simulações climáticas simplificadas trazem a possibilidade de verificar as alterações nas variáveis que compõe o balanço de energia na interação superfície-atmosfera. Os experimentos foram capazes de mostrar essas modificações no clima regional, ou seja, os dados de entrada nesta escala regional avaliam modificações no regime diário da temperatura do ar e torna-se uma avaliação quantitativa para o processo de licenciamento ambiental para a implantação de um loteamento.

Em relação ao processo de licenciamento ambiental, os dados originados a partir dos modelos globais estão disponíveis para que sejam trabalhados por qualquer pesquisador, podendo ser utilizados para a elaboração do EIA, considerando os dados uma maneira de representar o clima no estudo (no caso, 2021 a 2040), ou seja, é um diagnóstico presente

e futuro do local em que o empreendimento será implantado, de forma a atender ao capítulo de diagnóstico do meio físico dos termos de referência do EIA.

Para a avaliação do impacto ambiental, considerando a alteração no clima, as relações de Fração de Radiação Refletida e Fração de Radiação de Onda Longa podem servir de dados de entrada, para uma futura metodologia de avaliação na alteração das variáveis climáticas devido à implantação de empreendimentos imobiliários de grande porte, como parcelamento de solo.

LISTA DAS REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS.

ALVES, E. D. L.; VECCHIA, F. A. S. Influência de diferentes superfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental / Influence of different surfaces on the temperature and energy flux: an experimental trial. *Revista Ambiência*, v. 8, n. 1, p. 101–111, 2012.

BAENINGER, R. Novos Espaços da Migração no Brasil: Anos 80 e 90. In: ANAIS DO XII ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, v. 0, n. 0, p. 1–28, 2000. Disponível em: <http://www.abep.org.br/~abeporgb/publicacoes/index.php/anais/article/view/980/945>. Acesso em: 20ago2021.

BRASIL. Estatuto das Cidades. [S.l: s.n.]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. , 2001. Acesso em: 03mar2021.

BRASIL. Lei Parcelamento do Solo. [S.l: s.n.]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. , 1979. Acesso em: 03mar2021.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017.

FREITAS, E. D. de. Circulações Locais em São Paulo e sua Influência sobre a Dispersão de Poluentes. 2003. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas) - Instituto De Astronomia, Geofísica E Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.

GAMARRA, N. L. R.; CORREA, M. P.; TARGINO, A. C. L. Utilização De Sensoriamento Remoto Em Análises De Albedo E Temperatura De Superfície Em Londrina – PR: Contribuições Para Estudos De Ilha De Calor Urbana. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.4, 537 - 550, 2014

HARRIS, I.; JONES, P. D.; OSBORN, T. J.; LISTER, D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, v. 34, n. 3, p. 623–642, 2014.

HOU, M.; HU, Y.; HE, Y. Modifications in vegetation cover and surface albedo during rapid urbanization: A case study from South China. *Environmental Earth Sciences*, v. 72, n. 5, p. 1659–1666, 2014.

IMA. Instrução Normativa 03 – Parcelamento do solo urbano. Disponível em: <https://www.ima.sc.gov.br/index.php/licenciamento/instrucoes-normativas>. , 2019. Acesso em: 02mar2021.

IMMITZER, M.; VUOLO, F.; ATZBERGER, C. First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe. *Remote sensing*, v.8, n.3, 2016.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

KAWAKUBO, F. S.; MARTINS, M. H.; MARTINES, M. R.; MORATO, R. G. Mapeamento De Superfícies Impermeáveis Em Áreas Urbanas Utilizando Análise De Mistura Espectral, p. 391–394, In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos/SP.

MASSON, V. Urban surface modeling and the meso-scale impact of cities. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 84, n. 1–3, p. 35–45, 2006.

SCHERER, M., FERREIRA, C., MUDAT, J., CATANEO, S. Urbanização e Gestão do Litoral Centro-Sul do Estado de Santa Catarina. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 13, p. 31–50, 2006.

SU, B.; HUANG, J.; MONDAL, S. K.; ZHAI, J.; WANG, Y.; WEN, S.; GAO, M.; LV, Y. JIANG, S.; JIANG, T.; LI, A. Insight from CMIP6 SSP-RCP scenarios for future drought characteristics in China, *Atmospheric Research*, v. 250, n. November 2020.

TASCHETTO, A. S., WAINER, I. A influência dos gases estufa no oceano Atlântico Sul: estudo climatológico. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 51, n. unico, p. 39–54, 2003.

VILÁ-GUERAU DE ARELLANO, J., VAN HEERWAARDEN, C. C., VAN STRATUM, B. J. H., AND VAN DEN DRIES, K.: *The Atmospheric Boundary Layer*, Cambridge University Press, 2015.

WOUTERS, H.; PETROVA, I. Y.; VAN HEERWAARDEN, C. C.; DE ARELLANO, J.V.G.; TEULING, A.J.; MEULENBERG, V.; SANTANELLO, J.A.; MIRALLES, D.G. Atmospheric boundary layer dynamics from balloon soundings worldwide: CLASS4GL v1.0. *Geoscientific Model Development*, v. 12, n. 5, p. 2139–2153, 2019.

3 PRODUTO(S) DESENVOLVIDO(S)

3.1 Introdução

A Câmara de Deputados em nível nacional ou a Assembleia Legislativa em nível estadual possuem canais de comunicação com a sociedade civil organizada, dentre as opções, tem-se a possibilidade de criação ou alterações de leis complementares e ordinárias, através de projetos de lei ordinárias ou complementares. Também é possível elaborar um projeto de resolução, conforme descrito abaixo.

A escolha de ser uma Resolução foi em razão das normas legais já vigentes. As especificações do licenciamento ambiental, considerações técnicas e necessidades de cada estudo são definidas a partir de Resoluções, especialmente dos órgãos do SISNAMA (Sistema Nacional de Meio Ambiente), no caso de Santa Catarina, o CONSEMA (Conselho Estadual de Meio Ambiente) é responsável por regulamentar a resolução.

Apesar deste estudo tratar-se de uma região específica, inserida em somente um estado da federação, a proposta do projeto tem âmbito estadual e é adaptável à esfera nacional.

3.2 Rito de Elaboração e Aprovação

De acordo com o *site* da Assembleia Legislativa, as entidades da sociedade civil organizada podem apresentar sugestões de lei para a Comissão de Legislação Participativa (CLP). Dentre as instituições, estão aptas a enviar essas propostas: Organizações Não Governamentais (ONGs), associações de classe, sindicatos, órgãos da administração pública direta e indireta.

Desta maneira, a proposta de Projeto de Resolução pode ser apresentada pelo Conselho de Classe de Profissionais que compõe o corpo técnico dos estudos ambientais, analistas de órgãos ambientais responsáveis pelo licenciamento ambiental de empreendimentos imobiliários e o próprio Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), por tratar-se de uma instituição de administração pública.

Simplificadamente, a sociedade civil organizada apresenta a sugestão à Comissão Legislativa Participativa, por sua vez, o Relator da Comissão apresentará o projeto ao

Plenário da CLP; sendo aprovada, será encaminhada à Mesa Diretora da Assembleia para aprovação e avaliação de uma comissão temática.

No caso, para este projeto de resolução, o rito administrativo de aprovação dar-se-á pelo Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA), o qual será enviado à Secretaria Executiva do Conselho para que seja analisado e aprovado por seus membros em reunião plenária. Todos os representantes da Sociedade Civil Organizada podem participar destas reuniões.

A função dos órgãos que integram o SISNAMA é deliberar essas resoluções, propostas e recomendações, com o intuito de atender os objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente.

3.3 Projeto de Resolução

PROJETO DE RESOLUÇÃO N.º 01, DE 15 de dezembro de 2021

Dispõe sobre a obrigatoriedade da adoção do levantamento dos impactos e ações mitigatórias no licenciamento ambiental, em relação ao cumprimento da Política Nacional de Mudanças Climáticas, especialmente na implantação de loteamentos e condomínios de lotes de grande porte.

A Câmara dos Deputados resolve:

Art. 1º Esta Resolução estabelece a obrigatoriedade do levantamento dos impactos e ações mitigatórias no licenciamento ambiental, em relação ao cumprimento da Política Nacional de Mudanças Climáticas, especialmente nos estudos de impacto ambiental e relatórios de impacto ambiental de empreendimentos imobiliários, como loteamentos e condomínio de lotes de grande porte, acima de 100 hectares.

Parágrafo único. Para o cumprimento do estabelecido no caput, devem ser instituídos no Termo de Referência do Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental um capítulo específico sobre mudanças climáticas e a necessidade de quantificar o impacto gerado pelo empreendimento.

Art. 2º Os órgãos ambientais competentes devem definir os critérios de exigibilidade, o detalhamento e a complementação, considerando a Política Nacional de Mudanças Climáticas e o art. 6º da Resolução CONAMA n. 01/86, inciso I, alínea b.

§ 1º - A elaboração do Termo de Referência e análise dos impactos ambientais da atividade a ser licenciada, suas alternativas locacionais e tecnológicas e o prognóstico com a implantação ou a hipótese de não implantação, devem prever a magnitude do impacto gerado aos parâmetros climáticos das áreas de influência do empreendimento.

§ 2º - As ações mitigadoras, planos de controle, programas de monitoramento devem considerar fatores e parâmetros pré-definidos no Estudo de Impacto Ambiental – EIA.

Art. 3º A atividade de parcelamento do solo urbano deve possuir no Estudo de Impacto Ambiental – EIA um estudo específico ao impacto as mudanças climáticas, demonstrando, de forma quantitativa, o impacto gerado pela implantação e operação do empreendimento e suas medidas de mitigação.

Art. 4º Nos termos da Resolução CONAMA n. 01/86, o prognóstico ambiental confrontando a hipótese da execução ou não do empreendimento, deve considerar a magnitude das alterações climáticas nas áreas de influência do empreendimento a ser licenciado.

Art. 5º O corpo técnico para elaboração e análise do Estudo de Impacto Ambiental – EIA deve ser legalmente habilitado e com conhecimento na área de interesse.

§ 1º - Os órgãos ambientais competentes pelo licenciamento ambiental devem possuir um profissional especialista na área climática em seu corpo técnico.

§ 2º - A equipe técnica elaboradora do Estudo de Impacto Ambiental – EIA devem possuir um profissional especialista na área climática, legalmente habilitado, às expensas do empreendedor.

Art. 6º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

Justificação

A dinâmica do uso do solo nos municípios de pequeno a médio porte, especialmente próximos a grandes centros tem se modificado drasticamente nos últimos anos. As áreas rurais estão se transformando em áreas urbanas, e grandes glebas são passíveis de parcelamento do solo e implantação de empreendimentos imobiliários, como loteamentos e condomínios de lotes.

Apesar do Plano Diretor, instrumento previsto no Estatuto das Cidades, em que se busca o ordenamento do uso do solo nos municípios e expansão urbana de forma a promover o desenvolvimento saudável, a questão climática pouco é abordada.

O ordenamento do espaço urbano é necessário para evitar os chamados desastres naturais, as previsões de eventos extremos climáticos demonstram o aumento da frequência e da intensidade, sendo necessário tornar as cidades resilientes, para sua população e suas atividades.

Outro instrumento de regulação, é o licenciamento ambiental. De acordo com a Resolução CONAMA n. 01/86, empreendimentos imobiliários que possuam a previsão de implantação em áreas maiores de 100 hectares, são passíveis de elaboração do Estudo de Impacto Ambiental – EIA, o estudo mais complexo nos processos de licenciamento ambiental.

Elaborado por uma equipe multidisciplinar, a partir de um Termo de Referência aprovado pela entidade ambiental responsável pela análise e emissão da licença ambiental, não há uma especificação às alterações climáticas, tão pouco consonância com a Política Nacional de Mudanças Climáticas.

A temática das mudanças climáticas deve ser incluída na análise da avaliação dos impactos ambientais e no prognóstico ambiental, onde são considerados os cenários com ou sem a implantação do empreendimento.

A avaliação do clima que será afetado com a implantação de grandes parcelamentos do solo deve ser de forma quantitativa, considerando elementos como temperatura de superfície, geração de ilhas de calor e regimes de chuva, para que se torne um instrumento que fundamentará a tomada de decisão da gestão pública em relação ao uso do solo das cidades.

Há a necessidade de atuação de toda a sociedade civil e organizada, assim como do poder público frente ao cenário mundial das mudanças climáticas, e, no Brasil, também

existe a emergência do atendimento à Política Nacional de Mudanças Climáticas, trazendo medidas de mitigação e adaptação nas atividades humanas.

A Associação Brasileira dos Membros do Ministério Público do Meio Ambiente, nos artigos representados pelo Dr. Alexandre Gaio e Dr. Paulo Antonio Locatelli, demonstram a necessidade de analisar as questões climáticas nos processos de licenciamento ambiental e na aprovação de projetos urbanísticos, ainda consideram que o acesso a dados é possível, através do Sistema de Informações Geográficas e outros bancos de dados específicos para acesso das equipes multidisciplinares que elaboram os estudos ambientais e de aprovação de projetos (GAIO; LOCATELLI, 2021)

A caracterização do espaço urbano envolve uma dinâmica entre diversas variáveis ambientais que modificam e podem ser modificadas. A interação do clima ao espaço urbano é uma relação que pode modificar um ao outro, ou seja, o clima urbano nada mais é do que a mudança do clima local pelo homem por consequência de suas atividades antrópicas (UNGER, 1995).

3.3 Conclusão

Os canais de comunicação das casas legislativas estão disponíveis para a sociedade civil organizada, porém há a necessidade de qualquer projeto ser submetido à avaliação e votação da Comissão de Legislação Participativa (CLP).

De acordo com o buscador de propostas legislativas no *site* da Câmara de Deputados, existem 1609 (pesquisa realizada em 15 de dezembro de 2021) propostas legislativas em tramitação com a palavra-chave “climática”. Se refinar a busca incluindo o critério que um dos autores seja do estado de Santa Catarina, tem-se 90 propostas em tramitação.

A ideia dessa busca foi demonstrar que apesar de ainda discreto, já existe uma movimentação no legislativo para adequação dos requisitos legais à Política Nacional de Mudanças Climáticas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo ambiental para fins de licenciamento ambiental deve atender os critérios dispostos na legislação vigente, e mais, deve ter subsídios para que os analistas tenham a capacidade de avaliar os impactos ambientais gerados pela implantação e operação de um empreendimento, inclusive na atividade de parcelamento do solo urbano.

A evolução da elaboração dos estudos ambientais é notória desde sua obrigatoriedade e o presente trabalho demonstrou mais uma oportunidade de melhoria nestes estudos a fim de trazer maior robustez ao processo de licenciamento ambiental.

A temática clima é abordada como um subcapítulo no diagnóstico do meio físico, na matriz de avaliação de aspectos e impactos ambientais e no prognóstico de implantação com e sem o empreendimento. No diagnóstico são elencados o volume de chuvas, temperaturas, classificação climática e rosa dos ventos. Para a avaliação e prognóstico são argumentados que haverá alterações, mas não há formas de mensuração nem de mitigação eficaz do impacto gerado.

A partir do problema exposto, buscou-se bibliografia para embasamento, como clima, balanço de energia, clima urbano, uso e ocupação do solo, sensoriamento remoto, modelos de superfície, legislação ambiental pertinente, *smart cities*, crescimento urbano.

Após a revisão de literatura, elaborou-se um artigo demonstrando o uso de dados globais da plataforma *WorldClim* para diagnóstico e avaliação dos impactos ambientais e o uso da ferramenta CLASS, verificando sua disponibilidade às equipes consultoras que elaboram os Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e os analistas dos órgãos ambientais.

O sensoriamento remoto foi uma ferramenta amplamente utilizada em todo o trabalho. A classificação do uso e ocupação do solo, o recorte e o refinamento dos dados climáticos utilizados da plataforma *WorldClim* e a elaboração final dos gráficos apresentados foram a partir do software *QGis*.

Os dados utilizados da plataforma *WorldClim* estão na escala global, especializados em grades, desta forma, foi possível recortar para a região de interesse. Trouxe a perspectiva dos cenários futuros, sem interferência direta do uso e ocupação do solo, em escala regional.

Em escala pontual, tem-se o modelo de superfície CLASS, que também atendeu as expectativas do uso e foi capaz de demonstrar o ciclo diurno da temperatura de superfície em um determinado ponto específico.

É possível verificar que a região de interesse está em processo contínuo de urbanização. A disponibilidade de glebas passíveis de parcelamento do solo é enorme

(considerando as áreas classificadas como áreas com intervenção), e, apesar de alguns maciços de vegetação, a vegetação presente está mais relacionada a áreas já protegidas, como Áreas de Preservação Permanente. Outro ponto a ser destacado é que a faixa litorânea, a maior proximidade do mar, traz maior adensamento urbano.

A partir dos índices de fração efetiva de radiação refletida e fração efetiva de radiação emitida é possível verificar os impactos relacionados ao clima na implantação de loteamentos urbanos, trazendo, além do CLASS, uma maneira de contribuir com os serviços climáticos e ambientais associados.

Apesar do fácil acesso aos dados utilizados e as ferramentas gratuitas e de baixo custo operacional, algumas dificuldades foram encontradas, especialmente em termos de tratamento dos dados. Há necessidade de converter alguns dados em outros *softwares* para que se possa trabalhar com os dados nos aplicativos apresentados, além da diversidade de dados encontrada, o que precisa ser analisado de maneira detalhada, entendendo o objetivo apresentado para saber qual banco de dados utilizar. Se fez necessário tratar os dados várias vezes até atingir os objetivos propostos.

O aperfeiçoamento das ferramentas apresentadas neste trabalho ainda é necessário, sendo a possibilidade para estudos futuros, a criação de uma metodologia específica de avaliação de impacto ambiental na implantação de empreendimentos imobiliários.

REFERÊNCIAS

ALVES, E. D. L., VECCHIA, F. A. S. **Influência de diferentes superfícies na temperatura e no fluxo de energia: um ensaio experimental / Influence of different surfaces on the temperature and energy flux: an experimental trial**, Revista Ambiência, v. 8, n. 1, p. 101–111, 2012. DOI: 10.5777/ambiencia.2012.01.08.

AQUINO, M. D. De, MOTA, S., PITOMBEIRA, E. D. S. **Impactos Ambientais Da Ocupação Desordenada Da Praia Da Caponga-CE**. In: II Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, p. 4, 2003.

BAENINGER, R. **Novos Espaços da Migração no Brasil: Anos 80 e 90**. In: Anais do XII Encontro Nacional de Estudos Populacionais, v. 0, n. 0, p. 1–28, 2000. Disponível em: <http://www.abep.org.br/~abeporgb/publicacoes/index.php/anais/article/view/980/945>.

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. Tradução Ronaldo Cataldo Costa. Porto Alegre: Bookman, 9. ed., 2013.

NOVO, Evelyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

BORATTO, I. M. D. P., GOMIDE, R. L. **Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 7345–7352, 2013.

BRASIL. **Lei n. 11.977/2009**. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. Brasília, 2009. Legislação Federal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11977.htm> Acesso em: 15 jul. 2021.

BRASIL. **Lei n. 13.465/2017**. Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal. Brasília, 2017. Legislação Federal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13465.htm> Acesso em: 15 jul. 2021.

COUTINHO, M. P., LONDE, L. de R., SANTOS, L. B. L., et al. **Instrumentos de planejamento e preparo dos municípios brasileiros à Política de Proteção e Defesa Civil**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 7, n. 3, p. 383–396, 2015. DOI: 10.1590/2175-3369.007.003.a006.

DAS, D., **Smart City**". *The Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies*, Wiley, 2019. v. 9. p. 1–7.. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118568446.eurs0294>. Acesso em: 24 nov. 2021.

DUARTE, D. H. S. G. G. S. **Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental Brasileira: Correlações e Proposta de um Indicador**, Ambiente Construído, v. 3, n. 2, p. 7–20, 2003. DOI: 10.11606/T.16.2000.tde-18072006-182858. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14158876>.

FERREIRA, N. J. et. al. **Aplicações Ambientais Brasileiras dos Satélites NOAA e TIROS-N**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

FICK, S. E., HIJMANS, R. J. **WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas**, International Journal of Climatology, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, 2017.

FREITAS, E. D. de. **Circulações Locais em São Paulo e sua Influência sobre a Dispersão de Poluentes**. 2003. Universidade de São Paulo, 2003.

GAIO, A., **O Licenciamento Ambiental de atividades e empreendimentos sujeitos à realização de EIA/RIMA como instrumento de controle dos impactos e danos climáticos**. In: ABRAMPA (Org.), *A Política Nacional de Mudanças Climáticas em Ação: A atuação do Ministério Público*, 1a. ed. Belo Horizonte, 2021. p. 415.

GENARI, D., DA COSTA, L. F., SAVARIS, T. P., et al. **Smart Cities e o desenvolvimento sustentável: revisão e perspectivas de pesquisas futuras**, Revista de Ciências da Administração, p. 69–85, 2018.

GÓMEZ, J. M. R., CARLESSO, F., VIEIRA, L. E., et al. **A irradiância solar: conceitos básicos**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 40, n. 3, 26 mar. 2018. DOI: 10.1590/1806-9126-rbef-2017-0342. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172018000300412&lng=pt&tlng=pt.

GRIMM, A. M., SILVA, H. C. da, SOUZA, A. C. da S., **Radiação Solar e Terrestre, Balanço de Calor**. UFPR (Org.), **Climatologia Básica**, 1a. ed. Curitiba, 2010. p. 11.

GUEDES, J.C.F. SILVA, S. M. P. da. **Sensoriamento Remoto No Estudo Da Vegetação: Princípios Físicos, Sensores E Métodos**. Sensoriamento Remoto No Estudo Da Vegetação: Princípios Físicos, Sensores E Métodos., v. 12, n. 29, p. 127–144, 2018.

HARRIS, I., JONES, P. D., OSBORN, T. J., et al. **Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset**. International Journal of Climatology, v. 34, n. 3, p. 623–642, 2014.

HOU, M., HU, Y., HE, Y. **Modifications in vegetation cover and surface albedo during rapid urbanization: A case study from South China**. Environmental Earth Sciences, v. 72, n. 5, p. 1659–1666, 2014.

IBGE, C. de R. N. e E. A. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho no Brasil**. 1a. ed. Rio de Janeiro, 2019. v. 45.

IBGE CIDADES. **Panorama das Cidades**: Portal IBGE. Brasília, 2020. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 23 nov. 2021

KAWAKUBO, F. S., MARTINS, M. H., ROBERTO, M., et al. **Utilizando Análise De Mistura Espectral**. In: Anais XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, 2019.

LAURA, N., GAMARRA, R., CORRÊA, M. D. E. P., et al. **Utilização De Sensoriamento Remoto Em Análises De Albedo E Temperatura De Superfície Em Londrina – Pr: Contribuições Para Estudos De Ilha De Calor Urbana**. Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), Itajubá , MG , Brasil Universidade Tecnológica Federal d", p. 537–550, 2014.

LOBO, C., MATOS, R. **Migrações e a dispersão espacial da população nas regiões de Influência das principais metrópoles Brasileiras**, Revista Brasileira de Estudos de População, v. 28, n. 1, p. 81–101, 2011.

MARONEZE, M. M., ZEPKA, L. Q., VIEIRA, J. G., et al. **A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais**. Revista Ambiente e Água, 2014.

MARTINE, G. **Texto Para Discussão N o 329**, Ipea, p. 46, 1994.

MASSON, V. **Urban surface modeling and the meso-scale impact of cities**, Theoretical and Applied Climatology, v. 84, n. 1–3, p. 35–45, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÕES, et al. **Carta Brasileira Cidades Inteligentes**, p. 179, 2020.

MOREIRA, D. de A. **LITIGÂNCIA CLIMÁTICA NO BRASIL/ Argumentos jurídicos para inserção da variável climática no licenciamento ambiental**. 1a. ed. Rio de Janeiro, [s.n.], 2021. Disponível em: <http://www.editora.puc-rio.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=956&sid=3>.

OLIVEIRA, P.M.P. Cidade apropriada ao clima e a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano. Dissertação (Mestrado) – UNB, Brasília, 1985.

ONU. **Adoção do Acordo Paris, Convenção Quadro sobre Mudança do Clima**, v. 4, p. 1–42, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2016/04/Acordo-de-Paris.pdf>.

PACIFICI, M. **Urban Morphology and Climate: field assessment and numerical modeling of interactions**. 2019. 225 p. f. Universidade de São Paulo, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11273-020-09706-3>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2017.09.008>
<https://doi.org/10.1016/j.energy.202>

0.117919%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103116%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2010.12.004%0Ahttp://dx.doi.o.

PNUD. Desenvolvimento Humano e IDH. Disponível em:

<<https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0.html>> Acesso em: 10 nov. 2021

REMO, J., VAL, B., FERNANDA, L., et al. **Análise Da Dinâmica Do Uso E Ocupação Da Terra Do Município De Sapezal / MT , Através Do Google Earth Engine**, p. 1744–1747, 2019.

SAMPAIO, G., DIAS, P. L. da S. **Evolução dos Modelos Climáticos e de Previsão de Tempo e Clima**, Revista USP, n. 103, p. 41, 2014. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i103p41-54.

SANTA CATARINA. **Lei Estadual n. 14.829/2009**. Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável de Santa Catarina, e adota outras providências. Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2009/14829_2009_lei.html. , 2009

SCHERER, M., FERREIRA, C. M., MUDAT, J., et al. **Urbanização e Gestão do Litoral Centro-Sul do Estado de Santa Catarina**, Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 13, p. 31–50, 2006.

SU, B., HUANG, J., MONDAL, S. K., et al. **Insight from CMIP6 SSP-RCP scenarios for future drought characteristics in China**. Atmospheric Research, v. 250, n. November 2020, p. 105375, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105375>.

TAKASE, Y. **JiCA - SMART CITIES**, JiCA Magazine, v. 002, p. 15, 2021.

TASCHETTO, A. S., WAINER, I. **A influência dos gases estufa no oceano Atlântico Sul: estudo climatológico**, Revista Brasileira de Oceanografia, v. 51, n. unico, p. 39–54, 2003.

TONIETO, J., MANDELLI, F. **Uvas Americanas e Híbridas para Processamento em Clima Temperado**. Embrapa Uva e Vinho. Disponível em:

<<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvaAmericanaHibridaClimaTemperado/clima.htm>>. Acesso em: 21 dez 2021.

UNGER, J. Some aspects of the human bioclimate of a medium-sized town and its surroundings. In: Proceed. Climatology and Air Pollution Conference. Mendoza, Argentina, 1995, p. 41-49.

UNISDR International Strategy for Disaster Risk Reduction (2009). UNISDR terminology on disaster risk reduction. Geneva. Disponível em: <<http://www.unisdr.org/eng/terminology/terminology-2009-eng.html>>. Acesso em: 10 nov. 2021

UNIVERSIDAD DE CHILE. **Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI**, Informe para CONAMA, p. 63, 2006.

VAN LOON, M. P., DEKKER, S. C., ANTEN, N. P. R., et al. **Understanding the impact of plant competition on the coupling between vegetation and the atmosphere**, Journal of Geophysical Research G: Biogeosciences, v. 120, n. 11, p. 2212–2228, 2015.

WMO. **Guide to Climatological Practices**, 2018.

WOUTERS, H., PETROVA, I. Y., VAN HEERWAARDEN, C. C., et al. **Atmospheric boundary layer dynamics from balloon soundings worldwide: CLASS4GL v1.0**, Geoscientific Model Development, v. 12, n. 5, p. 2139–2153, 2019. DOI: 10.5194/gmd-12-2139-2019. .

APÊNDICE A – Quadro Geral dos Dados Utilizados

Dados Uso e Ocupação do Solo					
Imagens					
Dados Brutos	Satélite	Órbita	Bandas Baixadas	Resolução Radiométrica	Resolução Espectral
		Sentinel 2A	Circular, heliossíncrona, descendente, 98.5623° de inclinação, período de 98.46 minutos e altitude de 786 Km	2, 3, 4 e 8	12 bits por pixel
Processamento	Software	Plug-in	Bandas utilizadas – composição RGB	Sistema de Coordenadas	Base Vetorial
	Qgis 3.16.3 - Hannover	Semi-Automatic Classification Plugin - versão 7.10.5	4, 3, 2	UTM - DATUM SIRGAS 2000	IBGE

Dados sobre o Clima					
<i>Projeto WorldClim</i>					
	Período	Resolução espacial	Dados baixados	Referências	Base Vetorial
Clima Presente	1980 - 2000	30 segundos ~ 1km	Temperatura média, amplitude térmica, precipitação, temperaturas mínimas e máximas para o inverno e verão	Fick et al, 2017	IBGE
	Software	Resolução Espacial	Dados baixados	Referências	Base Vetorial
Clima Futuro	2021 - 2100	2,5 minutos ~ 5km	Temperatura média, amplitude térmica, precipitação, temperaturas mínimas e máximas para o inverno e verão	Harris, et al., 2014	IBGE
			Cenários: SSP245, SSP 370 e SSP585		
			Modelos: CanESM5 e MIROC6		

APÊNDICE B - Artigo Publicado Revista Metodologias e Aprendizado

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E NVDI NOS ANOS DE 2015 E 2019 DO MUNICÍPIO DE BALNEÁRIO PIÇARRAS/SC

Dayana Karina Correa da Silva¹

¹Discinte do Mestrado em Clima e Ambiente – IFSC (Instituto Federal de Santa Catarina) - Campus Florianópolis
dayanakarina@ambiente.eng.br

Resumo: O planejamento urbano é um instrumento contemplado no Estatuto das Cidades. Os municípios da zona costeira, com o aumento da população sofre com os impactos do uso do solo de forma desordenada. O presente artigo tem o objetivo de avaliar a cobertura vegetal do município de Balneário Piçarras/SC comparando com os dados de temperatura de superfície terrestre, verificando algumas hipóteses apontadas pelo senso comum. Para este artigo foram utilizadas imagens do LANDSAT 8, nas bandas 4 e 5 para cálculo do NVDI e banda 10 para mensurar a temperatura da superfície terrestre. Como resultados, foram confeccionados 4 mapas a partir das imagens de duas datas distintas (01.01.2015 e 28.01.2019) a fim de demonstrar a evolução do município em relação a estes parâmetros.

Palavras-chave — LANDSAT 8, NVDI, temperatura da superfície, planejamento urbano.

Abstract: The Urban planning is an instrument contemplated in the Statute of Cities. The municipalities of the coastal zone, with the increase in population suffer from the impacts of land use in a disorderly manner. This article aims to evaluate the vegetation cover of the city of Balneário Piçarras / SC, comparing with the surface temperature data, verifying some hypotheses pointed by common sense. For this article, LANDSAT 8 images were used in bands 4 and 5 to calculate NVDI and band 10 to measure the temperature of the earth's surface. As a result, 4 maps were made from images of two different dates (01.01.2015 and .01.28.2019) to demonstrate the evolution of the municipality in relation to these parameters.

Key words — LANDSAT 8, NVDI, surface temperature, urban planning.

1. Introdução

O parcelamento do solo urbano é uma das atividades mais licenciadas atualmente no estado de Santa Catarina e os municípios da zona costeira são as principais escolhas dos empreendedores para este tipo de empreendimento, afinal, a migração para zonas litorâneas é cada vez maior.

Com o advento do Estatuto das Cidades, Lei Federal nº 10.257/2001, os municípios se tornaram responsáveis pelo ordenamento urbano de seu território, sendo o Plano Diretor a principal ferramenta de regulação do uso do solo. O plano diretor define os parâmetros necessários a garantir o ordenamento do crescimento das zonas urbanas do município com um ambiente ecologicamente equilibrado. Porém, muitos municípios só tiveram seus planos diretores firmados há pouco tempo, e a implantação de muitos loteamentos se deu nos moldes de leis mais antigas, como a Lei Federal nº 6766/69, porém ainda vigentes ou de forma totalmente irregular e clandestina. Para estes casos, foi criada a Lei nº 11.977/2009, que dispõe sobre o Programa “Minha Casa, Minha Vida”, além da Lei de Regularização Fundiária, Lei nº 13.465/2017, que possibilitaram a regularização de empreendimentos irregulares e clandestinos, a fim de garantir um dos princípios fundamentais do cidadão, o direito a habitação digna.

De forma adversa, os centros urbanos são os principais símbolos da crise ambiental mundial. Os impactos gerados ao meio ambiente urbano, são os mais variados, como: excesso de ruído, emissão de poluentes na atmosfera, lançamento de contaminantes na água, escassez de recursos naturais, resíduos tratados inadequadamente ou nem tratados, alterações no regime de chuvas e ventos, formação de ilhas de calor, de frio, secas, inversões térmicas, etc. (DUARTE, 2003) [1]

Os processos de uso e ocupação do solo em cidades costeiras são impulsionados pela urbanização e desenvolvimento turístico, trazendo uma gama de modificações e impactos significativos a estes ambientes (AQUINO ET AL., 2003) [2]

Nestes municípios litorâneos, habitam aproximadamente 20% da população brasileira. Logística, exploração de recursos, turismo e pesca são as principais atividades econômicas destes locais, de acordo com o CENSO de 1990 do IBGE.

O histórico dos estudos sobre o clima em áreas urbanas é antigo, de acordo com Monteiro (1976, apud Monteiro 1990), o qual descreveu [3]:

O primeiro de estudo de clima urbano surgiu em Londres, no início da era industrial, com a obra do climatologista amador Luke Howard, em 1833, que analisou contrastes meteorológicos em Londres, entre a metrópole e o entorno, se espalhando pelas cidades da Europa Ocidental e América do Norte.

Mais tarde vieram os estudos de Mumford, professor de Planejamento Urbano na Universidade da Pensilvânia, Filadélfia, sobre a história natural da urbanização;

Landsberg, na época chefe do Serviço de Climatologia do U.S. Weather Bureau e professor de Meteorologia nas Universidades da Pensilvânia e de Chicago, sobre o clima das cidades;

Nas regiões tropicais e subtropicais, somente nos anos 70 surgiram os primeiros trabalhos. Ainda, descrito por Duarte (2003).

Nos anos 80 aconteceram importantes conferências sobre climatologia urbana aplicada às regiões tropicais que aproximaram as pesquisas na área vindas de diversas partes do mundo, eventos estes que se tornaram mais frequentes nos anos 90.

OKE (1973, 1973, 1981, 1999) o clima da cidade é produto de um fenômeno de transformação de energia a partir da interação entre a atmosfera e o ambiente construído. O qual, apontou como resultado a diferença entre os processos térmicos rural e urbano, geometria urbana e inércia térmica dos materiais de construção no processo de mudança climática [4].

Katzschner (1997) propõe uma estrutura de integração entre as escalas climáticas e as do

planejamento urbano como meio de viabilizar a tradução dos aspectos do clima urbano para uma linguagem de planejamento [5]

OKE et al (1999) realizaram medições de balanço de energia na Cidade do México, na estação seca, em uma área densamente construída, em que constatou que o ambiente urbano é dominado pelo calor sensível, evaporação mínima em todos horários.

Índices de vegetação, como o NVDI (Normalized Difference Vegetation Index, em português: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), é um parâmetro com medidas radiométricas que relacionam a abundância relativa através da atividade da vegetação verde, teor de clorofila, índice de área foliar, biomassa verde (JENSEN, 2009). [6]

Estes índices são obtidos por uma combinação de bandas espectrais (Banda 4 e Banda 5 do LANDSAT 8), obtendo-se um valor adimensional que serve de indicador da abundância da vegetação (MOREIRA, 2005). [7]

Desta forma, o presente artigo demonstra a relação entre a temperatura da superfície no município de Balneário Piçarras/SC e o NVDI, no mês de janeiro de 2015 e 2019.

O município de Balneário Piçarras/SC possui uma área de 99,137 km² e uma população que tende ao crescimento, de acordo com os dados do IBGE. Sua ocupação se concentra mais próximo ao mar, sendo a BR-101 uma barreira física do crescimento desta urbanização.

2. Materiais e Métodos

Para os cálculos do NVDI e a temperatura da superfície no município de Balneário Piçarras/SC, foram extraídas imagens do satélite LANDSAT-8, sendo utilizadas as bandas 4 e 5 para o cálculo do índice de vegetação e banda 10 para a estimativa da temperatura da superfície da área de estudo. Este satélite possui uma órbita de 16 dias, sendo escolhidos os dias 01/01/2015 e 28/01/2019 como objetos de comparação.

Os processamentos das imagens foram realizados no software livre QGIS, versão 3.4.

De acordo com Rouse et al (1973), o NVDI é um índice que varia de -1 a 1, e é calculado como a relação entre a refletividade nas porções de vermelho e infravermelho do espectro eletromagnético, sendo as bandas 4

e 5 do LANDSAT-8. A transformação NDVI é a razão entre as intensidades medidas no vermelho e no infravermelho, com a seguinte equação, sendo:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$$

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

NIR = Infravermelho próximo

R = espectro vermelho

Para isso foi utilizada a Calculadora Raster do software utilizado, obtendo um mapa com tons de verde conforme legenda.

A extração dos dados da temperatura da superfície, é necessário converter os números digitais para os valores de temperatura, conforme as equações:

Sendo:

$$L\lambda = ML * Qcal + AL$$

Lλ = Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/(m2 sr μm)

ML=Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 = 3.3420E-04

Qcal = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10

AL = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN = Imagem banda 10

Após a transformação dos pixels em valores de radiância, foi aplicada a segunda equação, transformando os valores em temperatura absoluta (°K), e posteriormente subtraído 273,15 a fim de converter os valores de temperatura para °C.

Sendo:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)}$$

T = Temperatura no satélite em Kelvin

K1 = Constante de calibração: 774.89;

K2 = Constante de calibração 2: 1321,08

Lλ = Radiância Espectral do sensor de abertura em Watts/ (m2 sr μm)

A partir dos resultados obtidos pelos processamentos de NDVI e Temperatura da Superfície, foram confeccionados 4 mapas:

Data	Mapa
01/01/2015	NDVI
01/01/2015	Temperatura da Superfície
28/01/2019	NDVI
28/01/2019	Temperatura da Superfície

Quadro 1 - Mapas confeccionados a partir do processamento das imagens extraídas do LANDSAT 8 do município de Balneário Piçarras/SC

3. Resultados e Discussão

Como resultados deste artigo, foram elaborados 4 mapas a partir das imagens e da metodologia aplicada. Serão comparados os mapas de NDVI e Temperatura da Superfície para cada data definida.

3.1 Mapas das imagens do dia 01 de Janeiro de 2015

A partir da espacialização da cobertura vegetal do município de Balneário Piçarras/SC (Figura 1) é possível verificar que ainda possui grande extensão de cobertura vegetal, porém pelos índices encontrados, não há grande densidade da população, ou seja, possivelmente houve intervenção em toda área, podendo ser constatado uma vegetação em fase de regeneração.

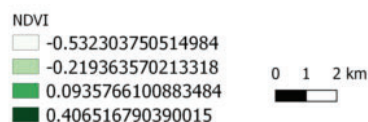


Figura 1 – Mapa de espacialização do NVDI do ano de 2015 do território de Balneário Piçarras/SC

A área urbana se concentra próximo a praia, com baixo índice de NVDI, confirmando a hipótese já apontada no capítulo de introdução deste artigo.

Na espacialização da temperatura da superfície (Figura 2), foi constatada uma variação de 15 a 24°C. Apesar de ser na estação do verão, este gradiente das temperaturas encontradas é devido a interferência de nuvens na imagem de satélite, sendo que as temperaturas mais baixas coincidiram com as nuvens quando observadas no espectro visível.

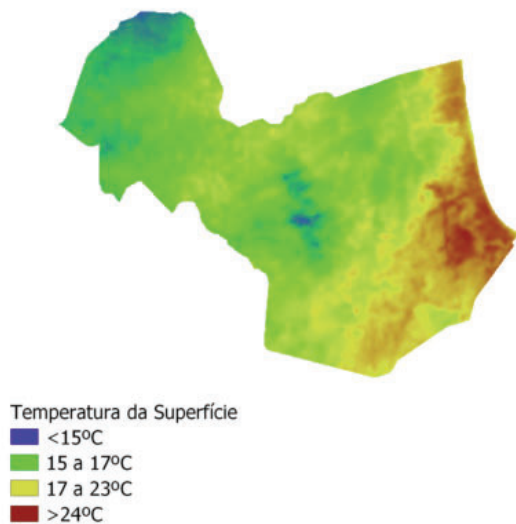


Figura 2 – Mapa das temperaturas de superfície do município de Balneário Piçarras/SC no ano de 2015

Na área com maior urbanização (próximo a praia) foram encontradas temperaturas mais altas.

3.2 Mapas das imagens do dia 28 de Janeiro de 2019

A partir das imagens do LANDSAT 8 do dia 28 de janeiro de 2019, foi possível elaborar o mapa de espacialização do NVDI do município de Balneário Piçarras/SC (Figura 3):

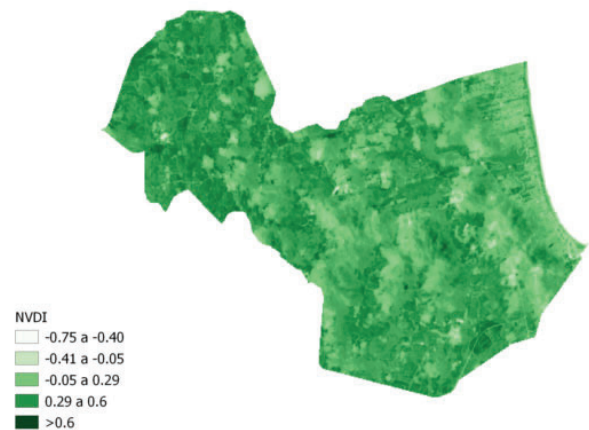


Figura 3 – Mapa de espacialização do NVDI do ano de 2019 do território do município de Balneário Piçarras/SC.

Pelos índices obtidos pela imagem, o NVDI variou entre -0,75 a 0,6, que comparado aos índices do ano de 2015, houve um aumento da densidade de vegetação, provavelmente explicado pela regeneração natural de determinados locais do município.

Na espacialização da temperatura da superfície, a partir das imagens extraídas do ano de 2019, foi constatada temperaturas mais altas do que a anterior (Figura 4).

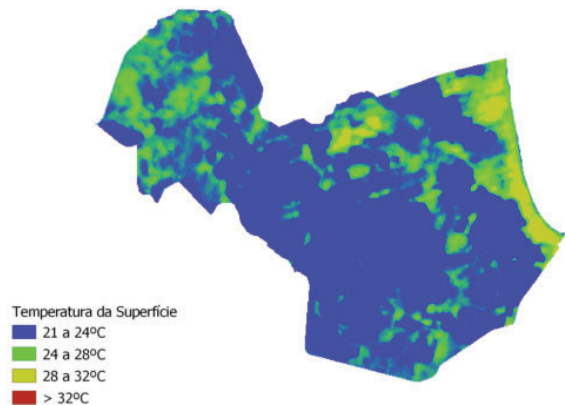


Figura 4 – Mapa da temperatura da superfície do município de Balneário Piçarras/SC no ano de 2019.

No espectro visível, foi constatada algumas nuvens sobre a imagem do município, mas aparentemente menos densas do que a imagem anterior, por consequência, não houve grande gradiente de temperatura medida.

5. Conclusões

Os municípios da zona costeira possuem uma crescente em relação a expansão urbana e densidade populacional, cabe ao Poder Público criar regramentos para que o uso do solo seja o mais sustentável possível.

O município de Balneário Piçarras está em grande ascensão. A população de 2010 até 2015 cresceu cerca de 20%, de acordo com dados do IBGE.

Nos mapas confeccionados deste artigo, é possível perceber que apesar deste aumento da população, os índices de vegetação aumentaram, provavelmente devido ao processo de regeneração natural de áreas não habitadas, a oeste da BR-101.

Em relação a temperatura é possível verificar um aumento, principalmente na mancha urbana da cidade, onde também é constatado os menores índices de vegetação da área de estudo, já que a vegetação evita a radiação direta na superfície terrestre.

Apesar da pouca densidade urbana no município de Balneário Piçarras, na região mais adensada possui ilhas de calor, em ambos anos analisados, o que demonstra a grande interferência deste uso do solo na temperatura e no microclima local.

É possível verificar nos dois anos abordados, uma relação entre o NVDI e a temperatura da superfície terrestre, nos locais com maior índice de abundância vegetal, as temperaturas foram mais baixas, o que demonstra que indivíduos vegetais são capazes de regular a temperatura ambiente, trazendo conforto e bem estar.

Os dados obtidos através do sensoriamento remoto desmontrou ser um importante instrumento para avaliação do impacto ambiental no clima e microclima de uma determinada região na expansão urbana, tornando-se ferramenta para subsidiar o planejamento urbano, considerando o melhor uso e ocupação do solo.

De certa forma, este trabalho é considerado uma preliminar para compor um método de avaliação dos impactos no microclima de uma determinada região devido a implantação de empreendimentos como parcelamento do solo ou bairros planejados. Há a necessidade de um diagnóstico mais detalhado dos dados disponíveis, a fim de garantir um modelo com mais precisão para

simular as interferências no clima e microclima da região.

6. Referências

- [1] DUARTE, D. H. S. G. G. S. Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental Brasileira: Correlações e Proposta de um Indicador. Ambiente Construído, v. 3, n. 2, p. 7-20, 2003. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14158876>>.
- [2] AQUINO, M. D. DE; MOTA, S.; PITOMBEIRA, E. D. S. IMPACTOS AMBIENTAIS DA OCUPAÇÃO DESORDENADA DA PRAIA DA CAPONGA-CE. II Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, p. 4, 2003.
- [3] MONTEIRO, C.A.F. Teoria e Clima Urbano. São Paulo: USP, 1976 (Séries, Teses e Monografias n.25)
- [4] OKE, T.R. et al. The energy balance of central Mexico City during the dry season. Atmospheric Environment, Oxford, v. 33, p. 3919-3930, 1999.
- [5] KATZSCHNER, L. Urban Climate studies as tools for urban planning and architecture. In ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. Anais.... Salvador: ANTAC, 1997. p. 49-58
- [6] JENSEN, J.R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598 p.
- [7] MOREIRA, M.A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 2.ed. Viçosa-MG: UFV, 2003. 307 p.