

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

VANESSA DAGOSTIM MANENTI

**MODELAGEM DO USO DA TERRA E PLANEJAMENTO TERRITORIAL DA
REGIÃO CARBONÍFERA DO SUL DE SANTA CATARINA, BRASIL**

CRICIÚMA

2019

VANESSA DAGOSTIM MANENTI

**MODELAGEM DO USO DA TERRA E PLANEJAMENTO TERRITORIAL DA
REGIÃO CARBONÍFERA DO SUL DE SANTA CATARINA, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig

CRICIÚMA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

M274m Manenti, Vanessa Dagostim.

Modelagem do uso da terra e planejamento territorial da região carbonífera do sul de Santa Catarina, Brasil / Vanessa Dagostim Manenti. - 2019.

112 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2019.

Orientação: Nilzo Ivo Ladwig.

1. Planejamento regional - Santa Catarina, Região Sul. 2. Sensoriamento remoto. 3. Uso e cobertura da terra. 4. Urbanização. I. Título.

CDD. 22. ed. 338.98164

Bibliotecária Eliziane de Lucca Alosilla - CRB 14/1101
Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC

Dedico este trabalho à Deus, meu refúgio e
fortaleza, e à minha família, colegas e professores
pelo apoio e auxílio doados durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e pela oportunidade que me foi presenteada. Sem sua força, sustento e refrigério a mim doados, certamente não teria sido possível chegar ao fim desta jornada de grande empenho e dedicação.

Ao meu marido Guilherme, por seu amor e por estar sempre ao meu lado, me incentivando e me apoiando incondicionalmente em todos os momentos.

Aos meus familiares, pela paciência, apoio e carinho prestados.

Aos amigos e amigas, pela força, incentivo e compreensão.

Ao professor Nilzo, meu orientador, pelo apoio, já de longa data, e por sua paciência e auxílio, essenciais para o desenvolvimento e conclusão desta dissertação.

Ao professor Heinrich, meu coorientador, que com paciência me acolheu e me instruiu em parte importante desta pesquisa.

A todos os colegas e ora amigos do LabPGT, pelas instruções prestadas e pelo apoio concedido durante toda a construção desta dissertação.

A todos os professores que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos colegas engenheiros agrimensores, que contribuíram sempre me incentivando a não desistir de meus objetivos.

Aos membros participantes da banca examinadora por se disporem a contribuir com o seu conhecimento, experiência, críticas, sugestões e recomendações.

À Universidade do Extremo Sul Catarinense, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, por terem me proporcionado condições para conclusão desta pesquisa.

Por fim, à todos aqueles que acreditaram e de alguma forma contribuíram no desenvolvimento desta pesquisa.

“Recordemos que o futuro não é nosso nem de todo não nosso, para não termos de esperá-lo como se estivesse para chegar, nem nos desesperarmos como se em absoluto não estivesse para vir”.

Epicuro

RESUMO

O estudo do uso e cobertura da terra vem tomando proporções cada vez maiores, principalmente devido ao acelerado processo de mudança do uso e cobertura da terra nas últimas décadas e aos possíveis impactos ambientais e socioeconômicos associados. O trabalho se propõe a realizar o cenário para o ano de 2040 do uso e cobertura da terra para o território que compreende a Associação dos Municípios da Região Carbonífera (Santa Catarina), utilizando para isso o mapeamento do uso e cobertura da terra dos anos de 1999 e 2019, associados à variáveis explicativas e restritivas. A previsão, realizada no *Land Change Modeler*, teve como enfoque as transições futuras para a classe Áreas artificializadas, a qual é composta majoritariamente pelas áreas urbanas dos municípios. O modelo apontou um aumento expressivo da classe Áreas artificializadas nas proximidades das vias existentes e das áreas urbanas já consolidadas, portanto próximo às áreas dotadas de infraestrutura. Tal tendência revela a conurbação, já em curso, entre os municípios de Criciúma e Içara, além da muito provável conurbação futura entre Criciúma e os municípios do entorno, estimulada a sua vez pela interligação entre as rodovias estaduais. Nota-se esta mesma tendência entre os municípios de Balneário Rincão e Içara, principalmente ao longo das vias no sentido noroeste que interligam os dois municípios. No caso de Balneário Rincão, é evidente, ademais, o adensamento no entorno das lagoas, tendência esta que já vem ocorrendo nos últimos anos. O município de Siderópolis, apesar de também limitar-se com Criciúma, representa um caso à parte, pois a barreira topográfica existente entre os dois municípios acaba quase por isolar Siderópolis. Os municípios de Treviso, Urussanga, Lauro Müller e Orleans, apesar de também possuírem interligação entre si por meio das rodovias estaduais, para o ano de 2040, ainda não apresentam um cenário provável de junção de seus tecidos urbanos. A existência destes dois panoramas, de acordo com os dados apresentados, está ligado também à fatores populacionais e econômicos. A previsão para o ano de 2040 representa uma importante ferramenta para o planejamento regional, pois, possibilitou prever a configuração espacial do uso e cobertura da terra, vislumbrar quais áreas estarão mais susceptíveis à mudanças e em quais possivelmente se dará a expansão urbana. Logo, em um contexto regional, representa um importante indicador de quais áreas devem receber enfoque nas ações de planejamento e quais devem ser priorizadas pelas políticas públicas.

Palavras-chave: Planejamento regional. Sensoriamento remoto. Modelagem espacial. Uso e cobertura da terra. AMREC.

ABSTRACT

The study of land use and land cover has been taking on increasing proportions, mainly due to the accelerated process of land use change and land cover in the last decades and the possible associated environmental and socioeconomic impacts. The study proposes to make the land use and land cover scenario for the year 2040 for the territory comprising the Association of Municipalities of the Carboniferous Region (Santa Catarina State), using for that the mapping of land use and land cover of the years 1999 and 2019, associated with explanatory and restrictive variables. The prediction, made on the Land Change Modeler, focused on future transitions to the Artificial surfaces class, which is mainly composed of the urban areas of the municipalities. The model pointed to a significant increase in the class Artificial surfaces near existing roads and already consolidated urban areas, therefore close to areas with infrastructure. This trend reveals the ongoing conurbation between the municipalities of Criciúma and Içara, as well as the very likely future conurbation between Criciúma and the surrounding municipalities, stimulated by the interconnection already existing between state highways. This same trend is observed between the municipalities of Balneário Rincão and Içara, mainly along the north-west roads that connect the two municipalities. In the case of Balneário Rincão, it is evident, in addition, the densification around the lagoons, a trend that has been occurring in recent years. The municipality of Siderópolis, although also confronting Criciúma, represents a case apart, as the topographic barrier between the two municipalities almost ends up isolating Siderópolis. The municipalities of Treviso, Urussanga, Lauro Müller and Orleans, although also interconnected by state highways, for the year 2040, still do not present a likely scenario of the junction of their urban fabric. The existence of these two panoramas, according to the data presented, is also linked to population and economic factors. The prediction for the year 2040 represents an important tool for regional planning, as it has enabled us to predict the spatial configuration of land use and land cover, to glimpse which areas will be most susceptible to change and in which urban sprawl may occur. Therefore, in a regional context, it represents an important indicator of which areas should be focused on planning actions and which should be prioritized by public policies.

Keywords: Regional planning. Remote Sensing. Spatial Modeling. Land use and land cover. AMREC.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tipos de modelos	24
Figura 2 – Requisitos para modelagem dinâmica em GIS	30
Figura 3 – Localização da área de estudo	35
Figura 4 – Imagem da área de estudo	36
Figura 5 – Variáveis utilizadas no submodelo de transição	45
Figura 6 – Vias utilizadas na modelagem	46
Figura 7 – Áreas de Preservação Permanente consideradas na modelagem	49
Figura 8 – Unidades de Conservação utilizadas na modelagem	50
Figura 9 – Etapas executadas no <i>Land Change Modeler</i>	52
Figura 10 – Bacias e Regiões Hidrográficas da AMREC	54
Figura 11 – Mapa hipsométrico da AMREC	58
Figura 12 – Mapa de declividade da AMREC	61
Figura 13 – Mapa geológico da AMREC	67
Figura 14 – Mapa geomorfológico da AMREC	71
Figura 15 – Mapa pedológico da AMREC	75
Figura 16 – Mapa de vegetação da AMREC	78
Figura 17 – Uso e cobertura da terra no ano de 1999	83
Figura 18 – Uso e cobertura da terra no ano de 2019	84
Figura 19 – Ganhos e perdas das classes	85
Figura 20 – Áreas onde houve persistência e onde houve transição das classes	88
Figura 21 – Previsão do tipo <i>soft</i> para o ano de 2040	92
Figura 22 – Previsão do tipo <i>hard</i> para o ano de 2040	94
Figura 23 – Detalhe da previsão do tipo <i>hard</i> para o ano de 2040	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – População, densidade demográfica e área dos municípios da AMREC.....	34
Tabela 2 – Qualidade da classificação avaliada pelo Índice Kappa	42
Tabela 3 – Dados da acurácia da classificação.....	42
Tabela 4 – Características fisiográficas das bacias.....	55
Tabela 5 – Altitudes mínimas e máximas dos municípios da AMREC.....	59
Tabela 6 – Classes de relevos na AMREC.....	60
Tabela 7 – Unidades litoestratigráficas presentes na AMREC	63
Tabela 8 – Tipos de modelado presentes na AMREC	68
Tabela 9 – Distribuição das classes de solos na AMREC.....	72
Tabela 10 - Quantitativos das classes nos anos de 1999 e 2019	79
Tabela 11 – Evolução da população urbana entre 1999 e 2010	81
Tabela 12 – Evolução da população urbana entre 1980 e 2010	96
Tabela 13 – PIB municipal nos anos de 1999, 2008 e 2016	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais modelos para análises de mudanças no uso e cobertura da terra	31
Quadro 2 – Fontes dos dados utilizados nos mapas temáticos.....	38
Quadro 3 – Características das imagens utilizadas no mapeamento	39
Quadro 4 – Bacias e Regiões Hidrográficas dos municípios da AMREC	55
Quadro 5 – Regiões Fitoecológicas presentes na AMREC.....	76
Quadro 6 - Matriz de transição entre os anos de 1999 e 2019	87
Quadro 7 - Matriz de transição 2019/2040 entre todas as classes e as Áreas artificializadas..	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMESC	Associação dos Municípios do Extremo Sul Catarinense
AMREC	Associação dos Municípios da Região Carbonífera
AMUREL	Associação de Municípios da Região de Laguna
AMURES	Associação de Municípios da Região Serrana
ANA	Agência Nacional de Águas
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DPI	Divisão de Processamento de Imagens
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FOD	Floresta Ombrófila Densa
FOM	Floresta Ombrófila Mista
GIS	Geographic Information System
GLP	Global Land Project
GNSS	Global Navigation Satellite System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFFSC	Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina
IGBP	International Geosphere–Biosphere Programme
IHDP	International Human Dimensions Programme
IMA	Instituto do Meio Ambiente
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LCM	Land Change Modeler
LUCC	Land use and Land cover Change
MDT	Modelo Digital de Terreno
MLP	Multi-layer Perceptron
PERH	Plano Estadual de Recursos Hídricos
PIB	Produto Interno Bruto
RN	Redes Neurais
SDS	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIE	Secretaria de Estado da Infraestrutura e Mobilidade
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

USGS

United States Geological Survey

UTM

Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 MARCO TEÓRICO	19
3.1 USO E COBERTURA DA TERRA	19
3.2 MODELAGEM DINÂMICA.....	20
3.3 COMPONENTES DO MODELO	21
3.4 POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES DA MODELAGEM.....	22
3.5 TIPOS DE MODELOS	23
3.6 MODELOS DE PREVISIBILIDADE	26
3.7 CADEIA DE MARKOV (<i>MARKOV CHAIN</i>)	27
3.8 O GEOPROCESSAMENTO E AS GEOTECNOLOGIAS.....	28
3.9 MODELAGEM DINÂMICA NO SIG	29
3.10 SOFTWARES DISPONÍVEIS	30
4 MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	37
4.2.1 Pesquisa documental e bibliográfica.....	37
4.2.2 Elaboração da cartografia temática	37
4.2.3 Mapeamento do uso e cobertura da terra	38
4.2.4 Validação da classificação.....	41
4.2.5 Land Change Modeler	43
4.2.5.1 Análises das mudanças (Change Analysis)	43
4.2.5.2 Submodelo de potencial de transição (Transition Potentials).....	44
4.2.5.3 Inclusão de variáveis restritivas e variáveis estimuladoras (Planning)	48
4.2.5.4 Previsão de mudanças (Change Prediction)	51
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	53
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA AMREC	53
5.1.1 Hidrografia.....	53
5.1.2 Hipsometria	57
5.1.3 Declividade	60

5.1.4 Geologia	63
5.1.5 Geomorfologia	68
5.1.6 Pedologia	72
5.1.7 Vegetação	76
5.2 USO E COBERTURA DA TERRA	79
5.3 ANÁLISES DAS MUDANÇAS	85
5.4 PREVISÃO DAS MUDANÇAS	90
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS	104

1 INTRODUÇÃO

A Terra é moldada dinamicamente e incessantemente pelo conjunto de duas forças: as necessidades humanas e características e processos ambientais (BRIASSOULIS, 2000). As mudanças decorrentes deste constante estado de fluxo, que ocorre em vários níveis espaciais e em diversas escalas de tempo, são a tradução da dinâmica entre homem e ambiente, cuja inter-relação é mediada pela própria Terra.

Nos últimos anos, os impactos da mudança do uso da terra assumiram cada vez mais proporções significativas. A nível mundial os territórios destinados ao cultivo aumentaram 50% durante o século XX e as pastagens mais que duplicaram nos últimos 200 anos (FOLLADOR, 2008). Rapidamente a agricultura e a pecuária substituíram a vegetação nativa para dar suporte ao aumento vertiginoso do consumo, ligado em parte ao crescimento demográfico, em parte a um estilo de vida ocidental (FOLLADOR, 2008) e em parte à capacidade tecnológica e a organização social (MEYER; TURNER, 1992).

No Brasil, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2018), entre 2000 e 2016, ocorreu um aumento de 40% das áreas destinadas à produção agrícola e um aumento de 65% das áreas destinadas à silvicultura. No mesmo período, a área de vegetação florestal sofreu uma redução de 7,5% e a vegetação campestre reduziu 9,5%. As consequências decorrentes deste processo, principalmente da destruição da vegetação primária, são várias e estão presentes em diversas escalas: desde a redução de áreas naturais e o aumento de isolamento de fragmentos de vegetação (PAVÃO, 2017) até a redução da biodiversidade (FEARNSIDE, 2020), alteração do clima global, redução dos serviços ecossistêmicos (SOARES FILHO et al., 2005), entre outros.

Diante de tais consequências, o conhecimento sobre o uso e cobertura da terra, tanto no passado como no presente, é imprescindível para garantir a sua sustentabilidade perante as questões ambientais, sociais e econômicas a ele relacionadas (DE DEUS, 2013). Além do conhecimento da evolução da cobertura e uso da terra permitir o reconhecimento da estrutura da paisagem, a organização espacial dos elementos e a análise das pressões socioeconômicas atuais, oportuniza também a compreensão da intensidade das mudanças e o período e local em que elas ocorreram, possibilitando a compreensão de suas estruturas no passado e a determinação das tendências das pressões sobre os espaços naturais (Seabra e Cruz, 2013).

No âmbito mundial, o estudo do uso e cobertura da terra vem tomando proporções cada vez maiores, principalmente pela preocupação quanto à intensificação do desmatamento

das florestas tropicais ocorrida a partir de 1970 (CÔRTEZ; D'ANTONA, 2014) e devido ao acelerado processo de mudança do uso e cobertura da terra das últimas décadas. Os possíveis impactos ambientais e socioeconômicos dessas transformações tem causado preocupações desde o nível local até o global, principalmente quando associadas a eventos extremos (DE DEUS, 2013). Com a integração de metodologias, bases de dados e grupos de pesquisa das ciências naturais e das ciências sociais (como as ciências ambientais, por exemplo), nos últimos anos, tem crescido o interesse pela pesquisa interdisciplinar sobre as dimensões humanas das mudanças ambientais (MARTINS; FERREIRA, 2011). Por este motivo as mudanças na superfície terrestre, como os processos de desmatamento, desertificação, expansão agropecuária e urbanização têm sido um dos principais temas de pesquisa (ALVES, 2004).

De acordo com Côrtes e D'Antona (2014) a investigação sobre mudança na cobertura da terra foi conduzida ao longo da década de 1980 por diversas disciplinas, mas não de modo integrado, o que justificou, entre outros fatores, a criação, em 1994, do *Land use and Land cover Change (LUCC) Project*. O LUCC Project foi um projeto de pesquisa internacional de longo prazo, lançado em 1994, desenvolvido em conjunto com o *International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP)* e o *International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change (IHDP)* (LAMBIN et al., 1999). Constituído por uma equipe interdisciplinar, o projeto havia entre os principais objetivos melhorar a compreensão da dinâmica do uso e cobertura da terra por meio de estudos de casos sistemáticos e integrados, analisar quais os possíveis impactos de tais mudanças, aperfeiçoar os modelos de projeção de mudança para que pudessem ser utilizados de forma global, mas que fosse regionalmente sensíveis e cooperar para o desenvolvimento de um sistema global de classificação do uso da terra (LAMBIN et al., 1999).

Apesar do LUCC *Project* ter sido concluído em 2005, o projeto foi continuado no ano de 2006 por meio pelo *Global Land Project – GLP* por um período de 10 anos. O GLP, atualmente denominado *Global Land Programme*, é um programa que visa a síntese e integração de conhecimento e metodologias de pesquisa em toda a comunidade científica relacionada ao estudo do uso e cobertura da terra, além da identificação de prioridades científicas e a definição de agendas por meio da síntese do conhecimento existente, meta-análise de pesquisa e *workshops* direcionados. O resultado de tal empenho por parte dos pesquisadores é visível no avanço anual qualitativo e quantitativo das publicações, não somente no mundo mas também no Brasil, apesar da abrangência ser ainda pequena se comparada à outras temáticas.

O aumento de tais estudos vai ao encontro à Agenda 2030 e seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, em específico ao Objetivo 15 que visa “Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade” (BRASIL, 2016). De fato, o alcance de tal objetivo requer a caracterização do território em vários níveis de percepção, sendo o mapeamento do uso e cobertura da terra um dos instrumentos mais importantes para a tomada de decisão para a gestão e o planejamento sustentável do território.

A Região Sul do Estado de Santa Catarina é marcada historicamente pela atividade de extração do carvão mineral desde 1861, quando ocorreu a primeira tentativa de explorá-lo economicamente, até os dias atuais (BELOLLI; QUADROS; GUIDI, 2002). A indústria carbonífera, embora tenha sido mais expressiva no final do século XX, em especial no ano de 1985, quando foram produzidas 19 milhões de toneladas e possuía-se 15 mil trabalhadores empregados nas minas (LADWIG; DAGOSTIM, 2017), ainda hoje sofre com a crise iniciada em 1990, causada pela desregulamentação do setor carbonífero no mesmo ano, além da crescente conscientização ambiental e a organização de movimentos ambientalistas na sociedade catarinense no mesmo período.

Apesar do enfraquecimento do setor, esta identidade cultural encontrada em diversos municípios da Região Sul de Santa Catarina e sustentada predominantemente pela indústria de extração do carvão, culminou, em 1983, na criação da Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC). Criada em 25 de abril de 1983, pelos municípios de Criciúma (sede), Içara, Lauro Müller, Morro da Fumaça, Nova Veneza, Siderópolis e Urussanga, posteriormente, também passou a ser integrada alguns anos depois pelos municípios de Forquilha, Cocal do Sul e Treviso, Orleans e Balneário Rincão. (AMREC, 2015). Hoje, com um total de 12 municípios, a associação visa ampliar e fortalecer a capacidade administrativa, econômica e social dos municípios e promover a cooperação intermunicipal (AMREC, 2015). A entidade possui personalidade jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, de natureza civil, e foi declarada de utilidade pública pelo município de Criciúma por meio da Lei Municipal nº 6.387 de 20 de dezembro de 2013.

Ao mesmo tempo que a atividade de mineração foi responsável por grande parte do desenvolvimento do Extremo Sul Catarinense, a “exploração desordenada [...] colocou toda a biota local em colapso, pois a necessidade e ganância na busca do “ouro negro” fez com que grandes áreas superficiais e subterrâneas fossem mineradas” (COLOSSI, 2005, p. 44). Desta forma, a paisagem regional passou por uma radical transformação: os cursos

d'água foram poluídos e extensas áreas foram cobertas por depósitos de rejeito piritoso, marcas ainda presentes em várias localidades da Região Carbonífera.

Diante deste cenário, em 1997, o Estado de Santa Catarina, visando promover o desenvolvimento sustentável de seus municípios, coordenou a elaboração dos Planos Básicos de Desenvolvimento Ecológico-Econômico das Associações de Municípios. A realização dos planos básicos, apoiada em uma metodologia participativa e descentralizada, constituiu-se como um primeiro passo para aprofundamento de estudos ligados ao processo estruturado e dinâmico de planejamento e gestão (SANTA CATARINA, 1997).

Neste contexto, os modelos dinâmicos surgem como uma importante ferramenta para o planejamento territorial, pois, por meio da elaboração de cenários futuros, possibilitam prever a configuração espacial do uso e cobertura da terra, vislumbrar quais áreas estarão mais susceptíveis à impactos, quais devem ser priorizadas pelas políticas públicas, em quais possivelmente se dará a expansão urbana, entre outras análises.

Diante do exposto, o presente trabalho se propõe a analisar o cenário do uso e cobertura da terra, elaborado por meio de modelagem dinâmica, para o território que compreende a Associação dos Municípios da Região Carbonífera, a fim de traçar as tendências futuras para o ano de 2040 e fornecer informações para o planejamento do espaço urbano e rural dos municípios associados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Construir o cenário do uso e cobertura da terra para o ano de 2040, a fim de traçar as tendências futuras e fornecer informações para o planejamento regional do território que compreende a Associação dos Municípios da Região Carbonífera.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar a área de estudo por meio de seus aspectos físicos;
- b) Identificar as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra entre os anos de 1999 e 2019;
- c) Realizar a previsão do uso e cobertura da terra para o ano de 2040;
- d) Analisar o cenário futuro construído voltado para o planejamento regional.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 USO E COBERTURA DA TERRA

O metabolismo industrial nas últimas décadas aumentou os fluxos de energia e de materiais resultantes da extração, transformação e uso dos recursos naturais (FOLLADOR, 2008). Os efeitos mais evidentes destas atividades são perceptíveis através da mudança progressiva da cobertura terrestre, ocasionada pela expansão espacial da urbanização, agricultura, pecuária, produção de produtos florestais e da extração de recursos geológicos. Portanto, o conhecimento sobre o uso e cobertura da terra ganha importância pela necessidade de garantir a sua sustentabilidade diante das questões ambientais, sociais e econômicas a ele relacionadas (DEUS, 2013).

De acordo com Follador (2008) o uso da terra deriva da combinação sinérgica de diversos fatores, ordenados sobre diferentes resoluções espaço-temporais e níveis organizacionais que variam em função do contexto geográfico e sociopolítico, o que resulta na grande diversidade espacial do uso e cobertura da terra encontrada tanto em nível local como em nível regional.

A cobertura da terra denota o caráter físico e biótico da superfície terrestre, como a vegetação, a água e as dunas, por exemplo, já o uso denota as finalidades para as quais os seres humanos empregam ou exploram a cobertura da terra (LAMBIN, 1994), como a agricultura, a pecuária e a construção civil, alterando os processos hidrológicos e biogeoquímicos, além dos padrões de biodiversidade (DEUS, 2013). Em suma, o uso é o emprego humano sobre determinada cobertura da terra, o meio pelo qual a atividade humana se apropria dos resultados da produção primária líquida, conforme determinado por um complexo de fatores socioeconômicos (SKOLE, 1994). Neste contexto, as mudanças na cobertura da terra, segundo Meyer e Turner (1992), podem ocorrer de duas formas: a primeira é a conversão de uma categoria de cobertura da terra para outra (uma área coberta por vegetação que se urbanizou), já a segunda é a mudança de condição dentro de uma mesma categoria que afeta as características da cobertura da terra (desmatamento florestal, intensificação do cultivo, etc.). As forças direcionadoras que ocasionam tais mudanças não necessariamente encontram-se na mesma localidade. É o caso das mudanças originadas por causas indiretas, como o conjunto de regras econômicas, sociais, demográficas, biofísicas e tecnológicas que influenciam a relação entre homem e meio ambiente (FOLLADOR, 2008).

Já as causas diretas, por sua vez, implicam em ações físicas sobre a cobertura terrestre por meio de um indivíduo ou uma comunidade.

Lambin; Geist; Lepers (2003) afirmam que algumas das causas fundamentais que levam as mudanças no uso e cobertura da terra são em sua maioria endógenas, como a escassez de recursos, o aumento da vulnerabilidade e as mudanças na organização social, contudo elas ainda podem ser influenciadas por fatores exógenos, como mudanças nas oportunidades de mercado e intervenção política. Estudos causais, portanto, devem adotar um amplo campo de investigação e procurar por causas potenciais que podem estar espacialmente distantes (LAMBIN, 1994).

Os processos de mudanças podem ser explicados por duas abordagens distintas. De acordo com Turner e Meyer (1991) uma procura transcender a complexidade do contexto, buscando identificar forças de mudança universalmente aplicáveis, não considerando as especificidades locais. Esta escala de abordagem procura as forças que operam globalmente e que tornam possíveis explicações universais, levando a uma compreensão ampla dos processos de mudança da cobertura da terra. A outra abordagem enfatiza a importância dessa complexidade e demonstra a singularidade das relações de causa-impacto em contextos locais espaço-temporais (TURNER; MEYER, 1991). Neste caso não só as atividades humanas impulsionam as mudanças na cobertura da terra, as quais variam de acordo com a região ou o lugar, como também os fatores contextuais locais e históricos.

Atualmente a conversão entre classes é facilmente identificável por meio de estudos multitemporais de imagens de satélite, oportunamente escolhidas para capturar a frequência espacial e temporal dos processos, pois possibilitam a elaboração de mapeamentos temáticos diversos. Mais complexa é a análise de pequenas mudanças que modificam somente alguns atributos da cobertura terrestre, pois estes podem ser mal interpretados, não percebidos ou simplesmente ignorados (FOLLADOR, 2008).

3.2 MODELAGEM DINÂMICA

A simulação de cenários futuros envolve a utilização de modelos para representação da realidade. De acordo com Pereira, Cunha e Silva (2015) a simulação implica em reproduzir o funcionamento de um sistema com o auxílio de um modelo que imite as resposta do sistema real, o qual permite testar hipóteses sobre o valor de variáveis. A simulação de modelos tem sido amplamente utilizada nas mais diversas áreas, pois tem como principal objetivo responder a indagações sobre o estado futuro de um sistema e permite que

tais análises sejam realizadas sem que o sistema sob investigação sofra qualquer perturbação, resultando em ações eficientes e pontuais. Um sistema, por sua vez, pode ser definido como um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos, cujas inter-relações estruturais e funcionais criam uma inteireza não encontrada quando os componentes ou variáveis (fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) estão desagregados (CHORLEY; KENNEDY, 1971 apud CHRISTOFOLETTI, 2002).

Em um estudo de simulação, a modelagem do sistema, isto é, o processo realizado para compreender melhor o funcionamento de um fenômeno complexo (FOLLADOR, 2008), consiste em uma das principais etapas. O instrumento do processo de modelagem é o modelo, uma representação simplificada de um sistema que, por meio de relações matemáticas ou lógicas, pressupõe um certo grau de abstração e generalização da realidade. O modelo é construído em função dos objetivos que determinam as hipóteses de modelagem e do seu grau de simplificação (STRACK, 1984; FREITAS FILHO, 2001; FOLLADOR, 2008).

Os modelos são construídos essencialmente para melhorar a compreensão de problemas teóricos e não para duplicar todos os detalhes do mundo real (CASWELL, 1988). Neste sentido Christofolletti (2002) reforça que as contribuições dos modelos são valiosas, pois, ao generalizar, obscurecerem detalhes acidentais e permitem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade.

Entre as aplicabilidades possíveis, estão a descrição quantitativa dos fenômenos espaciais ao nível da paisagem, compreendendo melhor as causas e mecanismos que regem o uso da terra, a previsão da evolução temporal das paisagens, levando em conta os fatores que causam essas mudanças ou as controlam, a integração das escalas espaciais e temporais e a contribuição para a formulação de respostas políticas para mudanças no uso e cobertura da terra (LAMBIN, 1994; PEDROSA; CAMARA, 2003).

3.3 COMPONENTES DO MODELO

Os modelos dinâmicos são constituídos por pelo menos três elementos, isto é, variáveis, relacionamentos e processos. Entre as variáveis possíveis estão as variáveis de estado, que são elementos que compõem o sistema para o qual um modelo está sendo desenvolvido. O conjunto destas variáveis deve possuir informações suficientes para permitir a execução da simulação (PERIN FILHO, 1995), além de possibilitar a compreensão do que está ocorrendo no sistema num determinado instante de tempo. No caso de estudos de mudança do uso da terra, estas variáveis são definidas principalmente pela quantidade de terra

coberta pelos vários usos. As variáveis também podem ser classificadas em dependentes (endógenas) e independentes (exógenas). Enquanto as independentes são as variáveis definidas externamente ao modelo e que supostamente influenciam os valores da variável dependente, as variáveis dependentes são aquelas cujo valor depende do valor de outras variáveis, no caso as variáveis independentes (BRIASSOULIS, 2000). Por fim, as variáveis explanatórias são aquelas utilizadas para explicar a variabilidade de uma outra variável: a variável dependente.

Com relação à dimensão procedural, os modelos possuem três componentes chaves: uma configuração inicial, uma função de mudança e uma configuração de saída (BAKER, 1989). A configuração inicial é um mapa de cobertura da terra, que pode ser derivado de sensoriamento remoto, por exemplo, a função de mudança, por sua vez, modifica os valores e a configuração espacial dos elementos da paisagem com base em uma função de uma configuração inicial de paisagem própria ou de outras variáveis endógenas ou exógenas (LAMBIN, 1994). Já a configuração de saída é um mapa de previsão do uso da terra, um resumo de estatísticas deste mapa ou dados de paisagem distribuída (LAMBIN, 1994).

3.4 POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES DA MODELAGEM

Embora as aplicações dos modelos possam ser as mais variadas, é importante atentar para suas limitações. O processo de modelagem utiliza cálculos estatísticos, que, de acordo com Lambin (1994), são estabelecidos empiricamente ou com base em modelos teóricos, o que não permite a formulação de previsões precisas sobre eventos singulares porque se baseiam na previsão de propriedades coletivas. Da mesma forma, entre as outras dificuldades estão avaliar a acuidade, ajustar as previsões, estabelecer valores aos parâmetros do modelo e identificá-los como parâmetros fisicamente mensuráveis no mundo real (CHRISTOFOLETTI, 2002). A construção de modelos também requer treinamento e dedicação árdua dos técnicos envolvidos, consome consideráveis recursos financeiros e de tempo e seus resultados, muitas vezes, são de difícil interpretação (FREITAS FILHO, 2001).

Com relação à sua acurácia, Lambin (1994), justifica que os modelos de uso e cobertura da terra não são destinados a descrever o que aconteceu ou o que irá acontecer em uma instância específica, pois apenas a observação pode fazer isso. O objetivo dos esforços e estudos teóricos de modelagem é estabelecer limites sobre o que pode acontecer e indicar possíveis evoluções. Em outras palavras, os modelos nos permitem formular pressupostos lógicos sobre futuros desenvolvimentos em vez de previsões reais (LAMBIN, 1994).

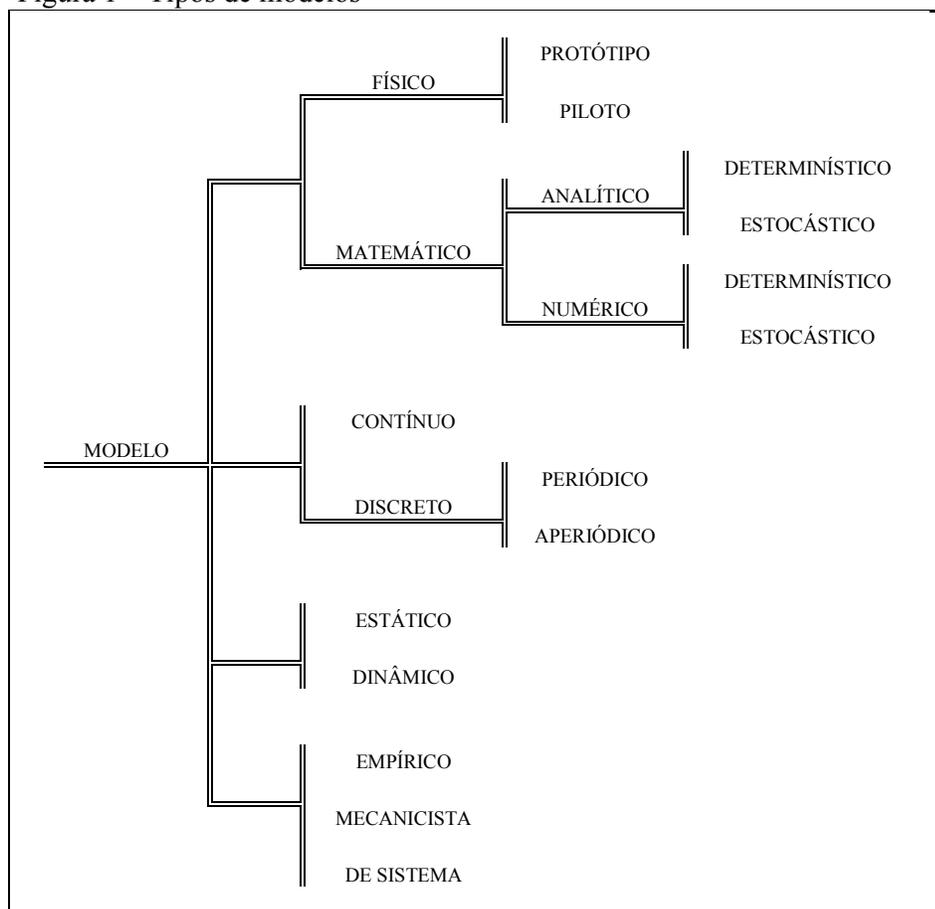
Entre as possibilidades oferecidas pela modelagem de sistemas estão estimar a distribuição de variáveis aleatórias, testar hipóteses estatísticas, avaliar processos de tomada de decisão em tempo real, comparar cenários representando diferentes soluções, simular cenários sem perturbar o sistema real e controlar o tempo de simulação, comprimindo-o ou expandindo-o, o que permite estudar o fenômeno de maneira lenta ou acelerada. Além disso a simulação de sistemas permite compreender quais variáveis são mais importantes em relação à performance e como as mesmas interagem entre si e ainda prever situações das quais se tem pouco conhecimento e experiência.

3.5 TIPOS DE MODELOS

Como a classificação dos modelos por tipologia é algo bastante heterogêneo na bibliografia, buscou-se abordar as classificações mais recorrentes na literatura analisada (Figura 1). As categorias destacadas por Strack (1984), Perin Filho (1995) e Christofolletti (2002) são:

- a) modelos contínuos: as variáveis de estado têm seus valores alterados a qualquer instante de tempo;
- b) modelos discretos: as variáveis de estado têm seus valores alterados apenas em um número contável de instantes;
- c) modelos periódicos: modelo discreto cujos eventos ocorrem em intervalos regulares;
- d) modelos aperiódicos: modelo discreto cujos eventos não ocorrem em intervalos regulares;
- e) modelos estáticos: examinam os processos independente do tempo;
- f) modelos dinâmicos: examinam os processos que variam temporalmente;
- g) modelos físicos (ou icônicos): construídos de forma bidimensional ou tridimensional para representar os atributos físicos dos sistemas em estudo (protótipo);
- h) modelos matemáticos (ou simbólicos): ao contrário dos modelos físicos, não são palpáveis, pois são constituídos por equações algébricas que representam os componentes do sistema e suas inter-relações.

Figura 1 – Tipos de modelos



Fonte: Do autor, 2019.

Os modelos matemáticos se dividem em analíticos e numéricos. Os analíticos resultam de uma expressão matemática bem definida entre as variáveis e a solução é conseguida pela resolução da expressão correspondente. Nos modelos numéricos, por sua vez, não é necessário conhecer quais equações regem o sistema, pois a solução é regida por interações, métodos de convergência e interpolação, resultando assim em estimativas (STRACK, 1984). Os modelos analíticos e numéricos podem ser classificados em determinísticos e probabilísticos ou estocásticos.

Os modelos determinísticos baseiam-se em noções matemáticas clássicas de relações extremamente previsíveis entre variáveis independentes e dependentes e consistem num conjunto de afirmações matemáticas deduzidas da experiência ou intuição (CHRISTOFOLETTI, 2002), portanto as variáveis possuem valores prefixados. Os modelos probabilísticos ou estocásticos são expressões que envolvem variáveis, parâmetros e constantes matemáticas, com um ou mais componentes aleatórios resultantes da flutuação imprevisível dos dados de observação ou experimentação (CHRISTOFOLETTI, 2002). Isto

caracteriza fenômenos que não apresentam reprodutividade, como os fenômenos biológicos, sociais, por exemplo, e que, portanto, não apresentam valor bem determinado para eventos específicos (STRACK, 1984).

Os modelos estocásticos são a base para a simulação, podendo ser:

- a) Simulação de Markov (Cadeia de Markov): baseia-se nos estados precedentes do sistema para simular os posteriores;
- b) Simulação Monte Carlo: o evento simulado é independente dos estados prévios do sistema;
- c) Modelo de Otimização: promove a maximização ou minimização de alguma força ou critério.

Os modelos podem ainda ser classificados segundo sua tipologia em:

- a) modelos empíricos: focalizam no relacionamento entre as variáveis, a partir da suposição de que os relacionamentos observados no passado permanecerão no futuro, caracterizando estaticidade ao processo (LAMBIN, 1994). Modelos empíricos são caracterizados pela simplicidade dos modelos matemáticos empregados e pelo número reduzido de variáveis envolvidas. Estes modelos são eficientes em fazer previsões, embora apresentem limitações em abordar a evolução espacial e identificar os aspectos causais do sistema. Um exemplo de modelo empírico são as Cadeias de Markov;
- b) modelos mecanicistas: são construídos na crença de que conhecemos os processos pelos quais um sistema opera (ELSTON; BUCKLAND, 1993). Neste tipo de modelo, os processos individuais são modelados usando leis científicas, ou regras, descritas por equações simples. Os parâmetros nessas equações devem ser estimados a partir de dados e a adequação das equações precisa ser verificada por observações, de modo que estes modelos mecânicos são empíricos em algum nível (ELSTON; BUCKLAND, 1993);
- c) modelos de sistemas: todos os componentes interagem entre si e tais modelos são descrições matemáticas de vários processos complexos e interativos. Para Pedrosa e Câmara (2003) “uma característica chave destes modelos é a eficiência com que abordam a dimensão espacial, implementando conceitos como as relações de vizinhança e suportando o uso combinado de múltiplas escalas”.

3.6 MODELOS DE PREVISIBILIDADE

A comunicação de conceitos e a previsão a curto prazo, o que permite prever ou comparar previsões de alternativas como instrumento de planejamento, são uns dos escopos mais comuns da modelagem (CHRISTOFOLETTI, 2002). Em virtude destes objetivos, pode-se dizer que os modelos podem assumir diversas funções, contudo somente a função de previsibilidade será abordada por constituir o caso do presente estudo.

Inicialmente é importante fazer a distinção entre os conceitos de projeção e previsão. As projeções envolvem a produção de um cenário de mudança no uso da terra com base em um conjunto arbitrariamente escolhido de pressupostos quanto à magnitude, direção de mudança e taxa de mudança das forças motrizes subjacentes, portanto, não se assume nenhum percentual de probabilidade com relação ao curso futuro dos eventos (LAMBIN, 1994). Pelo contrário, as previsões pressupõem que o conjunto subjacente de pressupostos é de fato uma representação realista de eventos futuros. A função de previsibilidade é executada quando os modelos têm como objetivo fornecer previsões específicas como base para tomada de decisão. Tais modelos são construídos geralmente com base em análise de regressão, contém detalhes localmente relevantes e, por este motivo, possuem sua transferibilidade limitada para outros locais (LAMBIN, 1994). Contudo podem ser amplamente utilizados como instrumento de planejamento, pois permitem prever eventuais ações e simular os prováveis resultados sem o custo real de colocá-los em prática. De modo semelhante, a simulação também possui aplicabilidade nos estudos sobre impactos ambientais, por meio da avaliação da repercussão em face das possíveis alternativas a serem implantadas.

De acordo com Lambin (1994), existem duas principais abordagens que podem ser usadas para projetar mudanças no uso da terra: modelos explicativos e análise de séries temporais. Os modelos explicativos permitem avaliar as relações subjacentes entre as variáveis independentes, estimando relações empíricas. Em muitos casos, estes modelos têm seu uso limitado, pois esses relacionamentos não podem ser facilmente quantificados. Já os métodos de séries temporais usam tendências passadas como um guia para projetar os padrões futuros de valores observados. Embora este o método seja eficaz, existem duas fontes potenciais de erro nas projeções das tendências: (i) erros nas taxas atuais estimadas de mudanças na cobertura da terra e (ii) erros de omissão de circunstâncias atenuantes que poderiam contrabalançar as tendências (ALLEN; BARNES, 1985). Entre os principais processos que se utilizam de análise de dados passados para a previsão de tendências futuras está a Cadeia de Markov.

3.7 CADEIA DE MARKOV (*MARKOV CHAIN*)

A Cadeia de Markov tem sido historicamente uma das ferramentas mais utilizadas para prever mudanças ao longo do tempo entre categorias dentro de uma paisagem (PAVÃO, 2017). Neste modelo matemático, os processos estocásticos são modelados por meio de transições de estados, onde os estados são representados em termos de seus vetores probabilísticos, que podem variar no espaço-tempo (discreto ou contínuo), e as transições são probabilísticas, dependendo apenas do estado presente (DEUS, 2013).

O mecanismo central deste modelo é uma probabilidade p_{ij} que se refere à probabilidade de transição ou movimento de um estado i para um estado j em um determinado intervalo de tempo (BAKER, 1989). Para estudos de mudança do uso da terra, os estados do sistema são definidos como a quantidade de terra coberta por vários usos da terra, medidos como porcentagens da área de cada unidade de paisagem (LAMBIN, 1994).

De acordo com Baker (1989, apud LAMBIN, 1994) o modelo de Markov pode ser expresso em notação matricial conforme a Equação 1 abaixo:

$$n_{t+1} = M n_t \quad (1)$$

Em que n_t é a coluna vetor $n = (n_1, \dots, n_m)$, cujos elementos são a fração da área terrestre em cada um dos m estados ao tempo t e M é uma matriz $m \times m$, cujos elementos p_{ij} são as probabilidades de transição durante o intervalo de tempo de t até $t+1$ (LAMBIN, 1994). O modelo calcula assim uma distribuição de saída de área terrestre entre estados a partir de uma configuração inicial, por meio de uma matriz de transição. O vetor de probabilidade inicial e a matriz de transição determinam completamente a cadeia de Markov, pois a estimativa apropriada da probabilidade de transição é a base para uma boa predição (CHOJNICKI, 1970).

A matriz de transição representa a possibilidade de um determinado estado i permanecer o mesmo ou mudar para o estado j durante um intervalo de tempo determinado. As características de transição podem ser representadas pela Equação 2:

$$p_{ij} = f(a_i, b_j, c_{ij}) \quad (2)$$

Em que p_{ij} , a probabilidade de mudança entre os estados i e j , é uma função das características do estado de origem a_i , do estado de saída b_j e algumas relações entre os estados de origem e de saída c_{ij} .

De acordo com Pedrosa e Câmara (2003), nas Cadeias de Markov de 1ª ordem, o estado futuro do sistema depende apenas do seu estado presente e das possibilidades de transição, sendo independente da trajetória que o levou àquele estado em um tempo $t-1$. Soares Filho (1998) especifica que este modelo não ignora o passado, mas assume que toda a informação pretérita está concentrada no estado presente do sistema, sendo irrelevante o tempo de permanência das variáveis em cada estado.

Entre as limitações do modelo, considera-se que a cadeia de Markov não aborda as causas do processo, sendo limitada à resposta espacial (onde), pois só pode ser utilizado para modelos de paisagem. Além disso, ela prevê as futuras mudanças no uso da terra presumindo que a condição de estacionariedade seja satisfeita, limitando a análise a um curto prazo de tempo (PEDROSA; CÂMARA, 2003; LAMBIN, 1994).

A atratividade da cadeia de Markov está no fato de que os parâmetros do modelo, em especial as probabilidades de transição, podem ser facilmente estimados estatisticamente a partir de uma amostra de transições ocorridas durante algum intervalo de tempo (ALMEIDA, 2004), não necessitando de grande quantidade de dados antigos para prever o futuro. Assim, a simplicidade operacional e matemática do modelo, aliadas à facilidade com que podem ser aplicadas a dados provenientes de sensoriamento remoto e implementadas em GIS também constituem outro grande benefício (AMORIM, 2015).

3.8 O GEOPROCESSAMENTO E AS GEOTECNOLOGIAS

Com o desenvolvimento da Tecnologia da Informação tornou-se possível armazenar e manipular dados em ambiente computacional, o que abriu espaço para o surgimento do Geoprocessamento. De acordo com Câmara e Davis (2004),

[...] o termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica [...]. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Este conjunto de ferramentas, agindo por meio de diversas técnicas de processamento, foi introduzido como uma nova concepção de análise que se apoia sobretudo na integração entre os dados que tenham a localização como um dos fatores norteadores de sua área de pesquisa. O Geoprocessamento, utilizando-se das geotecnologias, como o Sistema de Informação Geográfica (SIG), GNSS (*Global Navigation Satellite System*), Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, entre outros, possibilita a realização de análises complexas, que associam diversas variáveis a um mesmo fenômeno, proporcionando a modelagem de dinâmicas e de previsões futuras que auxiliem na tomada de decisão.

Entre as geotecnologias, os SIGs, em particular, são importantes ferramentas para se planejar o futuro do território em suas diversas escalas, pois permitem a coleta, o armazenamento e a manipulação de diversos dados, viabilizando estratégias de uso racional do espaço e gerando informações úteis e precisas para a elaboração de políticas públicas eficazes.

O SIG se materializa em softwares comerciais ou *open source*, como ArcGIS, Idrisi, QuantumGis, Spring, Mapinfo e tem evoluído significativamente nas últimas décadas, sendo uma destas evoluções a integração de SIGs a modelos dinâmicos.

3.9 MODELAGEM DINÂMICA NO SIG

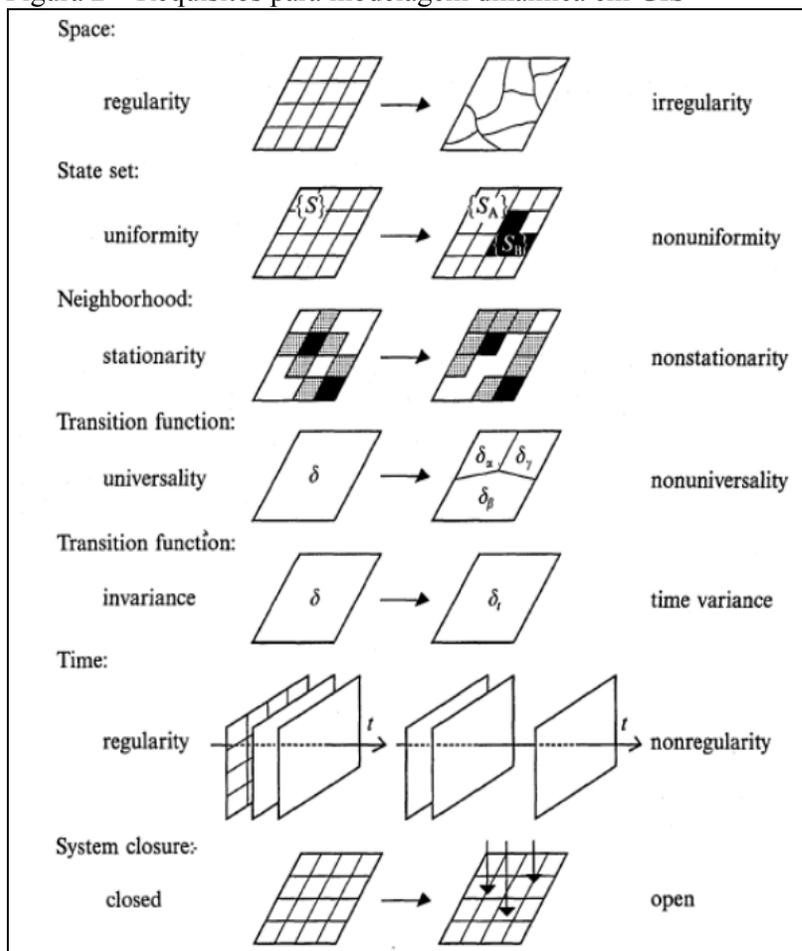
Um dos principais desafios da atual geração de SIGs foi evoluir de um sistema estático, que armazena, organiza e modifica informações espaciais, para um sistema dinâmico, com ferramentas capazes de prover representações realistas de processos e fenômenos que se dão em constante movimento na esfera espacial e temporal (PEDROSA; CAMARA, 2003). Neste contexto, surgiu a modelagem dinâmica, cujo modelo é a “representação matemática de um processo do mundo real em que uma localização na superfície terrestre muda em resposta a variações em suas forças direcionadoras” (BURROUGH, 1998 apud PEDROSA; CAMARA, 2003), transcendendo as limitações atuais das tecnologias de geoprocessamento, baseadas numa visão estática e bidimensional do mundo.

Nos modelos dinâmicos, para se obter um certo nível de realismo, flexibiliza-se as suposições pré-estabelecidas quanto a universalidade e homogeneidade das propriedades de seus principais componentes. Couclelis (1997) afirma que neste caso o sistema representa (i) o espaço como uma entidade não homogênea, tanto nas suas propriedades quanto na sua estrutura, (ii) a variação do tempo como um processo regular ou irregular, ou seja o tempo pode ser representado em intervalos variáveis (meses, anos); (iii) as vizinhanças não possuem

relações estacionárias, podendo ser representadas com diferentes configurações em diferentes pontos do espaço; (iv) as regras de transição como regras não universais, permitindo-se portanto que mais de uma função de transição possa ser aplicada; (v) um ambiente aberto a influências externas e portanto deve incluir variáveis externas (Figura 2).

Devido a esta flexibilização, as possibilidades da configuração de saída são as mais variadas. Portanto, visto a complexidade da realidade, é essencial que se considere as limitações do modelo quanto a sua exatidão.

Figura 2 – Requisitos para modelagem dinâmica em GIS



Fonte: Couclelis, 1997.

3.10 SOFTWARES DISPONÍVEIS

A utilização de algoritmos de modelagem integrados aos Sistemas de Informações Geográficas se tornou consagrada nos últimos anos em estudos relativos à modelagem espacial. Dentre diversos softwares utilizados para tal fim (Quadro 1), destacam-se:

a) Dinâmica EGO - desenvolvido pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais - um software genérico para modelagem de mudanças ambientais amplamente utilizado para a modelagem de expansão urbana e dinâmica intraurbana, avaliação de propostas de zoneamento ecológico-econômico e modelagem de desmatamento tropical (RODRIGUES; SOARES-FILHO; COSTA, 2007);

b) TerraME, resultado de uma colaboração técnico científica entre o Centro de Ciência do Sistema Terrestre, o TerraLab (Universidade Federal de Ouro Preto) e a Divisão de Processamento de Imagens (DPI/INPE), permite a fácil representação e a eficiente simulação de modelos espaciais dinâmicos integrados a um sistema de informações geográficas (LIMA, 2010);

c) TerrSet (*Land Change Modeler for Ecological Sustainability*), desenvolvido pela Clark University em Worcester, Massachusetts.

Quadro 1 – Principais modelos para análises de mudanças no uso e cobertura da terra

(continua)

Software	Autor(es)	Local de Desenvolvimento	Algumas Aplicações	Descrição
Land Change Modeler (LCM) - IDRISI	Eastman et al (2007)	Clark Labs - Clark University	Johnson (2009); Umbelino (2012); Piroli et al. (2011); Islam e Ahmed (2011); Pavão (2017); Sampaio (2014);	Conjunto de ferramentas implementadas no IDRISI ou ArcGIS que permitem a análise, modelagem e simulação das mudanças da cobertura da terra e suas consequências para biodiversidade.
Dinamica EGO	Soares-Filho (1998)	Instituto de Geociências - UFMG	Almeida et al. (2003); Soares-Filho et al. (2004); Rodrigues et al. (2007); Bastos (2007); Piontekowski (2014)	Plataforma de modelagem voltada para implementação de modelos ambientais espacialmente explícitos de diversas áreas.
TerraME	Carneiro (2006)	CCST/UFOP/INPE	Carneiro (2006); Aguiar (2006); Moreira (2009)	Ambiente de programação para a modelagem espacial dinâmica. Suporta autômatos celulares, modelos baseados em agentes e modelos de rede que funcionam em espaços celulares 2D.
CLUE-S	Veldkamp e Fresco (1996)	IVM – Institute for Environment Studies	Verbug et al. (2002); Castela et al. (2007); Hurkmans et al. (2009); Trisurat et al. (2010)	Modelo desenvolvido para simular uso e cobertura da terra em escala regional utilizando relações empiricamente quantificadas entre as mudanças e seus fatores determinantes.

Quadro 1 – Principais modelos para análises de mudanças no uso e cobertura da terra
(conclusão)

Patuxent Landscape Model	Voinov et al. (1999).	UMCES	Voinov et al. (1999); Binder et al. (2003); Voinov et al. (2007)	Utilizado para simular os processos ecológicos fundamentais na escala da bacia hidrográfica, em interação com um componente socioeconômico que prevê os padrões de uso da terra.
Land Transformation Model (LTM)	Pijanowski et al. (2002)	Perdue University	Pijanowski et al. (2002); Tang et al. (2005); Pijanowski et al (2005)	Software baseado na arquitetura do ArcGIS, que permite criar cenários de mudanças no uso e cobertura da terra a partir de dados multitemporais relacionados a mudança.
Land-Use Change Analysis System (LUCAS)	Berry et al. (1994)	Department of Computer Sciences - University of Tennessee	Berry et al. (1994); MacIntyre et al. (1994); Berry et al. (1996)	Ferramenta multidisciplinar de modelagem da cobertura da terra utilizada para examinar a relação das atividades humanas com as mudanças e suas consequências para sustentabilidade.

Fonte: Adaptado de Luiz, 2014.

O *Land Change Modeler (LCM) for Ecological Sustainability* é um aplicativo do sistema de software integrado para modelagem e monitoramento geoespacial TerrSet, o qual incorpora as ferramentas de processamento e análise de imagem do IDRISI, associado a uma coleção de aplicações verticais.

Assim como a maioria dos softwares de modelagem, as ferramentas do LCM se baseiam nas análises da Cadeia de Markov (UMBELINO, 2012) e, em uma primeira etapa, em algoritmos de aprendizagem como as Redes Neurais (RN) *Multi-Layer Perceptron*. Enquanto na Cadeia de Markov o estado de um sistema no tempo 2 pode ser previsto com base no estado do sistema no tempo 1, as redes neurais permitem a espacialização das mudanças. As RN são sistemas inspirados na estrutura neural de organismos inteligentes e que, assim como o cérebro humano, adquirem conhecimento através da experiência (DEUS, 2013). A capacidade de aprender é justamente a maior habilidade das RN, pois com isso seu desempenho pode ser melhorado.

A maioria dos modelos de redes neurais possuem regras de treinamento, que basicamente consistem no ajuste dos pesos entre as conexões por meio de um processo iterativo de acordo com os padrões apresentados. A aprendizagem é efetuada através de um

algoritmo de aprendizado que consiste em um conjunto de regras bem definidas para a solução de um determinado problema (DEUS, 2013).

De acordo com Zuben (2003), os dados utilizados correspondem a relações de entrada-saída de algum fenômeno observado, do qual pode-se extrair amostras de comportamento. Caso a modelagem envolva fenômenos dinâmicos, aspectos temporais estarão presentes, caso contrário, apenas aspectos da distribuição espacial são utilizados (ZUBEN, 2003).

As análises de mudança e predição no LCM são organizadas entorno de submodelos de transição, que podem consistir em uma única transição de uso e cobertura da terra ou em um grupo de transições e o modelo possui ainda a opção de incluir variáveis dinâmicas do uso e cobertura da terra, como modelos de elevação e bases vetoriais do sistema viário (EASTMAN, 2006). Além disso o sistema suporta a inclusão de parâmetros que possivelmente podem alterar o curso do desenvolvimento da previsão de mudança, como as variáveis restritivas (corpos d'água, áreas com restrições legais) e as variáveis estimuladoras (rodovias, loteamentos) (UMBELINO, 2012). O LCM tem sido amplamente utilizado por pesquisadores na área de gestão e planejamento territorial pois possui uma interface amigável, voltada para o usuário comum de SIG, e pode ser integrado a dois softwares de geoprocessamento amplamente utilizados, o ArcGIS e o IDRISI.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a região formada pela Associação dos Municípios da Região Carbonífera (AMREC), situada na Mesorregião do Sul Catarinense, localiza-se entre as coordenadas UTM (Fuso 22 Sul), Este 625.778,964 m e 678.457,381 m e Norte 6.803.794,284 m e 6.887.936,670 m (Figuras 3 e 4). Em seu entorno encontram-se a Associação dos Municípios da Região de Laguna – AMUREL, a Associação dos Municípios do Extremo Sul Catarinense - AMESC e a Associação dos Municípios da Região Serrana – AMURES. Localizada entre a Serra Geral e o Oceano Atlântico, a área de estudo, com área territorial total de 2.649,835 km², pertence à região hidrográfica, a nível nacional, do Atlântico Sul, compreendendo três bacias hidrográficas: a Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão, a norte da área de estudo, a Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, na porção central da região, e a Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, ao sul.

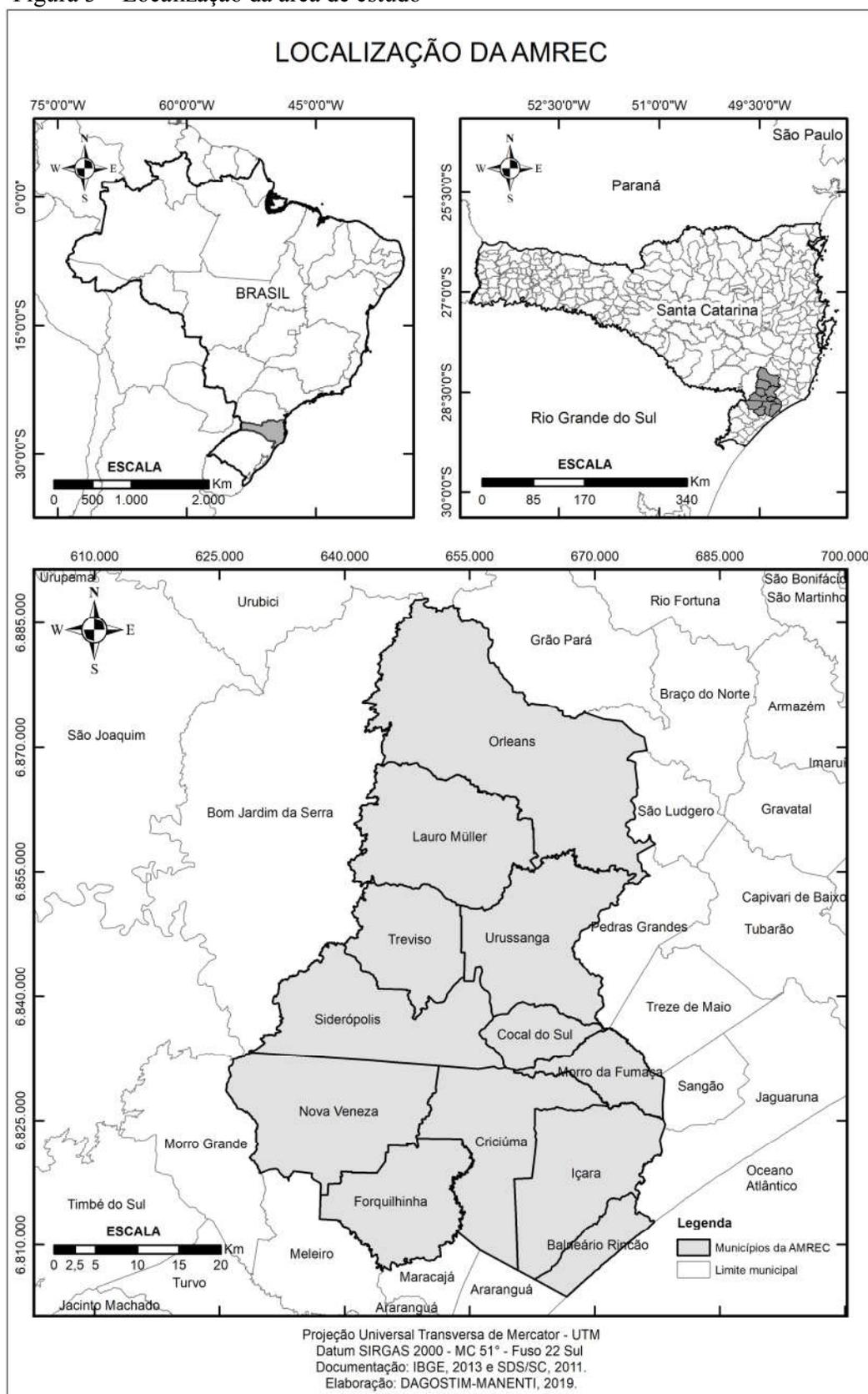
No total, doze municípios compõem a Associação, isto é Criciúma (sede), Içara, Lauro Müller, Morro da Fumaça, Nova Veneza, Siderópolis, Urussanga, Forquilha, Cocal do Sul, Treviso, Orleans e Balneário Rincão, constituindo uma população total de 390.791 habitantes (IBGE, 2010). Deste total, 347.934 pessoas habitam em áreas urbanas, o que equivale a um percentual de 89,03%, enquanto 42.857 (10,97%) habitam nas áreas rurais. A Tabela 1 a seguir detalha os dados correspondentes a cada município.

Tabela 1 – População, densidade demográfica e área dos municípios da AMREC

MUNICÍPIO	População Total (hab)	População Urbana (hab)	População Urbana (%)	População Rural (hab)	População Rural (%)	Densidade Demográfica (hab/km ²)	Área Territorial (km ²)
Cocal do Sul	15.159	12.696	83,80%	2.463	16,20%	213,13	71,127
Criciúma	192.308	189.630	98,60%	2.678	1,40%	815,87	235,709
Forquilha	22.548	18.426	81,70%	4.122	18,30%	123,12	183,134
Içara	58.833	53.913	91,60%	4.920	8,40%	200,42	228,928
Lauro Müller	14.367	11.106	77,30%	3.261	22,70%	53,06	270,781
Morro da Fumaça	16.126	13.863	86,00%	2.263	14,00%	194,01	83,12
Nova Veneza	13.309	8.927	67,10%	4.382	32,90%	45,11	295,036
Orleans	21.393	16.084	75,20%	5.309	24,80%	38,98	548,792
Siderópolis	12.998	10.051	77,30%	2.947	22,70%	49,67	261,664
Treviso	3.527	1.833	52,00%	1.694	48,00%	22,45	157,084
Urussanga	20.223	11.405	56,40%	8.818	43,60%	79,35	254,869
Balneário Rincão ⁽¹⁾	0	0	0%	0	0%	179,89	64,636
Total	390.791	347.934		42.857			2654,88

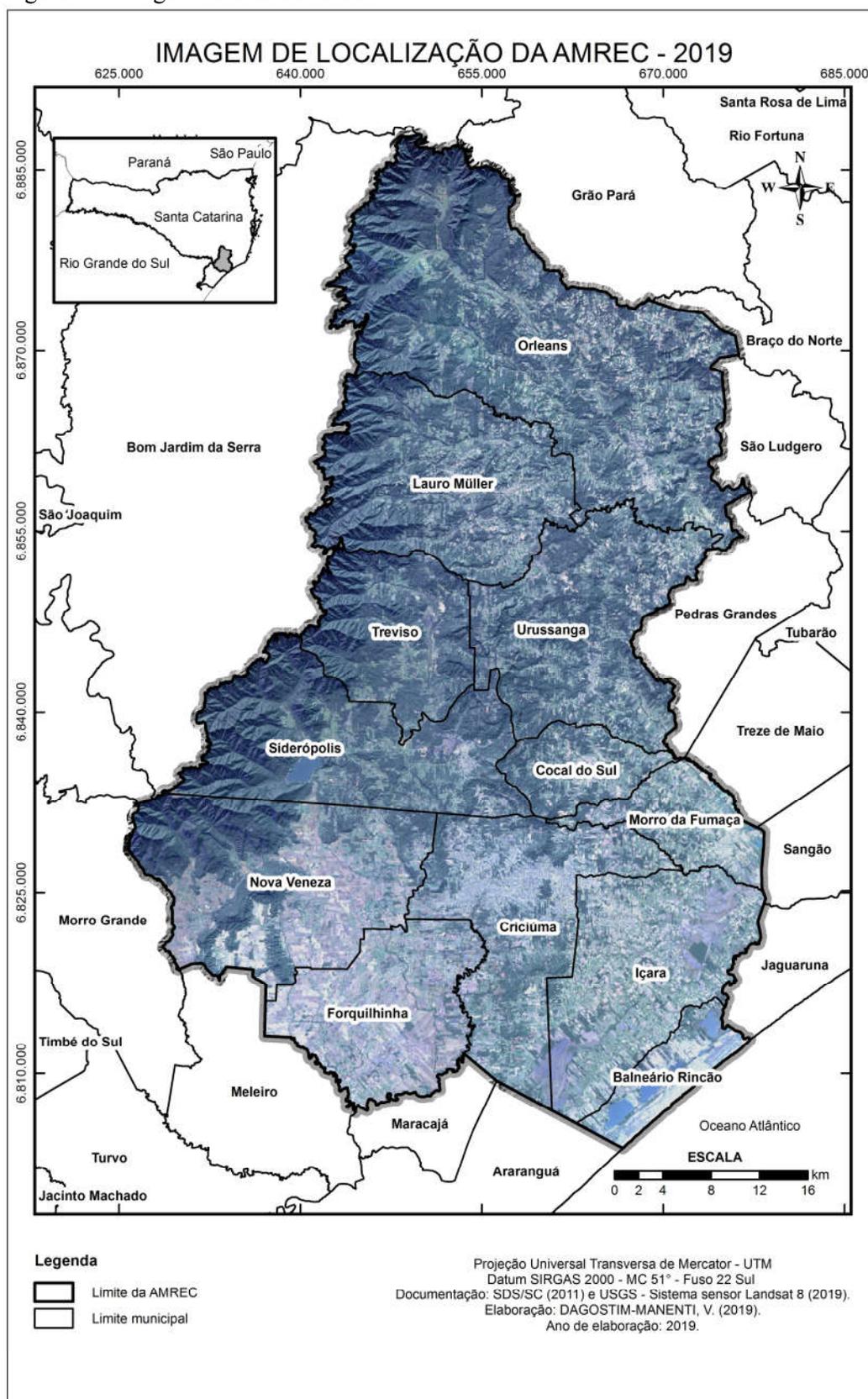
Fonte: Censo Demográfico, 2010. Nota: ⁽¹⁾ Município pertencia à Içara neste período.

Figura 3 – Localização da área de estudo



Fonte: Do autor, 2019.

Figura 4 – Imagem da área de estudo



Fonte: Do autor, 2019.

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa realizada, de abordagem quantitativa, de acordo com o critério de classificação proposto por Gil (2007) é de natureza aplicada, possui caráter exploratório e se baseia nos procedimentos de pesquisa documental e bibliográfica.

4.2.1 Pesquisa documental e bibliográfica

Para construção do marco teórico e fundamentação das rotinas executadas nos softwares, realizou-se a pesquisa de caráter bibliográfico e a pesquisa documental. A pesquisa bibliográfica se deu por meio de consulta em livros, artigos, *e-books*, dissertações e teses, tanto de abrangência nacional como internacional, de autores que discutem o objeto proposto.

A pesquisa documental foi constituída pela busca de dados secundários vetoriais e matriciais proveniente de órgãos governamentais, tanto os de abrangência nacional, como estadual e municipal. Entre os órgãos competentes consultados estão o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina (SDS), a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a Agência Nacional de Águas (ANA) e a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN).

4.2.2 Elaboração da cartografia temática

Com o objetivo de caracterizar a área de estudo, elaborou-se os mapas temáticos pertinentes à hidrografia, altimetria, declividade, pedologia, geologia, geomorfologia e vegetação. As representações cartográficas foram elaboradas no software ArcGIS na escala 1:450.000, datum SIRGAS 2000, Fuso 22 Sul, utilizando-se para isso os dados vetoriais e matriciais obtidos dos órgãos governamentais, conforme elencado na Quadro 2 abaixo.

Quadro 2 – Fontes dos dados utilizados nos mapas temáticos

Representação	Dados utilizados	Fonte
Localização	Divisão política do Brasil	IBGE (2015)
	Divisão política de Santa Catarina	IBGE (2015)
	Limite municipais	SDS/SC (2011)
	Limite da AMREC	SDS/SC (2011) ⁽¹⁾
Hidrografia	Divisão da Região Hidrográfica	PERH/SC (2017)
	Massas de água	SDS/SC (2011)
	Rios	ANA (2011)
	Limite do Reservatório da Barragem do Rio São Bento	CASAN (2005)
	Limite das Bacias Hidrográficas	PERH/SC (2017)
Altimetria	Modelo Digital de Terreno	SDS/SC (2011)
Declividade	Modelo Digital de Terreno	SDS/SC (2011)
Pedologia	Classe de solos	EMBRAPA (2004)
Geologia	Massa d'água	CPRM (2016)
	Unidades litoestratigráficas	CPRM (2016)
Geomorfologia	Massa d'água	CPRM (2016)
	Tipos de modelado	CPRM (2016)
Vegetação	Regiões Fitoecológicas	IFFSC EPAGRI (2013)

Nota: ⁽¹⁾Elaborado pelo autor com base nos dados fornecidos pela SDS/SC em 2011.

Fonte: Do autor, 2019.

4.2.3 Mapeamento do uso e cobertura da terra

Após a confecção dos mapas temáticos, passou-se para a elaboração de mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1999 e 2019 por meio do processamento digital de uma série multitemporal de imagens de satélite.

A escolha da data das imagens se baseou no histórico de mudança do uso e cobertura da terra na AMREC, bem como no cenário atual observável, visando-se obter a previsão mais próxima do que estatisticamente é mais provável que ocorra.

Diante disto, além de utilizar a imagem atual referente ao ano de 2019, optou-se por realizar a classificação do uso do solo para o ano inicial de 1999, quando a indústria de mineração já não era tão expressiva e quando começou a intensificar-se o processo de urbanização na área de estudo. De fato, neste mesmo ano foi aprovada a revisão do plano diretor municipal de Criciúma, município sede da AMREC e que possui tecido urbano mais abrangente. De acordo com De Lucca (2015), o plano diretor de 1999 incrementava ao máximo as possibilidades de exploração econômica do solo e padronização dos potenciais construtivos, uma realidade ainda existente atualmente.

Portanto, pelo fato das mudanças ocorridas entre 1999 e 2019 possuírem alta tendência de permanência em um quadro futuro, utilizou-se as imagens dos referidos anos para realizar a construção do cenário para o ano de 2040.

Para realizar o mapeamento do uso e cobertura da terra foram utilizadas as imagens do sistema sensor americano Landsat, disponibilizadas gratuitamente pelo *United States Geological Survey* (USGS), as quais foram escolhidas com base na disponibilidade dos dados e na qualidade do produto. Para tanto, elegeram-se as imagens obtidas em datas próximas, isto é, pertencentes à mesma estação do ano, com baixa cobertura de nuvens e pouco ou nenhum ruído, conforme especificado do Quadro 3.

Quadro 3 – Características das imagens utilizadas no mapeamento

Características da imagem	Imagem 1	Imagem 2
Data	09/08/1999	08/08/2019
Sistema sensor	<i>LANDSAT 7</i>	<i>LANDSAT 8</i>
Bandas utilizadas	1, 2, 3, 4, 5, 7	2, 3, 4, 5, 6, 7
Composições utilizadas	RGB e FALSA COR	RGB e FALSA COR
Órbita	220	220
Ponto	80	80
Resolução espacial	30 m	30 m
Lapso temporal	20 anos	-
Cobertura de nuvens	0%	0%
Qualidade da imagem	9	9

Fonte: Do autor, 2019.

As imagens utilizadas primeiramente passaram por etapas de pré-processamento, como ajuste de contraste e reprojeção cartográfica no software ArcGIS. Para compatibilização

dos arquivos raster com os arquivos vetoriais fornecidos pelos órgãos governamentais, as imagens que inicialmente apresentavam-se no datum WGS84, fuso 22 Norte, foram reprojatadas para o datum SIRGAS 2000, fuso 22 Sul. Em um segundo momento, se deu a importação destas imagens no software IDRISI Selva, onde foi realizada a segmentação das imagens e a classificação supervisionada das imagens.

A segmentação consiste em dividir a imagem em diferentes regiões, com base na semelhança ou na diferença entre os níveis de cinza dos pixels, as quais são posteriormente analisadas por algoritmos especializados em busca de informações (ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2000). Na execução da etapa de segmentação no IDRISI, utilizou-se um índice de similaridade igual a 1 e uma janela de varredura 3x3. Posteriormente, na etapa de classificação, o processamento das imagens foi realizado por meio de análise quantitativa, materializada por meio de classificação digital, a qual, de acordo com Meneses (2012, p. 191), é o “processo de associar os *pixels* da imagem a um número finito de classes individuais que representam os objetos do mundo real, com base nos seus valores digitais”. O classificador utilizado foi o da Máxima Verossimilhança (*Maximum Likelihood*), que segundo Shiba et al. (2005) é a técnica mais popular para tratamento de dados de satélites. O classificador por Máxima Verossimilhança (Maxver) “considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos *pixels* das classes, utilizando parâmetros estatísticos” (MENEZES; SANO, 2012, p. 202), desta forma calcula-se a probabilidade de dado *pixel* pertencer a uma classe específica. A eficiência deste método está no fato de se utilizar áreas de treinamento (amostras) para estimar a forma de distribuição dos *pixels* contidos em cada classe no espaço de n bandas (MENEZES; SANO, 2012).

Para que a classificação alcançasse um resultado satisfatório, se utilizou um número razoavelmente elevado de *pixels* para cada conjunto de treinamento, isto é, acima de uma centena (entre 150 e 200 amostras), conforme sugerido por Crósta (1993). As classes amostradas foram as mesmas em todas as datas e foram coletadas em pontos estratégicos definidos por meio de imagens de alta resolução. São elas:

- 1) Vegetação arbórea-arbustiva – áreas com vegetação arbórea ou vegetação arbustiva, florestas secundárias, áreas com reflorestamento e silvicultura;
- 2) Vegetação rasteira - pastagens naturais, áreas de campos e áreas com vegetação de porte baixo voltadas para a atividade de pecuária;
- 3) Restinga - áreas com depósito arenoso paralelo à linha de costa sobreposto por estrato herbáceo e arbustivo;

4) Massas de água - corpos hídricos superficiais, como rios, lagoas, lagos, entre outros e as áreas alagadas, seja para fins agrícolas ou para outros fins;

5) Áreas agrícolas e solo exposto - áreas cultivadas, seja de cultura anual ou permanente, as áreas com culturas em estágios iniciais de desenvolvimento, áreas com preparo do solo para plantio, áreas desprovidas de cobertura vegetal e aterros;

6) Áreas artificializadas - áreas com tecido urbano contínuo ou descontínuo, áreas construídas, áreas com a presença de indústrias, comércios e equipamentos, como aeroportos, e áreas em construção;

7) Mineração - áreas nas quais foram realizadas atividades ligadas a extração de carvão mineral.

O número reduzido de classes se deve ao fato de que a resolução espacial das imagens não é alta, o que dificulta a coleta das amostras das classes cuja abrangência territorial é pequena. Para reduzir os conflitos existentes na classificação, optou-se pela aplicação de um filtro de mediana com janela 3x3.

4.2.4 Validação da classificação

Apesar do método ser supervisionado, a classificação pode apresentar erros devido às dificuldades para se obter amostras de *pixels* puros, isto é, representativos de uma única classe espectral. A assinatura espectral de um alvo, de fato, nunca é homogênea e exclusivamente daquele alvo, pois geralmente ela é maquiada pela resposta espectral proveniente da superfície de fundo ou de outros alvos dentro da área.

Com o objetivo de melhorar ulteriormente a classificação, visto que o resultado desta etapa tem impacto direto no resultado final da pesquisa, após a classificação supervisionada, foi realizada a validação da mesma por meio da construção de uma matriz de erros para cálculo do Índice Kappa. A matriz de erros compara, classe por classe, a relação entre os dados de referência e os correspondentes resultados da classificação (MENESES; SANO, 2012).

Para isso foram gerados 182 pontos utilizando amostragem aleatória estratificada, sendo o número de pontos amostrais distribuído de acordo com a abrangência de cada classe. De acordo com Mastella e Vieira (2018) a vantagem deste tipo de amostragem é que todos os estratos (classes), por menores que sejam, são incluídos na amostra, fator importante para coleta de amostras representativas de cada classe.

O Índice Kappa, o qual apresenta os níveis de desempenho da classificação variando de 0 (concordância nula) à 1 (concordância perfeita) conforme exposto na Tabela 2, foi calculado incluindo-se todas as classes mapeadas nas duas datas e os resultados obtidos foram os elencados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 2 – Qualidade da classificação avaliada pelo Índice Kappa

Índice Kappa	Desempenho
<0	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

Fonte: Fonseca (2000, apud Figueiredo e Vieira, 2007).

Tabela 3 – Dados da acurácia da classificação

Ano da imagem	Pontos verificados	Acurácia global	Acurácia do produtor da classe "Áreas artificializadas"	Índice Kappa
1999	182	91,21%	72,73%	0,8813
2019	182	87,36%	77,78%	0,8291

Fonte: Do autor, 2019.

Analisando-se os resultados obtidos verificou-se que a acurácia global para os anos de 1999 e 2019 resultaram satisfatórias, alcançando, respectivamente, os percentuais de 91,21% e 87,36%.

Paralelamente, o Índice Kappa também demonstrou um desempenho excelente para as duas datas, sendo o ano de 1999 o ano com melhor resultado, com um índice de 0,8813, enquanto o ano de 2019 apresentou um Índice Kappa de 0,8291.

Ao se analisar individualmente a acurácia do produtor da classe Áreas artificializadas, de suma importância neste estudo, também verificou-se um resultado satisfatório. Com efeito, obteve-se uma acurácia do produtor de 72,73% para o ano de 1999 e de 77,78% para o ano de 2019.

Portanto, diante dos resultados obtidos, procedeu-se com a modelagem utilizando os mapeamentos de uso e cobertura da terra referentes aos anos de 1999 e 2019.

4.2.5 Land Change Modeler

Com o objetivo de prever as mudanças futuras em relação à dinâmica do uso e cobertura da terra, utilizou-se o *Land Change Modeler* (LCM), um aplicativo vertical do software TerrSet. De acordo com Umbelino (2012), por meio da ferramenta “Projeção de Mudanças” do LCM é possível simular cenários futuros de acordo com o comportamento passado da cobertura da terra, podendo-se associar a isto variáveis restritivas (áreas de proteção ambiental, corpos d’água) e variáveis estimuladoras (rodovias futuras, zonas de aquecimento econômico, etc.). As etapas que foram executadas no LCM podem ser divididas em quatro fases, são elas: (1) Análises das mudanças (*Change Analysis*); (2) Construção do submodelo de potencial de transição (*Transition Potentials*); (3) Inclusão de variáveis restritivas e variáveis estimulados (*Planning*); (4) Previsão de mudanças (*Change Prediction*).

4.2.5.1 Análises das mudanças (*Change Analysis*)

A primeira etapa no LCM se deu na aba *Change Analysis*. Este recurso identifica as transições de um estado de cobertura da terra para outro, permite analisar quantitativamente e graficamente os ganhos e as perdas que ocorreram para cada classe, quais classes possuem maior nível de persistência ou de transição (EASTMAN, 2012), além de calcular mapas de tendência com base em equações polinomiais lineares, quadráticas e cúbicas (DEUS, 2013).

Para isso inseriu-se os mapas de uso e cobertura da terra referentes ao ano de 1999 e 2019, o Modelo Digital de Terreno e o arquivo *raster* com o traçado das vias. Eastman (2012) salienta que, para que o software consiga proceder com a análise, as legendas nos dois mapas devem ser as mesmas, as classes amostradas devem ser iguais e sequenciais, o plano de fundo nos dois mapas devem ser iguais e possuir valor igual a zero e as dimensões espaciais, isto é, a resolução espacial e o sistema de coordenadas, devem ser as mesmas.

Nesta fase elaboraram-se diversos mapeamentos para compreensão das mudanças ocorridas na AMREC entre os anos de 1999 e 2019. De fato, além do mapa de mudanças entre os referidos anos, gerou-se também os gráficos de ganhos e perdas para cada classe e o mapa de persistência das classes.

4.2.5.2 Submodelo de potencial de transição (*Transition Potentials*)

A construção do cenário futuro para o ano de 2040 foi precedida pela construção de um submodelo de potencial de transição.

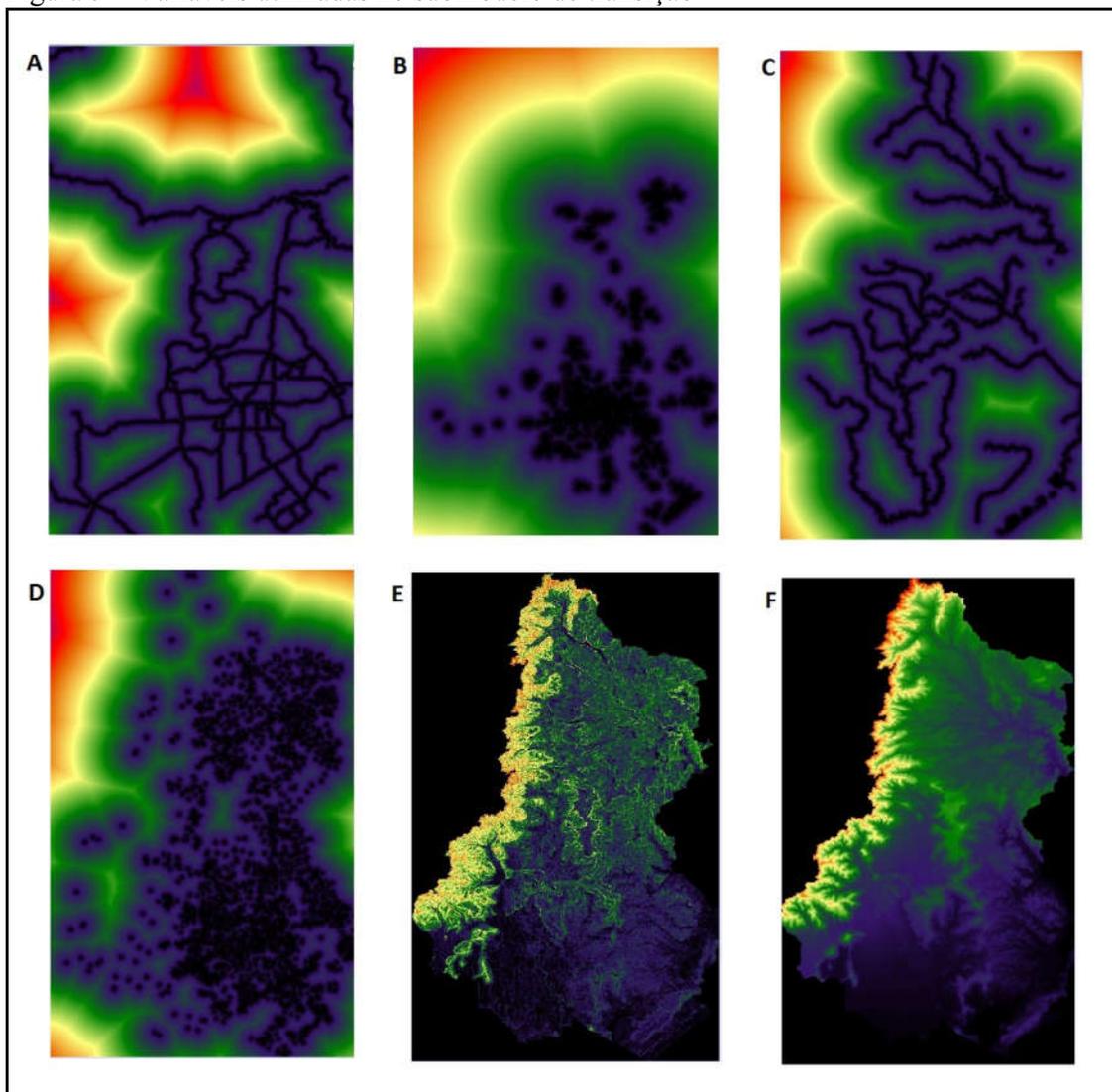
A probabilidade de transição do submodelo foi gerada com base no reconhecimento de padrões de evolução entre os anos de 1999 e 2019, por meio da amostragem de áreas que sofreram transição e áreas passíveis de mudanças que não sofreram transição (UMBELINO, 2012). Nesta etapa o usuário especifica quais tipos de transição o interessam e quais variáveis explicativas contribuem para que tais transições ocorram.

No caso do presente estudo, como já especificado no item 4.2.6.1, optou-se por analisar a transição entre todas as classes e a classe Áreas artificializadas. Optou-se por analisar esta classe de forma mais aprofundada pelo seu constante crescimento observado ao longo dos anos e pelo fato de estar em fase de iniciação um Plano de Desenvolvimento Regional para a área de estudo, tendo esta classe, portanto, papel fundamental na definição de diretrizes de planejamento. Conforme a Figura 5 abaixo, as variáveis explicativas incluídas no submodelo foram:

- a) Distância das vias;
- b) Distância das áreas urbanizadas;
- c) Distância dos corpos hídricos;
- d) Distância das áreas que passaram a ser urbanas entre 1999 e 2019;
- e) Declividade;
- f) Modelo Digital de Terreno (MDT).

O *raster* referente à distância das áreas urbanizadas foi elaborado com base no arquivo shapefile das áreas urbanizadas de 2015, fornecido pelo IBGE. No caso dos municípios de Orleans e Lauro Müller, por falta de dados, foi vetorizada a malha urbana com base na imagem fornecida pelo software *Google Earth* para o ano de 2015.

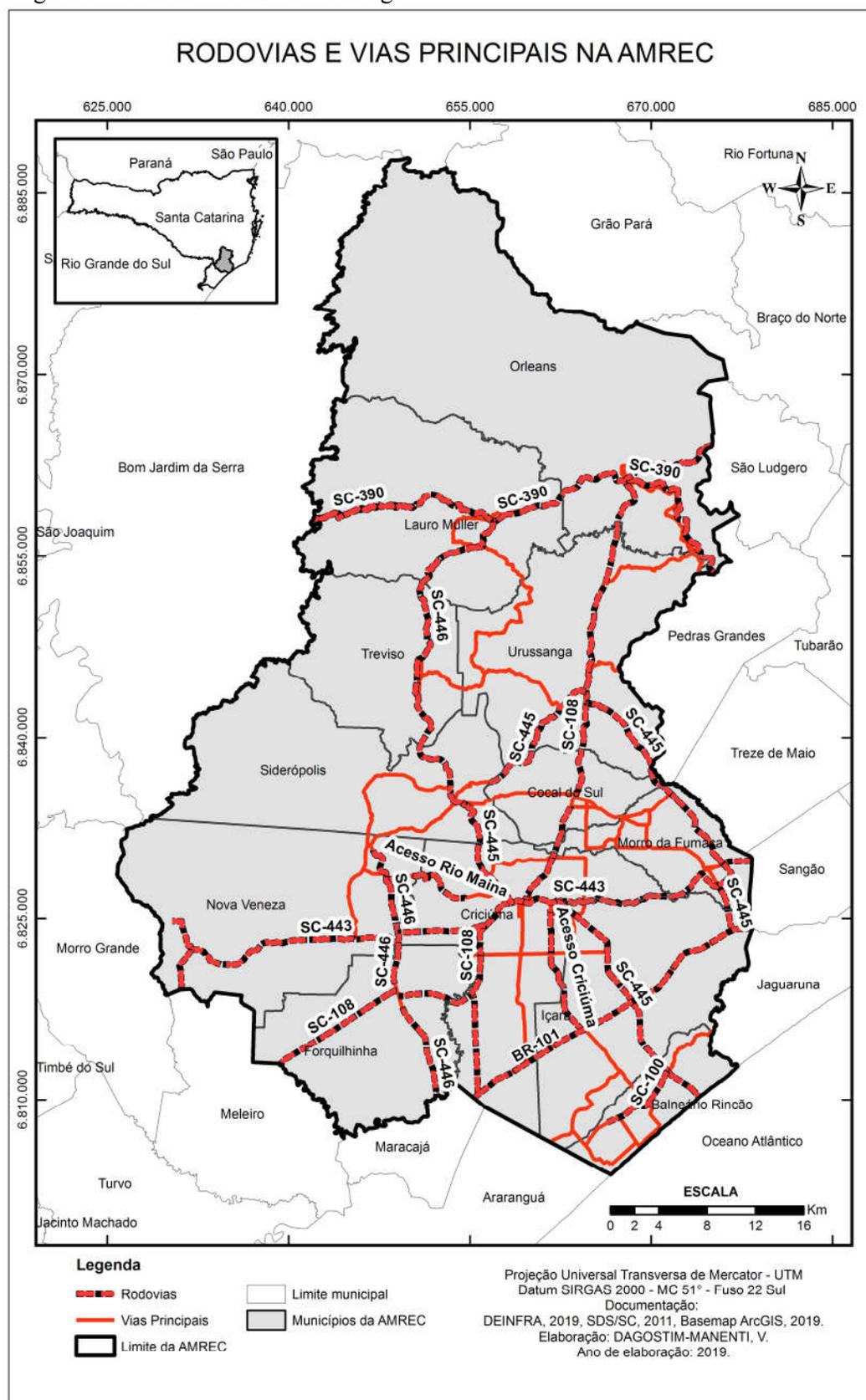
Figura 5 – Variáveis utilizadas no submodelo de transição



Legenda: A) Distância das vias; B) Distância das áreas urbanizadas; C) Distância dos corpos hídricos; D) Distância das áreas que passaram a ser urbanas entre 1999 e 2019; E) Declividade; F) Modelo Digital de Terreno
Fonte: Do autor, 2019.

Para enriquecer tal dado, as vias foram reclassificadas em uma hierarquia de três níveis, conforme nomenclatura adotada pela SIE (Figura 6). Assim, às vias pavimentadas e duplicadas ou em obras de duplicação foi atribuído o valor 1 nos respectivos pixels, às vias pavimentadas de pista simples ou em obras de pavimentação foi atribuído o valor 2, já para as vias não pavimentadas ou implantadas sem pavimentação atribuiu-se o valor 3.

Figura 6 – Vias utilizadas na modelagem



Fonte: Do autor, 2019.

Quanto aos arquivos *rasters* referentes à declividade e ao MDT, para compatibilizá-los cartograficamente e assim serem utilizados no submodelo, os mesmos tiveram sua resolução espacial reamostrada de 1 para 30 metros, sendo, portanto, correspondente à resolução espacial das imagens Landsat. É importante salientar que é possível inserir no submodelo somente variáveis quantitativas (contínuas ou discretas). No caso de variáveis categóricas, como o uso e cobertura da terra, por exemplo, o LCM apresenta a possibilidade de transformação em variáveis quantitativas através do painel *Variable Transformation Utility*. No presente estudo este módulo foi utilizado, por meio do *Evidence Likelihood*, para transformar em variáveis quantitativas as mudanças ocorridas entre os anos de 1999 e 2019.

Após a inclusão das variáveis, foi testado o poder potencial de cada uma no painel *Test and selection of site and driver variables*. Os indicadores estatísticos associados a este teste é o *Cramer's V* e *P Value*. O valor de *Cramer's V* varia entre 0 e 1 e quanto maior for o seu valor, maior é o potencial explicativo da variável, sendo que recomenda-se que sejam incluídas no modelo somente as variáveis com *Cramer's V* maior que 0,15 (AMORIM, 2015). O *P Value*, por sua vez, associado a um valor de *Cramer's V* baixo, quando possuir valor alto, indica que tal variável pode ser rejeitada (AMORIM, 2015). Após os testes estatísticos, verificou-se que quase todas as variáveis possuíam *Cramer's V* maior que 0,15, exceto a variável referente à distância dos corpos hídricos. Optou-se, porém, por não rejeitá-la por considerá-la relevante para a modelagem.

Nesta mesma etapa classificaram-se também as variáveis entre estáticas, isto é, independentes do tempo, e dinâmicas, dependentes da dimensão temporal. Conforme recomendado por Eastman (2012) considerou-se como dinâmicas as variáveis referentes à distância das áreas que passaram a ser urbanas entre 1999 e 2019 e a distância das vias, enquanto as demais, como MDT e declividade, por exemplo, foram consideradas estáticas.

A última etapa na aba *Transition Potentials* se deu no painel *Run Transition Sub-Model*, onde utilizou-se para a construção do submodelo as Redes Neurais *Multi-Layer Perceptron* (MLP). Neste estágio o LCM criou uma amostra aleatória de pixels que tiveram cada uma das cinco transições que estavam sendo modeladas e um conjunto adicional de amostras aleatórias para cada um dos pixels que poderiam, mas não passaram por transição. Assim, a rede neural foi alimentada com exemplos de dez classes, cinco classes de transição e cinco classes de persistência. Embora interessasse para a previsão apenas as classes de transição, a rede neural realiza um treinamento melhor se utilizar as dez. Desta forma, a partir dos exemplos dados para treinar a rede neural, o LCM foi capaz de realizar a previsão do

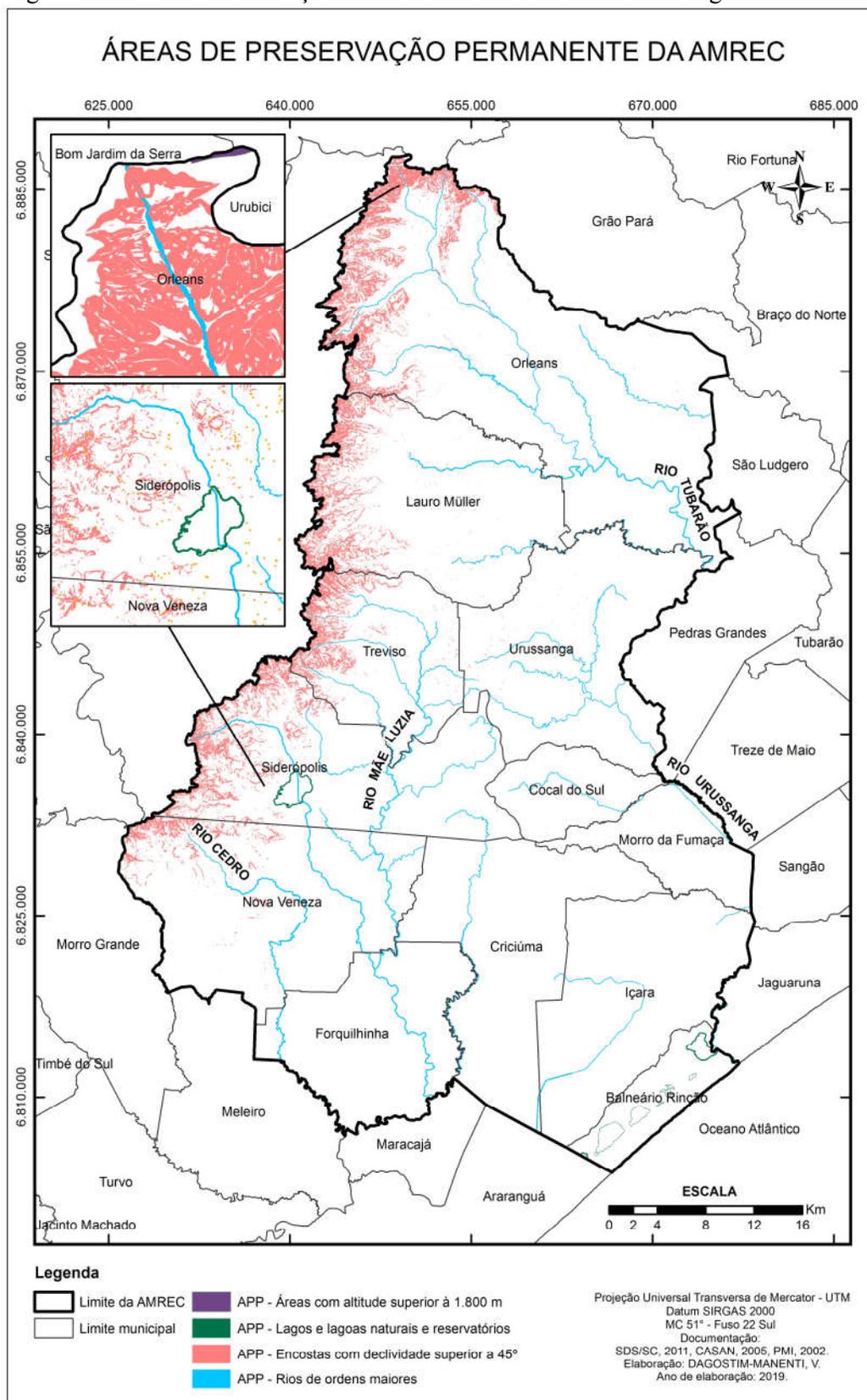
potencial de transição. De acordo com Eastman (2012), o MLP constrói uma rede de neurônios entre os valores de entrada das variáveis explicativas e as dez classes de saída (as classes de transição e persistência), além de uma rede de conexões entre os neurônios que são aplicadas como um conjunto de pesos (inicialmente aleatórios), os quais estruturam a função multivariada. Com cada pixel analisado nos dados de treinamento, ele mede seu erro e ajusta os pesos (EASTMAN, 2012). Após o treinamento, para que o modelo seja validado, a acurácia resultante deve ser igual ou superior a 75%, sendo o ideal próximo à 80% (Eastman, 2012), caso contrário é recomendado um novo treinamento. No presente estudo alcançou-se uma taxa de acurácia de 87,26%.

4.2.5.3 Inclusão de variáveis restritivas e variáveis estimuladoras (*Planning*)

Além das variáveis explicativas, o LCM permite a inclusão de variáveis estimuladoras (rodovias futuras, zonas de aquecimento econômico, etc.) e de variáveis restritivas (áreas de proteção ambiental, corpos d'água, etc.), as quais podem ser traduzidas como intervenções de planejamento no processo de previsão de mudanças. Estas variáveis são inseridas no modelo como variáveis quantitativas em um arquivo *raster*, que atua como um multiplicador. Células que possuem valor igual a 1 não possuem efeito, células maiores que 1 atuam como incentivos, ou seja, aumentam o potencial de transição, células menores de 1,0 atuam como desincentivos, enquanto células com valor igual à 0 atuam como uma restrição absoluta (Eastman, 2012). No presente estudo utilizou-se como variáveis restritivas absolutas as Áreas de Preservação Permanente (APPs), com base no Código Florestal (Lei nº 12.651/2012), dos cursos d'água (de maior ordem), dos lagos e lagoas, dos reservatórios, das áreas com altitude superior à 1.800 metros e das encostas com declividade superior à 45° (Figura 7). Não foram consideradas as APPs das nascentes pelo fato que as nascentes contidas no arquivo *shapefile* fornecido pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável não foram verificadas em campo. Da mesma forma não foram consideradas as APPs de topo de morro diante da complexidade de identificação das mesmas somente pelo MDT.

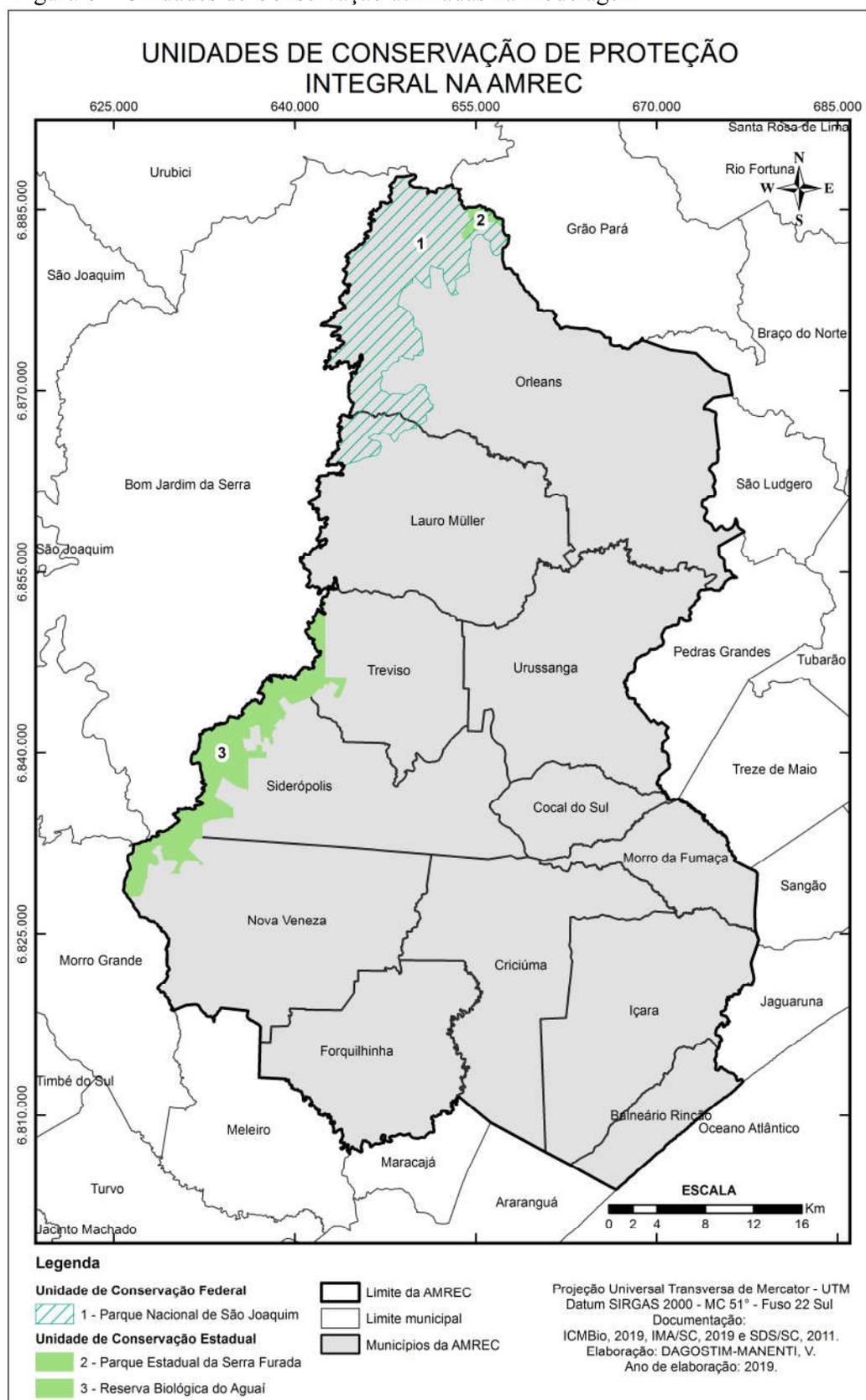
Além das APPs, consideraram-se como variáveis restritivas as Unidades de Conservação (UC) federais e estaduais de proteção integral (Figura 8). As UCs federais foram fornecidas pelo ICMBio e as UCs estaduais pelo IMA/SC. Diante da dificuldade em encontrar dados e informações de planejamento para os próximos anos na área de estudo, não foi possível utilizar nenhuma variável estimuladora.

Figura 7 – Áreas de Preservação Permanente consideradas na modelagem



Fonte: Do autor, 2019.

Figura 8 – Unidades de Conservação utilizadas na modelagem



Fonte: Do autor, 2019.

4.2.5.4 Previsão de mudanças (*Change Prediction*)

A última etapa metodológica no LCM se deu na aba *Change Prediction*. A partir do submodelo de potencial de transição foi realizada a previsão para o ano futuro de 2040 (tempo 3) por meio da Cadeia de Markov (item 3.7), tendo como base os mapas de uso e cobertura da terra no tempo 1 (1999) e tempo 2 (2019).

No LCM o resultado gerado pela previsão não apenas permite a criação de um cenário rígido (*hard prediction*), com mudanças absolutas projetadas, mas apresenta também um módulo de criação de um cenário suavizado (*soft prediction*), no qual são apresentados os locais com maior probabilidade de mudança (UMBELINO, 2012).

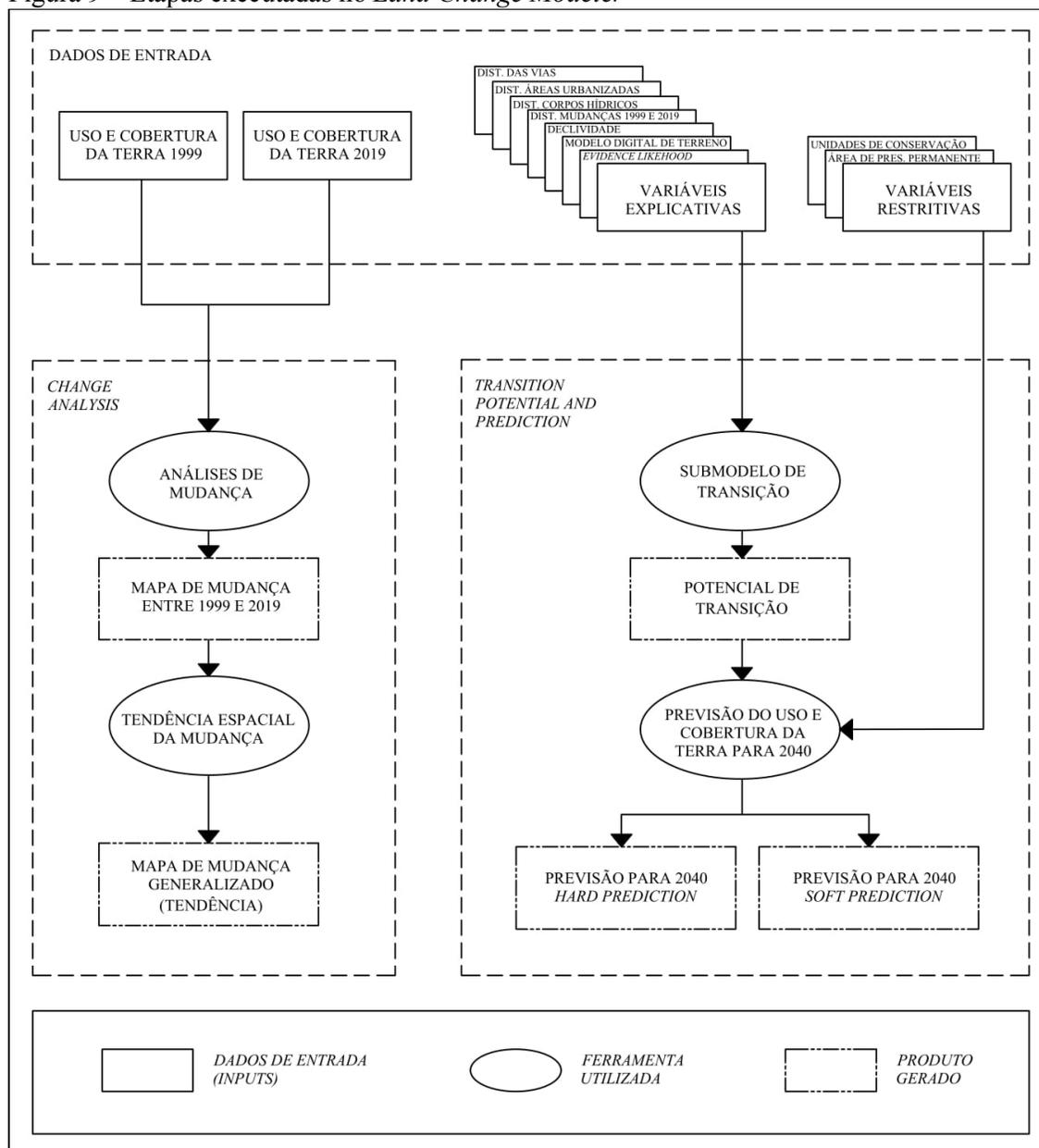
A previsão do tipo *hard* determina os locais onde se prevê que ocorrerão as mudanças, ou seja, indica um cenário possível ou a melhor estimativa de apenas um entre muitos modelos plausíveis na realidade, pois em qualquer momento, ao longo do tempo, há mais áreas com potencial de mudanças do que áreas que de fato vão mudar (UMBELINO, 2012).

Por este motivo o *Land Change Modeler* gera também a previsão do tipo *soft*, que indica as áreas de prováveis mudanças, tornando-se mais flexível à alocação espacial. Esta previsão não determina os locais de mudanças, mas sim, espacializa as probabilidades de mudança de classe em cada pixel, indicando o potencial de mudanças nesses locais.

Para uma melhor análise do cenário para o ano de 2040, gerou-se os dois tipos de previsão: a *hard prediction* e a *soft prediction*.

A Figura 9 abaixo detalha as etapas executadas no *Land Change Modeler*.

Figura 9 – Etapas executadas no *Land Change Modeler*



Fonte: Adaptado de Eastman, 2012.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA AMREC

A caracterização da área de estudo foi composta pela descrição da hidrografia, topografia, altimetria, declividade, pedologia, geologia, geomorfologia e vegetação, conforme descrito nos próximos itens.

5.1.1 Hidrografia

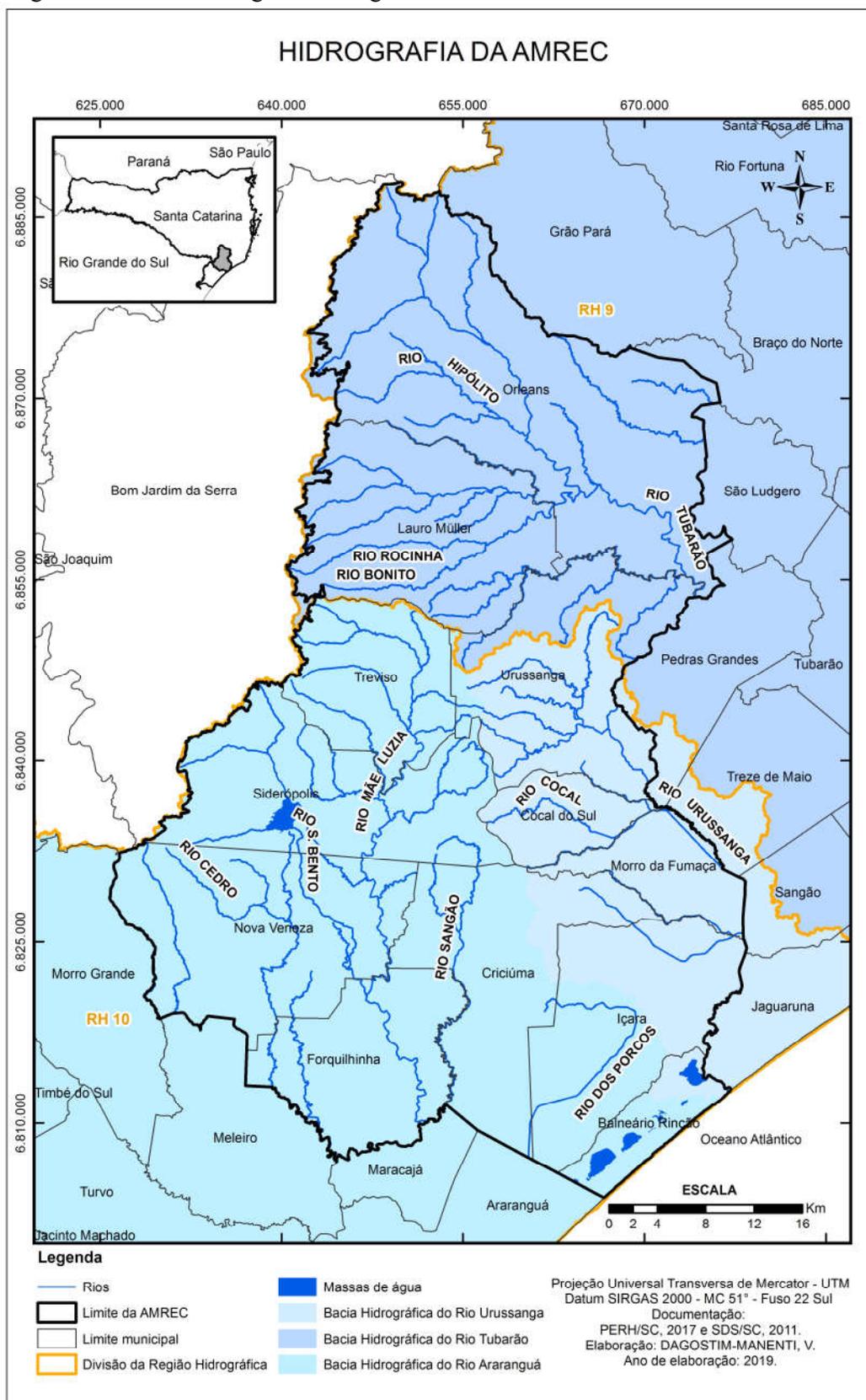
A área de estudo, por sua considerável extensão, localiza-se em duas Regiões Hidrográficas: a RH9 – Sul Catarinense, à norte, a qual abrange a Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão, e a RH10 – Extremo Sul Catarinense, à sul, a qual abrange a Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga e a Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá (Figura 10).

A RH9 possui aproximadamente 16.057 km de cursos d'água, sendo o Rio Tubarão o mais importante, com cerca de 119 km de extensão (SANTA CATARINA, 2017). Possui uma alta densidade de drenagem, com aproximadamente 2,70 km/km² e suas nascentes estão localizadas na encosta da Serra Geral, tendo como principais formadores os Rios Rocinha e Bonito, em Lauro Müller (SANTA CATARINA, 2017).

A RH10, por outro lado, possui uma densidade de drenagem mediana de aproximadamente 1,59 km/km², com 7.956 km de rios (SANTA CATARINA, 2017). O Rio Urussanga, com cerca de 61 km, tem suas principais nascentes nos municípios de Cocal do Sul e Urussanga, desaguando no Oceano Atlântico, entre os municípios de Jaguaruna e Içara. Seu principal afluente pela margem direita é o Rio Cocal (SANTA CATARINA, 2017). O Rio Araranguá, com cerca de 93 km, considerado o mais importante da RH10, embora não esteja localizado dentro da AMREC, recebe importantes contribuições de afluentes dentro da Associação, como o Rio Mãe Luiza, Rio dos Porcos e Rio São Bento.

Para melhor compreensão, a Figura 10 ilustra os rios de maior ordem situados dentro da área de estudo, os limites das Bacias Hidrográficas e das Regiões Hidrográficas, além das massas de água visíveis na escala de mapeamento, sendo elas o Reservatório da Barragem do Rio São Bento no Município de Siderópolis, e as lagoas, de nordeste para sudoeste: Lagoa da Urussanga Velha, Lagoa dos Freitas, Lagoa do Rincão, Lagoa do Jacaré, Lagoa Comprida, Lagoa do Faxinal, Lagoa dos Esteves e Lagoa da Mãe Luzia (parcialmente).

Figura 10 – Bacias e Regiões Hidrográficas da AMREC



Fonte: Do autor, 2019.

As lagoas do Rincão, Comprida, do Jacaré, e dos Freitas fazem parte da Bacia do Arroio Rincão, já as lagoas do Faxinal e dos Esteves integram a Bacia do Rio dos Porcos, a qual é integrante da Bacia do Rio Araranguá (SANTA CATARINA, 1997). A Lagoa Urussanga Velha, por sua vez, pertence à Bacia do Rio Urussanga. De acordo com Santa Catarina (2017) essas lagoas possuem formação de origem marinha e são resultantes do represamento causado pela acumulação dos depósitos marinhos e eólicos.

Dentre as Bacias Hidrográficas, a do Rio Araranguá é a que possui maior expressividade dentro da AMREC, com 1.261,996 km², abrangendo os municípios de Treviso, Siderópolis, Nova Veneza, Forquilha, Criciúma, Içara e Balneário Rincão.

A Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão, também expressiva, possui uma área de 906,943 km² e engloba os municípios localizados mais a norte da área de estudo, isto é, Orleans, Lauro Müller e Urussanga. A Bacia do Rio Urussanga, por sua vez, abrange a AMREC em uma área de 480,896 km², estendendo-se pelos municípios de Balneário Rincão, Içara, Criciúma, Cocal do Sul, Morro da Fumaça e Urussanga.

Para maior detalhamento o Quadro 4 apresenta a qual bacia hidrográfica e a qual região hidrográfica cada município pertence e a Tabela 4 descreve em resumo as características fisiográficas das bacias mencionadas.

Quadro 4 – Bacias e Regiões Hidrográficas dos municípios da AMREC

Município	Bacia Hidrográfica	Região Hidrográfica
Criciúma	Rio Araranguá e Rio Urussanga	RH10
Nova Veneza	Rio Araranguá	RH10
Morro da Fumaça	Rio Urussanga	RH10
Cocal do Sul	Rio Urussanga	RH10
Forquilha	Rio Araranguá	RH10
Içara	Rio Araranguá e Rio Urussanga	RH10
Balneário Rincão	Rio Araranguá e Rio Urussanga	RH10
Siderópolis	Rio Araranguá	RH10
Urussanga	Rio Araranguá, Rio Urussanga e Rio Tubarão	RH9 e RH10
Treviso	Rio Araranguá	RH10
Lauro Müller	Rio Tubarão	RH9
Orleans	Rio Tubarão	RH9

Fonte: Do autor, 2019.

Tabela 4 – Características fisiográficas das bacias

(continua)

Índice	Bacia Hidrográfica		
	Rio Tubarão	Rio Urussanga	Rio Araranguá
Área (km ²)	4.735	680	3.089
Perímetro (km)	650	236	504

Tabela 4 – Características fisiográficas das bacias

(conclusão)

Índice	Bacia Hidrográfica		
	Rio Tubarão	Rio Urussanga	Rio Araranguá
Comprimento axial bacia (km)	92	42	72
Largura média (km)	52	16	43
Altitude máxima (m)	1.811	597	1.476
Altitude mínima (m)	0	0	0
Altitude média (m)	380	86	193
Altitude mediana (m)	322	46	80
Declividade máxima (%)	458	82	84
Declividade média (%)	20	8	16
Coefficiente de Compacidade (Kc)	2,66	2,55	2,56
Fator de Forma (Kf)	0,56	0,39	0,60
Índice de Circularidade (Ic)	0,14	0,15	0,15
Razão de Elongação (Re)	0,85	0,70	0,87

Fonte: Adaptado de Santa Catarina, 2017.

5.1.2 Hipsometria

A configuração topográfica da AMREC é diversificada em todo o território, existindo tanto áreas com baixo relevo como áreas com relevos de altimetria expressiva. Abrangendo um extenso intervalo, as altitudes variam desde 0 metro, na zona costeira no município de Balneário Rincão, até 1.812 metros, no extremo noroeste da AMREC, no município de Orleans. Mais da metade da Associação, isto é 54,61% do território, pertence à faixa altimétrica de 0 a 200 metros, já os restantes 45,39% às faixas superiores.

Na Figura 11, a seguir, é possível observar a harmônica gradação existente nas altitudes, as quais são baixas nos municípios localizados à sul, próximos ao Oceano Atlântico, como Forquilha, Criciúma, Morro da Fumaça, Içara e Balneário Rincão, e aumentam gradualmente à medida que se procede na direção norte e oeste, onde encontram-se as encostas da Serra Geral, nos municípios de Nova Veneza, Siderópolis, Treviso, Lauro Müller e Orleans. Esta configuração revela, portanto, relevos mais acidentados nas áreas à norte e à oeste, menos afetados pelos processos de erosão em razão da sua localização, e relevos menos acidentados à sul, conseqüentemente mais modelados e desgastados ao longo do tempo.

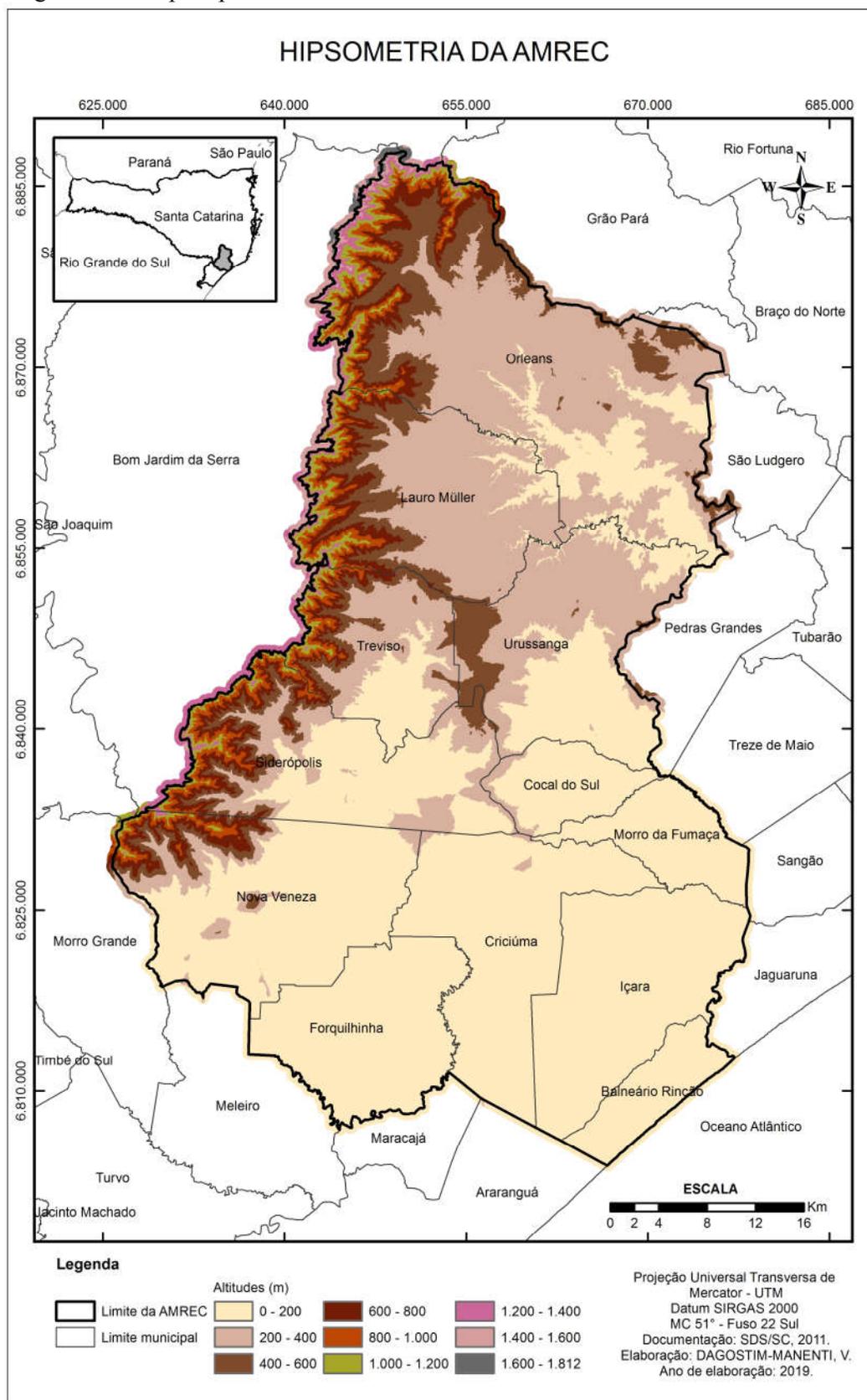
De fato, as altitudes mais elevadas encontram-se nas escarpas da Serra Geral. Nestas, as altitudes variam de 400 à 1.812 metros, representando a área com mais relevos de altimetria expressiva. Neste sentido, destacam-se também o relevo na divisa entre os municípios de Treviso e Urussanga e a elevação na área central do município de Nova Veneza, cujas altitudes variam de 200 à 600 metros.

Os municípios de Forquilha, Criciúma, Cocal do Sul, Morro da Fumaça, Içara e Balneário Rincão são os que possuem em sua maioria as menores altitudes, as quais variam de 0 metros, no litoral, até 200 metros, à medida que se procede na direção noroeste.

Os municípios de Nova Veneza, Siderópolis, Treviso, Lauro Müller e Orleans, por sua vez, são os que apresentam maior variação em sua hipsometria, abrangendo desde áreas com altitudes de 0 à 200 metros, até áreas com altitudes de 1.600 à 1.812 metros.

Entre os relevos expressivos dentro da área de estudo, destaca-se o Morro da Igreja, localizado parcialmente em Orleans, com 1.822 metros de altitude, considerado um dos pontos com maiores altitudes em Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2016).

Figura 11 – Mapa hipsométrico da AMREC



Fonte: Do autor, 2019.

A Tabela 5 detalha a altitude mínima e a altitude máxima de cada município que compõem a Associação dos Municípios da Região Carbonífera. As altitudes foram extraídas do Modelo Digital de Terreno fornecido pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS) de Santa Catarina no ano de 2011.

Tabela 5 – Altitudes mínimas e máximas dos municípios da AMREC

Município	Altitude mínima	Altitude máxima
Criciúma	0,01 m	300,63 m
Nova Veneza	14,76 m	1.278,81 m
Morro da Fumaça	1,28 m	264,24 m
Cocal do Sul	9,08 m	368,32 m
Forquilha	0,01 m	57,36 m
Içara	0,79 m	107,197
Balneário Rincão	0,01 m	95,24 m
Siderópolis	35,22 m	1.413,14 m
Urussanga	11,77 m	598,58 m
Treviso	74,52 m	1.487,02 m
Lauro Müller	130,51 m	1.559,82 m
Orleans	36,75 m	1.812,46 m

Fonte: Do autor, 2019.

5.1.3 Declividade

A declividade, em termos gerais, possui uma distribuição semelhante à hipsometria. De fato, nos municípios à sul as inclinações são mais suaves, em especial nos municípios de Forquilha, parte de Nova Veneza e Balneário Rincão e nos municípios à norte e à oeste são mais acentuadas, em particular nas escarpas da Serra Geral nos municípios de Nova Veneza, Siderópolis, Treviso, Lauro Müller e Orleans. A Figura 12 abaixo detalha a declividade na AMREC. A divisão em classes seguiu a proposta pela EMBRAPA (2018), a qual reconhece as seguintes classes de relevo:

a) Plano: superfície com desnivelamentos muito pequenos, com declividades variáveis de 0% a 3%.

b) Suave ondulado: superfície pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, com declives suaves, predominantemente variáveis de 3% a 8%.

c) Ondulado: superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, com declives moderados, predominantemente entre 8% a 20%.

d) Forte ondulado: superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros e raramente colinas, com declives entre 20% e 45%.

e) Montanhoso: superfície com topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e com declividade predominantemente entre 45% e 75%.

f) Escarpado – áreas com predomínio de formas abruptas com declividade acima de 75%.

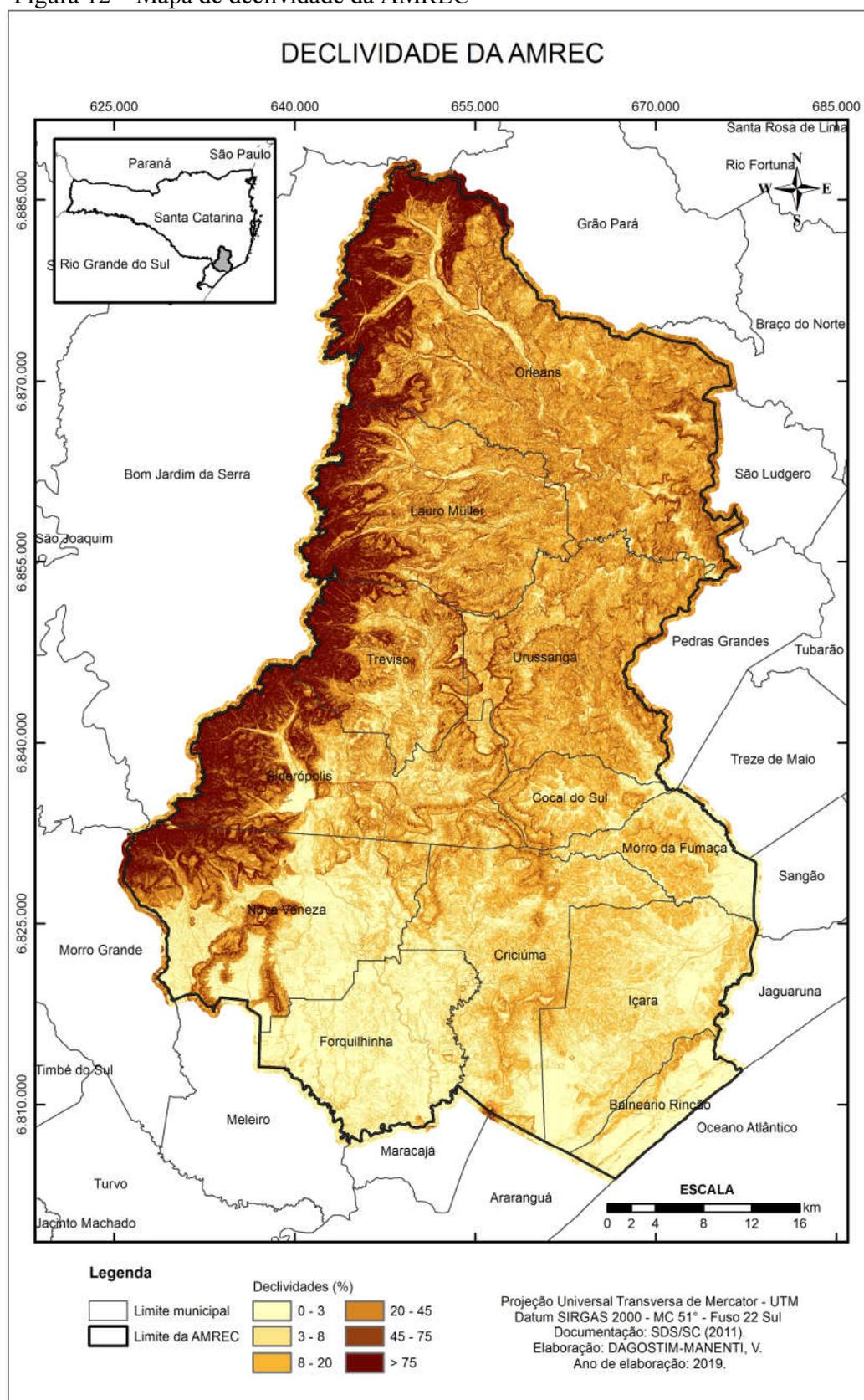
De acordo com os dados extraídos do Modelo Digital de Terreno fornecido pela SDS (SC), os tipos de relevos estão bem distribuídos na área, existindo desde relevos planos até escarpados (Tabela 6).

Tabela 6 – Classes de relevos na AMREC

Declividade (%)	Relevo	Área (km ²)	% AMREC
0-3	Plano	502,669	18,97 %
3-8	Suave ondulado	453,644	17,12 %
8-20	Ondulado	672,296	25,37 %
20-45	Forte ondulado	569,066	21,48 %
45-75	Montanhoso	219,217	8,27 %
>75	Escarpado	232,943	8,79 %

Fonte: Do autor, 2019.

Figura 12 – Mapa de declividade da AMREC



Fonte: Do autor, 2019.

Analisando a Tabela 6 e a Figura 12, observa-se que entre todas as classes de relevos, os relevos ondulado e forte ondulado são os predominantes, com 25,37% e 21,48% respectivamente. Estas duas classes representam juntas uma área 1.241,362 km², isto é quase metade da AMREC. Os municípios de Cocal do Sul, Siderópolis, Treviso, Urussanga, Lauro Müller e Orleans são caracterizados por estes tipos de declive em maior parte do seu território.

Os relevos plano e suave ondulado, embora em menor proporção, também são expressivos. O primeiro, com 18,97%, ocupa uma área 502,669 m², já o segundo, com 453,644 km², ocupa 17,12% de área correspondente. Os municípios que majoritariamente possuem estes tipos de relevo são Nova Veneza, Forquilha e Balneário Rincão.

Com menor representatividade estão as classes montanhoso com 8,27% (219,217 km²) e escarpado com 8,79% (232,943 km²), localizadas predominantemente à oeste da área de estudo, em uma faixa que se estende desde Nova Veneza até Orleans.

5.1.4 Geologia

A representação da geologia foi elaborada com base nos dados fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, por meio do projeto Geologia do Brasil – Levantamento da Geodiversidade. Assim como ocorre para a pedologia, a geologia também é diversificada e abrange 15 unidades litoestratigráficas, sendo as mais expressivas a Formação Rio Bonito, correspondente à 20,60% da área da AMREC, a Formação Serra Geral, com 11,57%, os Depósitos Colúvio-Aluvionares, com um percentual de 12,28%, e a Formação Palermo com 9,52% (Tabela 7).

Tabela 7 – Unidades litoestratigráficas presentes na AMREC

Unidade Litoestratigráfica	Área (km²)	% da AMREC
Formação Serra Geral	306,633	11,57%
Formação Botucatu	107,283	4,05%
Formação Rio do Rasto	119,803	4,52%
Formação Teresina	102,466	3,87%
Formação Serra Alta	87,602	3,31%
Formação Irati	75,888	2,86%
Formação Palermo	252,327	9,52%
Formação Rio Bonito	545,975	20,60%
Formação Rio do Sul	228,573	8,63%
Granitóides Santa Rosa de Lima	13,162	0,50%
Suíte intrusiva Pedras Grandes	173,943	6,56%
Depósitos Eólicos	17,035	0,64%
Depósitos Colúvio-Aluvionares	325,276	12,28%
Depósitos Flúvio-Lagunares	219,844	8,30%
Depósitos Planície Lagunar	53,181	2,01%
Sem dados	20,844	0,79%

Fonte: Do autor, 2019.

A Formação Rio Bonito, pertencente ao Grupo Guatá, foi proposta por White para caracterizar “o conjunto de rochas arenosas associadas a pelitos e camadas de carvão, descritos na seção-tipo entre as cidades de Lauro Müller-Guatá-São Joaquim” (BRASIL, 2000). Esta formação é caracterizada pela abundância de restos vegetais e palinórfos encontrados nos carvões e rochas associadas. Adicionalmente, seu contato com a Formação Palermo, que lhe sobrepõe, é geralmente transicional ou por falhamento, como verifica-se nos municípios de Criciúma e Treviso (BRASIL, 2000). Na área de estudo esta formação se

estende de norte à sul, abrangendo quase todos os municípios, exceto Nova Veneza, Forquilha e Balneário Rincão (Figura 13).

A Formação Serra Geral, assim denominada por White, pertence ao Grupo São Bento e indica “uma espessa sequência vulcânica de rochas básicas e inúmeras intrusões na forma de sills e diques, que cobrem ou intrudem os sedimentos da Bacia do Paraná, e que estão parcialmente recobertos por sedimentos mesozoicos e cenozóicos” (BRASIL, 2000). Esta formação, presente em quase todos os municípios da AMREC, exceto em Morro da Fumaça e Balneário Rincão, é bastante evidente nas escarpas da Serra Geral, na porção oeste entre os municípios de Nova Veneza e Orleans, no município de Siderópolis e na elevação entre os municípios de Treviso e Urussanga.

Os Depósitos Colúvio-Aluvionares são caracterizados “pela deposição de sedimentos na base das encostas e meia encostas, formando superfícies semiconvexas, compostas por materiais terrígenos, sem seleção granulométrica, constituídos por diferentes tamanhos de grão, desde sedimentos finos à matacões” (SANTOS, 2012). Os depósitos estão presentes em quase todos os municípios, exceto no Balneário Rincão, sendo que possui maior extensão nos municípios de Nova Veneza e Forquilha.

A Formação Palermo, também pertencente ao Grupo Guatá, foi utilizada por White para descrever a sequência de siltitos arenosos e argilosos aflorantes na região sudeste de Santa Catarina (BRASIL, 2000). Além do contato com a Formação Rio Bonito, apresenta contato transicional com a Formação Irati, que lhe sobrepõe, e seu conteúdo fossilífero é representado por troncos fósseis silicificados e abundantes palinórfos representados por esporórfos (BRASIL, 2000). A Formação Palermo se estende de norte à sul na área central da AMREC, especificamente nos municípios de Criciúma, Siderópolis, Cocal do Sul, Treviso, Urussanga, Lauro Müller e Orleans.

A Formação Rio do Sul, com um percentual de 8,63%, os Depósitos Flúvio-Lagunares, com 8,30%, e a Suíte Intrusiva Pedras Grandes (6,56%) também abrangem uma área considerável dentro da AMREC.

A Formação Rio do Sul, como pode-se observar na Figura 13, ocorre em uma estreita faixa com dimensões irregulares, preenchendo principalmente vales escavados sobre as rochas do embasamento cristalino (BRASIL, 2000). Esta unidade contém restos de flora e uma grande quantidade de palinórfos, sendo que dentro da área de estudo sua melhor ocorrência situa-se no município de Lauro Müller (BRASIL, 2000).

Os Depósitos Flúvio-lagunares ocorrem em regiões na qual “o sistema fluvial recorta áreas que eram extensão de antigas lagoas costeiras, e que atualmente apresentam-se

parcialmente colmatadas, resultando numa sedimentação areno-argilosa com restos orgânicos vegetais” (BRASIL, 2000). Na AMREC esta unidade ocorre majoritariamente nos municípios de Forquilha, Criciúma, Içara e Morro da Fumaça.

A unidade Suíte Intrusiva Pedras Grandes, que abrange a porção leste da AMREC, isto é, os municípios de Orleans, Urussanga, Cocal do Sul, Morro da Fumaça e Içara, compreende “os granitos predominantemente isótopos, inequigranulares, médio a grossos, predominantemente porfiríticos, de cores róseas a avermelhadas, que constituem corpos com dimensões de *stocks* ou batólitos” (BRASIL, 2000).

Em menor proporção encontram-se a Formação Rio do Rasto, com 4,52%, a Formação Botucatu, com 4,05%, a Formação Teresina, com 3,87%, a Formação Serra Alta, com 3,31%, a Formação Irati, com 2,86%, os Depósitos Planície Lagunar, com 2,01%, os Depósitos Eólicos, com 0,64% e os Granitóides Santa Rosa de Lima (0,50%).

A Formação Rio do Rasto, do Grupo Passa Dois, designa uma sucessão de camadas vermelhas expostas nas cabeceiras do Rio do Rastro (BRASIL, 2000). Apresenta contato por discordância erosiva com a Formação Botucatu que lhe é sobrejacente e contato transicional com a Formação Teresina que lhe é subjacente. Estende-se na porção oeste da AMREC pelos municípios de Orleans, Lauro Müller, Treviso, Siderópolis e Nova Veneza.

A Formação Botucatu, que pertence ao Grupo São Bento, ocorre em uma estreita e contínua faixa que segue o contorno da escarpa basáltica da Serra Geral (BRASIL, 2000). Em geral, possui uma espessura média aflorante da ordem de 100 metros e assim como a Formação Rio do Rasto, estende-se na porção oeste da AMREC desde Orleans até Nova Veneza.

A Formação Teresina, do Grupo Passa Dois, possui uma espessura média de 80 metros e é constituída por argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros e esverdeados, ritmicamente intercalados com arenitos muito finos, cinza-claros (BRASIL, 2000). O contato com a Formação Rio do Rasto, que lhe sobrepõe, e com a Formação Serra Alta, que lhe é subjacente, ocorre de forma transicional (BRASIL, 2000). Assim como a Formação Rio do Rasto e a Formação Botucatu, estende-se na porção oeste da AMREC desde Orleans até Nova Veneza.

A Formação Serra Alta, pertencente ao Grupo Passa Dois, compreende os folhelhos cinza-escuros situados entre a Formação Irati e a Formação Teresina (BRASIL, 2000). Na área de estudo esta unidade possui áreas de afloramento isoladas nas proximidades do município de Nova Veneza (BRASIL, 2000) e seu contato com as formações adjacentes é

transicional. Esta formação estende-se pelos municípios de Orleans, Lauro Müller, Treviso e Siderópolis.

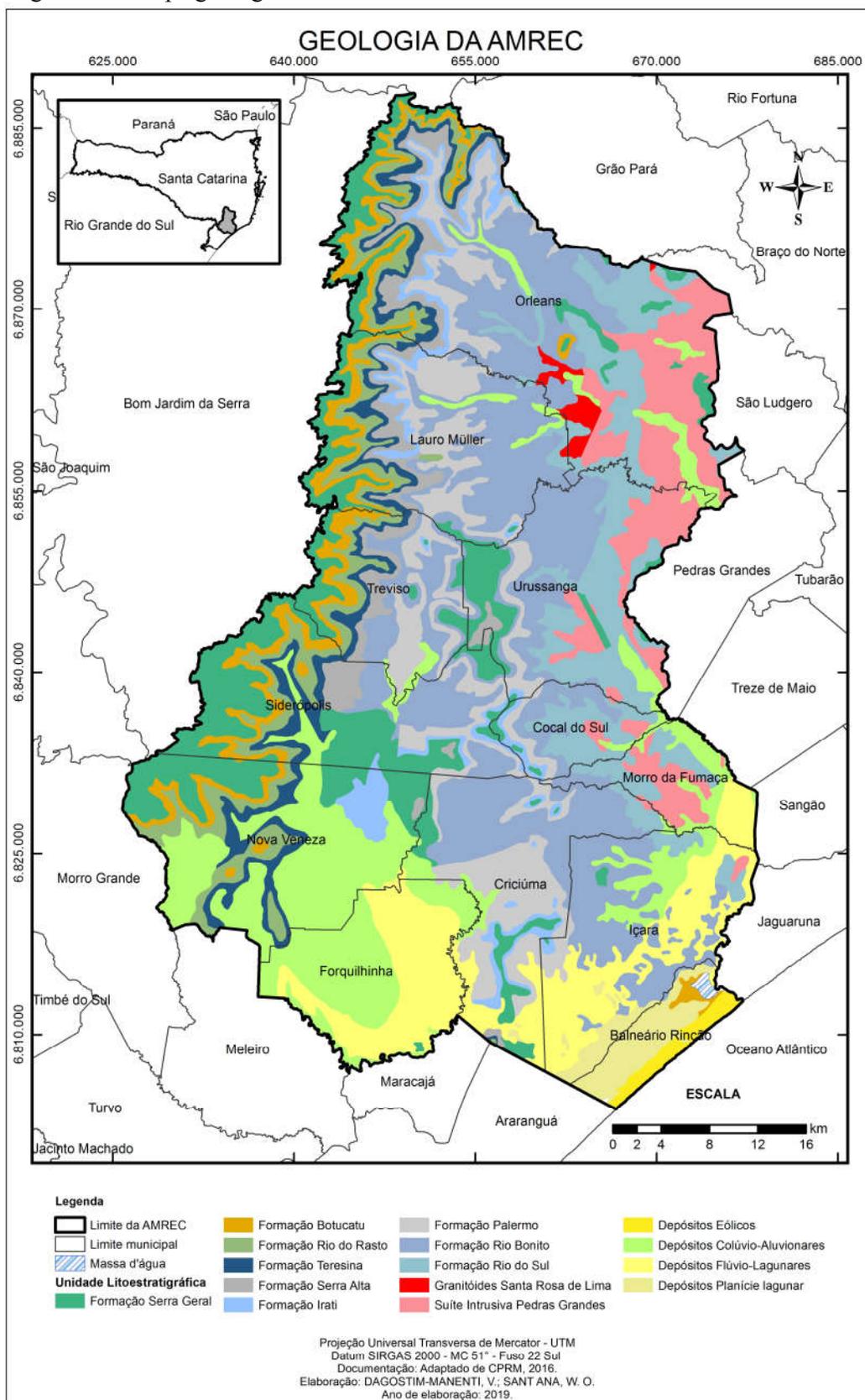
A Formação Irati, do Grupo Passa Dois, foi o termo empregado por White para designar os folhelhos pretos com restos do réptil *Mesosaurus Brasiliensis* que ocorrem na região de Irati, no Paraná (BRASIL, 2000). Na AMREC, abrange os municípios de Nova Veneza, Siderópolis, Criciúma, Cocal do Sul, Treviso, Lauro Müller, Orleans e possui uma camada constante em torno de 40 metros (BRASIL, 2000).

Os Depósitos Planície Lagunar são encontrados majoritariamente no Balneário Rincão, sendo que estão presentes também em Içara e Criciúma. Este tipo de depósito é formado em ambientes com baixa dinâmica e energia de deposição, caracterizado pelo acúmulo de silte, argila de cores negras e matéria orgânica em decomposição, podendo formar zonas pantanosas, sendo comum a presença de conchas calcáreas depositadas em forma de lençóis conchíferos (HORN FILHO et al., 2010).

Os Depósitos Eólicos possuem como formas de relevo as dunas, paleodunas, mantos, lençóis eólicos e rampas de dissipação, sendo que nessas podem ser identificados sedimentos e solos de elevações próximas quando da ocorrência de enxurradas e deslizamentos (ALENCAR, 2013). Na área de estudo somente o Balneário Rincão possui este tipo de unidade, a qual está localizada na zona costeira do município.

Por fim, os Granitóides Santa Rosa de Lima, presente somente nos municípios de Orleans e Lauro Müller, englobam os granitóides com diferentes graus de deformação que se estendem ao longo do Rio Braço do Norte, entre as localidades de Santa Rosa de Lima, Grão Pará e Lauro Müller (BRASIL, 2000). Esta unidade compreende uma variedade de rochas granito-gnáissicas com composições diversificadas, cuja cor varia de cinza-escuro a cinza-róseo (BRASIL, 2000).

Figura 13 – Mapa geológico da AMREC



Fonte: Do autor, 2019.

5.1.5 Geomorfologia

A geomorfologia, assim como a geologia, foi elaborada com base nos dados fornecidos pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Para melhor representação as doze unidades geomorfológicas que se encontram na AMREC foram divididas entre modelados de acumulação e de dissecação (Figura 14).

Conforme observa-se na Tabela 8 abaixo, entre os modelados de dissecação, predominam as Colinas Dissecadas, com um percentual de 25,33%, as Escarpas Serranas, com 18,49%, e as Colinas Amplas e Suaves, com 18,01%. Em menor proporção estão os tipos de modelado denominados de Chapadas, com 5,06%, Morros e Serras Baixas, com 4,63%, Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos (3,83%), Montanhas (0,46%) e Planaltos (0,16%).

Entre os modelados de acumulação, destacam-se por sua grande extensão os Depósitos de Encosta, com 12,28%, e as Planícies Fluviomarinhas, com 10,30%. Em menor proporção encontram-se as Planícies Fluviais ou Fluvialacustres (0,65%) e os Campos de Dunas (0,64%).

Tabela 8 – Tipos de modelado presentes na AMREC

Tipo de modelado	Área (km²)	% da AMREC
Planícies Fluviais ou Fluvialacustres	17,186	0,65%
Planícies Fluviomarinhas	273,033	10,30%
Depósitos de Encosta	325,276	12,28%
Campos de Dunas	17,035	0,64%
Planaltos	4,328	0,16%
Degraus Estruturais e Rebordos Erosivos	101,562	3,83%
Escarpas Serranas	489,913	18,49%
Chapadas	134,211	5,06%
Montanhas	12,317	0,46%
Morros e Serras Baixas	122,774	4,63%
Colinas Amplas e Suaves	477,266	18,01%
Colinas Dissecadas	671,286	25,33%
Sem dados	3,648	0,14%
Total	2649,835	100,00%

Fonte: Do autor, 2019.

As Colinas Dissecadas e Morros Baixos, que predominam na área de estudo, compreendem as colinas dissecadas com “vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou aguçados [...] com geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes” (BRASIL, 2016).

Na AMREC este tipo de modelado abrange grande parte dos municípios de Orleans, Lauro Müller, Urussanga, Cocal do Sul, Morro da Fumaça e uma pequena porção de Criciúma.

As Escarpas Serranas, que corresponde à Escarpa da Serra Geral, é o modelado que “caracteriza-se por um relevo de transição de morfologia muito acidentada entre o Planalto Meridional, capeado por derrames basálticos, e a baixada costeira do litoral sul de Santa Catarina” (DANTAS et al., 2005). Os padrões de relevo predominantes consistem em imponentes escarpamentos festonados de declividades muito elevadas, em geral superiores a 45° e frequentes paredões subverticais de centenas de metros de desnivelamento (DANTAS et al., 2005). Ocorre em todo o lado oeste da AMREC, se estendendo desde Nova Veneza até Orleans.

As Colinas Amplas e Suaves representam as “colinas pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos amplos, de morfologia tabular a alongada” (BRASIL, 2016). Este tipo de modelado possui uma considerável extensão na AMREC, sendo encontrado em toda a porção centro-sul, isto é em Nova Veneza, Siderópolis, Treviso, Lauro Müller, Cocal do Sul, Morro da Fumaça, Criciúma, Içara e Balneário Rincão.

As Chapadas são as superfícies tabulares, planas ou aplainadas, em geral delimitadas por vertentes íngremes a escarpadas, cujos rebordos posicionam-se em cotas elevadas (BRASIL, 2016). Está presente na divisa entre Treviso e Urussanga e nos municípios de Cocal do Sul, Siderópolis, Nova Veneza e Criciúma.

Os Morros e Serras Baixas são os “relevos de morros convexo-côncavos dissecados e topos arredondados ou aguçados” (BRASIL, 2016). Este tipo de modelado, onde nas baixas vertentes ocorre a geração de colúvios e depósitos de tálus, está bem distribuído na área de estudo, estando presente nos municípios de Orleans, Treviso, Cocal do Sul, Criciúma, Forquilha e Nova Veneza.

Os Degraus Estuturais e Rebordos Erosivos englobam os relevos acidentados, constituídos por vertentes retilíneas à côncavas, declivosas, e topos levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus (BRASIL, 2016). Assim como as Chapadas, está presente na divisa entre Treviso e Urussanga e nos municípios de Cocal do Sul, Siderópolis, Nova Veneza e Criciúma.

As Montanhas, ou Domínio Montanhoso, compreendem os relevos montanhos, muito acidentados, com “vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus” (BRASIL, 2016). Este tipo de modelado ocorre somente na parte central do município de Nova Veneza.

Os Planaltos são superfícies mais elevadas em relação aos terrenos adjacentes, que possuem extensas áreas de aplainamento e de colinas amplas e suaves, cuja topografia varia de plana a levemente ondulada com uma densidade de drenagem muito baixa (DANTAS et al., 2005). Na área de estudo, ainda que em exíguas porções, está presente nos municípios de Nova Veneza, Siderópolis, Treviso, Lauro Müller e Orleans.

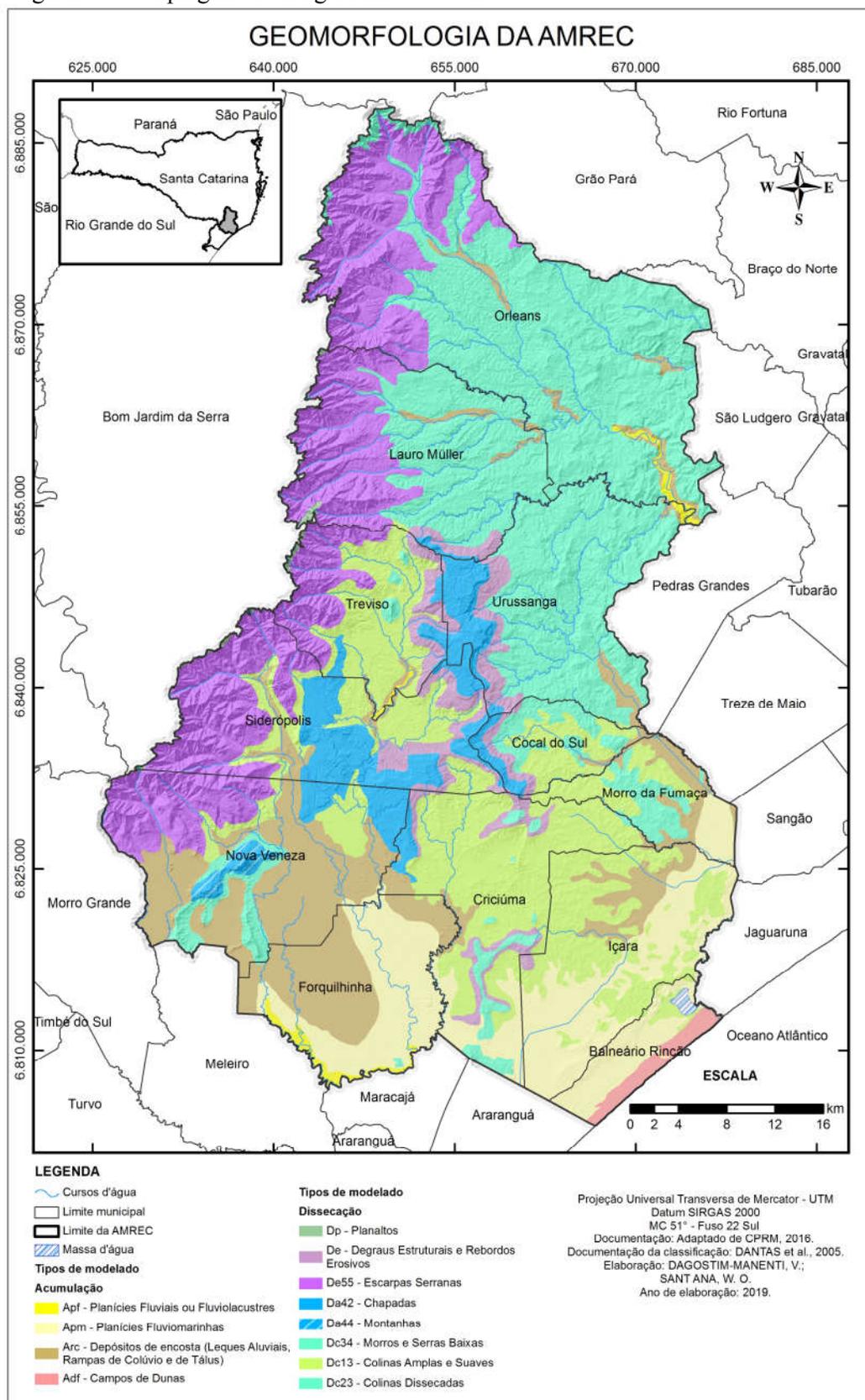
Os Depósitos de Encosta compreendem os leques aluviais, as rampas de colúvio e de tálus. Os leques aluviais são superfícies deposicionais inclinadas, constituídas por depósitos aluvionares de enxurrada, espalhados em forma de leque, gerados no sopé de escarpas montanhosas ou cordilheiras (BRASIL, 2016). Já o tálus consiste em superfícies deposicionais fortemente inclinadas, constituídas por depósitos de encosta, de matriz arenoargilosa a argiloarenosa, que ocorrem nos sopés das vertentes íngremes de terrenos montanhosos (BRASIL, 2016). As rampas de colúvio, semelhantemente, são superfícies deposicionais inclinadas, em interdigitação com depósitos praticamente planos das planícies aluviais, ocorrendo, porém, nas baixas encostas de ambientes colinosos ou de morros (BRASIL, 2016). Ocorre em quase todos os municípios, exceto no Balneário Rincão, sendo que é mais evidente nos municípios de Nova Veneza e Siderópolis.

As Planícies Fluviomarinhas, por outro lado, que englobam os mangues e brejos, são superfícies planas constituídas de depósitos argiloarenosos a argilosos. De acordo com Brasil (2016), estas áreas são mal drenadas, com a presença de canais meandantes e divagantes e encontram-se sob a influência de refluxo de marés. Estas planícies ocorrem ao sul da AMREC, nos municípios de Nova Veneza, Forquilha, Criciúma, Içara, Balneário Rincão e Morro da Fumaça.

As Planícies Fluviais ou Fluvialacustres são as superfícies sub-horizontais, também constituídas de depósitos argiloarenosos a argilosos, que apresentam gradientes suaves e convergentes em direção aos cursos d'água principais, sendo periodicamente inundáveis (BRASIL, 2016). Este tipo de modelado está presente nos municípios de Orleans, Urussanga, Treviso e Forquilha.

Os Campos de Dunas, os quais englobam tanto as dunas fixas como as dunas móveis, se referem as superfícies de relevo ondulado constituído por depósitos arenoquartzosos, depositados por ação eólica, que se situam longitudinalmente a linha de costa, podendo se encontrar ou não coberto por vegetação (BRASIL, 2016). Na área de estudo ocorre somente no município de Balneário Rincão.

Figura 14 – Mapa geomorfológico da AMREC



Fonte: Do autor, 2019.

5.1.6 Pedologia

A pedologia da AMREC foi classificada de acordo com a 5ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), o sistema taxinômico oficial para a classificação de solos no Brasil. Os níveis categóricos adotados no SiBCS são seis: 1º nível categórico (ordens), 2º nível categórico (subordens), 3º nível categórico (grandes grupos), 4º nível categórico (subgrupos), 5º nível categórico (famílias) e o 6º nível categórico (séries), este último ainda carecendo de definição de conceitos (EMBRAPA, 2018). No caso do presente estudo identificou-se somente o 1º e o 2º nível categórico, isto é, a ordem e subordem.

A região possui, em função de sua extensão territorial, uma grande diversidade de classes, de fato abrange onze variedades de solos (Tabela 9). As classes predominantes são os argissolos vermelho-amarelos (40,80% da AMREC), cambissolos háplicos (17,83%), neossolos litólicos (17,21%) e os gleissolos háplicos (11,91%).

Tabela 9 – Distribuição das classes de solos na AMREC

Classe do solo	Área (km²)	% AMREC
Argissolo Vermelho - PV	61,969	2,34%
Argissolo Vermelho-amarelo - PVA	1081,016	40,80%
Cambissolo Húmico - CH	156,290	5,90%
Cambissolo Háptico - CX	472,575	17,83%
Espodossolo Humilúvico - EK	4,256	0,16%
Gleissolo Háptico - GX	315,569	11,91%
Neossolo Litólico - RL	456,045	17,21%
Neossolo Quartzarênico - RQ	24,213	0,91%
Nitossolo Vermelho - NV	24,314	0,92%
Organossolo Fólico - OO	0,770	0,03%
Organossolo Háptico - OX	8,208	0,31%

Fonte: Do autor, 2019.

Os argissolos são solos com processo de acumulação de argila constituídos por material mineral que apresentam horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, sendo que a argila deve possuir baixa atividade ou alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico (EMBRAPA, 2018). Em geral, os solos desta classe apresentam um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B e sua textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no

horizonte Bt. Na área de estudo esta classe se estende de norte a sul, estando presente em quase todos os municípios, exceto no Balneário Rincão (Figura 15).

Os cambissolos são solos em formação “constituídos por material mineral com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial [...] ou horizonte A chernozêmico quando o B incipiente apresentar argila de atividade alta e saturação por bases alta” (EMBRAPA, 2018). As características destes solos variam muito de um local para outro, devido à heterogeneidade do material de origem, das condições climáticas e das formas de relevo (EMBRAPA, 2018). Os municípios de Orleans, Lauro Müller, Treviso, Urussanga, Siderópolis, Cocal do Sul e Nova Veneza são os que possuem cambissolos em extensão expressiva.

Os neossolos são solos de material mineral ou material orgânico com menos de 20 cm de espessura, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja pelas características inerentes ao próprio material, seja pela influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (EMBRAPA, 2018). Na área de estudo os neossolos se estendem em uma faixa à oeste, abrangendo os municípios de Orleans, Lauro Müller, Treviso, Siderópolis e Nova Veneza.

Os gleissolos, do russo *gley* (massa de solo pastosa), em geral, são solos de material mineral que possuem o horizonte glei “iniciando-se dentro dos primeiros 50 cm a partir da superfície do solo, ou a profundidade maior que 50 cm e menor ou igual a 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizonte A ou E ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos” (EMBRAPA, 2018). Os solos desta classe se encontram permanente ou periodicamente saturados por água, de fato, comumente desenvolvem-se nas proximidades dos cursos d’água, podendo formar-se também em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, ou até em áreas abaciadas e depressões (EMBRAPA, 2018). Na AMREC os gleissolos estão presentes nos municípios de Siderópolis, Nova Veneza, Forquilha, Urussanga, Morro da Fumaça, Içara e em uma pequena área de Criciúma.

Em menor quantidade na AMREC encontram-se as classes dos espodossolos (0,16%), nitossolos (0,92%) e organossolos (0,34%).

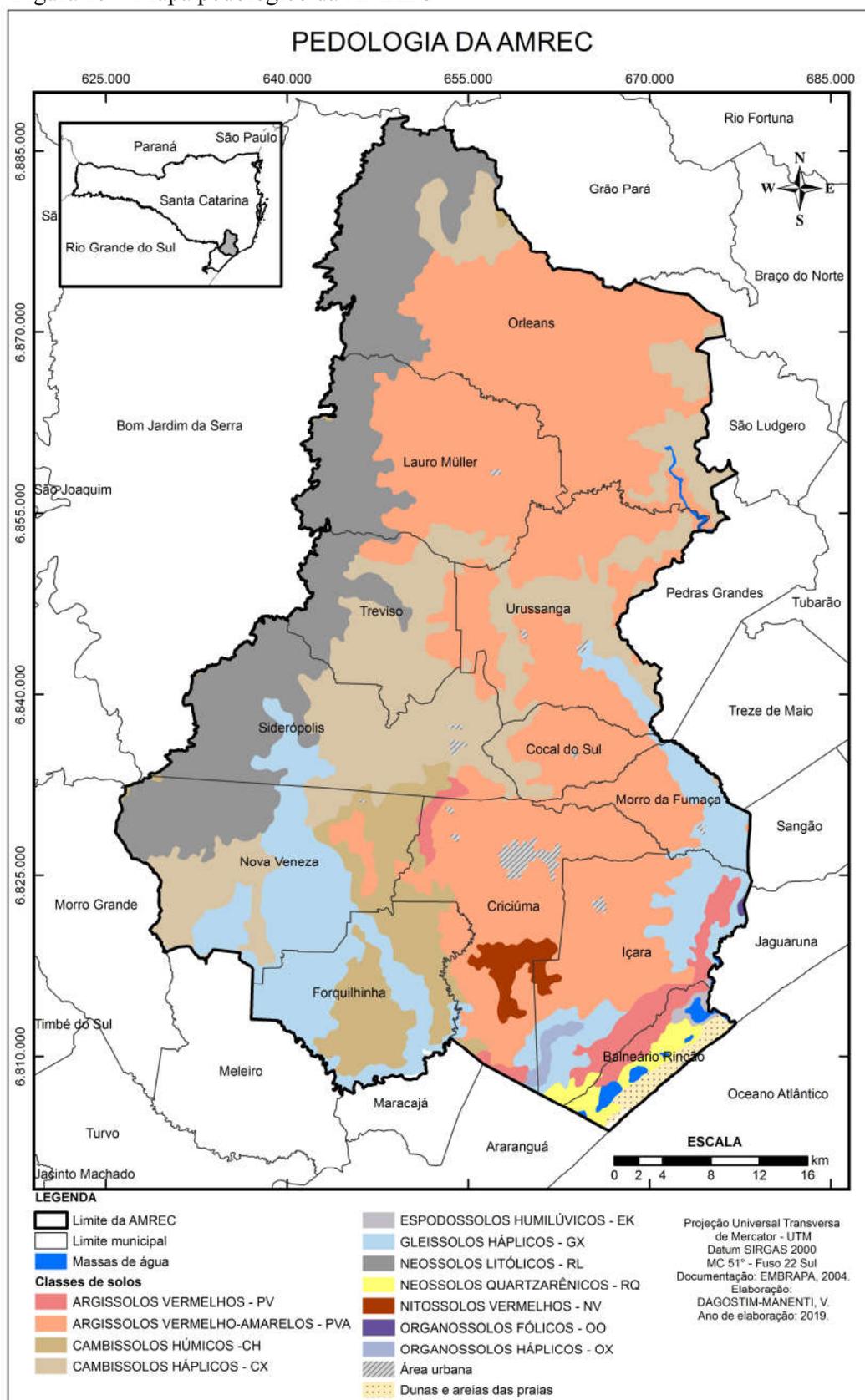
Os espodossolos, do grego *spodos* (cinza vegetal), são solos constituídos por material mineral com horizonte de acumulação iluvial de matéria orgânica associada à presença de alumínio (EMBRAPA, 2018), com horizonte B espódico. São solos, em geral, muito pobres em fertilidade pela baixa reserva de nutrientes e podem ocorrer altos teores de

alumínio extraível. São desenvolvidos sob condições de umidade elevada, em clima tropical e subtropical e em geral, nas regiões costeiras, estão associados à vegetação de restinga. É o que ocorre no município de Balneário Rincão, onde esta classe se encontra no entorno da Lagoa da Urussanga Velha.

Os nitossolos são solos com superfícies brilhantes nas unidades estruturais, constituídos por material mineral, com horizonte B nítico e com textura argilosa ou muito argilosa desde a superfície do solo (EMBRAPA, 2018). São bem drenados e de coloração variando de vermelha a brunada. Na AMREC os nitossolos abrangem uma pequena área dos municípios de Criciúma e Içara.

Os organossolos, por fim, compreendem solos pouco evoluídos, de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, com horizontes de constituição orgânica (H ou O), com grande proporção de resíduos vegetais em grau variado de decomposição (EMBRAPA, 2018). Normalmente ocorrem em áreas baixas de várzeas, depressões e também em áreas que estão saturadas com água por poucos dias, como em regiões de altitudes elevadas, de clima úmido, frio e de vegetação alto-montana (EMBRAPA, 2018). Os municípios que possuem esta classe de solo são Içara e Criciúma.

Figura 15 – Mapa pedológico da AMREC



Fonte: Do autor, 2019.

5.1.7 Vegetação

O mapeamento da vegetação se baseou na classificação proposta pelo Manual Técnico da Vegetação Brasileira, publicado pelo IBGE no ano de 2012, levando-se em consideração, sobretudo, a hierarquia topográfica para a identificação das formações.

Conforme elencado no Quadro 5, a vegetação característica da AMREC é a Floresta Ombrófila Densa, que denota o tipo de vegetação caracterizado por “fanerófitos - subformas de vida macro e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitas em abundância, que o diferenciam das outras classes de formações” (IBGE, 2012). Sua característica ecológica principal está ligada a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25° C) e de alta precipitação, bem-distribuída durante o ano, praticamente sem períodos biologicamente secos (IBGE, 2012).

A Floresta Ombrófila Densa é subdividida em formações, ordenadas segundo a hierarquia topográfica, que condiciona fisionomias diferentes, de acordo com as variações das faixas altimétricas (IBGE, 2012). Na AMREC, foram identificadas 3 regiões fitoecológicas (Quadro 5) com base na configuração topográfica: (a) Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, de 0 à 30 metros de altitude; (b) Floresta Ombrófila Densa Submontana de 30 à 400 metros de altitude; (c) Floresta Ombrófila Densa Montana em áreas com mais de 400 metros de altitude.

Quadro 5 – Regiões Fitoecológicas presentes na AMREC

Região Fitoecológica	Área (km²)	% na AMREC
Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (0 - 30 metros de altitude)	531,265	20,05%
Floresta Ombrófila Densa Submontana (30 – 400 metros de altitude)	1.618,769	61,09%
Floresta Ombrófila Densa Montana (> 400 metros de altitude)	499,801	18,86%

Fonte: Do autor, 2019.

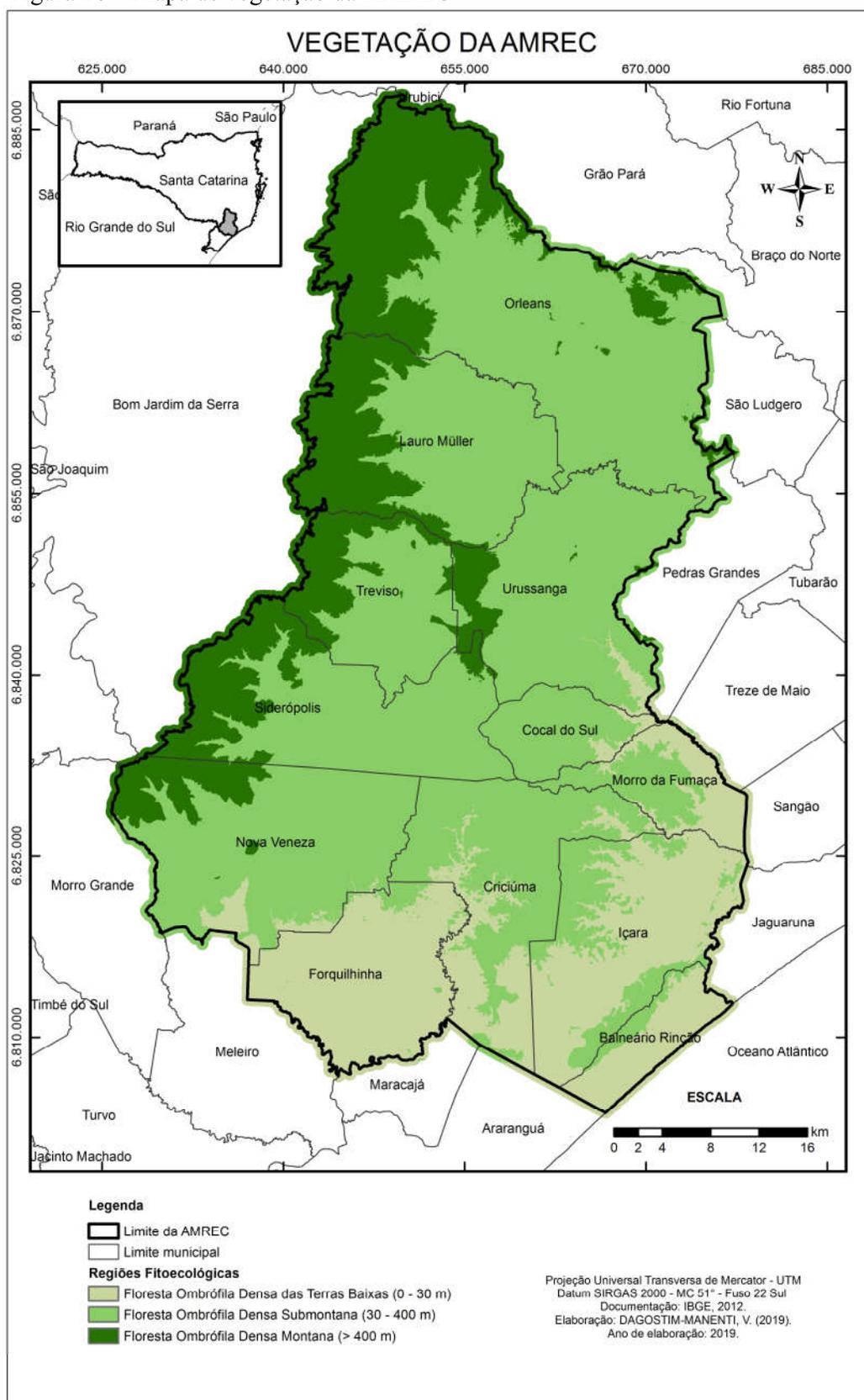
A Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, situada em áreas de terrenos sedimentares do terciário/quadernário (IBGE, 2012), onde os solos são formados preponderantemente sobre acumulações marinhas, fluviais ou lacustres (IBGE, 1986), representa 20,05% (531,265 km²) da área de estudo e está presente nos municípios de Nova Veneza, Forquilha, Criciúma, Içara, Balneário Rincão, Morro da Fumaça, Cocal do Sul e Urussanga. É formada, do mar para o continente, por três subformações, a saber: (1) Restingas ou Vegetação Pioneira sobre Solos Bem Drenados (Herbácea, Herbáceo-Arbustiva e Arbórea), que é um tipo de vegetação associado a depósitos arenosos quadernários; (2)

Floresta ao Longo das Lagoas (vegetação arbórea que se forma no entorno das lagoas litorâneas); (3) Floresta Sobre Solos Mal Drenados ou Matas Paludosas (vegetação que se forma sobre antigas áreas de lagoas cujo solo é orgânico e sofre inundações periódicas), como é o caso da mata do Maracajá e grande parte dos remanescentes da cobertura vegetal da bacia do rio dos Porcos.

A Floresta Ombrófila Densa Submontana situa-se em altitudes mais elevadas, como nas encostas dos planaltos e/ou serras (IBGE, 2012), e ocorre em solos profundos, apresentando agrupamentos vegetais mais desenvolvidos, com árvores entre 25 e 30 metros de altura de copas largas e densas (IBGE, 1986). Na AMREC é a formação predominante, ocupando um total global de 61,09% (1.618,769 km²), e está presente em todos os 12 municípios, principalmente ao norte e na porção centro-leste da área de estudo (Figura 16).

Por fim, nas altitudes acima dos 400 metros, isto é no alto dos planaltos e das serras (IBGE, 2012), encontra-se a Floresta Ombrófila Densa Montana, a qual recobre os solos basálticos e areníticos das escarpas da Serra Geral (IBGE, 1986). Ocupando um total de 18,86% da AMREC, equivalente a 499,801 km², abrange sobretudo a faixa oeste da área de estudo, em uma faixa que se estende desde Nova Veneza até Orleans (Figura 16). Dentro desta região fitoecológica destaca-se, ao longo da escarpa da Serra Geral, um filete de vegetação denominado de Floresta Nebular, também chamado de matinha nebulosa, assim denominada pela constante presença de nuvens sobre a vegetação, as quais aumentam a umidade relativa do ar e reduzem a radiação solar (MARCON *et al.*, 2014). No sul do Brasil, ocorrem em altitudes entre 700 e 1.600 m e sua importância está ligada ao fato de abrigar diversas nascentes de rios (MARCON *et al.*, 2014).

Figura 16 – Mapa de vegetação da AMREC



Fonte: Do autor, 2019.

5.2 USO E COBERTURA DA TERRA

O mapeamento do uso e cobertura da terra elaborado para os anos de 1999 e 2019, por meio do método da Máxima Verossimilhança, permitiu quantificar as áreas pertencentes a cada classe nos dois anos estudados, conforme elencado na Tabela 10 abaixo.

Tabela 10 - Quantitativos das classes nos anos de 1999 e 2019

CLASSE	1999		2019	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Vegetação arbórea-arbustiva	1.233,439	46,55%	1.407,379	53,11%
Massas de água	9,396	0,35%	17,0397	0,64%
Áreas agrícolas e solo exposto	426,605	16,10%	346,882	13,09%
Áreas artificializadas	132,032	4,98%	179,042	6,76%
Vegetação rasteira	793,030	29,93%	679,662	25,65%
Mineração	41,043	1,55%	9,237	0,35%
Restinga	14,283	0,54%	10,588	0,40%
Total	2.649,828	100,00%	2.649,828	100,00%

Fonte: Do autor, 2019.

Iniciando pelas classes que obtiveram aumento, observa-se na Tabela 10 que a classe Vegetação arbórea-arbustiva passou de 1.233,439 km² no ano de 1999 para 1.407,379 km² em 2019, o que representa um aumento de 6,56% em 20 anos. Considerando a dinâmica territorial da AMREC e sua forte relação com a mineração, pode-se supor que este aumento esteve ligado a processos de regeneração da própria vegetação, não somente em áreas com usos diversos, mas também em áreas anteriormente mineradas.

De fato, analisando-se a classe Mineração observa-se uma considerável diminuição da mesma, a qual passou de 1,55% para 0,35%, o que representa uma redução de 31,806 km² de área. De acordo com Ladwig; Dagostim; Back (2018) tal fato está relacionado ao enfraquecimento da indústria carbonífera causado pela desregulamentação do setor pelo Governo Federal em 1990, além do crescimento da conscientização ambiental e da organização de movimentos ambientalistas na sociedade catarinense neste período.

Ainda com relação ao aumento da vegetação arbórea-arbustiva, Marcondes (2016), em seu estudo para o estado de Santa Catarina, afirma que a partir dos anos de 1980 houve grande expansão de plantio de pinus em áreas tradicionais de pastagens naturais/naturalizadas, sendo que logo depois começou a ocorrer também a expansão do plantio de eucalipto em áreas de pastagens. Portanto, além da regeneração, o aumento da classe Vegetação arbórea-arbustiva presumivelmente está ligado ao aumento da atividade de

silvicultura, em especial ao plantio de eucalipto. Estima-se que tal fato também explique a redução da classe Vegetação Rasteira, a qual ocupava uma área de 793,030 km² em 1999 e no ano de 2019 passou a ocupar 679,662 km², sofrendo uma redução de 4,28%, ou seja 113,368 km².

Concomitante à ocupação de áreas de pastagens em parte por plantio de vegetação arbórea, a redução da classe provavelmente também está relacionada ao aumento das áreas urbanizadas nos municípios, as quais estão representadas pela classe Áreas artificializadas. De fato, tendencialmente, a malha urbana se expande para as áreas de fácil construção e de baixa declividade, onde naturalmente ocorrem as vegetações rasteiras.

Esta mesma tendência observa-se no município de Balneário Rincão, onde ocorre a vegetação de restinga. Em 1999, quando a área urbanizada do município era menor, a classe Restinga representava 0,54% da área de estudo, ou seja 14,283 km². Contudo, com a expansão progressiva da malha urbana, a vegetação de restinga sofreu uma considerável diminuição, passando a representar 10,588 km² (0,40%). De acordo com Gandolfo e Hanazaki (2011), a restinga vem sendo ameaçada desde o início da colonização europeia, devido sua proximidade com os primeiros povoamentos e cidades e pela maior facilidade de ocupação quando comparada às áreas de floresta. Embora pareça ser uma diferença mínima, considerando a extensão atual desta classe e a área territorial do município, o qual possui 64,636 km², observa-se que a perda para o município, na realidade, foi de 5,72%.

Já as Áreas artificializadas, embora representem uma pequena porção da AMREC, tiveram um acréscimo de área equivalente a um percentual de 1,78%, passando de 132,032 km² (4,98%) em 1999 para 179,042 km² (6,76%) em 2019.

Tal incremento está fortemente ligado ao aumento da urbanização, associado também, à sua vez, ao aumento populacional. De fato, de acordo com estimativas do IBGE (2010), a partir de meados da década de 1970 em Santa Catarina intensificou-se o processo de urbanização e em 2010, quase 84% da população catarinense residia no meio urbano.

Este fato também se constata nos resultados da classificação e nos dados de população nos municípios da AMREC. Como observa-se na Tabela 11, entre 1991 e 2010, a população urbana passou de 224.176 para 347.934 habitantes, sendo que nos municípios de Criciúma e Içara houve o maior aumento populacional. Neste período o município de Balneário Rincão ainda pertencia à Içara, não sendo relatado, portanto, na presente tabela.

Tabela 11 – Evolução da população urbana entre 1999 e 2010

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO URBANA	
	1991	2010
Criciúma	132.313	189.630
Içara	27.367	53.913
Orleans	8.915	16.084
Morro da fumaça	8.752	13.863
Urussanga	19.203	11.405
Siderópolis	8.814	10.051
Nova Veneza	4.578	8.927
Lauro Müller	9.818	11.106
Treviso	-	1.833
Forquilha	4.416	18.426
Cocal do sul	-	12.696
Total	224.176	347.934

Fonte: IBGE, Censo Demográfico 1991/2010.

Parte do aumento da classe Áreas artificializadas possivelmente está relacionado à diminuição da classe Áreas agrícolas e solo exposto. Esta, entre 1999 e 2019, passou de 426,605 km² para 346,882 km², sofrendo uma perda de 79,723 km², ou seja, uma área equivalente quase ao município de Morro da Fumaça.

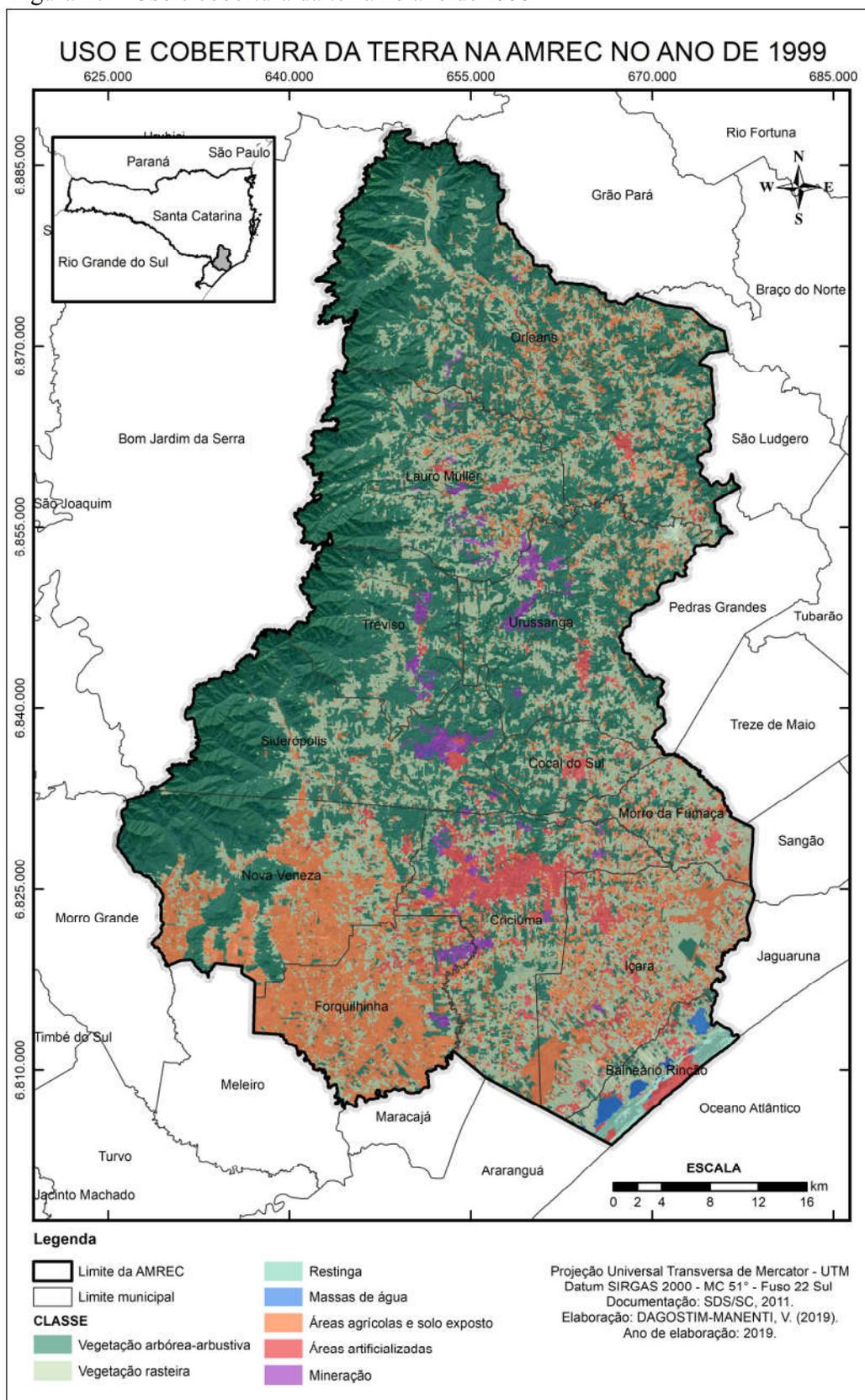
De acordo com Marcondes (2016) o número e a área dos estabelecimentos agropecuários de Santa Catarina sofreram mudanças sensíveis ao longo dos anos, pois aumentaram entre as décadas de 1970 e 1980 e diminuíram a partir de então. Com efeito, “de 1985 para 2006 houve um decréscimo de 41,3 mil unidades e de 1,357 milhão de hectares dos estabelecimentos agropecuários catarinenses” (MARCONDES, 2016). A redução observada na classe Áreas agrícolas e solo exposto, portanto, provavelmente está relacionada à redução dos estabelecimentos agropecuários em Santa Catarina, quando paralelamente disseminou-se os estabelecimentos agropecuários de pequena extensão territorial voltados para a agricultura familiar.

A classe Massa d'água, por sua vez, a qual engloba tanto os corpos hídricos superficiais, como as áreas correspondentes às cavas abertas para a mineração de argila, areia e/ou outros recursos minerais, além das áreas alagadas pela prática da rizicultura, sofreu aumento. De fato, esta classe passou de 0,35% em 1999 para 0,64% em 2019. Parte considerável do acréscimo de área se deu pela construção do reservatório da Barragem do Rio São Bento no município de Siderópolis, cujo início efetivo ocorreu em 2001, sendo sua conclusão em 2004 (CASAN, 2004).

Uma maior presença da classe também é verificada no município de Morro de Fumaça, onde na porção leste, nota-se diversos acúmulos de água, que de acordo com Dias (2018) estão associados à atividade de extração de substâncias minerais, como a argila e a areia. A expansão da classe também pode estar associada à expansão da área ocupada pela rizicultura nos municípios ao longo do período analisado, visto que a partir da década de 1980, este sistema de produção foi difundido no estado de Santa Catarina por meio do Programa de Aproveitamento Racional das Várzeas Irrigáveis – PROVÁRZEAS (EPAGRI, 2002).

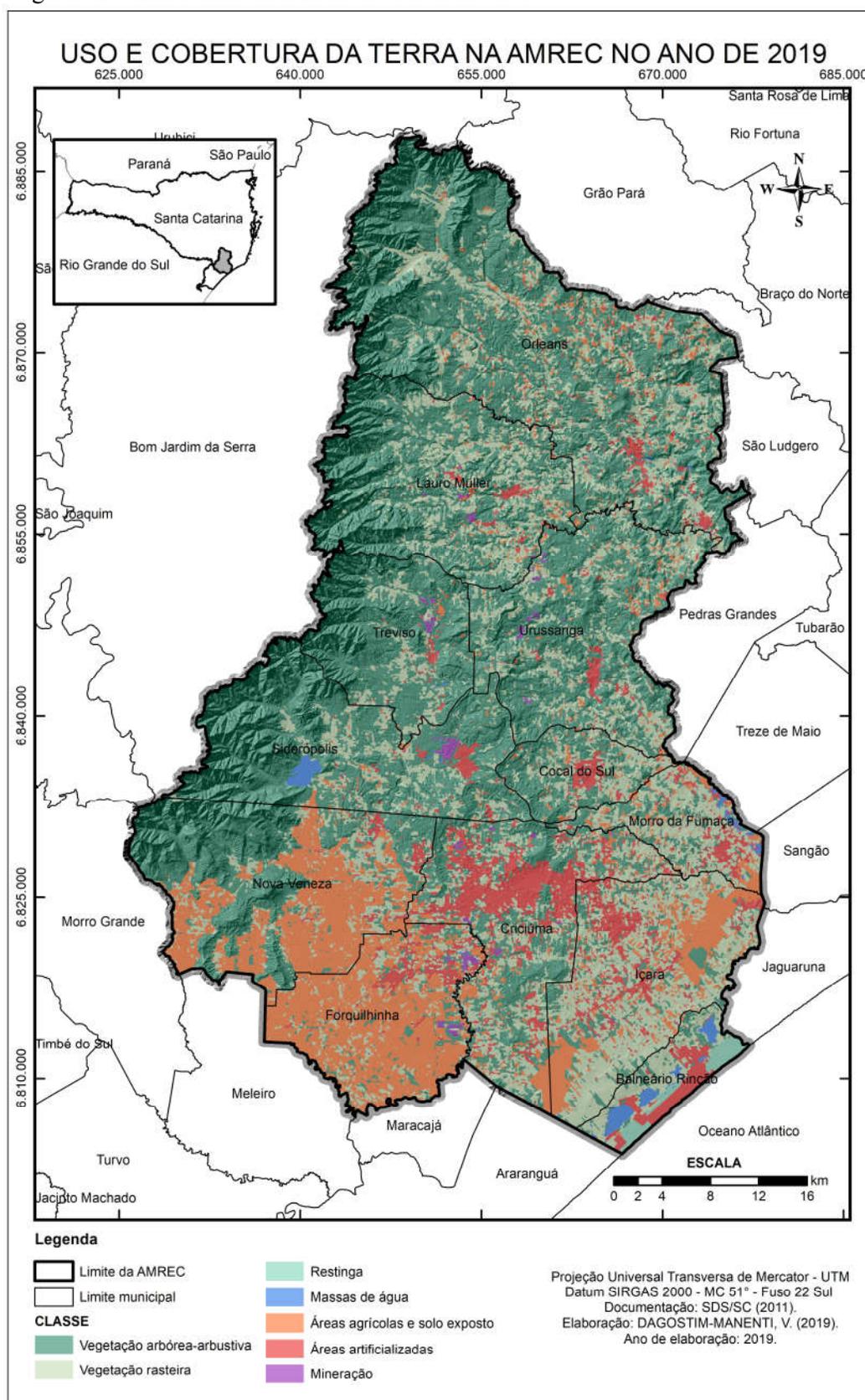
Para melhor visualização, as Figuras 17 e 18 a seguir ilustram os resultados obtidos com a classificação supervisionada para os anos de 1999 e 2019. As representações encontram-se na escala 1:450.000, no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e encontram-se referenciadas ao datum horizontal SIRGAS2000.

Figura 17 – Uso e cobertura da terra no ano de 1999



Fonte: Do autor, 2019.

Figura 18 – Uso e cobertura da terra no ano de 2019



Fonte: Do autor, 2019.

5.3 ANÁLISES DAS MUDANÇAS

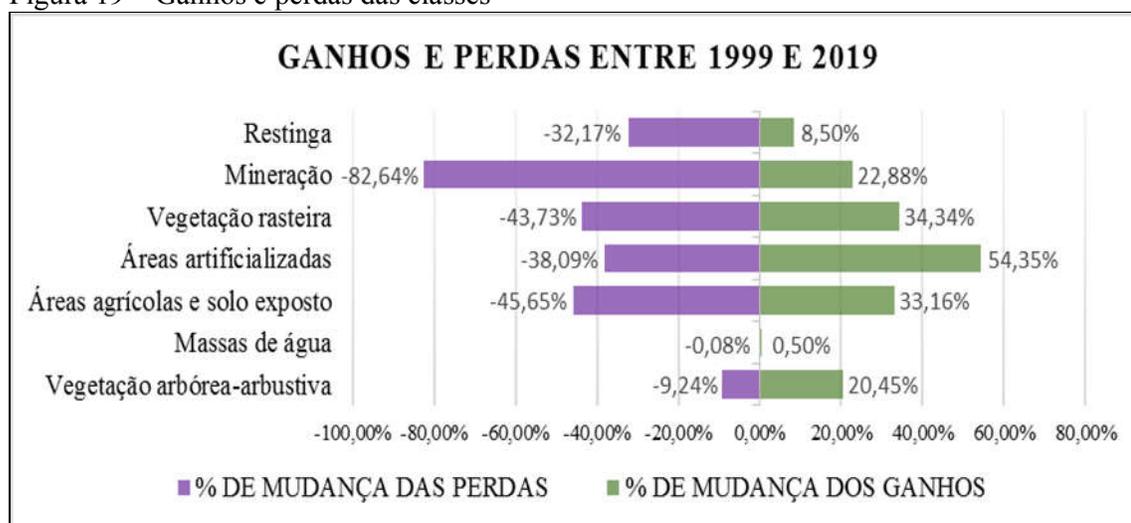
O mapeamento do uso e cobertura da terra elaborado para os anos de 1999 e 2019, aliado às ferramentas do *Land Change Modeler* (LCM), permitiu quantificar estatisticamente as mudanças ocorridas nos dois anos, além de ilustrar graficamente em que local as mudanças ocorreram majoritariamente.

Entre os recursos oferecidos pelo LCM, está o gráfico de ganhos e perdas, o qual ilustra, especificamente com relação às mudanças, o percentual de perdas e ganhos conforme ilustrado na Figura 19 abaixo.

Ao analisar a mesma, observa-se que todas as mudanças ocorridas para as classes resultaram em perdas e ganhos para as mesmas, sendo a classe Massa d'água, a que obteve o menor percentual tanto de perdas como de ganhos. Observa-se que na transição de 20 anos houve somente uma pequena perda de -0,08% e um ganho de 0,50%, o que evidencia a pouca dinamicidade desta classe.

A classe Vegetação arbórea-arbustiva, por sua vez, foi a classe que obteve maior ganho proporcionalmente, isto é, cerca de 20,45%, em contraposição à somente -9,24% de perdas. Tal fato revela que entre as mudanças ocorridas, diversas áreas que antes pertenciam à outras classes, na transição passaram a fazer parte da classe Vegetação arbórea-arbustiva e que não houve considerável perda entre as mudanças.

Figura 19 – Ganhos e perdas das classes



Fonte: Do autor, 2019.

Na hipótese de não se considerar a classe Massa d'água, que naturalmente é estática, ao somar em módulo as perdas e ganhos de todas as classes, constata-se que para a classe Vegetação arbórea-arbustiva obtêm-se um percentual 29,69%, ou seja, o menor percentual encontrado entre todas as classes, o que indica a menor taxa de mudança, revelando, portanto, o caráter de persistência desta classe.

As classes Restinga e Mineração demonstraram comportamentos semelhantes entre si. De fato, as duas, tiveram mais perdas do que ganhos. Enquanto as perdas foram -32,17% para a classe Restinga e -82,64% para a classe Mineração, os ganhos foram 8,50% e 22,88%, respectivamente. Nas duas situações as perdas explicam-se pela conversão das classes em outras durante a transição, já os ganhos podem ser interpretados separadamente.

No caso da Mineração, os ganhos nas mudanças revelam que embora o enfraquecimento da indústria carbonífera fosse evidente, isto não se traduziu na estagnação do setor, já que houveram conversão de novas áreas para este tipo de atividade.

No caso da Restinga, isto está atrelado ao próprio resultado da classificação. Isto significa que na classificação do ano de 2019 haviam pixels classificados para esta classe que no ano de 1999 pertenciam a outra classe, devendo-se, portanto, assumir, conforme observou-se na validação, uma margem de erro.

As demais classes, isto é Vegetação rasteira, Áreas artificializadas e Áreas agrícolas e solo exposto, foram as que apresentaram maior dinamicidade na transição, de fato ao mesmo tempo que houveram perdas, houveram também ganhos de áreas. As classes Vegetação rasteira e Áreas agrícolas e solo exposto obtiveram mais perdas que ganhos, com um percentual de perdas de -43,73% e -45,65%, respectivamente. Em contrapartida, apesar da classe Áreas Artificializadas ter sofrido uma perda de -38,09%, 54,35% das mudanças ocorridas contribuíram em ganhos para a classe. Ficando apenas atrás da classe Mineração, a classe Áreas artificializadas foi a que apresentou uma das maiores taxas de mudança (92,44%), apontando a grande dinamicidade desta classe.

Para compreender mais a fundo o processo de transição entre as classes, é importante conceber onde tais mudanças ocorreram e quais foram as classes que contribuíram para a diminuição ou o aumento de cada classe.

A matriz de transição entre os anos de 1999 e 2019 apresentada no Quadro 6 a seguir é uma ótima ferramenta para isto, pois por meio da análise da diagonal principal da mesma pode-se analisar o percentual de persistência de cada classe, enquanto que nas demais células pode-se observar as transições.

Quadro 6 - Matriz de transição entre os anos de 1999 e 2019

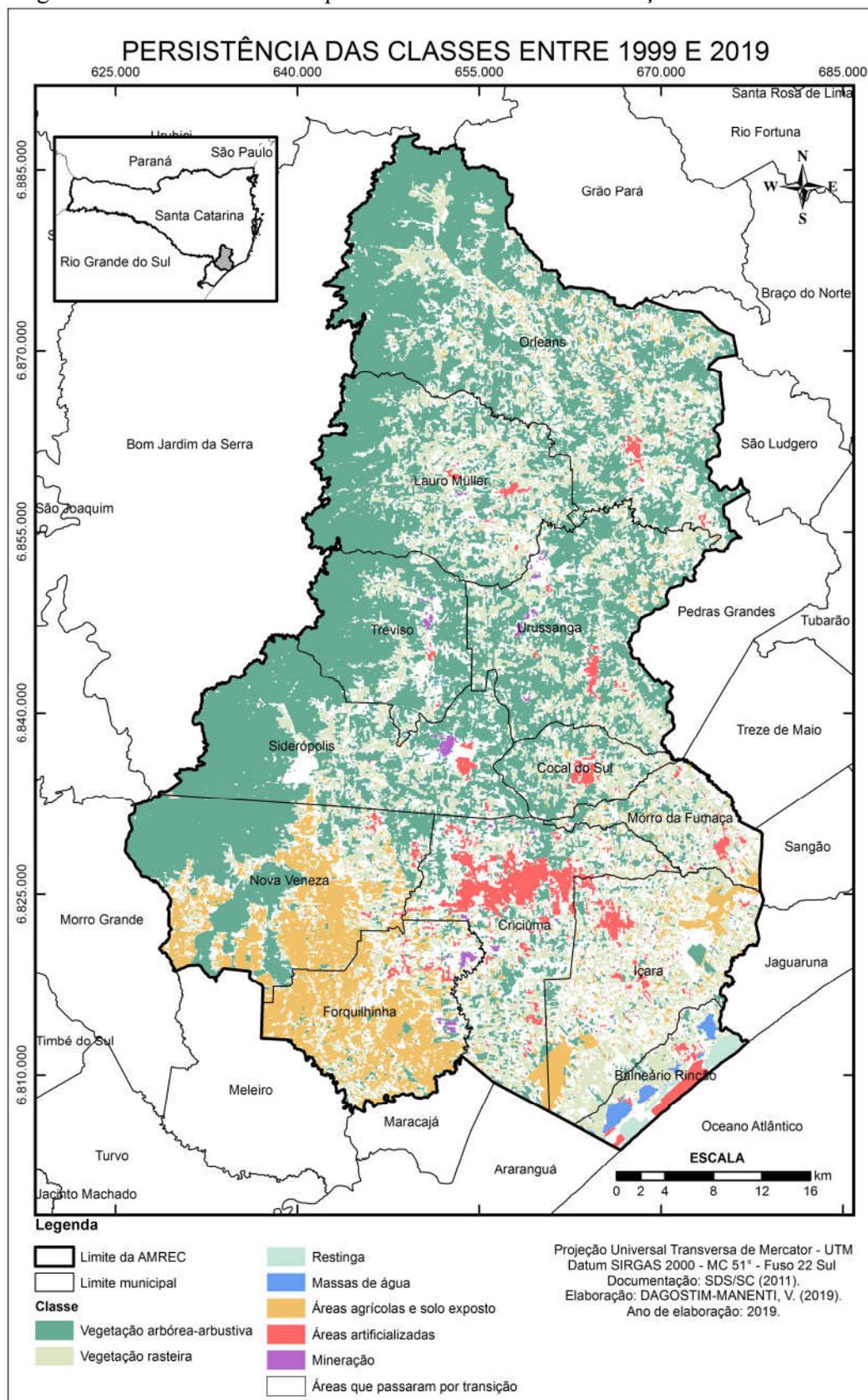
2019	1999							
	CLASSE	Vegetação arbórea-arbustiva	Massas de água	Áreas agrícolas e solo exposto	Áreas artificializadas	Vegetação rasteira	Mineração	Restinga
	Vegetação arbórea-arbustiva	90,76%	3,25%	13,06%	7,13%	26,24%	34,23%	1,93%
	Massas de água	0,16%	84,64%	0,34%	0,52%	0,62%	0,26%	0,23%
	Áreas agrícolas e solo exposto	1,63%	1,08%	54,35%	5,54%	10,57%	8,72%	0,67%
	Áreas artificializadas	0,86%	1,94%	7,03%	61,91%	6,18%	12,14%	18,32%
	Vegetação rasteira	6,51%	7,22%	25,15%	24,52%	56,27%	27,29%	11,01%
	Mineração	0,09%	0,25%	0,07%	0,11%	0,07%	17,36%	0,00%
	Restinga	0,00%	1,62%	0,00%	0,26%	0,05%	0,00%	67,83%

Fonte: Do autor, 2019.

De acordo com o Quadro 6 acima, a classe Vegetação arbórea-arbustiva foi a que apresentou maior percentual de persistência (90,76%). O que contribui para tal situação é certamente sua localização, em grande proporção, sobre as Escarpas da Serra Geral, conforme observa-se na Figura 20 a seguir, além da proteção garantida pela legislação vigente (como o Código Florestal, por exemplo). A acentuada declividade na faixa oeste da AMREC entre os municípios de Nova Veneza e Orleans também contribuiu para este quadro. Entre as principais mudanças que ocorreram estão a mudança da Vegetação arbórea-arbustiva para Vegetação rasteira (6,51%), para Áreas agrícolas e solo exposto (1,63%) e para Áreas artificializadas (0,86%).

A classe Massas de água também apresentou um alto percentual de persistência (84,64%). Contudo, devido esta classe abranger não somente os corpos hídricos naturais, mas também acúmulos de água artificiais e áreas alagadas, houve conversões desta classe para a classe Vegetação rasteira (7,22%) e para a classe Vegetação arbórea-arbustiva (3,25%), majoritariamente, sendo que para as demais classes as mudanças ocorreram em menor proporção. A classe Áreas agrícolas e solo exposto persistiu entre 1999 e 2019 em um percentual de 54,35%, sendo este cenário visível principalmente nos municípios de Nova Veneza e Forquilha, onde a atividade agrícola é uma constante há vários anos. Esta mesma situação é observável, em menor proporção, na divisa entre Criciúma e Içara e na divisa entre Içara e Morro da Fumaça (Figura 20). Apesar da grande extensão territorial de áreas que persistiram, as perdas de área para esta classe, foram consideráveis, sendo as mais evidentes a conversão para Vegetação rasteira (25,15%), Vegetação arbórea-arbustiva (13,06%) e Áreas artificializadas (7,03%).

Figura 20 – Áreas onde houve persistência e onde houve transição das classes



Fonte: Do autor, 2019.

A classe Áreas artificializadas, por ser constituída em sua maioria por área urbana, possui um alto percentual de persistência, isto é 61,91%. Isto é claramente visível na Figura 20 acima, onde é possível observar que as maiores manchas da classe correspondem às áreas urbanizadas dos municípios da AMREC. Todavia, houveram também transições para outras classes, especialmente para a classe Vegetação rasteira, em 24,52%, para a classe Vegetação arbórea-arbustiva, em 7,13%, e em menor proporção para a classe Áreas agrícolas e solo exposto (5,54%). Tais conversões devem ser interpretadas com cautela, pois se tratam de áreas complexas sob o ponto de vista da reflectância do pixel, visto a variedade de alvos na classe com diferentes comportamentos espectrais, o que, aliado a uma resolução espacial de 30 metros, causa confusão e diminui a precisão, o que todavia não compromete os resultados.

Assim como houve mudança da classe Áreas artificializadas para Vegetação rasteira, também ocorreu o contrário, de fato, apesar desta classe ter persistido em 56,57%, 6,18% da mesma passou a pertencer à classe Áreas artificializadas. Em maior proporção ocorreu a transformação da Vegetação rasteira para Vegetação arbórea-arbustiva, o que se deu em um percentual de 26,24%. Como discutido nos itens anteriores, provavelmente esta situação está ligada ao aumento da plantação de espécies arbóreas sobre as áreas de pastagens. Esta classe também se converteu, em parte, para a classe Áreas agrícolas e solo exposto (10,57%).

A classe Mineração foi a que obteve menor percentual de persistência, com somente 17,36%, de fato suas áreas foram convertidas em sua maioria para a classe Vegetação arbórea-arbustiva (34,23%) e Vegetação rasteira (27,29%). Tal ocorrência provavelmente está relacionada à regeneração da vegetação sobre as áreas anteriormente mineradas, as quais ainda hoje representam, em sua maioria, passivos ambientais. Em menor proporção, mas ainda notável, ocorreu a transição da classe Mineração para as classes Áreas artificializadas (12,14%) e Áreas agrícolas e solo exposto (8,72%).

Por fim, a classe Restinga foi a que apresentou a terceira maior persistência, ficando atrás somente das classes Vegetação arbórea arbustiva e Massas de água. Apesar da proteção legal pelo fato de serem consideradas Áreas de Preservação Permanente, a classe Restinga, ao longo dos 20 anos, passou por transição para a classe Áreas artificializadas em 18,32% e para Vegetação rasteira em 11,01%. Isto se deu presumivelmente em decorrência da urbanização ordinária da faixa costeira e do entorno das lagoas, especificamente no município de Balneário Rincão, onde ocorre esta classe.

5.4 PREVISÃO DAS MUDANÇAS

A partir dos mapas de uso e cobertura da terra dos anos de 1999 (tempo 1) e 2019 (tempo 2) e das variáveis inseridas no submodelo de potencial de transição, realizou-se a previsão do uso e cobertura da terra para o ano de 2040 (tempo 3).

No *Land Change Modeler* o resultado gerado pela previsão não apenas permite a criação de um cenário rígido (*hard prediction*), com mudanças absolutas projetadas, mas apresenta também um módulo de criação de um cenário suavizado (*soft prediction*), no qual são apresentados os locais com maior probabilidade de mudança (UMBELINO, 2012). Para uma melhor análise do cenário para o ano de 2040, gerou-se os dois tipos de previsão: a *hard prediction* e a *soft prediction*.

A Figura 21, a seguir, ilustra a *soft prediction* gerada no LCM, onde estão indicadas as áreas das prováveis mudanças em uma escala contínua de 0% à 50% de probabilidade. As cores mais claras correspondem à probabilidades menores, enquanto as cores mais escuras indicam os locais com maior potencial de transição.

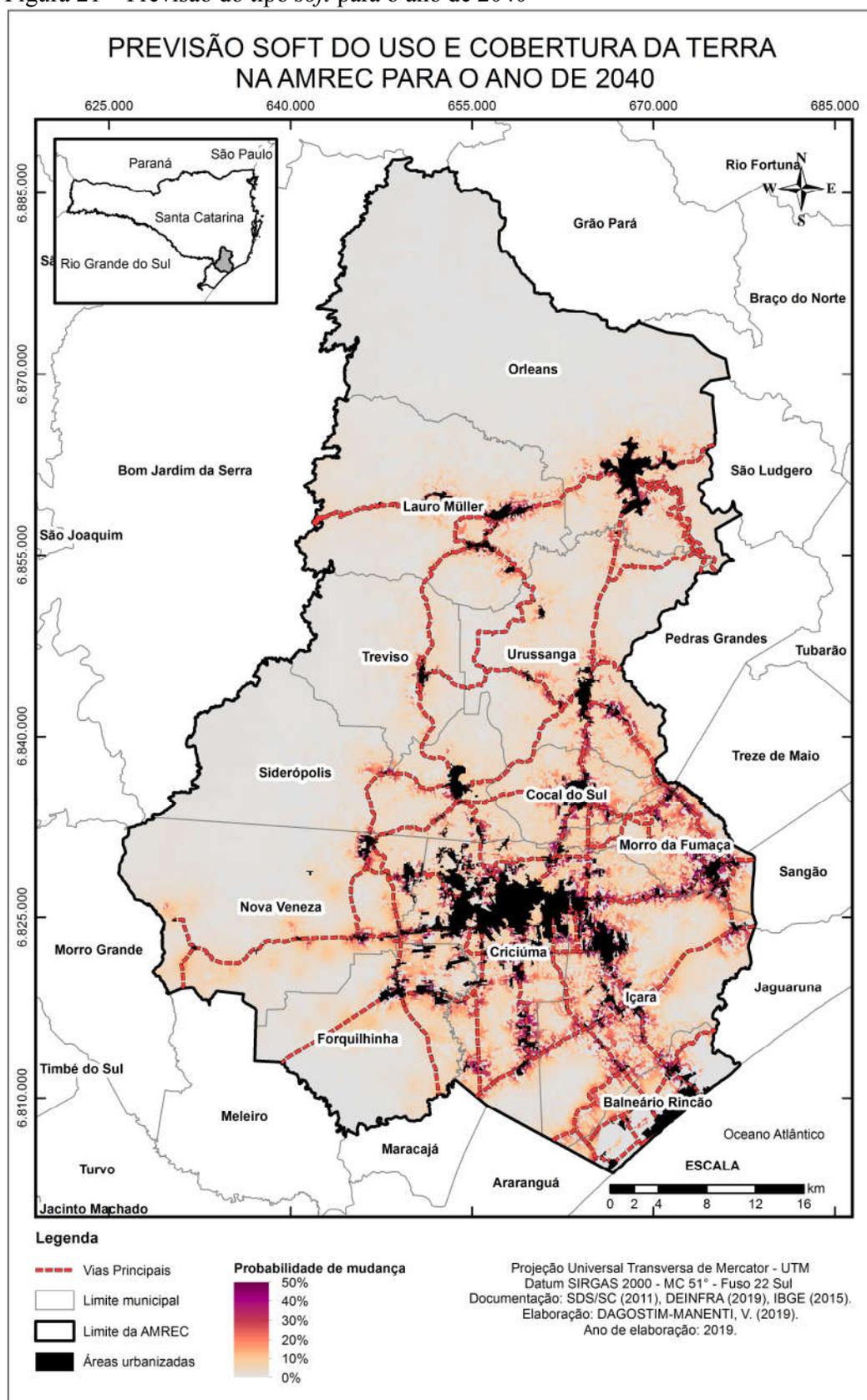
Na previsão, optou-se por explorar de forma mais aprofundada as transições futuras entre todas as classes e a classe Áreas artificializadas, a qual é composta majoritariamente pelas áreas urbanas dos municípios. Tal escolha se deu pelo constante crescimento desta classe observado ao longo dos anos e pelo fato de estar em fase de iniciação um Plano de Desenvolvimento Regional para a área de estudo, tendo esta classe, portanto, papel fundamental na definição de diretrizes de planejamento.

Ao sobrepor os vetores correspondentes às vias principais da AMREC (rodovias estaduais, federais e ruas principais municipais) e às áreas urbanizadas dos municípios no ano de 2015, é evidente a maior probabilidade de transição para a classe Áreas artificializadas na imediação destes vetores. De fato, tanto as áreas nas proximidades do setor viário como dos centros urbanos são dotados de infraestrutura urbana, o que favorece a ocupação no entorno destas zonas. Este fenômeno não é um caso isolado, de fato, pode ser observado em diversos municípios brasileiros. Em Santa Catarina, por exemplo, é o caso da Microrregião de Itajaí, localizada na porção centro-norte do litoral catarinense, e da Microrregião de Florianópolis, na parte central do litoral catarinense. De acordo com Pereira (2011), a expansão urbana nestas microrregiões está diretamente relacionada ao desenvolvimento industrial brasileiro ocorrido sobretudo após a década de 1930 e à ampliação da infraestrutura regional, que gerou fluxos migratórios, do interior do estado de Santa Catarina e de estados próximos para as cidades situadas na faixa litorânea catarinense.

De fato, a infraestrutura viária, em especial a Rodovia BR-101, desempenhou papel fundamental para isto, ligando o estado à região Sudeste e aos demais estados da região Sul, provocando um forte impacto na redefinição dos espaços na faixa litorânea de Santa Catarina (PEREIRA, 2011).

No caso da AMREC, regionalmente, observa-se a maior probabilidade de concentração das mudanças no entorno das vias que interligam os municípios de Içara, Forquilha, Nova Veneza, Siderópolis, Cocal do Sul e Morro da Fumaça à Criciúma, sendo estas probabilidades menores nas vias que interligam os municípios de Orleans, Lauro Müller e Urussanga.

Ao observar o entorno das áreas urbanizadas a tendência é a mesma, de fato os municípios com maior potencial de transição são justamente: Criciúma, Içara, Balneário Rincão, Forquilha, Nova Veneza, Siderópolis, Cocal do Sul e Morro da Fumaça.

Figura 21 – Previsão do tipo *soft* para o ano de 2040

Fonte: Do autor, 2019.

Não obstante a análise das probabilidades de mudanças seja uma importante ferramenta, para aprimorar ulteriormente a análise, a Figura 22 abaixo apresenta a previsão do tipo *hard prediction*, a qual determina os locais onde se prevê que ocorrerão as mudanças, ou seja, indica um cenário possível de uso e cobertura da terra para a área de estudo entre muitas possibilidades plausíveis na realidade.

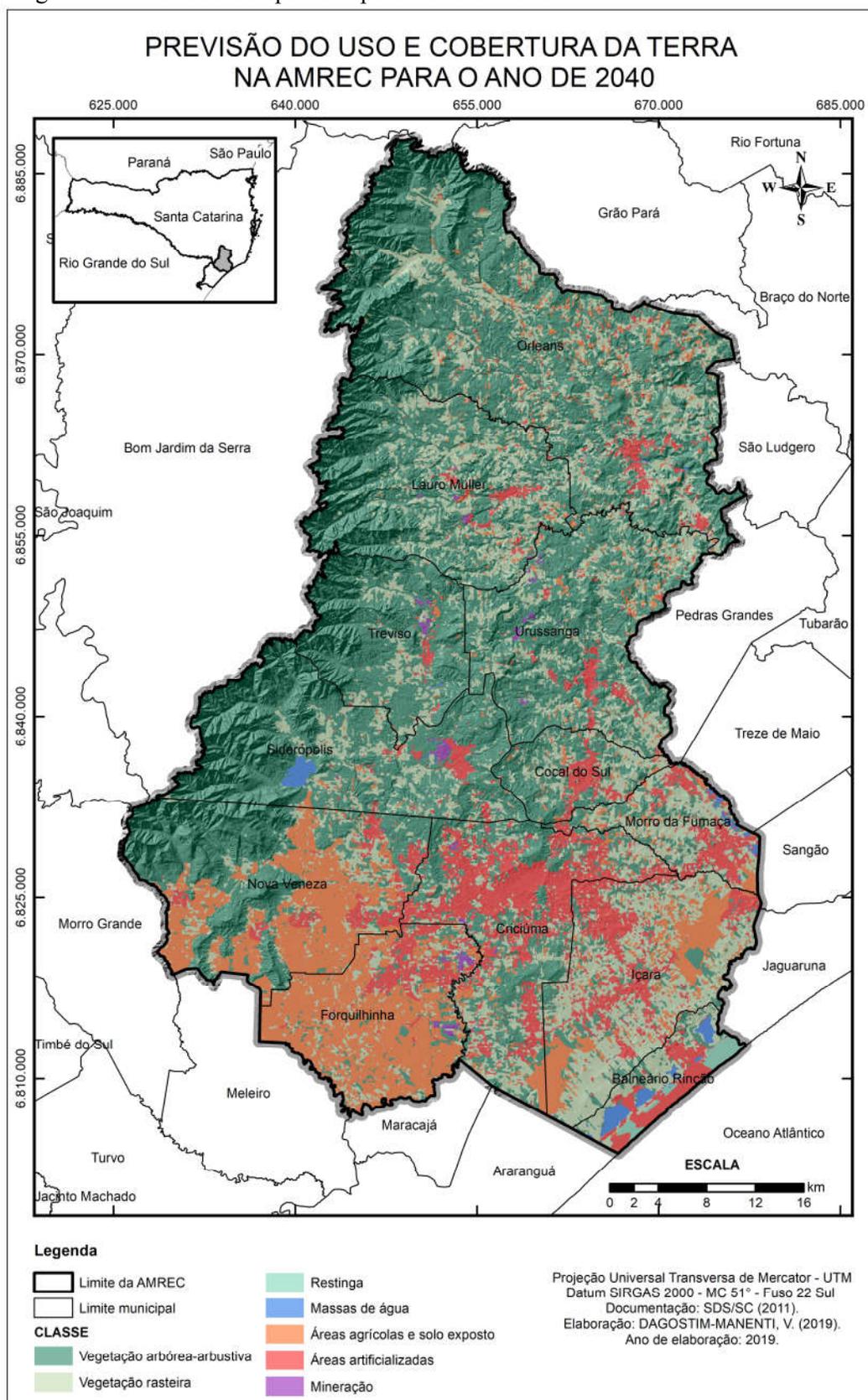
Ao observar as Figuras 22 e 23, é evidente a mesma tendência apresentada pela *soft prediction* com relação às Áreas artificializadas, ou seja, o adensamento da classe no entorno dos eixos viários e das áreas urbanizadas já consolidadas dos municípios, onde a infraestrutura urbana encontra-se em sua maioria já provida e em pleno uso.

Tal tendência revela a conurbação (Figura 23), já em curso, entre os municípios de Criciúma e Içara, além da muito provável conurbação futura entre Criciúma e os municípios de Nova Veneza, Forquilha, Morro da Fumaça e Cocal do Sul, estimulada a sua vez pela interligação já existente entre as rodovias estaduais. Nota-se esta mesma tendência entre os municípios de Balneário Rincão e Içara, principalmente ao longo das vias no sentido noroeste que interligam os dois municípios. No caso de Balneário Rincão, é evidente, ademais o adensamento no entorno das lagoas, tendência esta que já vem ocorrendo nos últimos anos.

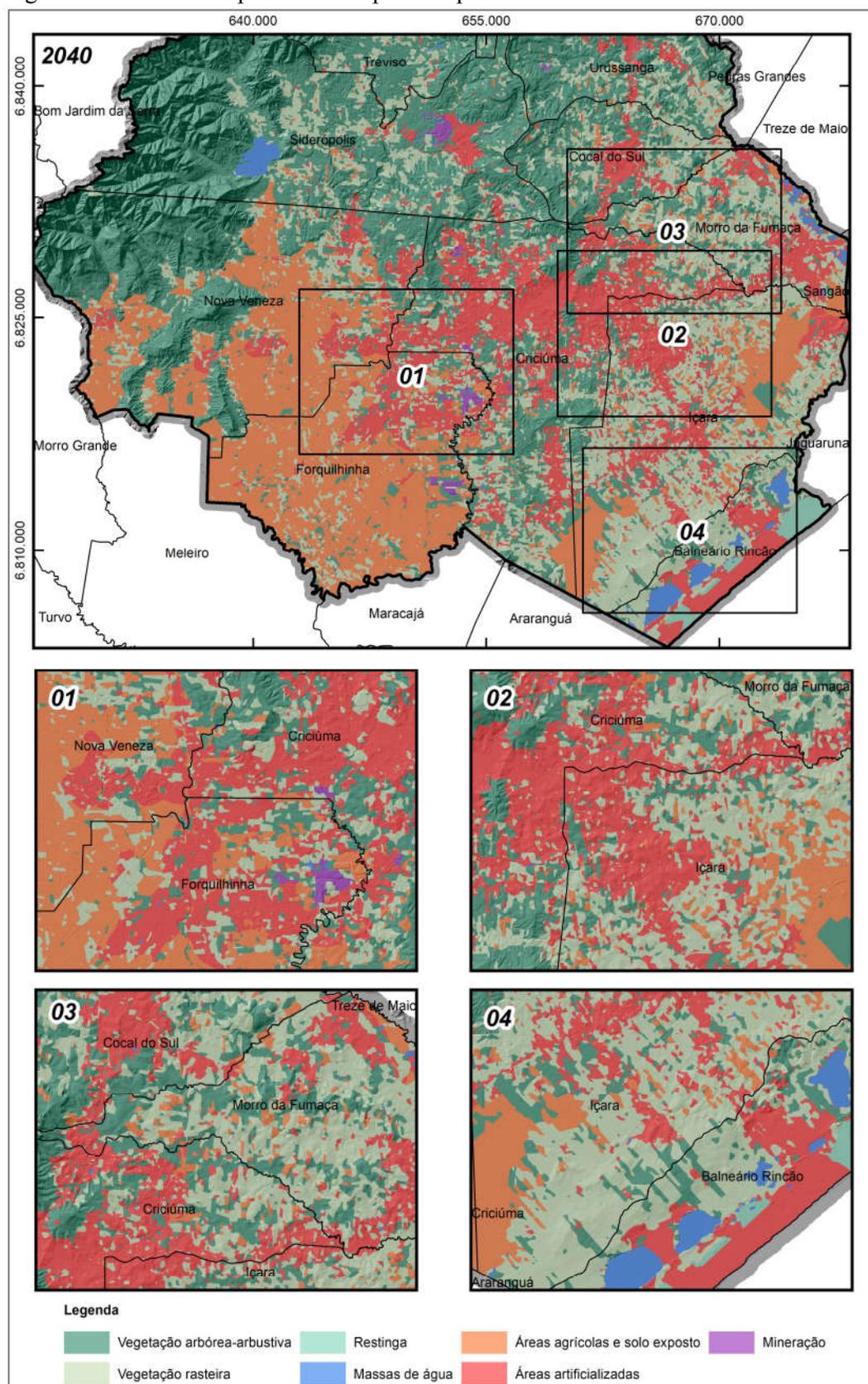
O município de Siderópolis, apesar de também confrontar com Criciúma, representa um caso à parte, pois a barreira topográfica existente entre os dois municípios acaba quase por isolar Siderópolis. De fato, a alta declividade encontrada no relevo que separa os dois municípios impede a conurbação efetiva, o que, fundamentando-se nas leis ambientais vigentes, faz com que tal cenário de conurbação realmente seja improvável.

Os municípios de Treviso, Urussanga, Lauro Müller e Orleans, por sua vez, apesar de também possuírem interligação entre si por meio das rodovias estaduais, para o ano de 2040, ainda não apresentam um cenário provável de junção de seus tecidos urbanos, ao contrário, permanecem fiéis ao limite político de seus municípios.

Diante do exposto, com relação à classe Áreas artificializadas, pode-se afirmar que os resultados obtidos revelam uma tendência para o ano de 2040 já ocorrida entre os anos de 1999 e 2019, ou seja, a existência de dois panoramas distintos para os municípios da AMREC. O primeiro é composto pelos municípios à sul e sudeste da AMREC, no entorno de Criciúma, isto é, Nova Veneza, Forquilha, Içara, Balneário Rincão, Morro da Fumaça e Cocal do Sul, os quais caminham verso a junção de suas malhas. O segundo é constituído pelos municípios de Siderópolis, Treviso, Urussanga, Lauro Müller e Orleans, no centro-norte da AMREC, os quais, em contrapartida, prosseguem verso a persistência de seus tecidos dentro dos próprios limites políticos.

Figura 22 – Previsão do tipo *hard* para o ano de 2040

Fonte: Do autor, 2019.

Figura 23 – Detalhe da previsão do tipo *hard* para o ano de 2040

Fonte: Do autor, 2019.

Apesar desta tendência provavelmente estar relacionada à proximidade ao município de Criciúma, o qual é o mais urbanizado da AMREC com 98,60% de sua população em áreas urbanas, estima-se que tal fato esteja atrelado às características dos próprios municípios, principalmente àquelas relacionadas aos fatores populacionais e econômicos. O crescimento urbano, representado pelos dados da Tabela 12, a qual detalha o número de habitantes nas áreas urbanas nos municípios da AMREC nos anos de 1980, 1991, 2000 e 2010, além da taxa de crescimento da população ocorrida entre os anos de 1980 e 2010, é um destes fatores.

Ao observar os municípios do primeiro panorama, verifica-se as altas taxas de crescimento ocorridas entre 1980 e 2010 nos municípios de Içara (77,71%), Morro da Fumaça (64,66%) e Nova Veneza (59,63%). Em Criciúma, embora a taxa não tenha sido tão expressiva (49,18%), a população urbana já era significativa em 1980. Tais dados, portanto, confirmam a tendência de urbanização que vem se mantendo há décadas, culminando na aproximação cada vez mais ordinária das malhas urbanas. Em contrapartida, ao analisar os municípios do segundo panorama, observa-se taxas de crescimento menores, como é o caso de Urussanga (14,13%), Lauro Müller (21,31%) e Siderópolis (34,93%). Orleans, apesar de apresentar um crescimento significativo (61,74%), ainda possui poucos habitantes, portanto representa uma taxa menos expressiva se comparada à outros municípios com maior número de habitantes.

Tabela 12 – Evolução da população urbana entre 1980 e 2010

MUNICÍPIO	População Urbana 1980 (hab)	População Urbana 1991 (hab)	População Urbana 2000 (hab)	População Urbana 2010 (hab)	Taxa de crescimento entre 1980 e 2010 (%)
COCAL DO SUL	-	-	11.407	12.696	-
CRICIÚMA	96.368	132.313	153.049	189.630	49,18%
FORQUILHINHA	-	4.416	14.556	18.426	-
IÇARA	12.015	27.367	39.570	53.913	77,71%
LAURO MÜLLER	8.739	9.818	9.923	11.106	21,31%
MORRO DA FUMAÇA	4.899	8.752	11.154	13.863	64,66%
NOVA VENEZA	3.604	4.578	7.199	8.927	59,63%
ORLEANS	6.153	8.915	12.813	16.084	61,74%
SIDERÓPOLIS	6.540	8.814	9.103	10.051	34,93%
TREVISÓ	-	-	1.561	1.833	-
URUSSANGA	9.794	19.203	10.650	11.405	14,13%
BALNEÁRIO RINCÃO ⁽¹⁾	-	-	-	-	-
TOTAL	148.112	224.176	280.985	347.934	57,43%

Fonte: Censo Demográfico IBGE 1980, 1991, 2000 e 2010. Nota: ⁽¹⁾ Município pertencia à Içara neste período.

Diante do exposto, por meio da análise dos dados de crescimento populacional, é possível compreender as tendências futuras para os municípios. De fato, em linhas gerais, nos municípios com maiores taxas de crescimento de população urbana (1º panorama), é onde há a previsão de conurbação com o município de Criciúma, enquanto nos municípios com as menores taxas (2º panorama), é onde não existe a tendência de conurbação, e sim o oposto, revelando um caráter de menor dinamicidade do tecido urbano.

O crescimento econômico é outro fator essencial para a compreensão da expansão da classe Áreas artificializadas, sendo o PIB municipal um importante indicador deste crescimento. Ao analisar a Tabela 13 abaixo, a qual elenca em ordem decrescente (para o ano de 2016) o PIB municipal dos municípios que compõem a AMREC nos anos de 1999, 2008 e 2016, é nítida a importante contribuição do município de Criciúma para a AMREC. Seu PIB, nos três anos analisados é o maior entre os municípios, sendo que no ano de 2016 alcançou o valor de 6,9 bilhões de reais. Içara também possui lugar de destaque entre os municípios, sendo o 2º no *ranking* no ano de 2008, com um PIB de 804,8 milhões, e no ano de 2016, com 1,9 bilhões. Já em 1999, Forquilha foi o município a assumir tal posição com 240,5 milhões.

De maneira geral, ao explorar o *ranking* de 2016 os dados revelam que, à exceção de Orleans e Urussanga, os quais possuem um PIB considerável (3ª e 4ª posição respectivamente), os municípios com valor mais elevado de PIB são justamente os do 1º panorama, isto é: Criciúma, Nova Veneza, Forquilha, Içara, Balneário Rincão, Morro da Fumaça e Cocal do Sul.

Tabela 13 – PIB municipal nos anos de 1999, 2008 e 2016

MUNICÍPIO	PIB Municipal 1999	PIB Municipal 2008	PIB Municipal 2016	Taxa de crescimento 1999-2016
CRICIÚMA	1.061.107.000,00	2.873.156.000,00	6.895.490.000,00	84,61%
IÇARA	221.057.000,00	804.809.000,00	1.886.220.000,00	88,28%
ORLEANS	137.155.000,00	461.395.000,00	844.621.000,00	83,76%
URUSSANGA	119.190.000,00	345.440.000,00	736.251.000,00	83,81%
NOVA VENEZA	105.069.000,00	375.053.000,00	727.938.000,00	85,57%
FORQUILHINHA	240.526.000,00	336.646.000,00	713.564.000,00	66,29%
COCAL DO SUL	124.508.000,00	254.434.000,00	600.462.000,00	79,26%
MORRO DA FUMAÇA	125.452.000,00	323.126.000,00	591.439.000,00	78,79%
SIDERÓPOLIS	100.163.000,00	230.644.000,00	399.197.000,00	74,91%
LAURO MÜLLER	75.417.000,00	181.709.000,00	318.898.000,00	76,35%
TREVISÓ	115.962.000,00	82.697.000,00	203.792.000,00	43,10%
BALNEÁRIO RINCÃO ⁽¹⁾	-	-	-	-
TOTAL	2.425.606.000,00	6.269.109.000,00	13.917.872.000,00	82,57%

Fonte: IBGE, em parceria com os Órgãos Estaduais de Estatística, Secretarias Estaduais de Governo e Superintendência da Zona Franca de Manaus - SUFRAMA, 2010. Nota: ⁽¹⁾ Município pertencia à Içara no período analisado.

Os municípios de Siderópolis, Lauro Müller e Treviso (2º panorama), diversamente, ocupam as últimas posições, com um PIB respectivo de 399,2 milhões, 318,9 milhões e 203,8 milhões.

A taxa de crescimento do PIB entre 1999 e 2016 também apresenta um resultado semelhante, de fato as maiores taxas estão vinculadas aos municípios com tendência à conurbação, sendo Içara o município de maior crescimento com 88,28%, seguido por Nova Veneza (85,57%) e Criciúma (84,61%). Enquanto o município de Treviso foi o que apresentou menor crescimento, com 43,10%.

Neste contexto, pode-se afirmar que o quadro econômico dos municípios que se constituiu ao longo dos anos, seguiu paralelamente os passos do crescimento populacional. Ou seja, em linhas gerais, nos municípios onde ocorreram os maiores crescimentos populacionais, foram os mesmos onde se deram os maiores crescimentos econômicos.

Esta evidência é de suma importância para se compreender o fenômeno espacial, pois revela a magnitude da influência dos fatores populacionais e econômicos na configuração do uso e cobertura da terra da área de estudo. De fato, via de regra, os municípios pertencentes ao cenário provável de conurbação são aqueles onde ocorreram os maiores crescimentos de população e aumento do PIB municipal. Já nos municípios onde a população cresceu menos e onde o PIB não era tão expressivo (para o *ranking* analisado), o cenário provável é de menos dinamicidade espacial, o que revela a estreita relação entre as condições demográficas e econômicas dos municípios da AMREC com o uso e a apropriação do território.

Além da dinamicidade das mudanças ocorridas entre as classes, é essencial, do mesmo modo, compreender onde esta dinamicidade será mais restrita, ou seja, em quais classes a característica de persistência será mais evidente e conseqüentemente em quais locais ocorreram menos transições das classes para a classe Área artificializada.

Para isso, o Quadro 7 abaixo, constituído pela matriz de transição entre os anos de 2019 e 2040, apresenta o percentual de persistência de cada classe na diagonal principal na cor cinza e o percentual de transição para a classe Áreas artificializadas.

De acordo com o Quadro 7, a classe que haverá maior percentual de persistência é classe Massas de água, com um percentual de 100%. Isto não significa que não haverá mudanças para o ano de 2040, mas sim que em um cenário de mudança para a classe Áreas artificializadas, nenhuma porção desta classe passaria por esta transição.

A classe Vegetação arbórea-arbustiva também apresentou um alto índice de persistência (99,15%), provavelmente por conta da sua localização ser, em grande proporção,

sobre as Escarpas da Serra Geral. Contudo prevê-se que em um cenário futuro, 0,85% desta classe passará para a classe Áreas artificializadas.

Quadro 7 - Matriz de transição 2019/2040 entre todas as classes e as Áreas artificializadas

2040	2019							
	CLASSE	Vegetação arbórea-arbustiva	Massas de água	Áreas agrícolas e solo exposto	Áreas artificializadas	Vegetação rasteira	Mineração	Restinga
Vegetação arbórea-arbustiva	99,15%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Massas de água	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Áreas agrícolas e solo exposto	0,00%	0,00%	91,70%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Áreas artificializadas	0,85%	0,00%	8,30%	100,00%	7,28%	13,71%	21,78%	
Vegetação rasteira	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	92,72%	0,00%	0,00%	
Mineração	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	86,29%	0,00%	
Restinga	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	78,22%	

Fonte: Do autor, 2019.

A classe Áreas agrícolas e solo exposto, por sua vez, apesar de possuir um alto índice de persistência (91,70%), tem a tendência de transição para a classe Áreas artificializadas de 8,30%, um percentual um pouco mais elevado do que o ocorrido entre 1999 e 2019, o qual foi de 7,03%. Tal tendência está provavelmente relacionada ao aumento das áreas artificializadas nos municípios de Nova Veneza e Forquilha, os quais estima-se que, em um futuro próximo, terão suas extensas áreas agrícolas passando por transições.

A classe Vegetação rasteira apresentou uma persistência de 92,72%, enquanto o índice de transição no ano de 2040 para as Áreas artificializadas foi de 7,28%. Este percentual também é um pouco mais elevado do que o apresentado entre 1999 e 2019, isto é 6,18%. Tal fato revela que presumivelmente o avanço da classe Áreas artificializadas se dará também, em boa parte, nas áreas com vegetação rasteira, cujas declividades normalmente são baixas.

A classe Mineração foi a que apresentou um dos menores índices de persistência, isto é 86,29%, sendo que 13,71% de suas áreas prevê-se que passarão para Áreas artificializadas. Entre 1999 e 2019 o índice geral de persistência desta classe foi o menor, com 17,36%, o que revelou uma grande dinamicidade nas mudanças. Esta tendência, portanto, permanece para o ano de 2040.

Por fim, a classe Restinga foi a que apresentou o menor índice de persistência (78,22%) e conseqüentemente o maior índice de transição para a classe Áreas artificializadas, isto é 21,78%. Este cenário presumivelmente está ligado à tendência de ocupação da zona

costeira e do entorno das lagoas, principalmente da Lagoa do Faxinal e da Lagoa dos Esteves, em decorrência do caráter turístico do município de Balneário Rincão, onde ocorre esta classe.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das transições ocorridas entre os anos de 1999 e 2019 e a posterior previsão do uso e cobertura da terra para o ano de 2040 apontou a imprescindível influência no futuro das mudanças ocorridas no passado e reforçou as características singulares inerentes à cada classe, principalmente quando relacionadas à classe Áreas artificializadas.

Com relação às transições, os resultados permitiram atestar a alta tendência de persistência da classe Vegetação arbórea-arbustiva e a forte dinamicidade das classes Mineração, Restinga e Áreas agrícolas e solo exposto. Este cenário aponta para o baixo grau de alteração nas áreas com vegetação arbórea, em contraste à prováveis modificações nas áreas com atividades de mineração, ou já mineradas, nas áreas ocupadas por vegetação de restinga, nas áreas cultivadas e até mesmo nas áreas com solo exposto, desprovidas de cobertura vegetal.

Estas alterações presumivelmente estão ligadas ao aumento tendencial da classe Áreas artificializadas, constituída majoritariamente pelas áreas urbanas, as quais, muito provavelmente, se disseminarão nas proximidades das vias existentes, principalmente das rodovias, e das áreas urbanas já consolidadas, portanto próximo às áreas dotadas de infraestrutura.

De fato, os resultados indicaram a forte probabilidade de conurbação dos municípios de Nova Veneza, Forquilha, Morro da Fumaça e Cocal do Sul com o município de Criciúma (o qual demonstrou ser uma grande centralidade para os municípios do entorno) e o adensamento da malha conurbada entre Içara e Criciúma. Pressupõe-se este mesmo direcionamento para os municípios de Balneário Rincão e Içara, principalmente ao longo das vias no sentido noroeste que interligam os dois municípios.

Em contrapartida, nos municípios de Siderópolis, Treviso, Urussanga, Lauro Müller e Orleans o cenário é distinto. Com efeito, as estimativas apontam para a persistência dos tecidos urbanos dentro dos próprios limites políticos, revelando uma menor dinamicidade da classe Áreas artificializadas nestes territórios.

Este quadro sinaliza, portanto, a existência de dois panoramas distintos na AMREC: o primeiro onde ocorre a forte probabilidade de conurbação com o município de Criciúma e o segundo onde não ocorre esta tendência, revelando, portanto, que apesar dos municípios estarem inseridos no contexto regional de planejamento da AMREC, concomitantemente, devem ter suas singularidades evidenciadas e levadas em consideração nas ações de planejamento.

A análise dos fatores populacionais e econômicos foi de suma importância para compreender este fenômeno espacial, pois retratou a estreita relação entre as condições econômicas e demográficas dos municípios da AMREC com o uso e a apropriação do território. Com efeito, em linhas gerais, os municípios pertencentes ao cenário provável de conurbação são aqueles onde ocorreram os maiores crescimentos de população e aumento do PIB municipal (como Içara e Criciúma), já nos municípios onde a população cresceu menos (como Treviso, por exemplo) e onde o PIB não era tão expressivo, o cenário tendencial é de menos dinamicidade espacial.

É importante salientar que o resultado gerou uma previsão, ou seja, uma série de estimativas construídas com base em análise de dados passados, não representando, portanto, um cenário absoluto e imutável. De fato, é inevitável a presença de erros na previsão, ocasionados tanto por equívocos nas taxas estimadas de mudanças na cobertura da terra como por erros de omissão de circunstâncias atenuantes que poderiam contrabalançar as tendências.

A diminuição de erros pode ser alcançada, ulteriormente, com a reelaboração da previsão nos próximos anos, diminuindo-se o intervalo entre a data atual e a data de construção do cenário futuro, pois quanto menor o intervalo da previsão, menor a incerteza associada. Esta escolha, contudo, diminuirá o intervalo de tempo para a tomada de decisão, o que representa um período menor de estudos e análises das informações, podendo comprometer a qualidade das ações a serem realizadas.

Não obstante a existência inevitável de incertezas, isto não representa um obstáculo para a utilização da previsão realizada. Pelo contrário, diante da acurácia obtida, a previsão para o ano de 2040 representa uma importante ferramenta para o planejamento regional, pois, por meio da elaboração do cenário futuro, possibilitou prever a configuração espacial do uso e cobertura da terra, vislumbrar quais áreas estarão mais susceptíveis à mudanças e em quais possivelmente se dará a expansão urbana. Logo, em um contexto regional, representa um importante indicador de quais áreas devem receber enfoque nas ações de planejamento e quais devem ser priorizadas pelas políticas públicas, além de outras análises.

As ferramentas de geoprocessamento utilizadas nesta pesquisa, portanto, demonstraram-se altamente eficazes para o alcance dos objetivos, pois possibilitaram a coleta e a análise de dados e, por meio destes, a geração de informação de forma eficaz e com baixo custo. Esta pode ser acessada pelos órgãos gestores ou mesmo pela população em geral de cada um dos 12 municípios que compõem a AMREC, podendo contribuir, desta forma, para o

planejamento dos próximos 20 anos do território que compreende a Associação dos Municípios da Região Carbonífera.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A.P. D. **Modelagem de mudança do uso da terra na Amazônia: explorando a heterogeneidade intrarregional**. 2006. 208 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006.
- ALBUQUERQUE, M. P., ALBUQUERQUE, M. P. **Processamento de Imagens: Métodos e Análises**. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF/MCT. Rio de Janeiro, p. 1-12, 2000.
- ALENCAR, R. **A geodiversidade da Ilha de Santa Catarina: explorando seu valor didático no 6º ano do ensino fundamental**. 2013. 201 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- ALLEN, J. C.; BARNES, D. F. The causes of deforestation in developing countries. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 75, n. 2, p. 163-184, 1985.
- ALMEIDA, C. M. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil**. 2004. 323 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.
- ALVES, H. P. F. **Análise dos fatores associados às mudanças na cobertura da terra no Vale do Ribeira através da integração de dados censitários e de sensoriamento remoto**. 2004. 337 p. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- AMORIM, J. A. F. **Análise e modelação da mudança da ocupação e uso do solo: Caso de estudo da bacia hidrográfica do rio Vez**. 2015. 129 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental e Ordenamento do território) – Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Portugal, 2015.
- AMREC – Associação dos Municípios da Região Carbonífera. **AMREC**, 2015. Histórico. Disponível em: <https://www.amrec.com.br/cms/pagina/ver/codMapaItem/59316>. Acesso em: 12 dez. 2019.
- BAKER, W. L. A review of models of landscape change. **Landscape Ecology**, v. 2, n. 2, p. 111-133, 1989.
- BASTOS, A. **Simulação de uso do solo urbano utilizando uma abordagem baseada em sistemas multiagentes reativos**. 2007. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2007.
- BELLOLLI, M.; QUADROS, J.; GUIDI, A. **História do Carvão de Santa Catarina: 1790-1950**. Criciúma, SC: IOESC, 2002. v.1.
- BERRY, M. W.; FLAMM, R. O.; HAZEN, B. C.; MACLNTYRE, R. L. **The land-use change analysis system (LUCAS) for evaluating landscape management decisions**. Knoxville: University of Tennessee, 1994. 144 p.
- BERRY, M.; HAZEN, B. C.; MACLNTYRE, R. L.; FLAMM, R. O. LUCAS: a system for

modeling land-use change. **IEEE Computational Science & Engineering**, v. 3, n. 1, p. 24-35, 1996.

BINDER, C.; BOUMANS, R. M.; CONSTANZA, R. Applying the Patuxent Landscape Unit Model to human dominated ecosystems: the case of agriculture. **Ecological Modelling**, v. 159, p. 161-177, 2003.

BRASIL. Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). **Transformando nosso mundo: A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf. Acesso em: 10 set. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do Estado de Santa Catarina**. Porto Alegre, 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Folha Criciúma**. Brasília, 2000.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches**. Regional Research Institute: West Virginia University, 2000. Disponível em: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>. Acesso em: 10 fev. 2019.

CÂMARA G., DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S (Orgs.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004. E-book. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/new_page.php?lm=livros.csv&lr=livros_right.csv. Acesso em: 30/12/2018.

CARNEIRO, T. G. S. **Nested-CA: a foundation for multiscale modeling of land use and land change**. 2006. 109 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006.

CASTELA, J. C.; KAM, S. P.; QUANG, D. D.; VERBURG, P. H.; HOANH, C. T. Combining top-down and bottom-up modelling approaches of land use/cover change to support public Policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam. **Land Use Policy**, v. 24, n. 3, p. 531–545, 2007.

CASTILHOS, Z. C.; FERNANDES, F. R. C. A bacia carbonífera sul catarinense e os impactos e passivos da atividade da indústria extrativa mineral de carvão na territorialidade. In: FERNANDES, F. R. C.; ENRÍQUEZ, M. A. R. da S.; ALAMINO, R. de C. J. (Eds.). **Recursos minerais e sustentabilidade territorial: grandes minas**. 1 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2011. p.361-386.

CASWELL, H. Theory and models in ecology: a different perspective. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 43, n. 1-2, p. 33-44, 1988.

CHOJNICK, Z. 1970. Prediction in Economic Geography. **Economic Geography**, v. 46, n. 2, p. 213-222, 1970.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 2. ed. São Paulo, SP: Edgard Blucher, 2002.

COLOSSI, G. E. **O processo de apropriação do espaço urbano em loteamentos populares**: Um estudo de caso no Loteamento Cidade dos Mineiros – Criciúma/SC. 2005. 246 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

COMPANHIA CATARINENSE DE ÁGUAS E SANEAMENTO – CASAN. **Programas ambientais previstos no projeto básico ambiental da Barragem do Rio São Bento - Plano Diretor**. 2004. 219 p.

CÔRTEZ, J. C.; D'ANTONA, A. O. Dinâmicas no uso e cobertura da terra: perspectivas e desafios da Demografia. **Revista Brasileira de Estudos de População**. Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p. 191-210, 2014.

COUCLELIS, H. From Cellular Automata to Urban Models: New Principles for Model Development and Implementation. **Environment and Planning B**, v. 24, n. 2, p. 165-174, 1997.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP: Ed. da UNICAMP, 1993. 170 p.

DANTAS, M. E.; GOULART, D. R.; JACQUES, P. D.; ALMEIDA, I. de S.; KREBS, A. S. J. Geomorfologia aplicada à gestão integrada de bacias de drenagem: bacia do rio Araranguá (SC), zona carbonífera sul-catarinense. **RIGeo**, João Pessoa, p. 761-762, 2005. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/637>. Acesso em: 10 ago. 2019.

DE LUCCA, G. R. **Dilemas da urbanização brasileira**: um estudo sobre as transformações espaciais na centralidade urbana de Criciúma/SC. 2015. 261 f. Dissertação (Mestrado em Urbanismo, História e Arquitetura da Cidade) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

DEUS, L. A. B. **Espaço e tempo como subsídios à construção de cenários de uso e cobertura da terra para o planejamento ambiental na Amazônia**: O caso da Bacia do Rio Acre. 2013. 400 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

DIAS, A. O. **Análise da cobertura florestal na composição da paisagem - Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, Estado de Santa Catarina**. 2018. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Andes**: Guide Gis and Image Processing. Worcester, Massachusetts: IDRISI Production - Clark University, 2006, 328 p.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Selva Manual**. Worcester, Massachusetts: IDRISI Production - Clark University, 2012, 332 p.

ELSTON, D.A.; BUCKLAND, S. Statistical modelling of regional GIS data: an overview.

Ecological Modelling, v. 67, n. 1 p. 81-102, 1993.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite**. 2013. Disponível em: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html. Acesso em: 10 nov. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA S. A. – EPAGRI. **Arroz irrigado: sistema pré-germinado**. Florianópolis: EPAGRI, 2002. 273 p.

FEARNSIDE, P.M. 2020. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências. p. 7-19. In: FEARNSIDE, P.M. (ed.) **Destrução e Conservação da Floresta Amazônica**, Vol. 1. Editora do INPA, Manaus, Amazonas. 368 p.

FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C. A. O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 2007, p. 5755-5762.

FOLLADOR, M. **Modellizzazione spazio-temporale delle dinamiche di uso del suolo ed analisi comparativa di differenti approcci predittivi**: Uso integrato di SIG e telerilevamento nello studio dei processi di deforestazione nella regione La Joyanca in Peten, Guatemala. 2008. 294 f. Tese (Doutor de Georecursos e Geotecnologias) - Università degli Studi di Bologna, Itália, 2008 e (Doutor em Geografia e Gestão Territorial) - Université de Toulouse II – Le Mirail, França, 2008.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**. Florianópolis, SC: Visual Books, 2001.

GANDOLFO, E. S.; HANAZAKI, N. Etnobotânica e urbanização: conhecimento e utilização de plantas de restinga pela comunidade nativa do distrito do Campeche (Florianópolis, SC). **Acta Botanica Brasílica**, Feira de Santana, v. 25, n. 1, p. 168-177, 2011.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 207 p.

HOFMANN, G. S.; MARCOS, M. E. M.; HASENACK, H. (2017). Expansão urbana e alterações do uso e cobertura do solo no município de Canoas (Rio Grande do Sul) no período 1984 a 2014. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 71-89, 2017.

HORN FILHO, N. O.; FELIX, A.; VIEIRA, C. V.; BAPTISTA, E. M. C. Geologia da planície costeira das folhas Jaguaruna e Lagoa de Garopaba do Sul, SC, Brasil. **Revista Discente Expressões Geográficas**, Florianópolis, ano 6, n. 6, p. 90–110, jun. 2010.

HURKMANS, R. T. W. L.; TERINK, W.; UIJLENHOET, R.; MOORS, E. J.; TROCH, P. A.; VERBURG, P. H. Effects of land use changes on streamflow generation in the Rhine basin. **Water Resources Research**, v. 45, p. 1–15, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico**

da Vegetação Brasileira. 2. ed. Rio de Janeiro, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- IBGE. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil: 2014 – 2016**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2018. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/monitoramento_cobertura_uso_terra/v1/. Acesso em: 14 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/263>. Acesso em: 01 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. 2010. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938#notas-tabela>. Acesso em: 01 nov. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências, 2012. 271 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. - Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 794 p.

ISLAM, M. S.; AHMED, R. Land use change prediction in Dhaka City using GIS aided markov chain modeling. **Journal of Life and Earth Science**, v. 6, p. 81–89, 2011.

JOHNSON, S. J. **An evaluation of land change modeler for ArcGIS for the ecological analysis of landscape composition**. 2009. 116 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geografia). Southern Illinois University Carbondale, Illinois, 2009.

LADWIG, N. I.; DAGOSTIM, V. Briefing da história do carvão mineral no estado de Santa Catarina – Brasil. In: COSTA, R. S.; DIAS, T. (orgs.). **Debates Interdisciplinares VIII**. Palhoça: Ed. Unisul, p. 63 – 79, 2017.

LADWIG, N. I.; DAGOSTIM, V.; BACK, A. J. Análise da paisagem da região carbonífera do Estado de Santa Catarina, Brasil, realizada com imagens de satélite. **Revista Raega**, Curitiba, v. 43, p. 93-107, fev. 2018.

LAMBIN, E. F. Modelling Deforestation Processes: A review. Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites. **TREES Series B**, Luxemburgo, n. 1. Office of the European Commission, Directorate-General XIII., Luxembourg. 128 p, 1994.

LAMBIN, E. F.; GEIST, J. H.; LEPELERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, p. 205-241, 2003.

LAMBIN, E. F.; BAULIES, X.; BOCKSTAEL, N.; FISCHER, G; KRUG. T.; LEEMANS, R.; MORAN, E. F.; RINDFUSS, R. R.; SATO, Y.; SKOLE, D.; TURNER II, B. L.; VOGEL, C. **Land-Use and Land-Cover Change (LUCC): Implementation Strategy**. Estocolmo, Suécia: 1999.

LIMA, T. F. M. **TerraME GIMS** – Uma interface gráfica para a descrição de modelos ambientais para a plataforma TerraME. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

LUIZ, C. H. P. **Modelagem da cobertura da terra e análise da influência do reflorestamento na transformação da paisagem**: Bacia do Rio Piracicaba e Região Metropolitana do Vale do Aço. 2014. 141 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

MACLNTYRE, R. L.; HAZEN, B. C.; BERRY, M. W. **The design of the land-use change analysis system (LUCAS): part I - graphical user interface**. Knoxville – Tennessee: University of Tennessee, 1994. 172 p.

MARCON, A. K.; SILVA, A. C.; HIGUCHI, P.; FERREIRA, T. S.; MISSIO, F. F.; SALAMI, B.; DALLA ROSA, A.; NEGRINI, M.; BENTO, M. A.; BUZZI JÚNIOR, F. Variação florístico-estrutural em resposta à heterogeneidade ambiental em uma floresta nebulosa em Ububici, Planalto Catarinense. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 439-450, set. 2014.

MARCONDES, T. A agropecuária em Santa Catarina: cenário atual e principais tendências. **Revista NECAT**, ano 5, nº 9, p. 8-38, jan-jun de 2016.

MARTINS, R. D.; FERREIRA, L. C. Desafios para a pesquisa sobre as dimensões humanas das mudanças ambientais globais: um olhar latino-americano. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 23, p. 95-108, jan./jun. 2011.

MASTELLA, A. F. M.; VIEIRA, C. A. O. Acurácia temática para classificação de imagens utilizando abordagens por pixel e por objetos. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 70, n. 5, p. 1618 – 1643, 2018.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. 1. ed. Brasília, DF: 2012. p. 191-208.

MEYER, W. B.; TURNER II, B. L. Human population growth and global land-use/cover change. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 23, p. 39-61, 1992.

MOREIRA, E. G. **Dynamic coupling of multiscale land change models**. 2009. 94 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2009.

PAVÃO, M. **Modelagem e análise de mudanças do uso e cobertura da terra no entorno da áreas protegidas**: o caso do Parque Estadual da Cantareira – São Paulo. 2017. 145 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PEDROSA B. M.; CÂMARA G. Modelagem Dinâmica: Conceitos básicos e exemplos de sistemas. In: CÂMARA G.; MONTEIRO, A. M. V (orgs.) **Ambiente Computacional para Modelagem Espacial Dinâmica**. São José dos Campos: 2003. p. 1-49.

PEREIRA, R. M. F. A. Expansão urbana e turismo no litoral de Santa Catarina: o caso das microrregiões de Itajaí e Florianópolis. **Interações**, Campo Grande, v. 12, n. 1, p. 101-111, 2011.

PEREIRA, C. D.; CUNHA, G. F.; SILVA, M. G. A simulação na Pesquisa Operacional: uma revisão literária. In: Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial, 9, 2015, Campo Mourão. **Anais...** Campo Mourão: UNESPAR, 2015, p. 1-9.

PERIN FILHO, C. **Introdução à simulação de sistemas**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 1995.

PIJANOWSKI, B. C.; SHELLITO, B.; PITHADIA, S.; ALEXANDRIDIS, K. Forecasting and assessing the impact of urban sprawl in coastal watersheds along eastern Lake Michigan. **Lakes & Reservoirs: Research and Management**, v. 7, p. 271-285, 2002.

PIJANOWSKI, B. C.; Calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of the Upper Midwest of the United States. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 19, n. 2, p. 197-215, 2005.

PIONTEKOWSKI, V. J. **Modelagem da dinâmica do uso e cobertura da terra do estado de Rondônia até 2050**. 2014. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília. 2014.

PIROLI, E. L.; DEMARCHI, J. C.; ISHIKAWA, D. K. Análise das mudanças no uso do solo da microbacia do córrego das Furnas, município de Ourinhos - SP, entre os anos de 1972 e 2007, e dos impactos sobre suas áreas de preservação permanente, apoiada em Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 6.333–6.340.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B. S.; COSTA, W. L. S. Dinâmica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: 2007, p. 3089-3096.

SAMPAIO, D. M. **Modelagem da cobertura do solo urbano no Vetor Norte da RMBH e projeções de cenários futuros considerando as novas infraestruturas viárias previstas**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC**. Florianópolis, 2017.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. **Plano básico de desenvolvimento ecológico-econômico da AMREC**. Criciúma, SC: AMREC, 1997. 2 v.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Planejamento. Diretoria de Estatística e Cartografia. **Atlas Geográfico de Santa Catarina: Diversidade da natureza – Fascículo 2.** Santa Catarina. 2. ed. Florianópolis: Ed. da UDESC, 2016.

SANTOS, E. V. S. **Suscetibilidade a movimentos de massa na Microbacia do Ribeirão Máximo, município de Luis Alves, SC.** 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis. 2012.

SEABRA, V. S.; CRUZ, C. M. Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do Rio São João, RJ. **Sociedade e Natureza**, v. 25, n. 2, p. 411-426, 2013.

SHIBA, M. H.; SANTOS, R. L.; QUINTANILHA, J. A.; KIM, H. Y. Classificação de imagens de sensoriamento remoto pela aprendizagem por árvore de decisão: uma avaliação de desempenho. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: 2005, p. 4319-4326.

SKOLE, D.L.. Data on Global Land-Cover Change: Acquisition, Assessment, and Analysis. In: MEYER, W. B.; TURNER II, B. L (Org.). **Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective.** Cambridge: Cambridge University Press, 1994. p. 437-471.

SOARES FILHO, B. S. **Modelagem dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica.** 1998. 299 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

SOARES FILHO, B. S.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; DIAZ, M. C. V.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém–Cuiabá corridor. **Global Change Biology**, n. 10, p. 745–764, 2004.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P., MCGRATH, D. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 137-152, 2005.

STRACK, J. **GPSS: modelagem e simulação de sistemas.** Rio de Janeiro, RJ: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984.

TANG, Z.; ENGEL, B. A.; PIJANOWSKI, B. C.; LIM, K. J. Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. **Journal of Environmental Management**, v. 76, p. 35-45, 2005.

TRISURAT, Y.; ALKEMADE, R.; VERBURG, P. Projecting land-use change and its consequences for biodiversity in northern Thailand. **Environment Management**, v. 45, n. 8, p. 626–639, 2010.

TURNER, B. L.; MEYER, W. B. Land use and land cover in global environmental change: considerations for study. **International Social Science Journal**, v. 43, n. 130, p. 669-679, 1991.

UMBELINO, G. J. M. **Simulações de distribuição espacial domiciliar e projeções demográficas intraurbanas com apoio de geotecnologias**. 2012. 215 f. Tese (Doutorado em Demografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

VERBUG, P. H.; VELDKAMP, W. S. A.; ESPALDON, R. L. V.; MASTURA, S. S. A. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. **Environmental Management**, v. 22, n. 3, p. 391–405, 2002.

VIBRANS, A. C.; MISZINSKI, J. MÜLLER, J. J.; SOUZA, J. M.; REIS, M. S. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina**: metodologia dos trabalhos executados 2007 – 2011. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau, 2013.

VOINOV, A.; COSTANZA, R.; WAINGER, L.; BAUMAS, R.; VILLA, F.; MAXWELL, T.; VOINOV, H. Patuxent landscape model: integrated ecological economic modeling of a watershed. **Environmental Modelling and Software**, v. 14, p. 473–491, 1999.

VOINOV; CONSTANZA, R.; FITZ, C.; MAXWELL, T. Patuxent landscape model: 2.model development nutrients, plants and detritus. **Water Resources**, v. 34, n. 3, p. 268-276, 2007.

ZUBEN, F. J. V. Uma caricatura funcional de redes neurais artificiais. **Learning and Nonlinear Models** – Revista da Sociedade Brasileira de Redes Neurais, vol. 1, n. 2, p. 66-76, 2003.