

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios

Programa de Pós-Graduação em Agronegócios

Heinrich Hasenack

**DETERMINANTES BIOFÍSICOS E GEOPOLÍTICOS DO USO DA  
TERRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

Porto Alegre, dezembro de 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios

Programa de Pós Graduação em Agronegócios

HEINRICH HASENACK

**DETERMINANTES BIOFÍSICOS E GEOPOLÍTICOS DO USO DA  
TERRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

**Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios do Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronegócios.**

Orientador: Prof. Dr. Homero Dewes

Dezembro, 2017

### CIP - Catalogação na Publicação

Hasenack, Heinrich

Determinantes biofísicos e geopolíticos do uso da terra no estado do Rio Grande do Sul, Brasil / Heinrich Hasenack. -- 2017.

70 f.

Orientador: Homero Dewes.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. campos. 2. sistema ecológico. 3. ecorregião. 4. uso da terra. 5. Rio Grande do Sul. I. Dewes, Homero, orient. II. Título.

HEINRICH HASENACK

**DETERMINANTES BIOFÍSICOS E GEOPOLÍTICOS DO USO DA  
TERRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

**Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios do Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronegócios.**

Aprovado em: 18/12/2017

Banca examinadora

Prof. Dr. Edson Talamini – PPG Agronegócios

Prof. Dr. Gerhard Ernst Overbeck – UFRGS-Departamento de Botânica

Prof. Dr. Moisés Waismann – Universidade La Salle, Canoas-RS

Orientador – Prof. Dr. Homero Dewes – PPG Agronegócios

## AGRADECIMENTOS

Aos professores e colegas de turma do CEPAN. Foi um período gratificante. Pude visitar temas que há tempos estavam ‘na gaveta’ e ao mesmo tempo aprendi muitas coisas novas;

À CAPES, pelo acesso à plataforma Periódicos CAPES, possibilitando amplo acesso à bibliografia nacional e internacional;

Ao Gabriel Selbach Hofmann , ao Eduardo Vélez Martin e ao Rafael Trevisan, pela amizade, pelos trabalhos conjuntos e pela troca de experiências nas inúmeras horas de chimarrão;

À Ilsi Boldrini e ao Carlos Alberto Flores, pela amizade e por compartilhar de forma incondicional não apenas seu conhecimento, mas também suas experiências de vida;

Às várias gerações de bolsistas do Labgeo ao longo de todos esses anos. Aprendi muito com eles;

À Lilian Ferraro, pela grande amizade desde os tempos da faculdade e pela troca de ideias na companhia do chimarrão, lá na FEPAM;

À Eliana Casco Sarmento pela amizade de tantos anos e pelos trabalhos conjuntos no campo e no laboratório;

Ao colega Eliseu Weber, excepcional profissional com quem tenho o privilégio de trabalhar há mais de duas décadas em projetos e trabalhos conjuntos, pelos conselhos e auxílio na elaboração da tese;

Aos membros da banca Moisés Waismann, Gerhard Overbeck e Edson Talamini, por terem aceitado participar da defesa da qualificação e da defesa de Tese, e pelas sugestões feitas visando o aprimoramento do trabalho, muito obrigado;

Ao professor Homero Dewes, pela orientação e constante inspiração e pelo convite para realizar o doutorado junto ao PPG Agronegócios;

À Simone, ao Alexandre e ao Matias, pela enorme paciência que tiveram em esperar pela conclusão do doutorado;

Também gostaria de lembrar duas pessoas que foram muito importantes na minha trajetória profissional e que sempre torceram por mim: os professores Tuiskon Dick e Karl-Friedrich Schreiber.

# DETERMINANTES BIOFÍSICOS E GEOPOLÍTICOS DO USO DA TERRA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL <sup>1/</sup>

Autor: Heinrich Hasenack

Orientador: Prof. Homero Dewes

## RESUMO

A produção de alimentos para uma população mundial ainda em crescimento desafia pesquisadores e tomadores de decisão para soluções que garantam a todos uma dieta adequada em quantidade e qualidade. Atualmente, o uso agrícola da terra ocupa a maior parte da superfície terrestre, um terço da qual está degradada. Para garantir a alimentação das próximas gerações, é necessário entender como funcionam os sistemas produtivos para melhor avaliar seu ajuste às condições ambientais locais. O objetivo deste trabalho é analisar o uso da terra no estado do Rio Grande do Sul em relação ao ambiente natural, baseado em atributos biofísicos e na história da ocupação humana do território. A abordagem ecossistêmica com o uso de algumas variáveis possibilitou, com base no conhecimento existente, listar fatores biofísicos relevantes à distribuição dos ecossistemas e com a ajuda dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) integrá-los para propor uma nova regionalização. Foram delimitadas 14 unidades espaciais representando sistemas ecológicos ao nível de mesoescala, quatro deles referentes a tipologias florestais e dez campestres. A análise de um mapa de uso da terra e cobertura vegetal mostrou que quatro classes de uso agrícola ocupam 48,7% dos 281.738 km<sup>2</sup> do território do estado. Desse total 22,2% são usados com agricultura de sequeiro principalmente nos sistemas ecológicos campestres em locais favoráveis à mecanização agrícola. 16,1% apresentam uso agrícola misto, dominante nos sistemas florestais, 6,9% correspondem a cultivo de arroz em sistemas ecológicos campestres com solos úmidos, e 3,6% são ocupados com silvicultura. Os campos ocupam 31,2% da superfície do estado e são utilizados com pecuária sobre campo nativo. Florestas ocupam 11,9%, corpos d'água naturais e artificiais ocupam 6,9%, áreas urbanizadas e mineração a céu aberto, 0,91 % e outras coberturas naturais não vegetadas os restantes 0,59%. A observação da flora presente em cada sistema ecológico mostrou coerência com a delimitação proposta, refletindo que sua distribuição resulta da expressão dos fatores biofísicos em questão, o que também deve afetar o desempenho das culturas agrícolas. O processo histórico de povoamento do estado também pode ser observado pela conversão de forma mais pronunciada em sistemas ecológicos florestais do que dos campestres. O presente estudo mostra que uma maior proporção de cobertura de campo nativo do estado está associada a alguma limitação topográfica ou edáfica para uso agrícola, embora possa ter uso econômico com a manutenção de serviços ecossistêmicos. Investimentos em pesquisa podem contribuir para um conhecimento mais profundo e detalhado das condições ambientais e dos sistemas de produção visando um uso adequado ao potencial natural, garantindo assim um uso sustentável com manutenção dos serviços ambientais.

---

1/ Tese de doutorado em Agronegócios. UFRGS-Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios. Porto Alegre. (62p). Dezembro, 2017.

# BIOPHYSICAL AND GEOPOLITICAL DETERMINANTS OF LAND USE IN STATE RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL <sup>2/</sup>

Author: Heinrich Hasenack  
Adviser: Prof. Homero Dewes

## ABSTRACT

Food production for a still-growing world population challenges researchers and decision makers to propose solutions that guarantee everyone a proper diet in quantity and quality. Currently, agricultural land use occupies most of the land surface, one-third of which is degraded. To guarantee food for the next generations, it is necessary to understand how the productive systems work to better evaluate their adjustment to local environmental conditions. The objective of this work is to analyze the land use in the state of Rio Grande do Sul, southern Brazil, in relation to the natural environment, based on biophysical attributes and on the history of human occupation of the territory. The ecosystem approach with use of a few variables allowed, based on existing knowledge, the listing of biophysical factors relevant to the distribution of ecosystems integrating with the help of Geographic Information Systems (GIS) to propose a new regionalization. We delimited 14 spatial units representing ecological systems at the mesoscale level, four of them referring to forest typologies and ten to grassland ones. The analysis of a land use/land cover map showed that four agriculture land use classes cover 48.7% of the 281.738 km<sup>2</sup> State's territory. 22.2% are used with annual crops (soybean, corn), mainly in grassland ecological systems in suitable areas for mechanization. 16.0% show mixed agricultural use, dominant in forest ecological systems, 6.9% correspond to paddy rice on grassland ecosystems with humid soils and 3.6% are used with silviculture. Grasslands cover 31.2% of the State's surface, mainly used for cattle ranching on natural grasslands. Forests cover 11.9%, natural and man-made water bodies cover 6.7%, urban areas and opencast mining represent 0.9% and other non-vegetated natural areas complete the remaining 0.6%. The observation of the flora present in each spatial unit showed coherence with the proposed delimitation, reflecting that its distribution results from the expression of the biophysical factors in question, which should also affect the performance of agricultural crops. The historical settlement process of the state can also be observed by the conversion of natural areas for agricultural use in a discernible way in ecological forest systems than in grassland ones. The present study shows that a greater proportion of native grassland cover of the state is associated with some topographic or edaphic limitation for agricultural use, although it may have economic use while maintaining ecosystem services. Investments in research may contribute to a deeper and more detailed knowledge of the environmental conditions and production systems aiming at a use adjusted to the natural potential of the land, assuring a sustainable use with maintenance of environmental services.

---

2/ Doctoral Thesis in Agribusiness. UFRGS-Programa de Pós-Graduação em Agronegócios, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios. Porto Alegre. (62p). December, 2017.

## SUMÁRIO

	Página
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo geral .....	3
1.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. Estrutura da tese.....	3
<b>2. CAPÍTULO I – DESAFIOS DA PESQUISA VISANDO À SUSTENTABILIDADE DO BIOMA PAMPA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Uma breve caracterização do bioma Pampa.....	5
2.2. Potenciais impactos das atividades agropecuárias sobre o Bioma e seus efeitos sobre o meio ambiente .....	11
2.2.1. Produção pecuária.....	11
2.2.2. Cultivos anuais .....	12
2.2.3. Cultivos perenes .....	14
2.3. Temas prioritários para a sustentabilidade das atividades agropecuárias.....	15
<b>3. CAPÍTULO II – SISTEMAS ECOLÓGICOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL: DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO .....</b>	<b>20</b>
3.1. Introdução.....	20
3.2. Material e métodos .....	22
3.2.1. Caracterização da área de estudo.....	22
3.2.2. Material utilizado.....	24
3.2.3. Metodologia.....	25
3.3. Resultados.....	28
3.3.1. Limites e características dos sistemas ecológicos campestres.....	30
3.4. Discussão .....	35
3.5. Conclusões.....	37
<b>4. CAPÍTULO III – INFLUÊNCIA DE ATRIBUTOS BIOFÍSICOS NA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DO USO ATUAL DA TERRA NO RIO GRANDE DO SUL .....</b>	<b>38</b>
4.1. Introdução .....	38



4.2. Material e métodos .....	40
4.2.1. Caracterização da área de estudo.....	40
4.2.2. Material utilizado.....	41
4.2.3. Metodologia.....	42
4.3. Resultados e discussão.....	42
4.3.1. Categorias de uso do solo e cobertura vegetal.....	42
4.3.2. Extensão e distribuição nos sistemas ecológicos.....	44
4.4. Conclusões.....	57
<b>5. CONCLUSÃO GERAL.....</b>	<b>59</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>

## LISTA DE QUADROS

Página

- Quadro 1. Classes de altitude e respectiva denominação segundo o sistema de classificação da vegetação brasileira para latitudes superiores a 24° S (IBGE, 2012), e classes de declividade simplificadas e respectivas fases de relevo no sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2013)..... 26
- Quadro 2. Compartimentos do relevo identificados pela combinação de classes de altitude significativas à vegetação (IBGE, 2012) com classes de declividade simplificadas a partir de fases de relevo (EMBRAPA, 2013). ..... 26
- Quadro 3. Área e proporção das tipologias campestres delimitadas para o Rio Grande do Sul e suas características gerais em função da altitude, da declividade e dos solos, e tipologias florestais segundo IBGE (1986) (ALT: campo de altitude; LIT: campo litorâneo; ARB: campo arbustivo; CRI: campo misto do cristalino oriental; AND: campo misto de andropogôneas e compostas; GRA: campo gramíneo; BAR: campo com barba-de-bode; ARE: campo com areais; ESP: campo com espinilho; SOL: campo de solos rasos; ARA: floresta com araucária; INT: floresta subtropical interior; COS: floresta subtropical costeira; TRO: floresta tropical)..... 29
- Quadro 4. Área (hectares) de diferentes categorias de uso do solo e cobertura vegetal, ano base 2009, nos sistemas ecológicos do Rio Grande do Sul (ALT: campo de altitude; LIT: campo litorâneo; ARB: campo arbustivo; CRI: campo misto do cristalino oriental; AND: campo misto de andropogôneas e compostas; GRA: campo gramíneo; BAR: campo com barba-de-bode; ARE: campo com areais; ESP: campo com espinilho; SOL: campo de solos rasos; ARA: floresta com araucária; INT: floresta subtropical interior; COS: floresta subtropical costeira; TRO: floresta tropical)..... 46
- Quadro 5. Proporção (%) de diferentes categorias de uso do solo e cobertura vegetal, ano base 2009, nos sistemas ecológicos do Rio Grande do Sul (ALT: campo de altitude; LIT: campo litorâneo; ARB: campo arbustivo; CRI: campo misto do cristalino oriental; AND: campo misto de andropogôneas e compostas; GRA: campo gramíneo; BAR: campo com barba-de-bode; ARE: campo com areais; ESP: campo com espinilho; SOL: campo de solos rasos; ARA: floresta com araucária; INT: floresta subtropical interior; COS: floresta subtropical costeira; TRO: floresta tropical)..... 47

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Localização do bioma Pampa no Estado do Rio Grande do Sul.....	6
Figura 2. Grandes conjuntos fisionômicos da vegetação do bioma Pampa (adaptado de MapBiomas, 2017). .....	8
Figura 3. Principais tipos de cobertura vegetal e uso do solo no Bioma Pampa em 2002 (adaptado de Hasenack et al., 2015).....	10
Figura 4. Principais tipos de cobertura vegetal e uso do solo no Bioma Pampa em 2009 (adaptado de Weber et al., 2016).....	11
Figura 5. Localização do Rio Grande do Sul na costa oriental subtropical da América do Sul.....	23
Figura 6. Ecorregiões da América do Sul em nível de macroescala, contemplando os níveis hierárquicos Domínio e Divisão. Em destaque, Domínio e Divisões que interceptam o estado do RS. Fonte: Bailey (2008).....	23
Figura 7. (A) Compartimentos do relevo, obtidos pela combinação de classes de altitude significativas à vegetação (IBGE, 2012) e classes de declividade simplificadas a partir de faixas usadas em levantamentos de solos (EMBRAPA, 2013); (B) Grupos funcionais de solos, com base em hidromorfismo, profundidade e fertilidade a partir do mapa de solos (IBGE/SC-SAA/RS, 2003); (C) Regiões fitoecológicas florestais segundo IBGE (2012) e a região campestre alvo do presente trabalho; (D) Tipologias campestres do Rio Grande do Sul delimitadas com base em A, B e C. (Autoria própria) .....	28
Figura 8. Localização do Rio Grande do Sul na costa oriental da América do Sul. ....	41
Figura 9. Mapa de uso e cobertura do solo (Weber et al., 2015) com legenda simplificada e limites dos sistemas ecológicos do RS (Capítulo 2 da Tese). Elaboração própria. ....	44
Figura 10. Distribuição dos principais usos agrícolas nos diferentes sistemas ecológicos do estado do Rio Grande do Sul. Sistemas ecológicos campestres com solos bem drenados: ALT- campo de altitude, BAR-campo com barba-de-bode, ARE-campo com areais, CRI-campo misto do cristalino oriental; Sistemas ecológicos campestres com solos úmidos: ESP-campo com espinilho, SOL-campo de solos rasos; LIT-campo litorâneo; ARB-campo arbustivo; AND-campo misto de andropogôneas e compostas; GRA-campo graminoso; Sistemas ecológicos florestais: COS-floresta subtropical costeira, INT-floresta subtropical interior; TRO-floresta tropical e ARA-floresta com araucária. Elaboração própria.....	57

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>ALT</b>	Campo de altitude
<b>AND</b>	Campo misto de andropogôneas e compostas
<b>ARB</b>	Campo arbustivo
<b>ARE</b>	Campo com areais
<b>BAR</b>	Campo com barba-de-bode
<b>CNPq</b>	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
<b>CRI</b>	Campo misto do cristalino oriental
<b>CRS</b>	Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais
<b>CT&amp;I</b>	Ciência, Tecnologia e Inovação
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>ESP</b>	Campo com espinilho
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GRA</b>	Campo graminoso
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>INPE</b>	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>IRGA</b>	Instituto Riograndense do Arroz
<b>LIT</b>	Campo litorâneo
<b>MDS</b>	Mapeamento Digital de Solos
<b>ONG</b>	Organização não governamental
<b>RS</b>	Rio Grande do Sul
<b>SAA</b>	Secretaria de Agricultura e Abastecimento
<b>SC</b>	Santa Catarina
<b>SIG</b>	Sistema de Informação Geográfica
<b>SOL</b>	Campo de solos rasos
<b>SRTM</b>	Shuttle Radar Topography Mission
<b>TNC</b>	The Nature Conservancy
<b>UFRGS</b>	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
<b>UFPEL</b>	Universidade Federal de Pelotas
<b>UFSM</b>	Universidade Federal de Santa Maria
<b>UFFS</b>	Universidade Federal da Fronteira Sul
<b>UNIPAMPA</b>	Universidade Federal do Pampa
<b>WGS84</b>	World Geodetic System 1984

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento da população mundial em ritmo maior do que aquele da produção dos meios de suprimento necessários à sua subsistência é fato discutido no meio acadêmico desde os tempos de Thomas Malthus no final do século XVIII (Malthus, 2007). Segundo o autor, o aumento populacional era superior ao dos meios de subsistência. Caso não houvessem estratégias de controle do crescimento populacional, esse controle ocorreria como consequência da fome, da desnutrição e de doenças, ou mesmo em razão de conflitos. A história mostra, porém, que o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico conseguiram aumentar significativamente a produção de alimentos o que segundo Ester Boserup, foi alcançado justamente pela necessidade de alimentar uma população em crescimento (Boserup, 2005).

A população mundial é de 7,3 bilhões de habitantes e estimativas indicam que em 2100 atingirá 11,2 bilhões de habitantes (UN, 2015). Embora o mundo produza quantidade de alimentos suficiente para suprimento da população atual, parte da humanidade tem acesso limitado a ele, em função de questões logísticas ou falta de recursos para adquiri-lo. Assim, além de fazer o alimento chegar à população necessitada atual, persiste o desafio de aumentar a produção de alimentos para outros quatro bilhões de habitantes que estão por vir até o final do século.

Com relação ao primeiro problema, a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas reconhece que “... a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, incluindo a pobreza extrema, é o maior desafio global e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável” (UN, 2018). Por outro lado, as estratégias para o aumento da produção de alimentos em escala global geralmente partem do pressuposto de que a quantidade de hectares ainda não ocupados pela agricultura estaria potencialmente disponível para sua expansão (Godfray et al., 2010; Foley, 2011). Entretanto, preocupados com o comprometimento do solo e da água, bem como da conservação da biodiversidade, outros autores buscam encontrar alternativas para uma expansão agrícola com menor impacto sobre os serviços

ambientais e a conservação da biodiversidade (Montanarella, 2015; Dobrovolski et al., 2014).

Nesse contexto, estudos do uso da terra são fundamentais, pois sua natureza é interdisciplinar e envolve tanto a maneira como os atributos biofísicos da terra são manipulados quanto a intenção por trás dessa manipulação – o propósito pelo qual a terra é usada (Turner II et al., 1995). O uso da terra é o reflexo da interação, em um dado local, das condições naturais ou biofísicas, de aspectos culturais e históricos, institucionais e de mercado, e das decisões do agricultor (Briassoulis, 2000). Portanto, para integrar variáveis de espectro tão abrangente, são necessários métodos e técnicas de diferentes áreas do conhecimento que considerem simultaneamente tanto a dimensão temporal quanto a dimensão espacial.

A dimensão temporal pode variar do período de uma safra, que envolve alguns meses, das transformações ocorridas num dado lugar em algumas décadas de cultivo, ou até mesmo do período histórico desde a origem da agricultura até a atualidade. A dimensão espacial, de modo equivalente, pode variar de uma propriedade rural, das unidades político-administrativas ou regiões naturais, até a totalidade do globo terrestre. Porém, como a superfície da Terra não é homogênea, ao se ampliar a escala espacial, tem-se como consequência a impossibilidade de considerar particularidades de cada local, que o tornam único, devido à necessidade de agregação das informações para um nível mais genérico.

A abordagem da dimensão espacial demanda o emprego de dados geoespaciais adequados, os quais podem ser oriundos de várias fontes, desde levantamentos em campo até equipamentos baseados em sensores remotos. Na segunda metade do século passado, levantamentos de recursos naturais e avaliação de capacidade de uso das terras fizeram uso intensivo de fotografias aéreas (Troll, 1966; Brasil, 1973). A partir da década de 1970 imagens de sensoriamento remoto obtidas por satélites aumentaram substancialmente a disponibilidade e a qualidade de dados sobre a superfície terrestre. Inicialmente com baixa resolução espacial, os satélites propiciaram pela primeira vez um imageamento completo da Terra e sua repetição periódica, permitindo avaliar mudanças temporais no uso da terra e na cobertura vegetal (Global Forest Watch, 2018; MapBiomas, 2017). Além disso, adquiridas digitalmente e registrando informações espectrais da superfície terrestre, elas podem ser exploradas não apenas visualmente, mas também numericamente via processamento em computador.

Para contextualizar o uso da terra no tempo, também podem ser usados dados censitários e de estimativas e acompanhamento de safras, obtidos com periodicidade regular para diferentes níveis administrativos (propriedade, município, unidade da federação, por exemplo). No Brasil o censo agropecuário tem periodicidade de dez anos, enquanto a aquisição de informações sobre safras é feita com periodicidade mais frequente, acompanhando o ciclo das culturas (IBGE, 2006; CONAB, 2018). Associados a dados meteorológicos e econômicos, levantamentos censitários e de safras permitem monitorar a área ocupada, a produção dos cultivos e seu valor de mercado. Como os dados censitários referem-se a unidades espaciais, em intervalo de tempo mais amplo, eles também possibilitam monitorar a mobilidade das atividades agropecuárias no território.

### **1.1. Objetivo geral**

A presente tese tem como objetivo avaliar a influência do ambiente biofísico no uso da terra do estado do Rio Grande do Sul.

### **1.2. Objetivos específicos**

Identificar desafios à pesquisa sobre produção agropecuária sustentável no Bioma Pampa;

Propor uma delimitação de unidades ambientais homogêneas com base em variáveis biofísicas e da vegetação;

Avaliar o uso da terra em relação ao histórico de ocupação humana e às políticas governamentais que a induziram, bem como as potencialidades e limitações decorrentes dos fatores biofísicos do meio.

### **1.3. Estrutura da tese**

Esta tese de doutorado está organizada em capítulos na forma de artigos com vistas a facilitar a abordagem dos temas e a publicação dos resultados. O Capítulo I aborda um conjunto de desafios em pesquisa relacionados à sustentabilidade da produção agropecuária no bioma Pampa. Ele faz uma caracterização geral do ambiente da região, aponta mudanças recentes no uso do solo e na cobertura vegetal, relaciona potenciais impactos e efeitos dos principais usos sobre o ambiente e identifica áreas prioritárias de pesquisa voltadas à sua sustentabilidade. O texto foi redigido a convite da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) para inclusão na forma de capítulo de um livro dedicado a temas de pesquisa e inovação visando à sustentabilidade da produção agropecuária nos diferentes biomas do Brasil, com previsão de publicação em 2018.

O Capítulo II trata da caracterização e delimitação de diferentes sistemas ecológicos campestres do Rio Grande do Sul, a maioria deles pertencente ao bioma Pampa, com base na análise dos principais fatores biofísicos do meio que regulam a distribuição das espécies vegetais. Os resultados revelam que a vegetação campestre do estado apresenta grande variabilidade quanto aos fatores ambientais, fato confirmado pela distinta composição de espécies de cada tipologia identificada, fornecendo importantes subsídios para a definição e avaliação de estratégias de uso e conservação.

O Capítulo III avança nesse sentido, analisando a situação de cada sistema ecológico quanto à extensão dos principais tipos de uso do solo e de cobertura vegetal, relacionando-os ao histórico de ocupação humana e às políticas governamentais que a induziram, bem como potencialidades e limitações impostas pelos fatores biofísicos do meio. Os resultados mostram que, assim como a vegetação nativa, tais fatores também são responsáveis pela heterogeneidade do uso do solo entre os sistemas ecológicos. O texto aponta casos em que a extensão do uso antrópico ultrapassou limites recomendados, bem como aborda problemas relacionados a determinados usos, apontando possíveis linhas de ação para contorná-los, enfocando a sustentabilidade.



## **2. CAPÍTULO I – DESAFIOS DA PESQUISA VISANDO À SUSTENTABILIDADE DO BIOMA PAMPA**

### **2.1. Uma breve caracterização do bioma Pampa**

O conceito de sustentabilidade, no contexto dos biomas, pressupõe que se leve em conta suas singularidades ambientais, pois elas determinam vocações e potencialidades, bem como limitações e fragilidades. O bioma Pampa localiza-se no extremo sul do Brasil onde ocupa uma área de 176.496 km<sup>2</sup>, totalizando aproximadamente 2,07% do território brasileiro (IBGE, 2004) (Figura 1). Ele corresponde à porção setentrional de uma região onde predominam os campos subtropicais também presentes no Uruguai e na Argentina, conhecida como Campos do Rio da Prata (Soriano et al., 1992). O domínio da vegetação herbácea na região é uma herança de condições paleoclimáticas que remontam ao último período glacial, há cerca de 18.000 anos (Behling et al., 2005). O aumento da temperatura e da umidade a partir no Holoceno superior, há cerca de 5.000 anos, criou condições propícias ao estabelecimento concomitante de vegetação florestal, embora a região tenha permanecido predominantemente campestre (Behling et al., 2009).

Desde a chegada dos europeus, a vegetação campestre nativa do Pampa serve de fonte de recursos forrageiros para a pecuária. O manejo desta atividade afeta a vegetação campestre, principalmente pelo pastejo e pisoteio dos herbívoros domésticos e, em algumas situações, pelo uso do fogo. De um lado, isto alterou a fisionomia original dessa vegetação, mas por outro, tem permitido por longo tempo a manutenção da biodiversidade campestre e evitado a progressão da vegetação arbustiva e florestal.

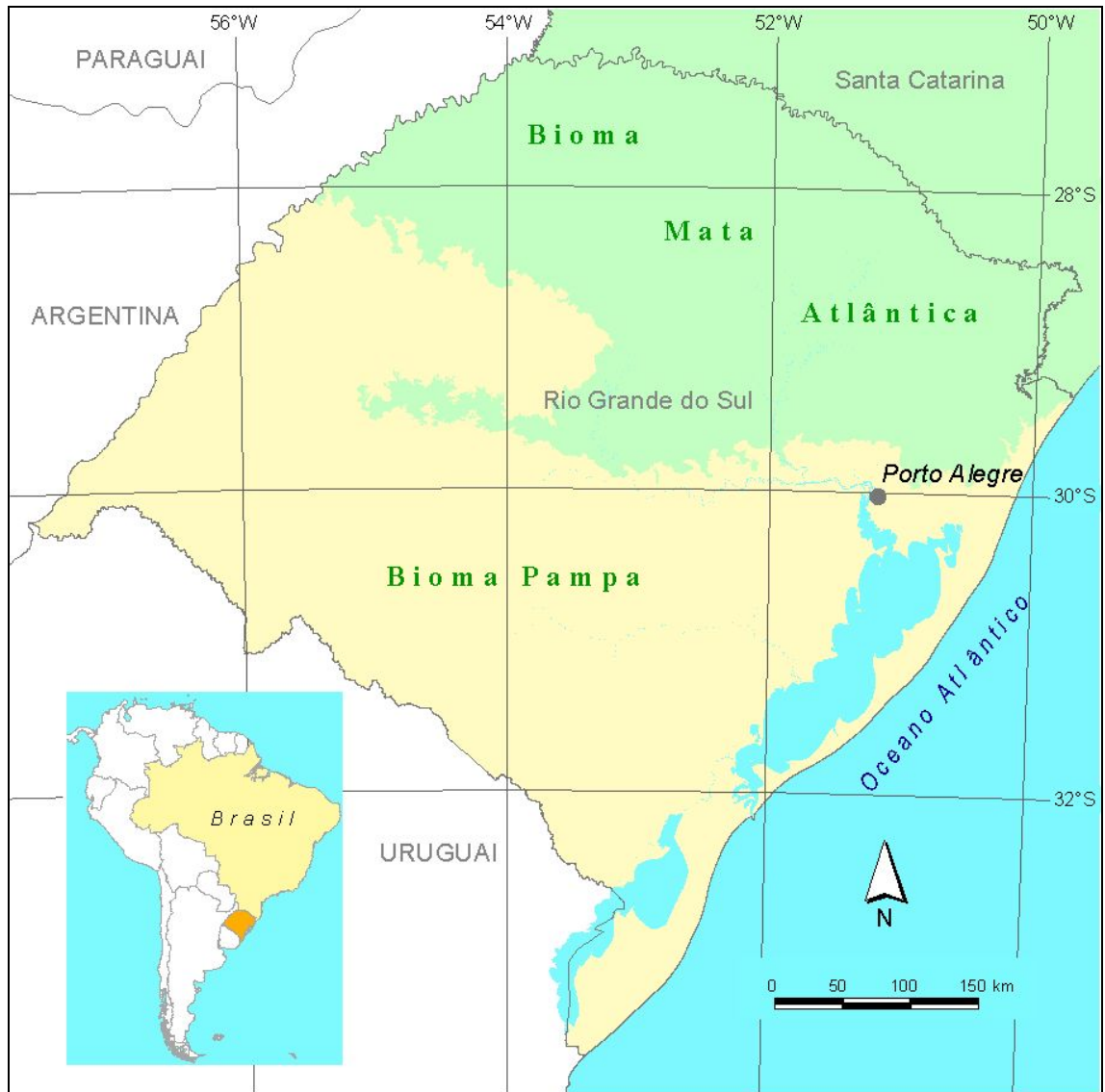


Figura 1. Localização do bioma Pampa no Estado do Rio Grande do Sul.

O clima atual no bioma Pampa é subtropical úmido. A temperatura média anual é de 18,3 °C, sendo janeiro o mês mais quente, com temperatura média de 23,8 °C, e junho o mais frio, com temperatura média de 13,0 °C. A precipitação total anual é de 1.534,0 mm, sendo abril o mês com menor precipitação (112,5 mm) e setembro o mês mais chuvoso (143,9 mm) (INMET, 1992). A temperatura apresenta clara sazonalidade, com verão e inverno bem definidos, mas a amplitude da variação anual da precipitação mensal não é suficiente para caracterizar um período seco e outro chuvoso. Contudo, é comum na região, especialmente nas localidades próximas à fronteira com o Uruguai, a ocorrência de deficiência hídrica durante os meses do verão, provocada pelas altas temperaturas diárias no período (Leivas et al., 2006). Adicionalmente, existe uma considerável variabilidade interanual da precipitação e da temperatura, em grande parte relacionada à ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña (Berlato & Fontana, 2003).

Durante a primavera e no verão a Massa Tropical Marítima atua na região do Pampa provocando precipitações convectivas de grande intensidade e de curta duração (Nimer, 1979). No outono-inverno, aumenta a frequência dos anticiclones migratórios polares associados à Massa Polar Marítima, trazendo chuvas de duração mais prolongada (Hasenack & Ferraro, 1989). Nesse período as geadas são frequentes, embora elas possam ocorrer também no outono e na primavera (Nimer, 1979). É comum a ocorrência de granizo, fenômeno mais frequente no fim do inverno e na primavera, devido à passagem de frentes frias pela região, as quais podem vir associadas a áreas de alta instabilidade (Berlato et al., 2000; Cunha et al., 2001).

A geologia compreende uma diversidade de litologias que incluem rochas graníticas do Eon Arqueano, areníticas e basálticas da Era Mesozóica e depósitos sedimentares da Era Cenozóica. O relevo varia de plano a forte ondulado. Nas planícies de inundação dos maiores rios e na planície costeira as altitudes normalmente são inferiores a 10 metros. Em contrapartida, o topo das formações graníticas do Planalto Sul-Rio-Grandense, se aproxima dos 500 metros. A combinação da diversidade de litologias, altitudes e declividades gera diversas formas do relevo, as quais correspondem a diferentes unidades geomorfológicas e compreendem uma grande variedade de tipos de solos (IBGE, 1986).

Esses fatores condicionam a vegetação do bioma Pampa, sendo possível identificar três grandes conjuntos fisionômicos: os mosaicos campo-floresta, sobre as formações graníticas, os campos de terras baixas, sobre os depósitos sedimentares e os campos de solos bem drenados (Figura 2). Em geral, a vegetação florestal ocorre ao longo da drenagem, e também nas encostas voltadas para o quadrante sul, as quais recebem menor radiação ao longo do ano e, conseqüentemente, são mais úmidas, favorecendo o estabelecimento de vegetação arbórea (Carlucci et al., 2015). A riqueza de plantas campestres do bioma Pampa é notável, com cerca de 2.150 espécies (Boldrini et al., 2015). Boa parte das espécies pertence às famílias das gramíneas (Poaceae) e das compostas (Asteraceae) (Boldrini, 2009). Há também uma elevada riqueza de cactáceas (Cactaceae), com 44 espécies (Carneiro et al., 2016), conferindo importância global a este bioma (Goettsch et al., 2015). A maior parte da flora do Pampa tem origem na província fitogeográfica do Chaco, mas elementos da flora Amazônica e Andino-patagônica também estão presentes (Cabrera & Willink, 1980).

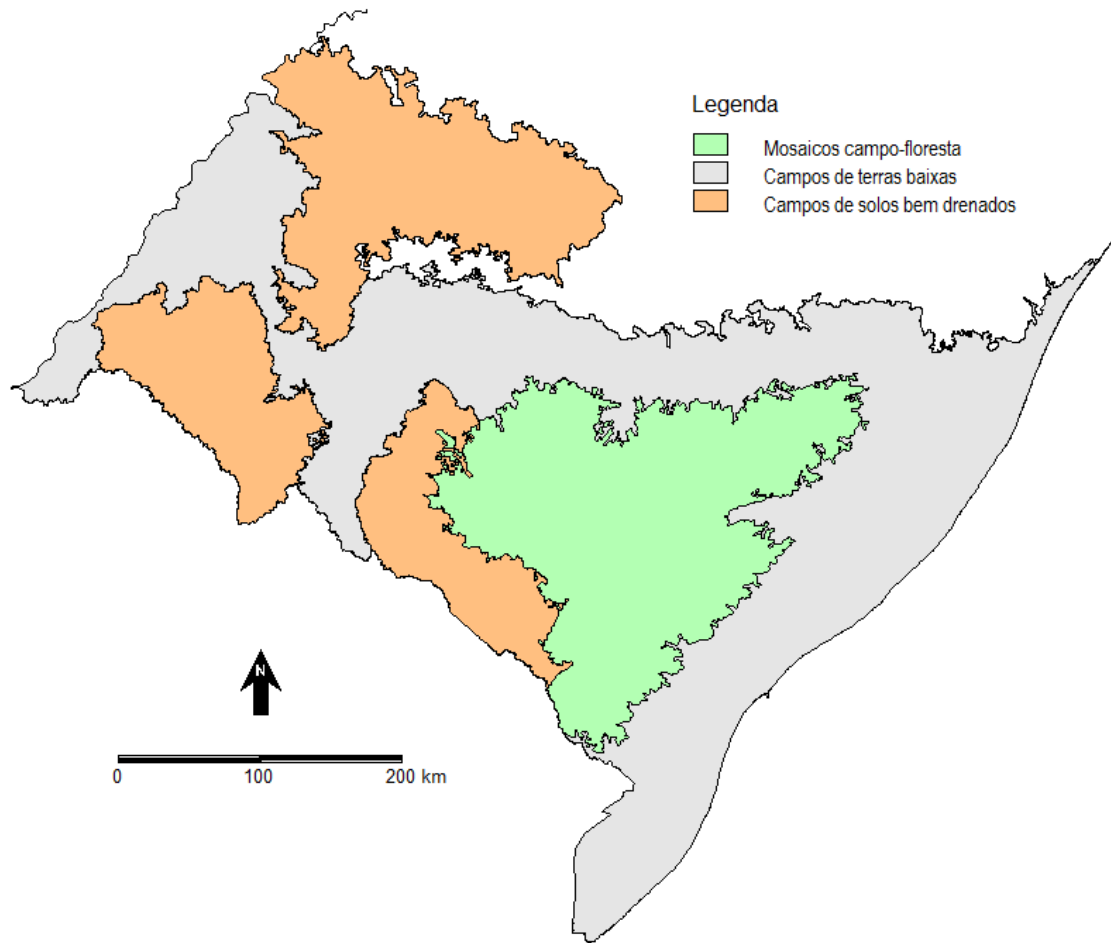


Figura 2. Grandes conjuntos fisionômicos da vegetação do bioma Pampa (adaptado de MapBiomas, 2017).

A menor complexidade dos ecossistemas campestres e a perda da tropicalidade resultam numa fauna menos diversa do que aquela observada nas regiões florestais. Por outro lado, no Pampa estão representadas espécies típicas de áreas abertas, além de ser uma região de transição zoogeográfica, já que algumas espécies têm ali o seu limite de distribuição meridional, enquanto outras têm seu limite setentrional de distribuição. Dentre os mamíferos com distribuição típica no Pampa incluem-se o gato-do-mato-grande (*Leopardus geoffroyi*), o gato-palheiro (*Oncifelis colocolo*), o bugio-preto (*Alouatta caraya*), o cachorro-do-campo (*Lycalopex gymnocercus*), o zorrilho (*Conepatus chinga*), o veado campeiro (*Ozotoceros bezoarticus*), o tatu-mulita (*Dasyurus hybridus*), o tatu-peludo (*Euphractus excintus*) e os tuco-tucos (*Ctenomys flamarioni*, *C. lami*, *C. torquatus*, *C. ibicuiensis* e *C. minutus*) (Cáceres et al., 2007; Luza et al., 2015).

A diversidade de aves inclui cerca de 480 espécies, um quinto delas tipicamente campestre (Develey et al., 2008). Muitas espécies dependem de vegetação campestre mais alta e densa, como os caboclinhos (*Sporophila* spp.) e o papa-moscas-

do-campo (*Culicivora caudacuta*), enquanto outras dependem de campos limpos, como o caminheiro-grande (*Anthus nattereri*). O Pampa também recebe sazonalmente muitas espécies migratórias, algumas do sul, como a batuíra-de-peito-avermelhado (*Charadrius modestus*), abatuíra-de-papo-ferrugíneo (*Oreopholus ruficollis*), a andorinha-chilena (*Tachycineta meyeri*), o pedreiro-dos-andes (*Cinclodes fuscus*), o colegial (*Lessonia rufa*) e o gaúcho-chocolate (*Neoxolmis rufiventris*) (Azpiroz et al., 2012), e outras do norte, como o maçarico-do-campo (*Bartramia longicauda*), a tesourinha (*Tyrannus savana*), o corucão (*Podager nacunda*) e a andorinha-do-campo (*Progne tapera*) (Fontana & Bencke, 2015; Bencke, 2016).

Dentre os répteis, ocorrem algumas espécies restritas ao Pampa como a tartaruga tigre-d'água (*Trachemys dorbigni*), as cobras-de-duas-cabeças (*Amphisbaena darwini* e *A. munoai*), a lagartixa-listrada (*Cercosaura ocellata*), a lagartixa-verde (*Teius oculatus*), o lagartinho-do-Pampa (*Homonota uruguayensis*), a lagartixa-da-praia (*Liolaemus occipitalis*), a lagartixa-das-dunas (*Liolaemus arambarensis*, e as serpentes narigudinha (*Xenodon dorbignyi*), corredeira-do-banhado (*Psomophis obtusus*) e cobra-espada-comum (*Tomodon dorsatus*)(Bencke et al., 2009; Verrastro & Borges-Martins, 2015).

A principal ameaça à biodiversidade no bioma Pampa resulta das atividades que dependem da supressão da vegetação nativa, tais como a agricultura e a silvicultura. Em termos relativos, o Pampa é o segundo bioma brasileiro com maior descaracterização das suas paisagens naturais. Em 2002 (Figura 3) os remanescentes de vegetação campestre totalizavam 50,2 % (Hasenack et al., 2015), cobertura vegetal que em 2009 (Figura 4) já havia sido reduzida em 11,4% do bioma (Weber et al., 2016). Entre as principais mudanças verificadas, a agricultura irrigada e a de sequeiro tiveram expansão de 5,22% e 3,98%, respectivamente, e a silvicultura ampliou sua área em 3,5%, enquanto outros tipos de uso, no conjunto foram responsáveis pela redução de 0,4% na cobertura campestre nesse período. Surpreende o avanço da silvicultura, cuja área plantada aumentou 112% em relação a 2002, com 98% dessa expansão verificada sobre a vegetação campestre nativa.

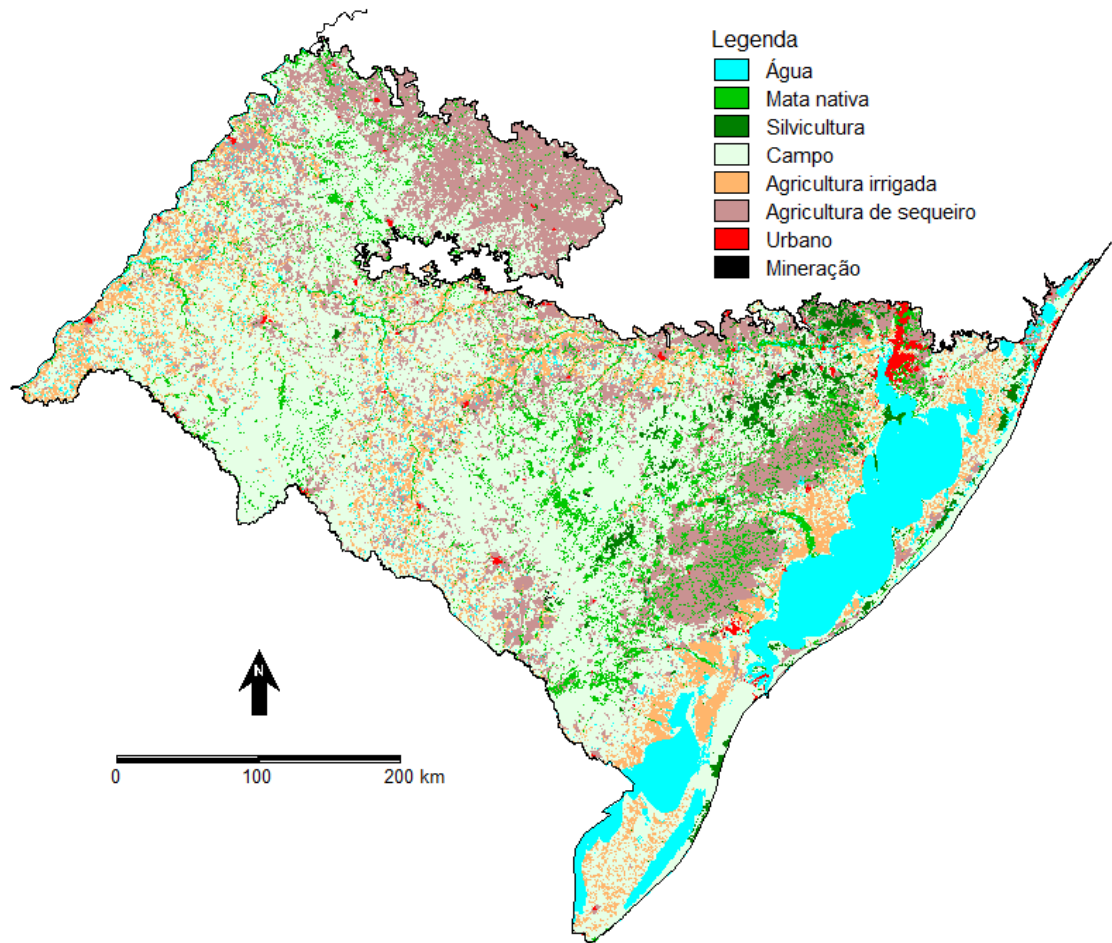


Figura 3. Principais tipos de cobertura vegetal e uso do solo no Bioma Pampa em 2002 (adaptado de Hasenack et al., 2015).

Em contrapartida, no período em questão, houve também a regeneração do campo em 6,7% da área do bioma Pampa, a maior parte sobre áreas antes dedicadas ao cultivo anual de grãos. Entre eles, destaca-se o arroz irrigado (2,6%), cujo sistema de produção tradicional alterna periodicamente lavouras e áreas de pousio, e os cultivos de sequeiro (3,6%) que apresentam avanços episódicos, notadamente a soja na última década. Considerando simultaneamente a remoção e a regeneração, a perda líquida de áreas de vegetação campestre no bioma Pampa foi de 4,7% entre 2002 e 2009, confirmando as observações feitas por Crawshaw et al. (2007) e Oliveira et al. (2017). De certa forma, constata-se no Pampa tendência semelhante à da Amazônia, onde a vegetação nativa altamente biodiversa (no Pampa, o campo) está sendo substituída por monoculturas de grãos (soja, principalmente) ou de espécies arbóreas (o eucalipto).

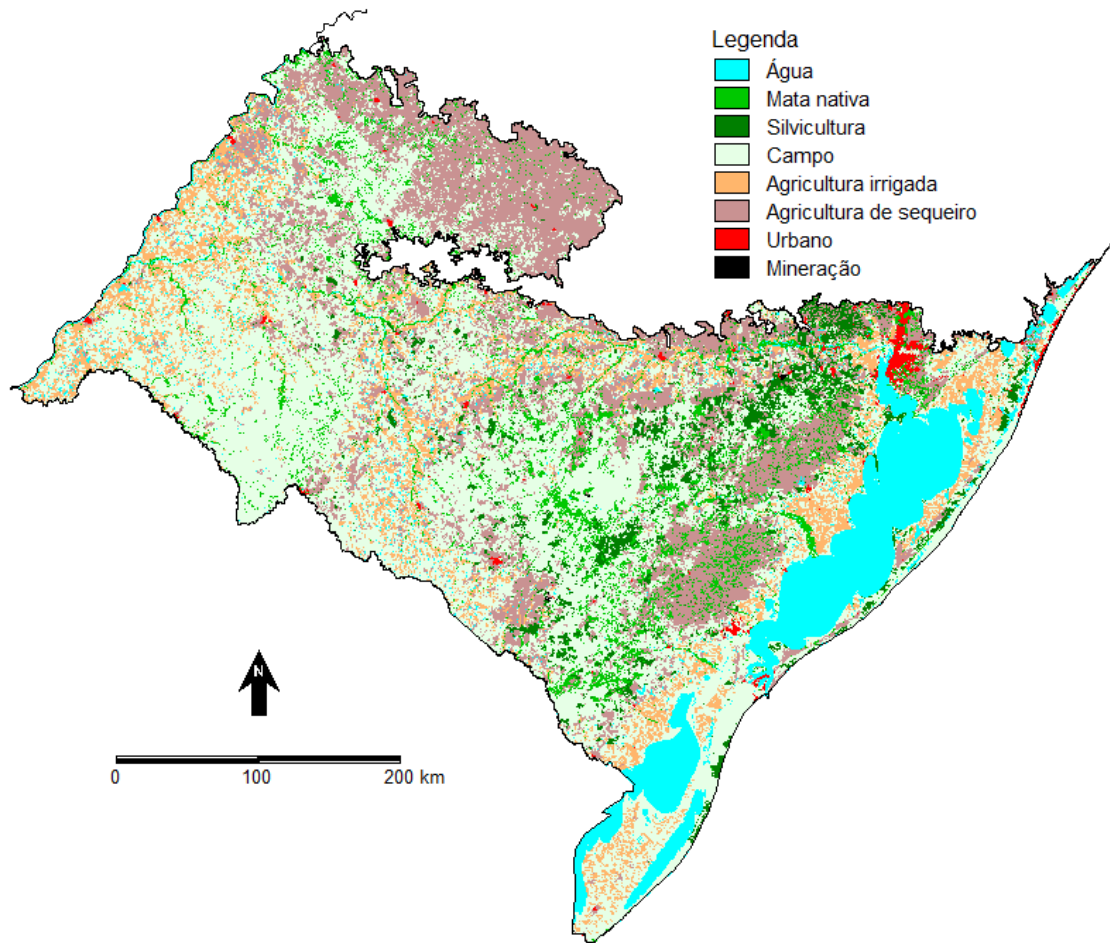


Figura 4. Principais tipos de cobertura vegetal e uso do solo no Bioma Pampa em 2009 (adaptado de Weber et al., 2016).

## 2.2. Potenciais impactos das atividades agropecuárias sobre o Bioma e seus efeitos sobre o meio ambiente

As principais atividades presentes na área rural do Bioma Pampa incluem a pecuária, a produção anual de grãos, incluindo em especial a orizicultura irrigada e o cultivo de sequeiro da soja, além de milho, sorgo e outros cereais em menor extensão, bem como cultivos perenes como a silvicultura e a fruticultura.

### 2.2.1. Produção pecuária

A pecuária sobre campo nativo teve início com a ocupação do território por portugueses e espanhóis a partir das Missões Jesuíticas no século XVII (Curtis, 1964; Thomas, 1976). Inicialmente utilizada para subsistência, com o tempo a criação de muaras e gado bovino tornou-se a principal atividade econômica da região, cuja produção era exportada para o centro do país. A crescente demanda por carne no Brasil durante o período colonial estimulou a produção de charque (carne salgada), que atingiu seu auge no século XIX e entrou em crise com a abolição da escravatura em 1888 (Curtis,

1964; Furtado,1998). Até meados do século XX o gado era criado solto sem grande preocupação com o manejo dos campos ou do próprio rebanho (Curtis, 1964).

Esse panorama começou a mudar no final do século XIX, quando Joaquim Francisco de Assis Brasil liderou um movimento para a melhoria da produção pecuária no Rio Grande do Sul e que resultou na introdução das linhagens de gado Jersey e Devon, do cavalo árabe e da raça de ovelhas Karakul (Vargas, 2015). Na década de 1980, regras governamentais estabeleceram uma lotação mínima de um animal por hectare para o Pampa, (Nabinger, 1980; Carvalho et al., 2009), em descompasso com as características biofísicas heterogêneas do Bioma Pampa e a capacidade de suporte da vegetação para essa carga animal frente ao manejo utilizado na época.

Nas décadas seguintes, pesquisas buscaram contemplar tanto um maior conhecimento da composição florística dos diferentes tipos de campo (Boldrini, 1993), quanto das estratégias de manejo do campo para produção pecuária sustentável, de modo a ajustar a carga animal ao efetivo potencial forrageiro de cada localidade (Maraschin, 2009). Estes estudos demonstraram a possibilidade de incrementar consideravelmente a produção de carne por hectare de forma sustentável, aproveitando a rica dieta que a diversidade florística do campo nativo oferece. Dessa forma, reduz-se a necessidade de conversão da cobertura original para cultivo de pastagem, preservando habitats e a fauna a eles associada. Embora sejam bastante promissoras, tais técnicas ainda têm adoção restrita no meio produtivo, carecendo de políticas públicas mais efetivas para sua difusão. De outro lado, a produção pecuária, uma das atividades econômicas mais compatíveis com a aptidão do ambiente natural do Pampa, vem perdendo espaço em detrimento da produção de grãos, notadamente soja, em virtude do maior retorno econômico. Como consequência, há uma considerável perda associada à biodiversidade, pois os cultivos anuais implicam a remoção da vegetação campestre nativa para implantação das lavouras.

### **2.2.2. Cultivos anuais**

O cultivo comercial de arroz irrigado no Rio Grande do Sul se desenvolveu na primeira década do século XX, sendo inicialmente cultivado nas áreas úmidas da planície costeira e nas várzeas fluviais próximas dos primeiros núcleos urbanos (Rio Grande no sudeste, Rio Pardo no centro e no entorno de Porto Alegre, nas várzeas dos rios Jacuí e Gravataí). A partir do final da década de 1950, o cultivo de arroz irrigado iniciou sua expansão para a Região Oeste do Rio Grande do Sul (Beskow, 1984). Entre as culturas anuais, o arroz irrigado talvez seja a que melhor convive com o campo



nativo, pois historicamente o sistema de produção alterna as lavouras com a pecuária. O arroz é cultivado durante os meses de verão em uma parcela da propriedade, e o restante da área permanece em pousio, possibilitando a regeneração do campo nativo, que é destinado à criação de gado (Gomes e Magalhães Jr,2004). O pousio é uma forma de manejo tradicionalmente praticada em todo o Rio Grande do Sul como forma de reduzir a ocorrência de arroz vermelho nas lavouras (Andres et al., 2001).

Atualmente o Bioma Pampa concentra cerca de 70% da produção de arroz do país, com uma área total dedicada à cultura estimada em cerca de três milhões de hectares (considerando áreas plantadas e de pousio). Melhoramentos decorrentes de pesquisas em sementes e nas técnicas de produção ao longo do tempo elevaram o rendimento médio, que na década de 1970 era de 3.000 kg/ha para os atuais 7.500 kg/ha (Carmona, 2015). Na safra 2016/2017, em virtude de condições climáticas favoráveis, o rendimento médio chegou próximo de 9.000 kg/ha. Apesar disso, o alto custo da lavoura de arroz aliado à baixa remuneração do produto frente aos preços favoráveis da soja no mercado internacional, tem levado muitos produtores a optar pelo cultivo da soja no lugar do uso pecuário durante o pousio, ou mesmo a substituir a cultura do arroz pela da soja. Embora o retorno econômico no curto prazo possa ser vantajoso, há dúvidas quanto à sustentabilidade dessa produção no longo prazo. A introdução de uma cultura mais intensiva em uso de insumos e defensivos, originária de condições edafoclimáticas diferentes, sobre um ambiente reconhecidamente sensível em virtude da proximidade do lençol freático da superfície, suscita controvérsias quanto aos riscos de contaminação e outros possíveis impactos ambientais.

Os cultivos anuais de sequeiro, em especial da soja, têm avançado para o bioma Pampa a partir do noroeste do Rio Grande do Sul, frequentemente acompanhando as oscilações dos preços internacionais e as previsões de eventuais períodos de seca ou de precipitação elevada para o ciclo de cultivo. Essa expansão, além de suprimir a vegetação campestre nativa para a implantação de novas lavouras, em geral também é prejudicial para a conservação dos solos, pois muitos deles apresentam baixa aptidão ao uso com culturas anuais. Como consequência do uso inadequado, em várias porções do Pampa observam-se sinais evidentes de degradação e erosão dos solos, o que inevitavelmente comprometerá a produção no futuro próximo. Além disso, os recursos hídricos também são prejudicados, pois fertilizantes e defensivos são carregados junto com o solo para dentro dos mananciais, bem como é favorecida a dispersão indesejável de espécies exóticas invasoras. Quando tais áreas deixam de ser

cultivadas, as plantas invasoras, especialmente o capim-annoni, tendem a ocupá-las mais rapidamente que as espécies nativas (Medeiros et al., 2009).

### **2.2.3. Cultivos perenes**

O cultivo de árvores exóticas no Pampa iniciou no final do século XIX com a introdução de espécies de eucalipto como fonte de madeira de construção de casas e especialmente, galpões e estábulos, mas também como abrigo para o gado. Posteriormente, na década de 1930, os plantios serviram para fabricação de dormentes de ferrovias e como matéria prima para produção de postes de distribuição de energia. A acácia negra também foi introduzida na mesma época, com o objetivo principal de produção de tanino para curtimento de couro, o qual era obtido da casca, sendo a madeira usada como lenha ou na produção de carvão vegetal. Na década passada, a sua substituição parcial por tanino industrial e o alto custo da mão-de-obra para extração da casca e da madeira levaram à substituição do seu cultivo por plantios de eucalipto para celulose.

No final dos anos 1950 foram também introduzidas no estado espécies de pinus, sendo atualmente exploradas para extração de resina e madeira para fabricação de móveis, embalagens e outras aplicações. Entretanto, até a década de 1970 a silvicultura tinha pouca expressão no bioma. A chegada da primeira indústria de celulose de grande porte, em 1972, impulsionou a silvicultura do eucalipto, em especial na Serra do Sudeste. Além do estímulo e apoio técnico ao plantio de eucalipto em propriedades privadas, a empresa adquiriu áreas para produção própria e, com o passar do tempo, sua ampliação provocou expansão do cultivo também em outras regiões do Pampa. Programas governamentais ao desenvolvimento da metade sul do Rio Grande do Sul, área correspondente ao Bioma Pampa, ofereceram, no início da década de 2000, estímulo adicional à silvicultura.

A fruticultura também é uma atividade relevante na região, envolvendo principalmente a produção de pêssegos, citros e uvas viníferas. A região de Pelotas, na Serra do Sudeste, é tradicional produtora de pêssegos, atividade que tem origem na agricultura familiar. A citricultura no Bioma Pampa, em geral, é formada por pomares comerciais voltados à agroindústria. A viticultura está em franca expansão, processo que iniciou a partir da década de 1980 quando a indústria vinícola, então concentrada na Serra Gaúcha, viu no Bioma Pampa alternativa para diversificação e qualificação do vinho brasileiro. A partir do início do século XX, ganhou novo impulso também a olivicultura, cuja tentativa de introdução anterior, nos anos 1960, não teve o êxito

esperado. Hoje há experiências melhor sucedidas em diferentes pontos no Pampa e a produção olivícola vem recebendo novos investimentos. A maior parte dessas espécies de frutíferas, por ser perene, não demanda o revolvimento frequente do solo, além de permitir ainda eventual consórcio com a pecuária, em especial de ovinos. Em relação a outros cultivos, a fruticultura ocupa áreas proporcionalmente pequenas, podendo ser uma alternativa econômica interessante para o bioma.

### **2.3. Temas prioritários para a sustentabilidade das atividades agropecuárias**

Muitos estudos sobre formas de manejo do campo nativo tem comprovado eficácia no aumento da produção de carne por hectare e, especialmente, no aprimoramento da sua qualidade (Nabinger et al., 2009), que já possui o diferencial de raças europeias, mais adaptadas ao clima subtropical do Pampa. Aprofundar o conhecimento sobre produção animal e a dinâmica das comunidades vegetais pode contribuir para um aumento da produtividade do campo nativo sem degradá-lo. Um maior rendimento de carne por unidade de área também ajudaria a reduzir as taxas de conversão dos ambientes naturais no Pampa para outros tipos de exploração, favorecendo a manutenção de habitats de espécies nativas e a conservação dos solos e dos recursos hídricos. De forma complementar, a valoração de serviços ambientais em propriedades rurais dedicadas à pecuária em campo nativo seria estratégica para fundamentar políticas públicas de remuneração por tais serviços, estimulando os proprietários a permanecerem nessa atividade.

O aprofundamento no conhecimento da vegetação campestre de forma vinculada a projetos de bioprospecção também pode resultar na identificação de espécies de interesse para a indústria farmacêutica ou outras finalidades. Além disso, pode contribuir na recuperação de áreas campestres degradadas, pois diferentes fisionomias campestres apresentam proporções distintas de classes funcionais. Andrade et al. (2015), por exemplo, estabeleceram um marco conceitual acerca da degradação e recuperação dos campos. São necessários agora estudos voltados a práticas adequadas de restauração da vegetação campestre nativa no Pampa, bem como de produção de sementes e composição de misturas com proporções representativas de cada fisionomia campestre. A adoção efetiva dessas práticas também pode representar uma alternativa econômica adicional à região, abrindo oportunidades para produção e comercialização de sementes e mudas, e para execução e acompanhamento da sua implantação até que as áreas possam ser novamente utilizadas para pastejo de forma sustentável.

O desenvolvimento e implantação de estratégias para a prevenção e o controle de espécies invasoras, em especial o capim-annoni, o pinus e o javali, também requer atenção, pois seu avanço têm causado danos significativos à flora e à fauna nativas, e em alguns casos resultado em expressivas perdas econômicas. Espalhando-se gradativamente desde a década de 1970, como invasor de áreas de cultivo abandonadas ou de áreas de campo degradadas, e presente em praticamente todo o Pampa, o capim-annoni reduz drasticamente o potencial produtivo de carne e de leite nas áreas invadidas. De difícil erradicação, baixo valor nutritivo e muito fibroso, diminui o ganho de peso e a produção de leite dos rebanhos, e reduz a vida útil reprodutiva, especialmente de raças leiteiras, devido ao desgaste precoce da sua dentição. O pinus é mais preocupante na planície costeira do Pampa, onde o regime de ventos facilita a dispersão anemocórica das sementes, as quais têm capacidade de germinar e crescer no interior de formações nativas e até mesmo sobre dunas. As acículas das plantas de pinus possuem ação alelopática que inibe a germinação e desenvolvimento de várias espécies nativas, possibilitando que o pinus vá gradativamente colonizando áreas naturais (Cremonez et al., 2013). O javali, por outro lado, é duplamente prejudicial, pois é de hábito onívoro e não tem predadores naturais no Pampa. Ele atua tanto como predador de espécies nativas quanto de animais de produção de menor porte, como ovinos, e também ataca plantações, causando prejuízos que já tornam inviável o cultivo de grãos em certas áreas do Pampa.

A fruticultura com pomares perenes para produção de pêssegos, citros, azeitonas, uvas, nozes e outras espécies, é outro tema relevante porque representa alternativa de menor impacto que a agricultura anual, pois não requer preparo frequente do solo e tende a ocupar áreas proporcionalmente menores. Além disso, o campo nativo pode ser mantido nas entrelinhas de diversos pomares e, em muitos casos, ser utilizado para a pecuária de ovinos ou bovinos. De outro lado, investimentos em fruticultura podem gerar empreendimentos agroindustriais para beneficiamento próximo dos locais de produção, estimulando a economia regional e aumentando o valor agregado dos produtos. Dessa forma, torna-se necessário fomentar estudos sobre arranjos produtivos que possam viabilizar tais alternativas, bem como estimular o terceiro setor por meio do incremento de atividades correlatas, tais como o enoturismo, por exemplo. Estudos de zoneamentos edafoclimáticos para definir as áreas mais aptas a cada atividade, em escalas espaciais mais refinadas, também são de grande importância, e podem promover a diferenciação e tipificação dos produtos com base no conceito de *terroir*.

No caso das culturas anuais, há um amplo leque de temas de pesquisa relacionados a melhores práticas de manejo, conservação do solo e água, redução no uso de insumos e defensivos, controle integrado de pragas e moléstias, desenvolvimento de variedades resistentes, integração lavoura-pecuária, sistemas de cultivo carbono-positivos e menos impactantes ao ambiente no entorno, entre outros. No caso do arroz irrigado, houve muitos progressos em alguns desses aspectos ao longo do tempo, em função de avanços de pesquisas desenvolvidas em grande parte pelo Instituto Riograndense do Arroz (IRGA). Entretanto, há ainda espaço para racionalizar o uso da água e incrementar a eficiência no uso de energia para a irrigação, que representa custo elevado, aperfeiçoando o dimensionamento de equipamentos de irrigação, bem como modernizando ou automatizando sistemas de monitoramento e controle. Nas áreas orizícolas da planície costeira também são necessárias mais pesquisas relacionadas à salinidade, manejo da adubação e a água para irrigação, cujo teor de sais varia ao longo do tempo em função da penetração da cunha salina (Carmona et al., 2011).

Para o caso de culturas de sequeiro, especialmente a soja, é extremamente importante avaliar a suscetibilidade à erosão em áreas já exploradas, uma vez que sua expansão no Pampa tem se dado em parte sobre áreas de baixa aptidão a cultivos anuais, a fim de identificar e recomendar práticas adequadas de conservação do solo e até a suspensão do cultivo em áreas marginais, tais como as sujeitas a arenização. Com a introdução cada vez maior do cultivo da soja em várzeas tradicionalmente usadas para o cultivo do arroz irrigado, também são necessários mais estudos para melhorar a compreensão de seus potenciais riscos e impactos sobre a água e o ambiente no entorno, tendo em vista a busca da sustentabilidade no longo prazo.

Para qualquer atividade agropecuária, o conhecimento sobre os solos é requisito indispensável para a sustentabilidade, pois ele constitui a base da produção e também da sustentação da vida e da complexidade dos ecossistemas. Sua variabilidade no Pampa é muito grande, e os principais fatores limitantes ao uso agropecuário mudam conforme o local, predominando em algumas porções a pouca profundidade do perfil (solos rasos), em outras a proximidade do lençol freático da superfície, e em outras a maior suscetibilidade à erosão. Esta, por sinal, é característica de uma parcela expressiva dos solos do Pampa. Infelizmente, levantamentos de solos têm recebido pouca atenção nas últimas décadas, ao contrário do que ocorreu com o desenvolvimento tecnológico verificado em máquinas e implementos, variedades, insumos e defensivos e outros aspectos relacionados à produção. Em geral os levantamentos de solos existentes

são de baixa intensidade, e os respectivos mapas de solos estão em escalas muito reduzidas para o planejamento de uso da terra em nível local. Como consequência, apesar dos avanços tecnológicos, a exploração inadequada de muitas áreas ainda causa erosão e degradação dos solos e gera uma série de impactos negativos que comprometem a sustentabilidade. Assim, investir em novos levantamentos para gerar informações sobre os solos com maior detalhamento torna-se crítico não apenas para o Pampa, mas para todos os biomas brasileiros. Nesse sentido, é essencial considerar também a utilização de técnicas de mapeamento digital de solos (MDS) (Lagacherie, 2008; Sarmiento et al., 2017).

Para que todo o conhecimento gerado pelas pesquisas chegue efetivamente ao produtor, é necessário também pensar em estratégias inovadoras de divulgação e de transferência de tecnologia e desconhecimento que contemplem a sustentabilidade ambiental. O produtor que conhecer e respeitar os limites da sua propriedade para a produção agropecuária estará produzindo de forma sustentável, e evitará também conflitos com a legislação ambiental, a qual tem o mesmo objetivo. Por melhor que seja a tecnologia adotada na produção, se ela não levar em conta o potencial natural das terras, terá sua sustentabilidade comprometida.

A efetivação de qualquer iniciativa anteriormente mencionada passa pela necessidade de estudos voltados ao monitoramento da cobertura vegetal e do uso do solo, que são cruciais para acompanhar a dinâmica das mudanças ao longo do tempo. De modo geral, existem poucas iniciativas pretéritas de mapeamento no Pampa, dispondo-se basicamente de dois mapas elaborados a partir de imagens de satélite que retratam os anos de 2002 (Hasenack et al., 2015) e de 2009 (Weber et al., 2016), ambos com detalhamento compatível com a escala 1:250.000. Mais recentemente foi criado o projeto MabBiomas, com participação de instituições públicas, privadas e organizações não governamentais (ONGs), visando elaborar mapas anuais de cobertura vegetal e uso do solo para todos os biomas do Brasil, também a partir de imagens de satélites, já disponibilizando-os ao público via Internet ([mapbiomas.org](http://mapbiomas.org)). Embora existam várias outras pesquisas relacionadas ao monitoramento do estado da vegetação, é importante começar a avaliar as mudanças e relacioná-las com causas e consequências a fim de propor diretrizes para gestão do território com enfoque na sustentabilidade. Métodos avançados de processamento e classificação de imagens de satélite para produção sistemática de mapas de cobertura vegetal e uso do solo também devem ser considerados.

A maior parte das sugestões de temas para pesquisa e desenvolvimento em parte já vem sendo alvo de estudos, pois são preocupações relativamente antigas e cruciais para a sustentabilidade da produção agropecuária no bioma Pampa. Há pelo menos dez instituições públicas federais do Rio Grande do Sul desenvolvendo algum tipo de pesquisa na região, sendo quatro unidades da Embrapa (Pecuária, Clima Temperado, Trigo, Uva e Vinho), cinco universidades federais (UFRGS, UFPEL, UFSM, UFFS, UNIPAMPA) e uma unidade do INPE (CSR), além de uma estadual (IRGA) e várias instituições privadas. Porém, a integração entre as instituições poderia ser melhorada a fim de articular iniciativas voltadas a temas relevantes para o Pampa, o que pode ser feito por meio da criação e fortalecimento de redes de pesquisa. Isso requer a previsão de recursos para financiar o estabelecimento e funcionamento das redes, o que pode ocorrer por meio de editais públicos ou de outras fontes alternativas. A rede Campos Sulinos, por exemplo, foi criada em 2012 com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), reunindo mais de 20 instituições do Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina. Suas pesquisas contemplam levantamentos de grupos de espécies, análise dos impactos das mudanças climáticas nos campos nativos, entre outras.

### **3. CAPÍTULO II – SISTEMAS ECOLÓGICOS DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL: DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO**

#### **3.1. Introdução**

Desde a colonização até há poucas décadas, a ocupação de áreas naturais no Rio Grande do Sul deu-se em função de oportunidades, sem grandes preocupações com o meio. Mais recentemente, em função de sua redução e de legislação pertinente, as florestas tem recebido atenção no sentido de se conservar os remanescentes e, na medida do possível, restaurar áreas degradadas. Entretanto, o estado tinha cerca de 2/3 de sua superfície originalmente coberta por formações campestres, mas ecossistemas não florestais têm sido relegados a um segundo plano em estratégias de conservação da biodiversidade, o que se verifica também em várias regiões do Globo (Overbeck et al., 2007).

Em parte, isso reflete uma concepção de que formações vegetais herbáceas são decorrentes de desmatamento, pois em muitas regiões do globo a população humana está concentrada sobre áreas que originalmente eram ocupadas por florestas (Bond & Parr, 2010). Na Europa Ocidental muitas das atuais áreas de cultivo eram cobertas por floresta no passado, mantendo-se com vegetação herbácea em função do manejo ou do uso agrícola (Bresinsky et al., 2011). Áreas campestres naturais eram consideradas marginais para agricultura e, conseqüentemente, menos valorizadas. Em outras Neo-Europas (Crosby, 1993), como no sul do Brasil, a agricultura também se desenvolveu principalmente sobre áreas de floresta, a partir da chegada de imigrantes alemães e italianos no século XIX, porém em um processo de ocupação do território com estímulo governamental (Bernardes, 1962).

Além da percepção de menor valor relacionada ao potencial de uso da terra, há também grandes lacunas de conhecimento sobre a composição e estrutura de formações herbáceas. Uma das razões é a maior complexidade de mapeamento de áreas abertas em relação às florestas, pois mapeá-las com detalhe equivalente ao obtido para florestas em relação à composição e estrutura da vegetação exige o emprego de escala



cartográfica consideravelmente maior. Como consequência, em muitos mapeamentos de vegetação as formações florestais são delineadas e caracterizadas em detalhe, com listagem de espécies dominantes, características estruturais e outros aspectos, enquanto a vegetação herbácea é caracterizada de forma muito genérica (Küchler, 1973).

Esses aspectos também se refletem em sistemas de classificação da vegetação, constatando-se o uso indiscriminado e muitas vezes incorreto dos termos savana, estepe e pradaria para designar diferentes tipos de vegetação com domínio de vegetação herbácea (Chebataroff, 1968). No caso do Rio Grande do Sul, dois terços da sua superfície de 281.738 km<sup>2</sup> eram originalmente cobertos por ecossistemas campestres, com fisionomias distintas que variam em função da expressão diversa dos condicionantes biofísicos ao longo do território (Pébayle, 2017). Entretanto, assim como as demais fisionomias campestres do sul do Brasil, eles têm sido enquadrados como estepe, savana e savana-estépica, principalmente com vistas à aderência a uma nomenclatura fitogeográfica internacional (Veloso et al., 1991; Marchiori, 2002; IBGE, 2012).

Todavia, tendo em vista que as condições ambientais específicas dessas formações não ocorrem no estado, Marchiori (2002) e Pillar & Quadros (2002) sugerem o uso do termo ‘campo’, e Overbeck et al. (2015) enfatizam a necessidade de uma classificação dessas tipologias campestres. Nesse sentido, Boldrini (1997) identificou seis diferentes formações campestres no Rio Grande do Sul e descreveu sua composição florística típica, associando-a a fatores abióticos com base nas regiões fisiográficas do estado (Fortes, 1979). A partir desse estudo inicial, Boldrini (2009) refinou a caracterização com base na relação da flora com solo e clima, tendo identificado e descrito oito ecossistemas campestres, e Boldrini & Longhi-Wagner (2011) introduziram aprimoramentos subsequentes na caracterização florística.

Embora não proponham uma classificação de tipologias campestres, esses estudos representam um passo importante para tal à medida que reconhecem e caracterizam a diversidade dos campos. Eles também fornecem subsídios sobre a distribuição dos diferentes campos no território, fundamentais para delinear espacialmente sua ocorrência. O desafio é estabelecer uma delimitação coerente com a flora presente e as características biofísicas que a condicionam, o que exige a compreensão das relações entre os mecanismos causais e os padrões de distribuição espacial dos ecossistemas (Bailey, 2008). A importância relativa dos fatores biofísicos depende da escala considerada, e Bailey (1987) propõe três escalas básicas: (1) macro

(região ecológica); (2) mesoescala (mosaico de paisagem) e microescala (sítio). Em escala macro, tende a predominar a influência do clima; em mesoescala as características do relevo modulam os fatores climáticos; e em microescala é o solo que mais influi na distribuição dos organismos.

Além de relacionar a distribuição dos ecossistemas com a expressão dos fatores biofísicos, seu delineamento demanda também o uso de algum suporte geoespacial para o traçado dos limites. Na maior parte dos casos são utilizados mapas básicos nos quais constam as principais feições do meio físico, sobre os quais os limites são definidos manualmente. Em geral a escala cartográfica de tais mapas é pequena em virtude de cobrirem extensões relativamente grandes, restringindo de antemão o nível de detalhe que pode ser considerado (Hueck & Seibert, 1981; IBGE, 1986). Todavia, a disponibilidade crescente de dados geoespaciais digitais sobre diferentes aspectos da superfície terrestre, e a disseminação de tecnologias computacionais para seu processamento, tais como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), oferecem novas possibilidades nesse sentido (Longley et al., 2013). A conjugação de tais recursos com o conhecimento sobre os ecossistemas tem o potencial de detalhar substancialmente o conhecimento da dinâmica e dos padrões espaciais e temporais da distribuição de ambientes e organismos (Verburg & Veldkamp; 2004, Hirzel et al., 2002; Sangermano et al., 2015).

O objetivo do presente estudo é desenvolver uma proposta de delimitação para sistemas ecológicos campestres no estado do Rio Grande do Sul, tomando-se como base uma caracterização existente para as fisionomias campestres (Boldrini, 2009) e a abordagem ecológica hierárquica proposta por Bailey (1987) para o nível de mesoescala. A premissa é que as características das tipologias campestres podem ser traduzidas para um conjunto de regras que, aplicadas em SIG a um conjunto de dados geoespaciais relevantes, possibilitam estabelecer a delimitação de sua distribuição espacial esperada.

## **3.2. Material e métodos**

### **3.2.1. Caracterização da área de estudo**

A área de estudo compreende o estado do Rio Grande do Sul, cujas coordenadas extremas situam-se entre as latitudes 27°05' S e 33° 45' S e as longitudes 49°41' W e 57°38' W (Figura 5). Nessa faixa latitudinal observa-se, na costa oriental do continente, um clima subtropical úmido com verões quentes (Cfa, conforme Köppen) e, nas porções mais elevadas, um clima subtropical úmido com verões amenos (Cfb)

(Mota, 1951; Moreno, 1961; Hasenack & Ferraro, 1989). No contexto das ecorregiões (Bailey, 2008), o estado do Rio Grande do Sul está inserido, no nível de macroescala, em duas divisões do Domínio temperado úmido (200): a Divisão subtropical (230) e a Divisão das pradarias (250) (Figura 6).

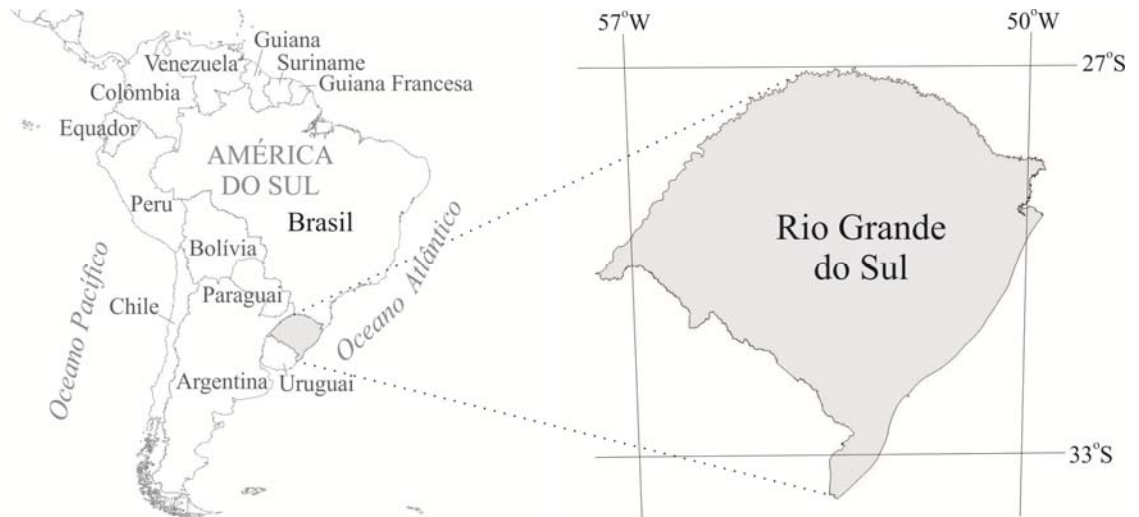
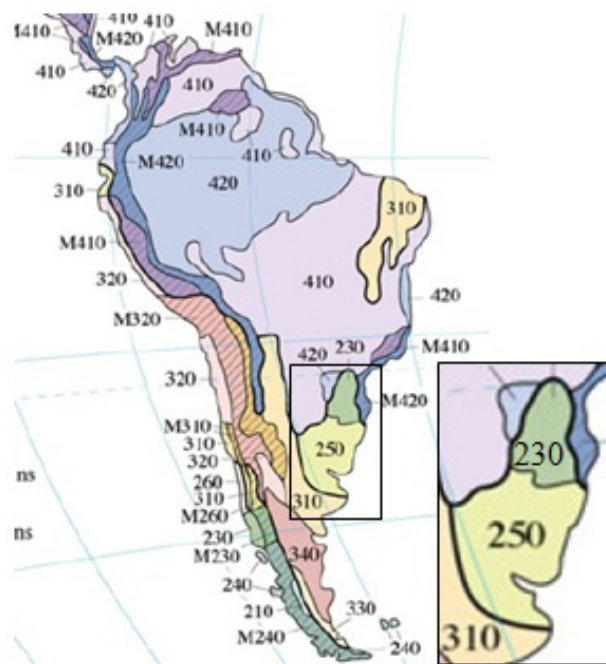


Figura 5. Localização do Rio Grande do Sul na costa oriental subtropical da América do Sul.



**200 – Domínio Temperado Úmido**  
 230 – Divisão Subtropical  
 250 – Divisão das Pradarias/dos Campos

Figura 6. Ecorregiões da América do Sul em nível de macroescala, contemplando os níveis hierárquicos Domínio e Divisão. Em destaque, Domínio e Divisões que interceptam o estado do RS. Fonte: Bailey (2008).

A geologia compreende uma diversidade de litologias que incluem rochas graníticas do Eon Arqueano, areníticas e basálticas da Era Mesozóica e depósitos sedimentares da Era Cenozóica. O relevo varia de plano a escarpado e apresenta altitudes que variam entre 0 m a mais de 1.000 m. Essas litologias, altitudes e declividades integradas geram diversas formas do relevo, as quais correspondem a várias unidades geomorfológicas (IBGE, 1986).

A vegetação é representada por florestas ombrófilas e estacionais e por formações campestres gramíneas e arbustivas, as quais cobrem a maior parte do Estado. Segundo o sistema de classificação da vegetação brasileira (IBGE, 2012) ocorrem no RS quatro regiões fitoecológicas florestais e três campestres, além de áreas das formações pioneiras e áreas de tensão ecológica. Embora pelo clima atual haja disponibilidade de energia e água ao longo do ano para sustentar ecossistemas florestais, observa-se no estado uma predominância dos ecossistemas campestres. Essa vegetação é testemunha de um clima passado mais frio e seco e estaria na região há pelo menos tanto tempo quanto as florestas (Behling et al., 2009), correspondendo aos campos primitivos (do tipo “*old growth grasslands*”) (Veldman et al., 2015a; Bond, 2016).

### **3.2.2. Material utilizado**

O material utilizado compreende um conjunto de dados geoespaciais digitais disponíveis para o estado do Rio Grande do Sul, considerados relevantes para representar os principais fatores biofísicos que condicionam a distribuição dos ecossistemas campestres na área de estudo (Boldrini, 1993; Waechter, 2002). Os dados selecionados incluem um modelo digital de altitude, um mapa de solos e um mapa de regiões fitoecológicas do Rio Grande do Sul. O primeiro é um arquivo raster com resolução espacial de aproximadamente 90 metros, estruturado de forma contínua a partir de janelas de 1° de latitude por 1° de longitude dos dados originais do SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission* (Weber et al., 2004). Os mapas de solos e de regiões fitoecológicas são camadas vetoriais de polígonos, ambos estruturados a partir de cartas de trabalho originais na escala 1:250.000 (SAA/RS-IBGE/SC, 2003) do Levantamento de Recursos Naturais do Projeto Radambrasil (IBGE, 1986). A delimitação original das regiões fitoecológicas foi posteriormente refinada por Cordeiro & Hasenack (2009), por meio de interpretação visual sobre imagens do satélite Landsat. O mapa de solos não foi modificado, porém avaliação conduzida por Sarmiento et al. (2014) demonstrou que sua riqueza temática é compatível com a escala indicada, embora a escala cartográfica efetiva seja menor.

O processamento e análise dos dados geoespaciais foi efetuado em microcomputadores com auxílio dos softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG) Idrisi Selva (Eastman, 2012), Cartalinx (Hagan et al., 1999) e ArcView (ESRI, 2014). Também foram utilizados receptores GPS (Global Positioning System) de navegação, como apoio em expedições em campo.

### **3.2.3. Metodologia**

O primeiro passo foi efetuar a padronização dos dados geoespaciais para possibilitar sua subsequente integração. Inicialmente eles foram transformados para a mesma projeção cartográfica e mesmo sistema geodésico de referência, optando-se respectivamente pela projeção Cônica Conforme de Lambert e datum WGS84. Posteriormente os layers vetoriais com as unidades de mapeamento de solos e os limites de regiões fitoecológicas foram convertidos do modelo vetorial para o modelo raster (matricial). Adotou-se para todos os dados a mesma resolução espacial de 90 m, equivalente à do SRTM.

Em seguida, analisou-se a descrição e caracterização das tipologias campestres de Boldrini (2009) e Boldrini & Longhi-Wagner (2011). Buscou-se identificar como cada uma se diferencia em termos dos fatores biofísicos elencados para definir critérios de delimitação de unidades espaciais de mesoescala (mosaico de paisagem) (Bailey, 1987). Visando facilitar a compreensão e o uso futuro da delimitação proposta, buscou-se sempre que possível, aproveitar parcialmente critérios já utilizados em sistemas de classificação existentes no Brasil, em especial o de vegetação (IBGE, 2012) e o de solos (EMBRAPA, 2013). Ao final, chegou-se a um conjunto de critérios para definir áreas correspondentes a diferentes compartimentos do relevo e áreas com distintas características pedológicas consideradas relevantes à biocenose.

Dentre os critérios, as áreas correspondentes a compartimentos do relevo foram delimitadas a partir do modelo digital de altitude, com base na combinação de classes de altitude com classes de declividade. As primeiras foram estabelecidas de acordo com o sistema de classificação da vegetação brasileira para áreas situadas em latitudes superiores a 24° S (IBGE, 2012), efetuando-se uma reclassificação dos valores contínuos de altitude para faixas significativas à vegetação. As classes de declividade foram definidas a partir de uma simplificação dos intervalos correspondentes às fases de relevo utilizadas em levantamentos de solos (EMBRAPA, 2013), e depois delimitadas por meio de uma reclassificação dos valores contínuos de declividade para as faixas especificadas (Quadro 1).

Quadro 1. Classes de altitude e respectiva denominação segundo o sistema de classificação da vegetação brasileira para latitudes superiores a 24° S (IBGE, 2012), e classes de declividade simplificadas e respectivas fases de relevo no sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 2013).

Classe de altitude	Denominação	Classe de declividade	Denominação
5 - 30 m	terras baixas	0 – 3%	plano
30 - 400 m	sub-montano	3 – 8%	suave
400 - 1.000 m	montano	8 – 20%	ondulado
> 1.000 m	alto-montano	>20%	forte ondulado a escarpado

Os mapas de classes de altitude e de declividade foram posteriormente sobrepostos para identificação de todas as combinações encontradas entre as classes de ambos, as quais totalizaram oito categorias que representam diferentes compartimentos de relevo (Quadro 2, Figura 7A).

Quadro 2. Compartimentos do relevo identificados pela combinação de classes de altitude significativas à vegetação (IBGE, 2012) com classes de declividade simplificadas a partir de fases de relevo (EMBRAPA, 2013).

Classe de altitude	Classe de declividade	Compartimentos de relevo
5 - 30 m	0 – 3%	de terras baixas e plano
30 - 400 m	3 – 8%	sub-montano e suave
30 - 400 m	8 – 20%	sub-montano e ondulado
400 - 1.000 m	3 – 8%	montano e suave
400 - 1.000 m	8 – 20%	montano e ondulado
> 1.000 m	3 – 8%	alto-montano e suave
30 - 400 m	>20%	sub-montano e forte ondulado a escarpado
> 1.000 m	>20%	alto-montano e forte ondulado a escarpado

Tendo em vista que a composição florística e a taxa de cobertura vegetal de cada tipo de campo estão associadas às características físicas e químicas dos solos (Boldrini, 1993, Wondzell et al, 1996; Boldrini et al., 1998; Moeslund et al. 2013), buscou-se também identificar grupos de solos que possibilitassem discriminar a vegetação em nível de mesoescala. A partir da leitura e interpretação dos dados analíticos e descritivos de perfis representativos no relatório de levantamento de solos (IBGE, 1986), foram definidos critérios para avaliação dos solos contemplando

hidromorfismo, profundidade e fertilidade. Com base nesses critérios, os solos foram enquadrados em quatro grupos funcionais, quais sejam: solos hidromórficos, solos profundos de alta fertilidade, solos profundos de baixa fertilidade e solos rasos. Cada unidade de mapeamento do mapa de solos (SAA/RS-IBGE/SC, 2003) foi então enquadrada na classe funcional correspondente ao solo dominante na mesma, obtendo-se um mapa de áreas com distintas características pedológicas relevantes à biocenose (Figura 7B).

Por fim, para limitar as análises apenas às formações campestres, o mapa de regiões fitoecológicas (Cordeiro & Hasenack, 2009) foi reclassificado para selecionar apenas as formações com predomínio de vegetação herbácea, deixando-se de fora as formações florestais. As formações selecionadas incluem áreas ocupadas pelas regiões fitoecológicas campestres, além de áreas de tensão ecológica nas quais a vegetação campestre é dominante, e áreas de formações pioneiras fluviais, lacustres ou marinhas, com dominância dos elementos campestres. O conjunto das áreas dessas formações foi posteriormente utilizado como máscara para restringir a discriminação das diferentes tipologias campestres somente a ele (Figura 7C).

Uma vez construídas as camadas de dados geoespaciais necessárias para representar cada um dos critérios elencados, elas foram sobrepostas a fim de se identificar todas as combinações existentes entre suas unidades espaciais. As combinações encontradas foram depois confrontadas com a descrição da distribuição e a caracterização florística de Boldrini (2009) e Boldrini & Longhi-Wagner (2011), buscando-se analisar e interpretar o conjunto de informações para definir que combinações poderiam corresponder a cada tipologia campestre. Em porções onde as combinações de unidades espaciais das camadas não possibilitaram capturar variações sutis, utilizou-se também um mapa de uso do solo (Cordeiro & Hasenack, 2009) como *proxy* para inferir o limite entre os ambientes.

Após essa etapa foi realizada uma expedição de campo para verificação expedita da consistência e coerência da delimitação das tipologias campestres, utilizando-se como apoio imagens do satélite Landsat e receptores GPS. A verificação baseou-se na observação *in loco* da fisionomia campestre com base nas espécies dominantes, efetuando-se o registro das coordenadas de cada ponto visitado para posteriormente comparar com os limites propostos. Depois de concluída a verificação, os limites das tipologias campestres foram novamente unidos aos das regiões florestais para recompor um mapa de todo o estado do Rio Grande do Sul.

### 3.3. Resultados

A metodologia empregada neste estudo possibilitou o reconhecimento e a delimitação de oito tipologias campestres que haviam sido previamente descritas e caracterizadas por Boldrini (2009) e Boldrini & Longhi-Wagner (2011). Adicionalmente, a análise espacial dos fatores biofísicos com auxílio de SIG possibilitou ainda a identificação de duas novas tipologias, as quais foram confirmadas por meio de observações em campo, e então descritas e caracterizadas de modo equivalente às anteriores. Os limites das 10 tipologias campestres obtidas (Quadro 3), acrescidos aos das quatro regiões fitoecológicas florestais já delimitadas (IBGE, 1986), resultaram em um mapa com 14 unidades espaciais que representam a distribuição de sistemas ecológicos de mesoescala no Rio Grande do Sul (Figura 7D).

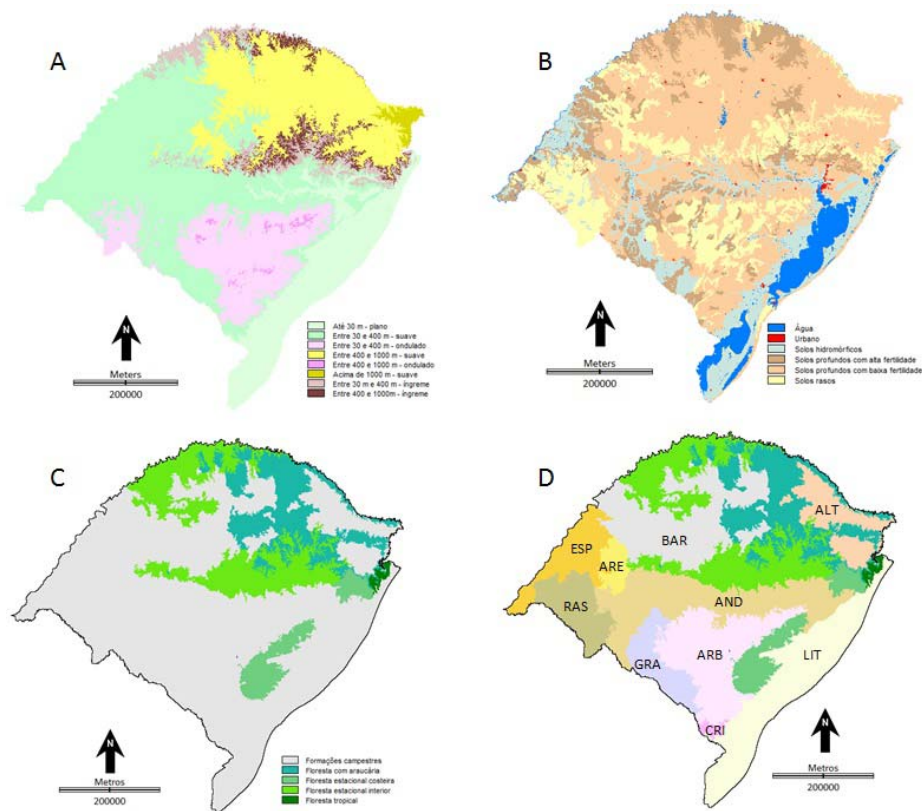


Figura 7. (A) Compartimentos do relevo, obtidos pela combinação de classes de altitude significativas à vegetação (IBGE, 2012) e classes de declividade simplificadas a partir de faixas usadas em levantamentos de solos (EMBRAPA, 2013); (B) Grupos funcionais de solos, com base em hidromorfismo, profundidade e fertilidade a partir do mapa de solos (IBGE/SC-SAA/RS, 2003); (C) Regiões fitoecológicas florestais segundo IBGE (2012) e a região campestre alvo do presente trabalho; (D) Tipologias campestres do Rio Grande do Sul delimitadas com base em A, B e C. (Autoria própria)



Quadro 3. Área e proporção das tipologias campestres delimitadas para o Rio Grande do Sul e suas características gerais em função da altitude, da declividade e dos solos, e tipologias florestais segundo IBGE (1986) (ALT: campo de altitude; LIT: campo litorâneo; ARB: campo arbustivo; CRI: campo misto do cristalino oriental; AND: campo misto de andropogôneas e compostas; GRA: campo gramíneo; BAR: campo com barba-de-bode; ARE: campo com areais; ESP: campo com espinilho; SOL: campo de solos rasos; ARA: floresta com araucária; INT: floresta subtropical interior; COS: floresta subtropical costeira; TRO: floresta tropical).

Tipologias campestres	Classes de altitude	Classes de declividade	Grupos funcionais de solos	Área (km <sup>2</sup> )	Proporção do RS (%)
ALT	montano e alto-montano	suave	profundos com baixa fertilidade	14.500,97	5,15
LIT	terras baixas	suave	hidromórficos	21.629,43	13,01
ARB	sub-montano	ondulado	rasos ou profundos com baixa fertilidade	30.195,12	10,72
CRI	sub-montano	suave	profundos com baixa fertilidade	1.162,40	0,41
AND	sub-montano	suave	profundos com baixa fertilidade	35.642,99	12,65
GRA	sub-montano	suave	profundos com alta fertilidade	11.524,72	4,09
BAR	montano e alto-montano	suave	profundos com baixa fertilidade	38.217,20	13,56
ARE	sub-montano	suave	profundos com baixa fertilidade	4.686,83	1,66
ESP	sub-montano	suave	hidromórficos	13.944,21	4,95
SOL	sub-montano	suave	rasos	13.720,10	4,87
ARA	-----	-----	-----	29.929,03	10,62
INT	-----	-----	-----	3.8481,47	13,66
COS	-----	-----	-----	11.940,19	4,24
TRO	-----	-----	-----	1.139,44	0,40

A denominação atribuída a cada tipologia campestre não segue um sistema de classificação da vegetação, ela visou apenas destacar aspectos mais evidentes. Em alguns casos ela faz referência à composição florística, enquanto em outros ela destaca fatores biofísicos. Por exemplo, muitas espécies de herbáceas tem ampla distribuição no Rio Grande do Sul, mas podem ser dominantes ou eventualmente exclusivas em algumas áreas, e menos representativas em outras. Da mesma forma, há ambientes nos quais a forma do relevo ou o solo se sobressaem pela sua influência na distribuição da vegetação ou mesmo na sua menor presença.

### 3.3.1. Limites e características dos sistemas ecológicos campestres

O Campo de Altitude (ALT) situa-se na porção mais elevada do estado, em altitudes superiores a 400 m, em relevo suave e solos predominantemente profundos com baixa fertilidade, com menor proporção de solos rasos e afloramentos rochosos. O uso do fogo praticado na região associado ao manejo dos campos com baixa carga animal moldaram a fisionomia e a composição atual destes campos. Caracterizam-se pela presença de gramíneas eretas que formam touceiras, com predomínio de capim-caninha (*Andropogon lateralis*), além de capim-mimoso (*Schizachyrium tenerum*), *Paspalum maculosum*, *Axonopus pellitus*, macega-estaladeira (*Saccharum angustifolium*) e *Sorghastrum pellitum*. Leguminosas são frequentes, como *Macropodium prostratum*, *Galactia neesii* e várias espécies de tremoços (*Lupinus* spp.) e de babosinhas (*Adesmia* spp.), estas últimas de ciclo hibernal. Sobre os solos rasos a cobertura vegetal fica a cargo de espécies de baixo porte, como *Glandularia catharinae* verbenácea de flores rosadas, a gramínea densamente pilosa *Paspalum polyphyllum* e várias cactáceas, entre outras. A dinâmica da vegetação é influenciada pelos altos níveis de precipitação durante o ano todo, o que favorece também a presença de muitas espécies de ciperáceas, como *Bulbostylis sphaerocephala*, *Rhynchospora globosa*, *R. tenuis*, e *R. Barrosiana*. Nas áreas bem drenadas dos interflúvios e encostas menos dissecadas está presente o campo seco, com predomínio de gramíneas estivais, enquanto nos locais mal drenados ocorre o campo úmido, onde os solos possuem alto teor de matéria orgânica.

O Campo litorâneo (LIT) está associado às terras baixas com relevo suave do litoral atlântico e tem seu limite interior definido pela escarpa do Planalto Meridional ao norte, pela Coxilha das Lombas, no contato com a Depressão Periférica a oeste, e no contato com o Escudo Uruguaio-Sul-Riograndense na porção sul a oeste da Laguna dos

Patos e da Lagoa Mirim. Os solos são predominantemente hidromórficos e muito condicionados pelo micro-relevo. As principais espécies de gramíneas destes campos são de porte baixo, radicantes e promovem uma boa cobertura do solo, tais como *Ischaemum minus*, *Axonopus affinis*, *A. obtusifolius*, *Paspalum pauciciliatum*, *P. modestum*, *P. jesuiticum*, *P. pumilum* e *Panicum aquaticum*. Cyperaceae é outra família que se destaca nesta formação, formando populações densas, como é o caso de *Eleocharis bonariensis*, *E. viridans* e *Rhynchospora emaciata*. Por outro lado, algumas espécies apresentam indivíduos isolados, como é o caso de *Pycreus polystachyus* e de *Rhynchospora holoschoenoides*, *R. Barrosiana*, e *Scleria distans*. Muitas leguminosas são comuns nesta região, destacando-se *Stylosanthes leiocarpa*, *Indigofera sabulicola*, *Desmodium adscendens*, *D. barbatum*, *Adesmia latifolia*, *Vigna longifolia* e *V. luteola*. Nas baixadas mais úmidas são facilmente encontradas *Mimosa bimucronata* (maricá), *Eryngium chamossonis*, *Baccharis spicata* e *Centella asiatica*.

O Campo arbustivo (ARB) ocorre na porção do Escudo Uruguaio-Sul-Riograndense voltado para oeste desse compartimento elevado e de relevo ondulado, sobre solos rasos ou profundos com baixa fertilidade. Espécies de gramíneas cespitosas eretas são comuns, como as barbas-de-bode (*Aristida jubata*, *A. filifolia*, *A. spegazzini*, *A. circinalis* e *A. venustula*), *Andropogon ternatus*, *A. selloanus* e a flechilha endêmica destes campos *Jarava megapotamica*. É nesta região que as leguminosas estão mais bem representadas tanto no campo, quanto em beiras de estrada, junto da vegetação arbustiva, destacando-se *Lathyrus pubescens*, *Rhynchosia diversifolia*, *Adesmia punctata*, *A. incana*, *Galactia australis* e *Eriosema tacuarembense*. A vegetação rupestre associada a esta formação apresenta muitas espécies endêmicas com destaque para as cactáceas. Seus campos são também ricos em arbustos, como por exemplo, a leguminosa *Mimosa ramulosa*, as compostas *Acanthostylis buniifolius* (chirca), *Baccharis dracunculifolia*, *B. articulata*, *B. pentodonta*, *B. rufescens*, *Baccharis allienus*, a sapindácea *Dodonea viscosa* (vassoura-vermelha), da plantaginácea de flores azuis (*Scoparia ericacea*), da umbelífera *Eryngium horridum* (caraguatá, gravatá), além de várias espécies de euforbiáceas, especialmente de *Croton*.

O Campo Misto do Cristalino Oriental (CRI) ocorre em altitudes entre 30 e 400m e relevo suave, também no Escudo, entre o Campo arbustivo do Escudo e o Campo Litorâneo, no extremo sul do Rio Grande do Sul. A vegetação destes campos apresenta alta pressão de pastejo com uma constituição marcada por espécies estivais e escassas espécies hibernais. Entre as gramíneas estivais destacam-se o capim-paulista

(*Cynodon dactylon*), o capim-touceirinha (*Sporobolus indicus*), *Andropogon ternatus*, a grama-tapete (*Axonopus affinis*), *Aristida murina*, a cola-de-lagarto (*Mnesithea selloana*), o capim-forquilha (*Paspalum notatum*), *Paspalum plicatulum*, *Botriochloa laguroides* e *Steinchisma hians*. Entre as hibernais destacam-se *Piptochaetium montevidense* e *P. stipoides*. Além destas, aparecem em áreas mais úmidas a carqueja (*Baccharis crispa*) e a babosinha (*Adesmia securigerifolia*). Também são comuns as compostas pequenas como as *Chevreulia sarmentosa* e *Micropsis spathulata*.

O Campo Misto de Andropogôneas e Compostas (AND) ocorre predominantemente em áreas com altitude entre 30 e 400m com relevo suave e corresponde genericamente ao domínio geomorfológico da Depressão Periférica, uma depressão sedimentar que contorna o Escudo, separando-o do Planalto Meridional (IBGE, 1986). Predominam nessa tipologia solos profundos com baixa ou alta fertilidade. Quando os campos são bem manejados, a presença de solo descoberto é baixa, pois no estrato inferior as espécies dominantes são prostradas, representadas pelo capim-forquilha nos topos e encostas das coxilhas e pela grama-tapete e *Paspalum pumilum* nas baixadas úmidas. O capim-caninha é presença constante, destacando-se no estrato superior, juntamente com outras andropogôneas, como *Andropogon selloanus*, capim-rabo-de-burro (*Schizachyrium microstachyum*) e a macega-estaladeira. A leguminosa mais comum é o pega-pega (*Desmodium incanum*). Em campos com sobrepastoreio, a comunidade vegetal torna-se rala com grandes proporções de solo descoberto onde as sementes das compostas, que são numerosas, se instalam, destacando-se a roseta (*Soliva pterosperma*), o alecrim-do-campo (*Vernonanthura nudiflora*), a maria-mole (*Senecio brasiliensis*), bem como *Senecio selloi*, *S. heterotrichius*, o quitoco (*Pluchea sagittalis*) e a buva (*Conyza bonariensis*). Nas áreas bem drenadas, as barbas-de-bode (*Aristida jubata* e *A. filifolia*) e os caraguatás (*Eryngium horridum*) formam touceiras que compõem o estrato superior da comunidade vegetal.

O Campo Graminoso (GRA) ocorre também em altitudes entre 30 e 400m com relevo suave, sobre solos mais férteis no lado oriental da Depressão Periférica, entre a Cuesta do Haedo e o Escudo. Nestes campos a fisionomia é dominada por espécies herbáceas, essencialmente gramíneas, com destaque para o capim-forquilha, de hábito rizomatoso, além de outras cespitosas como o capim-caninha, a cola-de-lagarto, o capim-melador (*Paspalum dilatatum*) e a barba-de-bode (*Aristida uruguayensis*). Com uma alta participação na composição florística destacam-se várias espécies hibernais,

como as flechilhas (*Nassella hyalina*, *N. papposa*, *N. neesiana*, *N. philippii*, *N. rosenfurtii*), os cabelos-de-porco (*Piptochaetium bicolor*, *P. uruguense*, *P. ruprechtianum*, *P. lasianthum*), *Melica argyrea* e *M. rigida*. Em meio a estas espécies de gramíneas eretas desenvolvem-se ciperáceas em locais muito úmidos, como *Carex phalaroides*, muito comum em meio às touceiras das gramíneas e *Eleocharis dunensis*. Entre as leguminosas, são freqüentemente encontradas o trevo nativo (*Trifolium polymorphum*) e as babosas (*Adesmia bicolor*, *A. securigerifolia*, *A. punctata* e *A. latifolia*), formando manchas amarelas, devido suas flores e ao hábito prostrado-estolonífero.

O Campo com Barba-de-bode (BAR) encontra-se em altitudes entre 30 e 1.000m e relevo suave, sobre o Planalto Meridional em solos predominantemente profundos e de baixa fertilidade. As altitudes são maiores na porção noroeste, onde alcançam 700 m, diminuindo suavemente até alcançar menos de 100m junto ao rio Uruguai. Os campos sobre o Planalto situam-se em altitudes geralmente acima dos 400 m e sobre relevo suave, até o contato com a Floresta Ombrófila Mista ao longo dos principais afluentes dos rios Uruguai e Jacuí. Estes campos são caracterizados por apresentar dois estratos, sendo que no superior destacam-se as barbas-de-bode (*Aristida jubata* e *A. laevis*) e no inferior gramíneas rizomatosas, destacando-se nas áreas mais secas sobre solos argilosos o capim-forquilha, a grama-missioneira (*Axonopus jesuiticus*) e em solos secos e arenosos, *Paspalum leptum*. Nos locais úmidos, como nas bordas de banhados vegetam espécies estoloníferas como a grama-tapete e rizomatosas como *Paspalum pumilum*. Além disso, podem-se encontrar representantes de outras famílias que são relativamente freqüentes, como por exemplo as rubiáceas *Borreria poaya* de flores azuis e *Staelia thymoides* de flores brancas, a leguminosa *Stylosanthes leiocarpa*, as malváceas *Melochia chamaedrys* e *Waltheria douradinha* de flores amarelas e a verbenácea *Glandularia peruviana* de flores vermelhas .

O Campo com Areais (ARE) situa-se em altitudes entre 30 e 400m em relevo suave, em solos predominantemente arenosos, profundos, bem drenados e com baixa fertilidade. Na região dos areais a fisionomia é determinada pelas gramíneas *Axonopus argentinus*, pelo capim-limão (*Elionurus candidus*) e por *Paspalum leptum*. Outras espécies facilmente encontradas nestes campos são *Paspalum stellatum*, *Pappophorum macrospermum*, *Paspalum polyphyllum*, *Panicum triholaenoides*, a euforbiácea de flores vináceas e folhas densamente glandulosas *Jatropha isabelii*, as compostas aqui representadas pelo carrapicho-de-ovelha (*Acanthospermum australe*),

*Lessingianthus macrocephalus*, com grandes capítulos rosados e *Baccharis multifolia*. Uma leguminosa comum nas áreas de arenização é *Lupinus albescens*, de flores azuis, espécie nucleadora, ocorrendo isolada no meio da areia, porém é tóxica. Estes campos apresentam uma flora diferenciada das demais tipologias de campo por apresentar elementos com adaptações a um ambiente árido, com folhas coriáceas, brilhosas ou reduzidas, sistema subterrâneo muito desenvolvido. Destacam-se as cactáceas *Cereus hildmannianus* e *Parodia ottonis*, a palmeira *Butia lallemantii*, as compostas *Asteropsis macrocephala*, *Trixis verbascifolia*, *Centratherum camporum*, *Noticastrum acuminatum*, *Baccharis albolanosus* e *Gochmatia cordata* e a amarantácea *Froelichia tomentosa*. Muitas destas espécies são endêmicas desta formação e apresentam uma intensa pilosidade que confere uma coloração acinzentada à paisagem.

O Campo com Espinilho (ESP) encontra-se ao longo do Rio Uruguai, em altitudes entre 30 e 400m sobre relevo suave, em solos férteis variando de imperfeitamente a mal drenados. Os campos desta região são caracterizados por áreas planas e baixas onde são encontradas manchas de *Paspalum quadrifarium* associadas a outras espécies menos robustas como a cevadilha (*Bromus auleticus*), as flechilhas (*Nassella papposa* e *N. neesiana*, a verbenácea *Phyla canescens* e a composta *Grindelia pulchella*. O estrato inferior é contínuo, formado por uma grande diversidade de gramíneas como a cola-de-lagarto, *Paspalum alium*, o capim-melador (*P. dilatatum*), *P. pauciciliatum*, *P. jesuiticus*, *P. acuminatum*, *Setaria vaginata* e *S. fiebrigii*. Nesta região é possível encontrar leguminosas estoloníferas, de flores amarelas, como o amendoim-nativo (*Arachis burkartii*) e a babosa-do-campo (*Adesmia bicolor*). Em banhados é comum a presença das gramas-boiadeiras (*Leersia hexandra* e *Luziola peruviana*), além de outras espécies menos frequentes como as gramíneas *Rhynchoryza subulata* e *Mnesithea balansae*, a leguminosa *Aeschynomene montevidensis* e a ciperácea *Rhynchospora scutellata*. Associadas a essa matriz campestre ocorrem leguminosas lenhosas esparsas de espinilho (*Vachellia caven*), nhanduvá (*Prosopis affinis*), algarrobo (*Prosopis nigra*), cina-cina (*Parkinsonia aculeata*) e a verbenácea erva-santa (*Aloysia lycioides*).

O Campo de Solos Rasos (SOL) situa-se em altitudes entre 30 e 400m com relevo suave e solos rasos sobre o Planalto da Campanha. A vegetação associada aos solos muito rasos a partir do basalto, pedregosos, com baixa retenção de umidade, associados ao déficit hídrico no verão é bastante peculiar neste ambiente estressante. Vegetam gramíneas cespitosas de porte baixo como *Aristida murina*, *A. echinulata*, *A.*

*venustula*, *A. uruguayensis*, *Bouteloua megapotamica*, *Chloris grandiflora*, *Eustachys brevipila*, *Microchloa indica*, *Schizachyrium spicatum*, *Tridens hackelii* e *Tripogon spicatus*. Em áreas com rochas expostas encontram-se compostas como *Micropsis spathulata*, a roseta (*Soliva pterosperma*) e *Sommerfeltia spinulosa* e leguminosas como *Adesmia incana*, *Indigofera asperifolia*, *Mimosa burkartii*, *Rhynchosia diversifolia* e *Senna nana*. Destacam-se espécies de outras famílias, como *Lippia villafloridana*, verbenácea de flores amarelas, *Nierembergia linariifolia*, solanácea de flores branco-azuladas que forma grandes manchas, exclusiva deste tipo de formação e tóxica para herbívoros, *Convolvulus laciniatus*, convolvulácea de folhas muito recortadas, *Ditaxis acaulis*, euforbiácea densamente pilosa e várias espécies de *Oxalis* (oxalidáceas). Além destas, são comuns também o mio-mio, *Baccharis coridifolia* (Asteraceae) e as umbelíferas *Ammoselinum rosengurtii* e *Eryngium echinatum*.

### 3.4. Discussão

Os dados geoespaciais utilizados para representar os fatores biofísicos considerados mais relevantes à caracterização da paisagem campestre no Rio Grande do Sul possibilitaram discriminar diferentes unidades espaciais que correspondem em grande parte aos ecossistemas campestres descritos por Boldrini (2009). Os resultados reforçam a opinião de diversos autores sobre a influência do relevo e do solo na distribuição espacial das comunidades vegetais herbáceas (Wondzell et al., 1996; Waechter, 2002; Gibson, 2009; Moeslund et al., 2013). Além disso, a identificação de duas tipologias ainda não descritas demonstra também o potencial das geotecnologias como suporte para caracterizar ambientes de modo consistente e coerente, tornando possível expressar espacialmente o conhecimento formal existente sobre a vegetação e sua relação com os fatores do meio (Rowe & Sheard, 1981).

Embora não tenha sido realizado um levantamento sistemático exclusivo para identificar as espécies características de cada tipologia campestre, o conhecimento reunido durante mais de 40 anos de levantamentos parciais da vegetação campestre no Rio Grande do Sul permitiu elencar as espécies mais representativas. Dessa forma, ainda que a relação de espécies não seja exaustiva, ela corrobora a diferenciação de cada tipologia campestre aqui proposta, em termos de sua composição florística, como resultado do meio.

A nomenclatura atribuída às tipologias campestres ilustra a diversidade que precisa ser considerada ao se propor sistemas de classificação desse tipo de vegetação, o que demanda critérios necessariamente diferentes dos empregados para classificar

florestas (Küchler & Montoya, 1971, Küchler, 1973). Por exemplo, o sistema de classificação da vegetação brasileira fundamenta-se no método fisionômico-ecológico (IBGE, 2012), em que comunidades vegetais são caracterizadas pela sua estrutura, sendo cada uma definida pelas formas de vida dominantes em função de relações ambientais genéricas (Whittaker, 1975). Ele pode expressar adequadamente a distribuição das formações florestais originais no Rio Grande do Sul, porém parece não discriminar suficientemente as formações campestres.

Nesse sentido, a combinação dos limites das tipologias campestres aqui obtidos, com as regiões fitoecológicas florestais já delimitadas no mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 2004) resulta em uma regionalização ambiental que retrata a distribuição dos dois tipos de formações vegetais em detalhe equivalente, o que pode servir a múltiplos propósitos (Omernik, 1987, Bailey, 2009). Nos dias atuais são poucas as áreas do Rio Grande do Sul cuja cobertura vegetal original ainda não sofreu alteração, com remoção parcial ou total para dar lugar a assentamentos humanos e uso agrícola. A caracterização da vegetação nessas áreas alteradas é difícil, mas a abordagem ecológica permite avaliar as condições ambientais do lugar e, a partir delas, identificar o tipo de comunidade vegetal esperado, elemento importante para o planejamento de uso (Rowe, 1996).

Conhecer em maior detalhe as condições biofísicas dos ecossistemas permite definir usos da terra mais adequados às potencialidades e limitações de cada lugar. Conhecer a comunidade vegetal esperada em cada um possibilita ainda definir melhores estratégias de conservação e uso sustentável, com vistas à manutenção dos processos e funções ecossistêmicas (Bailey, 2009). Para tanto, torna-se importante confrontar os limites e características de cada ecossistema com o uso da terra. Por exemplo, das 10 tipologias campestres delimitadas, o campo misto de andropogôneas e compostas (AND), o campo litorâneo (LIT), o campo com barba-de-bode (BAR) e o campo arbustivo (ARB) são os que ocupam maior extensão no Rio Grande do Sul. Entretanto, em alguns deles grande proporção da vegetação campestre original já foi substituída por diversos usos antrópicos em virtude das condições ambientais favoráveis. Por outro lado, o campo misto do cristalino oriental (CRI) ocupa uma área reduzida no estado, mas sua cobertura vegetal original foi menos alterada, e ele também se estende em áreas maiores contíguas para dentro do Uruguai.

A delimitação de tipologias campestres proposta neste estudo é uma primeira aproximação de regionalização baseada em abordagem ecológica hierárquica



ao nível de mesoescala. Ela se baseou no melhor conjunto de dados geoespaciais disponíveis com cobertura homogênea para o Rio Grande do Sul e no conhecimento existente sobre as fisionomias campestres. É preciso considerar também que os limites discretos são uma abstração, uma simplificação da realidade. Eles buscam indicar onde os elementos naturais tendem a apresentar uma transição gradual no espaço. Assim, é possível que tais limites possam ser refinados com o surgimento de dados geoespaciais mais detalhados, ou redefinidos com o aprofundamento no conhecimento sobre a flora ou a fauna. Trata-se de uma oportunidade para estudos futuros sobre comunidades vegetais e animais, bem como sobre mapeamento de uso da terra, para avaliar as tipologias ora apresentadas.

### **3.5. Conclusões**

- A abordagem ecossistêmica possibilitou, com base no conhecimento existente, elencar fatores biofísicos relevantes à distribuição dos ecossistemas e integrá-los com auxílio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para propor uma nova subdivisão;
- O uso de poucas variáveis representativas dos fatores biofísicos possibilitou a delimitação de 14 unidades espaciais que representam sistemas ecológicos em nível de mesoescala, sendo quatro deles referentes a tipologias florestais e dez campestres;
- A observação da flora presente em cada unidade espacial evidenciou coerência com a delimitação proposta, refletindo que sua distribuição resulta da expressão dos fatores biofísicos em questão, que também devem afetar o desempenho de culturas agrícolas.

## **4. CAPÍTULO III – INFLUÊNCIA DE ATRIBUTOS BIOFÍSICOS NA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DO USO ATUAL DA TERRA NO RIO GRANDE DO SUL**

### **4.1. Introdução**

Desde os tempos em que passou a cultivar as primeiras plantas, há cerca de 10.000 anos, a humanidade vem transformando continuamente a superfície terrestre. Inicialmente as modificações eram locais e muitas vezes imperceptíveis, seja pela pequena extensão afetada ou pelo baixo impacto do sistema de cultivo utilizado. Ao longo da história, elas foram se expandindo e se intensificando em todos os continentes, de modo que as diferentes paisagens contemporâneas resultam da combinação de um conjunto de fatores ligados às características do ambiente e da população (Turner II et al., 2007). Atualmente mais da metade da superfície emersa livre de gelo da Terra é utilizada com atividades agrícolas e a produção, antes consumida localmente, hoje costuma ser destinada a mercados muito mais distantes.

O uso da terra é o reflexo da interação, num dado local, das condições naturais ou biofísicas, de aspectos culturais e históricos, institucionais e de mercado, e das decisões do agricultor (Briassoulis, 2000). Por essa razão, estudos nesse tema são em sua essência de natureza interdisciplinar, demandando o emprego de métodos e técnicas de diferentes áreas do conhecimento. Eles também apresentam como desafio adicional a necessidade de tentar considerar simultaneamente as dimensões do tempo e do espaço, ambos podendo assumir diferentes escalas.

O tempo, por exemplo, pode variar do período de uma safra, que envolve alguns meses, às transformações ocorridas num dado lugar em algumas décadas de cultivo, ou o até mesmo o período histórico desde as origens da agricultura até a atualidade. O espaço, da mesma forma, pode variar de uma propriedade rural, a unidades político-administrativas ou regiões naturais, até a totalidade do globo terrestre. Todavia, como a superfície da Terra não é homogênea, a ampliação da escala espacial tem como conseqüência a impossibilidade de considerar as particularidades de cada

local, que o tornam único, em função da necessidade de agregar as informações para um nível mais genérico.

Nesse contexto, a síntese da informação oriunda de estudos de caso locais para identificar tendências regionais ou globais representa um grande desafio. Partindo-se de determinada abordagem teórica, subseqüentemente torna-se necessário escolher as variáveis relevantes e coletar os dados que possam representá-las. Dados gerais sobre área cultivada e produção podem ser obtidos dos censos agropecuários, que são geralmente executados com intervalo de 10 anos (IBGE, 2006), enquanto os de uma safra particular podem ser adquiridos junto a agências governamentais e/ou instituições privadas ligadas às diferentes cadeias produtivas (IBGE, 2017; CONAB, 2018). No Brasil, via de regra tais informações são levantadas por enquete, envolvendo reuniões periódicas e questionários aplicados aos diversos atores envolvidos com a produção, tendo como unidade espacial básica o município.

Embora atendam algumas demandas econômicas e políticas públicas, dados censitários e de safras não fornecem a localização dos diferentes usos agropecuários no município, impossibilitando sua relação com os fatores biofísicos locais. No entanto, compreender esta última é essencial para avaliação e planejamento do uso da terra em consonância com as potencialidades e limitações do ambiente, visando à sustentabilidade da produção no longo prazo. Isso exige conhecer a localização e extensão dos diferentes usos, ou seja, seu mapeamento, tarefa que pode ser executada a partir do processamento de imagens de sensoriamento remoto. Atualmente disponíveis de diferentes fontes, principalmente satélites, e com vários níveis de resolução espacial, tais imagens possibilitam não apenas mapear usos agropecuários, mas também outros usos antrópicos e a cobertura vegetal natural. Os mapas resultantes sintetizam vários processos e refletem a ocupação da terra (e sua transformação) por sistemas naturais ou artificialmente modificados (Turner II et al., 1995; Di Gregorio, 2016).

Por outro lado, as características biofísicas do ambiente em geral estão representadas na forma de mapas que ilustram separadamente vários aspectos do meio, com detalhamento espacial e temático variável e unidades básicas de mapeamento distintas. Harmonizá-los e combiná-los para retratar o meio em um mapa integrado, de uma forma que possa ser adequadamente confrontada com mapas de uso e cobertura vegetal, também é um desafio. No Rio Grande do Sul, há vários exemplos de divisões biofísicas com base em um elemento discriminador principal, tais como a vegetação (IBGE, 1986), a geomorfologia (IBGE, 1986), e em mais de um elemento, tais como as

regiões fisiográficas (Fortes, 1979) ou as regiões agroecológicas (FEPAGRO, 1994). As últimas, porém, tem aplicação limitada para o propósito em questão por estarem generalizadas para os limites municipais. A divisão proposta no capítulo 2 desta tese busca suprir essa lacuna, integrando os limites naturais dos principais elementos biofísicos para discriminar regiões homogêneas denominadas de sistemas ecológicos.

O objetivo desse estudo é avaliar a extensão e distribuição de diferentes usos do solo e da cobertura vegetal natural nos sistemas ecológicos do estado Rio Grande do Sul, buscando avaliar e interpretar sua relação com os fatores biofísicos do ponto de vista da sustentabilidade ambiental da produção.

## **4.2. Material e métodos**

### **4.2.1. Caracterização da área de estudo**

A área de estudo compreende o estado do Rio Grande do Sul, localizado entre as latitudes 27°05' S e 33° 45' S e as longitudes 49°41' W e 57°38' W (Figura 8), na costa oriental da América do Sul. Essa posição continental lhe confere um clima subtropical úmido sem estação seca, correspondendo aos climas segundo Köppen, Cfa (subtropical úmido com verões quentes) e Cfb (subtropical úmido com verões amenos) nas porções de maior altitude (Mota, 1951; Moreno, 1961; Hasenack & Ferraro, 1989; Rossato, 2011).

Geomorfologicamente o estado pode ser dividido em quatro grandes conjuntos: O Planalto Uruguaio-Sul-rio-grandense, no sudeste, com relevo forte ondulado e altitudes que atingem os 60 m; o Planalto Meridional no norte e oeste uma cuesta cujo reverso com altitudes que alcançam 1200 m no extremo leste, diminuindo para oeste até alcançar 80m junto ao Rio Uruguai. As declividades são suaves, exceto nos vales encaixados dos afluentes do Rio Uruguai e dos rios que entalham a escarpa em direção sul para a Depressão Periférica, uma planície sedimentar que une ambos os planaltos, e para leste em direção à Planície Costeira, a qual resulta de uma série de processos transgressivos e regressivos que se estenderam ao longo de toda a costa do estado (IBGE, 1986).

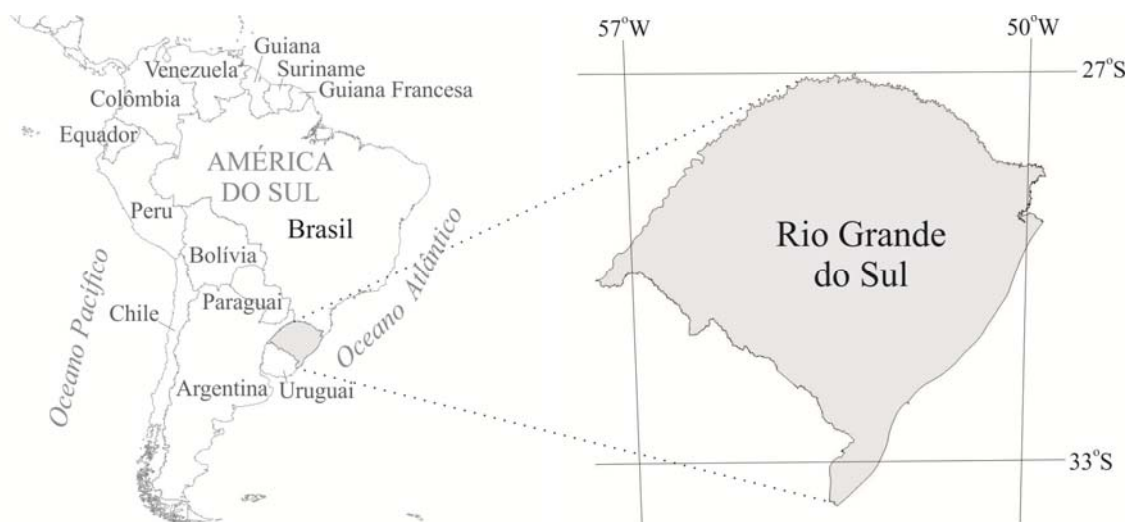


Figura 8. Localização do Rio Grande do Sul na costa oriental da América do Sul.

A vegetação é composta por um mosaico de ambientes campestres e florestais. Os campos correspondem ao que Bond (2016) denominou de “*oldgrowth grasslands*”, vegetação relictada de um passado mais frio e seco (Behling et al., 2009). O aumento gradual da temperatura e da umidade permitiu o avanço das florestas de norte para sul tanto pela costa atlântica quanto pelo vale do Rio Paraná e seus principais tributários (Bolzon & Marchiori, 2002). O sul do estado, entretanto permaneceu predominantemente campestre.

#### 4.2.2. Material utilizado

O material utilizado compreende basicamente um mapa de uso do solo e cobertura vegetal com a data mais recente disponível para o estado do Rio Grande do Sul (Weber et al, 2016), e um mapa de regiões homogêneas quanto aos principais fatores biofísicos do meio. O primeiro foi elaborado por interpretação visual sobre imagens do satélite Landsat, discriminando um total de 20 categorias de uso do solo e cobertura vegetal. O segundo delimita 14 sistemas ecológicos, sendo 4 florestais e 10 campestres, constituindo o produto final da divisão proposta no capítulo 2 desta Tese. Ambos encontram-se na forma de camadas vetoriais de polígonos, aptos para utilização em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Para apoiar a interpretação desses dados foram ainda utilizados mapas referentes à malha municipal do estado (IBGE, 2015) e à representação de áreas de povoamento do Rio Grande do Sul (Bernardes, 1962).

O processamento e análise dos dados geoespaciais foi efetuado em microcomputadores com auxílio dos softwares de Sistema de Informação Geográfica (SIG) TerrSet (Eastman, 2015), Cartalinx (Hagan et al., 1999) e ArcView (ESRI, 2014).

### 4.2.3. Metodologia

O primeiro passo foi efetuar a padronização dos dados geoespaciais para possibilitar sua subsequente integração e análise. Inicialmente eles foram transformados para o mesmo sistema geodésico de referência e a mesma projeção cartográfica, optando-se respectivamente pelo datum SIRGAS 2000 e projeção Cônica Equivalente de Albers, a mesma utilizada pelo IBGE para quantificação de área das unidades territoriais do Brasil. Posteriormente os dois arquivos vetoriais foram convertidos do modelo vetorial para o modelo *raster* (matricial), adotando-se para ambos a resolução espacial de 30 m, equivalente à das imagens do satélite Landsat a partir das quais o primeiro foi elaborado.

Para os propósitos do presente trabalho, o mapa de uso do solo e cobertura vegetal foi submetido a uma simplificação temática a fim de compatibilizar seu detalhamento espacial com o mapa de sistemas ecológicos e possibilitar maior ênfase nos diversos tipos de uso antrópico. Assim, optou-se por agrupar as várias classes de cobertura vegetal nativa em apenas uma campestre e uma florestal e as áreas naturais sem cobertura vegetal em uma terceira classe, o que possibilitou uma redução das 20 categorias originais do mapa para apenas 10, porém retendo-se todas as classes de uso.

Os mapas de sistemas ecológicos e de uso e cobertura do solo foram então sobrepostos com auxílio de um sistema de informação geográfica para quantificar-se a área e a proporção ocupada por cada classe de uso do solo e cobertura vegetal em cada um dos sistemas ecológicos. Com base na tabela resultante da combinação dos mapas, procedeu-se uma análise exploratória dos dados visando-se descrever e compreender a extensão e a distribuição do uso do solo e da cobertura nativa remanescente, bem como sua relação com os fatores biofísicos em cada sistema ecológico.

## 4.3. Resultados e discussão

### 4.3.1. Categorias de uso do solo e cobertura vegetal

As características gerais das 12 categorias de uso do solo e cobertura vegetal consideradas neste estudo são detalhadas a seguir.

1. Uso agrícola misto: característico de pequenas propriedades familiares onde ainda há policultura, herança da colonização do século XIX (Bernardes, 1962), é típico dos sistemas ecológicos florestais, mas também ocorre no contato das áreas urbanizadas das sedes municipais e em assentamentos rurais de ecossistemas campestres

2. Agricultura de sequeiro: é representada predominantemente por cultivos de soja e milho e se concentra na metade norte do estado. Esse tipo de uso teve seu início na

década de 1970, em especial sobre regiões de latossolos, tendo se expandido a partir das áreas coloniais adjacentes. Embora a soja tenha sido introduzida em propriedades de uso agrícola misto, onde inicialmente era cultivada concomitantemente com o milho, técnicas de conservação e correção de acidez dos latossolos favoreceram a expansão sobre formações campestres adjacentes à região colonial. Com preços atraentes e mercado favorável houve transformação importante no noroeste do estado, onde o solo e o relevo favorecia a mecanização agrícola, substituindo a policultura pelo cultivo de soja no verão e trigo no inverno (Lücker, 1982).

3. Cultivo de arroz: compreende áreas efetivamente destinadas ao cultivo de arroz no período de elaboração do mapa, sem considerar as áreas de pousio usualmente utilizadas com pecuária. Ocupa terras baixas do estado, no entorno das lagoas do litoral e várzeas do rio Gravataí, ao longo dos rios Jacuí e Ibicuí e Santa Maria, na região central e sudoeste do estado, e no médio Uruguai, no oeste. Alimento básico na dieta do brasileiro, o arroz gaúcho como produto comercial beneficiou-se, no início do século XIX, da política de substituição de importações, o que deu impulso à expansão orizícola no estado a partir de Pelotas e Cachoeira do Sul (Beskow, 1984).

4. Silvicultura: representada por florestas cultivadas, principalmente de pinus, eucalipto e acácia negra, tem atualmente sua maior concentração nas regiões sudeste e nordeste do estado. Esse tipo de cultivo apresentou uma expansão significativa no período de 2002 a 2009, praticamente dobrando sua área, preponderantemente sobre campo nativo (Hofmann et al. (no prelo)).

5. Floresta nativa: é constituída de mata propriamente dita, mosaico de mata com campo e afloramentos, típico do escudo cristalino onde a mata é a vegetação dominante, bem como matas com parcelas de algum uso agrícola no seu interior que ocupam de 30% a 50% da área.

6. Campo: corresponde a áreas onde a vegetação campestre nativa domina a cobertura do solo, sobre a qual há geralmente uso pecuário. Compreende áreas de campo seco, campo úmido e banhado. Parte do campo úmido corresponde a áreas de pousio do sistema de cultivo de arroz irrigado.

7. Água: compreende corpos d'água naturais, cuja maior parte encontra-se na planície costeira, e reservatórios artificiais construídos para geração de energia elétrica, irrigação ou abastecimento público.

8. Área urbanizada: é representada por áreas construídas de cidades, vilas e outras aglomerações com características de urbanização.

9. Mineração: corresponde basicamente a áreas de mineração de carvão a céu aberto na região carbonífera do Rio Jacuí e na região de Candiota, no sul do estado.

10. Áreas naturais sem vegetação: incluem tanto areais, os quais concentram-se na porção centro-oeste do estado, afloramentos rochosos, concentrados na região sudeste, e superfícies arenosas de praias marinhas, lacustres e fluviais.

#### 4.3.2. Extensão e distribuição nos sistemas ecológicos

A extensão e distribuição das diferentes categorias de uso do solo e cobertura vegetal nos sistemas ecológicos são bastante heterogêneas (Figura 9, Quadro 4 e Quadro 5), o que corrobora em parte as distintas características fisionômicas resultantes dos fatores biofísicos que definem cada um (item 3.3.1 e Quadro 3).

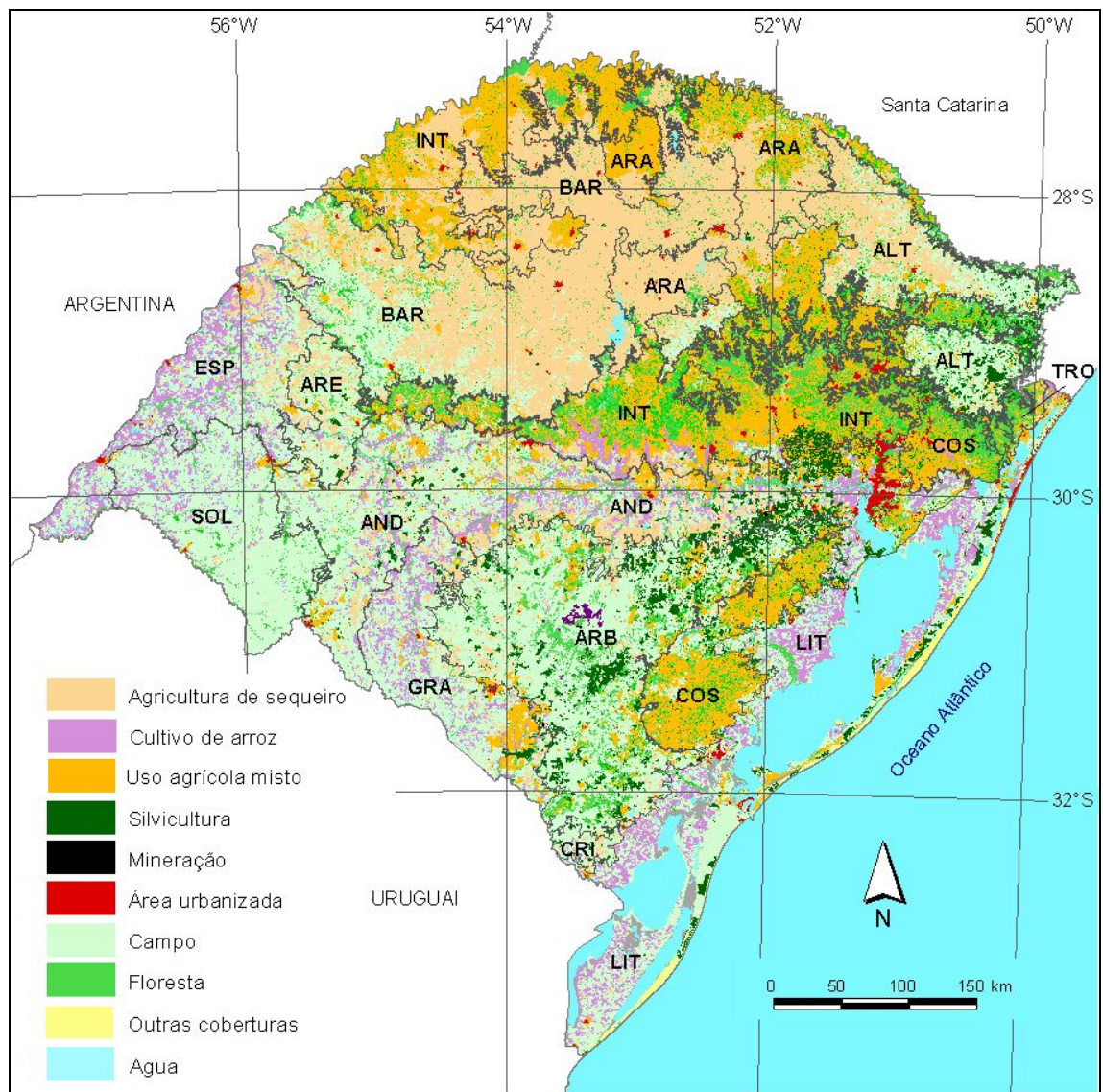


Figura 9. Mapa de uso e cobertura do solo (Weber et al., 2015) com legenda simplificada e limites dos sistemas ecológicos do RS (Capítulo 2 da Tese). Elaboração própria.



Os sistemas ecológicos florestais apresentam uso do solo predominantemente agrícola, mais especificamente o uso agrícola misto, típico de pequena propriedade, exceto a Floresta Tropical. Essa constatação não surpreende, pois os imigrantes europeus que chegaram ao estado a partir do primeiro quarto do século XIX receberam pequenas parcelas em áreas que eram cobertas por floresta (Miguel, 2013). A colonização teve início no sistema ecológico da Floresta Subtropical Costeira, cerca de 30 km ao norte de Porto Alegre, tendo se estendido nas décadas seguintes em direção à Floresta Subtropical Interior a oeste e Floresta com Araucária no norte. No início do século XX a colonização já havia atingido as margens do Rio Uruguai no noroeste e norte do estado. Praticavam a agricultura de subsistência e a banha de porco era o produto comercial mais importante. Atualmente, a maioria das propriedades está de alguma forma associada a cooperativas ou empresas integradoras tendo no leite, na criação de frangos ou de suínos, no tabaco e na fruticultura a renda da família, mas ainda tendo uso agrícola misto em parte da propriedade.

Na Floresta Subtropical Costeira esses cultivos mistos continuam francamente dominantes (88,9%) em relação aos demais usos agrícolas. Esse sistema ecológico apresenta limitações à mecanização em função da declividade acentuada e dos solos rasos. Além disso, por conter ou estar próximo a áreas com alta densidade populacional do estado, o uso da terra concentra-se na produção de hortigranjeiros, pomares e leite. No sistema Floresta Tropical, a topografia é o maior fator limitante ao uso agrícola. Lá o uso agrícola misto ainda é o dominante, mas há uma parcela de 33,5% das áreas agrícolas ocupada com cultivos comerciais perenes como a banana.

Quadro 4. Área (hectares) de diferentes categorias de uso do solo e cobertura vegetal, ano base 2009, nos sistemas ecológicos do Rio Grande do Sul (ALT: campo de altitude; LIT: campo litorâneo; ARB: campo arbustivo; CRI: campo misto do cristalino oriental; AND: campo misto de andropogôneas e compostas; GRA: campo graminoso; BAR: campo com barba-de-bode; ARE: campo com areais; ESP: campo com espinilho; SOL: campo de solos rasos; ARA: floresta com araucária; INT: floresta subtropical interior; COS: floresta subtropical costeira; TRO: floresta tropical).

Sistema ecológico	Uso do solo/cobertura vegetal										
	Uso agrícola misto	Cultivo de arroz	Agricultura de sequeiro	Silvicultura	Campo	Floresta nativa	Água	Área urbanizada	Mineração	Área natural sem vegetação	Total (ha)
ALT	67.724	2	567.875	94.864	597.738	114.971	3.453	3.418	52	0	1.450.097
ARB	200.725	8.347	228.860	360.154	1.789.520	396.043	7.890	3.525	3.143	21.306	3.019.512
ARE	8.030	14.976	110.442	13.200	279.697	27.385	3.815	875	0	10.263	468.683
BAR	109.200	13.966	2.619.741	6.858	775.927	242.484	33.995	19.469	81	1	3.821.720
ESP	25.608	410.538	167.626	1.872	647.254	55.521	77.018	6.801	0	2.181	1.394.421
SOL	8.722	155.571	14.812	746	1.094.677	66.665	28.721	1.796	11	290	1.372.010
GRA	9.9368	219.231	110.211	25.226	616.760	36.811	41.307	3.407	150	0	1.152.472
LIT	118.120	525.245	2.8825	103.350	1.157.666	71.423	1.502.379	33.883	329	124.103	3.665.322
AND	364.280	466.545	554.441	230.822	1.473.027	258.120	126.695	85.683	2.659	2.028	3.564.299
CRI	1.950	3.982	20.930	8.327	78.095	1.119	1.690	145	0	0	116.240
ARA	1.117.510	0	1.015.659	65.717	83.155	648.611	19.583	42.519	148	0	2.992.903
COS	700.745	14.237	21.776	51.881	102.028	287.282	2.861	12.738	106	365	1.194.019
INT	1.676.458	106.648	772.171	45.354	82.334	1.078.647	50.122	36.345	67	0	3.848.147
TRO	24.758	302	13.040	848	493	74.375	52	21	21	0	113.910
Total (ha)	4.523.198	1.939.589	6.246.409	1.009.220	8.778.371	3.359.457	1.899.582	250.626	6.766	160.536	28.173.754

Quadro 5. Proporção (%) de diferentes categorias de uso do solo e cobertura vegetal, ano base 2009, nos sistemas ecológicos do Rio Grande do Sul (ALT: campo de altitude; LIT: campo litorâneo; ARB: campo arbustivo; CRI: campo misto do cristalino oriental; AND: campo misto de andropogôneas e compostas; GRA: campo graminoso; BAR: campo com barba-de-bode; ARE: campo com areais; ESP: campo com espinilho; SOL: campo de solos rasos; ARA: floresta com araucária; INT: floresta subtropical interior; COS: floresta subtropical costeira; TRO: floresta tropical).

Sistema ecológico	Uso do solo/cobertura vegetal										
	Uso agrícola misto	Cultivo de arroz	Agricultura de sequeiro	Silvicultura	Campo	Floresta nativa	Água	Área urbanizada	Mineração	Área natural sem vegetação	Total (%)
ALT	4,67	0,00	39,16	6,54	41,22	7,93	0,24	0,24	0,00	0,00	100
ARB	6,65	0,28	7,58	11,93	59,27	13,12	0,26	0,12	0,10	0,71	100
ARE	1,71	3,20	23,56	2,82	59,68	5,84	0,81	0,19	0,00	2,19	100
BAR	2,86	0,37	68,55	0,18	20,30	6,34	0,89	0,51	0,00	0,00	100
ESP	1,84	29,44	12,02	0,13	46,42	3,98	5,52	0,49	0,00	0,16	100
SOL	0,64	11,34	1,08	0,05	79,79	4,86	2,09	0,13	0,00	0,02	100
GRA	8,62	19,02	9,56	2,19	53,52	3,19	3,58	0,30	0,01	0,00	100
LIT	3,22	14,33	0,79	2,82	31,58	1,95	40,99	0,92	0,01	3,39	100
AND	10,22	13,09	15,56	6,48	41,33	7,24	3,55	2,40	0,07	0,06	100
CRI	1,68	3,43	18,01	7,16	67,18	0,96	1,45	0,13	0,00	0,00	100
ARA	37,34	0,00	33,94	2,20	2,78	21,67	0,65	1,42	0,00	0,00	100
COS	58,69	1,19	1,82	4,35	8,54	24,06	0,24	1,07	0,01	0,03	100
INT	43,57	2,77	20,07	1,18	2,14	28,03	1,30	0,94	0,00	0,00	100
TRO	21,73	0,26	11,45	0,74	0,43	65,29	0,05	0,02	0,02	0,00	100

A silvicultura em sistemas ecológicos florestais ocupa 163.801 ha, o que representa 16,2% da atividade agrícola. Dos sistemas ecológicos florestais apenas a Floresta Subtropical Costeira possui área superior a 5% do sistema com essa atividade (6,6%; 51.881 ha). Em geral, a atividade de silvicultura está implantada em áreas de menor interesse para agricultura de grãos ou, nas áreas de uso agrícola misto, ocupa uma parcela menor dos vários usos existentes, associada com áreas nas quais outros usos agrícolas ou criação de animais (gado leiteiro, suínos ou frangos) são os mais importantes ao produtor. Na propriedade familiar a silvicultura geralmente serve de fonte de lenha, madeira para construção e material para cama em aviários. No passado a acácia negra era cultivada para extração do tanino da casca, usado no curtimento de couros e secundariamente para produção de lenha e carvão vegetal para uso industrial e doméstico. Atualmente grande parte dessas áreas vem sendo substituída por eucalipto em função do mercado de celulose ser mais atraente.

A vegetação florestal nativa remanescente corresponde a cerca de 65,3% (74.375 ha) do sistema ecológico Floresta Tropical, mas nos demais sistemas ecológicos florestais a proporção é inferior a 30%: 28,0% (1.078.647 ha) na Floresta Subtropical Interior, 24,1% (287.282 ha) na Floresta Subtropical Costeira e 21,7% (648.611 ha) na Floresta com Araucária. No sistema ecológico Floresta Tropical o relevo predominantemente forte ondulado e íngreme dificulta o uso dessas terras, razão que levou os agricultores ao abandono de áreas de manejo mais difícil, o que resultou na restauração espontânea da floresta nesses locais. No passado essa região provavelmente tinha menos floresta do que nos dias atuais. A topografia também explica o melhor estado de conservação dessas matas, pois apenas 2,5% delas encontram-se na classe de floresta com uso antrópico até 30% e 12,4% na classe de floresta com uso antrópico até 50%. Nos demais sistemas ecológicos florestais as matas sem maior distúrbio ocupam entre 21,7% e 28,0%.

O sistema ecológico da Floresta com Araucária é o que apresenta a menor proporção da cobertura original (21,7%). Localiza-se nas maiores altitudes do estado, as quais correspondem ao topo do Planalto, em áreas com relevo suave a ondulado que facilitam o uso de máquinas e implementos agrícolas. O mesmo ocorre com parte da Floresta Subtropical Interior. Embora a maior parte desse sistema ecológico ocorra em áreas com relevo forte ondulado a íngreme, no noroeste do RS parte desse sistema ecológico ocorre sobre terrenos ondulados e cujos solos permitem a mecanização, razão pela qual têm sido utilizados na produção de grãos.

Na Floresta Subtropical Costeira o relevo é fator limitante à produção de grãos em larga escala, razão pela qual domina o uso agrícola misto. Por outro lado, esse é o sistema no qual a proporção de floresta sem distúrbio é o menor, aumentando a proporção de manchas de floresta com uso antrópico em 30% ou 50% da área.

Com relação aos sistemas ecológicos campestres, apesar de seu maior número, eles podem ser tratados com relação ao uso do solo e cobertura vegetal de acordo com três grandes grupos: o campo arbustivo do Escudo Cristalino; os campos de terras baixas com domínio de solos hidromórficos; e os campos com domínio de solos bem drenados.

O Campo do Escudo Cristalino tem como sua principal característica fisionômica o fato de se apresentar como um mosaico campo-floresta. Ocorre sobre o Escudo Uruguaio Sul-rio-grandense, o conjunto geológico mais antigo do estado e que apresenta relevo de forte a ondulado. Responsável pela oferta de radiação bastante variável no espaço, alterna igualmente solos bem drenados com profundidade e fertilidade variada. Essas características biofísicas contribuem para uma variedade de topoclimas que favorecem a vegetação lenhosa em ambientes mais úmidos como as várzeas dos rios e as encostas menos ensolaradas voltadas para o sul, a qual diminui com o aumento da distância dos rios e da altitude em relação ao nível de base da encosta, com a vegetação herbácea passando a dominar nos topos de morros e nas encostas voltadas para o quadrante norte.

Esse sistema ecológico campestre corresponde fisionomicamente a uma transição entre a Floresta Subtropical Costeira que ocorre nas vertentes do Escudo voltadas para o Litoral e que recebem os ventos úmidos vindos do Oceano, diminuindo sua influência em direção ao interior. Em consequência, 59,5% da área desse sistema ecológico é campestre e a proporção de floresta (13,1%) tão elevada, pois nos demais sistemas ecológicos a área com floresta é inferior a 8%, limitando-se basicamente a matas ciliares. Limitações ao uso da terra decorrentes de relevo íngreme e solos rasos em parte justifica o fato dos cultivos ocorrerem apenas sobre 26,4% de sua superfície. Parte da vegetação campestre é rupestre, apresentando lajedos e matacões em meio à vegetação. Além da vocação desse sistema ecológico para a pecuária de bovinos, esse é também o sistema ecológico dos afloramentos rochosos, uma vez que contém 99,7% (21.005 ha) dos afloramentos rochosos do estado, um patrimônio natural diferenciado.

A atividade agrícola dominante (45,1%; 360.154 ha) no sistema ecológico é a silvicultura, fato também influenciado pela proximidade da empresa de celulose que

absorve a produção de eucalipto, dominante na região. Inicialmente concentrada no extremo norte do sistema ecológico, a implantação de plantios de eucalipto acabou se estendendo na última década para sul e oeste do estado, estimulada por incentivos governamentais. O segundo uso agrícola mais importante em área é a agricultura de sequeiro (28,7%; 228.860 ha) e do uso agrícola misto (25,2%; 200.725 ha), a maior proporção desse tipo de agricultura dentre os sistemas ecológicos campestres.

Os campos de terras baixas (Campo com Espinilho, Campo Graminoso, Campo Litorâneo e Campo de Andropogônias e Compostas) têm como característica principal o fato de suas terras estarem predominantemente sobre solos com lençol freático próximo da superfície, estando localizados nas planícies associadas aos grandes rios que drenam o estado, como ao longo do curso inferior dos rios Jacuí e seus afluentes Vacacaí, Taquari, Caí, Sinos e Gravataí, do curso médio do Rio Uruguai incluindo seu principal afluente, o Rio Ibicuí e formadores, bem como nas áreas úmidas no contato com as lagoas do Litoral.

Do ponto de vista do uso agrícola das terras, observa-se que domina o cultivo do arroz irrigado. Primeira cultura agrícola comercial do estado, o arroz ocupou principalmente áreas originalmente de campos úmidos e banhados, os quais foram drenados para possibilitar o estabelecimento do cultivo irrigado. Beneficiava-se de uma condição biofísica natural, tanto pelas características do solo, quanto do relevo e da proximidade da água para irrigação. Adicionalmente, a atividade convivia bem com a pecuária. De um lado, as áreas úmidas não eram preferenciais à pecuária, de outro, uma vez implantado o cultivo de arroz, as áreas de pousio, características desse sistema de cultivo utilizado no estado podiam ser utilizadas como áreas de pastagem. O cultivo de arroz e a pecuária compartilham, portanto, o mesmo espaço. A participação variável do arroz na proporção da área ocupada por uso agrícola nos diferentes sistemas ecológicos de terras baixas é reflexo das proporções diferentes com que essas características biofísicas de ambientes úmidos se fazem presentes em cada um deles.

O sistema ecológico Campo Litorâneo possui 21,2% (35,9% se excluídos os corpos d'água) de sua superfície com uso agrícola, 67,7 % (525.425 ha) a qual é ocupada pelo cultivo de arroz. Isso é possível em função da disponibilidade de água (40,1% da superfície do sistema ecológico é coberta por lagoas e lagoas) e de solos aptos ao cultivo. Condições similares ocorrem no extremo oeste do estado, no sistema ecológico Campo com Espinilho, que apresenta 68,3% da área agrícola (410.538 ha) com cultivo de arroz, cuja irrigação provém dos rios que drenam a região. No sistema

Campo Graminoso 48,3% (219.231 ha) da superfície agrícola é cultivada com arroz. Nesse sistema ecológico, o solo é apto ao cultivo do arroz, mas há necessidade de construção de açudes para armazenamento de água para irrigação, o que nos demais sistemas ecológicos de terras baixas é complementar aos recursos disponíveis naturalmente. No sistema ecológico Campo de Andropogôneas e Compostas, embora o arroz proporcionalmente ocupe parcela menor dentre os cultivos agrícolas (28,9%), parte dela utiliza os recursos hídricos naturais e parte é cultivada com represamento de água em açudes.

Tanto o Campo Graminoso quanto o Campo com Andropogôneas e Compostas possuem, proporcionalmente aos sistemas ecológicos Campo Litorâneo e Campo com Espinilho, menor proporção de áreas aptas para arroz em relação aos demais sistemas ecológicos de terras baixas razão pela qual, outros usos agrícolas têm importância relativa equivalente, como os cultivos de sequeiro (34,3%; 554.441 ha no Campo com Andropogôneas e Compostas e 24,3%, 110.211 ha no Campo Graminoso). No Campo do Espinilho (27,1%, 167.626 ha) os cultivos de sequeiro concentram-se no norte do sistema ecológico, no contato com o sistema ecológico Campo de Barba-de-bode. Os cultivos de sequeiro nos sistemas ecológicos de terras baixas também podem estar associados ao uso de áreas antes cultivadas com arroz. Os cultivos de sequeiro também podem ter aumentado sobre de áreas de campo, em especial em anos em que o preço da soja foi favorável. No Campo Litorâneo a área com agricultura de sequeiro ainda tem importância secundária, ocupando apenas 3,7% (28.825 ha).

O uso agrícola misto no Campo de Andropogôneas e Compostas (22,5%; 364.280 ha) está mais concentrado em áreas de solos bem drenados e férteis ao longo do limite norte do sistema ecológico, no contato com o sistema Floresta Subtropical Interior e, a partir do final da década de 1980, em assentamentos rurais da reforma agrária na região de Santana do Livramento. No sistema Campo Graminoso o uso misto (21,9%; 99.368 ha) está concentrado no extremo sul, na região de Bagé, onde há colônias agrícolas em Aceguá e outro pólo de assentamentos rurais da reforma agrária concentrados em Candiota e Hulha Negra. No Sistema Campo Litorâneo, o uso agrícola misto ocupa 15,2% e está concentrado na porção norte do sistema ecológico, no contato com o sistema ecológico Floresta Tropical, onde são cultivados hortigranjeiros e frutas tropicais como abacaxi e no litoral médio entre a Laguna dos Patos e o Oceano, onde tradicionalmente se concentra o cultivo de cebola do estado.

A silvicultura é atividade agrícola tradicional no sistema Campo de Andropogôneas e Compostas onde ocupa 14,3% da área agrícola do sistema (230.822 ha). A atividade está concentrada no extremo leste do sistema ecológico, no contato com o sistema ecológico Campo do Escudo e ao norte do Rio Jacuí, entre seus afluentes Caí e Taquari. Nessa região cultivava-se no passado a acácia-negra, cuja casca era utilizada na produção de tanino, hoje em grande parte substituído por produtos industriais. Além disso, o custo elevado de mão-de-obra para extração da casca tornou a atividade menos atrativa. Com isso, grande parte do cultivo das áreas de acácia foram substituídas por plantios de eucalipto, como insumo à indústria de celulose localizada nas proximidades.

Na última década, em função de incentivos governamentais à indústria da celulose, novas áreas de silvicultura surgiram próximo à região de São Gabriel, pois havia perspectiva de implantação de uma indústria na região o que não se confirmou. No sistema ecológico Campo Litorâneo 13,3% (103.350 ha) da área agrícola do sistema ecológico é ocupado pela silvicultura. A maior parte das áreas de silvicultura ocorre sobre áreas bem drenadas, onde os plantios de *Pinus* sp e tinham como foco a produção de madeira para móveis e para construção civil, mas também para extração de resina visando à indústria de tintas. Esses plantios foram implantados antes da necessidade de obtenção de licença ambiental para a atividade. Se as árvores desses plantios forem removidas, novos plantios nessas áreas dificilmente receberão licença ambiental, razão pela qual hoje se utiliza os plantios apenas para extração da resina. O *Pinus* sp é considerado uma espécie invasora agressiva e seu controle, em especial no litoral é difícil, pois a sua semente é facilmente dispersada pelo vento, elemento meteorológico sempre presente no litoral.

O sistema ecológico Campo Graminoso apresenta pequenas áreas de silvicultura na região de Bagé (5,6%; 25.226 ha), em parte plantios da CEEE visando o uso do eucalipto para postes de transmissão de energia e plantios mais recentes visando uso na indústria de celulose. No Campo com Espinilho a silvicultura ocupa 1.872 ha, o que representa apenas 0,3% do uso agrícola desse sistema ecológico. A vegetação campestre nativa ainda é encontrada em mais de 40% da área dos sistemas ecológicos de terras baixas (53,5%, 616.760 ha no Campo Graminoso; 46,4%, 647.254 ha no Campo com Espinilho e 41,3%, 1.473.027 ha no Campo de Andropogôneas e Compostas) exceto no sistema ecológico Campo Litorâneo onde os 1.157.666 ha cobertos por vegetação campestre representam 31,5% (683.150 ha) Mas se



considerarmos o uso e cobertura sem os corpos d'água essa área é proporcionalmente maior, percentual de alcançando 53,5% da área do sistema ecológico. Grande parte da vegetação campestre está presente em áreas que periodicamente são utilizados no sistema de produção do arroz. Para controlar a infestação de uma gramínea indesejável, o arroz vermelho, parte da área usada para o plantio da cultura é deixada em pousio. A vegetação herbácea que cresce espontaneamente nessas áreas de pousio frequentemente tem uso pecuário na terminação do gado de corte.

Já os sistemas Campo de Andropogônias e Compostas e Campo Graminoso, além dessas áreas campestres associadas ao cultivo do arroz irrigado, possuem áreas campestres sobre solos bem drenados com composição florística capaz de conferir excelente dieta para criação de gado bovino a pasto. Em especial o Campo Graminoso, localizado no sul do estado onde as temperaturas são mais amenas e os solos possuem alta fertilidade, correspondem às áreas de melhor qualidade da pastagem nativa. Por essa razão, na região de Bagé, além do gado bovino, são muito comuns os haras de criação de cavalos de alta linhagem.

Os sistemas ecológicos campestres sobre solos bem drenados ocorrem tanto em áreas com solos profundos e de baixa fertilidade como em áreas de solos rasos. Os sistemas ecológicos Campo de Altitude na porção nordeste e Campo de Barba de Bode, no noroeste, bem como o Campo do Cristalino Oriental, localizado no extremo sul do RS entre a Planície Costeira e o Escudo Uruguaio-Sul-rio-grandense, apresentam solos profundos e bem drenados, com limitações quando à acidez e fertilidade.

No sistema Campo de Barba-de-bode a revolução verde da década de 1960 foi responsável por possibilitar a expansão do cultivo de trigo (Pébayle, 2017) e soja sobre os campos. Tecnologias de processo como cuidados com a conservação do solo, bem como tecnologias de insumo com o uso do calcário para correção do solo, fertilizantes químicos e mecanização agrícola, permitiram estender os cultivos de trigo e posteriormente de soja, sobre áreas onde antes havia pecuária extensiva sobre campo nativo com manejo mínimo. Esse processo teve início nos campos próximos às áreas das 'colônias novas', estabelecidas nos sistemas ecológicos Floresta Subtropical Interior e Floresta com Araucária no noroeste e norte do estado, (Pébayle, 1971; Lückner, 1982; Miguel, 2013). Aos poucos, propriedades familiares localizadas em áreas com topografia e com solos adequados à mecanização passaram de policultores a produtores comerciais de grãos (Lückner, 1982). O mercado internacional favorável e a falta de incentivos à produção pecuária, além das condições topográficas e edáficas já referidas

contribuíram para a expansão das áreas de grãos tanto no sentido leste, quanto sul desse sistema ecológico. No sentido leste alcançou o sistema ecológico Floresta com Araucária, e já tem presença significativa nos Campos de Altitude no extremo nordeste do estado. Para sul, a expansão foi significativa, restando áreas ainda sem soja apenas no extremo sudoeste onde o solo progressivamente torna-se mais arenoso e, conseqüentemente mais suscetível à erosão.

O Campo de Altitude localiza-se nas maiores altitudes do estado, apresentando algum tipo de cultivo em mais da metade de sua superfície (50,4%). Desse total, a agricultura de sequeiro ocupa 77,7% (567.875 ha), com maior concentração na porção oeste do sistema ecológico, onde os solos e a temperatura lhe são mais favoráveis. O segundo uso agrícola com maior extensão no Campo de Altitude é a silvicultura, a qual ocupa uma superfície 94.864 ha (13,0%), seguido do uso agrícola misto (9,3%) no contato com as áreas coloniais do sistema ecológico Floresta com Araucária.

O sistema ecológico Campo Arenoso, como o próprio nome diz, tem predomínio de solos arenosos, geralmente profundos e bem drenados, resultado de processos erosivos naturais que removeram a fina camada de solo basáltico, expondo o arenito cujo intemperismo gerou solos arenosos altamente suscetíveis à erosão. Do ponto de vista agrícola, possui baixo teor de nutrientes. O uso inadequado do solo ao longo do tempo, seja pelo excesso de pecuária sobre o campo nativo, seja pela baixa aptidão para culturas anuais, faz dele um dos sistemas ecológicos mais sensíveis e que demandam medidas urgentes para conservação. Possui 31,3% (146.649 ha) de cultivos agrícolas, dominando a agricultura de sequeiro em 73,5% (110.442 ha) da superfície agrícola, seguido dos cultivos irrigados e da silvicultura em proporção similar, respectivamente 10,2% (14.976 ha) e 9,0% (13.200 ha). O cultivo de arroz ocorre principalmente ao longo do Rio Ibicuí, que corta o sistema ecológico no seu terço meridional e cujas várzeas são úmidas. A Silvicultura, em parte foi introduzida na região como alternativa, nem sempre bem sucedida, de conter o avanço dos areais, como são denominadas áreas de areia naturalmente desprovidas de vegetação, as quais alcançam 10.000 ha (2,1%) da superfície desse sistema ecológico. O baixo custo das terras desse sistema ecológico, em virtude de sua baixa aptidão para culturas anuais, levou empresas a adquirir áreas para uso na silvicultura. As limitações naturais desse ambiente, entretanto, frustraram as expectativas comerciais de vários plantios. O uso

agrícola misto ocorre em apenas 5,5% (8.030 ha), em alguns assentamentos e no entorno de áreas urbanizadas.

No Campo do Cristalino, extremo sul do estado, 30,3% (35.190 ha) do sistema ecológico é ocupado por atividades agrícolas, predominando aí os cultivos de sequeiro (59,5%; 20.930 ha), a silvicultura (23,7%; 8.327 ha) e o cultivo de arroz em várzeas úmidas, no contato com o sistema ecológico Campo Litorâneo. O uso agrícola misto ocupa apenas 5,5% (1950 ha) da área agrícola do sistema ecológico e concentra-se no entorno da área urbana de Jaguarão.

O quarto sistema ecológico integrante desse grupo, o Campo de Solos Rasos, ocorre no extremo sudoeste do estado, na porção mais baixa do planalto basáltico. Nessa região a baixa capacidade de armazenamento de água no solo e os verões quentes limitam o desenvolvimento de vegetação de maior porte. Nesse sistema ecológico o campo nativo raramente apresenta vegetação lenhosa, eventualmente ocorrendo matas ciliares ao longo da drenagem. Apenas 13,1% da superfície do Campo de Solos Rasos possui uso agrícola, sendo que 86,5% das áreas agrícolas estão destinadas ao cultivo de arroz irrigado, no contato com o sistema ecológico Campo com Espinilho, onde dominam planossolos e há possibilidade de irrigação a partir dos grandes rios próximos (Ibicuí, Quaraí e Uruguai). Cultivos de sequeiro ocupam 8,2% da área agrícola e uso agrícola misto 4,8%. Embora ocupem proporcionalmente área pequena, encontram-se na porção sudoeste desse sistema ecológico os maiores vinhedos da campanha, onde as condições climáticas lhe são favoráveis.

A vegetação campestre sempre foi usada para criação de animais a pasto, principalmente de bovinos, ovinos e eqüinos. No passado, também de muares. Dos cinco sistemas ecológicos campestres de solos bem drenados, o Campo de Barba-de-bode e o Campo de Altitude, possuem menos de 50% da cobertura vegetal com vegetação campestre Nativa. O Campo de Barba-de-bode possui apenas 20,3% (775.927 ha). Além da menor proporção a maior parte desses remanescentes campestres encontra-se no extremo sudoeste, onde os solos rasos e a textura mais arenosa são limitantes à agricultura. Os remanescentes nos Campo de Altitude alcançam 40,3% (597.738 ha). Nesse caso, a vegetação campestre teve redução na porção oeste, região de Lagoa Vermelha e Vacaria dando lugar ao cultivo de grãos de sequeiro e no sul, onde a vegetação campestre foi substituída por silvicultura de *Pinus* sp. Hermann et al. (2015) observaram um aumento da silvicultura de 94% no Campo de Altitude ao sul do Rio das Antas, municípios de São Francisco de Paula, Jaquirana e Cambará do Sul.

Os demais sistemas ecológicos campestres apresentam mais de 50% da vegetação campestre original. Isso se deve às limitações naturais ao uso agrícola do solo. No sistema ecológico Campo com Areais mantém a vegetação campestre nativa em 279.697 ha, o que corresponde a 59,7% da área do sistema ecológico. As baixas fertilidade e retenção de umidade tem como resultado uma flora diferenciada em relação aos sistemas ecológicos vizinhos, com muitas espécies endêmicas adaptadas a tais condições. Por essas características, a degradação da vegetação campestre nesse sistema ecológico tende a ser mais rápida e de recuperação mais complexa em função das características do solo. No sistema ecológico Campo de Solos Rasos 1.094.677 ha, (79,8% da área do sistema ecológico) são ocupados por vegetação campestre natural. O relevo suave torna esse ambiente pouco suscetível aos processos erosivos, mesmo considerando a dominância de espécies de gramíneas cespitosas em relação às rizomatosas.

O Campo do Cristalino é o único dos sistemas ecológicos de solos bem drenados que ocorre sobre um substrato geológico de origem granítica. Nele a vegetação campestre está presente em 78.095 ha, o que representa 67,2 % da superfície do sistema ecológico. Com relevo suave e solos profundos de baixa fertilidade, a vegetação destes campos é composta por espécies estivais e escassas espécies hibernais, conseqüência das encostas estarem voltadas ao Oceano, o que reduz a amplitude térmica anual. Na mesma latitude, por exemplo, no lado ocidental do escudo, o sistema Campo Graminoso, que por estar voltado para sudoeste e com menor influência oceânica, tem inverno mais rigoroso e, em conseqüência, maior riqueza de espécies hibernais.

Outras coberturas naturais não vegetadas, embora de pequena extensão se considerada a área do estado, são regionalmente relevantes elementos típicos na paisagem dos respectivos sistemas ecológicos. Destacam-se os areais no Campo com Areais (10.000 ha; 2,1% do sistema ecológico), os afloramentos rochosos no Campo Arbustivo (21.005 ha; 0,7% do sistema ecológico), e as praias e dunas (124.103 ha; 3,4% do sistema ecológico) e os corpos d'água (1.502.379 ha; 40,1 %) no Campo Litorâneo.

Do conjunto de dados analisados e das relações investigadas, constata-se forte associação entre o uso do solo e a cobertura vegetal com a delimitação dos sistemas ecológicos proposta no capítulo 2 desta tese (Figura 10). Esse resultado é até certo ponto esperado, pois fatores favoráveis ou limitantes ao desenvolvimento da vegetação natural também tendem a afetar espécies cultivadas de forma semelhante.

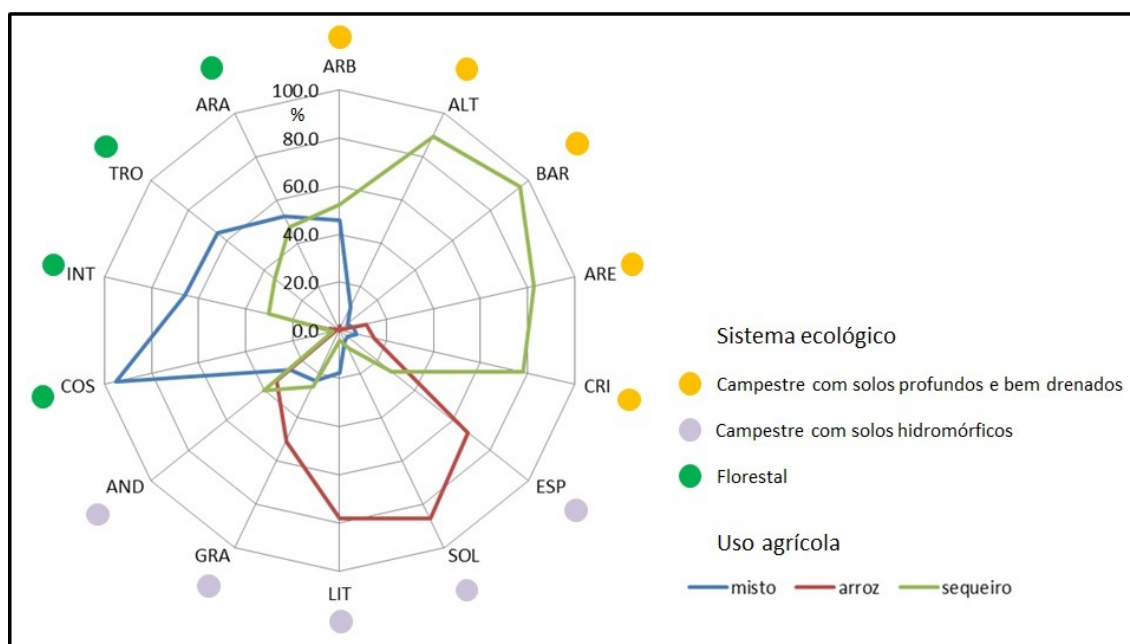


Figura 10. Distribuição dos principais usos agrícolas nos diferentes sistemas ecológicos do estado do Rio Grande do Sul. Sistemas ecológicos campestres com solos bem drenados: ALT- campo de altitude, BAR-campo com barba-de-bode, ARE-campo com areais, CRI-campo misto do cristalino oriental; Sistemas ecológicos campestres com solos úmidos: ESP-campo com espinilho, SOL-campo de solos rasos; LIT-campo litorâneo; ARB-campo arbustivo; AND-campo misto de andropogônias e compostas; GRA-campo gramíneo; Sistemas ecológicos florestais: COS-floresta subtropical costeira, INT-floresta subtropical interior; TRO-floresta tropical e ARA-floresta com araucária. Elaboração própria.

Assim, se considerados apenas os principais usos agrícolas, constata-se que o cultivo de arroz predomina nos sistemas ecológicos campestres com maior proporção de terras baixas e disponibilidade de água, enquanto os cultivos anuais de sequeiro tem maior expressão em sistemas ecológicos campestres de solos bem drenados. Quando ocorre em outros sistemas ecológicos, em geral é constituído por lavouras de soja em áreas cujo solo e topografia permitem o cultivo. O uso misto, por outro lado, concentra-se nos sistemas ecológicos florestais, mas esse fato deve-se mais a razões históricas do povoamento do que da expressão dos fatores naturais propriamente ditos.

#### 4.4. Conclusões

- O uso da terra no Rio Grande do Sul é heterogêneo em termos de distribuição espacial e coerente com limites propostos para diferentes sistemas ecológicos, refletindo em parte a expressão dos fatores biofísicos;
- Nos sistemas ecológicos florestais o uso agrícola misto é a classe de uso de maior expressão, refletindo o processo histórico de povoamento que induziu a conversão de áreas naturais para agricultura, embora essa classe também

esteja presente nos sistemas ecológicos campestres no entorno de áreas urbanizadas;

- Os sistemas ecológicos campestres se diferenciam tanto em relação ao grau de conversão de áreas naturais em uso agrícola quanto em relação aos tipos de uso nas áreas convertidas, sendo ambos os aspectos decorrentes dos fatores biofísicos mais expressivos em cada um;
- Grande parte das áreas de sistemas ecológicos campestres que ainda mantêm sua cobertura vegetal original em geral apresentam alguma limitação de ordem topográfica ou edáfica para uso agrícola, podendo, no entanto, ter uso econômico com pecuária, mantendo os serviços ecossistêmicos.

## **5. CONCLUSÃO GERAL**

Os avanços decorrentes da introdução de novos processos de produção agropecuária em diferentes momentos da história do Rio Grande do Sul, Brasil, contribuíram para que o estado tivesse destaque na produção primária no cenário nacional. Atualmente, as demandas de pesquisa estão voltadas à sustentabilidade da produção e da propriedade. Conhecer em maior detalhe os elementos biofísicos como, por exemplo, as propriedades dos solos e a disponibilidade de água no âmbito da propriedade é um passo fundamental para compreender as limitações naturais do ambiente de produção. Quanto melhor adaptado estiver o sistema produtivo ao ambiente local, mais sustentável ele será. Nesse contexto as estratégias de transferência tecnológica devem ser eficientes para que os dados e sua interpretação sejam adotados pelo produtor. Só assim ele terá produtos de qualidade, com manutenção dos recursos naturais necessários à produção e sustentabilidade econômica da propriedade rural.

A abordagem ecossistêmica que resultou na delimitação de sistemas ecológicos campestres para o estado do Rio Grande do Sul mostrou-se apropriada para desenvolver uma regionalização integradora com base nas características do ambiente biofísico que controlam os processos de transformação de energia na superfície da Terra, servindo ao mesmo tempo como indicador para que o setor produtivo possa compreender os efeitos das práticas de manejo e sua adequação frente aos recursos naturais à sua disposição.

O estudo conclui que o uso da terra no Rio Grande do Sul, resultado do histórico de ocupação territorial, bem reflete as características biofísicas do meio, demonstrando que o desenvolvimento das plantas cultivadas dependeu dos mesmos fatores que atuam sobre as plantas nativas. Algumas tecnologias podem ajudar a amenizar limitações tais como correção da acidez e melhoria da fertilidade do solo, mas outras são difíceis de contornar, pois envolvem processos mais complexos. Esses processos envolvem custo e têm impacto no resultado econômico ao final da safra. Quanto melhor for o conhecimento sobre o funcionamento dos sistemas ecológicos,

melhor se compreenderá os efeitos das práticas agrícolas e do manejo dos ecossistemas associados, o que permitirá ajustar o uso da terra ao seu potencial natural. Quanto melhor for esse ajuste, mais sustentável será a produção, tanto ambientalmente quanto economicamente.



## 6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, B.O. *Interação solo-vegetação campestre: estudos de caso em diferentes escalas ecológicas*. 2014. 91 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Botânica. Instituto de Biociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

ANDRADE, B.O. et al. Grassland degradation and restoration: a conceptual framework of stages and thresholds illustrated by southern Brazilian grasslands. *Natureza e Conservação*, v. 13, n. 2, p. 95-104, 2015.

ANDRES, A. et al. Rotação de culturas e pousio do solo na redução do banco de sementes de arroz vermelho em solo de várzea. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v. 7, n. 2, p. 85-88. 2001.

AZPIROZ, A.B. et al. Ecology and conservation of grassland birds in south eastern South America: a review. *Journal of Field Ornithology*, New Ipswich, v. 83, n. 3, p. 217-246. 2012.

BAILEY, R.G. Suggested hierarchy of criteria for multiscale ecosystem mapping. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdam, v. 14, p. 313-319. 1987.

BAILEY, R.G. *Ecoregions: the ecosystem geography of the oceans and continents*. 2. ed. New York: Springer, 2008. 180 p.

BEHLING, H. et al. Dinâmica dos campos do sul do Brasil durante o Quaternário tardio. In: PILLAR, V.D. et al. (Ed.). *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: MMA, 2009. p. 13-25.

BEHLING, H.; PILLAR, V.D.; BAUERMAN, S.G. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (southern Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, Amsterdam, v. 133, n. 3-4, p. 235-248. 2005.

BENCKE, G.A. Aves. *Natureza em Revista*, Porto Alegre, v. 14, p. 48-51, 2016.

BENCKE, G.A. et al. Composição e padrões de distribuição da fauna de tetrápodes recentes do Rio Grande do Sul, Brasil. In: RIBEIRO, A.M.; BAUERMAN, S.G. (Ed.). *Quaternário do Rio Grande do Sul: integrando conhecimentos*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 2009. 272 p.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. *El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: aplicações de previsões climáticas na agricultura*. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003. 110 p.

BERLATO, M.A.; MELO, R.W.; FONTANA, D.C. Risco de ocorrência de granizo no estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 121-132, 2000.

BERNARDES, N. Bases geográficas do povoamento do estado do Rio Grande do Sul. *Boletim Geográfico*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 171, 1962.

BESKOW, P.R. A formação da economia arrozeira do Rio Grande do Sul. *Ensaio FEE*, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 55-84. 1984.

BOLDRINI, I.I. *Dinâmica da vegetação de uma pastagem natural sob diferentes níveis de oferta de forragem e tipos de solos, Depressão Central, Rio Grande do Sul*. 1993. 262 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

BOLDRINI, I.I. Campos do Rio Grande do Sul: caracterização fisionômica e problemática ocupacional. *Boletim do Instituto de Biociências*, Porto Alegre, n. 56, p. 1-39, 1997.

BOLDRINI, I.I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V.D. et al. (Ed.). *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: MMA, 2009. p. 63-77.

BOLDRINI, I.I.; LONGHI-WAGNER, H.M. Poaceae no Rio Grande do Sul. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v. 42, p. 71-92, 2011.

BOLDRINI, I.I. et al. Aspectos florísticos e ecológicos da vegetação campestre do Morro da Polícia, Porto Alegre, RS, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 89-100. 1998.

BOLDRINI, I.I.; OVERBECK, G.E.; TREVISAN, R. Biodiversidade de plantas. In: PILLAR, V.D.; LANGE, O. (Ed.). *Os campos do sul*. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos-UFRGS, 2015. 192 p.

BOLZON, R.T.; MARCHIORI, J.N.C. A vegetação do sul da América: perspectiva paleoflorística. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v. 13, n. 24, p. 5-24, 2002.

BOND, W.J. Ancient grasslands at risk. *Science*, Washington, v. 351, n. 6269, p. 120-122, 2016.

BOND, W.J.; PARR, C.L. Beyond the forest edge: ecology, diversity and conservation of the grassy biomes. *Biological Conservation*, Essex, v. 143, n. 10, p. 2395-2404. 2010.

BOSERUP, E. *The conditions of agricultural growth*. New Brunswick: AldineTransaction, 2005. 124 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. *Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul*. Recife: Ministério da Agricultura, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

BREZINSKY, A. et al. *Tratado de botânica de Strasburger*. 36. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011. 1192 p.

BRIASSOULIS, H. *Analysis of land use change: Theoretical and modeling approaches*. Morgantown: West Virginia University – Regional Research Institute, 2000. Disponível em: <<http://www.rrri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>>. Acesso em: 8 dez. 2017.

CABRERA, A.L.; WILLINK, A. *Biogeografía de América Latina*. 2. ed. Washington: OEA, 1980. 122 p.

CÁCERES, N.C.; CHEREM, J.J.; GRAIPEL, M.E. Distribuição geográfica de mamíferos terrestres na região Sul do Brasil. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v. 35, p. 167-180.2007.

CARLUCCI, M. B. et al. Taxonomic and functional diversity of woody plant communities on opposing slopes of inselbergs in southern Brazil. *Plant Ecology & Diversity*, Oxfordshire, v. 8. n. 2, p. 187-197, 2015.

CARMONA, P.S. IRGA-75 anos: A contribuição da estação experimental do arroz para o desenvolvimento da orizicultura gaúcha. *Informativo Integrar*, Triunfo, n. especial, p. 1-10, 2015. Disponível em: <[http://www.integrarcampo.com.br/altera/outros/\\_arquivos/29.pdf](http://www.integrarcampo.com.br/altera/outros/_arquivos/29.pdf)>. Acesso em: 31 jul. 2017.

CARMONA, F.C.; ANGHINONI, I.; WEBER, E.J. *Salinidade da água e do solo e seus efeitos sobre o arroz irrigado no Rio Grande do Sul*. Cachoeirinha: IRGA, 2011. 54 p. (Boletim Técnico IRGA, 10).

CARNEIRO, A.C. et al. *Cactos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. 224 p.

CARVALHO, P.C.F. et al. Lotação animal em pastagens naturais: políticas, pesquisas, preservação e produtividade. In: PILLAR, V.D. et al. (Ed.). *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 214-228.

CHEBATAROFF, J. Estepes, pradarias e savanas da América do Sul. *Boletim Geográfico*, Rio de Janeiro, v. 27, n. 207, p. 3-17. 1968.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quarto levantamento. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2018. 122 p. Observatório agrícola, safra 2017/2018, v. 5, n. 4. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

CORDEIRO, J.L.P.; HASENACK, H. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V.D. et al. (Ed.). *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: MMA, 2009. p. 285-299.

CRAWSHAW, D. et al. Caracterização dos campos sul-rio-grandenses: uma perspectiva da ecologia da paisagem. *Boletim Gaúcho de Geografia*, Porto Alegre, v. 33, n. 1, p. 233-252. 2007.

CREMONEZ, F.E. et al. Principais plantas com potencial alelopático encontradas nos sistemas agrícolas brasileiros. *Acta Iguazu*, Cascavel, v. 2, suplemento, p. 70-88, 2013.

CROSBY, A.W. *Imperialismo ecológico: a expansão biológica da Europa, 900-1900*. São Paulo: Companhia das Letras, 1993. 319 p.

CUNHA, G.R.; SCHEEREN, P.L.; SILVA, M.S. *Granizo e cereais de inverno no Rio Grande do Sul*. Passo Fundo: Embrapa, 2001. 24 p. (Documentos, n. 33). Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/granizo/granizo.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2011

CURTIS, M.L.L. *Povoamento do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Instituto Gaúcho de Reforma Agrária, 1964.

DEVELEY, P.F. et al. Conservação das aves e da biodiversidade no bioma Pampa aliada a sistemas de produção animal. *Revista Brasileira de Ornitologia*, São Paulo, v. 16, n. 4, p. 308-315, 2008.

DIAMOND, J. *Colapso*. 5. ed. Rio de Janeiro: Record. 2005. 686 p.

DI GREGORIO, A. *Land cover classification system: Classification concepts*. Rome: FAO, 2016. 29 p.

DOBROVOLSKI, R. et al. Globalizing conservation efforts to save species and enhance food production. *BioScience*, Washington, v. 64, n. 6, p. 539-545. 2014.

EASTMAN, J.R. *TerrSet geospatial modeling and monitoring system version 18.09*. Worcester: Clarklabs, 2015.

EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.

ESRI. *ArcGIS 10.2.2*. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2014.

FAO. *Planning for sustainable use of land resources*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1995. (Land and Water Bulletin, 2).

FEPAGRO. *Macrozoneamento agroecológico e econômico do estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura e Abastecimento, 1994. 307 p. v. 2.

FOLEY, J.A. Can we feed the world & sustain the planet? *Scientific American*, New York, v. 305, n. 5, p. 60-65, 2011.

FOLLEY, J.A. et al. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, v. 478, p. 337-342, 2011.

FONTANA, C.S.; BENCKE, G.A. Biodiversidade das aves. In: PILLAR, V.D.; LANGE, O. (Ed.). *Os campos do sul*. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos/UFRGS, 2015. p. 91-97.

FORTES, A.B. *Compêndio de geografia geral do Rio Grande do Sul*. 6. ed. Porto Alegre: Sulina, 1979. 97 p.

FURTADO, C. *Formação econômica do Brasil*. 27. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1998. 248 p.

GIBSON, D.J. *Grasses and grassland ecology*. New York: Oxford, 2009. 305 p.

GLOBAL FOREST WATCH. Forest monitoring designed for action. Disponível em: <<http://www.globalforestwatch.org/>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

GODFRAY, H.C.J. et al. Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science*, Washington, v. 327, p. 812-818, 2010.

GOETTSCHE, B. et al. High proportion of cactus species threatened with extinction. *Nature plants*, London, v. 1, n. 10, p. 15142, 2015.

HAGAN, J.E.; EASTMAN, J.R.; AUBLE, J. *Cartalinx the spatial data builder* version 1.2. Worcester: Clarklabs, 1999.

HASENACK, H.; FERRARO, L.M.W. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 22, n. 22, p. 71-88, 1989.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J.L.P.; WEBER, E.J. (Org.). *Uso e cobertura vegetal do Estado do Rio Grande do Sul – situação em 2002*. Porto Alegre: UFRGS IB Centro de Ecologia, 2015. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

HIRZEL, A.H. et al. Ecological-niche factor analysis: How to compute habitat-suitability without absence data? *Ecology*, Brooklyn, v. 83, n. 7, p. 2027-2036, 2002.

HOFFMANN, G.S. et al. Recent land cover changes in State Rio Grande do Sul and its consequences on habitat loss. No prelo.

HUECK, K.; SEIBERT, P. *Vegetationskarte von Südamerika*. 2. ed. Stuttgart: Gustav Fischer, 1981. 90 p.

IBGE. *Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim*. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 791 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 33).

IBGE. *Mapa de biomas do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2004a. Mapa e nota técnica.

IBGE. *Mapa de vegetação do Brasil (escala 1:5.000.000)*. Rio de Janeiro: IBGE, 2004b.

IBGE. *Censo agropecuário 2006*. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9827-censo-agropecuario.html?&t=resultados>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

IBGE. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 257 p. (Manuais Técnicos em Geociências, 1).

IBGE. *Malha municipal*. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/malhas\\_territoriais/malhas\\_municipais/municipio\\_2015/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/)>. Acesso em: 22 out. 2017.

IBGE. *Levantamento sistemático da produção agrícola*. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?&t=resultados>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

INMET. *Normais climatológicas (1961-1990)*. Brasília: INMET, 1992. 84 p.

KÜCHLER, A.W. Problems in classifying and mapping vegetation for ecological regionalization. *Ecology*, Brooklyn, v. 54, n. 3, p. 512-523, 1973.

KÜCHLER, A.W.; MONTOYA, J.M. The UNESCO classification of vegetation: some tests on the tropics. *Turrialba*, San José, v. 21, n. 1, p. 98-109, 1971.

LAGACHERIE, P. Digital Soil Mapping: A State of the Art. In: HARTEMINK, A.E.; MCBRATNEY, A.; MENDONÇA-SANTOS, M.L. (Ed.). *Digital soil mapping with limited data*. New York: Springer, 2008. p. 3-14.

LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J.; RHIND, D.W. *Sistemas e ciência da informação geográfica*. Porto Alegre: Bookman, 2013. 560 p.

LEIVAS, J.F.; BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Risco de deficiência hídrica decenal na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 397-407, 2006.

LÜCKER, R. Agrarer Strukturwandel unter dem Einfluß des Sojaweltmarktes. *Geographische Rundschau*, Braunschweig, v. 34, n. 8, p. 368-373, 1982.

LUZA, A.L. et al. Biodiversidade de mamíferos. In: PILLAR, V.D.; LANGE, O. (Ed.). *Os campos do sul*. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos/UFRGS, 2015. p. 101-110.

MALTHUS, T.R. *An essay on the principle of population*. New York: Dover, 2007. 152 p.

MAPBIOMAS. *Algorithm theoretical base document & results*: Pampa Biome. Porto Alegre: UFRGS, 2017. 87 p. Disponível em: <<http://www.mapbiomas.org>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

MARASCHIN, G.E. Manejo do campo nativo, produtividade animal, dinâmica da vegetação e adubação de pastagens nativas do sul do Brasil. In: PILLAR, V.D. et al.

(Ed.). *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 248-259

MARCHIORI, J.N.C. Considerações terminológicas sobre os campos sulinos. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v. 24, p. 139-150, 2002.

MCBRATNEY, A.; FIELD, D.J.; KOCH, A. The dimensions of soil security. *Geoderma*, Amsterdam, v. 213, p. 203-213, 2014.

MEDEIROS, R.B.; SAIBRO, J.C.; FOCHT, T. Invasão de capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) no bioma Pampa do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. D. et al. (Ed.). *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 317-330.

MIGUEL, L.A. Entre os campos e as florestas: Origem e evolução da agricultura no Rio Grande do Sul/Brasil. In: *SÉMINAIRE FRANCO-BRÉSILIEN: DIALOGUES CONTEMPORAINS SUR LA QUESTION AGRAIRE ET L'AGRICULTURE FAMILIALE AU BRÉSIL ET EN FRANCE*, 2013, Paris. [*Annales...*], Paris: [s.n.], 2018. 18 p.

MOESLUND, J.E. et al. Topographically controlled soil moisture is the primary driver of local vegetation patterns across a lowland region. *Ecosphere*, Washington, v. 4, n. 7, p. 1-26, 2013.

MORENO, J.A. *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

MONTANARELLA, L. Govern our soils. *Nature*, v. 528, p. 32-33, 2015.

MOTA, F.S. Estudos do clima do estado do Rio Grande do Sul segundo o sistema de W. Köppen. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 107-116, 1951.

NABINGER, C. Técnicas de melhoramento de pastagens naturais do Rio Grande do Sul. In: FARSUL (Org.). *De que pastagens necessitamos?* Porto Alegre: Farsul, 1980. p. 28-58.

NABINGER, C. et al. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. In: PILLAR, V.D. et al. (Ed.). *Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 175-198.

NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422 p.

NOEL, S.; MIKULCAK, F.; STEWART, N. *Report for policy and decision makers: Reaping economic and environmental benefits from sustainable land management*. Bonn: ELD Initiative, 2015. 23 p. Disponível em: <<http://www.eld-initiative.org>>. Acesso: em 22 out. 2018.

NATURE RESOURCES CONSERVATION SERVICE. NRCS. *2007 National Resources Inventory: Soil erosion on cropland*. Washington: National Resources

Conservation Service, 2010. 29 p. Disponível em:

<[https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs143\\_012269.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs143_012269.pdf)>.

Acesso em: 22 mar. 2018.

OLIVEIRA, T.E. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. *Land Use Policy*, Guildford, v. 63, p. 394-400, 2017.

OMERNIK, J.M. Ecoregions of the conterminous United States. *Annals of the Association of American Geographers*, Washington, v. 77, n. 1, p. 118-125, 1987.

OVERBECK, G.E. et al. Fisionomia dos campos. In: PILLAR, V.D.; LANGE, O. (Ed.). *Os campos do sul*. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. p. 30-41.

OVERBECK, G.E. et al. Brazil's neglected biome: the South Brazilian *Campos*. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, Jena, v. 9, p. 101-106, 2007.

PÉBAYLE, R. O centro do planalto rio-grandense: uma região em mutação. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, n. 14, p. 44-55, 1971.

PÉBAYLE, R. Reflexões sobre a geografia histórica e cultural do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Martins Livreiro, 2017. 168 p.

PILLAR, V.D.; QUADROS, F.L.F. Transições floresta-campo no Rio Grande do Sul. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v. 24, p. 109-118, 2002.

SAA/RS-IBGE/SC. *Mapa de solos do Rio Grande do Sul, escala 1:250.000*. Porto Alegre: SAA/RS-IBGE/SC, 2003. Convênio Secretaria de Agricultura e Abastecimento e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Unidade Estadual de Santa Catarina.

SANGERMANO, F. et al. Habitat suitability and protection status of four species of amphibians in the Dominican Republic. *Applied Geography*, Oxford, v. 63, p. 55-65, 2015.

SARMENTO, E.C. et al. Disaggregating conventional soil maps with limited descriptive data: a knowledge-based approach in Serra Gaúcha, Brazil. *Geoderma Regional*, Washington, v. 8, p. 12-23, 2017. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.12.004>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

SARMENTO, E.C. et al. Caracterização de mapas legados de solos: uso de indicadores em mapas com diferentes escalas no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 38, n. 6, p. 1672-1680, 2014.

SORIANO, A. et al. Río de La Plata grasslands. In: Coupland, R. T. (Ed.). *Ecosystems of the world*. Amsterdam: Elsevier, 1992. p. 367-407.

STEWART, N. (Ed.). *The value of land: Prosperous land and positive rewards through sustainable land management*. Bonn: ELD Initiative, 2015. 165 p. Disponível em: <<http://www.eld-initiative.org>>. Acesso em: 22 mar. 2018.



ROWE, J.S. Land classification and ecosystem classification. *Environmental Monitoring and Assessment*, Dordrecht, v. 39, n. 1-3, p. 11-20, 1996.

ROWE, J.S.; SHEARD, J.W. Ecological land classification: a survey approach. *Environmental Management*, New York, v. 5, n. 5, p. 451-464, 1981.

THOMAS, C. Conquista e povoamento do Rio Grande do Sul. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, v.19, p. 17-27, 1976.

TROLL, C. *Luftbildforschung und landeskundliche Forschung*. Wiesbaden: Franz Steiner, 1966. 198 p.

TURNER II, B.L.; LAMBIN, E.F.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *PNAS*, Washington, v. 104, n. 52, p. 20666-20671, 2007.

TURNER II, B.L. (Ed.). *Land-use and land-cover change: Science/research plan*. Stockholm and Geneva: IGBP and HDP, 1995. 132 p. (IGBP Report n.35, HDP Report n.7).

UNITED NATIONS. DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. UN-DESA. *World Population Prospects: The 2015 Revision, key findings and advance tables*. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015. 59 p. (Working Paper No. ESA/P/WP.241).

UNITED NATIONS. *Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development*. New York: United Nations, 2018. 41 p. Disponível em <<https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>>. Acesso em 19 mar. 2018.

VARGAS, V.B.D. Uma quadra, uma légua: Joaquim Francisco de Assis Brasil e seu projeto de desenvolvimento para a atividade agropastoril no Rio Grande do Sul. 2015. 240 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015.

VELDMAN, J.W. et al. Toward an old-growth concept for grasslands, savannas, and woodlands. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 13, n. 3, p. 154-162, 2015(a).

VELDMAN, J.W. et al. Where tree planting and forest expansion are bad for biodiversity and ecosystem services. *BioScience*, Washington, v. 65, n. 10, p. 1011-1018, 2015(b).

VELOSO, H.P; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE, 123 p. 1991.

VERBURG, P.H.; VELDKAMP, A. Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales. *Landscape Ecology*, Dordrecht, v. 19, n. 1, p. 77-98, 2004.

VERRASTRO, L.; BORGES-MARTINS, M. Biodiversidade de répteis. In: PILLAR, V.D.; LANGE, O. (Ed.). *Os campos do sul*. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos/UFRGS, 2015. p. 81-86.

WAECHTER, J.L. Padrões geográficos da flora atual do Rio Grande do Sul. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, n. 24, p. 93-108, 2002.

WEBER, E.J. *Estimativa e mapeamento da radiação solar incidente em superfícies com topografia heterogênea na zona de produção vitivinícola Serra Gaúcha*. 2011. 145 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

WEBER, E.J.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. *Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação*. Porto Alegre: UFRGS-Centro de Ecologia, 2004. Disponível em <<http://www.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 09 abr. 2014.

WEBER, E.J. et al. (Org.). *Uso e cobertura vegetal do Estado do Rio Grande do Sul – situação em 2009*. Porto Alegre: UFRGS IB Centro de Ecologia, 2016. 1 CD-ROM. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 22 out. 2017.

WHITTAKER, R.H. *Communities and ecosystems*. 2. ed. New York: McMillan, 1975. 385 p.

WONDZELL, S.M.; CUNNINGHAM, G.L.; BACHELET, D. Relationship between landforms, geomorphic processes, and plant communities on a watershed in the northern Chihuahuan Desert. *Landscape Ecology*, Dordrecht, v. 11, n. 6, p. 351-362, 1996.