

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LETÍCIA FIGUEIREDO SARTORIO

**Geossistemas e mudanças de uso e cobertura da terra por Análise de  
Componentes Principais do Bioma Pampa entre 1985 e 2020**

PORTO ALEGRE

2023

LETÍCIA FIGUEIREDO SARTORIO

**Geossistemas e mudanças de uso e cobertura da terra por Análise de Componentes Principais do Bioma Pampa entre 1985 e 2020**

Dissertação de Mestrado Acadêmico apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Geografia.

**Orientador:** Prof. Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas

PORTO ALEGRE

2023

**Geossistemas e mudanças de uso e cobertura da terra por Análise de Componentes Principais do Bioma Pampa entre 1985 e 2020**

Dissertação de Mestrado Acadêmico apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geografia como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Geografia.

**Orientador:** Prof. Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas

Aprovado pela banca examinadora em 8/11/2023.

**BANCA EXAMINADORA:**

-----  
Prof. Dr. Marcos Wellausen Dias de Freitas (Orientador)  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

-----  
Prof. Dr. Rualdo Menegat  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

-----  
Prof. Dra. Nina Simone Vilaverde Moura  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

-----  
Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

### CIP - Catalogação na Publicação

Sartorio, Leticia Figueiredo  
Geossistemas e mudanças de uso e cobertura da terra  
por Análise de Componentes Principais do Bioma Pampa  
entre 1985 e 2020 / Leticia Figueiredo Sartorio. --  
2023.  
287 f.  
Orientador: Marcos Wellausen Dias de Freitas.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa  
de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS,  
2023.

1. Unidades da Paisagem. 2. Estudo Integrado. 3.  
MapBiomas. 4. Google Earth Engine. I. Freitas, Marcos  
Wellausen Dias de, orient. II. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a minha família. Especialmente a meus pais, Ronaldo e Silvia, e a meu irmão, Thalís, por todo apoio e incentivo ao longo da minha trajetória. Amo vocês!

Também agradeço a todos meus familiares e amigos que estiveram presentes, sempre dispostos a me escutar e auxiliar nesta fase. A tornando mais tranquila e leve!

Além disso, agradeço aos meus pets: Mingau, Noel, Preto e Amiguinho. Que fazem dos meus dias mais divertidos!

Ao Prof. Marcos, meu orientador, agradeço a oportunidade e ensinamentos, que tornaram esta pesquisa possível. E que a próxima etapa que se inicia seja repleta de aprendizados, como esta que se encerra. Muito obrigada!

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

## RESUMO

A implementação da agricultura de grande porte e da silvicultura em áreas de campos naturais vem alterando a paisagem do Bioma Pampa e conduzindo mudanças na configuração espacial dos usos e coberturas da terra. Tais alterações causam impactos ambientais e socioculturais. Assim, o objetivo desta pesquisa é investigar as transformações na Paisagem do Bioma Pampa entre 1985 e 2020. Para isso, foram identificadas as trajetórias do uso e cobertura da terra no Bioma Pampa nos 35 anos de interesse a partir da Análise de Componentes Principais com dados do MapBiomas. Após, foram mapeadas as unidades da paisagem do Bioma, em nível de geocomplexos e de geofácies, com base na abordagem geossistêmica e na compatibilização de atributos físico-ecológicos. Os resultados indicaram significativas transformações no Bioma Pampa, com destaque para a conversão das áreas naturais em agropecuárias, principalmente o avanço do cultivo de soja sobre a vegetação do Bioma Pampa. Ademais, a partir dos padrões identificados por meio da Análise de Componentes Principais, foi possível visualizar as mudanças de uso e cobertura da terra no espaço e no tempo, e as principais direções assumidas pela fronteira agrícola, que vem avançando em direção aos remanescentes campestres no interior do Bioma. A partir da abordagem geossistêmica, foram identificados 135 geocomplexos no Bioma Pampa, o que evidencia a sua heterogeneidade em termos dos seus atributos físico-ecológicos. A subdivisão dos geocomplexos em geofácies permitiu identificar o estado (estabilização, degradação ou regeneração) dos geossistemas e evidenciar as principais fácies de dinâmica da paisagem presentes nos geocomplexos. Apontando a existência da atuação de distintos processos de mudanças no uso e cobertura da terra nos geocomplexos. Os resultados possibilitam compreender a dinâmica espaço-temporal das mudanças na paisagem do Bioma, auxiliando na identificação de áreas com potencial para conservação e as com maior pressão antrópica. Os geocomplexos permitem produzir planejamentos que se adéquem às características de cada unidade da paisagem, facilitando o seu manejo e uso sustentável, considerando os principais processos de mudança do uso e cobertura da terra atuantes. Portanto, o Bioma Pampa não é um conjunto homogêneo no tempo e espaço, mas detém uma grande diversidade paisagística com significativas intervenções humanas.

**Palavras-chave:** Unidades da Paisagem. Estudo Integrado. MapBiomas. Google Earth Engine.

## ABSTRACT

The implementation of large-scale agriculture and forestry in areas of natural grassland has been altering the landscape of the Pampa Biome and leading to changes in the spatial configuration of land use and land cover. These changes cause environmental and sociocultural impacts. The aim of this research is to investigate the changes in the landscape of the Pampa Biome between 1985 and 2020. To this end, the trajectories of land use and land cover in the Pampa Biome over the 35 years of interest were identified using Principal Component Analysis with data from MapBiomias. The Biome's landscape units were then mapped at geocomplex and geofacies level, based on the geosystem approach and the compatibility of physical-ecological attributes. The results indicated significant transformations in the Pampa Biome, especially the conversion of natural areas into agricultural areas, especially the advance of soybean cultivation over the Pampa's vegetation. In addition, from the patterns identified through Principal Component Analysis, it was possible to visualize the changes in land use and land cover in space and time, and the main directions taken by the agricultural frontier, which has been advancing towards the remaining grasslands within the Biome. Based on the geosystem approach, 135 geocomplexes were identified in the Pampa Biome, which highlights its heterogeneity in terms of its physical-ecological attributes. The subdivision of the geocomplexes into geofacies made it possible to identify the state (stabilization, degradation, or regeneration) of the geosystems and to highlight the main facies of landscape dynamics present in the geocomplexes. Pointing to the existence of different processes of change in land use and cover in the geocomplexes. The results make it possible to understand the spatio-temporal dynamics of changes in the biome's landscape, helping to identify areas with potential for conservation and those with greater anthropogenic pressure. Geocomplexes make it possible to produce plans that adapt to the characteristics of each landscape unit, facilitating their management and sustainable use, considering the main processes of change in land use and cover. Therefore, the Pampa Biome is not a homogeneous whole in time and space but has a great diversity of landscapes with significant human interventions.

**Keywords:** Landscape units. Integrated Study. MapBiomias. Google Earth Engine.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esboço de uma definição teórica de Geossistema.....	29
Figura 2 - Mapa de Localização do Bioma Pampa.....	50
Figura 3 - Fluxograma das etapas para identificar as trajetórias de uso e cobertura da terra.....	60
Figura 4 - Agrupamento e Reordenamento das Classes. ....	63
Figura 5 – Processo de Interpretação das Componentes Principais.....	65
Figura 6 – Fluxograma com as etapas para o mapeamento dos Geocomplexos e das Geofácies.....	67
Figura 7 - Coeficiente de Correlação entre a 1º Componente Principal e os Dados de Entrada.....	74
Figura 8 - Padrões do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa.....	77
Figura 9 - Gráfico das Áreas (ha) dos Padrões MUCT.....	79
Figura 10 - Coeficiente de Correlação entre a 2º Componente Principal e os Dados de Entrada.....	81
Figura 11 - Gráfico das Áreas (ha) dos Processos MUCT da 2º CP. ....	83
Figura 12 - Processos do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa da 2º Componente Principal.....	85
Figura 13 - Zoom dos Processos MUCT identificados na 2º CP.....	86
Figura 14 - Coeficiente de Correlação entre a 3º Componente Principal e os Dados de Entrada.....	89
Figura 15 - Gráfico das Áreas (ha) dos Processos MUCT da 3º CP.....	91
Figura 16 - Processos do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa da 3º Componente Principal.....	92
Figura 17 - Coeficiente de Correlação entre a 4º Componente Principal e os Dados de Entrada.....	96
Figura 18 - Trajetórias Complexas do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa da 4º Componente Principal.....	99
Figura 19 - Coeficiente de Correlação entre a 5º Componente Principal e os Dados de Entrada.....	102
Figura 20 - Trajetórias Complexas do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa da 5º Componente Principal.....	105
Figura 21 - Síntese dos Processos.....	110
Figura 22 - Processos Agrupados.....	112
Figura 23 - Gráfico das Áreas (ha) dos Processos MUCT Agrupados.....	114
Figura 24 - Tipos Climáticos do Rio Grande do Sul.....	125
Figura 25 - Domínios do Bioma Pampa.....	126
Figura 26 - Províncias Estruturais.....	127
Figura 27 - Regiões Geomorfológicas do Bioma Pampa.....	129
Figura 28 - Unidades Geomorfológicas do Bioma Pampa.....	132
Figura 29 - Natureza do Modelado do Bioma Pampa.....	134
Figura 30 - Tipos de Solos (Ordens) do Bioma Pampa.....	136

Figura 31 – Unidades Geológicas do Bioma Pampa.....	139
Figura 32 – Classes de Rocha do Bioma Pampa.....	139
Figura 33 – Fisionomias Vegetais do Bioma Pampa.....	141
Figura 34 - Geocomplexos do Bioma Pampa.....	145
Figura 35 - Fácies no Nível 1 do Bioma Pampa.....	147
Figura 36 - Fácies no Nível 2 do Bioma Pampa.....	148
Figura 37- Geocomplexos da Unidade Planícies Alúvio-coluvionares. ....	149
Figura 38 - Geofácies nos Geocomplexos da Unidade Planícies Alúvio-coluvionares. .....	150
Figura 39 - Geocomplexos da Unidade Colinas Litorâneas. ....	153
Figura 40 - Geofácies nos Geocomplexos da Unidade Colinas Litorâneas. ....	154
Figura 41 - Geocomplexos da Planalto dos Campos Gerais.....	156
Figura 42 - Geofácies nos Geocomplexos da Unidade Planalto dos Campos Gerais. .....	157
Figura 43 - Geocomplexos da Depressão do Rio Jacuí. ....	159
Figura 44 - Geofácies nos Geocomplexos da Depressão do Rio Jacuí. ....	161
Figura 45 - Geocomplexos da Depressão do Rio Ibicuí. ....	165
Figura 46 - Geofácies nos Geocomplexos da Depressão do Rio Ibicuí. ....	166
Figura 47 - Geocomplexos do Planalto das Missões. ....	173
Figura 48 - Geofácies nos Geocomplexos do Planalto das Missões.....	174
Figura 49 - Geocomplexos do Planalto da Campanha.....	182
Figura 50 - Geofácies nos Geocomplexos do Planalto da Campanha.....	183
Figura 51 - Geocomplexos do Planície Lagunar Patos-Mirim. ....	195
Figura 52 - Geofácies nos Geocomplexos do Planície Lagunar Patos-Mirim.....	196
Figura 53 - Geocomplexos do Planícies Litorâneas. ....	203
Figura 54 - Geofácies nos Geocomplexos do Planícies Litorâneas. ....	204
Figura 55 - Geocomplexos do Planaltos Residuais Sul-Riograndense. ....	211
Figura 56 - Geofácies nos Geocomplexos do Planaltos Residuais Sul-Riograndense. .....	212
Figura 57 – Geocomplexos do Planalto Rebaixado Sul-Riograndense.....	220
Figura 58 – Geofácies nos Geocomplexos do Planalto Rebaixado Sul-Riograndense. .....	221
Figura 59 - Localização dos Transectos dos Perfis Topográficos. ....	233
Figura 60 - Perfil físico-ecológico do transecto 1.....	234
Figura 61 - Perfil físico-ecológico do transecto 2.....	235
Figura 62 - Perfil físico-ecológico do transecto 3.....	236
Figura 63 - Perfil físico-ecológico do transecto 4.....	237
Figura 64 - Perfil físico-ecológico do transecto 5.....	238

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem de variância explicada pelas componentes principais selecionadas. ....	72
Tabela 2 - Padrões do uso e cobertura da terra e sua Área em Hectares. ....	75
Tabela 3 - Transições MUCT na interpretação das CP. ....	80
Tabela 4 - Processos de uso e cobertura da terra e Área em Hectares. ....	82
Tabela 5 - Processos de uso e cobertura da terra com temporalidade e sua Área em Hectares. ....	90
Tabela 6 - Trajetórias complexas de degradação (D) e regeneração (R), e sua Área em Hectares. ....	97
Tabela 7 - Trajetórias complexas de degradação (D) e regeneração (R), e sua Área em Hectares. ....	103
Tabela 8 - Síntese dos Processos Agrupados. ....	108
Tabela 9 - Área dos processos agrupados em Hectares. ....	113
Tabela 10 - Hierarquia da Paisagem do Bioma Pampa. ....	123
Tabela 11 - Fácies em dois níveis hierárquico. ....	146
Tabela 12 - Características do Geocomplexo da Unidade Planícies Alúvio-colvionares. ....	151
Tabela 13 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos das Unidades Planícies Alúvio-colvionares (PAC) e Colinas Litorâneas (CL). ....	151
Tabela 14 - Características dos Geocomplexos da Unidade Colinas Litorâneas. ....	155
Tabela 15 - Características dos Geocomplexos do Planalto dos Campos Gerais. ....	158
Tabela 16 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planalto dos Campos Gerais. ....	158
Tabela 17 - Características dos Geocomplexos da Depressão do Rio Jacuí. ....	162
Tabela 18 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Depressão do Rio Jacuí. ....	164
Tabela 19 - Características dos Geocomplexos da Depressão do Rio Ibicuí. ....	168
Tabela 20 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Depressão do Rio Ibicuí. ....	171
Tabela 21 - Características dos Geocomplexos do Planalto das Missões. ....	176
Tabela 22 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planalto das Missões. ....	179
Tabela 23 - Características dos Geocomplexos do Planalto da Campanha. ....	186
Tabela 24 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planalto da Campanha. ....	191
Tabela 25- Características dos Geocomplexos do Planície Lagunar Patos-Mirim. ....	199
Tabela 26 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planície Lagunar Patos-Mirim. ....	201
Tabela 27 - Características dos Geocomplexos do Planícies Litorâneas. ....	206
Tabela 28 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planícies Litorâneas. ....	208

Tabela 29 – Características dos Geocomplexos do Planaltos Residuais Sul-Riograndense.....	215
Tabela 30 – Área (há) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planaltos Residuais Sul-Riograndense.....	218
Tabela 31 – Características dos Geocomplexos do Planalto Rebaixado Sul-Riograndense.....	223
Tabela 32 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planalto Rebaixado Sul-Riograndense.....	228

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação têmporo-espaial proposta por Bertrand em 1968. ....	28
Quadro 2 - Classes agrupadas da coleção 6 do MapBiomias. ....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ACP</b>	Análise de Componentes Principais
<b>CCA</b>	Análise de correspondência canônica
<b>CP</b>	Componentes Principais
<b>CPRM</b>	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
<b>CNN</b>	<i>Convolutional Neural Network</i>
<b>CONAB</b>	Companhia Nacional do Abastecimento
<b>ESA</b>	Agência Espacial Europeia
<b>ESRI</b>	Environmental Systems Research Institute
<b>FEPAM</b>	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler
<b>GEE</b>	<i>Google Earth Engine</i>
<b>GTP</b>	Geossistema - Território - Paisagem
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>MapBiomass</b>	Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra no Brasil
<b>MDE</b>	Modelo Digital de Elevação
<b>MERCOSUL</b>	Mercado Comum do Sul
<b>MUCT</b>	Mudanças no Uso e Cobertura da Terra
<b>SEEC</b>	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima
<b>ZAS</b>	Zoneamento Ambiental da Silvicultura

## SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
2.1	Geografia, Sistemas e Complexidade .....	16
2.2	Paisagem na Geografia.....	20
2.2.1	<i>Ecologia da Paisagem</i> .....	23
2.2.2	<i>Geossistemas</i> .....	25
2.2.3	<i>Estudo Integrado da Paisagem</i> .....	32
2.3	Mudanças do Uso e Cobertura da Terra .....	37
3	REFERENCIAL TÉCNICO.....	43
3.1	<i>MapBiomas</i> .....	43
3.2	<i>Análise de Componentes Principais</i> .....	45
4	ÁREA DE ESTUDO .....	50
4.1	<i>Bioma Pampa em transformação</i> .....	51
5	METODOLOGIA.....	58
5.1	Materiais.....	58
5.2	Identificação das Trajetórias do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa entre 1985 e 2020 .....	60
5.3	Mapeamento dos Geocomplexos e Geofácies do Bioma Pampa .....	67
5.3.1	<i>Geocomplexos</i> .....	68
5.3.2	<i>Geofácies</i> .....	70
6	RESULTADOS .....	72
6.1	Trajetórias do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa entre 1985 e 2020 72	
6.1.1	<i>Primeira Componente Principal</i> .....	73
6.1.2	<i>Segunda Componente Principal</i> .....	79
6.1.3	<i>Terceira Componente Principal</i> .....	89
6.1.4	<i>Quarta Componente Principal</i> .....	96
6.1.5	<i>Quinta Componente Principal</i> .....	102
6.1.6	<i>Síntese</i> .....	108
6.1.7	<i>Discussão</i> .....	114
6.2	Mapeamento das Unidades da Paisagem em nível de Geocomplexos e Geofácies do Bioma Pampa .....	123

6.2.1	<i>Zona</i> .....	124
6.2.2	<i>Domínio</i> .....	126
6.2.3	<i>Região</i> .....	128
6.2.4	<i>Unidades</i> .....	131
6.2.5	<i>Delimitação Geocomplexos</i> .....	133
	<i>Modelado</i> .....	133
	<i>Pedologia</i> .....	134
	<i>Geologia</i> .....	138
	<i>Fisionomias Vegetais (Sistemas Ecológicos)</i> .....	140
6.2.6	<i>Geocomplexos e Geofácies do Bioma Pampa</i> .....	143
	<i>Planícies Alúvio-coluvionares</i> .....	149
	<i>Colinas Litorâneas</i> .....	152
	<i>Planalto dos Campos Gerais</i> .....	156
	<i>Depressão do Rio Jacuí</i> .....	159
	<i>Depressão do Rio Ibicuí</i> .....	165
	<i>Planalto das Missões</i> .....	173
	<i>Planalto da Campanha</i> .....	182
	<i>Planície Lagunar Patos-Mirim</i> .....	195
	<i>Planícies Litorâneas</i> .....	203
	<i>Planaltos Residuais Sul-Riograndense</i> .....	211
	<i>Planalto Rebaixado Sul-Riograndense</i> .....	220
	<i>Perfis Físico-ecológicos dos Geocomplexos</i> .....	232
8.2.7	<i>Discussão</i> .....	239
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	242
	REFERÊNCIAS .....	246
	APÊNDICE A .....	260
	APÊNDICE B .....	265
	APÊNDICE C .....	275





## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A leitura da paisagem como um sistema complexo torna possível englobar os diferentes elementos naturais e culturais que a compõem e que se relacionam entre si, transformados através da relação dialética entre sociedade e natureza. A visão sistêmica no campo geográfico resulta em estudos integrados da paisagem que abrangem sua estrutura, seu funcionamento e sua dinâmica temporal. Estes buscam compreender a complexa rede de interações existentes nas paisagens em múltiplas escalas.

Neste cenário, a Teoria geossistêmica da paisagem apresenta uma proposta metodológica capaz de integrar os distintos elementos presentes na paisagem, tanto ambientais como antrópicos, afastando-se do paradigma fragmentador da ciência tradicional (BERTRAND; BERTRAND, 2002; CAVALCANTI, 2013). Além de possibilitar a delimitação de unidades da paisagem organizadas de forma hierárquica que compartimenta o espaço geográfico em áreas de certa homogeneidade estrutural e funcional. O nível de geocomplexo é entendido como uma área natural que possui uma certa continuidade ecológica no seu interior, podendo ser subdividido em geofácies. Sendo que o geocomplexo é composto pelos subsistemas de potencial ecológico, exploração biológica e ação antrópica (BERTRAND, 2004; OLIVEIRA; NETO, 2020; PASSOS, 2021).

Importante ressaltar que as alterações nas paisagens se materializam por intermédio das mudanças do uso e cobertura da terra (MUCT), com transformações na distribuição espaço-temporal dos elementos. Tais alterações dentro do geocomplexo são representadas pelas geofácies, que indicam a evolução temporal do sistema. Estas MUCT podem ser analisadas em termos de trajetórias, que representam uma concatenação temporal de usos e coberturas da terra de uma localização, trazendo uma evolução temporal em sequência.

O Bioma Pampa (IBGE, 2019a) enfrenta transformações na sua paisagem, devido ao avanço agrícola e à implementação de atividades de silvicultura. Estes processos alteram a paisagem do Bioma e geram uma série de impactos ambientais e socioculturais. A alteração da base produtiva se reflete em MUCT, nas quais formações naturais são convertidas em usos voltados para a exportação. A esse

processo também se associa a baixa proteção ambiental do Bioma que resulta em elevadas taxas de conversão e degradação da terra (BOTELHO; CLEVELÁRIO JÚNIOR, 2016; CHOMENKO, 2016). Evidencia-se a negligência em termos de conservação ambiental, necessitando de maior esforço e atenção do governo brasileiro, pois seus campos exercem funções ecológicas essenciais e detêm alta biodiversidade (ELLWANGER; ZILLOTTO; CHIES, 2022).

Neste contexto, a compreensão da dinâmica espaço-temporal das MUCT do Bioma Pampa e de seus principais vetores tem papel fundamental na formulação do planejamento territorial e da gestão ambiental com vistas à preservação da biodiversidade e ao uso racional dos recursos naturais (DENG *et al.*, 2008; SANTOS, 2004). Os estudos integrados da paisagem se mostram essenciais para um entendimento da paisagem e de suas alterações, pois são capazes de agrupar e sintetizar diferentes informações.

Esta pesquisa tem como objetivo principal investigar as transformações na Paisagem do Bioma Pampa entre 1985 e 2020. Para tal, pretende-se identificar as trajetórias espaço-temporais do uso e cobertura da terra no Bioma Pampa entre 1985 e 2020 e mapear os Geocomplexos e Geofácies do Bioma Pampa. A hipótese deste estudo é de que as diferenças paisagísticas existentes no Bioma Pampa, refletidas nas distintas unidades da paisagem na escala de Geocomplexos, refletem-se também em diferentes processos de MUCT. Tal abordagem visa compreender e interpretar a dinâmica da paisagem do Bioma, bem como subsidiar ações de planejamento ambiental pelo potencial integrador/sintetizador do estudo.

Se evidencia a necessidade deste estudo, e o justifica, o fato de que o Bioma Pampa carrega em suas terras grandes riquezas físicas, ecológicas e culturais que se entrelaçam em uma relação complexa. Entretanto, desde a década de 1950, vem ocorrendo significativas mudanças na sua configuração espacial impulsionadas pela implementação de novas práticas de uso da terra, como a inserção de cultivos temporários e da silvicultura (CHOMENKO, 2016; VERDUM, 2016). Em vista disso, compreender a dinâmica do uso e cobertura da terra do Bioma Pampa de forma espaço-temporal e os principais vetores que atuam nessas mudanças e transformam a paisagem é fundamental para a preservação do meio natural e do patrimônio cultural. Tal informação permite realçar zonas prioritárias, com forte atuação antrópica, e facilitar a execução de ações adequadas.

A análise espaço-temporal na escala do Bioma permite uma visão integrada do processo de MUCT e da alteração da paisagem. Além disso, o mapeamento das unidades da paisagem, considerando as variáveis ambientais e as mudanças no uso e cobertura da terra, colabora para ações de planejamento ambiental e organização territorial integradas e adaptadas às diferentes realidades do Bioma Pampa.

Por fim, destaca-se a importância de estudos, como este, que sintetizam grandes quantidades de dados e que geram análises espaço-temporais do Bioma Pampa. Ademais, deve-se considerar que o Bioma Pampa carece de estudos em sua totalidade espacial, que reúnam distintas informações físico-ecológicas, e que visam identificar as distintas unidades paisagens e suas transformações dentro do Bioma Pampa. Acredita-se que este estudo possa contribuir para um melhor entendimento da diversidade paisagística do Bioma Pampa, indicando áreas que necessitam de maior proteção ambiental, frente às alterações decorrentes das MUCT. Busca-se, assim, a produção de informações em escala de semidetalhe e integrativa que sejam utilizadas como suporte para a condução de práticas sustentáveis.

De acordo com o apresentado, o presente trabalho tem como Objetivo Geral:

Investigar as transformações na paisagem do Bioma Pampa entre 1985 e 2020 através de uma abordagem integrada da paisagem e da análise sintética de dados do projeto MapBiomias.

A seguir são apresentados os Objetivos Específicos:

- Identificar as trajetórias do uso e cobertura da terra no Bioma Pampa entre 1985 e 2020.
- Mapear unidades de paisagem em nível de geocomplexos do Bioma.
- Mapear unidades de paisagem em nível de geofácies do Bioma Pampa.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo apresenta uma introdução sobre Geografia e complexidade (4.1), a base teórica referente ao estudo da Paisagem na Geografia (4.2), aspectos relevantes sobre MUCT (4.3).

### 2.1 Geografia, Sistemas e Complexidade

A ciência geográfica tem como conceito principal o espaço geográfico que expressa a relação humanidade e Natureza. Tal conceito exprime a articulação entre natureza e sociedade, estando na interface entre as ciências sociais e naturais (SUERTEGARAY, 2001; SUERTEGARAY, 2005; GODOY, 2010; SOUZA, 2018). Suertegaray (2001; 2005) apresenta o espaço geográfico como uno e múltiplo, permitindo diversas conexões por meio dos conceitos geográficos, tais como paisagem, lugar, território, ambiente etc. Estes possibilitam a leitura do espaço geográfico por distintas perspectivas e metodologias.

Entretanto, a Geografia está dividida entre Geografia Física e Geografia Humana, não conjugando a união entre as duas áreas do conhecimento e separando os geógrafos. Ademais, encontra-se fragmentada em subáreas, principalmente o campo da Geografia Física (hidrografia, geomorfologia, climatologia, biogeografia etc.) (FERREIRA, 2010; SOUZA, 2018), produzindo estudos que mutilam os componentes, que estão integrados no espaço (OLIVEIRA, I. *et al.*, 2017). Desta forma, a Geografia também acompanhou o modelo de extrema especialização proposto pela ciência de base positivista que construiu um conhecimento simplificador, fragmentado e reducionista (BERTALANFFY, 1975; MORIN, 2000; OLIVEIRA; NETO, 2020).

Com o avanço da produção científica e o desenvolvimento de diferentes disciplinas acadêmicas, e suas subáreas, ampliou-se a partição da ciência e sua construção de forma isolada (BERTALANFFY, 1975; HAIGH, 1985). De acordo com Morin (2000), a hiperespecialização do conhecimento impossibilita visualizar o global (integral) por conta da fragmentação e, conseqüentemente, leva à diluição do essencial em pequenas partes isoladas. Assim, a concepção mecanicista da ciência clássica, com seus procedimentos analíticos, divide o objeto em partes e o remonta

pela simples soma delas (reducionismo). Para isso, supõe a existência de relações lineares que permitem a reconstrução das partes no todo. Entretanto, estas concepções de isolamento e relações causais lineares se tornam limitadas para solucionar problemas práticos e teóricos, clamando por uma reorientação na ciência (BERTALANFFY, 1975).

A Teoria Geral dos Sistemas foi proposta por Ludwig von Bertalanffy ao decorrer da década de 50 do século XX a partir da Biologia Teorética. Tal teoria possui como pressuposto o fato de que objetos de estudo de distintas áreas do conhecimento formam sistemas, os quais são conjuntos de partes que compõem um todo organizado, em que o todo não é igual a soma das partes que o constituem (CHRISTOFOLETTI, 1999; MORIN, 2000). Como aponta Bertalanffy (1975), as restrições dos procedimentos analíticos são o problema central dos sistemas, que possuem partes em interação com relações não-lineares.

Assim, um sistema é definido como um conjunto de elementos em interação, que constituem uma unidade e integridade com suas partes interrelacionadas (BERTALANFFY, 1975; CHRISTOFOLETTI, 1999; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017) por relações estruturais e funcionais que não podem ser visualizadas com os componentes desagregados (HAIGH, 1985). Limberger (2006) afirma que os sistemas possuem caráter global, aspectos relacionais, hierarquização e organização. Deste modo, os sistemas complexos possuem uma pluralidade de componentes encadeados, com interações, fluxos e retroalimentação (BERTALANFFY, 1975; CHRISTOFOLETTI, 1999).

Deve-se ressaltar que a visão sistêmica pode ser entendida como uma alternativa ou complemento ao conhecimento mecanicista clássico, pois a mesma não visa esquecer todos os métodos já utilizados pela ciência, mas uni-los para alcançar uma compreensão maior (LIMBERGER, 2006). Na mesma linha, Christofolletti (1999) expõe que as perspectivas reducionistas e sistêmicas se complementam e não devem ser colocadas como opostas ou excludentes.

A partir disso, distintos campos da ciência desvinculam-se do reducionismo e da explicação elementar para lidar com sistemas complexos, nos quais as partes e o todo produzem e se organizam entre si (MORIN, 2000). A abordagem sistêmica propaga-

se amplamente na década de 1960 em diversas disciplinas científicas que passam a conectar, globalizar e contextualizar conhecimentos compartimentados, articulando os campos do saber (MORIN, 2000; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Assim, a Teoria Geral dos Sistemas transborda da Biologia para outras áreas do conhecimento e é utilizada na Geografia na elaboração da noção de geossistema (MONTEIRO, 2001).

Portanto, a abordagem sistêmica estuda a complexidade e a integração com enfoque nas inter-relações entre os componentes do sistema, não dos elementos isoladamente (HAIGH, 1985). A Teoria Geral dos Sistemas, conjuntamente com a Teoria da Informação e a Cibernética, serviu de base para o desenvolvimento da Teoria e Ciência da Complexidade (MORIN, 2005). Os estudos da complexidade visam superar o modelo linear e mecanicista, utilizando uma abordagem holística, antirreducionista, com a articulação entre distintas disciplinas que seja passível de aplicação em sistemas caóticos, dinâmicos e complexos (CHRISTOFOLETTI, 1999; FREITAS, 2006).

Desta forma, Morin (2000) assinala a necessidade de substituir o pensamento simplificador que isola e separa (disjuntivo e redutor) por um pensamento complexo que distingue e une. O princípio sistêmico auxilia nessa transição, pois conecta os fragmentos ao todo do conhecimento e, contrariamente à proposta reducionista, indica que o todo é mais e menos que a soma das partes, o todo não pode ser dividido em fragmentos. Portanto, o pensamento de caráter simplificador desmonta e fraciona a complexidade do real, já o pensamento complexo integra ao máximo as partes, almejando um conhecimento multidimensional que não seja fragmentado, compartimentado e reduzido. Ademais, supera a causalidade linear por uma causalidade mútua inter-relacionada, circular e incerta, abandonando a concepção de causa e efeito (MORIN, 2000; MORIN, 2005).

Transpondo a Teoria Geral dos Sistemas e o pensamento complexo para o campo da Ciência Geográfica, pode-se estabelecer uma série de conexões. A Teoria Geral dos Sistemas visa a integração das ciências naturais e sociais (BERTALANFFY, 1975), abrangendo a intersecção no qual a Geografia está localizada na ciência. Sendo que a Geografia é comumente vista como uma ciência de síntese, devido à conjugação de distintos elementos para entender a distribuição dos objetos no espaço

geográfico (LIMBERGER, 2006). Haigh (1985) aponta que, assim como a Geografia, a teoria sistêmica também almeja a síntese de diversas disciplinas. Para Morin (2000), a Geografia é uma ciência essencialmente complexa, interligando e unindo a física terrestre, a biosfera e os elementos humanos em uma relação dialética e que, a partir da incorporação da complexidade, pode reencontrar suas perspectivas multidimensionais, complexas e globalizantes.

A partir do exposto, entende-se que a teoria da complexidade e o enfoque sistêmico disponibilizam uma estrutura teórica e metodológica para o aprimoramento dos estudos geográficos, pois os sistemas estudados na Geografia são compostos por diversos elementos com relações não-lineares, considerados como sistemas dinâmicos e caóticos (LIMBERGER, 2006). As organizações espaciais (sistemas geográficos) constituem e expressam sistemas complexos, nos quais a dimensão espacial assume papel primordial (CHRISTOFOLETTI, 1999). Portanto, a perspectiva da complexidade aponta um caminho em direção a um conhecimento geográfico menos fragmentado para a construção de uma Geografia una e múltipla, integrativa, que considere as distintas dimensões, relações e contradições existentes no espaço geográfico.



## 2.2 Paisagem na Geografia

A Geografia visa em seus estudos entender de forma integrada as relações entre sociedade e natureza por intermédio de uma perspectiva complexa do espaço natural conjuntamente com as mudanças ocasionadas pela ação antrópica (SARETTA *et al.*, 2020). Bertrand (1978) expõe que a paisagem expressa a relação dialética entre o social e o natural, sendo que cada perspectiva visualiza distintas dimensões de uma mesma paisagem. Desta forma, a paisagem é um sistema que conjuga o natural e o social, reunindo um espaço físico-ecológico com seus recursos naturais utilizados e transformados pelas sociedades, estando em um binômio indissociável de sociedade e natureza (BERTRAND, 1978; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Portanto, a paisagem resulta de processos humanos e naturais no espaço e no tempo, podendo ser considerada como resultado da interação dos elementos naturais com as alterações, ou não, de cunho antrópico. Por conta disso, a paisagem ocupa uma posição importante na análise espacial, sendo um conceito essencial para a Geografia. Assim, a paisagem possui destaque dentro do campo geográfico como uma importante abordagem de análise e interpretação do espaço (OLIVEIRA; SOUZA, 2012; SEABRA; VICENS; CRUZ, 2013). Classicamente, a paisagem foi concebida pelos geógrafos como a manifestação materializada das relações do homem com a natureza no espaço e, para muitos, estava conectada à possibilidade visual (SUERTEGARAY, 2001). Ainda segundo Suertegaray (2001), a paisagem é colocada como um conceito operacional, uma lente, que permite observar o espaço geográfico sob uma perspectiva:

[...] qual seja o da conjunção de elementos naturais e tecnificados, socioeconômicos e culturais. Ao optarmos pela análise geográfica a partir do conceito de paisagem, poderemos concebê-la enquanto forma (formação) e funcionalidade (organização). Não necessariamente entendendo forma-funcionalidade como uma relação de causa e efeito, mas percebendo-a como um processo de constituição e reconstituição de formas na sua conjugação com a dinâmica social. Neste sentido, a paisagem pode ser analisada como a materialização das condições sociais de existência diacrônica e sincronicamente. Nela poderão persistir elementos naturais, embora já transfigurados (ou natureza artificializada). O conceito de paisagem privilegia a coexistência de objetos e ações sociais na sua face econômica e cultural manifesta. (SUERTEGARAY, 2001).

Entretanto, no decorrer do tempo, a paisagem recebeu diversos significados, pois a procura por conceituações que contemplem a complexidade da paisagem

sempre esteve presente nas discussões geográficas (FREITAS, 2006; OLIVEIRA; SOUZA, 2012). Ao longo desse processo, o estudo da paisagem passa da análise individual dos elementos biofísicos para uma abordagem analítico-integrada que considera a complexa rede de interações entre objetos naturais e humanos (OLIVEIRA; SOUZA, 2012).

Revisitando, brevemente, a evolução da palavra paisagem, nota-se que inicialmente ela estava atrelada a uma conotação estética relacionada com o paisagismo e a arte de jardins. Porém, foi somente no século XIX que a paisagem passou a ser um objeto de estudo dos geógrafos e naturalistas e o termo se expandiu nos países europeus (CHRISTOFOLETTI, 1999). Assim, o termo paisagem começa a ser muito utilizado na Geografia Alemã no século XIX, entendida como um conjunto de formas de uma certa área da Terra. Tal termo foi introduzido por Hommeyer na forma alemã de *Landschaft*, compreendida como um conjunto de elementos visualizados a partir de um local alto, abrangendo tanto a concepção de território como o aspecto visual (CHRISTOFOLETTI, 1999; PASSOS, 2006).

Conforme Passos (2006), é aproximadamente na segunda metade do século XIX e na primeira metade do século XX que se estabelecem as bases teóricas da abordagem científica da paisagem. Alexander Von Humboldt contribuiu no século XIX com as primeiras noções científicas de paisagem, resultando, ainda no mesmo século, na consolidação da *Landschaftskunde* (Ciência da Paisagem), “considerada sob uma perspectiva territorial, como expressões espaciais das estruturas realizadas na natureza e pelo jogo de leis cientificamente analisáveis” (CHRISTOFOLETTI, 1999, pg. 38). No início do século XX, Siegfried Passarge insere o termo paisagem geográfica na literatura geográfica alemã e é o primeiro a publicar um livro sobre a Ciência da Paisagem, promovendo o termo em diversos trabalhos a partir de 1919 (WIENS *et al.*, 2007; OLIVEIRA; SOUZA, 2012). Além disso, o termo Ecologia da Paisagem é proposto por Troll em 1938, trazendo novas contribuições para o campo (FARINA, 2006; PASSOS, 2006; TURNER; GARDNER, 2015). Por outro lado, a Ciência da Paisagem iniciou na antiga União Soviética sob o nome de Geografia Física Global no final do século XIX e, em 1912, Dokoutchaiev definiu o complexo natural territorial como um conceito para analisar os elementos naturais. Na França, nas análises regionais e nas obras de La Blache não há o termo paisagem, mas há o uso

dos termos *pays* e regiões que se baseavam nos componentes naturais e nas atividades humanas (CHRISTOFOLETTI, 1999; PASSOS, 2006).

Assim, notam-se as distintas terminologias e concepções de paisagem, tornando o tema extremamente complexo. Beroutchachvili e Bertrand (1978), por vias de simplificação, apresentaram os três principais paradigmas conceituais da Ciência da Paisagem. O paradigma descritivo e classificador dominou entre o século XVIII e a primeira metade do século XIX, o segundo paradigma é o genético e setorial, desenvolvido a partir do evolucionismo darwiniano e influenciou nas pesquisas naturais de estrutura positivista. E, por último, o paradigma sistêmico que cresceu a partir da metade do século XX e que representa uma reorientação epistemológica. Tal paradigma reverbera na Geografia com o geossistema (MONTEIRO, 2001; PASSOS, 2006).

Com o avanço do sistemismo, há o crescimento da interdisciplinaridade e da análise dialética entre sociedade e natureza (PASSOS, 2006). Então, por intermédio da abordagem sistêmica, a paisagem começa a ser analisada integralmente como um sistema, em relação aos seus componentes. O estudo da paisagem sob a égide da perspectiva dialética torna possível admitir sua organização sistêmica, sua materialidade e totalidade, a qual se mostra como um fenômeno integrado, sendo um equívoco tratá-la de forma fracionada. Em vista disso, o conceito de paisagem, a partir de meados do século XX, enfatiza as interações entre a base natural e as apropriações humanas, em que a perspectiva sistêmica influencia na evolução dos estudos integrados da paisagem. Tais estudos abrangem o funcionamento, a estrutura e a dinâmica da paisagem (FERREIRA, 2010; OLIVEIRA; SOUZA, 2012; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Por fim, Freitas (2006) ressalta que os estudos da paisagem detêm alta complexidade, o que torna a sua realização uma tarefa difícil, devendo ser acompanhada de uma perspectiva holística dos seus elementos ambientais. A seguir, serão abordadas a Ecologia da Paisagem e o Geossistema, marcos importantes para o desenvolvimento e aprofundamento dos estudos da paisagem.

### 2.2.1 *Ecologia da Paisagem*

Importante apresentar que a Ecologia tem como objeto de estudo as interações/relações entre os seres vivos e o seu ambiente (FORMAN, 1995; CHRISTOFOLETTI, 1999), tendo o ecossistema como um conceito importante, definido em 1934, por Tansley (CHRISTOFOLETTI, 1999, pg. 35). Em 1938, o geógrafo alemão Carl Troll contribuiu para o desenvolvimento da Ciência da Paisagem através da apresentação do termo Ecologia da Paisagem que, posteriormente, denominou de Geoecologia da Paisagem. A Ecologia da Paisagem tem suas raízes na geografia, geobotânica e no gerenciamento territorial, em que Troll visava unir a abordagem espacial dos geógrafos com a funcional dos ecólogos. Assim, enfatiza as relações entre os processos ecológicos e os padrões espaciais. Ademais, Troll salientava que não se deveria considerar somente o aspecto natural das paisagens, mas que era necessário incluir os elementos culturais e socioeconômicos. A Ecologia da Paisagem visa entender as inter-relações entre a sociedade e a paisagem, conectando os sistemas naturais a humanos, e abrangendo as atividades antrópicas que modificam a paisagem (CHRISTOFOLETTI, 1999; PORTO; MENEGAT, 2004; FARINA, 2006; PASSOS, 2006; TURNER; GARDNER, 2015).

Porto e Menegat (2004) apresentam que a Ecologia da Paisagem analisa as relações na paisagem no plano horizontal e vertical. Na primeira são abordadas questões geográficas, observando a distribuição espacial dos elementos. Os aspectos ecológicos, que abordam as relações funcionais de uma localidade (ecótopo), são observadas na dimensão vertical. Deste modo, a Ecologia da Paisagem une as dimensões espaço-funcionais dos objetos que constituem e se relacionam na superfície terrestre e, por conta disso, contribui para uma melhor compreensão da paisagem, pois considera que os padrões de distribuição dos elementos da paisagem influenciam os processos ecológicos (SEABRA; VICENS; CRUZ, 2013). Nesta abordagem, a paisagem é um sistema que possui estrutura, funcionamento e dinâmica (alterações), em que a sua estrutura é formada pelos seguintes elementos: mancha, matriz e corredor. Um mosaico da paisagem representa um conjunto de objetos agregados, podendo conter tais elementos. Neste campo de estudo são utilizadas diversas métricas da paisagem — ex.: área, perímetro, medidas de borda,

índice de forma, índice fractal, medidas de densidade etc. —, que auxiliam no processo de análise da mesma (FORMAN, 1995; FERREIRA, 2010).

Conforme Farina (2006), os estudos atuais da Ecologia da Paisagem envolvem ecossistemas alterados pela ação humana e a escala funcional da paisagem abrange um conjunto de processos ecológicos e socioeconômicos. Além disso, a questão da escala assume um papel muito importante na análise da paisagem, pois se refere à dimensão espaço-temporal de um processo ou fenômeno. Estes são dependentes da escala, pois variam conforme a mudança da mesma (TURNER; GARDNER, 2015). Porto e Menegat (2004) apresentam as unidades da paisagem hierárquicas segundo Zonneveld (1972). O ecótopo (coro) corresponde a menor unidade da paisagem, com homogeneidade dos elementos locais em relação a geosfera, hidrosfera, biosfera e atmosfera, e é delimitado espacialmente. A próxima unidade é a fáceis (microcoro) que resulta da conjunção de ecótopos que constituem relações de origem (*land form*). O sistema da terra (coro) é gerado pela combinação de fáceis em unidades de mapeamento com escala determinada. Por fim, o continente (macrocoro) corresponde à média da paisagem, associando sistemas de uma certa região. Assim, a Ecologia da Paisagem possui como a sua menor unidade o ecótopo, e a ecosfera é a maior unidade, abrangendo a esfera da paisagem global (ZONNEVELD, 1972; PORTO; MENEGAT, 2004).

Na Ecologia da Paisagem, a paisagem possui como característica a dimensão sistêmica e complexa desde a sua formação, o que define sua unidade, em que os elementos da natureza possuem relações entre si, constituindo uma integridade que interage com a sociedade (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Ao considerarmos a complexidade como um atributo da paisagem, a teoria da hierarquia aponta como os componentes da paisagem em determinadas escalas se relacionam com elementos em outras escalas. Dessa maneira, a hierarquia é um fator essencial, pois permite percorrer distintos padrões e processos em diferentes níveis de escalas espaço-temporais (FARINA, 2006). Turner e Gardner (2015) expõem que a hierarquia pode ser definida como um sistema de inter-relações, em que os mais altos níveis limitam os mais baixos. Koestler (1969) apresentou que existem componentes que são em simultâneo, partes e todos, conforme o nível, e estes elementos são chamados de hólons, os mesmos existem em todos os níveis de hierarquia (TURNER;

GARDNER, 2015). No qual, cada hólón é um sistema dinâmico e auto-organizador que faz parte de um sistema maior e é composto por subsistemas menores, em que é influenciado por ambos (HAIGH, 1989).

As paisagens possuem uma organização complexa que, para ser entendida, deve-se primeiro definir o nível de organização de interesse, a escala espaço-temporal observada. Portanto, as paisagens são organizações complexas hierárquicas compostas por elementos heterogêneos que possuem uma pluralidade de relações (FARINA, 2006; TURNER; GARDNER, 2015; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Assim, a Ecologia da Paisagem trouxe muitas contribuições para a análise da paisagem ao inserir o estudo da configuração espacial e da funcionalidade.

### 2.2.2 Geossistemas

Tricart (1977) afirma que a aplicação da visão sistêmica é uma das melhores abordagens ontológicas para analisar problemas ambientais, devido a característica dinâmica da abordagem sistêmica e por possibilitar assumir uma posição dialética entre a análise e a perspectiva integral. Com a ascensão dos problemas ambientais evidenciou-se a necessidade de uma visão integrada que unisse a questão espacial (geográfica) e a funcional (ecológica) para analisar a paisagem e entender a dinâmica dos distintos processos que atuam na superfície terrestre (SEABRA; VICENS; CRUZ, 2013; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017).

Munido por estas necessidades e baseado no método sistêmico, Viktor Borisovich Sochava introduz, em 1963, o termo geossistema transpondo as concepções sistêmicas à Ciência da Paisagem tradicional, integrando as dimensões espaciais e funcionais. Sochava, no desenvolvimento deste termo, foi influenciado pelo crescimento da Ecologia, pelas ciências naturais e pelas estações experimentais de pesquisa que coletavam dados continuamente. Tal avanço culminou na origem da escola siberiana da paisagem (PASSOS, 2006; SEMENOV; SNYTKO, 2013; RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017; OLIVEIRA; NETO, 2020).

O geossistema proposto por Sochava é definido como uma unidade dinâmica da superfície terrestre, de qualquer dimensão espacial, em que se possa diferenciar

as formas de relações entre os componentes da natureza. Assim, constitui uma unidade que o diferencia daquelas - geossistemas - do entorno (CAVALCANTI, 2013; CAVALCANTI; CORRÊA, 2016). Em vista disso, o geossistema define um sistema natural-geográfico homogêneo, tal sistema é aberto, dinâmico e possui uma organização hierárquica, em que cada nível apresenta a sua própria organização dinâmica. Além disso, pode ser categorizado hierarquicamente em geossistemas, geócoros, geômeros e geótopos. Para Sochava, o ponto principal dos geossistemas era a conexão da natureza com a sociedade, pois, mesmo colocando o geossistema como um objeto natural, considera a análise dos elementos socioeconômicos que influenciam na sua estrutura (BEROUTCHACHVILI; BERTRAND, 1978; CHRISTOFOLETTI, 1999, SEMENOV; SNYTKO, 2013).

Ferreira (2010) coloca que os pesquisadores russos nomeiam de geossistema as unidades das paisagens delimitadas por intermédio da funcionalidade sistêmica de seus atributos. O geossistema definido por Sochava é um modelo teórico e conceitual para identificar, interpretar e classificar a paisagem da Terra. Possui como enfoque a análise da dinâmica e evolução dos sistemas naturais que eram monitorados por estações experimentais na Sibéria. No ponto de vista russo, a estrutura do geossistema é influenciado pelas ações antrópicas que possuem conexão com ele (OLIVEIRA; NETO, 2020).

A proposição do geossistema por Sochava possibilitou a resolução de alguns problemas da fragmentada Geografia Física, pois o pesquisador contribuiu para o desenvolvimento de uma abordagem integrada sobre a dinâmica e evolução das paisagens. Ressalta-se que o avanço da Ciência da Paisagem se deu tanto espacialmente como temporalmente, pois a abordagem russa abarca os diferentes estados do geossistema. Devido à adoção da perspectiva sistêmica, conjuntamente com a cibernética e a complexidade, tornou-se mais simples a integração de variáveis distintas na análise da paisagem, progredindo metodologicamente e epistemologicamente (CAVALCANTI, 2013; CAVALCANTI; CORRÊA, 2016).

A vertente francesa do geossistema, representada por George Bertrand, fez sua primeira aparição em 1968. O autor entendia que o estudo da paisagem deveria ser realizado de forma integrada e que a mesma pode ser conceituada como uma certa parte do espaço que deriva da associação dinâmica, consequentemente

instável, de componentes físicos, biológicos e antrópicos que se relacionam dialeticamente. Assim, produzem uma paisagem única e indissociável, em constante evolução (BERTRAND, 2004). A partir disso, aponta que a paisagem poderia ser classificada de acordo com a escala, em seis níveis têmporo-espaciais baseado nas ordens de grandeza proposto por Cailleux e Tricart (BERTRAND, 2004; FERREIRA, 2010; CAVALCANTI; CORRÊA, 2016).

Desta forma, o sistema taxonômico adotado possui os níveis superiores - zona, domínio e região - e as unidades inferiores - geossistema, geofácies, e o geótopo, nas quais os elementos climáticos e estruturais são essenciais nos níveis superiores, enquanto os biogeográficos e antrópicos se destacam nas unidades inferiores. O Quadro 1 apresenta a classificação taxonômica proposta por Bertrand em 1968 (BERTRAND, 2004; FERREIRA, 2010; OLIVEIRA; NETO, 2020).

A partir desta abordagem, o geossistema está posicionado entre a 4<sup>o</sup> e a 5<sup>a</sup> grandeza têmporo-espacial, corresponde a uma unidade dimensional entre alguns quilômetros quadrados e algumas centenas de quilômetros quadrados com espacialidade e temporalidade bem definidas. Dessa maneira, o geossistema é compreendido em uma ordem escalar hierárquica, em que uma área natural que possui uma certa continuidade ecológica no seu interior pode ser decomposta em geofácies (BERTRAND, 2004; OLIVEIRA; NETO, 2020; PASSOS, 2021). Bertrand (2004, p. 146) coloca que o “geossistema constitui uma boa base para os estudos de organização do espaço porque ele é compatível com a escala humana”. Além disto, o geossistema possui três subsistemas: potencial ecológico (fatores abióticos), exploração biológica (fatores bióticos) e ação antrópica (Figura 1).

No interior de um mesmo geossistema há a presença de geofácies e do geótopo. O primeiro equivale a uma área homogênea fisionomicamente que possui a mesma fase de evolução do geossistema. Por outro lado, o geótopo corresponde à menor unidade geográfica homogênea diferenciável no espaço. A geofácies compreende as distintas paisagens que se sucedem no espaço e no tempo dentro de um geossistema, os quais formam um mosaico cambiante que expressa em sua estrutura e dinâmica as características ecológicas e biológicas. Desta forma, a análise dos geofácies deve ser realizada por intermédio de uma visão dinâmica (BERTRAND, 2004).



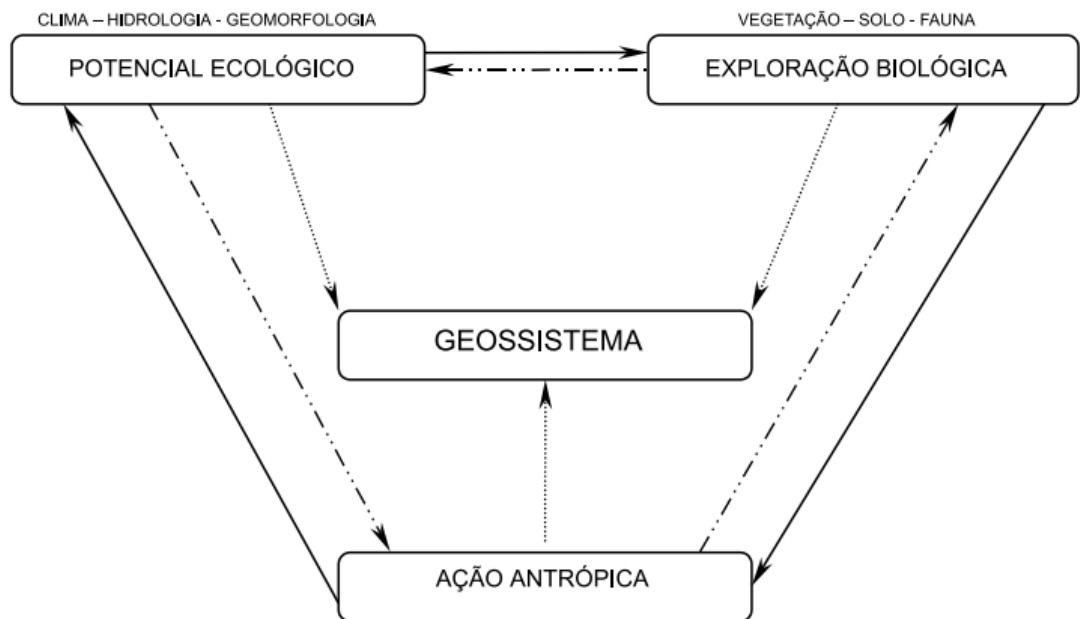
Quadro 1 – Classificação têmporo-espacial proposta por Bertrand em 1968.

Unidades da Paisagem	Escala Têmporo-Espacial (1)	Exemplo numa mesma série de Paisagem	Unidades Elementares				
			Relevo (2)	Clima (3)	Botânica	Biogeografia	Unidade Trabalhada pelo Homem (4)
Zona	G. I	Temperada		Zonal		Bioma	Zona
Domínio	G. II	Cantábrico	Domínio Estrutural	Regional			Domínio Região
Região Natural	G. III-IV	Picos da Europa	Região Estrutural		Andar Série		Quarteirão Rural ou Urbano
Geossistema	G. IV-V	Atlântico Montanhês	Unidade Estrutural	Local		Zona Equipotencial	
Geofácies	G. VI	Prado de ceifa com <i>Molinio-Arrhena-theretea</i> em solo lixiviado hidromórfico formado em depósito morâinico.			Estádio Agrupamento		Exploração ou quarteirão parcelado (pequena ilha ou cidade)
Geótopo	G. VII	“Lapiás” de dissolução com <i>Aspidium lonchitis</i> em microsolo úmido carbonatado em bolsas		Micro-clima		Biótopo Biocenose	Parcela (casa em cidade)

(1) A. Cailleux J. Tricart; (2) Conforme A. Cailleux, J. Tricart e G. Viers.; (3) Conforme M. Sorre; (4) Conforme R. Brunet.

Fonte: Adaptado de Bertrand (2004).

Figura 1 – Esboço de uma definição teórica de Geossistema.



Fonte: Bertrand (2004).

Além disso, Bertrand (2004, p. 148) indica que:

O sistema de evolução de uma unidade de paisagem, de um geossistema, por exemplo, reúne todas as formas de energia, complementares ou antagônicas que, reagindo dialeticamente umas em relação às outras, determinam a evolução geral dessa paisagem.

A evolução de um geossistema engloba diversos agentes e processos hierarquizados, podendo haver agentes naturais e antrópicos. Ademais, a ação antrópica pode assumir um papel preponderante, ao ativar ou desencadear mudanças pela interferência na vegetação e no solo (BERTRAND, 2004). Oliveira e Neto (2020) exprimem que nesta proposta de Bertrand o Homem é inserido na teoria, tendo destaque como organizador do geossistema por meio das suas atividades e impactos.

Em relação a tipologia das paisagens, Bertrand (2004) utilizou um critério dinâmico que classifica os geossistemas de acordo com sua evolução. Para tal, considera o sistema de evolução, o estágio atual em relação ao clímax e o sentido da dinâmica (progressiva, regressiva e estabilidade). Estes critérios se basearam na teoria da bio-restasia de H. Erhart. De forma geral, os geossistemas foram

classificados em sete categorias que correspondem a dois distintos grupos dinâmicos. O primeiro grupo dinâmico corresponde aos geossistemas em biostasia, no qual, a atuação geomorfogenética é fraca ou nula. O segundo grupo dinâmico se trata dos geossistemas em resistasia, nos quais a geomorfogênese controla a dinâmica da paisagem (BERTRAND, 2004).

Posteriormente, em 1978, Bertrand publicou um artigo juntamente com o geógrafo georgiano Nicolas Beroutchauchvilli no qual passa a entender o geossistema como um conceito, alterando um pouco a definição como unidade taxonômica, e se aproximando com a visão de Sochava, que considera o geossistema como uma abstração e um conceito (BEROUTCHACHVILI; BERTRAND, 1978; PASSOS, 2021). Dessa forma, altera a proposição inicial de geossistema de 1968 para uma visão que se aproxima do geossistema siberiano (conceito), reduzindo a rigidez escalar (FERREIRA; NEVES, 2023). Assim, em *Le géosystème ou" système territorial naturel"*, Beroutchauchvilli e Bertrand (1978) especificam que o geossistema é composto por três componentes: abióticos, bióticos e antropogênicos. Em relação à estrutura, definem o geohorizonte - estrutura vertical interna caracterizado por fisionomia, massas e energia - e a geofácies - estrutura horizontal interna variável no tempo e sua organização corresponde a um estado. Ademais, cada geossistema apresenta um encadeamento de estados ao decorrer do tempo, em que cada estado apresenta uma estrutura e uma função, ou seja, uma certa organização espacial. Isso indica que a perspectiva espaço-temporal caminha conjuntamente com a abordagem geossistêmica.

Nas décadas seguintes (1980, 1990), Bertrand continua o aprimoramento de uma abordagem integrada da paisagem que una sociedade e natureza. Por conta disso, propõe o sistema tripolar Geossistema - Território - Paisagem (GTP), um modelo que relaciona o geossistema (fonte), o território (recurso) e a paisagem (identidade). O sistema GTP é uma proposta metodológica para a Geografia que pretende lidar com a complexidade dos fenômenos do espaço geográfico (SOUZA, 2009; BERTRAND, 2010; CAVALCANTI; CORRÊA, 2016; OLIVEIRA; NETO, 2020). Passos (2021) coloca que o paradigma GTP é sistêmico e visa expor a complexidade envolvida no ambiente geográfico com sua diversidade - cultural, econômica, social etc. - e interatividade. Estas três entradas do sistema delineiam três caminhos distintos

que representam categorias espaço-temporais diferentes, mas complementares. O geossistema é entendido como um conceito naturalista que expressa a estrutura e o funcionamento biofísico, o território reflete a organização social e econômica do espaço e a paisagem retrata a dimensão sociocultural. A conjugação desses conceitos possibilita analisar um espaço geográfico em sua totalidade (BERTRAND, 2000).

Portanto, o conceito de geossistema evoluiu ao decorrer dos anos, passando de uma unidade taxonômica do terreno para um modelo (abstração), no qual o termo geossistema é reservado para o conceito e é substituído pelo termo geocomplexo para as unidades hierárquicas do terreno (zona, domínio, região, geocomplexo, geofácies e geótopo) (BERTRAND; BERTRAND, 2002; FERREIRA; NEVES, 2023). Assim, o geossistema é um conceito naturalista que privilegia a interação entre seus três componentes (Figura 1) e espacial, pois permite a delimitação de unidades espaciais. Além disso, é também um conceito temporal e histórico, devido ao fato de considerar a evolução e os estados do geossistema (BERTRAND; BERTRAND, 2002).

Cavalcanti e Corrêa (2016) apresentam que o termo geossistema adentrou a geografia brasileira como uma aplicação da Teoria Geral dos Sistemas na análise da natureza. Os principais geógrafos brasileiros que adotaram e contribuíram para o geossistema foram Antonio Christofolletti, Aziz Nacib Ab'Sáber, Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro e Helmut Troppmair.

Monteiro (2001) aponta o conceito de geossistema como uma direção teórica capaz de produzir a integração na abordagem geográfica, entendendo os geossistemas como sistemas de alta complexidade. Não considera as relações entre natureza e sociedade como antagônicas, oriundas de sistemas opostos, mas as compreende como um sistema singular, complexo, evolutivo e cibernético. Neste, os elementos socioeconômicos estão incluídos no próprio sistema e o homem, que é parte integrante da natureza, pode atuar como um catalisador das relações no sistema. A ação antrópica ao alterar/derivar a organização do sistema age das escalas inferiores para as superiores. Além disso, Monteiro também usa o conceito de hólón proposto por Koestler (1969) na análise da paisagem (MONTEIRO, 1978, 1996, 2001).

O desenvolvimento da teoria geossistêmica demonstra a insatisfação dos geógrafos com os métodos fragmentários que particionam a realidade. Desta forma,

a conjunção da Teoria Geral dos Sistemas com os estudos da paisagem levou à utilização conjunta de distintas metodologias para entender o comportamento dos sistemas ambientais e sua resposta frente à interação com a sociedade. A mais significativa contribuição da teoria dos geossistemas está na integração das análises que permitem compreender de maneira integral a estrutura, funcionamento, e mudanças - naturais ou antrópicas - nas paisagens. Assim, o geossistema, como uma teoria da paisagem, apresenta-se como uma poderosa abordagem para a interconexão entre distintos subcampos da fragmentada Geografia Física (SOUZA, 2009; CAVALCANTI, 2013; CAVALCANTI; CORRÊA, 2016). Por fim, Neves (2017) afirma que se deve compreender o geossistema como um complexo dinâmico em evolução contínua, gerado pela relação dialética entre sociedade e natureza e que a utilização desta abordagem permite um entendimento uno e múltiplo dos complexos ambientais e paisagens (NEVES; SODRÉ, 2021).

### 2.2.3 *Estudo Integrado da Paisagem*

O advento da abordagem sistêmica permitiu a análise em conjunto dos componentes da paisagem, em que a mesma passa a ser entendida como um sistema que reflete a natureza e a organização social, tornando a paisagem a representação espaço-temporal dos fenômenos geográficos (PASSOS, 2006; SOUZA, 2009). O desenvolvimento da Ecologia da Paisagem e, principalmente, da noção de geossistema promoveram um caminho teórico-metodológico de base sistêmica que possibilita estudos espaço-temporais geradores de sínteses paisagísticas (OLIVEIRA; SOUZA, 2012).

A paisagem intersecciona distintos elementos, devendo ser visualizada como um sistema complexo que une elementos naturais, históricos, culturais e socioeconômicos. Nas palavras de Oliveira, I. *et al.* (2017, p.158):

Entendendo a paisagem como um geossistema, tem-se uma visão integrada do ambiente e possibilita uma abordagem holística, que compreende todo o sistema, não excluindo partes ou fatores. Prioriza-se, portanto, a relação indissociável entre a natureza e o ser humano.

As ações humanas podem transformar as propriedades de uma paisagem em distintas escalas, o que altera sua estrutura e dinâmica. Tais mudanças são visualizadas de forma mais fácil no nível local e a interferência humana nas paisagens se materializa no espaço pelas mudanças do uso e cobertura da terra (SEABRA, 2013). Modificações em diversas escalas e intensidades podem levar a situações de risco ambiental que evidenciam a necessidade da realização de um planejamento eficaz e eficiente do uso e ocupação do espaço. Para que tal objetivo seja alcançado, é essencial a compreensão de forma integrada dos componentes da paisagem e suas relações, a partir de uma visão sistêmica que abarque informações sobre a geomorfologia, a geologia, a vegetação, a hidrologia, o uso e cobertura da terra e os fatores socioeconômicos e culturais (AMORIM; OLIVEIRA, 2008; OLIVEIRA, I. *et al.*, 2017). Neste cenário, os estudos integrados da paisagem se tornam cada vez mais importantes para avançar na compreensão e organização territorial.

Blaschke e Strobl (2003) refletem que há uma constante procura pela redução da complexidade das paisagens pela delimitação de áreas homogêneas. Os autores citados também destacam o crescimento da demanda pela definição de unidades da paisagem para fins de planejamento. As unidades da paisagem são definidas como mosaicos da paisagem determinados pelos elementos que compõem este sistema. Estas se enquadram como um geocomplexo (antigo geossistema) na organização hierárquica de Bertrand (2004). O processo de definição das unidades da paisagem envolve muita complexidade para apreender as relações entre os componentes naturais e antrópicos e, assim, identificar as escalas, agentes e fatores que influenciam a dinâmica da paisagem (AMORIM; OLIVEIRA, 2008; SARETTA *et al.*, 2020). Medeiros (2019) indica que a cartografia é essencial neste processo, pois torna possível espacializar as unidades da paisagem.

Portanto, as unidades da paisagem compartimentam o espaço geográfico em áreas relativamente homogêneas, uma etapa essencial no estudo das paisagens. É uma ferramenta ímpar para a organização territorial e planejamento ambiental, pois permite a integração de variáveis ambientais. Além disto, o zoneamento ambiental também possui como base a divisão do território em regiões homogêneas - como as unidades da paisagem -, o que é de suma importância para a tomada de decisões e ao gerenciamento (DINIZ; OLIVEIRA, 2018; XAVIER; NERY; LISTO, 2019). Ademais,

com a expansão dos Sistemas de Informações Geográficas e do Sensoriamento Remoto, tornou-se mais prático obter e gerenciar dados espaciais de grandes áreas geográficas. Isto possibilita a integração de diferentes camadas de informação e relações no processo de definição das unidades da paisagem (BLASCHKE; STROBL, 2003; FREITAS, 2006; TURNER; GARDNER, 2015).

Beroutchachvili e Bertrand (1978) apontam que a teoria geossistêmica é amplamente utilizada em estudos voltados para o planejamento do espaço, aplicada na produção de regionalizações. Freitas (2006) fez uso de geotecnologias para identificar os geossistemas (geocomplexos) e geofácies no Sertão Pernambucano. Para isto, foram identificados os tipos de modelados com base em dados geomorfológicos, os quais foram utilizados na identificação dos geossistemas pela compartimentação de áreas homogêneas. A subdivisão dos geossistemas de acordo com sua dinâmica correspondeu às geofácies. Assim, as geofácies são unidades da paisagem presentes no geossistema, identificados a partir de informações sobre a dinâmica da cobertura vegetal e classificados tipologicamente em recuperação, degradação ou conservação, e pelas fácies antrópicas. Esta pesquisa utilizou a hierarquização taxo-corológica proposta por Bertrand (2004).

Saretta *et al.* (2020) aplicou a teoria geossistêmica no Morro São Pedro em Porto Alegre - RS para a produção de um estudo integrado da paisagem entre 1964 e 2019. Nesta pesquisa as fácies - naturais ou antrópicas - representam a evolução da paisagem a partir das mudanças do uso e cobertura da terra. A identificação dos processos de mudança permitiu dividir os geocomplexos em geofácies, de acordo com a dinâmica atuante e os estágios sucessionais da cobertura vegetal. As fácies foram definidas pela agregação dos processos de mudanças do uso e cobertura da terra com as teorias de bio-resistência de Erhart e da ecodinâmica de Tricart (SARETTA *et al.*, 2020; SARETTA, 2020).

No Seridó Potiguar, as geofácies (unidades da paisagem) foram mapeadas e tiveram suas dinâmicas socioambientais analisadas por Medeiros (2019). Para tal, fez-se o uso de imagens de satélite para a delimitação das geofácies por meio da fotointerpretação, complementada com saídas de campo. As unidades da paisagem no estado do Pernambuco foram compartimentadas por Xavier, Nery e Listo (2019) através da integração de informações vegetacionais, geomorfológicas e climáticas

com sua dinâmica. No Rio Grande do Norte, Diniz e Oliveira (2018) atualizaram o mapeamento das unidades da paisagem na escala de 1:250.000, aperfeiçoando tecnicamente e teoricamente. Os autores expõem que o principal critério para a delimitação do geocomplexo foi a vegetação. Por outro lado, Camargos, Rocha e Moura (2020) utilizaram métricas da paisagem e análise multicritério para delimitar as unidades da paisagem da vegetação no Quadrilátero Ferrífero - MG e identificar potencialidades e vulnerabilidades.

Aziz Ab'Sáber (2003) delimitou os domínios de natureza no Brasil e suas potencialidades paisagísticas. Desta forma, definiu seis grandes domínios paisagísticos e macroecológicos no território nacional, com suas áreas *core* e faixas de transição. Para tal formulação Ab'Sáber reuniu o conceito de ecossistema de Tansley, de paisagem de Bertrand e de Bioma de Walter (AB'SÁBER, 2003; CAVALCANTI, 2013). O autor expõe que entende o domínio morfoclimático e fitogeográfico como:

um conjunto espacial de certa ordem de grandeza territorial - de centenas de milhares a milhões de quilômetros quadrados de área - onde haja um esquema coerente de feições de relevo, tipos de solos, formas de vegetação e condições climático-hidrológicas. Tais domínios espaciais, de feições paisagísticas e ecológicas integradas, ocorrem em uma espécie de área principal, de certa dimensão e arranjo, em que as condições fisiográficas e biogeográficas formam um complexo relativamente homogêneo e extensivo. (AB'SÁBER, 2003, pg. 11-12).

A partir desta definição, destaca-se o caráter integrativo dos componentes da paisagem e a formação de um complexo com características homogêneas.

Blaschke e Strobl (2003) apresentaram uma proposta metodológica para identificar unidades da paisagem por meio do uso de parâmetros morfométricos extraídos de Modelo Digital de Elevação e da segmentação multi-resolução. Os resultados indicam que a análise orientada a objetos apresenta novos caminhos para o estudo de processos e fenômenos que dependem do relevo. E a segmentação multi-resolução relaciona níveis inferiores das unidades da paisagem, ou hólons na definição de Koestler (1969), com níveis superiores de hierarquia.

Uma abordagem para os estudos da paisagem é o zoneamento hierárquico com a aplicação do conceito de hólons. Freitas e Santos (2014) realizaram um



zoneamento hierárquico da paisagem na bacia do Rio Uruguai, no qual duas hierarquias foram mapeadas. No nível superior, foram identificados os Geons da Paisagem por intermédio da segmentação multi-resolução em ambiente GEOBIA e da análise de informações geomorfométricas e geoambientais. No nível inferior, foram delimitadas as Unidades de Planejamento da Paisagem por meio da compatibilização dos Geons da Paisagem com os dados dos setores censitários rurais, os quais após foram agrupadas em hólons.

Acima, evidenciaram-se distintas abordagens metodológicas e nomenclaturas adotadas nos estudos integrados da paisagem. A paisagem como um sistema complexo, com sua hierarquia e dinâmica, representa um desafio ao geógrafo por conta da extrema complexidade e dificuldade na integração das informações referente aos seus componentes. Até este momento, foi apresentado o caminho percorrido nos estudos da paisagem na Geografia, com destaque para o advento da teoria geossistêmica e da Ecologia da Paisagem. Não se pode esquecer da contribuição essencial da Teoria Geral dos Sistemas e da Teoria da Complexidade.

## 2.3 Mudanças do Uso e Cobertura da Terra

Segundo Verburg *et al.* (2002), as mudanças do uso e cobertura da terra (MUCT) são complexas e produzidas por diversos processos que interagem entre si e atuam em variadas escalas espaço-temporais. As MUCT são uma das principais fontes de transformação da superfície terrestre (HOUET; VERBURG; LOVELAND, 2010). Tais alterações geram impactos em nível local ao ambiente e à qualidade de vida humana, mas também contribuem para mudanças em escala global. A natureza oferece diversos serviços ecossistêmicos e recursos para a sociedade - alimento, combustível, água etc. -, entretanto, a utilização desses recursos desencadeia uma sequência de alterações que podem afetar a disponibilidade dos mesmos (VERBURG *et al.*, 2015).

De acordo com Briassoulis (2020), as MUCT repercutem em uma série de problemas ambientais como mudanças climáticas, acidificação, aquecimento global, desertificação, eutrofização etc. Além disto, as mudanças na paisagem impactam a biodiversidade pelas alterações nos habitats causadas pela fragmentação e modificação dos ecossistemas (VERBURG *et al.*, 2015). Lambin e Geist (2006) expõe que a escala das mudanças do uso e cobertura da terra alterou no século 20, no qual deixou de ser uma problemática local para ser global.

A sociedade possui um papel crucial nas mudanças da paisagem. Há complexos fatores sociais e biofísicos influenciadores das MUCT que precisam ser analisados. A Ciência da Complexidade oferta suporte para compreender essas mudanças, pois se dedica a analisar sistemas dinâmicos e não-lineares que possuem interações entre elementos naturais e sociais (RINDFUSS *et al.*, 2008).

Porém, antes de avançar com a temática, é necessário distinguir alguns conceitos. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013) apresenta a diferença conceitual entre os termos “uso da terra” e “cobertura da terra”. O uso da terra se refere às atividades desenvolvidas pelo homem que visam a utilização dos recursos em uma extensão de terra. A cobertura da terra é entendida como os elementos naturais que se distribuem na superfície terrestre.

Outro ponto importante nos estudos de MUCT se refere a diferença entre mudança e trajetória. Reis *et al.* (2020) indica que as trajetórias do uso e cobertura da

terra resultam da análise sobre séries temporais de imagens de sensoriamento remoto, em que cada imagem é classificada e há uma determinada classe associada a cada data. A concatenação das classificações de distintas datas compõe uma trajetória. Assim, esse termo representa uma sequência de usos e coberturas da terra em uma localização geográfica ordenada temporalmente. Por outro lado, a mudança é identificada por meio de análises bitemporais ou pela detecção de mudanças entre mapas de uso e cobertura da terra de cada unidade temporal (REIS *et al.*, 2020; ZIOTI *et al.*, 2022).

Além disso, o estudo das trajetórias do uso e cobertura da terra possibilitam entender os impactos e as tendências, informações essenciais para o planejamento ambiental e o desenvolvimento de políticas públicas (MACIEL *et al.*, 2020). Zioti *et al.* (2020) desenvolveram uma plataforma que integra diversos projetos de mapeamentos de uso e cobertura da terra no Brasil — MapBiomass, PRODES, TerraClass etc. — que permite extrair trajetórias de uso e cobertura da terra pela união de dados produzidos por projetos distintos. Portanto, produz informações importantes para compreender as trajetórias de uso e cobertura da terra a longo prazo que estão normalmente conectadas a diversos processos de uso da terra e a fatores socioeconômicos (BATISTELLA *et al.*, 2009).

Na identificação de mudanças e trajetórias do uso e cobertura da terra, é essencial compreender os processos que ocorrem e causam a alteração da paisagem. Freitas, Santos e Alves (2013), ao analisarem as MUCT na Bacia do Alto Uruguai, classificaram-nas em seis processos: degradação (mudanças de cobertura para uso), regeneração (mudança de uso para cobertura), intensificação (alteração tecnológica na produção agrícola), extensificação (o oposto de intensificação), expansão de silvicultura (conversão de áreas agrícolas em áreas de reflorestamento) e urbanização.

Ao pesquisarem as mudanças e dinâmicas do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2000 em uma área da Bahia Ocidental, Batistella e Valladares (2009), por meio de imagens Landsat, identificaram os processos e padrões de mudança da paisagem. Ao total, foram nove processos identificados: estável (sem alteração), expansão agropecuária, intensificação para áreas irrigadas (conversão de agropecuária tradicional ou moderna para irrigação), intensificação de agropecuária moderna,

extensificação de agropecuária moderna, extensificação de agropecuária tradicional, expansão de corpos hídricos, expansão de áreas urbanas e sucessão secundária (abandono de áreas agropecuárias com regeneração da vegetação). A partir desses exemplos, ressalta-se a importância da identificação dos processos atuantes na transformação da paisagem. Ademais, a categorização em processos permite compreender a dinâmica do uso e cobertura da terra de maneira mais clara e precisa.

Devido às rápidas e intensas MUCT, torna-se essencial o desenvolvimento de mapeamentos cartográficos constantes que representem essas transformações. Tais mapas auxiliam no desenvolvimento de planejamentos, na conservação da vegetação e na identificação de riscos etc. (MAS *et al.*, 2017). Santos (2004) expõe que, no processo de planejamento ambiental, é fundamental a integração de informações atuais e históricas referentes ao uso e cobertura da terra, devido ao fato desse dado permitir o entendimento dos impactos e das práticas humanas sobre a natureza.

Portanto, o mapeamento do uso e cobertura da terra é uma importante fonte de informação que auxilia no planejamento territorial/ambiental e no processo de tomada de decisão. O planejamento do uso da terra visa induzir a dinâmica das mudanças para alcançar um equilíbrio entre os objetivos ambientais e socioeconômicos. Desta maneira, busca alternativas que promovam o desenvolvimento sustentável, pois a compreensão sobre a distribuição espaço-temporal dos usos e coberturas da terra colabora para a utilização consciente do espaço e de seus recursos para atender as necessidades de curto e longo prazo da população (VERBURG *et al.*, 2002; IBGE, 2013; BRIASSOULIS, 2020).

Existe uma interdependência entre as mudanças do uso e cobertura da terra e as consequências ambientais (IBGE, 2013). Para compreender os impactos das MUCT sob o clima global, a biodiversidade, erosão etc., é necessário realizar uma avaliação da sua dinâmica espaço-temporal. Para isto, o Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informações Geográficas são opções potenciais, pois a dinâmica da paisagem pode ser analisada por meio de imagens do mesmo local obtidas por satélites. Com o crescimento no número de satélites, é possível realizar análises de grandes áreas em pequenos intervalos de tempo por meio de computação em nuvem (MAS; VASCONCELOS; FRANCA-ROCHA, 2019). A integração de técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto no processo de mapeamento do uso

e cobertura da terra é considerado um marco na área, pois a utilização de imagens de satélite facilita o mapeamento e permite o seu desenvolvimento em distintas escalas (IBGE, 2013).

Briassoulis (2020) expõe que as mudanças do uso da terra são motivadas por dois conjuntos de forças: necessidades humanas e processos ambientais. Assim, as MUCT refletem no espaço a dinâmica entre sociedade e natureza e suas interações intermediadas pela terra. Também, é preciso considerar que a alteração nas demandas e preferências da sociedade levam a mudanças na forma com que o homem se relaciona com a natureza, o que causa transformações na composição das paisagens, na cobertura da terra e na sua configuração espacial (VERBURG *et al.*, 2013).

As principais forças motrizes que motivam as MUCT são biofísicas e socioeconômicas, como mencionado acima, que atuam tanto em micro como em macroescala. As primeiras envolvem variações climáticas, processos geomorfológicos, erupções vulcânicas, padrões de drenagem etc. As segundas englobam fatores demográficos, políticos, industriais, tecnológicos etc. Estes diversos fatores que conduzem as MUCT se relacionam entre si em distintas configurações espaço-temporais. Para entender essas mudanças, é imprescindível que as ciências naturais e sociais se conectem e, assim, proporcionem metodologias e técnicas voltadas para a temática (BRIASSOULIS, 2020). De acordo com Verburg *et al.* (2010), os mesmos fatores motrizes da MUCT podem gerar distintos resultados em localizações e contextos diferentes.

Para avaliar os fatores relacionados as MUCT pode-se aplicar uma técnica estatística multivariada chamada de Análise de Correspondência Canônica (*Correspondence Canonical Analysis - CCA*). Tal abordagem já foi utilizada para investigar o relacionamento entre variáveis socioeconômicas e ambientais com as mudanças na paisagem. A CCA averigua a estrutura da relação entre variáveis dependentes e independentes e, assim, expressa a conexão entre tipos de MUCT e seus determinantes no período analisado (FREITAS; SANTOS; ALVES, 2013; BRIASSOULIS, 2020). Desta forma, nota-se a importância de descrever as MUCT por meio de mapeamentos e de explicá-las pelos fatores motrizes. Entretanto, outra análise importante é prever as futuras MUCT, recorrendo à descrição e à explicação

dessas. A dimensão temporal das paisagens é tão importante quanto a espacial, assim, é fundamental monitorar, modelar e entender as interações entre natureza e sociedade (HOUET; VERBURG; LOVELAND, 2010; BRIASSOULIS, 2020). Portanto, os estudos de MUCT abrangem o passado, o presente e projeta a dinâmica futura (VERBURG *et al.*, 2015).

Soares-Filho *et al.* (2007, p.75) apresentam que:

Em um processo de simulação, é modelada a dinâmica de um sistema, reproduzindo-se, em ambiente computacional, a complexidade de seu mecanismo de desenvolvimento, que opera através de processos de troca de materiais, energia, informação e espécies/estados entre os componentes ou elementos do sistema.

A modelagem das MUCT auxilia na análise de prováveis impactos por intermédio da construção de cenários colaborando, assim, para o processo de tomada de decisão por planejadores (AGUIAR, 2012). Existem diversas pesquisas, de distintos campos do conhecimento, voltadas para as MUCT que buscam descrever, explicar e projetar estas transformações. Aguiar (2012) utilizou modelos de MUCT na Amazônia brasileira para explorar cinco cenários que consideram acessibilidade, restrições de mercado e políticas alternativas e seus impactos nos padrões de desmatamento futuros. Para a simulação, foi usado o modelo CLUE (VERBURG *et al.*, 2002) e os resultados apontaram a importância das áreas protegidas para barrar o desmatamento em áreas do Arco do Desmatamento e que a Amazônia é heterogênea espacialmente, em relação aos fatores determinantes do uso da terra.

Uma análise de trajetórias do uso e cobertura da terra no estado do Mato Grosso, entre 2001 e 2017, foi realizada por Maciel *et al.* (2020) para quantificar os padrões de mudanças ligadas a prática agrícola. Os resultados alcançados indicam uma redução da vegetação natural em 3%, crescimento da pastagem em 11% e da agricultura em 140%. Ademais, verificou-se que a pastagem é a principal força motriz do desmatamento no Estado e que a agricultura é um fator indireto. Em outra pesquisa sobre trajetórias do uso e cobertura da terra, Mas, Vasconcelos e Franca-Rocha (2019) utilizaram técnicas de estatística aplicadas em análise de trajetórias de vida com dados de uso e cobertura da terra do MapBiomas. O estudo foi aplicado em uma parte do estado da Bahia e compreendeu a janela temporal entre 1985 e 2017. O uso

da técnica possibilitou definir categorias de trajetórias e a identificação de padrões nas sequências.

Batistella (2001) visou entender como diferentes formas de colonização afetaram a paisagem e a dinâmica das MUCT em uma área no estado de Rondônia. Para isso, imagens Landsat foram utilizadas para mapear a dinâmica das MUCT, a estrutura da vegetação foi analisada e métricas da paisagem foram produzidas. A utilização de métricas da paisagem oriundas da Ecologia da Paisagem auxiliaram na compreensão da fragmentação florestal pela análise dos padrões e processos espaciais. Soares-Filho (2001), similarmente, usou índices de estrutura da paisagem (dimensão fractal, índice de contágio e tamanho médio das manchas florestais) para analisar os padrões gerados pela dinâmica de uma área de fronteira de colonização na Amazônia. As métricas de paisagem aplicadas em imagens classificadas permitiram diferenciar padrões de evolução espacial, indicando como as paisagens se alteram e suas distintas maneiras de ocupação. A partir do exposto, destaca-se a importância dos estudos que explorem a dinâmica das MUCT, pois os mesmos são essenciais para entender os padrões e processos atuantes na transfiguração da paisagem.

### 3 REFERENCIAL TÉCNICO

Neste tópico são apresentadas informações técnicas sobre o produto do MapBiomass (5.1) e da técnica de Análise de Componentes Principais (5.2).

#### 3.1 MapBiomass

O projeto Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra no Brasil (MapBiomass) realiza anualmente o mapeamento do uso e cobertura da terra do território brasileiro. Para isso, utiliza imagens históricas de reflectância de superfície da série de satélites Landsat disponibilizadas no *Google Earth Engine*, classificadas via *Random Forest* e U-Net (*Convolutional Neural Network* - CNN). O MapBiomass é um projeto idealizado pelo Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (SEEC) e conta com parcerias com universidades, empresas e especialistas na área de Sensoriamento Remoto. O projeto visa produzir um banco de dados histórico de mapas anuais do uso e cobertura da terra a partir de um método de baixo custo, rápido, confiável e colaborativo que permita o processamento de grandes dados (SOUZA *et al.*, 2020; MAPBIOMASS, 2020, MAPBIOMASS, 2022a).

O MapBiomass é dividido pelos Biomas do Brasil e pelos temas transversais (Pastagem, Agricultura, Floresta Plantada, Zona Costeira, Mineração e Infraestrutura Urbana), sendo que cada um possui grupos responsáveis pela produção de seus respectivos mapas. A rede MapBiomass já lançou oito coleções de mapas de uso e cobertura da terra, em que a sexta abrange um período temporal entre 1985 e 2020. Os mapas possuem resolução espacial de 30 metros e temporal de um ano, os arquivos são disponibilizados no recorte dos Biomas brasileiros através do site do projeto (<https://mapbiomas.org/>), mas também podem ser acessados através da plataforma *Google Earth Engine* (GEE). Na coleção seis foram consideradas 26 classes de uso e cobertura da terra na classificação das imagens (incluindo a classe Não Observado) (MAPBIOMASS, 2022a).



A metodologia geral da coleção seis do MapBiomas iniciou com a produção de mosaicos anuais das imagens Landsat em períodos específicos conforme a classe de interesse. Após, foram extraídas métricas espectrais e temporais das bandas para serem utilizadas na classificação baseada no algoritmo *Random Forest*, a qual foi realizada para cada classe em cada ano. As amostras utilizadas na classificação foram adquiridas através de mapas de referência, classes estáveis de outras coleções do MapBiomas e por interpretação visual. As classes de Arroz, Mineração, Aquicultura, Citros e Irrigação foram identificadas pela classificação via CNN de arquitetura U-Net. Em seguida, um filtro espaço-temporal foi aplicado nas classificações individuais para remover ruídos e inconsistências. A próxima etapa foi a integração de todos os mapas gerados em cada Bioma e tema transversal para construir os mapas em escala nacional através de regras de prevalência que foram seguidas. Novamente, o filtro espaço-temporal foi aplicado na coleção integrada para remover possíveis erros. Por último, foi conduzida uma avaliação da acurácia por meio de pontos amostrais (MAPBIOMAS, 2022a). Informações completas referentes à metodologia de classificação podem ser encontradas em MapBiomas (2022a). A classificação no nível três de detalhamento da legenda apresentou 87,4% de acurácia global, sendo que 9,2% correspondem a desacordo na alocação e 3,4% a desacordos em termos de área (MAPBIOMAS, 2022a).

A classificação específica para o Bioma Pampa engloba sete classes de uso e cobertura da terra e, após a integração com os temas transversais, o Bioma passa a ter 15 classes (MAPBIOMAS, 2022b). No mapeamento específico do Bioma Pampa, foram produzidos mosaicos anuais de imagens Landsat através da estatística de mediana para certos períodos. Em seguida, foi organizado o espaço de atributos a ser utilizado com 93 variáveis geradas ao total, entre essas métricas e índices espectrais como: bandas originais, imagens-fração, índices espectrais, dados de declividade e textura espacial. As amostras de treinamento foram adquiridas por meio da identificação de *pixels* estáveis na coleção cinco do MapBiomas. Após, os mosaicos foram classificados utilizando a técnica *Random Forest* e o resultado passou pela pós-classificação que envolve a aplicação de filtros espaço-temporais para remover ruídos e transições improváveis (MAPBIOMAS, 2022b).

Deve-se destacar a importância das informações disponibilizadas pelo projeto MapBiomias. Tais dados preenchem uma janela histórica referente ao tema, além de oferecer gratuitamente um banco de dados espaço-temporal consistente. Assim, evidenciam-se as potencialidades de aplicações desse banco de dados para a compreensão da dinâmica das mudanças do uso e cobertura da terra em diversas escalas, informação crucial para o planejamento territorial e gestão ambiental.

Diversos estudos aplicaram os dados produzidos pelo MapBiomias, como em Manzonlli (2022) que realizou um diagnóstico da exploração do ouro no Brasil através da análise da conformidade legal das áreas de mineração de ouro por intermédio do cruzamento de dados do MapBiomias e do Sistema de Informações Geográficas de Mineração. Silva Junior *et al.* (2020) geraram informações espaciais sobre crescimento, extensão, idade e perda de floresta secundária no Brasil a partir dos mapas do MapBiomias. Além desses, os produtos MapBiomias também foram aplicados no estudo de Rosa *et al.* (2021) também analisaram a Mata Atlântica, observando a dinâmica da floresta em larga escala espaço-temporal. A partir do exposto, evidenciam-se as distintas aplicações das informações geradas pelo MapBiomias e sua importância para estudos de cunho ambiental.

### 3.2 *Análise de Componentes Principais*

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi desenvolvida para reduzir a dimensionalidade de um conjunto de dados com muitas informações correlacionadas, porém mantém significativa porcentagem da variância presente originalmente. A técnica foi apresentada por Pearson em 1901 e fundamentada na publicação de Hotelling de 1933 (JOLLIFFE, 2002; MINGOTI, 2005; DENG *et al.*, 2008). A ACP é considerada um método multivariado que utiliza um conjunto de variáveis iniciais para obter, por combinação linear e matemática ortogonal, as componentes principais (CP). Para tal, move os atributos originais para um novo espaço, no qual as propriedades com as maiores variações são utilizadas no processo de construção deste novo espaço. As CP produzidas não são correlacionadas entre si e preservam, ao máximo, a variância original. O fato de as componentes não estarem correlacionadas significa que cada uma explica distintas dimensões dos dados. As mesmas são ordenadas

decrementalmente conforme a quantidade de variância explicada por cada, onde as primeiras CP detêm a maior porcentagem de variância presente nos dados originais (JOLLIFFE, 2002; MINGOTI, 2005; MANLY, 2008; JOLLIFFE; CADIMA, 2016; ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019; DHARANI; SREENIVASULU, 2021).

Assim, dado um conjunto de  $p$  variáveis para  $n$  indivíduos, as CP,  $Z_1, Z_2, \dots, Z_p$ , resultam da combinação linear dos dados iniciais  $X_1, X_2, \dots, X_p$ . Seguem as regras de maximizar a variância dos dados e de serem descorrelacionadas (JOLLIFFE, 2002; MANLY, 2008; JOLLIFFE; CADIMA, 2016; MARTÍNEZ-IZQUIERDO; MOLINA-SÁNCHEZ; MORILLO-BALSERA, 2019). A equação 1 apresenta o exemplo da 1ª componente principal:

$$Z_1 = a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1p}X_p \quad (1)$$

Onde:

$Z_1$  é a 1ª componente principal

$a_{1p}$  é a constante do autovetor

$X_p$  é a variável original

A soma dos quadrados da constante  $a$  deve ser igual a 1 ( $a_{11}^2 + a_{12}^2 + \dots + a_{1p}^2 = 1$ ). No cálculo das próximas CP, adiciona-se a condição de que a correlação deve ser igual a zero com as outras componentes. A variância explicada por cada componente é ordenada de maneira decrescente, em que  $Var(Z_1) \geq Var(Z_2) \geq \dots \geq Var(Z_p)$  (JOLLIFFE, 2002; MANLY, 2008; JOLLIFFE; CADIMA, 2016).

Os passos para a aplicação da técnica ACP são: 1) cálculo da matriz de covariância dos dados ( $C_x$ ); 2) identificação dos autovalores e autovetores e produção das CP; e 3) seleção das componentes principais, e descarte das que explicam baixas porcentagens de variância dos dados (MANLY, 2008; GUPTA *et al.*, 2013; MARTÍNEZ-IZQUIERDO; MOLINA-SÁNCHEZ; MORILLO-BALSERA, 2019).

A covariância entre duas variáveis exprime a forma que elas variam conjuntamente (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019), mas a ACP pode ser gerada tanto a partir da matriz de correlação como da de covariância. Quando a ACP é gerada

a partir da matriz de covariância, é conhecida como ACP não-padronizada e chamada de padronizada quando usa a matriz de correlação (GUPTA *et al.*, 2013; JOLLIFFE; CADIMA, 2016).

Os autovalores e autovetores são extraídos da matriz de covariância ( $C_x$ ) dos dados originais e utilizados para a produção das CP, em que cada componente irá possuir um autovalor e um autovetor. O autovalor representa a porcentagem de variância explicada pela componente, auxilia no processo seleção das CP e define o comprimento do eixo da mesma. O autovetor possui um conjunto de coordenadas que indica a direção do eixo principal a ser assumida pela componente. Também define quais valores se devem aplicar na combinação linear sobre as variáveis originais para construir as CP (GUPTA *et al.*, 2013; ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). Portanto, de acordo com Jolliffe e Cadima (2016), para encontrar as novas componentes, basta resolver um problema de autovalores/autovetores sobre a matriz de covariância.

Assim, os autovetores correspondem a constante  $a$  e os autovalores são ordenados conforme a variância explicada, como em  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ , onde  $Var(Z_1) = \lambda_1$ . Desta forma, o somatório das variâncias das CP é igual à soma da variância dos dados originais, sem perda de informações na ACP (MANLY, 2008; JOLLIFFE; CADIMA, 2016).

Jolliffe e Cadime (2016) apresentam os elementos dos autovetores, também nomeados de fatores de carga (*loadings*), e os elementos da combinação linear, conhecidos como *scores* das CP. Gupta *et al.* (2013) define os fatores de carga como uma correlação simples entre os valores da componente e os dados originais, o que indica o grau de importância de cada variável para aquela componente principal. Em Maier (2014), os fatores de carga foram calculados pela correlação entre as CP e os dados de entrada para identificar a representatividade de cada componente.

Devido à existência de extensas bases de dados em diversas áreas do conhecimento, torna-se necessário a utilização de métodos que reduzam a dimensionalidade dos dados e facilitem a interpretação da variabilidade. A ACP é uma das técnicas mais utilizadas para esse propósito, com uso em distintos temas (JOLLIFFE; CADIMA, 2016). Groth *et al.* (2013) expõe que uma das maiores

vantagens da técnica é a capacidade de concentrar grandes porcentagens de variância nas primeiras componentes, mesmo que o conjunto de dados original seja composto por milhares de variáveis.

Além disso, a ACP também é aplicada em imagens obtidas por meio do sensoriamento remoto. As bandas espectrais das imagens normalmente apresentam alta correlação entre si, havendo informações redundantes. Assim, a ACP transforma as bandas originais (correlacionadas) em CP descorrelacionadas, através da remoção da redundância entre as bandas e da redução da dimensionalidade dos dados, sem a perda de informações cruciais. A técnica gera um número de CP equivalente à quantidade de bandas originais, mas concentra a variância dos dados originais nas primeiras CP. Isso permite selecionar as primeiras componentes e descartar as últimas, assim reduzindo o número de bandas pelo uso de poucas CP. Tal ação reduz o custo e tempo computacional necessário para processar os dados e extrair informações (ESTORNELL *et al.*, 2013; GUPTA *et al.*, 2013; MARTÍNEZ-IZQUIERDO; MOLINA-SÁNCHEZ; MORILLO-BALSERA, 2019; DUTRA; ELMIRO; GARCIA, 2022). No processo de construção das CP a partir de bandas espectrais, os valores do *pixel* de uma certa CP são gerados pela soma da multiplicação do valor original desse *pixel*, em cada banda, pelo autovetor (GUPTA *et al.*, 2013; MARTÍNEZ-IZQUIERDO; MOLINA-SÁNCHEZ; MORILLO-BALSERA, 2019).

A técnica também pode ser empregada para a detecção de mudanças a partir de imagens de sensoriamento remoto. Apresenta potencialidade por conta da sua capacidade de evidenciar padrões/mudanças e de ressaltar as diferenças e similaridades entre as imagens (DENG *et al.* 2008; GUPTA *et al.*, 2013; ANTUNES, 2012). Como as componentes principais são ordenadas segundo a variância explicada, a primeira componente possui a maior porcentagem e concentra as informações comuns em todas as bandas/imagens, por outro lado, a segunda componente principal apresenta as mudanças do uso e cobertura da terra (ANTUNES, 2012; ESTORNELL *et al.*, 2013). As demais componentes representam outras informações não explicadas. Por conta das vantagens expostas, vários pesquisadores aplicaram a técnica ACP em imagens de sensoriamento remoto.

Martinez-Izquierdo, Molina-Sánchez e Morillo-Balsera (2019) empregaram a ACP para detectar mudanças espaciais em imagens de satélite. Para isso, utilizaram

a segunda componente principal que detêm as mudanças entre as datas analisadas. A escolha desta componente decorreu do cálculo do coeficiente de correlação entre as CP e as bandas originais das duas datas e, a partir disso, verificou-se que a segunda componente principal apresenta a maior diferença entre o período temporal. A técnica gerou bons resultados na detecção de mudanças e sintetizou os dados.

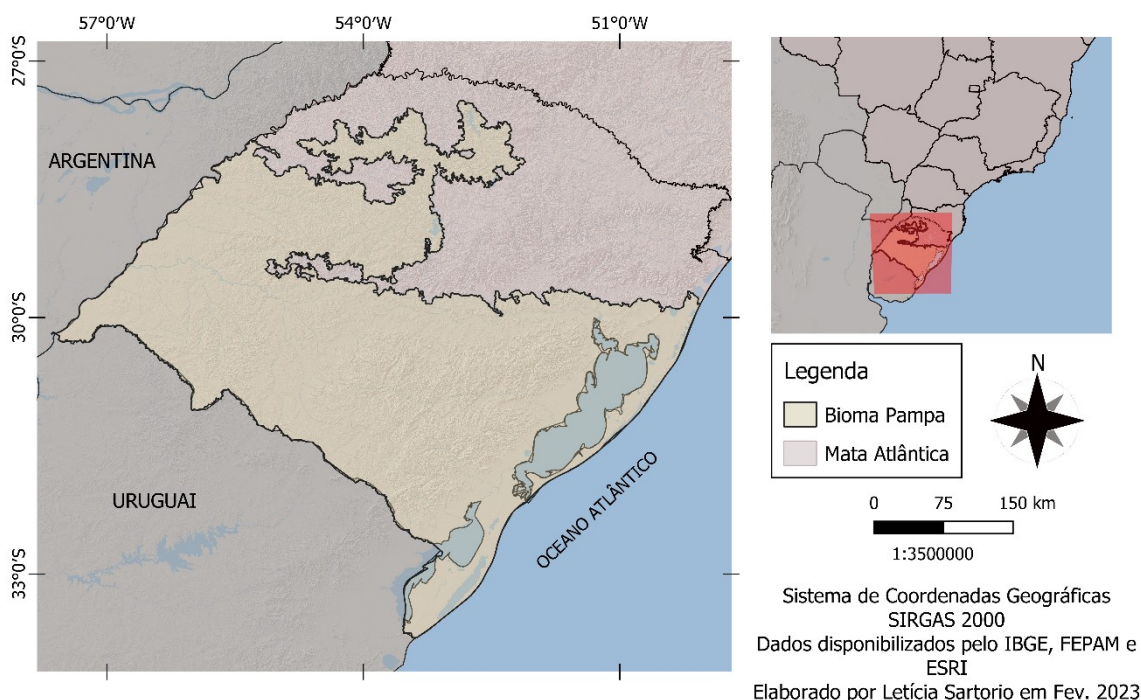
Importante ressaltar que a técnica ACP é proposta para dados quantitativos, não sendo possível aplicar diretamente para dados do tipo qualitativo (MORI; KURODA; MAKINO, 2016). Jolliffe (2002) aponta que existem alguns tipos de dados - ordinais, binários etc. - que necessitam de algumas modificações antes da ACP ser aplicada. Porém, o autor reforça que as variáveis analisadas não precisam ser de nenhum tipo específico quando a ACP é utilizada como uma técnica de descrição. E que o objetivo principal da ACP, sintetizar a maior parcela da variância dos dados originais em poucas componentes, consegue ser alcançado independentemente do tipo das variáveis originais. Para tal, é necessário que os dados do tipo qualitativo sejam quantificados (JOLLIFFE, 2002; MORI; KURODA; MAKINO, 2016). O processo de quantificação de dados categóricos atribui valores numéricos a estes, para que sejam posteriormente analisados com metodologias para dados quantitativos (FERNANDO, 2014).

Por fim, Sartorio e Maier (2022) utilizaram a ACP para sintetizar 34 mapas categóricos (valores numéricos associados a cada classe) anuais de uso e cobertura da terra do MapBiomas para todos os Biomas brasileiros. A partir de apenas duas componentes principais, foi possível identificar os padrões e mudanças do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2018, o que facilitou a extração da informação. A ACP, segundo Bro e Smilde (2014), é uma ferramenta poderosa com capacidade de simplificar dados multivariados complexos, pode ser aplicada para visualizar relações entre variáveis e detectar padrões nos dados. Por conta disso, a ACP possui potencial para a análise e interpretação de grandes quantidades de dados, pois facilita a assimilação da informação pela remoção de redundância.

## 4 ÁREA DE ESTUDO

O Bioma Pampa (IBGE, 2019a) ocupa 2,1% (176.496 km<sup>2</sup>) do território nacional, se estende somente no estado do Rio Grande do Sul e abrange 63% de sua área. Ocupando toda metade sul do estado, alcançando as áreas de Planalto ao norte. (SUERTEGARAY; SILVA, 2009; BENCKE; CHOMENKO; SANT'ANNA, 2016) delimita-se somente com o Bioma Mata Atlântica no Brasil (BOTELHO; CLEVELÁRIO JÚNIOR, 2016). Entretanto, o Pampa, ou Campos Sulinos, avança sobre o Uruguai e Argentina, gerando uma região dominada pela paisagem campestre na América do Sul, também chamado de *Pastizales del Rio de La Plata* (SUERTEGARAY; SILVA, 2009; PILLAR *et al.*, 2016). A Figura 2 apresenta o mapa de localização do Bioma Pampa.

Figura 2 - Mapa de Localização do Bioma Pampa.



Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE, FEPAM e ESRI.

O Bioma Pampa é constituído por uma variedade de formações geológicas, em um processo evolutivo de mais de 2,5 bilhões de anos. Distintas morfoestruturas e morfoesculturas constituem a área e foram geradas por ações erosivas. Ademais, há

a presença de diversos tipos de solos, estes carregam características da sua rocha matriz. Estes elementos associados aos fatores climáticos produziram uma diversidade de formações vegetais. O relevo varia do aplainado ao montanhoso com altitudes entre zero e 603 metros (BENCKE, 2016; KUPLICH; CAPOANE; COSTA, 2018). Portanto, o Bioma se apresenta como um mosaico, nada homogêneo, da combinação de distintas características físicas que o estruturaram, ao qual os humanos somaram-se como agente neste processo. Cordeiro e Hasenack (2009) apontam que a ocupação humana produziu paisagens nas quais imperam as fisionomias antrópicas, porém, tal transformação é heterogênea no espaço e no tempo. Portanto, este capítulo apresenta uma contextualização do Bioma Pampa.

#### 4.1 *Bioma Pampa em transformação*

O Bioma Pampa se caracteriza pelos vastos campos naturais, com florestas concentradas nos cursos de água ou nos relevos acidentados, além da presença de vastos banhados. Nestes campos habita o gaúcho, que está integrado ao meio e desenvolve a atividade econômica mais tradicional da região: a criação de gado. A alta biodiversidade reflete em uma série de serviços ecossistêmicos oferecidos pelo Bioma, além da presença de 279 espécies endêmicas. Entretanto, dados sobre a biodiversidade do Bioma ainda apresentam grandes lacunas (OVERBECK *et al.*, 2009; BENCKE; CHOMENKO; SANT'ANNA, 2016; BOTELHO; JÚNIOR, 2016; LIMA; CANO; NASCIMENTO, 2016).

Somente no ano de 2004, o Pampa foi reconhecido pelo Ministério do Meio Ambiente como um Bioma brasileiro, antes era chamado de Campos Sulinos e pertencia ao Bioma Mata Atlântica (SUERTEGARAY; SILVA, 2009; BENCKE; CHOMENKO; SANT'ANNA, 2016). Walter (1986) define bioma, ou eubioma, como uma área uniforme que compõe um zonobioma, orobioma ou pedobioma. Podendo ser entendido como uma área do espaço geográfico natural que apresenta homogeneidade de características climáticas, edáficas e de fitofisionomia, incluindo também a fauna. Este possui área variável entre dezenas de milhares a milhões de quilômetros quadrados (COUTINHO, 2016). Segundo a classificação de Walter (1986) o Bioma Pampa se enquadra no Zonobioma V, sendo considerado um zonobioma de



transição, com clima úmido temperado quente (oceânico), florestas sempre verdes temperadas e solos podzólicos amarelos ou vermelhos (WALTER, 1986). Entretanto, Buriol et al. (2007) apresentam que mais da metade da vegetação existente no Rio Grande do Sul é do tipo campestre, não correspondendo ao esperado pelas características climáticas.

Coutinho (2016) apresenta os Campos Sulinos, Pampa Sul Rio-Grandense, como um sistema complexo que pode representar um paleobioma. O autor explica que na área houve intercalação entre climas mais frios e secos e climas mais úmidos e amenos. Em que, a vegetação também acompanhou essas transições, um momento com expansão de áreas campestres e em outro com expansão de florestas sobre o campo. Atualmente, o Bioma Pampa apresenta condições edáficas e climáticas propícias para o desenvolvimento de formações florestais. Entretanto, isso não ocorre por conta da chegada do Homem que realiza práticas agropastoris — pastoreio e fogo — mantendo um Bioma do passado (COUTINHO, 2016).

Além disso, a região do Pampa brasileiro e uruguaio é reconhecida como a Ecorregião Savana Uruguaia, e o Pampa argentino como a Ecorregião do Pampa Úmido (OLSON et al., 2001; BORBA; SELL, 2020). Borba e Sell (2020) destacam as diferenças geológicas e geotectônicas que embasam essa separação, pois na extensa planície do Pampa argentino predominam depósitos finos de origem eólica. Porém, na porção uruguaia e brasileira há a presença de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas antigas do pré-Cambriano que passaram por diversos processos. Os autores também ressaltam que, apesar da importância do reconhecimento como uma ecorregião separada do Pampa argentino, é irreal pensar esta como homogênea internamente.

Mais da metade da cobertura original do Bioma Pampa já foi modificada e a taxa de conversão é considerada preocupante. Mesmo com a elevada degradação, o Bioma possui poucas unidades de conservação (CHOMENKO, 2016). Overbeck *et al.* (2009) expõe que apesar da elevada biodiversidade e ameaça causada pelas MUCT, o Bioma Pampa possui apenas 3,14% de sua superfície sob alguma categoria de proteção, sendo o Bioma brasileiro com a menor cobertura por unidades de conservação. Além disso, somente 0,6% do Bioma Pampa está sob regime de proteção integral e poucas dessas áreas de proteção abrangem áreas campestres

(CHOMENKO, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2021). Ademais, as áreas de formações campestres, mesmo protegidas por unidades de conservação, sofrem algum grau de pressão antrópica, como a Reserva Biológica do Ibirapuitã e o Parque Estadual do Espinilho (CORDEIRO; HASENACK, 2009).

As áreas campestres estão entrelaçadas na economia e na identidade sociocultural da população. A imensidão dos campos de vegetação baixa que possibilitam visualizar o horizonte amplifica o sentimento de pertencimento dos residentes (PILLAR *et al.*, 2016). Ao primeiro relance os campos aparentam certa homogeneidade, porém, detêm uma diversidade de plantas herbáceas e arbustivas. A paisagem se complexifica com o trabalho humano, que maneja e molda os campos para desenvolver a pecuária extensiva, base econômica que marca a paisagem do Bioma Pampa (VERDUM, 2016).

No Rio Grande do Sul os primeiros grupos de caçadores-coletores chegaram, provavelmente, a cerca de 10.400 A.P. (SUERTEGARAY; SILVA, 2009). Suertegaray e Silva (2009) também destacam a presença de humanos da Tradição Umbu, que se fixaram nas proximidades das áreas lagunares, e da Tradição Humaitá, que ocupava as áreas com cobertura florestal, mas com migrações sazonais para a porção costeira. Ademais, apontam a presença de três grandes grupos étnicos pré-guaranis no território do Rio Grande do Sul. Sendo eles os Jês, que ocupavam o Planalto e praticavam a agricultura, a etnia Tape, que exercia uma agricultura diversificada e ocupava a faixa entre a região missioneira e a margem da Laguna dos Patos, e pôr fim a etnia Chaná que ocupava a região sul-sudoeste e que influenciou na formação da tipologia do gaúcho (SUERTEGARAY; SILVA, 2009).

Em relação aos grupos indígenas mais recentes, temos os charrua, os minuano e os guarani, que habitavam o Bioma Pampa no período da invasão europeia. Os autores apontam que com a chegada dos portugueses e espanhóis houve uma mudança na cultura dos indígenas do Bioma Pampa, que passaram a utilizar o cavalo e o gado bovino no seu modo de vida (ZARTH; GERHARDT, 2009). Dessa forma, um processo de antropização da paisagem do Bioma Pampa era realizado pelos povos originários, anteriormente a chegada dos europeus.

A partir do século XVII, com o estabelecimento da colonização europeia, a vegetação campestre do Bioma começa a ser utilizada como área de pastagem (PILLAR *et al.*, 2016; HASENACK *et al.*, 2019), tornando-se uma das atividades econômicas mais antigas e tradicionais da colonização europeia no Rio Grande do Sul que explora as vantagens naturais para a produção pecuária. A incorporação da produção de charque no final do século XVIII gerou muita riqueza para a região ao longo do período Imperial (FEIX; LEUSIN JÚNIOR, 2019). Sant'anna (2016) manifesta que o Bioma Pampa possui vocação para o desenvolvimento de muitas atividades econômicas, especialmente para a pecuária extensiva. Isso ocorre, pois o Bioma possui um clima ameno para os animais, vegetação campestre e um relevo suave. Por isso, a pecuária é desenvolvida há mais de 400 anos no Bioma Pampa e está conectada ao modo de vida e cultura do gaúcho (SANT'ANNA, 2016; MENGUE *et al.*, 2018).

A pecuária extensiva permite conciliar no Bioma as atividades produtivas com a conservação ambiental, devido à vocação natural dos campos. Preservando, assim, a flora e fauna local. Entretanto, o sobrepastoreio, excesso de carga animal em relação à capacidade, vem degradando os campos do Bioma Pampa. Conjuntamente com o avanço da agricultura de grãos e pela troca das pastagens naturais pela inserção de espécies exóticas, pelo não conhecimento da potencialidade dos campos (SANT'ANNA, 2016, MENGUE *et al.*, 2018) e pelas condições do mercado de *commodities* agrícolas em nível mundial, muitas vezes. Importante considerar que toda atividade antrópica em uma área natural produz alguma forma de impacto e isso não difere no Bioma Pampa, o manejo necessário para a pecuária perturba as formações campestres pelo pisoteio e pastejo dos animais, e pelo uso do fogo. Estas intervenções humanas também contribuem para manutenção do ambiente campestre, impedindo a sucessão da vegetação arbustiva e florestal (HASENACK *et al.*, 2019).

A paisagem pampeana dominada pela pecuária tem sua primeira alteração com as migrações alemã (1842) e italiana (1875) que alteraram a configuração espacial com a instalação de pequenas propriedades que desenvolveram uma agricultura de subsistência com a policultura (VERDUM, 2016). Com a amplificação do mercado urbano, os produtores de subsistência aumentaram suas atividades e tiveram benefícios pelo aumento da demanda do fim do século XIX ao início do XX

(FEIX; LEUSIN JÚNIOR, 2019). Hasenack (2017) expõe que o arroz irrigado foi a primeira cultura comercial no Rio Grande do Sul, instalando-se no início do século XX nas várzeas fluviais e áreas úmidas da planície costeira. Os campos úmidos e banhados passaram pelo processo de drenagem para possibilitar o cultivo de arroz. Atualmente, as plantações de arroz predominam em áreas campestres baixas com disponibilidade hídrica e os cultivos de sequeiro predominam em solos bem drenados.

A produção de grãos no Rio Grande do Sul aumentou a partir da segunda metade do século XX. O crescimento da economia e do agronegócio, impulsionado pela exportação de *commodities*, gerou uma nova fase de avanço da fronteira agrícola, que agora se direciona sobre os campos do Bioma Pampa. Normalmente, os campos nativos são transformados em lavouras de grãos, pastagens cultivadas ou em silvicultura de espécies exóticas. Portanto, a partir de 1970 há um segundo rompimento com a paisagem pecuária, devido à expansão da agricultura mecanizada para a produção de cultivos temporários na Campanha gaúcha, como o arroz nas áreas de várzea, a soja, o milho e o trigo. O trigo cresceu entre as décadas de 1950 e 1970, enquanto a soja se expandiu a partir da década de 1970 (NARDIN; ROBAINA, 2010; CHOMENKO, 2016; VERDUM, 2016). Esse movimento levou à redução das áreas de pastagem pela implantação da lavoura de grãos, que apresenta um retorno financeiro maior. Tal troca afeta diretamente a biodiversidade do Bioma Pampa pela remoção da vegetação campestre para a produção de grãos. Assim, a implementação da atividade agrícola no Bioma gera conflitos em relação à conservação do Bioma Pampa e seu uso sustentável (SANT'ANNA, 2016; HASENACK *et al.*, 2019).

O próximo ciclo econômico a alterar a paisagem do Bioma Pampa foi a chegada da silvicultura, majoritariamente de eucaliptos, no final do século XIX em pequenas áreas do Bioma Pampa. A partir da década de 1970, a atividade econômica ganha força com a instalação da primeira indústria de celulose que estimulou a expansão da silvicultura, principalmente, na Serra do Sudeste. O crescimento do ramo contou com o plantio de eucalipto em propriedades privadas e em áreas adquiridas pela empresa, o que resultou no avanço da atividade em outras áreas do Bioma (CHOMENKO, 2016; HASENACK *et al.*, 2019). As empresas da área do papel e celulose adquiriram significativas extensões de terra no sul do Estado para a instalação da monocultura de árvores exóticas, que crescem anualmente. Os principais atrativos da região são o

clima, o solo, a disponibilidade (e valor) de terras e a proximidade ao Porto do Rio Grande que facilita a exportação do produto (BOTELHO; JÚNIOR, 2016). A silvicultura também contou com o apoio de programas do governo no início dos anos 2000, que incentivaram a atividade, visando o desenvolvimento da Metade Sul do Rio Grande do Sul (HASENACK et al., 2019).

Chomenko (2016) destaca que a economia do Rio Grande do Sul se desenvolveu pelas contribuições da agropecuária e do setor florestal. Dentre as culturas agrícolas produzidas, destacam-se o arroz, a soja, o fumo, o milho, o trigo e a fruticultura. O agronegócio é responsável por parte expressiva da exportação gaúcha, com destaque para os setores da soja, fumo, carnes e produtos florestais. A soja cresceu no Bioma Pampa nas últimas décadas e o cultivo de arroz, voltado para abastecimento nacional, manteve-se estável (FEIX; LEUSIN JÚNIOR, 2019). A produção de energia é outro setor econômico que está em crescimento no Bioma Pampa, como, por exemplo, a energia termelétrica em Candiota que usa o carvão da própria região e a energia eólica na faixa litorânea, Zona Sul e Fronteira Oeste (SANT'ANNA, 2016; HASENACK et al., 2019).

Kuplich, Capoane e Costa (2018) colocam que a soja é o cultivo com os maiores impactos ambientais, por conta da quantidade abundante de agrotóxico aplicado. Ademais, para o desenvolvimento da produção de soja, não há a necessidade da realização da Licença Ambiental, como no caso da silvicultura, permitindo o avanço da produção em áreas de preservação permanente. De acordo com Verdum (2016), a implementação da silvicultura em larga escala no Bioma Pampa altera a paisagem e a configuração socioeconômica característica da região. Isso produz diversos debates sobre seus impactos e pela sua marca na paisagem tradicional do Bioma. Além de, a redução das formações campestres por estas atividades econômicas no Bioma Pampa, amplificarem a pressão nas áreas remanescentes voltadas para a pecuária (KUPLICH, CAPOANE; COSTA, 2018).

O sobrepastoreio degrada os campos restantes do Bioma Pampa e a agricultura, gera impactos nos solos, nas águas e na saúde da população, pela utilização em excesso de herbicidas (KUPLICH, CAPOANE; COSTA, 2018). A existência de espécies invasoras como o campim-annoni, o Pinus e o javali geram ameaças à flora e à fauna dos ecossistemas locais, tornando-se necessário realizar

sua prevenção e controle (HASENACK *et al.*, 2019). Além disso, o processo de arenização ocorre no Bioma e está relacionado a uma dinâmica natural conectada ao passado geológico recente. Entretanto, a formação de alguns areais está associada à atividade agrícola de forte intensidade em solos arenosos (VERDUM, 2016). Portanto, evidencia-se que o avanço da silvicultura e da agricultura mecanizada sobre as formações campestres do Bioma Pampa estão relacionadas a uma série de impactos socioambientais e à redução da tradicional pecuária extensiva.

Por outro lado, há atividades econômicas que se desenvolvem de forma harmônica com os campos do Bioma Pampa, trazendo baixos impactos ao Bioma. Isso decorre pela pequena área necessária para a produção e pela alteração mínima da paisagem. Dentre essas, há a vitivinicultura, a produção de oliveiras, a fruticultura com produção de citros e pêssegos, etc. (SANT'ANNA, 2016; HASENACK *et al.*, 2019).

Os diferentes ciclos econômicos e processos atuantes no Bioma Pampa resultam em MUCT que refletem em transformações espaço-temporais na paisagem que podem ser mapeadas e quantificadas. Oliveira, T. *et al.* (2017) observou uma redução de 26% na área de pastagem natural entre 1975 e 2005, motivada pela implementação de práticas agrícolas rentáveis e pelo aumento da pastagem cultivada. Silveira, González e Fonseca (2017) identificaram que a expansão de área cultivada no Bioma Pampa foi causada pela conversão de formações campestres entre 1990 e 2015. As atividades em expansão — silvicultura e plantio de soja — estão se desenvolvendo em áreas de fragilidade ambiental, o que pressiona os recursos naturais e a identidade sociocultural dos habitantes. O cultivo de arroz e soja ameaçam a flora e fauna do Bioma pelo uso intenso de agrotóxicos, além da contaminação dos recursos hídricos. As florestas plantadas (silvicultura) estão transformando a paisagem tradicional do Bioma. Assim, a preservação do Bioma Pampa torna-se importante, tanto do ponto de vista ambiental como do cultural, pois diversos símbolos culturais como o cavalo, o gado, o campo e o folclore estão se perdendo (BOTELHO; JÚNIOR, 2016; CHOMENKO, 2016).

## 5 METODOLOGIA

Nas seções abaixo são apresentados os materiais e procedimentos metodológicos que foram aplicados para atingir cada objetivo específico.

### 5.1 Materiais

Esta seção apresenta os materiais que foram utilizados para o desenvolvimento da pesquisa. A seguir são listados os *softwares* e plataformas de processamento em nuvem que foram empregados para processar e analisar os dados:

- QGIS 3.10.4;
- ArcMap 10.6;
- *E-Cognition*;
- *Google Earth Engine*;
- *Planetary Computer*;
- RStudio.

Os dados que foram utilizados estão listados abaixo com suas respectivas fontes.

- Mapas do Uso e Cobertura da Terra da coleção 6 do MapBiomias (1985-2020), 30 metros (Projeto MapBiomias, 2022);
- Base Vetorial dos Biomas, 1:250.000 (IBGE, 2019a);
- Base Vetorial Geologia do Brasil, 1:250.000 (IBGE, 2018);
- Base Vetorial Pedologia do Brasil, 1:250.000 (IBGE, 2018);
- Base Vetorial Geomorfologia do Brasil, 1:250.000 (IBGE, 2018);

- Modelo Digital de Elevação (MDE) do Copernicus — GLO, 30 metros (ESA, 2021);
- Base Vetorial dos Sistemas Ecológicos das Savanas Uruguaias, 1:500:000 (HASENACK et al., 2010);
- Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, 1:750:000 (CPRM, 2013).

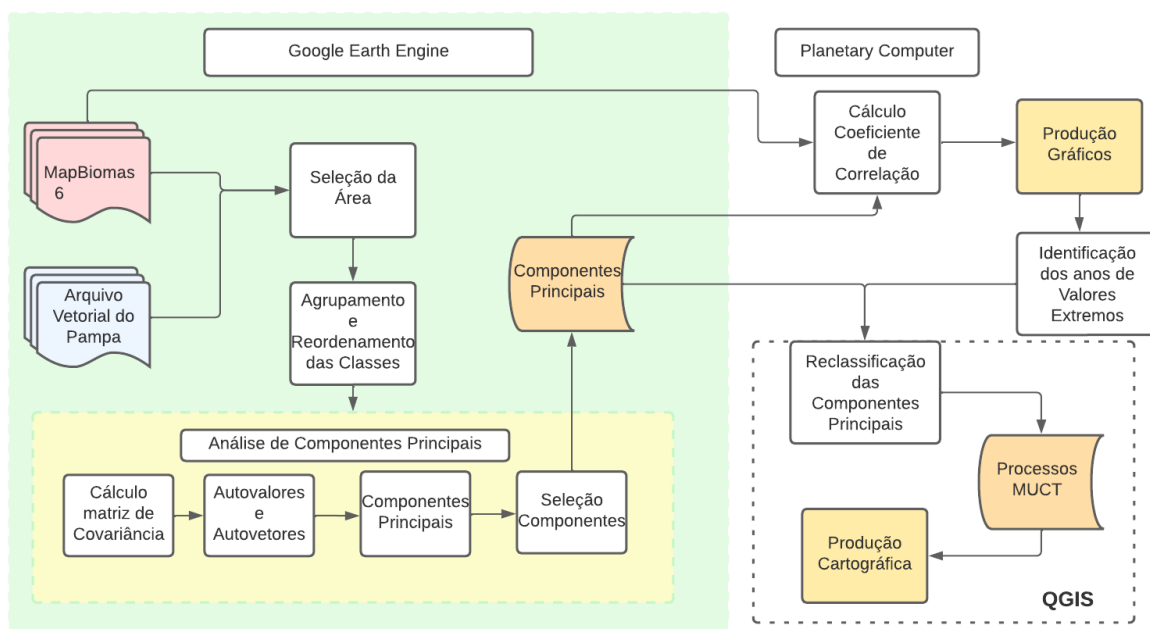
Os mapas do MapBiomass e o MDE do Copernicus possuem 30 metros de resolução espacial. Já, os dados físico-ecológicos vetoriais obtidos do IBGE (biomas, geologia, pedologia e geomorfologia) estão em uma escala cartográfica de 1:250.000. A base vetorial dos sistemas ecológicos das savanas uruguaias está na escala de 1:500.000 e o mapa geológico da CPRM na escala de 1:750.000. Assim, nota-se a existência de dados em escalas distintas, isto foi considerado ao longo da pesquisa para sua necessária compatibilização.



## 5.2 Identificação das Trajetórias do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa entre 1985 e 2020

Para identificar os principais padrões e trajetórias espaço-temporais do uso e cobertura da terra no Bioma Pampa, utilizaram-se dados do projeto MapBiomias, arquivos vetoriais do IBGE, a plataforma *Google Earth Engine*, a plataforma *Planetary Computer* e os softwares RStudio e QGIS 3.10.4. A Figura 3 apresenta um fluxograma com as etapas executadas.

Figura 3 - Fluxograma das etapas para identificar as trajetórias de uso e cobertura da terra.



Fonte: A autora (2022).

A coleção 6 do MapBiomias abrange o período temporal entre 1985 e 2020, com um mapa de uso e cobertura da terra por ano. Os valores numéricos desse produto variam entre 3 e 41, sendo dados categóricos, pois os valores estão associados às classes de uso e cobertura da terra mapeadas. Os mapas possuem resolução espacial de 30 metros e temporal de 1 ano e podem ser acessados por meio do GEE. Para o Bioma Pampa, há 15 classes de uso e cobertura da terra que estão

apresentadas no Quadro 2. Verificou-se que, para o Bioma Pampa, não há *pixels* para a classe Não Observado.

No GEE utilizou-se a linguagem *JavaScript* e a técnica de Análise de Componentes Principais para sintetizar os dados do MapBiomias e identificar as mudanças espaço-temporais de uso e cobertura da terra. O código com todo processamento está no APÊNDICE A. A primeira etapa realizada foi o recorte dos mapas da coleção 6 pelo arquivo vetorial do Bioma Pampa disponibilizado pelo IBGE. Após, as classes de uso e cobertura da terra dos mapas foram agrupadas em 10 classes e seus valores foram reordenados, para facilitar a análise e interpretação dos resultados, através da função *ee.remap* do GEE. Para o agrupamento das classes, considerou-se a hierarquia do mapeamento produzido pelo MapBiomias (2022a). O ordenamento dos valores foi necessário, pois a ordem original (3-41) não segue uma lógica de classes naturais para antrópicas, o que pode dificultar a interpretação do resultado da ACP.

Por conta disso, as novas classes seguiram uma lógica do mais natural ao mais antrópico, como apresentado pelo Quadro 2. No qual, a Formação Florestal recebeu o menor valor e a Infraestrutura Urbana e Mineração o maior, tal ordenamento considerou o grau de transformação da paisagem na sua elaboração. Nota-se que o novo ordenamento separou as classes de cobertura das classes de uso da terra. Assim, os dados adquiriram um caráter ordinal, por meio da quantificação e ordenamento das classes. Segundo Lu (2021), os métodos de quantificação de variáveis qualitativas permitem associar valores quantitativos (numéricos) às categorias. Isso torna possível a aplicação de técnicas elaboradas para dados quantitativos, como a ACP, porém deve-se considerar essas características na interpretação dos resultados.

Agresti (2010) expressa, em sua interpretação, que uma variável ordinal é quantitativa, no sentido de que cada nível na escala está associado a uma magnitude maior ou menor de uma certa característica em relação a outro nível. Assim, a maioria das medidas descritivas de variáveis ordinais se assemelham mais com as medidas voltadas para dados contínuos do que nominais. Para analisar dados ordinais com métodos de natureza quantitativa, pode-se designar arbitrariamente números/escores inteiros ordenados para as categorias. Neste processo de quantificação, o aspecto

principal é a escolha das distâncias relativas entre pares de categorias adjacentes (AGRESTI, 2010). Além disso, Agresti (2018) também expõe que a escolha de escores ordenados ('scores') possui pouco efeito nos resultados. Os resultados se mantêm quando o espaçamento relativo entre os escores são os mesmos (Exemplo: [1, 2, 3, 4, 5] ou [10, 20, 30, 40, 50]). Dessa forma, o processo de quantificação, ordenamento e definição das distâncias entre classes possibilita aplicar a ACP a esses dados.

A Figura 4 apresenta uma demonstração visual do processo de ordenamento e das escolhas de distâncias entre as classes, os valores são os mesmos apresentados no Quadro 2. Nota-se que o espaçamento é igual entre as classes de cobertura e que há um maior espaçamento entre as classes mais naturais das mais antrópicas. Isso foi realizado com o objetivo de maximizar a variância, quando houver uma conversão entre estes dois grupos e, assim, facilitar a interpretação dessas mudanças nas componentes principais. Também há um grande espaçamento entre valores associados às classes de uso da terra, tal medida foi tomada com o objetivo de produzir grandes valores na transição entre classes de cobertura e uso para facilitar a distinção entre os processos de MUCT.

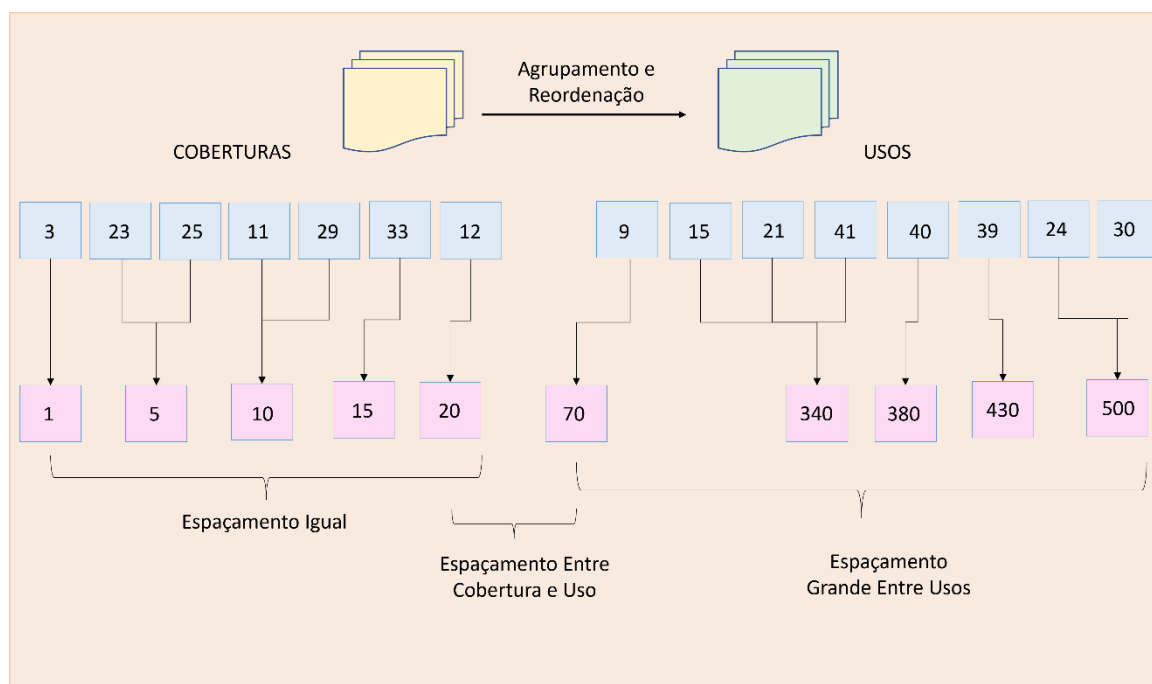
Quadro 2 - Classes agrupadas da coleção 6 do MapBiomas.

<b>Classes Agrupadas</b>	<b>Classes Originais</b>	<b>Valor</b>
Não Observado (27)		0
Formação Florestal (3)	Formação Florestal (3)	1
Área Não Vegetada	Praia e Duna, e Areal (23); Outras Áreas não Vegetadas (25)	5
Formação natural não florestal	Afloramento Rochoso (29); Campo Alagado e Área Pantanosa (11);	10
Corpos D'Água	Rio, Lago e Oceano (33)	15
Formação Campestre (12)	Formação Campestre (12)	20
Silvicultura (9)	Silvicultura (9)	70
Agropecuária	Pastagem (15); Outras Lavouras Temporárias (41); Mosaico de Agricultura e Pastagem (21)	340

Arroz (40)	Arroz (40)	380
Soja (39)	Soja (39)	430
Infraestrutura Urbana e Mineração	Infraestrutura Urbana (24); Mineração (30)	500

Fonte: A autora (2022).

Figura 4 - Agrupamento e Reordenamento das Classes.



Fonte: A autora (2023).

A próxima etapa foi a aplicação da técnica de Análise de Componentes Principais no GEE sobre os mapas de uso e cobertura da terra pré-processados, pela adaptação do algoritmo disponibilizado por *Google Earth Engine* (2022). Para a geração das componentes principais, utilizou-se o cálculo da matriz de covariância e, a partir dela, extraiu-se os autovalores e autovetores usando a função *ee.eigen*. Com os autovalores, mensurou-se a porcentagem de variância explicada por cada componente e, a partir da análise desses valores, selecionou-se às cinco primeiras componentes principais que, ao total, explicaram 83,03% da porcentagem de variância total dos dados originais.

Em seguida, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson entre as cinco CP selecionadas e os dados do MapBiomas utilizados como entrada na ACP. O coeficiente de correlação de Pearson mensura o grau de dependência, positiva ou

negativa, entre duas variáveis. O coeficiente apresenta valores entre -1 e +1, em que valores próximos a zero indicam uma dependência fraca. Os valores próximos a +1 ou -1 indicam uma correlação forte, no qual os valores negativos apontam para um relacionamento inverso entre as variáveis (se uma variável aumenta a outra diminui) e os positivos indicam o contrário (se uma variável aumenta a outra também aumenta) (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). Tal processo produziu os fatores de carga que exprimem a representatividade temporal das CP (MAIER, 2014) e possibilitam identificar a ocorrência temporal dos elementos apresentados por cada componente principal, pois a ocorrência de valores altos (positivos ou negativos) identificam uma similaridade ou divergência entre as CP e os dados de entrada. Tal informação é essencial na identificação de alterações, pois permite visualizar o antes e o depois da mudança que uma determinada componente representa, através da seleção dos mapas de uso e cobertura da terra dos anos que apresentam valores extremos.

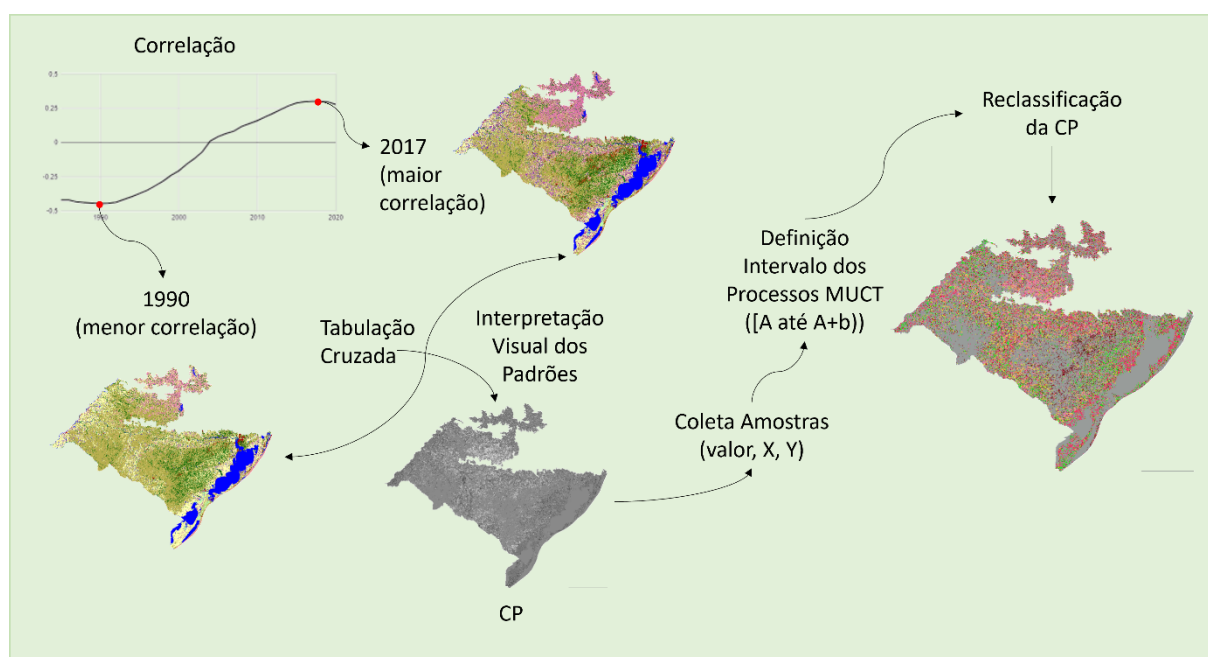
Essa etapa foi realizada no *Planetary Computer* utilizando o ambiente na linguagem R que disponibiliza 64 GB de memória RAM para processamento. As cinco CP selecionadas e os dados de entrada para ACP foram adicionados no ambiente. O resultado foi salvo em formato de tabela e, ao total, foram gerados 35 coeficientes para cada componente principal. Por fim, foram produzidos gráficos para cada uma das CP que apresentam a evolução do coeficiente de Pearson entre os anos de 1985 e 2020. Com a análise dos gráficos, identificaram-se os anos com valores extremos (positivos e negativos) para as CP e os mesmos auxiliaram na sua interpretação.

A próxima fase foi a interpretação das componentes principais no *software* QGIS 3.10.4, visando a sua reclassificação para facilitar a análise. Assim, as CP foram reclassificadas por interpretação visual e coleta de amostras (valores e coordenadas), o que permitiu gerar intervalos de valores para cada processo de MUCT identificado. Os mapas de entrada do MapBiomas que apresentavam os valores extremos no fator de carga foram utilizados como informação auxiliar, o que suporta a correta interpretação das CP. A Figura 5 apresenta um exemplo do processo de interpretação da CP, com base na 2<sup>o</sup> CP.

A primeira componente principal normalmente representa o que é comum no banco de dados entre todos os mapas e, por conta disso, foi interpretada com objetivo de identificar os padrões de uso e cobertura da terra estáveis entre 1985 e 2020. A

partir do conhecimento que as demais componentes principais representam as variações no banco de dados, visou-se identificar, na reclassificação, as mudanças no uso e cobertura da terra no período temporal observado. Para isso, a informação referente ao fator de carga foi muito importante, pois indicou os mapas de uso e cobertura da terra que mais se aproximam e se distanciam da informação representada por certa componente. Isso permitiu auxiliar e confirmar a identificação da mudança de uso e cobertura da terra e avaliar a ocorrência temporal da mesma. Ademais, foi realizada a tabulação cruzada (*pixel*) entre as datas de interesse para a 2º, 3º, 4º e 5º CP, com objetivo de facilitar e validar os principais processo espaço-temporais identificados (APÊNDICE B). Além disso, buscou-se nesta etapa identificar as mudanças no uso e cobertura de terra como processos, conforme a proposta de Batistella e Valladares (2009) e Freitas, Santos e Alves (2013).

Figura 5 – Processo de Interpretação das Componentes Principais.



Fonte: A autora (2023).

Após a conclusão da interpretação e reclassificação das CP, foi aplicado nas cinco CP um filtro de moda, com janela 3x3, no *software* ArcMap 10.6. Esta etapa teve como objetivo remover *pixels* isolados. Em seguida, as três primeiras CP foram agrupadas com a intenção de produzir uma síntese dos principais processos espaço-temporais, permitindo combinar as informações representadas por estas 3 primeiras

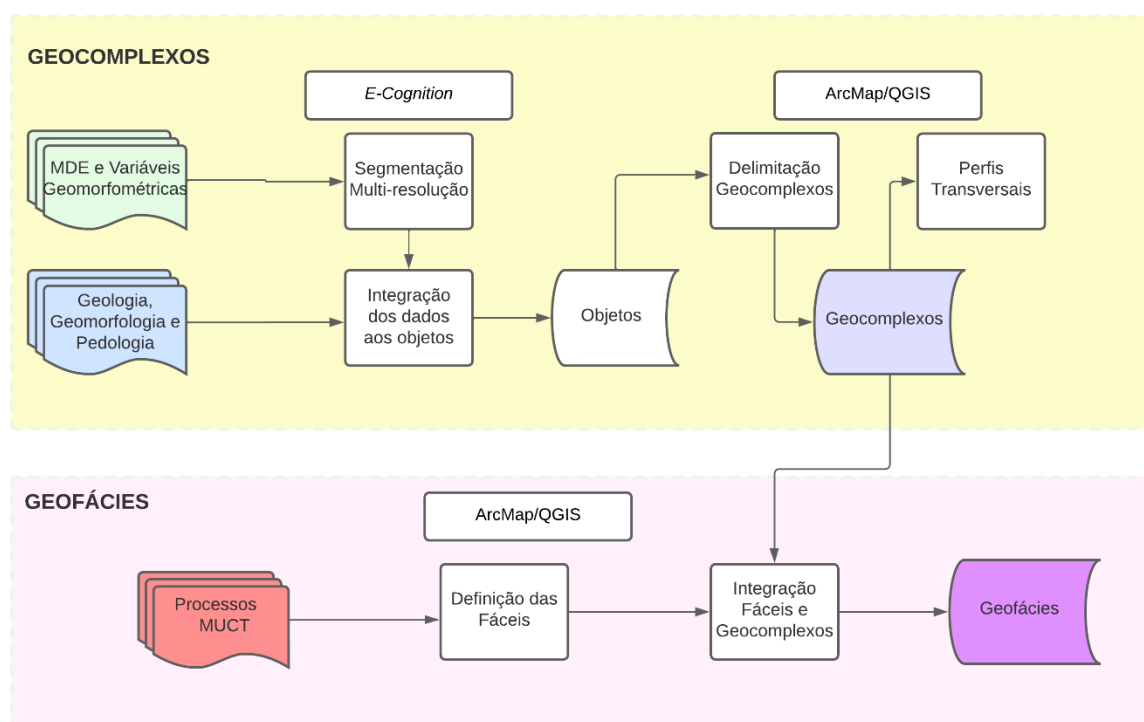
componentes. A partir dessa combinação foram extraídos os processos com maior representatividade espacial e que indicavam uma concordância entre estas CP. E estes foram posteriormente agrupados novamente em processos mais simples, gerando uma hierarquia em dois níveis dos principais processos de mudança no Bioma Pampa.

Por fim, todas as cinco CP e o resultado do agrupamento foram vetorizados no ambiente RStudio utilizando a linguagem de programação R e o pacote sf (PEBESMA, 2018). Neste mesmo ambiente foram calculadas as áreas em hectares (ha) para todos os processos, utilizando a Projeção Cônica de Áreas Iguais de Albers para a América do Sul. Todos os produtos cartográficos foram elaborados no software QGIS 3.10.4.

### 5.3 Mapeamento dos Geocomplexos e Geofácies do Bioma Pampa

Para mapear os geocomplexos e as geofácies, utilizaram-se dados de geologia, geomorfologia e pedologia disponibilizados pelos IBGE, o Modelo Digital de Elevação do Corpenicus — GLO-30 —, o mapa geológico sobre o Rio Grande do Sul disponibilizado pela CPRM e o arquivo vetorial dos sistemas ecológicos das savanas uruguaias disponibilizados por Hasenack et al. (2010). Os *softwares* utilizados foram o *E-Cognition*, o ArcMap 10.6 e o QGIS 3.10.4. Os arquivos vetoriais e o MDE foram recortadas pelo limite do Bioma Pampa. Ademais, utilizaram-se os processos de mudança no uso e cobertura da terra agrupados (em dois níveis) identificados por meio da ACP. A Figura 6 apresenta um fluxograma com as etapas executadas.

Figura 6 – Fluxograma com as etapas para o mapeamento dos Geocomplexos e das Geofácies.



Fonte: A autora (2022).

Inicialmente, foi elaborada uma hierarquização da paisagem do Bioma Pampa seguindo a proposta taxo-corológica de Bertrand e Bertrand (2002). Assim, definiu-se a zona, os domínios, as regiões e as unidades (localizada entre o nível de região e de geocomplexo) e, posteriormente, delimitaram-se os geocomplexos (modelado) e as



geofácies. O geótopo não foi abordado nesta pesquisa, por conta da escala do estudo. Nesta proposição inicial, utilizou-se principalmente o dado de geomorfologia que exprime a estrutura da paisagem do Bioma. A partir da delimitação dos geocomplexos, identificou-se a sua tipologia em relação às características paisagísticas, e sua dinâmica de evolução da paisagem por meio das geofácies.

### 5.3.1 Geocomplexos

A delimitação dos Geocomplexos do Bioma Pampa foi realizada em duas etapas. A primeira foi no *software E-Cognition* e a segunda nos *softwares* ArcMap 10.6 e QGIS 3.10.4. O *software E-Cognition* foi utilizado para segmentar os objetos que foram agrupados para gerar os geocomplexos do Bioma Pampa, a partir do processo de segmentação multi-resolução, baseados na abordagem de GEOBIA (FREITAS; SANTOS, 2014). Para mapear as unidades da paisagem, partiu-se de dados geomorfométricos e topográficos que representam a estrutura da paisagem. Tais dados foram derivados do MDE Copernicus com resolução espacial de 30 metros. A partir deste dado, foram derivadas variáveis geomorfométricas como o relevo local, os *geomorphons* (algoritmo do SIG Grass disponível no QGIS), a declividade, a rugosidade superficial, a orientação das vertentes e o relevo sombreado, todos em formato *raster*.

Na primeira etapa, os dados de entrada foram segmentados por uma abordagem multi-resolução por crescimento de regiões ao nível de *pixel*. Como parâmetros de entrada, definiu-se a escala (*scale*) em 10, que indica o tamanho mínimo de *pixels* de cada objeto, a compactidade (*compactness*) em 0,5 e a forma (*shape*) em 0,8, que determina que a segmentação irá se basear em 80% no contexto espacial de forma e 20% nas informações numéricas dos *rasters*. Em seguida, os objetos gerados na primeira etapa foram segmentados em nível de objeto, alterando o valor da escala para 30 e mantendo os outros parâmetros. Os objetos produzidos nesta segunda fase foram exportados no formato vetorial e foram adicionadas, na tabela de atributos, as informações de média, moda, máximo, mínimo de cada variável geomorfométrica de entrada, bem como de localização.

Com a segmentação dos dados estruturais concluída, partiu-se para a integração dos dados geológicos (unidade geológica), geomorfológicos (modelado) e pedológicos (ordens) aos objetos produzidos, para auxiliar a delimitação das unidades da paisagem. A informação referente à vegetação não foi agregada neste processo, pois a mesma será posteriormente incluída no *software* QGIS 3.10.4 por meio do arquivo vetorial dos sistemas ecológicos. Por fim, um novo arquivo vetorial foi gerado, em que os atributos de interesse das variáveis geológicas, geomorfológicas e pedológicas foram adicionados na tabela de atributos, por meio da função *Create Thematic Object*.

No *software* ArcMap 10.6, foram adicionados os objetos com as informações geológicas, geomorfológicas e pedológicas na tabela de atributos para identificar as unidades da paisagem. Visando à automatização do processo, adicionou-se uma coluna na tabela de atributos unindo as informações pedológicas e as informações geomorfológicas, referentes ao modelado, para a identificação de mosaicos homogêneos da paisagem. Após, aplicou-se a função *Dissolve* para agrupar os objetos que apresentavam a mesma combinação de aspectos pedológicos e geomorfológicos. Esta etapa facilitou a delimitação dos geocomplexos, pois uniu áreas homogêneas em relação à pedologia e ao modelado do relevo. Dessa forma a delimitação dos geocomplexos (modelado) priorizou as informações geomorfológicas, seguindo a vertente francesa dos estudos da paisagem (BERTRAND; BERTRAND, 2002) em associação à pedologia. Após, buscou-se identificar áreas homogêneas desses elementos conectados a uma mesma unidade geológica, e foram adicionadas a cada unidade as informações referentes a fisionomia vegetal (sistema ecológico) e à litologia. Esta operação visou compatibilizar as informações físico-ecológicas e formar unidades de paisagem o mais homogêneas possíveis entre si, e também distintas das unidades de paisagem no seu entorno.

De maneira geral, as áreas de bordas e indefinidas neste procedimento inicial de compatibilização, foram analisadas manualmente no *software* QGIS 3.10.4 e a identificação da sua unidade foi auxiliada pelo MDE e pelos dados de geomorfologia, pedologia, geologia, litologia e sistemas ecológicos. Entretanto, devido à vasta diversidade paisagística do Bioma Pampa em termos geológicos, pedológicos e geomorfológicos, foi necessário agrupar elementos similares entre si. Tal ação foi

tomada visando reduzir o número de unidades da paisagem e facilitar a sua aplicação futura. Dessa forma, a associação entre unidades geológicas teve como suporte o dado geológico da CPRM, que permitiu identificar as principais litologias da unidade da paisagem e agrupar similares. Ademais, também houve associação entre pedologias e modelados similares, para agregar unidades pequenas.

Assim, a identificação dos geocomplexos considerou principalmente os aspectos estruturais da paisagem, como informações geomorfológicas (modelado), tipologia do solo, geologia, litologia e fisionomias vegetais (sistema ecológico). Estes critérios físicos e ecológicos resultaram em unidades da paisagem homogêneas em relação ao seu modelado e às demais variáveis utilizadas.

Por fim, a nomenclatura dos geocomplexos foi estabelecida considerando a unidade geomorfológica em que o geocomplexo pertence. A tipologia foi definida pelos fatores paisagísticos que caracterizam a unidade da paisagem, como modelado, informações de drenagem, pedologia, unidade geológica, litologia e fisionomia vegetal (sistema ecológico). Em seguida, a área de cada geocomplexo foi calculada e perfis transversais baseados no MDE foram produzidos no ArcMap 10.6. Ao total, foram construídos cinco perfis, abrangendo geocomplexos de cada domínio geomorfológico presente no Bioma Pampa.

### *5.3.2 Geofácies*

A delimitação das geofácies foi realizada pela integração dos geocomplexos delimitados na etapa anterior com a informação referente a dinâmica do uso e cobertura da terra proveniente da ACP, em dois níveis de agrupamento. Para tal foram integradas as classes identificadas na 1º CP e os processos MUCT resultante da 2º CP, pois esta representa as principais mudanças. As geofácies correspondem à evolução da paisagem com base nos processos de MUCT. Assim, os geocomplexos são subdivididos em unidades da paisagem que representam a evolução da paisagem no tempo e sua dinâmica, considerando também a ação antrópica (FREITAS, 2006; SARETTA, 2020).

Os processos de mudanças do uso e cobertura da terra do Bioma Pampa foram agrupados em fâcies que representam o sentido da evolução da unidade. As mesmas foram particionadas em fâcies mais antropizadas e fâcies mais naturais. A produção das geofâcies ocorreu pela sobreposição das fâcies identificadas sobre os geocomplexos, no *software* ArcMap 10.6 com a ferramenta de intersecção. Como em Saretta (2020) e Freitas (2006), os processos de MUCT foram agrupados de acordo com a teoria de bio-resistasia de Erhart (1966) e da Ecodinâmica de Tricart (1977), tendo no nível superior as fâcies de Estabilização, Degradação e Regeneração. Por último, as áreas em hectares e porcentagem de cada geofâcies em cada geocomplexos foi mensurada e os produtos cartográficos foram elaborados no QGIS 3.10.4.

## 6 RESULTADOS

Os resultados alcançados estão apresentados em dois capítulos para facilitar a compreensão. O primeiro corresponde às trajetórias de uso e cobertura da terra no Bioma Pampa entre 1985 e 2020 identificadas por meio da Análise de Componentes Principais. Enquanto o segundo apresenta as unidades paisagens, em nível de geocomplexo e geofácies, do Bioma Pampa, de acordo com a abordagem geossistêmica.

### 6.1 Trajetórias do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa entre 1985 e 2020

A aplicação da Análise de Componentes Principais sobre os 35 mapas de uso e cobertura da terra agrupados e reordenados resultou na seleção das cinco primeiras Componentes Principais produzidas. A escolha dessas componentes foi realizada a partir da análise dos autovalores gerados. A Tabela 1 apresenta a porcentagem de variância explicada pelas componentes principais e seu somatório.

Tabela 1 - Porcentagem de variância explicada pelas componentes principais selecionadas.

<b>CP</b>	<b>Porcentagem explicada (%)</b>	<b>Porcentagem acumulada (%)</b>
CP 1	58,25	58,25
CP 2	11,64	69,89
CP 3	6,13	76,02
CP 4	4,13	80,15
CP 5	2,88	83,03
<b>Total</b>	<b>83,03 %</b>	<b>83,03 %</b>

Fonte: A autora (2023).

A técnica ACP possibilitou condensar grande parcela da variância dos dados originais em poucas componentes principais descorrelacionadas. As cinco primeiras, das 35 CP produzidas, contêm 83,03% da variância total dos dados, reduzindo a

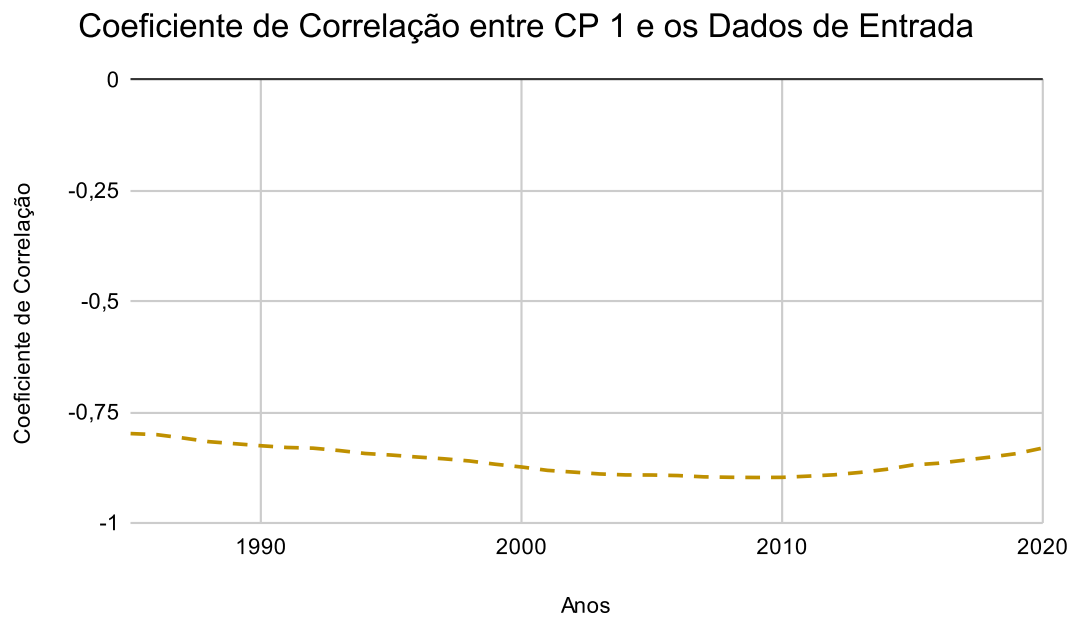
análise dos mapas do MapBiomas de 35 imagens para cinco componentes principais que descrevem uma porcentagem significativa dos dados originais e representam informações distintas. Isso torna a interpretação e identificação dos padrões e das trajetórias de uso e cobertura da terra do Bioma Pampa um processo mais simples. Ademais, a determinação dos fatores de carga, por meio do cálculo do coeficiente de correlação, também auxiliou na etapa de interpretação das CP selecionadas pela indicação da ocorrência temporal delas. Para fins de simplificação da interpretação, optou-se por utilizar as regiões geomorfológicas (Figura 27) para indicar a localização dos processos.

### 6.1.1 Primeira Componente Principal

A 1º componente principal explica 58,25% da variância original de dados e está associada ao padrão do uso e cobertura da terra no Bioma (ANTUNES, 2012; ESTORNELL et al., 2013). Normalmente, a primeira CP se caracteriza por apresentar os elementos mais comuns dentro do conjunto original de dados, estando associada aqui aos usos e coberturas mais estáveis ao longo da série temporal (1985 – 2020). A determinação dos fatores de carga, representados pelo coeficiente de correlação auxiliou na interpretação da 1º CP. A Figura 7 apresenta o gráfico com o coeficiente de correlação entre a 1º CP e os mapas utilizados de entrada para a ACP.

Todos os valores do coeficiente de correlação foram negativos formando praticamente uma linha reta, variando entre -0,798 e -0,897. O valor mais baixo (-0,897) corresponde ao ano de 2009, e o valor mais alto (-0,798) ao ano de 1985. Tais anos foram utilizados como dado auxiliar na interpretação da 1º CP. Os valores alcançados para os fatores de carga indicam um *continuum* ao decorrer da série temporal, associando esta componente com um padrão de classes estáveis ou permanentes por grande parte do período observado.

Figura 7 - Coeficiente de Correlação entre a 1º Componente Principal e os Dados de Entrada.



Fonte: A autora (2023).

Assim, a 1º componente principal foi reclassificada, por intermédio de interpretação visual e coleta de amostras, com o objetivo de identificar os padrões de uso e cobertura da terra. As amostras coletadas permitiram estabelecer intervalos de valores de forma empírica para cada padrão identificado. No total, foram identificados 7 padrões de uso e cobertura da terra no Bioma Pampa: Áreas Urbanas Consolidadas; Agropecuária Consolidada; Silvicultura Consolidada; Formação Campestre, Formação Florestal; Corpos Hídricos; Formação Natural Não Florestal e Área Não Vegetada; e Áreas com MUCT. A Tabela 2 apresenta os padrões, o intervalo de valores e a sua área em hectares (ha).

Tabela 2 - Padrões do uso e cobertura da terra e sua Área em Hectares.

<b>Padrões</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Área (ha)</b>
Áreas Urbanas Consolidadas	[-3000, -2800)	90.867
Agropecuária Consolidada	[-2800,-1800)	4.198.500
Silvicultura Consolidada	[-430, -400)	122.607
Formação Campestre	[-130, -100)	4.016.250
Corpos Hídricos	[-100, -80)	1.819.810
Formação Natural Não Florestal e Área Não Vegetada	[-70, -20)	638.099
Áreas com MUCT	[-1800, -430) U [-400, -130) U [-80,-70)	6.693.300
Formação Florestal	[-20, -5]	1.557.110

Fonte: A autora (2023).

A Figura 8 apresenta a distribuição espacial dos padrões de uso e cobertura da terra identificados. O mapa dos padrões do uso e cobertura da terra do Bioma Pampa (Figura 8) apresenta as classes de uso e cobertura que se mantiveram por um longo período da série temporal, não necessariamente na sua totalidade. O Padrão Áreas com MUCT, indica áreas em que não foi possível identificar um padrão, mas uma mudança no uso e cobertura da terra, apontando para uma instabilidade das classes. O padrão de Área Urbanas Consolidadas, representado pelo tom de vermelho, destaca áreas urbanas já estabelecidas desde 1985, como no município de Porto Alegre/RS, Pelotas/RS, Rio Grande/RS e Bagé/RS. Ademais, também há infraestruturas urbanas consideráveis na faixa litorânea.

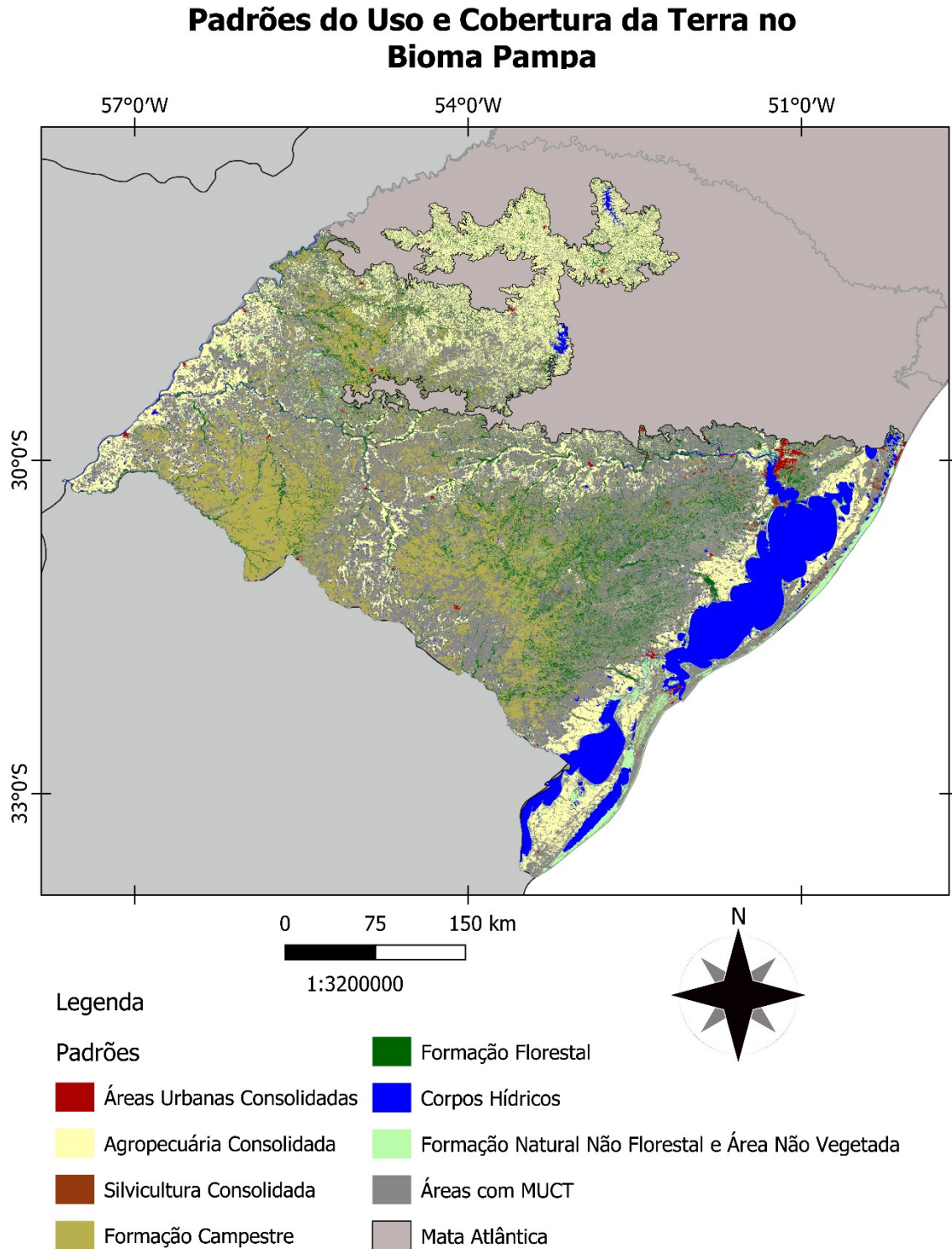
O padrão de Agropecuária Consolidada representa áreas antigas e de longa implementação da prática agropecuária e dos cultivos de soja e arroz, na Figura 8 este padrão é representado pelo tom de amarelo. A maior concentração desse padrão está localizada na região norte do Bioma (predomínio do cultivo de soja), na fronteira oeste, na Planície Costeira e na Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praiais, e nos entornos de cursos hídricos, sendo que nestes três últimos há predomínio das classes de Agropecuária e Arroz. São áreas propícias para o desenvolvimento de cultivos, ao norte, por conta dos solos gerados a partir de rochas basálticas (BOTELHO;



CLEVELÁRIO JÚNIOR, 2016), e nas proximidades de corpos hídricos e açudes que facilitam o processo de irrigação. Este é um processo histórico, pois a cultura de arroz teve início nas áreas de várzeas e áreas úmidas da Planície Costeira, que proporcionavam o alagamento da plantação (HASENACK, 2017). As áreas indicadas como o padrão de Agropecuária Consolidada correspondem as primeiras localizações de implementação e expansão dessas práticas a partir da década de 1950 (CHOMENKO, 2016; VERDUM, 2016).

Em tons de marrom, temos o padrão de Silvicultura Consolidada que se distribui espacialmente sobre a porção leste do Bioma, em áreas da Planície Costeira, da Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praiais e do Planalto Sul-Riograndense, apontando as primeiras áreas de ocupação da silvicultura no Rio Grande do Sul, que se expandiu a partir da década de 1970 (CHOMENKO, 2016; HASENACK et al., 2019). O padrão de Formação Campestre, em tom de verde-musgo, e o padrão de Formação Florestal, em verde escuro, representam as áreas de vegetação natural que se mantiveram estáveis por um longo período da série temporal, podendo ser consideradas como áreas preservadas. Cabe lembrar, entretanto, que os campos naturais do Bioma Pampa também são utilizados para a pecuária extensiva (PILLAR et al., 2016; HASENACK et al., 2019). As Formações Florestais se concentram nos entornos dos rios, matas ciliares e em áreas com maior declividade, como no Planalto Sul-Riograndense. Já as Formações Campestres ocupam as áreas centrais do Bioma, separadas pelo Rio Ibicuí, e cercadas pelo padrão de Agropecuária Consolidada, como se visualiza na Figura 8.

Figura 8 - Padrões do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa.



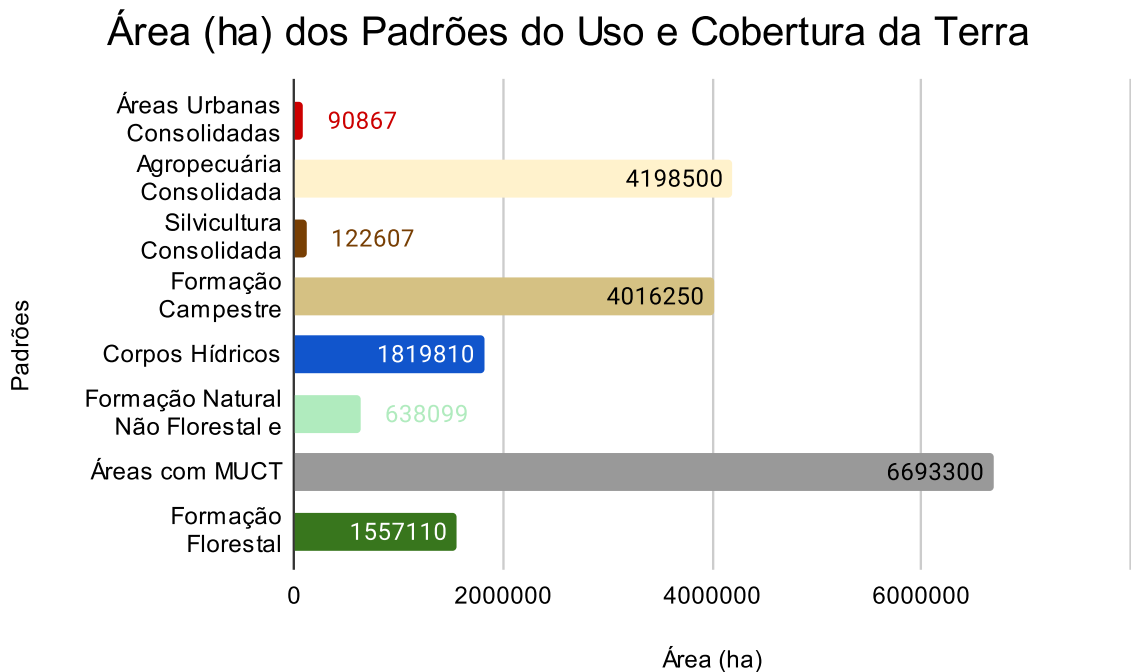
Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
Dados disponibilizados pelo IBGE.  
Elaborado por Letícia Sartorio em Jun. 2023

No padrão de Corpos Hídricos, em azul, há o destaque para a Laguna dos Patos, que ocupa 5% da área do Bioma Pampa. Esse padrão abrange os corpos hídricos naturais e artificiais. Na Planície Costeira e na Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praiais também há a presença de uma série de lagoas costeiras e ao sul a Lagoa Mirim e a Lagoa Mangueira. Nos rios salienta-se o Rio Jacuí que cruza o Bioma no sentido oeste-leste, e o Ibicuí que atravessa no sentido norte-sul (BASSO, 2012; ROBAINA; TRENTIN; SCCOTI, 2021). Há também diversas áreas de pequenos açudes utilizados para o armazenamento de água para a irrigação. Dentre as barragens e represas, visualiza-se no mapa, na parte norte do Bioma, a Barragem de Ronda Alta e a Represa Passo Real.

Por último, o padrão de Formação Natural Não Florestal e Área Não Vegetada está apresentado em tons de verde claro na Figura 8. Este padrão se concentra na Planície Costeira e na Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praiais, no qual representa os campos de dunas que se estendem na faixa litorânea e as áreas úmidas, com destaque para o Banhado do Taim que detêm a Reserva Ecológica do Taim (LIMA; CANO; NASCIMENTO, 2016). Ademais, esse padrão também é encontrado a noroeste do Bioma representando áreas de areais.

A Figura 9 apresenta um gráfico que compara as áreas em hectares dos padrões MUCT, destaca-se o padrão de Áreas com MUCT, seguido pela Agropecuária Consolidada e Formação Campestre. Por fim, a 1ª componente principal descreve os principais usos e coberturas da terra presentes no Bioma Pampa ao longo dos anos de 1985 e 2020, evidenciando as classes com grau elevado de estabilidade espaço-temporal, mas também apontando as áreas de prováveis MUCT.

Figura 9 - Gráfico das Áreas (ha) dos Padrões MUCT.



Fonte: A autora (2023).

### 6.1.2 Segunda Componente Principal

As componentes principais selecionadas após a 1º CP estão relacionadas as variações dentro do conjunto de dados originais. Neste caso, entendidas como mudanças no uso e cobertura da terra (ANTUNES, 2012; ESTORNELL *et al.*, 2013). Como este estudo utiliza 35 datas para a análise, pode-se entender os padrões espaço-temporais representado por estas componentes (2-5) como trajetórias de uso e cobertura da terra. A Tabela 3 apresenta uma síntese da interpretação dos processos MUCT, que embasaram e suportaram a interpretação das CP. De maneira geral, o processo de Regeneração indica a transição entre classes de uso para classes de cobertura. Já os processos de expansão apontam para a transição entre classes de cobertura para classes de uso, se enquadrando como uma degradação. A Estabilização pode ser tanto de cobertura como de uso. E a Intensificação

Agropecuária a transição entre a classe Agropecuária para Arroz ou Soja, ou intercalação entre Agropecuária e Arroz.

Tabela 3 - Transições MUCT na interpretação das CP.

Classes	FF	FC	FNF	CA	ANV	SV	AG	A	S	IFM
FF	Estabilização					Expansão Silvicultura	Expansão Agropecuária		Expansão Soja	
FC		Estabilização				Expansão Silvicultura	Expansão Agropecuária		Expansão Soja	
FNF			Estabilização			Expansão Silvicultura	Expansão Agropecuária		Expansão Soja	
CA				Estabilização		Expansão Silvicultura	Expansão Agropecuária		Expansão Soja	
ANV					Estabilização	Expansão Silvicultura	Expansão Agropecuária		Expansão Soja	
SV	Regeneração	Regeneração	Regeneração		Regeneração	Estabilização				
AG	Regeneração	Regeneração	Regeneração		Regeneração		Intensificação Agropecuária	Intensificação Agropecuária	Intensificação Agropecuária	
A	Regeneração	Regeneração	Regeneração		Regeneração		Intensificação Agropecuária	Estabilização	Intensificação Agropecuária	
S	Regeneração	Regeneração	Regeneração		Regeneração				Estabilização	
IFM										Estabilização

Siglas: FF – Formação Florestal; FC – Formação Campestre; FNF - Formação natural não florestal; CA - Corpos D'Água; ANV - Área Não Vegetada; SV - Silvicultura; AG – Agropecuária; A – Arroz; S – Soja; e IFM - Infraestrutura Urbana e Mineração.

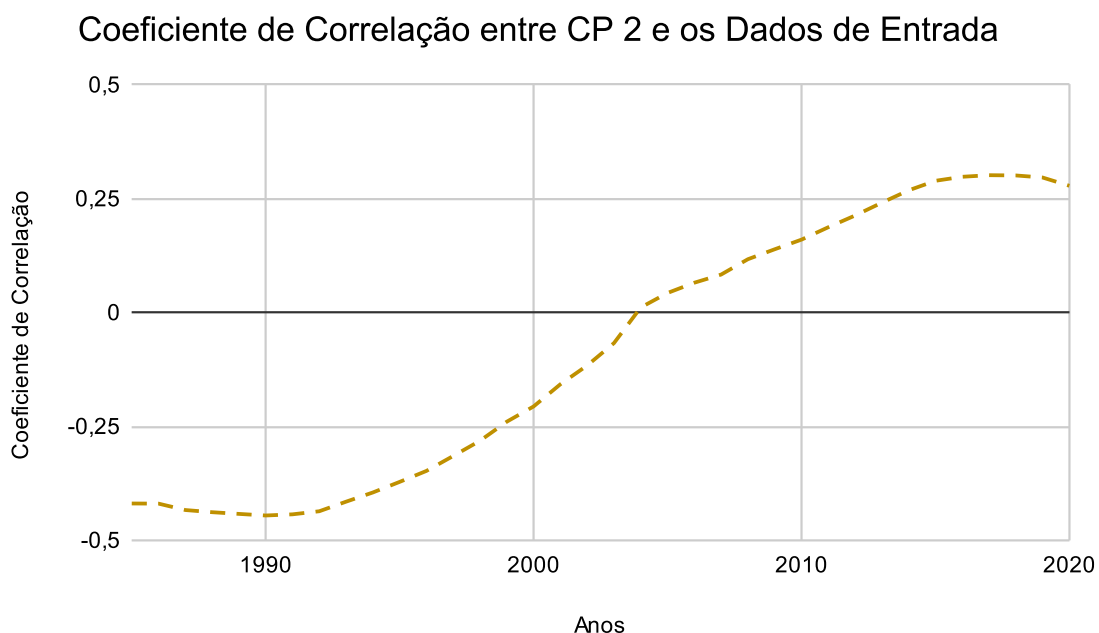
Fonte: A autora (2023).

A 2º Componente Principal é responsável por explicar 11,64% da variância dos dados de entrada. A mensuração dos fatores de carga, representados pelo coeficiente de correlação auxiliou na interpretação das trajetórias da 2º CP, indicando a ocorrência temporal dela. A Figura 10 apresenta o gráfico com o coeficiente de correlação entre a 2º CP e os mapas utilizados de entrada para a ACP.

Ao observar o gráfico da Figura 10 notamos que o mesmo inicia com valores negativos, início da série temporal, e termina com valores positivos ao final da série. O menor coeficiente de correlação foi de -0,445 e correspondeu ao ano de 1990. E o maior coeficiente de correlação foi de +0,302 e ocorreu no ano de 2017. Considerando que uma correlação negativa indica uma relação inversa, assume-se que o mapa de 1990 diverge das mudanças representadas por esta CP e aponta para um cenário

anterior as estas mudanças. O contrário é válido para o mapa do ano de 2017, que apresentou uma correlação positiva e se assemelha as mudanças ocorridas, representando um momento posterior as mudanças.

Figura 10 - Coeficiente de Correlação entre a 2º Componente Principal e os Dados de Entrada.



Fonte: A autora (2023).

Assim, o gráfico forma uma curva que se assemelha a um “S”, separando os períodos anteriores e posteriores às mudanças no uso e cobertura da terra. Além disso, nota-se que a curva se torna mais íngreme entre 1995 e 2010, podendo indicar um período com mudanças mais rápidas e intensas, de transição entre dois momentos. Portanto, os dois mapas de uso e cobertura da terra, correspondentes ao ano de 1990 e 2017, foram utilizados na etapa de interpretação da 2º CP.

No processo de interpretação visual da 2º componente principal, buscou-se identificar as trajetórias do uso e cobertura da terra em termos de processos de MUCT de acordo com Batistella e Valladares (2009) e Freitas, Santos e Alves (2013). Para tal, foram coletadas amostras visando identificar as principais trajetórias de uso e

cobertura da terra. As amostras coletadas permitiram estabelecer intervalos de valores de forma empírica para cada processo MUCT identificado. Neste ponto, ressalta-se a importância do ordenamento e espaçamentos entre os valores atribuídos as classes de uso e cobertura da terra (Figura 4) para a interpretação das CP. O espaçamento entre usos e coberturas facilitou a identificação de processos de degradação ou regeneração, e o espaçamento maior entre classes de uso possibilitou atribuir a que tipo de classe a degradação estava associada. Assim, permitindo detalhar melhor as trajetórias de uso e cobertura da terra.

A Tabela 4 apresenta os processos de MUCT identificados, o intervalo de valor e a área em hectares (ha). Ao total foram 6 processos identificados, sendo que os nomeados de Expansão (Expansão Soja, Expansão Agropecuária e Expansão Silvicultura) representam um processo de degradação, no qual há transição de cobertura para uso. É importante esclarecer que os processos identificados apresentam a trajetória de uso e cobertura da terra predominante. E que nenhum é totalmente puro e homogêneo, pois há a combinação de outros tipos de MUCT e a presença de ruídos, já que se trata de uma descrição e sintetização de 35 mapas de uso e cobertura da terra para todo Bioma Pampa, havendo múltiplos padrões e trajetórias espaço-temporais. Por último, a Expansão de Infraestrutura Urbana não foi identificada como um processo individual por apresentar baixa expressão espacial em nível de Bioma.

Tabela 4 - Processos de uso e cobertura da terra e Área em Hectares.

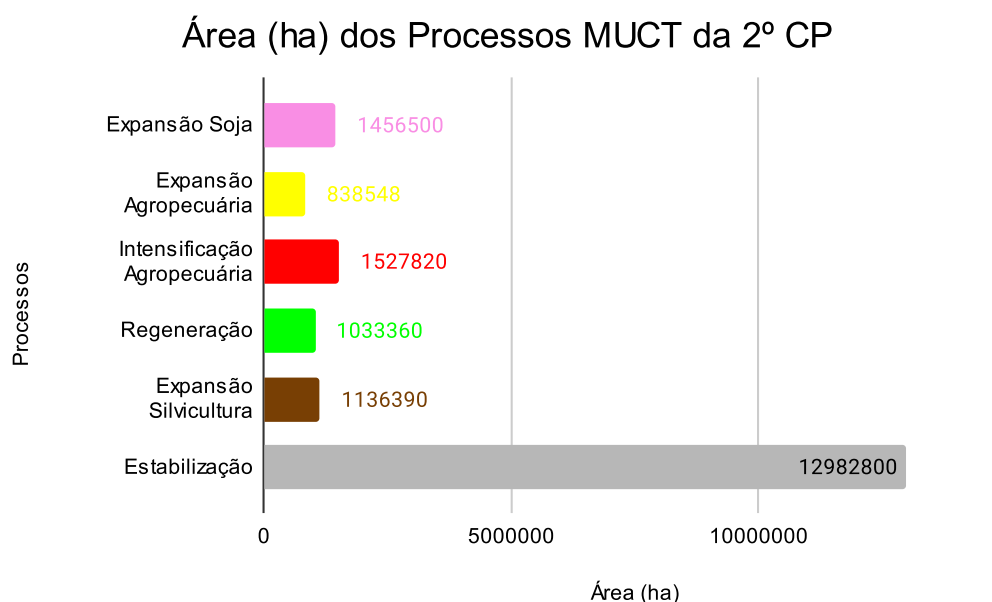
<b>Processos</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Área (ha)</b>
Expansão Soja	[500, 1020]	1.456.500
Expansão Agropecuária	[200, 430]	838.548
Intensificação Agropecuária	[-50, -78] U (-79, -155]	1.527.820
Regeneração	[-1000, -400]	1.033.360
Expansão Silvicultura	[20, 160]	1.136.390

Estabilização	[-1500, -1000) U (-400, -155) U [-79, -78] U (-50, 20) U (160, 200) U (430, 500) U (1020, 1250]	12.982.800
---------------	---	------------

Fonte: A autora (2023).

A Figura 11 apresenta um gráfico comparando as áreas de cada processo, podemos destacar a Intensificação Agropecuária e a Expansão as Soja, com as maiores áreas.

Figura 11 - Gráfico das Áreas (ha) dos Processos MUCT da 2º CP.



Fonte: A autora (2023).

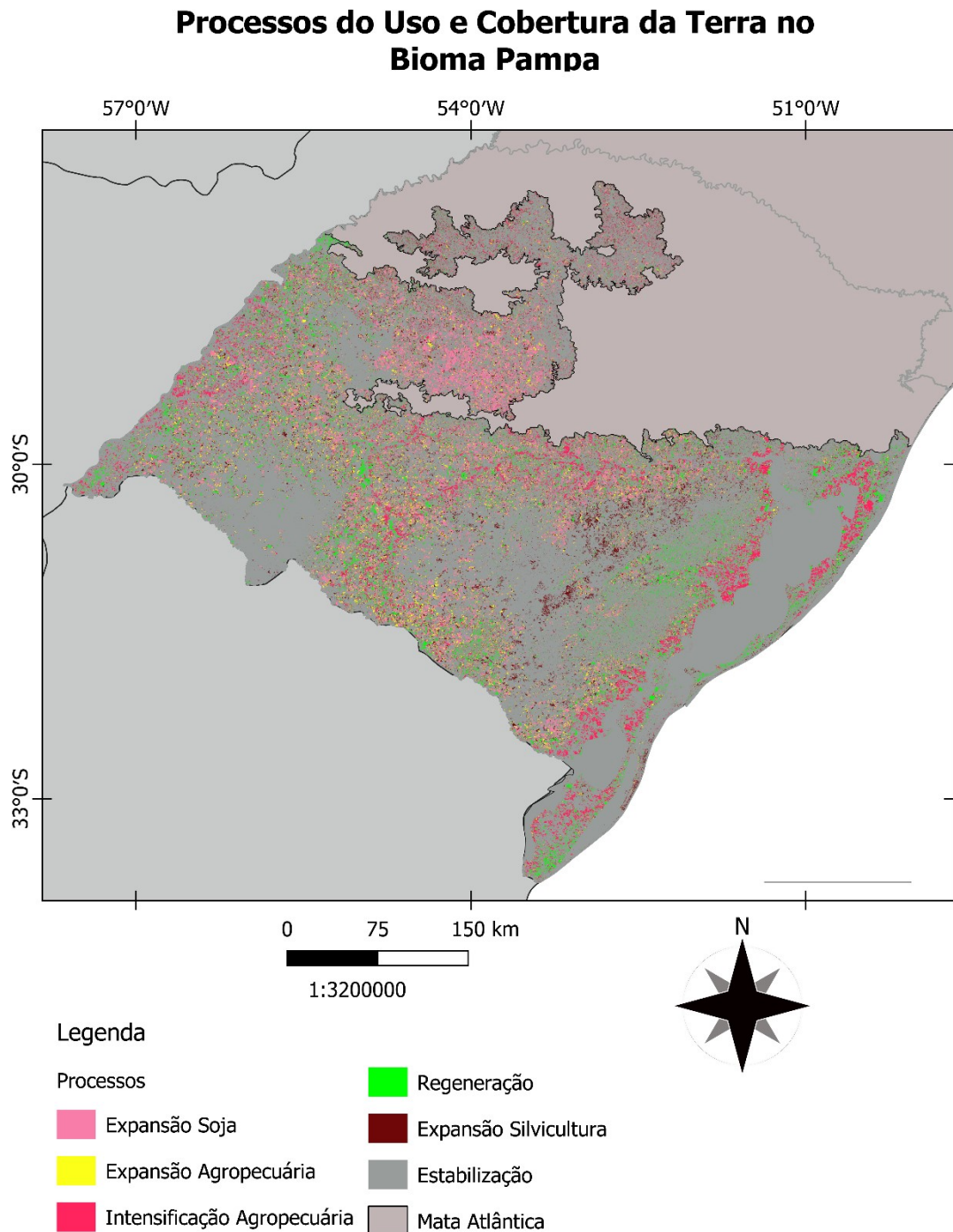
A Figura 12 apresenta os processos de uso e cobertura da terra no Bioma Pampa identificados a partir da 2º componente principal. A Figura 13 apresenta uma visão em detalhe dos processos identificados pela 2º CP de forma individual, para facilitar a visualização. A partir do zoom dos processos, podemos observar áreas exemplo das MUCT identificadas. A 2º CP detêm a maior porcentagem de variância após a 1º, representando as principais mudanças no uso e cobertura da terra ocorridas durante a série temporal.



O processo de Expansão de Soja está apresentado em tom de rosa na Figura 12. Este representa uma degradação pelo avanço do cultivo sobre áreas naturais, principalmente Formações Campestres. A inserção da cultura de soja predomina neste processo, mas também engloba expansão da classe de Agropecuária e Arroz em menor expressão espacial. A Expansão de Soja se concentra espacialmente no norte do Bioma Pampa, na parte sul do Planalto das Missões e no Planalto das Araucárias. Tal expansão representa o movimento de avanço da fronteira agrícola sobre os campos do Bioma Pampa, que se movimenta do norte do Bioma para o sul (NARDIN; ROBAINA, 2010; CHOMENKO, 2016; VERDUM, 2016). Além disso, nota-se a Expansão de Soja nas proximidades de áreas de Agropecuária Consolidada (Figura 8) em direção às formações naturais no centro do Bioma, suprimindo áreas campestres na Campanha e Depressões Gaúcha. Autores como Kuplich, Capoane e Costa (2018) e Mengue et al. (2020) também identificaram o avanço do cultivo de soja no Bioma Pampa.

O processo de Expansão Agropecuária descreve a degradação de áreas naturais, predominantemente de Formações Campestres, pelo avanço da classe Agropecuária. Tal processo está apresentado na Figura 12 na cor amarela, e observa-se a sua distribuição espacial em praticamente todo Bioma, mas com maior concentração na Campanha Gaúcha e nas Depressões Gaúchas. Este processo está associado a uma primeira frente de expansão, com abertura de novas áreas para a agropecuária em direção às formações naturais remanescentes (Figura 8). Em Oliveira (2020) foram encontrados movimentos similares de degradação.

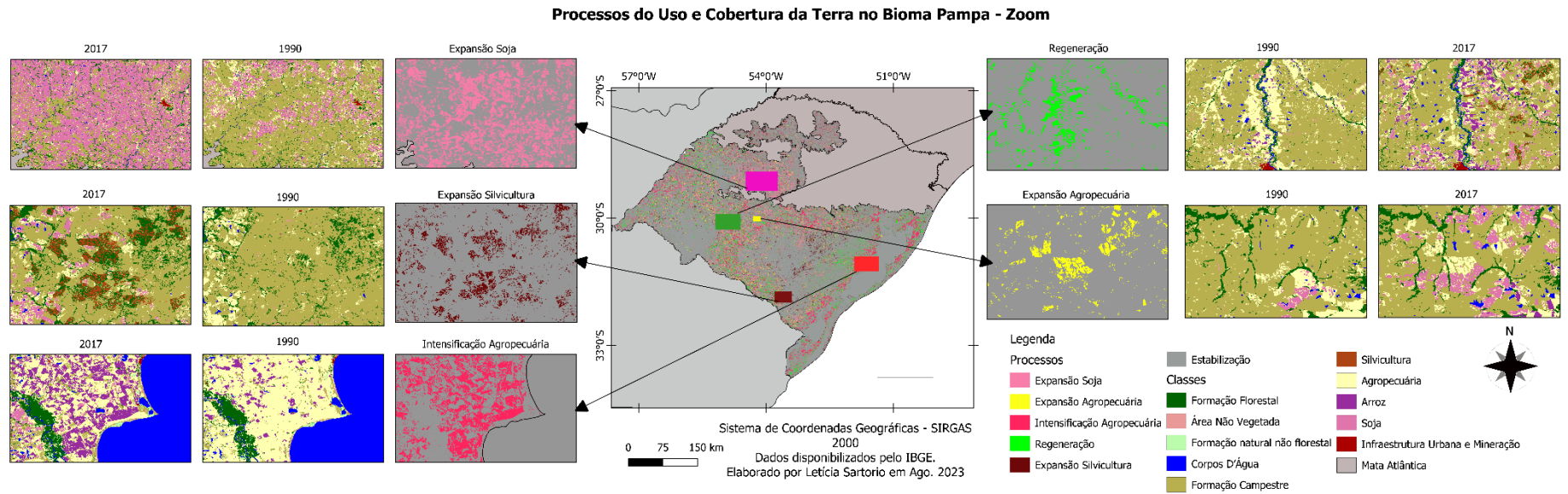
Figura 12 - Processos do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa da 2º Componente Principal.



Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
Dados disponibilizados pelo IBGE.  
Elaborado por Letícia Sartorio em Jul. 2023

Fonte: A autora (2023).

Figura 13 - Zoom dos Processos MUCT identificados na 2º CP.



Fonte: A autora (2023).

A Expansão da Silvicultura está representada em tons de marrom na Figura 12. Esse tipo de degradação ocorreu principalmente sobre áreas de Formações Campestres, principalmente sobre o Planalto Sul-Riograndense na área conhecida como Serra do Sudeste. Tal distribuição é evidente no mapa, mas também há Expansão de Silvicultura na faixa litorânea. Autores como Mengue et al. (2020) e Oliveira (2020) também citam a implementação de florestas plantadas nestas áreas do Bioma Pampa. Salienta-se que, neste processo, identificou-se confusão com degradação por Agropecuária, mas com uma ocorrência temporal ao final da série temporal.

A Intensificação Agropecuária representa o processo de intensificação, aqui entendido como a troca da classe Agropecuária para a de Soja, e o as conversões mútuas entre as classes de Agropecuária e Arroz. Este processo pode ser visualizado na Figura 12 na cor vermelha. É importante ressaltar que o processo de intensificação predomina ao norte no Bioma, principalmente no Planalto das Missões. Isso ocorre, pois essa área já possuía a classe de Agropecuária implementada nos anos iniciais da série temporal (Agropecuária Consolidada na CP 1 – Figura 8) e foi substituída pela classe de Soja. Essa transição é entendida como intensificação, devido ao cultivo de soja estar associada à mudança tecnológica, com uso de maquinário e agrotóxicos (LAMBIN, GEIST, 2006). Por outro lado, a troca entre Agropecuária e Arroz ocorre com maior intensidade na porção oeste e leste (Planície Costeira e Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praiais), bem como nas áreas de várzeas nas Depressões Gaúchas. Estas áreas apresentaram diversas conversões entre as classes Agropecuária e Arroz no decorrer do período observado. A rotação da produção de arroz com outras culturas é uma prática comum no Estado do Rio Grande do Sul, como com a soja, por exemplo (ALMEIDA; ANGHINONI, 2018).

O processo de Regeneração, em verde na Figura 12, foi identificado quando ocorreu a transição entre classes de uso para cobertura da terra, indicando uma recuperação da paisagem, com recuperação da cobertura vegetal. A transição predominante é entre classes agropecuárias (Agropecuária, Arroz e Soja) e classes de formações naturais (Formação Campestre, Formação Florestal). Entretanto, identificaram-se pequenas inconsistências nesta classe, como a classificação de Regeneração quando houve a transição entre classes agropecuárias para Silvicultura,

no qual este não é uma cobertura e nem um processo natural. Atribui-se essa confusão à distância entre o valor da classe de Silvicultura (70 – Quadro 2 e Figura 4) em relação aos demais usos, pois esta classe foi a que recebeu o menor valor para o uso, aproximando-se das demais classes de cobertura. Destaca-se, a importância da atribuição de valores e do ordenamento das classes na etapa de quantificação, pois a abordagem proposta permitiu separar a Expansão por Silvicultura ao longo da série temporal, mas gerou confusões pontuais com o processo de Regeneração.

Ao observar a distribuição espacial do processo de Regeneração nota-se uma concentração na parte leste do Bioma Pampa, no Planalto Sul-Riograndense, com predomínio de recuperação de áreas florestadas. Também há ocorrência nas Planícies Costeira e Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praiais, com o abandono de áreas de agropecuária e a regeneração das formações campestres. Mas, este processo também ocorre no oeste e centro do Bioma Pampa, relacionado à conversão da classe Agropecuária e Arroz para a classe de Formação Campestre. Tal processo também foi evidenciado por Oliveira (2020).

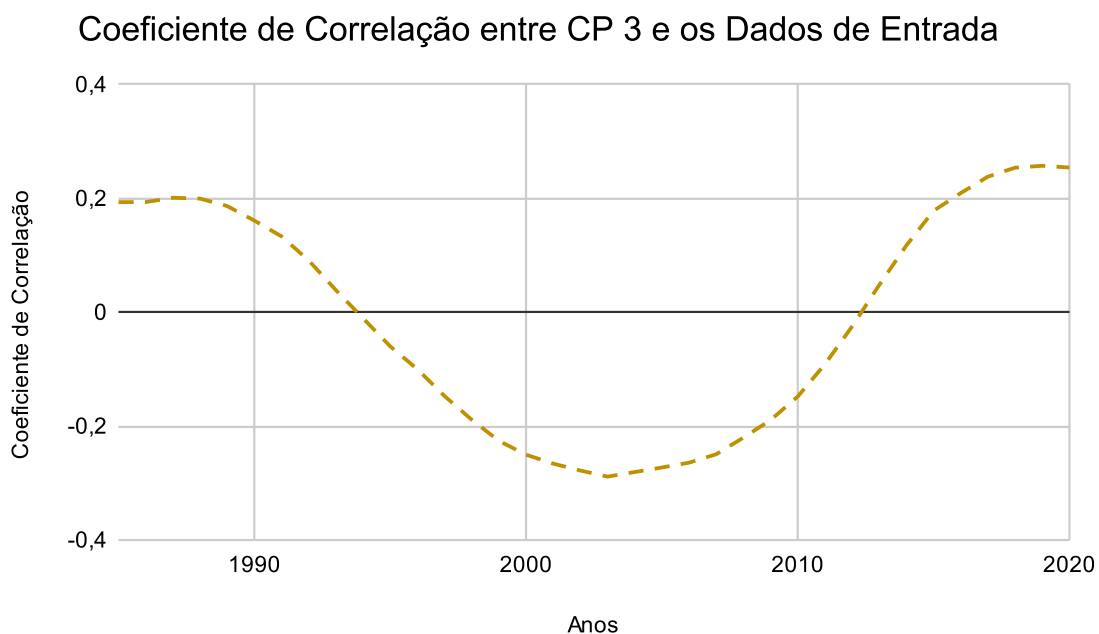
O processo de Estabilização está representado pela cor cinza na Figura 12. Este indica áreas sem ocorrência de mudanças de uso e cobertura da terra, podendo indicar áreas preservadas ou sem transições no período observado. Além disso, deve-se atentar que as áreas classificadas como estáveis podem simplesmente não terem sido representadas por esta componente principal. Em termos de distribuição espacial, abrange os corpos hídricos e as formações campestres no centro do Bioma, separadas pelo rio Ibicuí, mas também há a estabilização de áreas antropizadas, como as áreas urbanas e as agropecuárias, principalmente no norte do Bioma Pampa.

Por fim, evidencia-se que a segunda componente principal conseguiu descrever os principais processos MUCT no Bioma Pampa entre 1985 e 2020, apresentando as principais variações dentro do banco de dados originais e alocando temporalmente as mesmas por meio do fator de carga.

### 6.1.3 Terceira Componente Principal

A 3º Componente Principal é responsável por explicar 6,13% da variância dos dados de entrada. A mensuração dos fatores de carga, representados pelo coeficiente de correlação auxiliou na interpretação das trajetórias da 3º CP, indicando a ocorrência temporal da mesma. A Figura 14 apresenta o gráfico com o coeficiente de correlação entre a 3º CP e os mapas utilizados de entrada para a ACP.

Figura 14 - Coeficiente de Correlação entre a 3º Componente Principal e os Dados de Entrada.



Fonte: A autora (2023).

Ao observar o gráfico da Figura 14 nota-se que ele forma um “U” com os valores dos fatores de carga, contendo três picos de valores. Os coeficientes iniciam em valores positivos, reduzem para valores negativos e aumentam novamente para valores positivos. Estes três picos correspondem aos valores de +0,201 no ano de 1987, -0,289 em 2003 e +0,257 em 2019. Conseqüentemente os mapas de entrada dessas três datas foram utilizados no processo de interpretação da terceira CP.

Portanto, esse formato de curva apresentada na Figura 14 permite dividir a análise dos processos MUCT em dois períodos temporais: 1987 – 2003 e 2003 – 2019.

No processo de interpretação visual da 3º componente principal, também buscou-se identificar as trajetórias do uso e cobertura da terra em termos de processos MUCT de acordo com Batistella e Valladares (2009) e Freitas, Santos e Alves (2013), visando a sua delimitação temporal. Para tal, foram coletadas amostras com o objetivo de identificar as principais trajetórias de uso e cobertura da terra. As amostras coletadas possibilitaram estabelecer intervalos de valores de forma empírica para cada processo MUCT identificado. A Tabela 5 apresenta os processos de MUCT identificados, o intervalo de valor e a área em hectares (ha).

Tabela 5 - Processos de uso e cobertura da terra com temporalidade e sua Área em Hectares.

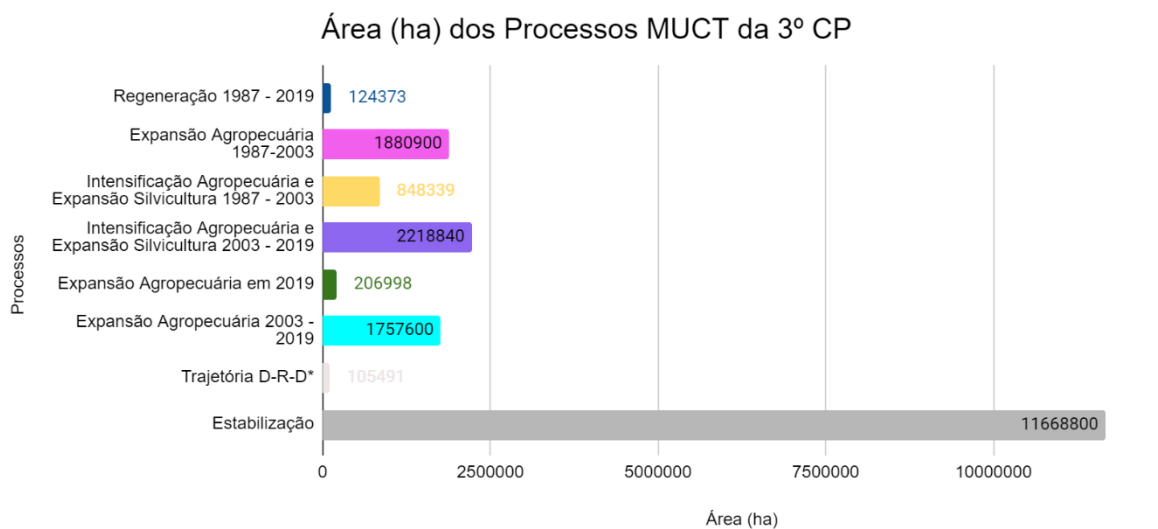
<b>Processos</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Área (ha)</b>
Regeneração 1987 - 2019	[-1100, -530]	124.373
Expansão Agropecuária 1987-2003	[-520, -100]	1.880.900
Intensificação Agropecuária e Expansão Silvicultura 1987 - 2003	(-100, -21]	848.339
Intensificação Agropecuária e Expansão Silvicultura 2003 - 2019	[35, 150]	2.218.840
Expansão Agropecuária em 2019	[151, 155] U [225, 250]	206.998
Expansão Agropecuária 2003 - 2019	[260, 600]	1.757.600
Trajetória D-R-D*	[780, 1165]	105.491
Estabilização	(-1100, -1250] U (-530, -520) U (-21, 35) U (155, 225) U (250, 260) U (600, 780)	11.668.800

\*Degradação em 1987, regeneração em 2003 e degradação em 2019.

Fonte: A autora (2023).

Ao total foram identificados oito processos de MUCT, evidencia-se que como na 2º CP não se trata de processos totalmente homogêneos, mas do padrão espaço-temporal predominante. Nota-se que os processos identificados apresentam temporalidade, estabelecida a partir dos valores extremos dos fatores de carga. Importante ressaltar que a divisão temporal não indica o ano de ocorrência exata do processo, porém o período. Ademais, a interpretação da terceira componente principal permite detalhar os processos MUCT identificados na segunda componente principal, adicionando a informação temporal e explorando as trajetórias de uso e cobertura da terra. Um ponto interessante dessa componente é que permite desvendar transições ou trajetórias que poderiam não estar presentes em análises bitemporais, mas que representam um padrão espaço-temporal ao analisar todos os anos disponíveis e realizar a sua descrição com a técnica ACP. A Figura 15 apresenta a área dos processos identificados na 3º CP, evidencia-se os processos de Expansão Agropecuária 1987-2003/2003-2019, e a Intensificação Agropecuária e Expansão da Silvicultura entre 2003 e 2019.

Figura 15 - Gráfico das Áreas (ha) dos Processos MUCT da 3º CP.

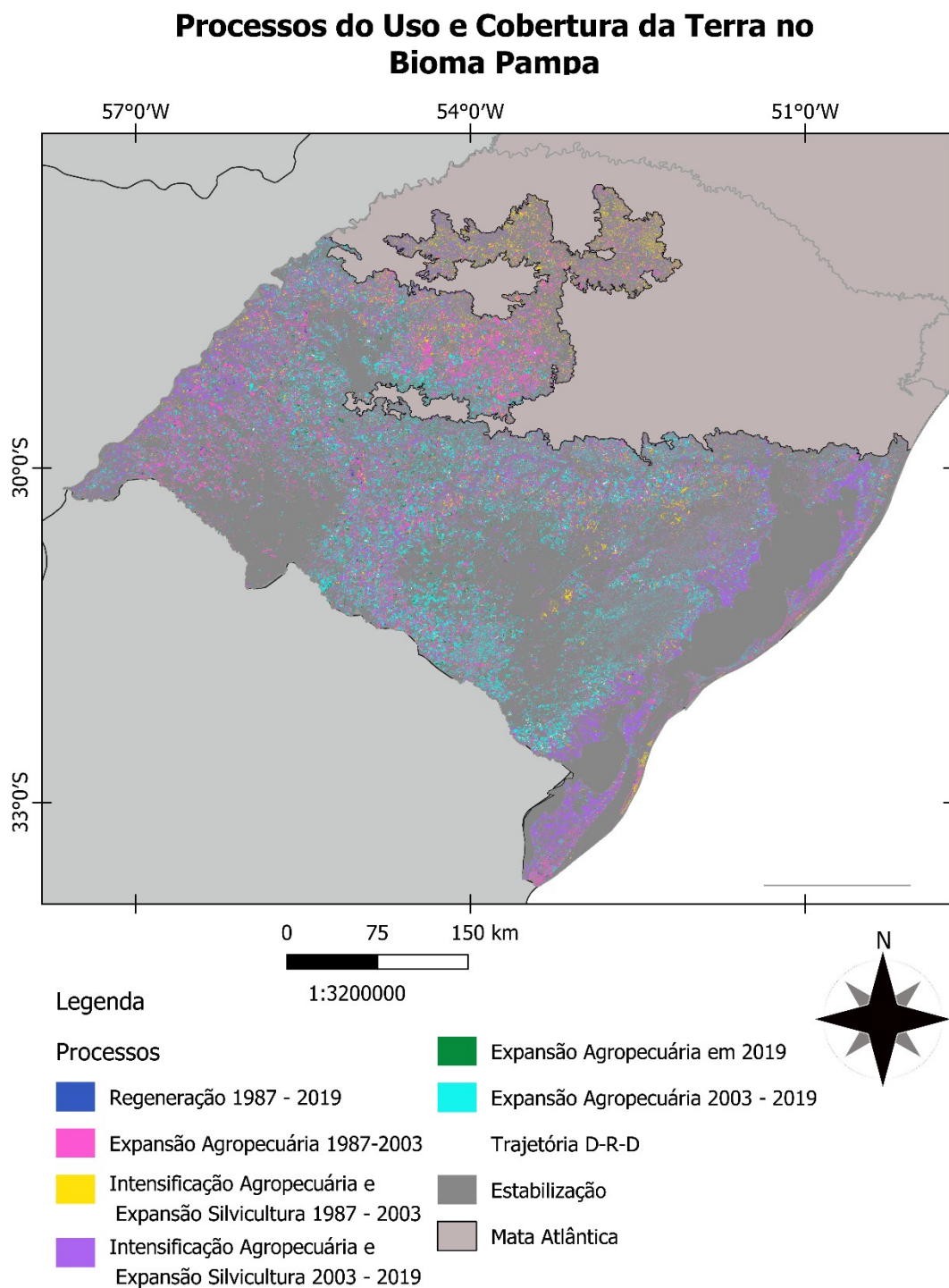


Fonte: A autora (2023).

A Figura 16 apresenta os processos identificados a partir da 3º CP.



Figura 16 - Processos do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa da 3º Componente Principal.



Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
Dados disponibilizados pelo IBGE.  
Elaborado por Letícia Sartorio em Jul. 2023

Fonte: A autora (2023).

Em azul escuro na Figura 16 temos o processo de Regeneração entre os anos de 1987 e 2019, abrangendo o período mais longo. Tal processo representa a ocorrência de retorno de formações naturais (como florestais e campestres) em áreas antigamente ocupadas pela agropecuária. Entretanto, da mesma forma que na 2º CP também há confusão com a transição entre classes agropecuárias e Silvicultura. Este processo ocorre espacialmente de forma isolada, dificultando a visualização na escala de Bioma.

A Expansão Agropecuária entre 1987 e 2003 está representado pela cor rosa na Figura 16. E representa a conversão de áreas naturais (principalmente formações campestres) em áreas de uso agropecuário (como as classes de Soja, Arroz e Agropecuária), indicando um aumento desses usos. Esta se distribui principalmente no norte do Bioma, sobre o Planalto das Missões, expressando o movimento do avanço da fronteira agrícola em direção as áreas campestres. Tal ação teve início na década de 1950 com crescimento na produção de grãos (CHOMENKO, 2016; VERDUM, 2016). Destaca-se também a ocorrência nas proximidades da fronteira oeste do Bioma Pampa, e no entorno de áreas com agricultura já consolidada (Padrão da 1º CP, Figura 8). Mengue et al. (2020) também expõe que a degradação de formações campestres tende a ocorrer próximas a áreas já degradadas.

A Expansão da Agropecuária entre 2003 e 2019 está apresentada em azul claro no mapa da Figura 16. Este processo representa a conversão de formações naturais (campestres e florestais) em usos agropecuários (Agropecuária, Arroz e Soja) entre o período de 2003 e 2019. Tal processo possui ocorrência significativa no Bioma, se distribuindo pela área central.

Destaca-se o avanço da agropecuária na parte sul do Planalto das Missões em direção ao Planalto das Araucárias, e no entorno das áreas de agropecuária consolidada (1º CP), mostrando a direção de expansão desta prática. Assim, observa-se que o crescimento da agropecuária está se movimentando ao encontro das formações campestres remanescentes do Bioma Pampa, causando a sua supressão.

O processo de Expansão Agropecuária em 2019 está representado em tons de verde escuro na Figura 16. Este processo apresenta a transição de formações campestres para usos agropecuários que surgiram no ano de 2019. Apontando para

mudanças recentes dentro do banco de dados analisado. Além disso, esse processo ocorre em menor proporção, dificultando a visualização no mapa da Figura 16. Mas o mesmo tem ocorrência nas proximidades de áreas agropecuárias já existentes, com a instalação de pequenas áreas voltadas para a prática agropecuária. Por fim, a partir dos três processos referentes à Expansão Agropecuária, é possível analisar espacial e temporalmente a evolução desse uso no Bioma Pampa.

O processo de Intensificação da Agropecuária e Expansão da Silvicultura entre 1987 e 2003 está representado em tons de amarelo na Figura 16. Neste, não foi possível separar os dois processos que estão agrupados no mesmo período temporal, porém é possível distinguir os mesmos espacialmente. A Intensificação Agropecuária ocorre predominantemente bem ao norte do Bioma Pampa, em áreas de agricultura consolidada, apresentando a troca da classe Agropecuária pela de Soja durante este período, prática que se expande pelo Bioma (MENGUE et al., 2020). Por outro lado, a Expansão da Silvicultura predomina na parte leste do Bioma Pampa, principalmente sobre a Serra do Sudeste e na faixa litorânea, áreas com presença expressiva de florestas plantadas (MENGUE et al., 2020).

Em roxo na Figura 16, apresenta-se o processo de Intensificação da Agropecuária e Expansão da Silvicultura entre 2003 e 2019. Da mesma forma que o processo anterior, não foi possível separar estes dois processos que estão agrupados temporalmente. Este representa o mesmo processo que o anterior, mas em uma janela temporal distinta (2003 – 2019). Nota-se que esse processo possui uma maior distribuição espacial, com predomínio na fronteira oeste e nas Planícies Costeiras e Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praiais. Nestas áreas, há a troca entre as classes de Agropecuária e Arroz, no qual a substituição da agropecuária pela rizicultura é entendida aqui como um processo de intensificação da prática agropecuária. Isso também é observado nas proximidades de áreas de agropecuária consolidada (Figura 8) nos entornos dos rios Jacuí e Ibicuí.

A Expansão da Silvicultura entre 2003 e 2019 possui maior expressão espacial nas áreas da Serra do Sudeste, no Planalto Sul-Riograndense, nas proximidades das áreas de Expansão de Silvicultura entre 1987 e 2003. Indicando que o crescimento dessa prática agrícola ocorre preferencialmente próxima a áreas já instaladas. Tal fato pode estar relacionada a uma série de fatores, como a instalação prévia da

infraestrutura necessária, preço da terra, proximidade a rodovias, etc. Essa área também possui acesso ao Porto de Rio Grande, facilitando o processo de transporte e exportação (BOTELHO; CLEVELÁRIO JÚNIOR, 2016; MENGUE et al., 2020).

A Figura 16 apresenta, em branco, a Trajetória D-R-D, que considera as três datas de pico do fator de carga: 1987, 2003 e 2019. Essa trajetória significa que, no ano de 1987 o *pixel* já estava degradado por uma classe de uso da terra, em 2003 houve a regeneração desse *pixel* para uma classe de cobertura da terra e, em 2019, houve novamente a degradação desse *pixel* com a conversão para uma classe de uso da terra. Nesta trajetória complexa, há o predomínio de transições entre classes agropecuárias e formações campestres. Esse processo ocorre de maneira mais isolada no Bioma Pampa, com baixa expressão espacial, tornando difícil a sua visualização no mapa da Figura 16. Porém, evidencia-se o potencial da ACP para descrever estes padrões espaço-temporais de natureza complexa, facilitando a compreensão da dinâmica das MUCT na escala do Bioma Pampa.

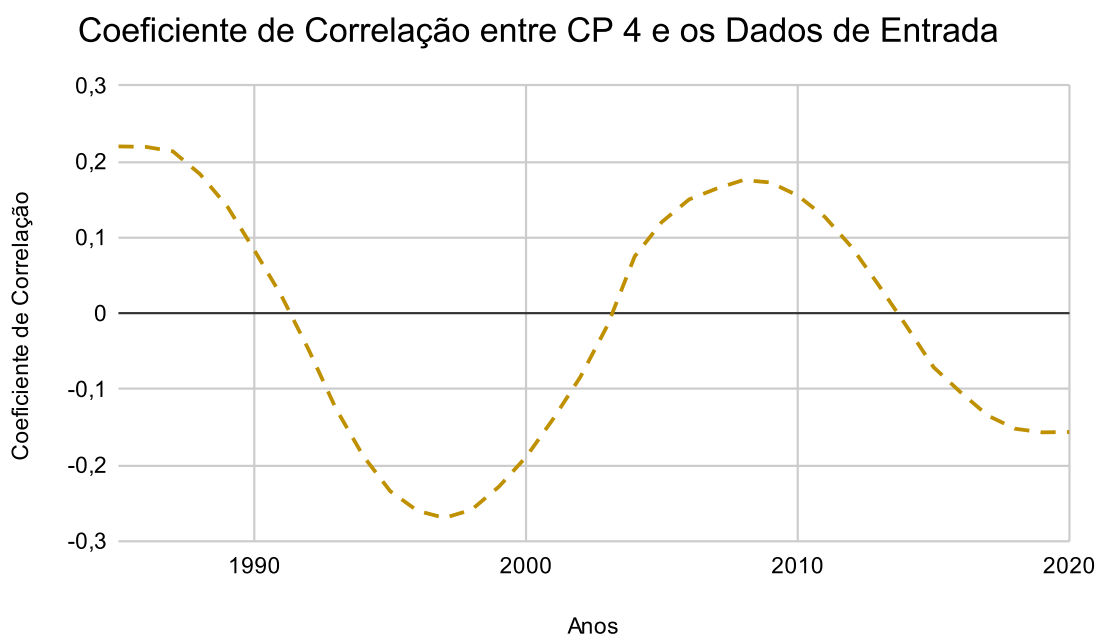
Por último, temos na Figura 16, em tom de cinza, o processo de Estabilização que indica, de forma similar a 2º CP, as áreas sem ocorrência de MUCT, podendo apontar áreas preservadas ou sem transições no período observado. Deve-se atentar que as áreas classificadas como estáveis podem simplesmente não terem sido representadas por esta componente principal. Em termos de distribuição espacial abrange os corpos hídricos e as formações campestres no centro do Bioma, separadas pelo rio Ibicuí. Mas também há a estabilização de áreas antropizadas, como as áreas urbanas e as agropecuárias, principalmente no norte do Bioma Pampa.

Desta forma, a 3º componente principal permitiu descrever oito processos de MUCT no Bioma Pampa, possibilitando detalhar temporalmente os mesmos. Traz informações importantes referentes à dinâmica e à trajetória espaço-temporal das mudanças no uso e cobertura da terra do Bioma. A divisão dos processos no tempo proporciona construir a ideia de movimento da trajetória e a identificação das direções dessas MUCT.

#### 6.1.4 Quarta Componente Principal

A 4º Componente Principal é responsável por explicar 4,13% da variância dos dados de entrada. A mensuração dos fatores de carga, representados pelo coeficiente de correlação auxiliou na interpretação das trajetórias da 4º CP, indicando a ocorrência temporal delas. A Figura 17 apresenta o gráfico com o coeficiente de correlação entre a 4º CP e os mapas utilizados de entrada para a ACP.

Figura 17 - Coeficiente de Correlação entre a 4º Componente Principal e os Dados de Entrada.



Fonte: A autora (2023).

Ao observar o comportamento da curva dos fatores de carga da Figura 17, nota-se que ela se assemelha a uma curva senoidal, formando “ondas”. Contendo quatro valores extremos: +0,22 em 1985, -0,269 em 1997, +0,176 em 2008, e -0,156 no ano de 2019. Os mapas de entrada desses anos com valores extremos foram utilizados na etapa de interpretação desta componente, permitindo extrair trajetórias espaço-temporais das MUCT.

A partir da 4º CP a porcentagem de variância e de informação explicada pelas componentes reduz, o que torna mais difícil o processo de identificação dos padrões espaço-temporais representado pelas componentes principais em sua separabilidade. Por conta disso, as 4º e 5º CP são interpretadas em termos de trajetórias complexas que descrevem a dinâmicas das MUCT no Bioma Pampa entre 1985 e 2020. Estas representam o padrão de trajetória predominante, não sendo totalmente homogêneas.

No processo de interpretação visual da 4º componente principal buscou-se identificar as trajetórias do uso e cobertura da terra em termos de processos MUCT de acordo com Batistella e Valladares (2009) e Freitas, Santos e Alves (2013), principalmente de degradação e de regeneração, visando a sua delimitação temporal. Para tal, foram coletadas amostras com o objetivo de identificar as principais trajetórias de uso e cobertura da terra. As amostras coletadas possibilitaram estabelecer intervalos de valores de forma empírica para cada trajetória identificada. A Tabela 6 apresenta as trajetórias complexas identificadas, o intervalo de valor e a área em hectares (ha).

Tabela 6 - Trajetórias complexas de degradação (D) e regeneração (R), e sua Área em Hectares.

<b>Trajetoórias Complexas</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Área (ha)</b>
R e D, 2-3 C e 2-3 T	[680, 950]	19.956,5
D-R-D, 2-3 C, 2 T	[500, 660]	97.790,8
R, 2-3 C, 1-2 T	(300, 430]	314.956
D em 2008, 2 C, 1 T	[212, 300] U [117, 140] U [165]	632.415
D em 2019, 2 C, 1 T	[-180, -226] U [-270, -320]	623.733
D em 1997, 2-3 C, 1-2 T	(-320, -490]	483.495
N-D-R-D, 2-3 C, 2-3 T	(-490, -940]	191.747
Estabilização	(950, 1100] U (660, 680) U (430, 500) U (165, 300) U (140, -180) U (-226, - 270) U (-940, -1010]	16.768.500

Em que: classe natural (N); número de classes (C); número de transições (T).

Fonte: A autora (2023).

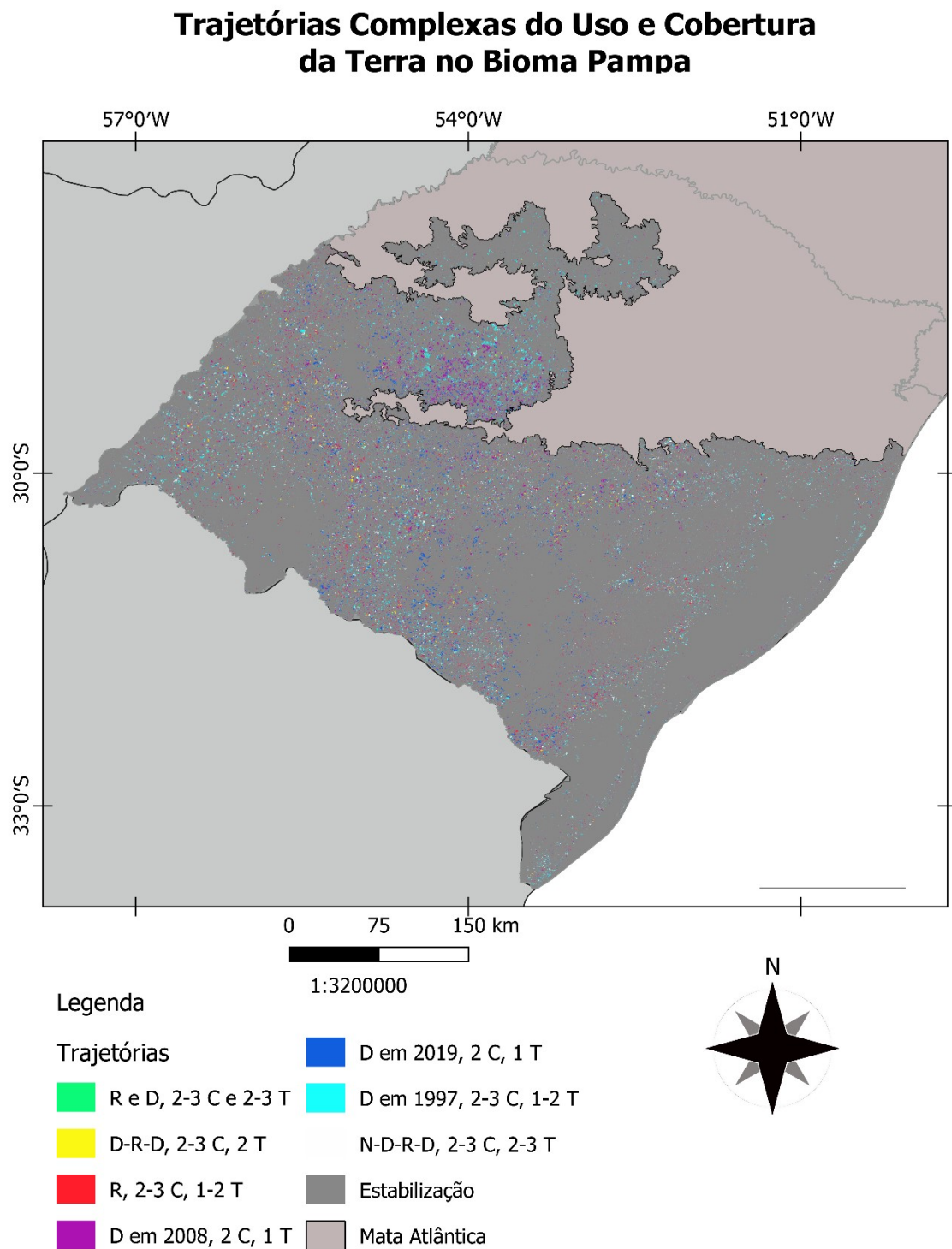
No total, foram identificadas oito trajetórias complexas na quarta componente principal para o Bioma, evidenciando a sua ocorrência temporal. As trajetórias representam processos de degradação (D) ou regeneração (R), e trazem informações referentes ao número de classes (C) e número de transições (T). O processo de degradação representa a presença de uma classe de uso da terra e o processo de regeneração a presença de uma classe de cobertura da terra. Duas trajetórias apresentam uma sequência temporal de processos MUCT, em que a classe natural é simbolizada pela letra "N". A Figura 18 apresenta a distribuição espacial dessas trajetórias complexas sob o Bioma Pampa.

Apesar da alta complexidade dessas trajetórias, destaca-se a relevância desse tipo de informação para entender a dinâmica do uso e cobertura da terra no Bioma Pampa. Dinâmica que pode se perder quando livremente escolhemos os mapas de uso e cobertura da terra das datas de interesse, mas que emerge quando analisamos a série temporal por inteiro. A descrição desse banco de dados por meio da ACP permitiu interpretar estes padrões ocultos, além de os fatores de carga indicarem os anos mais relevantes para a análise, facilitando e ressaltando as informações relevantes pela remoção da redundância.

A trajetória complexa R e D, 2-3 C e 2-3 T, está representada em verde claro na Figura 18. Esta trajetória apresenta áreas que foram tanto degradadas como regeneradas, mas o que possuem em comum é o número elevado de classes e de transições, pois possuem de duas a três classes distintas de uso e cobertura da terra e de duas a três transições entre classes distintas no decorrer da série temporal. Tal trajetória ocorre em pontos isolados do Bioma Pampa, tornando a sua visualização difícil no mapa, mas a sua ocorrência predomina, como esperado, nas proximidades de outras áreas utilizadas para a agropecuária.

A próxima trajetória complexa identificada foi nomeada de D-R-D, 2-3 C, 2 T, sendo este o seu padrão predominante. Neste, uma área degradada nos anos iniciais, passou pelo processo de regeneração e foi degradada novamente nos anos finais. Em sua maioria, apresentou de duas a três classes de uso e cobertura da terra com duas transições. Essa trajetória é apresentada na cor amarela na Figura 18 e se distribui na parte central e oeste do Bioma Pampa.

Figura 18 - Trajetórias Complexas do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa da 4º Componente Principal.



Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
 Dados disponibilizados pelo IBGE.  
 Elaborado por Letícia Sartorio em Jun. 2023



Em vermelho na Figura 18, está representada a trajetória complexa R, 2-3 C, 1-2 T, predominantemente um processo de regeneração com presença de duas a três classes de uso e cobertura da terra e com uma a duas transições entre essas. Possui uma distribuição espacial significativa pelo Bioma, concentrando-se a oeste, leste e parte central (próximo a áreas de agropecuária consolidada). Destaca-se a ocorrência desse padrão na parte leste do Planalto Sul-Riograndense, com a regeneração de formações florestais e campestres em áreas antes ocupadas por usos agropecuários.

As próximas três trajetórias são referentes à degradação no Bioma Pampa, mas cada uma atribui um período temporal a esse processo, possibilitando visualizar a evolução das áreas degradadas ao longo do tempo e espaço. Destaca-se, que o ano indicado na nomenclatura da trajetória não representa, necessariamente, o ano de ocorrência exata do processo, mas sim o ano em que as mesmas foram visualizadas nas datas auxiliares. Desta maneira, a ocorrência temporal das trajetórias complexas esta alocada entre o ano do fator de carga anterior e o ano de visualização. Por exemplo, a degradação em 1997 pode ter ocorrido entre os anos de 1985 e 1997, já a degradação em 2008 pode ter ocorrido entre 1997 e 2008, dividindo os processos em faixas temporais.

Em azul claro, temos na Figura 18 a trajetória D em 1997, 2-3 C, 1-2 T, um processo de degradação com implementação até o ano de 1997, com duas a três classes e de uma a duas transições. Nota-se a presença dessa trajetória no norte e oeste do Bioma, bem como na parte central, nos entornos da bacia do Rio Jacuí e Ibicuí, e ao redor da Laguna dos Patos. Tal trajetória evidencia a frente de expansão da agropecuária sobre os campos do Bioma Pampa na década de 1990. A direção da expansão é de norte a sul, descendo o Planalto das Missões em direção a Campanha Gaúcha e a Depressão Central.

Já em roxo, temos a trajetória D em 2008, 2 C, 1 T na Figura 18. Esta representa uma segunda frente de expansão no Bioma Pampa com início até o ano de 2008, com predomínio de duas classes de uso e cobertura da terra e somente uma transição entre elas. Nota-se que essa degradação segue percurso similar à trajetória anterior, avançando sobre áreas não alcançadas em 1997 como, por exemplo, na porção sul do Planalto das Missões se direcionando para o Planalto das Araucárias, e no centro

do Bioma em direção às bordas das formações campestres remanescentes. Destaca-se também sua ocorrência na parte sul do Bioma Pampa, próximo à Lagoa Mirim.

O último processo complexo de degradação está representado pelo tom de azul escuro na Figura 18 e é nomeado de D em 2019, 2 C, 1 T. Esta representa um processo de degradação com ocorrência temporal até 2019, contendo duas classes de uso e cobertura da terra e uma transição entre elas. Distribui-se pelo centro do Bioma Pampa, com destaque para sua ocorrência no Planalto das Araucárias, logo “abaixo” da degradação causada em 2008, e sobre as formações campestres, em direção ao Planalto Sul-Riograndense. Essas três trajetórias de degradação remontam a dinâmica espaço-temporal desse processo, permitindo entender seu avanço e suas direções. Ademais, pode-se compreender/visualizar a pressão antrópica sobre os campos do Bioma Pampa, áreas que necessitam de maior atenção e proteção ambiental.

Representada pela cor branca, temos na Figura 18, a trajetória complexa N-D-R-D, 2-3 C, 2-3 T possui de duas a três classes e de duas a três transições, e representa um padrão espacial em que no ano de 1985 havia uma classe natural (cobertura da terra), em 1997 havia ocorrido a degradação (instalação de classe de uso da terra), em 2008 esta mesma área foi regenerada (retorno a cobertura da terra), e em 2019 essa área foi novamente degradada (instalação de classe de uso). Esta trajetória é extremamente complexa, mas ressalta-se a importância dessa informação sobre a dinâmica do uso e cobertura da terra no Bioma Pampa e suas diversas transições ao longo do tempo. Distribui-se espacialmente por todo Bioma, principalmente nas proximidades de áreas agropecuárias consolidadas.

O processo de Estabilização está apresentado na cor cinza na Figura 18. Este indica, de forma similar na 2º e 3º CP, as áreas sem ocorrência de MUCT, podendo apontar áreas preservadas ou sem transições no período analisado. Deve-se atentar que as áreas classificadas como estáveis podem simplesmente não terem sido representadas por esta componente principal.

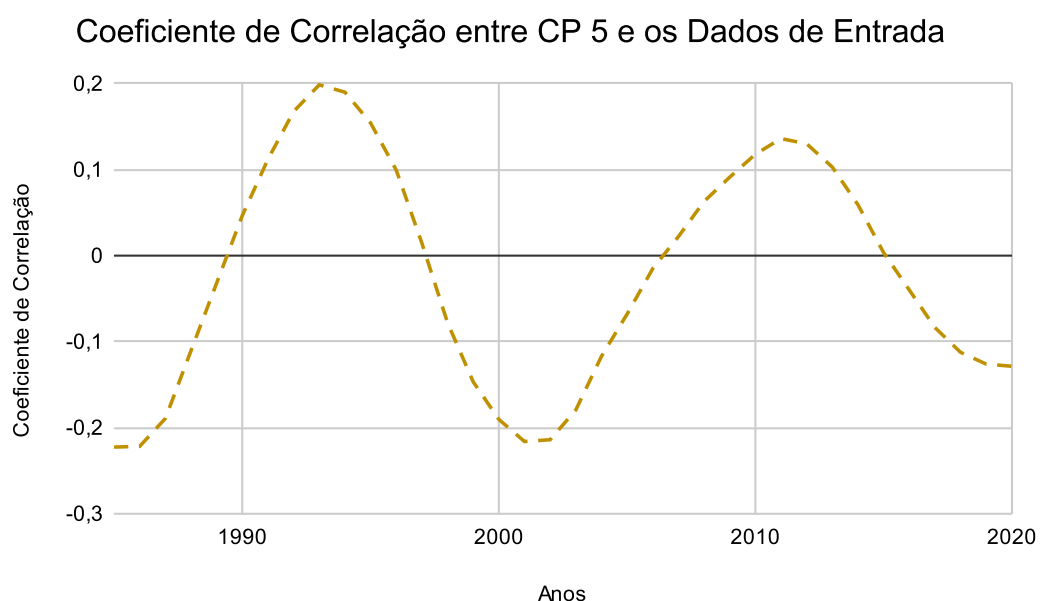
A partir da 4º componente principal foi possível detalhar espacialmente e temporalmente os processos de MUCT, de forma mais profunda que na 3º CP. As trajetórias complexas permitem visualizar e compreender a dinâmica do uso e

cobertura da terra no Bioma Pampa, além de indicar a direção de avanço da fronteira agrícola sobre as formações campestres. Contudo, ressalta-se a dificuldade de interpretação dessa componente principal, pela baixa porcentagem de variância explicada e por apresentar quatro picos de valor nos fatores de carga. Porém, deve-se reconhecer que seria extremamente difícil e custoso identificar as trajetórias complexas por métodos tradicionais de análise de trajetórias MUCT (como análises ano a ano, ou pela seleção aleatória de datas), e que a ACP possibilitou agrupar espacialmente estes padrões, facilitando a sua extração e análise.

### 6.1.5 Quinta Componente Principal

A 5ª Componente Principal é responsável por explicar 2,88% da variância dos dados de entrada. A mensuração dos fatores de carga, representados pelo coeficiente de correlação auxiliou na interpretação das trajetórias complexas da 5ª CP, indicando a ocorrência temporal delas. A Figura 19 apresenta o gráfico com o coeficiente de correlação entre a 5ª CP e os mapas utilizados de entrada para a ACP.

Figura 19 - Coeficiente de Correlação entre a 5ª Componente Principal e os Dados de Entrada.



Como na 4º CP, a 5º também apresenta uma curva similar a uma senoidal, com a formação de “ondas” com os valores dos fatores de carga. No entanto, para esta CP há a presença de cinco picos de valores, sendo eles: -0,223 no ano de 1985, +0,198 em 1993, -0,216 em 2001, +0,136 em 2011, e -0,128 no ano de 2020. Os mapas de entrada desses anos com valores extremos foram utilizados no processo de interpretação desta componente, como dado auxiliar, permitindo extrair trajetórias espaço-temporais das MUCT.

Como já mencionado na 4º CP, a 5º CP foi interpretada em termos de trajetórias complexas. A baixa porcentagem de variância explicada por esta componente também torna a sua interpretação uma tarefa complicada, principalmente em termos de separação de trajetórias. Estas descrevem a dinâmicas das MUCT no Bioma Pampa entre 1985 e 2020. Ademais, representam o padrão de trajetória predominante, não sendo totalmente homogêneas.

No processo de interpretação visual da 5º componente principal buscou-se identificar as trajetórias do uso e cobertura da terra em termos de processos MUCT como em Batistella e Valladares (2009) e Freitas, Santos e Alves (2013), principalmente de degradação e de regeneração, visando a sua delimitação temporal. Para tal, foram coletadas amostras com o objetivo de identificar as principais trajetórias de uso e cobertura da terra. As amostras coletadas possibilitaram estabelecer intervalos de valores de forma empírica para cada trajetória identificada. A Tabela 7 apresenta as trajetórias complexas identificadas, o intervalo de valor e a área em hectares (ha).

Tabela 7 - Trajetórias complexas de degradação (D) e regeneração (R), e sua Área em Hectares.

<b>Trajetoórias Complexas</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Área (ha)</b>
D, 2-4 C, 3-4 T	[-600, -920]	18.036,1
D-R-D, 2-3 C, 2-3 T	[-330, -560]	327.726
D após 2001, 2 C, 1 T	(-212, -300]	468.840
D em 2020, 2 C, 1 T	[-95, -212]	1.253.510
D em 2011, 2 C, 1 T	[40, 290]	2.287.330

D em 1993, 2-3 C, 2-4 T	[400, 850]	139.869
Estabilização	(-920, -950] U (-560, -600) U (-300, -330) U (-95, 40) U (290, 400) U (850, 906)	14.488.500

Em que: número de classes (C); número de transições (T).

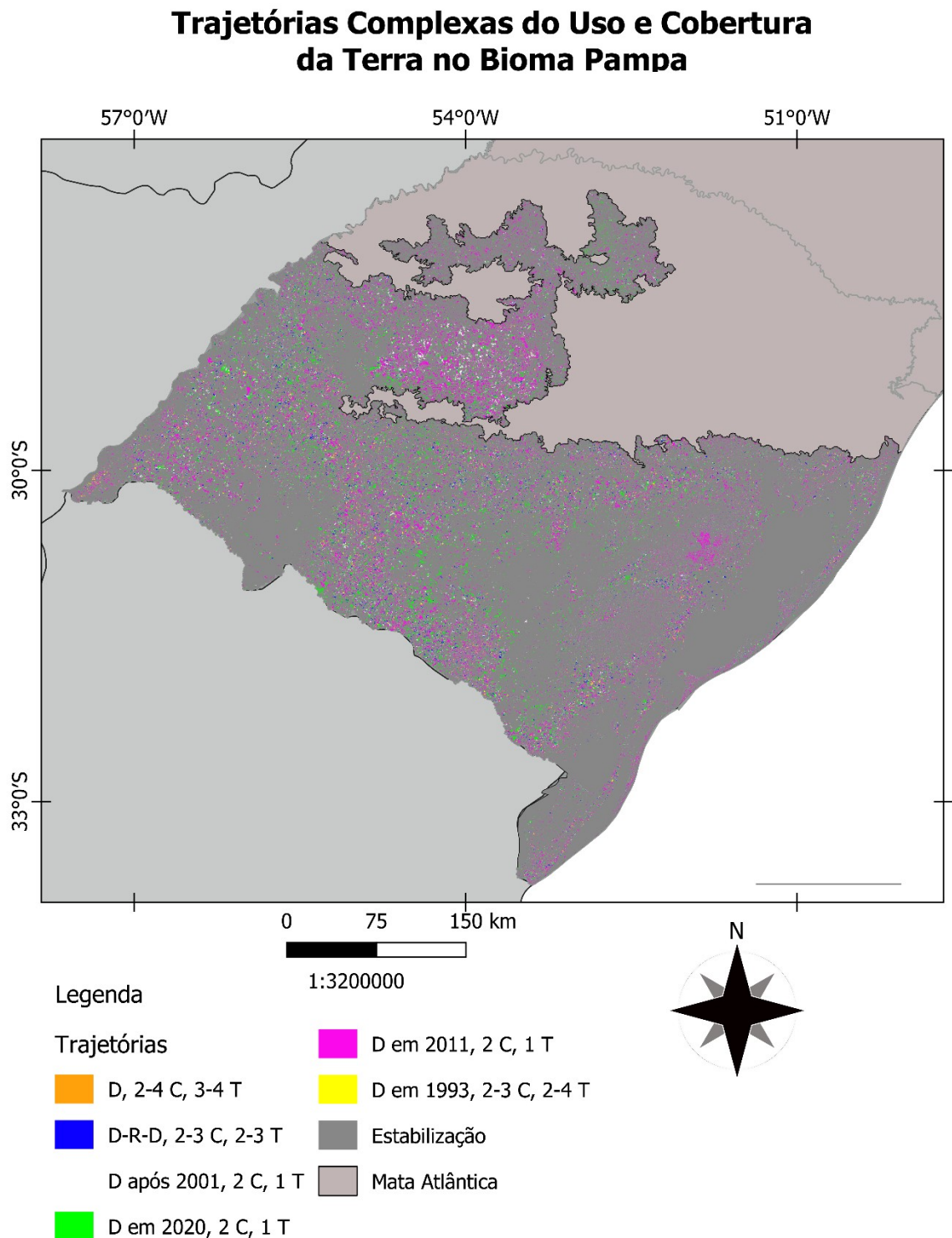
Fonte: A autora (2023).

A quinta componente principal foi reclassificada em sete trajetórias complexas de uso e cobertura da terra. Nota-se que nesta componente possui mais trajetórias de degradação (D), e as mesmas apresentam maior detalhamento temporal em relação à 4º CP. A informação referente ao número de classes (C) e de transições (T) também foi apresentada nesta CP. A Figura 20 apresenta a distribuição espacial dessas trajetórias no Bioma Pampa.

A primeira trajetória complexa da 5º CP está representada na cor laranja na Figura 20 e é chamada de D, 2-4 C, 3-4 T. Esta representa um processo de degradação da cobertura natural, em que houve de três a quatro transições entre classes e a presença de duas a quatro classes de uso e cobertura da terra. Esta trajetória ocorre em áreas isoladas do Bioma com pequena extensão territorial, o que dificulta a sua visualização no mapa.

A trajetória D-R-D, 2-3 C, 2-3 T está representada em azul escuro no mapa da Figura 20. Esta apresenta um padrão em sequência de degradação, seguida por regeneração, e finalizada com degradação ao longo dos cinco anos base utilizados (1985, 1993, 2001, 2011 e 2020), não havendo um padrão na temporalidade de ocorrência desse ciclo. Além disso, esta trajetória está associada a presença de duas a três classes com duas a três transições entre elas. Nota-se a sua maior ocorrência na faixa litorânea, no Planalto Sul-Riograndense e nas depressões do Rio Jacuí e Ibicuí, bem como possui baixa presença no Planalto das Missões e das Araucárias. Assim como nas 3ª e 4ª componentes principais, essa trajetória traz uma sequência de processos que transcorreram no Bioma Pampa, adicionando novas informações a respeito da dinâmica espaço-temporal das mudanças no uso e cobertura da terra.

Figura 20 - Trajetórias Complexas do Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa da 5º Componente Principal.



Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
 Dados disponibilizados pelo IBGE.  
 Elaborado por Letícia Sartorio em Abr. 2023

As próximas quatro trajetórias são referentes ao processo de degradação no Bioma Pampa, com detalhamento temporal fornecido por intermédio dos fatores de carga. É importante apontar que o ano indicado não necessariamente representa a ocorrência exata do processo, mas sim o ano em que as mesmas foram visualizadas nas datas auxiliares. Portanto, a sua ocorrência temporal está alocada entre o ano do fator de carga anterior e o ano de visualização. Por exemplo, a degradação em 1993 pode ter ocorrido entre os anos de 1985 e 1993, já a degradação em 2020 pode ter ocorrido entre 2011 e 2020, separando os processos em faixas temporais.

A primeira trajetória complexa é a D em 1993, 2-3 C, 2-4 T, que indica a ocorrência de degradação até o ano de 1993, contando com duas a três classes de uso e cobertura da terra e de duas a quatro transições entre elas. Esta trajetória está representada pela cor amarela na Figura 20. Observa-se que a trajetória D em 1993, 2-3 C, 2-4 T possui baixa expressão espacial no Bioma, tornando a sua visualização difícil. Destaca-se, porém, sua ocorrência na área mais central do Bioma Pampa. Essa trajetória é interessante, pois apresenta um processo de degradação mais antigo (em 1993), próximo ao início da série temporal estudada.

O padrão D após 2001, 2 C, 1 T está representado em branco na Figura 20. Este padrão apresenta o processo de degradação com ocorrência posterior a 2001, contendo duas classes de uso e cobertura da terra e uma transição entre essas. Nota-se maior presença dessa trajetória sob o Planalto das Missões, área com significativas mudanças causadas pelo avanço da fronteira agrícola, mas a mesma possui ocorrência espacial em todo o Bioma Pampa. Este processo de degradação adiciona mais detalhamento temporal nos padrões espaciais das mudanças no uso e cobertura da terra no Bioma ao longo do período analisado. Porém, deve-se também destacar que, assim como na 4ª CP, há a presença de confusão entre os processos identificados.

Em rosa na Figura 20, temos a trajetória complexa D em 2011, 2 C, 1 T que representa o processo de degradação com ocorrência temporal até o ano de 2011, possuindo duas classes e uma transição entre as mesmas. Este processo predomina na 5ª componente principal, ocorrendo em todo o Bioma Pampa. Destaca-se no Planalto das Missões e no Planalto das Araucárias, indicando o avanço recente das áreas agropecuárias (principalmente de soja), mas há mistura com degradações mais

antigas. Ademais, há presença significativa desse processo na Campanha e Depressões Gaúchas, na faixa costeira e no Planalto Sul-Riograndense, mas, neste último, representa degradações com ocorrência temporal anterior a 2011.

A trajetória complexa D em 2020, 2 C, 1 T, está representada pela cor verde na Figura 20, e é o processo de degradação com ocorrência temporal até 2020, acompanhada de duas classes de uso e cobertura da terra e uma transição entre elas. Assim, esta trajetória representa processos recentes e degradação no Bioma Pampa, indicando uma direção mais atual que a fronteira agrícola está assumindo. Nota-se sua ocorrência na Campanha e Depressões Gaúchas, e na porção sul do Planalto das Araucárias, relacionada, principalmente, à expansão recente de áreas agropecuárias sob formações campestres remanescentes.

O processo de Estabilização está apresentado na cor cinza na Figura 20. Este indica, de forma similar na 2º, 3º e 4º CP, as áreas sem ocorrência de MUCT, podendo apontar áreas preservadas ou sem transições no período analisado. Deve-se atentar que as áreas classificadas como estáveis podem simplesmente não terem sido representadas por esta componente principal.

A 5º componente principal detalhou em termos temporais os processos MUCT já identificados pela demais CP. Acrescentando mais detalhes referentes a dinâmica do uso e cobertura da terra do Bioma Pampa. Da mesma forma que na 4º CP, destaca-se a dificuldade de interpretação desta componente, tanto pela baixa carga de informação como pelo uso de cinco mapas auxiliares (indicados pelo fator de carga).



### 6.1.6 Síntese

Para melhor entender os processos MUCT atuantes no Bioma Pampa produziu-se uma síntese dos processos encontrados por intermédio das componentes principais. As três primeiras componentes principais foram agrupadas visando sintetizar a dinâmica do uso e cobertura da terra do Bioma Pampa. Devido ao alto grau de complexidade, descartou-se a 4<sup>o</sup> e 5<sup>o</sup> CP, sabendo que as mesmas somente acrescentam detalhamento temporal, pois representam processos já identificados pelas CP anteriores. Portanto, os processos com maior significância espacial foram selecionados, somando ao total 20 que foram agrupados em 14. A Tabela 8 apresenta a síntese dos processos, identificados a partir dos valores das três primeiras componentes e a sua área em hectares (ha). Estes representam os processos concordantes entre as três primeiras CP, sendo mais homogêneos, no qual pequenas mudanças não estão presentes.

Tabela 8 - Síntese dos Processos Agrupados.

<b>Combinação</b>	<b>Novo termo</b>	<b>Área (ha)</b>
Agropecuária Consolidada + Expansão Soja + Expansão Agropecuária 1987- 2003	Expansão Soja entre 1987 e 2003	483.606
Agropecuária Consolidada + Expansão Agropecuária + Expansão Agropecuária 1987- 2003	Expansão Agropecuária entre 1987 e 2003	402.533
Agropecuária Consolidada + Intensificação Agropecuária + Intensificação Agropecuária e Expansão Silvicultura 1987 - 2003	Intensificação Agropecuária entre 1987 e 2003	330.757
Agropecuária Consolidada + Estabilização + Intensificação Agropecuária e Expansão Silvicultura 1987 - 2003	Intensificação Agropecuária entre 1987 e 2003	--
Agropecuária Consolidada + Intensificação Agropecuária + Intensificação Agropecuária e Expansão Silvicultura 2003 - 2019	Intensificação Agropecuária entre 2003 e 2019	1.197.220
Agropecuária Consolidada + Estabilização + Intensificação Agropecuária e Expansão Silvicultura 2003 - 2019	Intensificação Agropecuária entre 2003 e 2019	--
Agropecuária Consolidada + Intensificação Agropecuária + Estabilização	Intensificação Agropecuária	329.186
Áreas com MUCT + Expansão Soja + Expansão Agropecuária 1987- 2003	Expansão Soja entre 1987 e 2003	--
Áreas com MUCT + Regeneração + Expansão Agropecuária 1987- 2003	Regeneração de degradação antiga	220.653

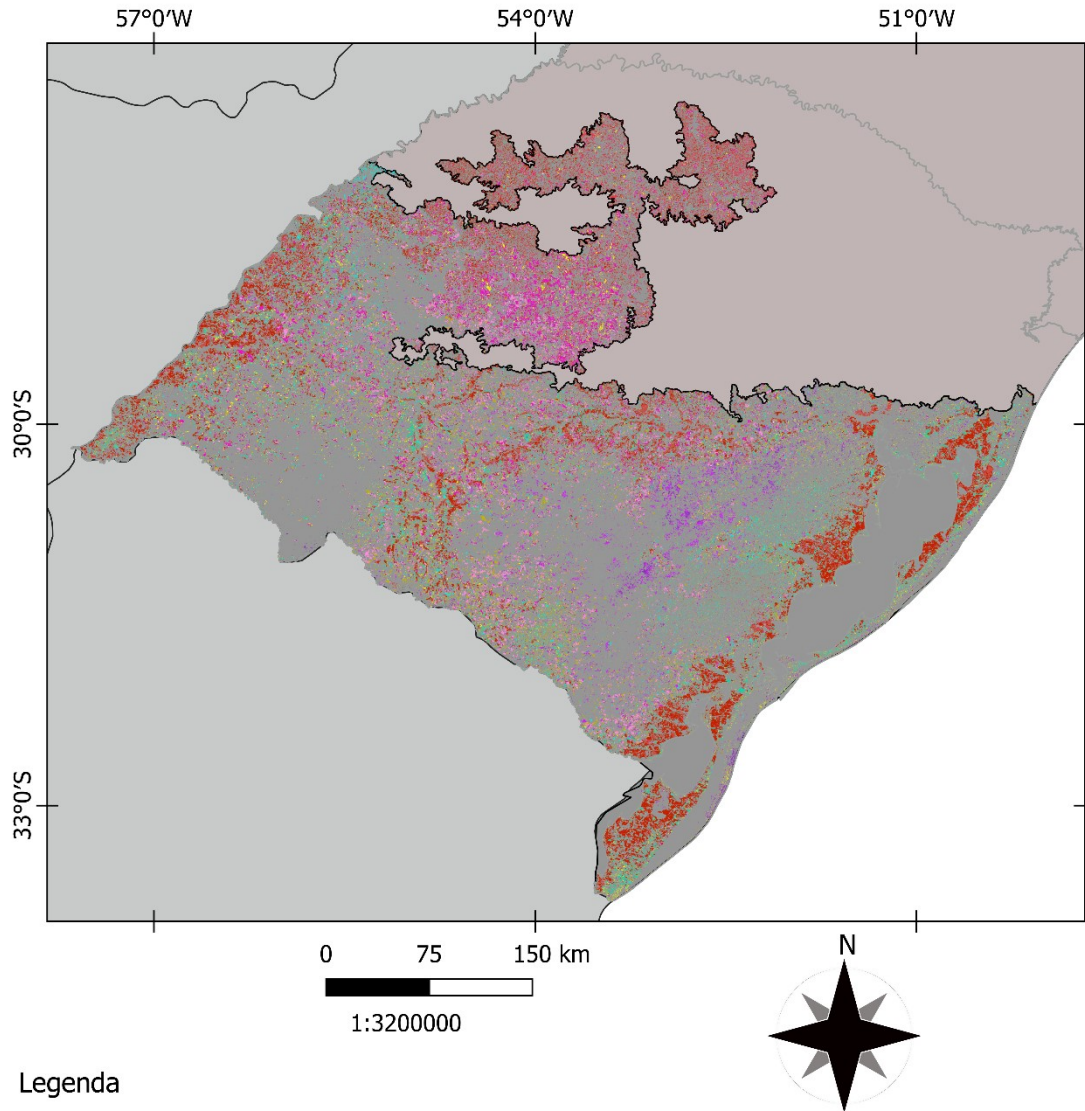
Áreas com MUCT + Expansão Silvicultura + Expansão Agropecuária 1987-2003	Expansão Silvicultura entre 1987 e 2003	182.866
Áreas com MUCT + Estabilização + Expansão Agropecuária 1987- 2003	Expansão Agropecuária entre 1987 e 2003	--
Áreas com MUCT + Expansão Soja + Intensificação Agropecuária e Expansão Silvicultura 1987 - 2003	Expansão Soja e Intensificação entre 1987 e 2003	46.800,4
Áreas com MUCT + Expansão Silvicultura + Intensificação Agropecuária e Expansão Silvicultura 1987 - 2003	Expansão Silvicultura entre 1987 e 2003	--
Áreas com MUCT + Expansão Silvicultura + Intensificação Agropecuária e Expansão Silvicultura 2003 - 2019	Expansão Silvicultura entre 2003 e 2019	254.421
Áreas com MUCT + Expansão Soja + Expansão Agropecuária 2003 - 2019	Expansão Soja entre 2003 e 2019	519.997
Áreas com MUCT + Expansão Agropecuária + Expansão Agropecuária 2003 - 2019	Expansão Agropecuária entre 2003 e 2019	543.586
Áreas com MUCT + Regeneração + Expansão Agropecuária 2003 - 2019	Regeneração de degradação recente	307.050
Áreas com MUCT + Estabilização + Expansão Agropecuária 2003 - 2019	Expansão Agropecuária entre 2003 e 2019	--
Áreas com MUCT + Expansão Soja + Estabilização	Expansão Soja	137.001
Áreas com MUCT + Regeneração + Estabilização	Regeneração	116.321

Fonte: Os autores (2023).

A síntese dos processos está apresentada na Figura 21. Os processos que representam a expansão de soja estão representados em tons de rosa. Dentre estes destaca-se Expansão Soja entre 1987 e 2003 (483.606 ha), em rosa escuro, sob o Planalto das Missões. Indicando um primeiro momento de avanço da soja em direção aos campos do Bioma Pampa. Também se evidencia a Expansão da Soja entre 2003 e 2019 (519.997 ha), em rosa claro, que aponta um segundo momento com a soja descendo o planalto e invadindo as formações campestres no centro do Bioma Pampa.

Figura 21 - Síntese dos Processos.

### Síntese dos Processos de Uso e Cobertura da Terra no Bioma Pampa



**Legenda**

**Processos**

- |  |   |
|--|---|
| Expansão Soja                                    | Intensificação Agropecuária entre 2003 e 2019 |
| Expansão Soja entre 1987 e 2003                  | Intensificação Agropecuária                   |
| Expansão Soja entre 2003 e 2019                  | Expansão Silvicultura entre 1987 e 2003       |
| Expansão Soja e Intensificação entre 1987 e 2003 | Expansão Silvicultura entre 2003 e 2019       |
| Expansão Agropecuária entre 1987 e 2003          | Regeneração                                   |
| Expansão Agropecuária entre 2003 e 2019          | Regeneração de degradação antiga              |
| Intensificação Agropecuária entre 1987 e 2003    | Regeneração de degradação recente             |
|  | Mata Atlântica                                |

Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000

Dados disponibilizados pelo IBGE.

Elaborado por Letícia Sartorio em Maio 2023

Fonte: A autora (2023).

Em tons de amarelo estão representados os processos referentes a Expansão da Agropecuária em dois períodos temporais (1987-2003: 402.533 ha; e 2003-2019: 543.586 ha). Estes ocorrem de forma mais significativa na Campanha e Depressões Gaúchas. Os processos que abrangem a Intensificação Agropecuária estão apresentados em tons de vermelho. A Intensificação Agropecuária entre 1987 e 2003 (330.757 ha), em vermelho claro, possui maior expressão espacial no Planalto das Missões, e indica a troca de áreas voltadas para a agropecuária para o cultivo de soja. Em vermelho escuro está apresentada a Intensificação Agropecuária entre 2003 e 2019 (1.197.220 ha), que se distribui nos entornos dos rios Jacuí e Ibicuí, e ao norte e oeste do Bioma Pampa. Por fim, a Intensificação Agropecuária (329.186 ha), em um tom alaranjado, ocorre na faixa litorânea e nas proximidades do Rio Jacuí.

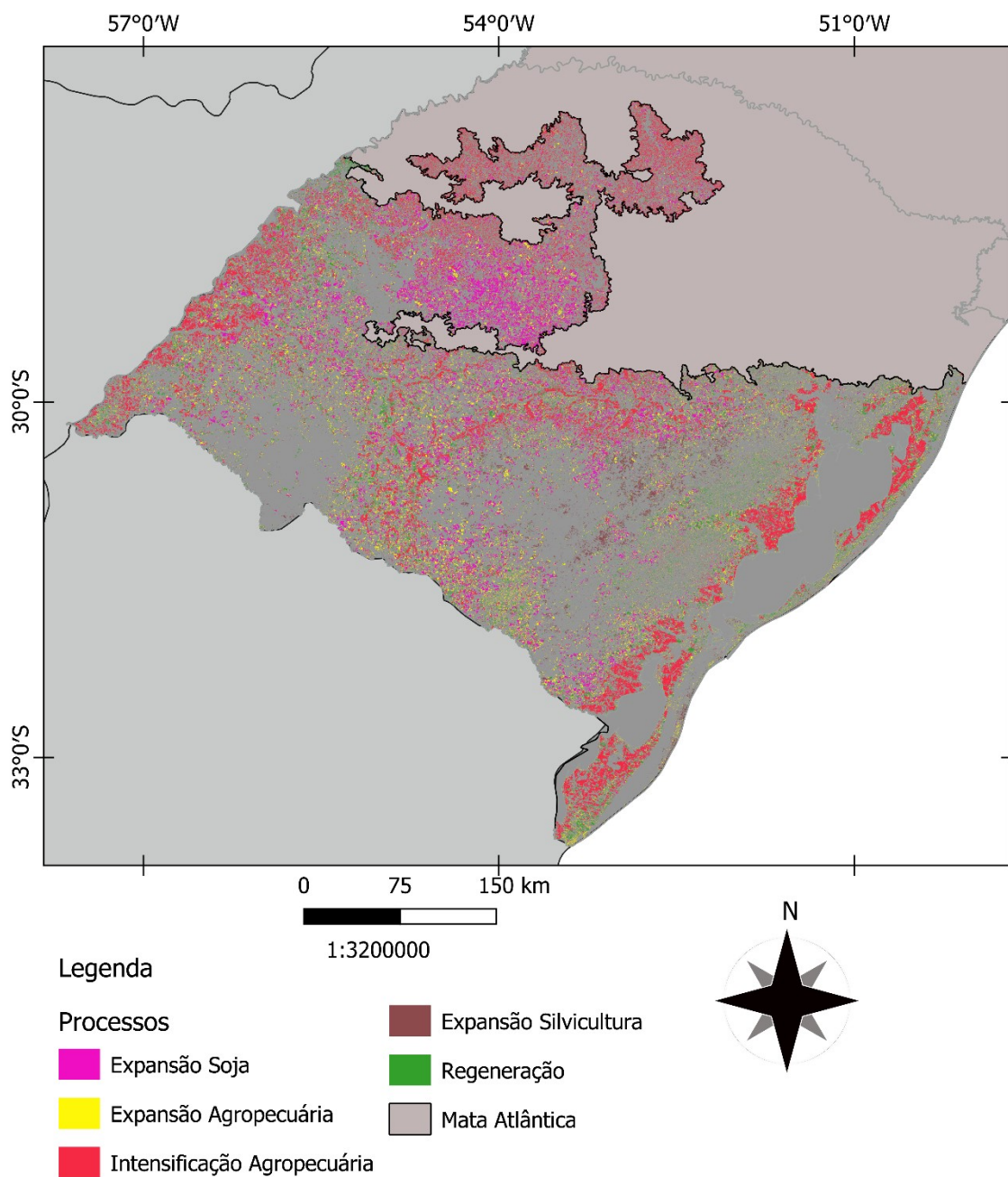
A Expansão da Silvicultura entre 1987 e 2003 (182.866 ha) está representada em tom de roxo e em lilás a Expansão da Silvicultura entre 2003 e 2019 (254.421 ha). Ambas se concentram sob o Planalto Sul-Riograndense. Os processos de regeneração estão apresentados em tons de verde e azul, sendo que há distinção temporal entre eles. Nota-se maior presença de regeneração na faixa litorânea, no Planalto Sul-Riograndense e nos entornos do Rio Jacuí.

Os processos da Figura 21 podem ser agrupados em cinco grupos: Expansão Soja, Expansão Agropecuária, Intensificação Agropecuária, Expansão Silvicultura, e Regeneração. A Figura 22 apresenta estes processos agrupados e a área em hectares para cada está apresentado na Tabela 9.

O processo de Expansão Soja, em rosa, apresenta significativa expressão espacial na porção norte do Bioma Pampa, sob o Planalto das Missões e das Araucárias. Mas, este também ocorre nas depressões do Rio Jacuí e do Rio Ibicuí e ao sul do Bioma. Assim, nota-se o avanço da agricultura de soja, principalmente, sobre as formações campestres, ocupando novos 1.187.404,4 ha entre 1985-2020.

Figura 22 - Processos Agrupados.

### Processos de Uso e Cobertura da Terra Agrupados no Bioma Pampa



Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
Dados disponibilizados pelo IBGE.  
Elaborado por Letícia Sartorio em Maio 2023

Fonte: A autora (2023).

A Expansão Agropecuária, em amarelo, possui ocorrência espacial por toda área de estudo e ocorreu em 946.119 ha do Bioma Pampa. Foi mais significativa na Campanha Gaúcha e nas Depressões Gaúchas, avançando em direção às áreas campestres naturais. A Intensificação Agropecuária, em vermelho, predominou na porção leste e oeste do Bioma Pampa e nos entornos dos rios Jacuí e Ibicuí. Estando relacionado a rotação entre as classes Agropecuária e Arroz. Ademais, ao norte este processo representa a substituição da agropecuária pelo cultivo da soja. Ao total, este processo correspondeu a 1.857.163 ha com presença de intensificação.

A Expansão da Silvicultura, em marrom, se concentrou no Planalto Sul-Riograndense, ocupando a área conhecida como Serra do Sudeste. Esta expansão converteu aproximadamente 437.287 ha de áreas naturais. Por último, a Regeneração, em verde, também ocorreu por todo o Bioma com uma área de 644.024 ha, destacando-se no Planalto Sul-Riograndense, na Planície Costeira e na Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praiais, na Campanha Gaúcha e na Depressão do Rio Ibicuí. Desta forma, estes processos agrupados representam as principais mudanças no uso e cobertura da terra no Bioma Pampa entre 1985 e 2020.

Destaca-se a Expansão da Soja e a Intensificação Agropecuária com as maiores áreas, seguidas pela Expansão Agropecuária. Estes processos indicam a forte transformação na paisagem do Bioma Pampa, com a supressão de suas áreas naturais. Ao total a expansão correspondeu a 2.570.810,4 ha, a intensificação a 1.857.163 ha, e a regeneração somente a 644.024 ha.

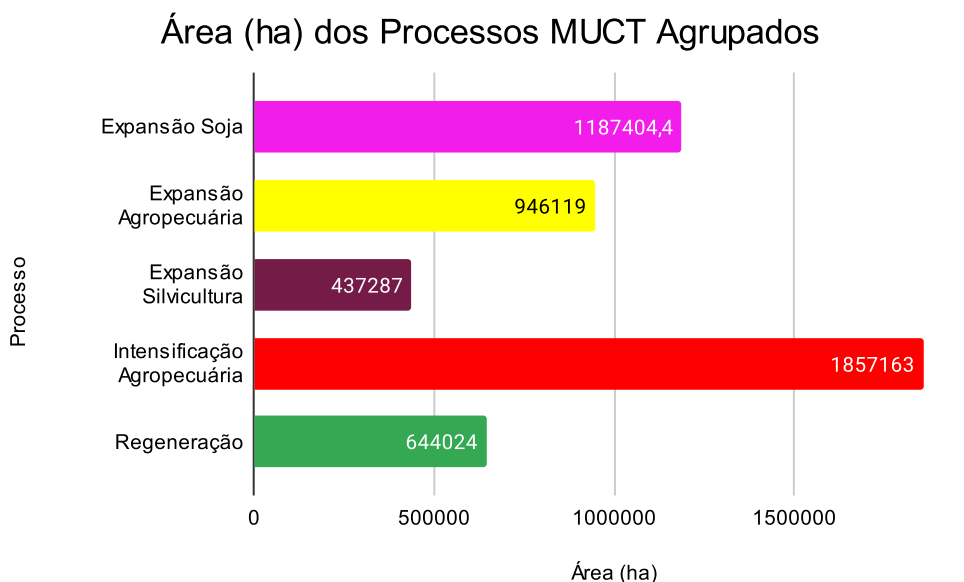
Tabela 9 - Área dos processos agrupados em Hectares.

<b>Processo</b>	<b>Área (ha)</b>
Expansão Soja	1.187.404,4
Expansão Agropecuária	946.119
Expansão Silvicultura	437.287
Intensificação Agropecuária	1.857.163
Regeneração	644.024

Fonte: A autora (2023).

Na Figura 23 podemos visualizar e comparar a área (em hectares) dos processos MUCT agrupados. No qual destaca-se a Intensificação da Agropecuária e Expansão da Soja e Agropecuária, com maior expressão espacial.

Figura 23 - Gráfico das Áreas (ha) dos Processos MUCT Agrupados.



Fonte: A autora (2023).

### 6.1.7 Discussão

Os resultados alcançados por meio da descrição do banco de dados do MapBiomas com Análise de Componentes Principais permitiram vislumbrar a dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra no Bioma Pampa. Sendo que com apenas cinco componentes principais foi possível analisar 83,03% da variância original dos dados. Facilitando a extração dos principais padrões espaço-temporais. Destaca-se a 4ª e a 5ª CP que trazem trajetórias complexas extremamente difíceis de serem identificadas a partir de análise visuais ou bitemporais. Ademais, a combinação das 3 primeiras componentes produziu uma síntese que representa a dinâmica da paisagem do Bioma Pampa, de maneira simplificada.

Os processos de MUCT identificados no Bioma Pampa tornam evidente a transformação da paisagem, com redução das áreas de formações campestres pelo avanço de usos antrópicos. Os campos naturais do Bioma Pampa são convertidos

majoritariamente em usos agrícolas, como soja, silvicultura e agropecuária. A partir dos resultados evidencia-se que a transformações em grande escala das áreas campestres é recente no Bioma Pampa (ocorrendo entre 1995 e 2010), associada a substituição da pecuária pela agricultura de grande porte. De acordo com Chomenko (2016), além da pecuária extensiva ser a atividade econômica mais tradicional e antiga do Bioma, ela também contribui para a manutenção dos ambientes campestres do Bioma Pampa.

Alguns autores também analisaram as mudanças no uso e cobertura da terra no Bioma Pampa e encontraram resultados semelhantes. Kuplich, Capoane e Costa (2018) apontam que o avanço da fronteira agrícola está em ascensão no Bioma Pampa. Os autores analisaram a evolução da área plantada de soja no Bioma entre 2000 e 2015. No ano de 2000 a produção de soja estava concentrada na fronteira oeste, já em 2015 a soja estava presente em 80% dos municípios que constituem o Bioma Pampa. Expressando o avanço desse cultivo sobre o Bioma (KUPLICH; CAPOANE; COSTA, 2018). Este movimento pode ser também observado a partir da Figura 12, em que visualizamos a expansão da soja no Bioma.

Oliveira (2020) analisou as mudanças no Bioma Pampa, a partir de matrizes de transição e dados do MapBiomas entre 1987 e 2017, e relatou que o Bioma apresenta alterações na estrutura da paisagem causadas pela inserção da pecuária e da agricultura, esta foi implementada principalmente por colonos. Os resultados encontrados por Oliveira (2020) indicam a redução das áreas de formações campestres pelo crescimento das áreas agrícolas no período analisado. Neste estudo também se observou a existência de remanescentes de formações campestres no Bioma Pampa, principalmente a sudeste e sudoeste do Bioma. Sendo que, a sudoeste, encontra-se a Área de Proteção Ambiental do Ibirapuitã que contribui para a preservação das áreas naturais (OLIVEIRA, 2020). A expressiva alteração na estrutura da paisagem do Bioma Pampa também foi encontrada neste trabalho, essa mudança pode ser visualizada por meio da Figura 12. Os processos de expansão agrupados representam a supressão de áreas naturais e a 1ª CP (Figura 8) apresenta as áreas de formações campestre consideradas preservadas.

Ademais, a principal mudança observada por Oliveira (2020) foi a conversão de campos naturais para agricultura. Dos 2.545.002 ha de expansão da classe



agricultura, 2.290.000 ha foram sob a classe de formação campestre e 231.932 ha sob a classe de floresta. Estes valores exprimem o papel crucial da agricultura na supressão das áreas naturais do Bioma Pampa. Por outro lado, também ocorreu regeneração de formações campestres, em sua maioria em áreas anteriormente agrícolas. O processo de regeneração de áreas agrícolas também foi identificado e pode ser facilmente visualizado na Figura 12.

A autora também aponta que a cultura do arroz alterna entre períodos de cultivo e de pousio, no qual há a regeneração das áreas utilizadas, implicando no aumento de áreas campestres. Assim, nota-se o papel da agricultura na mudança da estrutura da paisagem do Bioma Pampa, afetando os ecossistemas presentes (OLIVEIRA, 2020).

Mengue et al. (2020) analisou os processos de uso e cobertura da terra no Bioma Pampa brasileiro entre 2000 e 2014. Os resultados indicam a redução de formações campestres e a expansão de classes agrícolas, como soja e arroz, e da silvicultura. As formações campestres reduziram em 25% da sua área total em 15 anos. Por outro lado, a área de soja obteve um crescimento de 145.56% no mesmo período, e a silvicultura de 167%, se distribuindo principalmente na Serra do Sudeste e na faixa costeira. Ademais, cerca de 98% da redução dos campos naturais está associada a atividades antrópicas, como silvicultura e agricultura (MENGUE et al., 2020). Tais resultados evidenciam o papel crucial das ações humanas sob a degradação das áreas naturais.

Em Mengue et al. (2020) também foram observadas mudanças significativas de uso e cobertura da terra no norte do Bioma, causadas em maioria pela conversão de áreas campestres em áreas voltadas para o plantio de soja. Esta área possui baixa declividade e solos mais férteis em relação a outras áreas do Bioma Pampa, o que pode estar relacionado à implementação do cultivo. A expansão de soja também foi observada nos entornos do Rio Jacuí e ao sudeste do município de Pelotas, em áreas que tradicionalmente há o cultivo de arroz irrigado em áreas úmidas (MENGUE et al., 2020). O crescimento da área com soja nas localidades citadas pelo autor também foi verificado neste estudo (Figura 12, Figura 22).

Moreira, Conterato e Matte (2019) colocam que a expansão das áreas de soja está transformando a tradicional paisagem campestre do Bioma Pampa e Beling, Cancelier e Flores (2022), ao analisarem as transformações do espaço rural do Bioma Pampa, também destacam a expansão da agricultura, com o crescimento da soja, arroz, silvicultura, viticultura e olivicultura. Estas alteraram a paisagem tradicional do Bioma, com a redução da pecuária e de elementos que compõem a cultura gaúcha. Tais mudanças foram causadas pela modernização da agricultura (maquinário, agrotóxico, sementes transgênicas), pelo arrendamento de terras e pela ação do capital. Sendo que estes foram essenciais para o crescimento da área de soja no Bioma Pampa. (MOREIRA; CONTERATO; MATTE, 2019; BELING; CANCELIER; FLORES, 2022).

A produção de soja aumentou consideravelmente no Bioma Pampa, trocando a cobertura campestre pela monocultura. No Rio Grande do Sul as áreas indicadas para o cultivo da soja, ao norte no Planalto, estão se esgotando ou se tornando muito caras para a produção. Fazendo com que esta cultura se expanda para áreas que não eram consideradas aptas, como nas áreas de solos arenosos ao sul do estado (BELING; CANCELIER; FLORES, 2022). Este fator pode justificar o movimento da fronteira agrícola identificado em direção aos campos do Bioma Pampa.

A expansão da produção de soja em direção a porção sul do estado é majoritariamente impulsionada por investidores no setor da soja que atuam na parte norte do Rio Grande do Sul e ocorre através de compra e arrendamento de terras. A menor produção de soja por hectare no Bioma Pampa, em relação ao norte do Estado, é compensada pelo baixo valor da terra (BELING; CANCELIER; FLORES, 2022).

As áreas de pastagens naturais servem de base alimentar para os rebanhos, porém, mesmo com essa disponibilidade, nota-se a supressão dessas áreas em detrimento da implementação da soja e da silvicultura, evidenciando um processo de alteração da base produtiva e socioeconômica da região. O preço no mercado internacional da soja tem papel importante nessa transformação, influenciando na troca da prática da pecuária pela monocultura da soja (MOREIRA; CONTERATO; MATTE, 2019).

Moreira, Conterato e Matte (2019) apresentam que a bovinocultura está entrelaçada na cultura do gaúcho e no Bioma Pampa, influenciando no modo de vida dos pecuaristas. As autoras também apontam que os estancieiros e pecuaristas familiares podem ser considerados grupos sociais tradicionais do Bioma Pampa, pois mantêm viva a tradição da pecuária e auxiliam na conservação das pastagens naturais (MOREIRA; CONTERATO; MATTE, 2019). Portanto, a redução das áreas campestres não representa somente uma alteração na estrutura e configuração espacial da paisagem, mas uma mudança de cunho cultural, pois, a cultura gaúcha tem como base os campos e a pecuária. No momento em que estes elementos culturais não mais compõe a paisagem, torna-se difícil realizar o processo de identidade com esse território. Devido ao desaparecimento dos elementos característicos, o grupo social se reduz e o sentimento de pertencimento se esvai.

O processo de degradação das áreas campestre possui alta complexidade e envolve diversos fatores, com tendência a ocorrer próxima a áreas já degradadas, com especial contribuição da expansão de áreas de soja e silvicultura. Mengue et al. (2020) também destaca que a degradação florestal foi maior na porção leste do Bioma Pampa e ao redor o Rio Jacuí.

A silvicultura também vem alterando algumas áreas do Bioma, principalmente com a plantação das espécies de eucaliptos, pinus e acácia-negra. Deve-se considerar que a disponibilidade de terras possui um papel importante no avanço da soja e da silvicultura sobre o Bioma Pampa (BELING; CANCELIER; FLORES, 2022). A expansão da silvicultura ocorre predominante em áreas campestres, alterando de forma drástica a paisagem tradicional do Bioma. Este processo se concentra na região da Serra do Sudeste, que possui relevo mais acentuado, solos rasos e menos férteis, em relação a outras áreas (MENGUE et al., 2020). A partir da Figura 12 e Figura 21 é possível visualizar a área de expansão de silvicultura.

A inserção da Silvicultura nas áreas campestres do Bioma Pampa modificou a estrutura da paisagem e a sua composição em termos de espécies. Habitats altamente diversos são substituídos por monoculturas florestais simples, levando à degradação e fragmentação da paisagem do Bioma. A remoção da cobertura natural para a instalação da silvicultura afeta o funcionamento dos ecossistemas, causando a extinção de espécies e a perda de patrimônio genético do Bioma, contribuindo para a

redução da diversidade dos campos naturais (ZARTH; GERHARDT, 2009; SILVA, 2012).

Zarth e Gerhardt (2009), ao abordarem a silvicultura no Bioma Pampa, expressam que essa prática atende o mercado internacional de celulose e papel, mantendo a desigualdade social existente e impactando de forma negativa o ambiente. O desaparecimento do campo leva ao esvaziamento da cultura gaúcha, criada e mantida na vida campestre. Mas, além disso, os cultivos florestas impactam diretamente na disponibilidade hídrica no Bioma, que não se distribui igualmente, sendo ponto de disputa entre diversas regiões (SILVA, 2012).

Silva (2010) apresenta que em 2004 a Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul iniciou o processo para o desenvolvimento do Zoneamento Ambiental da Silvicultura (ZAS) no estado. Entretanto, houve conflitos ao longo da sua etapa de aprovação entre os empresários do ramo e os técnicos do setor ambiental, por conta das restrições imposta pela ZAS. A FEPAM em 2005 definiu as etapas para o licenciamento ambiental da silvicultura. Sendo que em 2007 houve o lançamento de uma versão da ZAS para todo o estado, que definia e limitava as áreas voltadas para o cultivo de espécies exóticas (ZARTH; GERHARDT, 2009).

Em vista disso, a agricultura mecanizada, baseada na monocultura de *commodities* agrícolas de exportação, vem alterando a paisagem campestre do Bioma. Cabe lembrar que a expansão da agricultura no Bioma Pampa manteve a concentração de terra e a pobreza, e ainda intensificou os riscos de contaminação ambiental por agrotóxicos. Porém, os impactos da prática são totalmente ignorados em relação ao lucro financeiro trazido pela soja (ZARTH; GERHARDT, 2009).

Consequentemente, os campos do Bioma Pampa vão desaparecendo, e a esse pacote soma-se perda de biodiversidade, erosão do solo e contaminação de água e solos por agrotóxicos. Além disso, o cultivo de arroz irrigado também está associado a uma série de problemas de cunho ambiental. O uso de adubos químicos, herbicidas e inseticidas que se integram a água e se direcionam para cursos hídricos, contaminando e prejudicando toda cadeia que utiliza esta água. O uso indiscriminado da água para irrigação, com seus desvios para captação, também compromete os fluxos de origem natural (ZARTH; GERHARDT, 2009).

A redução das formações campestres do Bioma Pampa causa a fragmentação dos ecossistemas e impacta a biodiversidade local, pelo aumento do risco de extinção das espécies nativas. Ademais, facilita a intrusão de espécies exóticas (ex: capim-annoni) nos campos (PILLAR et al., 2016). Medidas devem ser tomadas para proteger o Bioma Pampa e manter as áreas campestres, como a correta aplicação da lei ambiental e da criação de unidades de conservação. Ademais, é necessário a aplicação de manejo adequado das práticas agropecuárias (KUPLICH; CAPOANE; COSTA, 2018).

O avanço da produção de grãos não se restringe ao Bioma Pampa, pois a expansão do agronegócio é um processo de múltiplas escalas, do local ao global, estando estas relacionadas. O valor da produção agrícola cresceu nos países da América do Sul entre 1990 e 2013, com aumento maior nos países constituintes do MERCOSUL. Importante notar que a maioria da produção é destinada ao mercado internacional (PAIVA; BACHA, 2019). A nível de Brasil houve a triplicação das exportações do agronegócio entre 1989 e 2004, colocando o país como um dos maiores produtores e exportadores de produtos agrícolas (CONTINI et al., 2006; PAIVA; BACHA, 2019). A pecuária com base na bovinocultura possui importante papel na economia do Brasil. Entretanto, nas últimas décadas a prática tem se deslocado para o norte do país, e as áreas de pecuária consolidada (antiga) vem sendo substituídas por culturas agrícolas com maior rendimento monetário por área (TEIXEIRA; HESPANHOL, 2014). No caso do Bioma Pampa o deslocamento agrícola é em direção ao sul, substituindo as áreas de pastagens.

Entre 1991 e 2006 houve um aumento de 106,74% na produção de grãos no Brasil. A demanda do mercado internacional desempenha importante papel nas exportações do agronegócio, gerando superávits comerciais. A soja é a cultura que assume a frente na expansão do agronegócio, com crescimento da área a uma taxa de 3,62% por ano entre 1975 e 2007 (ALVES; CONTINI; GASQUES, 2008; CONAB, 2016). Essa cultura foi a que obteve maior crescimento ao longo das últimas três décadas no Brasil, com as maiores produções no Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Goiás (CONAB, 2016). Além disso, Conab (2016) apresenta que a soja é a cultura com maior volume de produção no território brasileiro, sendo o Brasil um dos maiores produtores do mundo.

Esse movimento em escala nacional, influenciado pelo mercado internacional, reflete na escala do Bioma Pampa com o avanço da sojicultura. Santos (2020) expõe que entre 2000/01 e 2018/19 houve um aumento de 170% na produção de soja no estado do Rio Grande do Sul, com a área plantada passando de 2,97 mha para 5,8 mha (95,3% de crescimento). Ao comparar os dados do censo agropecuário para o estado do Rio Grande do Sul entre 2006 e 2017, evidencia-se uma redução nas pastagens e um crescimento das lavouras na utilização das terras dos estabelecimentos (FEIX et al., 2022). O último censo agropecuário também indica o crescimento da concentração fundiária e da área média dos estabelecimentos gaúchos. Em termos econômicos o RS colaborou com 11,7% no valor adicional bruto da agropecuária em 2019. Vale mencionar que significativa porção da produção do agronegócio gaúcho é exportada, com uma taxa de crescimento de 4,6% ao ano entre 2010 e 2021. Sendo os setores da soja, da carne, do fumo e dos produtos florestais os que mais exportam. A soja foi o grão com maior expansão no estado, este foi incentivado pela demanda externa e pela alta nos preços da commodities. Assim, a sojicultura passou a ocupar lugares que antes eram voltadas para lavouras temporárias (milho e arroz) e pecuária (FEIX et al., 2022).

Beling, Cancelier e Flores (2022) destacam que o Bioma Pampa possui diversas alternativas produtivas para desenvolver a região e manter o Bioma. Dentre elas há a olivicultura e viticultura, que são práticas sustentáveis e ajustáveis ao Bioma Pampa. Mas para isso é importante que as distintas esferas do poder público incentivem a diversificação da matriz produtiva e assegure a proteção dos atributos naturais e culturais da área (BELING; CANCELIER; FLORES, 2022).

Por fim, ressalta-se que as mudanças no uso e cobertura da terra no Bioma Pampa não são somente modificações em mapas ou em *pixels*. Estas representam mudanças na estrutura e configuração espacial da paisagem, que conseqüentemente afeta todo o sistema e seus elementos interligados em distintas escalas. Sistema complexo, com dinâmicas complexas trazem problemas altamente complexos. Assim, os processos MUCT identificados afetam e repercutem nos ecossistemas, nos seus fluxos de matéria e energia, mas também impactam todo um grupo social que faz parte de uma cultura. A mudança de um *pixel* de formação campestre para soja, não é somente uma troca de valores de reflectância, mas uma transformação radical

na percepção, nas raízes, no habitat, na economia, no social etc. Mudança que está associada a uma série de impactos socioambientais

## 6.2 Mapeamento das Unidades da Paisagem em nível de Geocomplexos e Geofácies do Bioma Pampa

A paisagem do Bioma Pampa foi hierarquizada segundo a proposta de Bertrand (2004), definindo a zona, o domínio, a região e a unidade. A Tabela 10 apresenta a hierarquia desenvolvida.

Tabela 10 - Hierarquia da Paisagem do Bioma Pampa.

Zona	Domínio	Região	Unidade
Pampa	Planalto Meridional	Planalto da Campanha	Planalto da Campanha (PC)
		Planalto das Missões	Planalto das Missões (PM)
		Planalto das Araucárias	Planalto dos Campos Gerais (PCG)
	Depressão Periférica	Planícies Fluviais	Depressão do Rio Jacuí (DRJ)
			Depressão do Rio Ibicuí (DRI)
	Escudo e Cinturão Uruguaio Sul-Riograndense	Planalto Sul-Riograndense	Planalto Rebaixado Sul-Riograndense (PRBSR)
			Planaltos Residuais Sul-Riograndense (PRSR)
	Planície e Terras Baixas Costeiras	Planícies Costeiras	Planície Lagunar Patos-Mirim (PPM)
			Colinas Litorâneas (CL)
		Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praiais	Planícies Litorâneas (PL)
Formas Atuais	Depósitos Sedimentares Quaternários	Formas Agradacionais Atuais e Subatuais Interioranas	Planícies Alúvio-coluvionares (PAC)

Fonte: A autora (2023).

Para cada uma das unidades definidas foram mapeados os geocomplexos (modelado) e estes particionados em geofácies de acordo com a sua dinâmica de evolução da paisagem. A seguir, será explicada a hierarquia proposta e apresentada as suas características.



### 6.2.1 Zona

O nível de zona está relacionado à escala planetária, podendo ser definida pelos seus climas e biomas, associadas a certas megaestruturas (BERTRAND; BERTRAND, 2002). Assim, a zona corresponde ao Bioma Pampa em sua totalidade espacial. Walter (1986) classificou a região do Bioma Pampa no Zonobioma V (Bioma Pampa em transformação). Em relação às características climáticas, Botelho e Júnior (2016) exprimem que o Bioma Pampa possui um clima chuvoso, sem a delimitação de um período seco, e com verões quentes. A precipitação possui baixa variação sazonal, reduzindo em direção ao sul e interior do continente, onde há ocorrência de seca no verão (LIMA; CANO; NASCIMENTO, 2016; PILLAR *et al.*, 2016). Frentes frias originárias da Antártica invadem o Bioma no inverno, mas os campos do Bioma Pampa estão acostumados e adaptados ao clima mais frio do Brasil, com temperaturas negativas, geadas e eventualmente a queda de neve (SUERTEGARAY; SILVA, 2009; LIMA; CANO; NASCIMENTO, 2016).

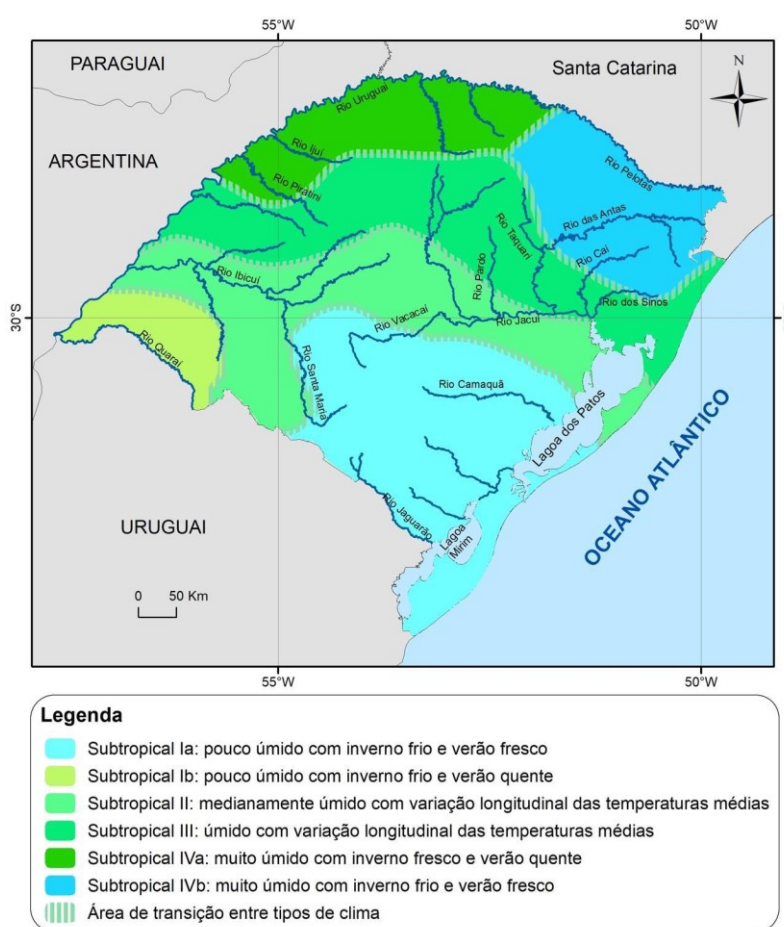
Rossato (2020) elaborou uma classificação climática para o estado do Rio Grande do Sul. Figura 24 apresenta os tipos climáticos identificados, ao total foram quatro climas subtropicais, sendo que dois possuem subdivisões.

O único tipo climático que não há no Bioma Pampa é o Subtropical IVb, que se concentra no nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Subtropical I é pouco úmido e se divide em Ia e Ib. O Subtropical Ia é pouco úmido com inverno frio e verão fresco, possui influência dos sistemas polares, da corrente fria das Malvinas e do relevo (Escudo Sul Rio-Grandense e Planície Costeira). A precipitação anual é entre 1200-1500 mm e a temperatura média anual entre 17-20° C. Já o Ib é pouco úmido com inverno frio e verão quente, sofrendo a influência de sistemas polares e tropicais conjugados com a continentalidade e relevo (Cuesta do Haedo). A precipitação anual é de 1400-1700 mm e temperatura média anual de 20-23°C (ROSSATO, 2011; ROSSATO, 2020).

O tipo climático Subtropical II é medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias. As precipitações variam entre 1500-1700 mm ao ano com uma temperatura média anual de 17-20°C. Encontra-se sob ação dos sistemas polares e tropicais continentais, mas também com influência dos marítimos, do relevo

(Depressão Central), da continentalidade e maritimidade. Por outro lado, o Subtropical III é úmido com variação longitudinal das temperaturas médias. Predomina a influência dos sistemas tropicais associados ao relevo (escarpa e vales da borda do Planalto Basáltico), a continentalidade, a maritimidade e das áreas urbanas. A precipitação anual é de 1700-1800 mm com a temperatura média anual de 17 a 20°C. Salienta-se que nesta região há o aumento da temperatura a oeste e nas grandes manchas urbanas (ROSSATO, 2011; ROSSATO, 2020).

Figura 24 - Tipos Climáticos do Rio Grande do Sul.



Fonte: Rossato (2011, 2020).

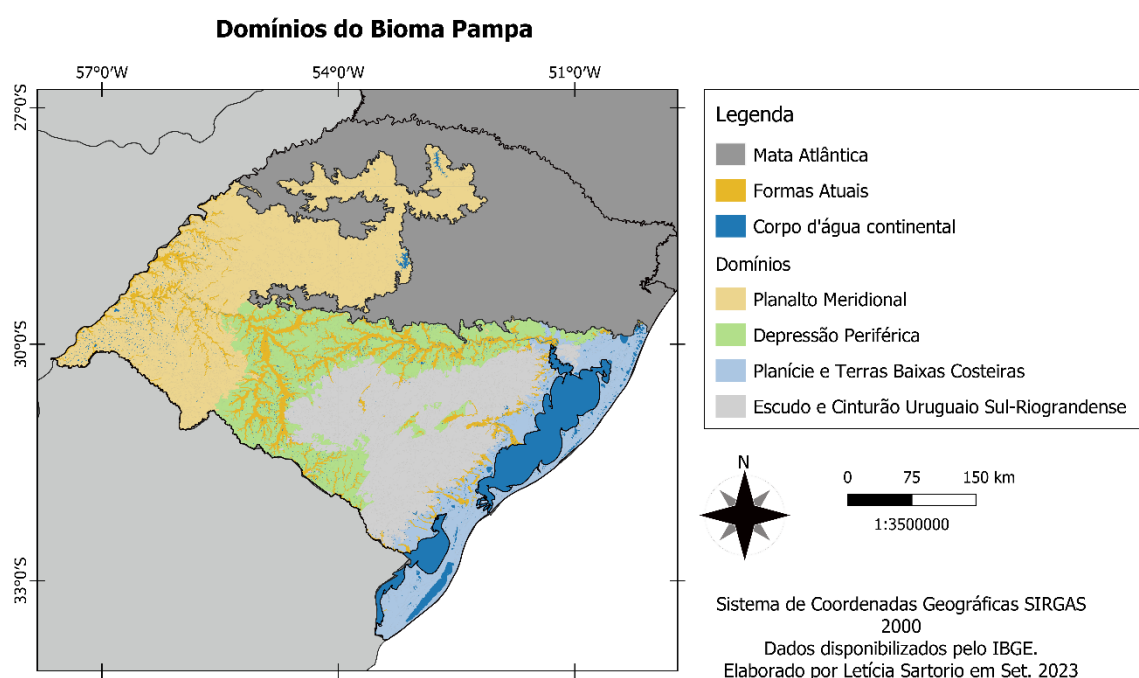
Por fim, o Bioma Pampa também possui o tipo climático Subtropical IV que se caracteriza por ser muito úmido com inverno fresco e verão quente. A precipitação anual fica em torno de 1700-1900 m com temperatura média anual de 20-23°C. Possui menor influência dos sistemas polares, com maior ação dos sistemas tropicais

marítimos e continentais na primavera e verão relacionados ao efeito do relevo (Planalto Basáltico) e da continentalidade (ROSSATO, 2011; ROSSATO, 2020).

### 6.2.2 Domínio

Foram definidos cinco domínios para o Bioma Pampa com base nas províncias estruturais, sendo morfoestruturas: Planalto Meridional, Depressão Periférica, Escudo e Cinturão Uruguaio Sul-Riograndense, e Planície e Terras Baixas Costeiras. Importante notar a presença das Formas Atuais (Depósitos Sedimentares Quaternários), representando uma morfoescultura, que não se trata de um domínio e se distribui na área de estudo. Estes podem ser visualizados na Figura 25.

Figura 25 - Domínios do Bioma Pampa.

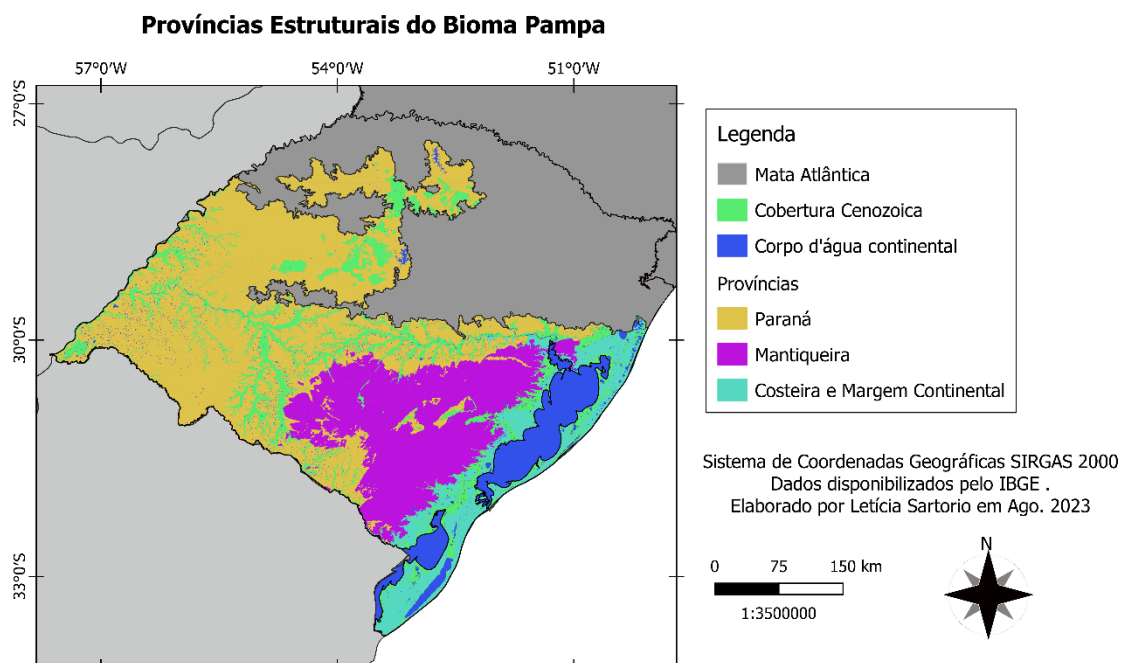


Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

As províncias estruturais representam regiões geológicas com evolução histórica própria e características referentes a distintos processos tecnoestratigráficos, que as diferenciam das áreas adjacentes. Estas estruturas geológicas influenciam na configuração do relevo (IBGE, 2019b). Figura 26 apresenta as

províncias estruturais no Bioma Pampa, sendo elas: Paraná, Mantiqueira, Costeira e Margem Continental, e a Cobertura Cenozoica, que não se trata de uma província.

Figura 26 - Províncias Estruturais.



Fonte: Cartografia da autora (2022). Dados: IBGE.

A província da Mantiqueira representa cinturões orogênicos gerados durante o Ciclo Orogrênico Brasileiro, produto do processo de fechamento do paleo-oceano Adamastor, para formar a Gondwana. Assim, possui um sistema de orógenos acrescionários e colisionais que se conectam e unem fragmentos de continentes antigos (IBGE, 2019b). Esta província estrutural equivale ao domínio Escudo e Cinturão Uruguaio Sul-Riograndense na hierarquia proposta (Tabela 10).

A província do Paraná compreende a bacia paleozoica pós-brasiliana. Apresenta distintas litologias, como o basalto da Formação Serra Geral e arenitos eólicos da Formação Botucatu. A Formação Botucatu é composta por arenitos de estratificação cruzada devido à deposição eólica inclinada em um ambiente desértico. Tal formação abrange toda bacia do Paraná com espessura média de 100 m e remonta há mais de 220 milhões de anos. A Formação Serra Geral se relaciona ao vulcanismo fissural sobre os sedimentos da província causado pela fragmentação da Gondwana. Esse derrame basáltico gerou paisagens tabulares que produziram a

Serra Geral (SUERTEGARAY; SILVA, 2009; ROESCH, *et al.*, 2009; IBGE, 2019b). Na hierarquia proposta (Tabela 10) esta província foi repartida nos domínios Planalto Meridional e Depressão Periférica, seguindo a divisão das subprovíncias estruturais (mapa C2 no APÊNDICE C).

Ambas as Coberturas Cenozoicas e província Costeira e Margem Costeira são unidades pós-brasílicas e foram formadas posteriormente à fragmentação do supercontinente Gondwana. A província Costeira e Margem Costeira compreende o litoral e a margem continental, abrangendo os depósitos Cenozoicos e as bacias costeiras da margem passiva. A evolução da Planície Costeira nesta província está relacionada a eventos de transgressão marinha no Quaternário. Já, a Cobertura Cenozoica abrange sequências sedimentares que preencheram bacias e depressões no continente durante o Cenozoico (IBGE, 2019b). Na hierarquia proposta a província Costeira e Margem Continental equivale ao domínio Planície e Terras Baixas Costeiras, e as Coberturas Cenozoicas as Formas Atuais (Depósitos Sedimentares Quaternários), que se trata de uma morfoescultura e não um domínio (Tabela 10).

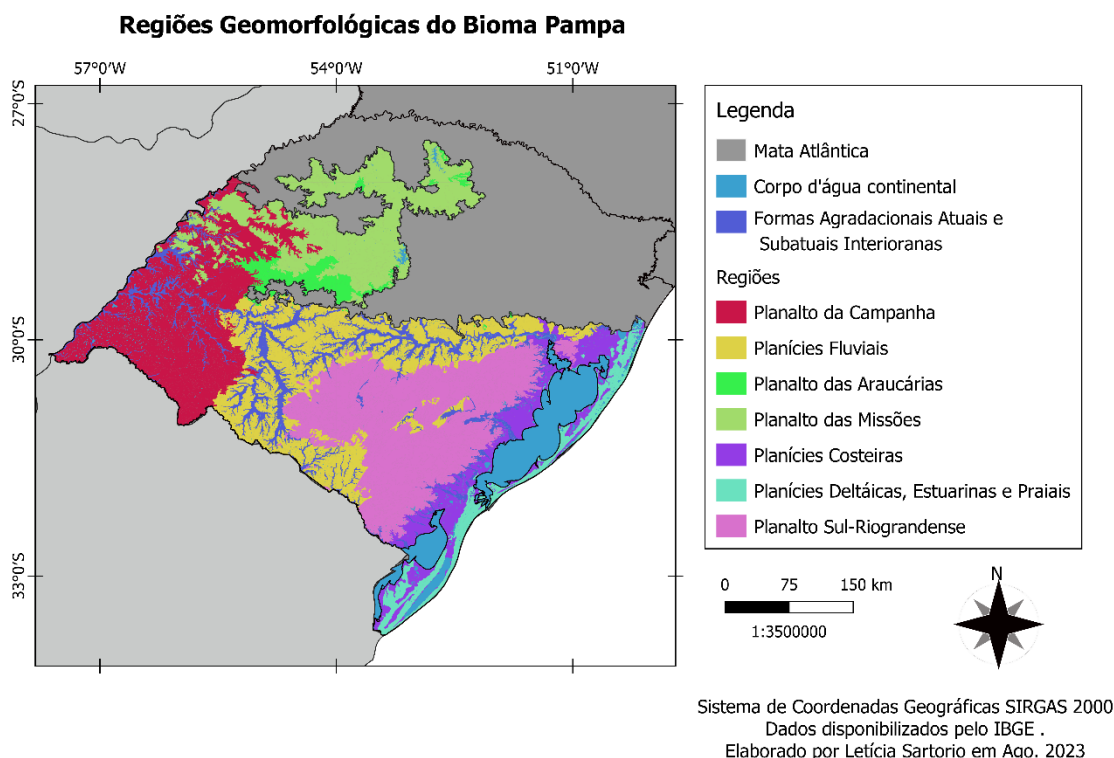
### 6.2.3 Região

O nível de região foi definido a partir das regiões geomorfológicas do Bioma Pampa (Figura 27). Segundo IBGE (2009) as regiões correspondem ao segundo nível hierárquico na classificação do relevo. Sendo estes compartimentos dos conjuntos morfoestruturais que possuem características genéticas comuns geradas pelos fatores climáticos atuais e pretéritos. Assim, agrupam feições semelhantes, em relação as formas superficiais e fitofisionomias (IBGE, 2009).

O domínio do Planalto Meridional é repartido em três regiões: Planalto da Campanha, Planalto das Missões e Planalto das Araucárias. O Planalto das Araucárias se localiza no norte do Bioma Pampa, como o Planalto das Missões. No primeiro predomina uma superfície de dissecação homogênea com relevo de colinas onduladas, mesetas, esculpida em rochas ácidas da Formação Serra Geral (ROBAINA; TRENTIN; SCCOTI, 2021). O Planalto das Missões apresenta rochas vulcânicas ácidas e básicas, onde o processo de dissecação atua no

desenvolvimentismo das colinas onduladas, em cotas de 300-700 m com superfícies planálticas (VIERO; SILVA, 2010; BOTELHO; JÚNIOR, 2016; ROBAINA; TRENTIN; SCCOTI, 2021).

Figura 27 - Regiões Geomorfológicas do Bioma Pampa.



Fonte: Cartografia da autora (2022). Dados: IBGE.

A região do Planalto da Campanha tem como base rochas vulcânicas e marca a troca de áreas de superfície de dissecação para superfícies planas em zonas interfluviais. O relevo é em sua maioria de colinas levemente onduladas (2-5% de inclinação), com colinas onduladas (5-15% de inclinação) e áreas planas, e as áreas interfluviais possuem modelado de coxilhas (BOTELHO; JÚNIOR, 2016; ROBAINA; TRENTIN; SCCOTI, 2021). Localiza-se no sudoeste do Rio Grande do Sul, com compartimentos altimétricos entre 70 e 300m (VIERO; SILVA, 2010).

O domínio da Depressão Periférica contém a região das Planícies Fluviais. As Planícies Fluviais são formadas por rochas sedimentares da Bacia do Paraná (Gondwânica) e representam áreas interplanálticas. São zonas rebaixadas

topograficamente no Bioma Pampa, em que há um relevo plano com baixa inclinação e colinas levemente onduladas. As colinas, localmente denominado de coxilhas, possuem diferentes níveis de dissecação, que podem gerar relevos de colinas amplas e suaves ou de colinas baixas, podendo ser pouco ou muito dissecadas. Esta área de depressão possui pouca variação altimétrica ao longo de sua extensão, em que as maiores cotas estão em torno de 200 m (VIERO; SILVA, 2010; BOTELHO; JÚNIOR, 2016; ROBAINA; TRENTIN; SCCOTI, 2021, RIO GRANDE DO SUL, 2021).

O domínio do Escudo e Cinturão Uruguaio Sul-Riograndense abrange a região do Planalto Sul-Riograndense, que também é chamado de Escudo Cristalino Planalto Sul-Riograndense (SUERTEGARAY; GUASSELLI, 2012; BOTELHO; JÚNIOR, 2016; RIO GRANDE DO SUL, 2021). A região do Planalto Sul-Riograndense é composta por feições erodidas e rebaixadas e áreas de pediplano, resultando em planaltos e serras baixas modeladas a partir de rochas cristalinas e sedimentares (VIERO; SILVA, 2010; ROBAINA; TRENTIN; SCCOTI, 2021). Destaca-se a atuação forte do processo de dissecação, os afloramentos rochosos e as áreas aplainadas de deposição. A altitude varia entre 100 e 400 m (SUERTEGARAY; GUASSELLI, 2012; BOTELHO; JÚNIOR, 2016).

O domínio Planície e Terras Baixas Costeiras se compartimenta nas regiões: a) Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praias e b) Planícies Costeiras. Na região de Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praias (externa) predomina a ação marinha e eólica, gerando campos de dunas e planícies arenosas. Apresenta uma costa retilínea com praias extensas e cordões de restinga. Em contrapartida, a região de Planícies Costeiras (interna) apresenta depósitos de origem continental, abrangendo a parte continental da orla da laguna dos Patos e das lagoas Mirim e Mangueira. Estando em contato com os corpos lagunares e o Escudo Cristalino (VIERO; SILVA, 2010; SUERTEGARAY; GUASSELLI; 2012; BOTELHO, JÚNIOR, 2016; ROBAINA; TRENTIN; SCCOTI, 2021). Por fim, a morfoescultura Formas Atuais (Depósitos Sedimentares Quaternários) engloba as Formas Agradacionais Atuais e Subatuais Interioranas.

#### 6.2.4 Unidades

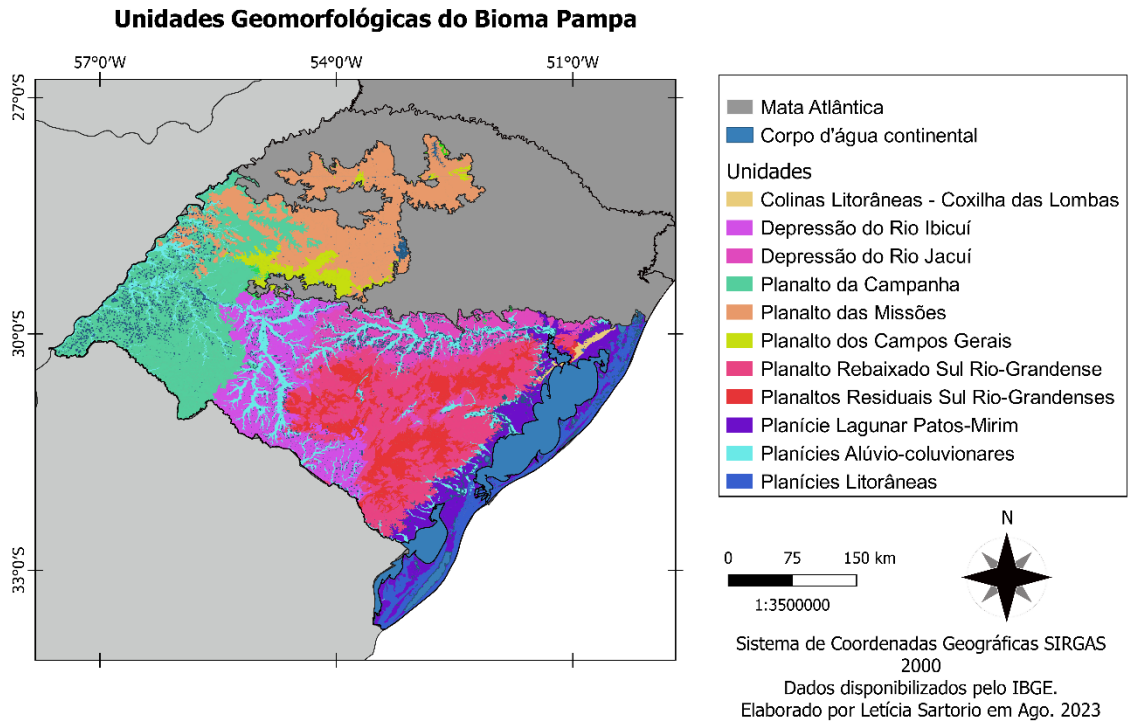
As unidades geomorfológicas correspondem ao terceiro nível taxonômico na classificação do relevo. As unidades reúnem formas altimétricas e fisionomias similares, em seus distintos modelados. A semelhança entre as formas pode estar associada a fatores paleoclimáticos e condicionados pela estrutura e litologia. Dessa forma, cada unidade geomorfológica revela seus processos originários, suas formações superficiais e seus tipos de modelado. Os padrões de drenagem evidenciam as conexões entre ambientes climáticos do presente e do passado, e as condicionantes litológicas e tectônicas (IBGE, 2009). No Bioma Pampa há a presença das unidades de planícies, depressões e planaltos. A Figura 28 apresenta a distribuição das Unidades do Bioma Pampa.

Para a hierarquização da paisagem do Bioma Pampa, as unidades com baixa expressão espacial não foram incluídas, como Serra Geral, Patamares da Serra Geral e Planalto Dissecado do Rio Uruguai, sendo estas agrupadas nas unidades vizinhas. Assim, a região do Planalto da Campanha abrange a unidade do Planalto da Campanha. A região do Planalto das Missões engloba a unidade do Planalto das Missões, e a região do Planalto das Araucárias abrange a unidade do Planalto dos Campos Gerais.

A região Planícies Fluviais se divide nas unidades da Depressão do Rio Jacuí e na unidade da Depressão do Rio Ibicuí. Já, a região do Planalto Sul-Riograndense é compartimentada nas unidades do Planalto Rebaixado Sul-Riograndense e no Planaltos Residuais Sul-Riograndense. A região das Planícies costeira engloba as unidades de Planície Lagunar Patos-Mirim e Colinas Litorâneas. E a região de Planícies Deltáicas, Estuarinas e Praias abrange a unidade de Planícies Litorâneas. Por último a região de Formas Agradacionais Atuais e Subatuais Interioranas engloba as Planícies Alúvio-coluvionares.



Figura 28 - Unidades Geomorfológicas do Bioma Pampa.



Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

### 6.2.5 *Delimitação Geocomplexos*

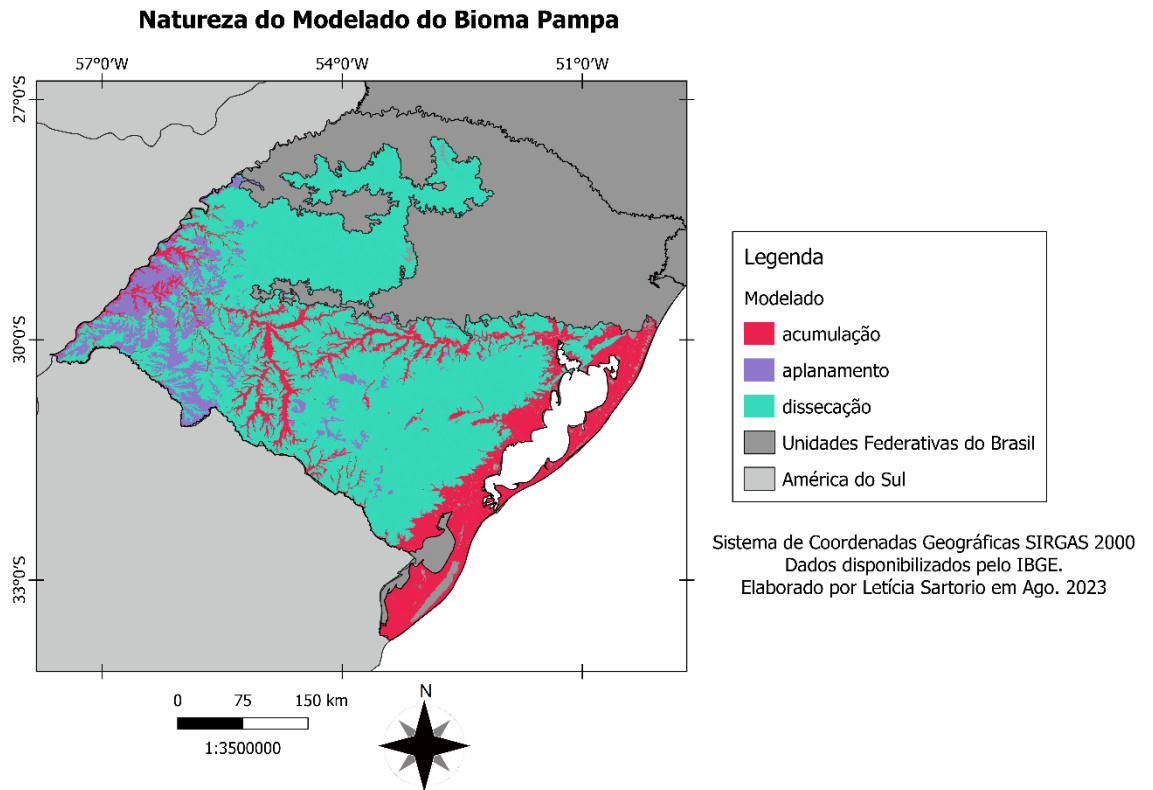
As unidades geomorfológicas apresentadas foram subdivididas em geocomplexos a partir da integração aos objetos segmentados de informações referentes a modelado do relevo, pedologia, geologia, litologia e fisionomia vegetal (sistema ecológico). A seguir estas informações são apresentadas brevemente para o Bioma Pampa.

#### *Modelado*

O modelado é a quarta ordem de grandeza hierárquica na classificação do relevo. A área de um tipo de modelado engloba um padrão de formas de relevo que possuem uma definição geométrica parecida em relação da sua gênese em comum e dos processos morfogenéticos atuantes (IBGE, 2009).

A Figura 29 apresenta a distribuição espacial da natureza dos modelados para o Bioma Pampa. Nota-se o predomínio de modelados de acumulação, dissecação e aplanamento. Os modelados de acumulação podem ser distinguidos de acordo com a sua gênese, podendo ser fluviais, lacustres, marinhos, lagunares, eólicos ou mistos (IBGE, 2009). Os modeladores de dissecação são os mais comuns na paisagem do Brasil, e são divididos em dissecação homogênea, estruturais e de ravinas. Os homogêneos e estruturais podem ser definidos pelo topo do relevo convexo, tabular ou aguçadas. E podem ser caracterizados em relação ao aprofundamento e densidade de drenagem (IBGE, 2009).

Figura 29 - Natureza do Modelado do Bioma Pampa.



Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

IBGE (2009) expõe que os modelados de aplanamento são definidos pela sua gênese e funcionalidade, associadas a situação atual de degradação ou conservação. A distribuição do modelado a maior nível de detalhe, utilizada para definir os geocomplexos, está presente no APÊNDICE C. Juntamente dos demais mapas referentes aos atributos do modelado do Bioma Pampa.

### *Pedologia*

O Bioma Pampa apresenta uma vasta variedade de solos que estão relacionados as províncias geológicas (ROESCH *et al.*, 2009). De acordo com Bencke (2016) há a ocorrência de solos de origem basáltica ou granítica, rasos e profundos, arenosos ou argilosos, outros possuem baixa ou alta fertilidade etc. A Figura 30

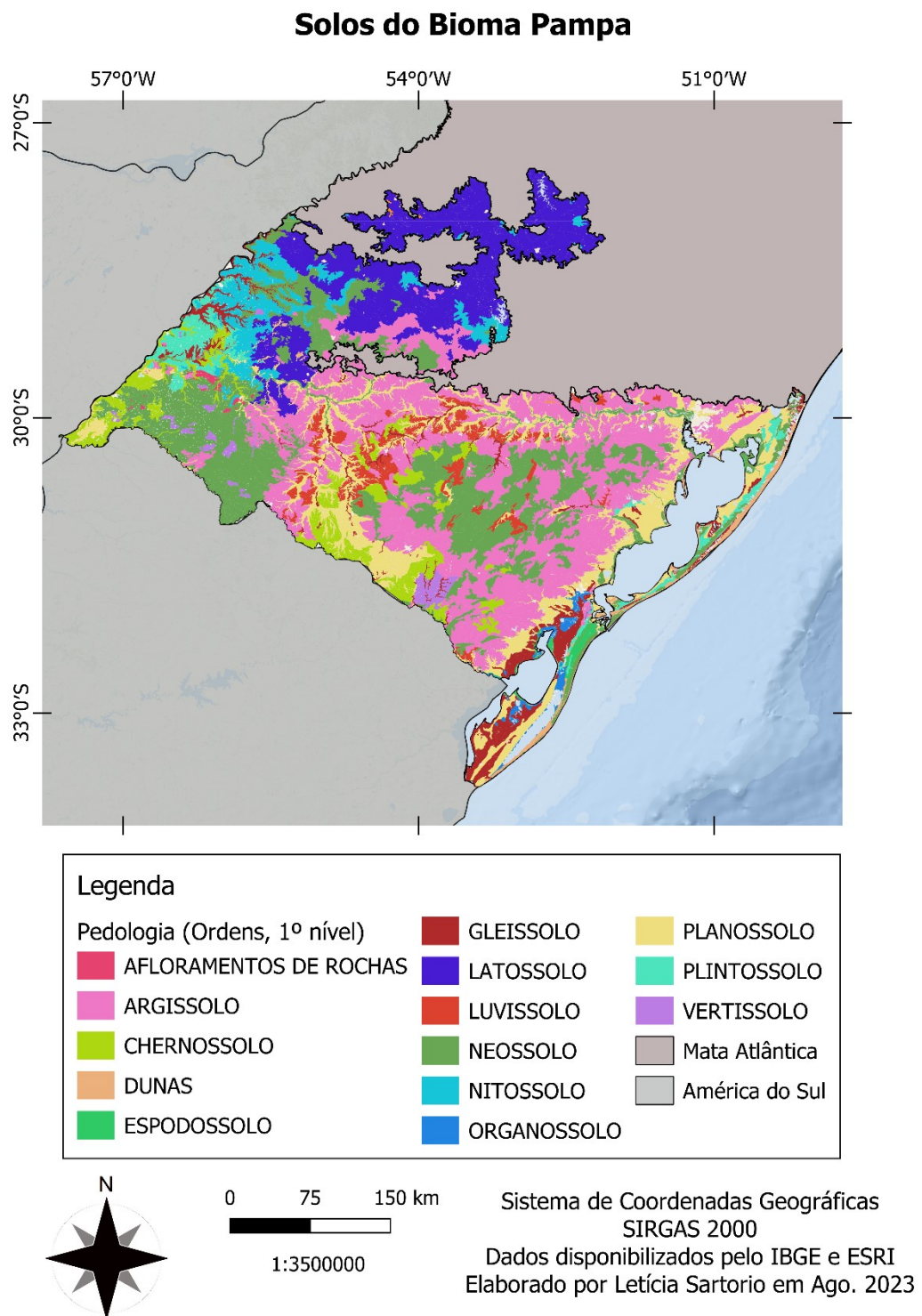
apresenta os tipos de solo do Bioma Pampa no 1º nível representando as ordens, nota-se maior presença de latossolos, argissolos, neossolos e nitossolos.

Na região do Planalto Sul-Riograndense há maior presença de neossolos e argissolos (ROESCH *et al.*, 2009). Nas Depressões Gaúchas predomina argissolos, também há planossolos próximos às planícies sedimentares aluviais, e ao sul há chernossolos e luvisolos. Nesta região, geralmente, os solos são mal drenados e utilizados para o cultivo de arroz irrigado (ROESCH *et al.*, 2009; BOTELHO, JÚNIOR, 2016). Na Planície Costeira (interna e externa) dominam os solos arenosos ou hidromórficos, como planossolos, gleissolos, neossolos, plintossolos, espodossolos e pequenas áreas de organossolos (BOTELHO, JÚNIOR, 2016).

Na parte norte do Bioma Pampa há neossolos, que normalmente existem em áreas de fortes declives (ROESCH *et al.*, 2009). No Planalto das Missões há maior presença de latossolos e nitossolos gerados a partir de rochas basálticas, que apresentam grande potencial para agricultura intensiva. Já, no Planalto das Araucárias prevalecem os argissolos e neossolos. Na Campanha Gaúcha predomina o neossolos, o plintossolos e o nitossolos. Estes solos possuem limitações naturais para a agricultura, sendo utilizados para pastagens. Os solos ao sul da Campanha possuem baixo desenvolvimento e altas taxas de matéria orgânica (BOTELHO, JÚNIOR, 2016). O APÊNDICE C apresenta o mapa detalhado de pedologia utilizado para delimitar os geocomplexos. A seguir são apresentadas as características dos principais tipos de solos encontrados no Bioma Pampa.

Argissolos apresentam aumento de argila entre o horizonte superficial A e o B. Os argissolos bruno acinzentados e argissolos acinzentados são gerados em condições mais limitada de drenagem. Já os argissolos amarelos, vermelhos e vermelho-amarelos são formados em situações de boa drenagem, o que permite um intemperismo mais intenso, produzindo argissolos mais profundos e bem desenvolvidos. Os chernossolos são solos que possuem de pequena a média espessura, e apresentam o horizonte superficial A com presença de matéria orgânica, com tons escuros e boa fertilidade. Os chernossolos ebânicos apresentam cores mais escuras e é utilizado para áreas de pastagem e lavouras. E os chernossolos argilúvicos apresentam maior teor de argila com o aumento da profundidade (IBGE, 2019b).

Figura 30 - Tipos de Solos (Ordens) do Bioma Pampa.



Fonte: Cartografia da autora (2022). Dados: IBGE e ESRI.

Os espodossolos apresentam uma significativa distinção entre os horizontes, sendo solos de textura arenosa e com baixa presença de nutrientes (IBGE, 2019b). De acordo com IBGE (2019b) os gleissolos possuem sua ocorrência em áreas alagadas ou que são sujeitas a alagamentos (margens de rios etc.). Estes se formam em ambientes que estão saturadas com água na maior parte do ano, por meio do processo de gleização. Dessa forma, os gleissolos se caracterizam pelos tons acinzentados, variando de alta a baixa fertilidade. A sua principal limitação de uso está relacionada a má drenagem. Os gleissolos melânicos possuem o horizonte superficial escurecido devido a presença de matéria orgânica. O gleissolo háplico corresponde a categoria que não se encaixa nas classificações (IBGE, 2019b).

Os latossolos são considerados solos profundos a muito profundos, com avançado desenvolvimento pedogenético, e apresentam boa drenagem. Ademais, é propício para uso agrícola intenso quando ocorre em relevos planos, pois possui alta estabilidade. Mas devido ao processo de lixiviação é normalmente pouco fértil (IBGE, 2019b). Os luvisolos possuem profundidade mediana e diferenciação entre os horizontes superficiais. São de drenagem moderada a imperfeita e férteis quimicamente. Entretanto, possuem alta suscetibilidade à erosão, drenagem restrita e disponibilidade de água baixa, devido aos atributos físicos (IBGE, 2019b).

Os neossolos podem ser de rasos a profundos, tendo características que limitam o intemperismo, e assim possuem baixo desenvolvimento pedogenético (IBGE, 2019b). Neossolos litólíticos apresentam no máximo 50 cm de profundidade e ocorrem em áreas de relevo com ondulação forte a montanhosa (declividade superior a 20%). Tendo perda de solo no sistema, o que impede o desenvolvimento da profundidade. Os neossolos flúvicos são constituídos por deposição de camadas próxima as drenagens. E os neossolos quartzarênicos são arenosos e profundos, e são oriundos de material rico em grãos de quartzo (IBGE, 2019b).

Nitossolos são solos argilosos em que o horizonte superficial B possui moderado ou acentuado desenvolvimento estrutural. Ademais, é chamado de B nítico por conta de apresentar a superfície dos agregados reluzentes. Tais solos são ácidos e considerados pouco férteis, com baixa diferença textural entre horizontes. Os nitossolos vermelhos apresentam coloração vermelha e os nitossolos brumos tons

mais escuros. O último possui caráter retrátil por conta do ressecamento que causa fendas verticais (IBGE, 2019b).

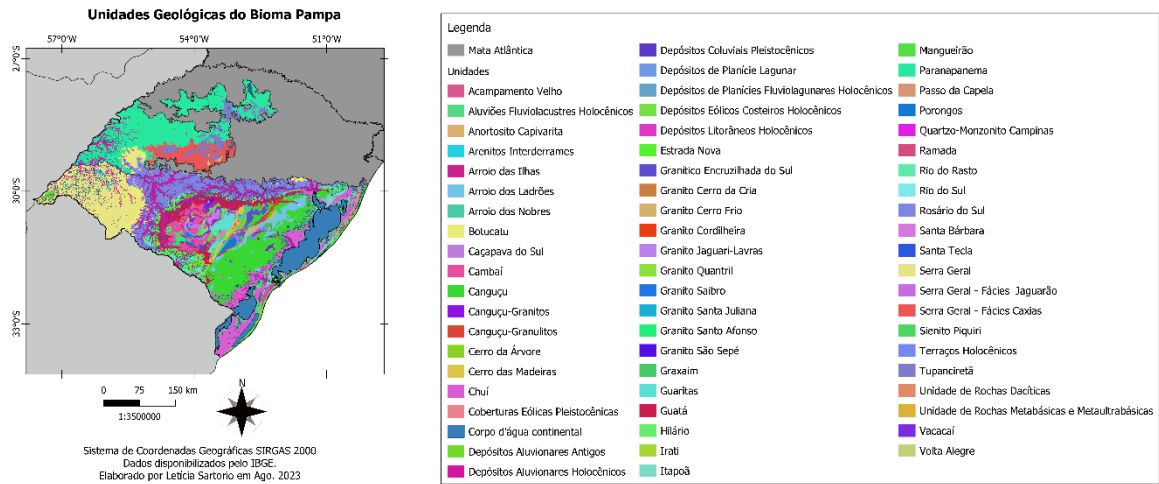
Os organossolos são compostos por material orgânico, sendo considerados pouco evoluídos. Ocorrem em ambientes com drenagem de mal a muito mal ou úmidos de elevada altitude. Varia entre as tonalidades de preta, cinzenta ou marrom, com alto teor de carbono orgânico. A exploração agrícola se torna difícil pela alta concentração de água na sua composição. Os planossolos apresentam mudança textural abrupta entre os seus horizontes superficiais (IBGE, 2019b).

Os plintossolos apresentam plintita, que é um material endurecido gerado pela reoxidação do ferro por conta das frequentes oscilações no teor de umidade do solo. Este tipo de solo pode ser utilizado para fins agrícolas, mas com a aplicação do manejo agrícola visando controlar a sua dinâmica hídrica interna (IBGE, 2019b). Os plintossolos argilúvisos e háplicos possuem drenagem restrita, sendo que o primeiro apresenta crescimento no teor de argila em profundidade. Os vertissolos são solos minerais, podendo ser profundos e poucos profundos. Apresentam muito boa fertilidade natural e ocorrem em condições de relevo e clima que tornam mais difícil a remoção dos cátions básicos do solo (IBGE, 2019b).

## *Geologia*

Os dados geológicos utilizados para delimitar os geocomplexos correspondem as unidades geológicas delimitadas por IBGE (2019b). Estas estão apresentadas na Figura 31. A partir do mapa conseguimos observar a riqueza geológica presente no Bioma Pampa, e a complexidade da sua formação. Destaca-se a região do Planalto Sul-Riograndense que concentra uma vasta variedade de unidades geológicas.

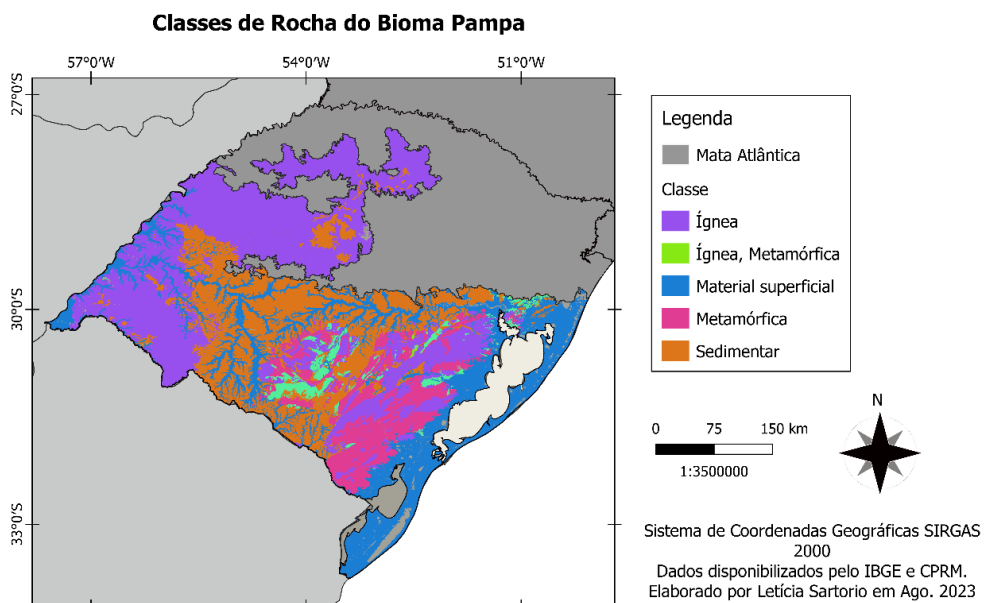
Figura 31 – Unidades Geológicas do Bioma Pampa.



Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

Essa informação foi associada ao mapa geológico do Rio Grande do Sul produzido pela CPRM. A informação referente a classe de rocha (Figura 32) e da litologia foram utilizadas para auxiliar na compatibilização das informações. Destacase a variedade das formações rochosas do Bioma Pampa, possuindo rochas ígneas, metamórficas, sedimentares e material superficial.

Figura 32 – Classes de Rocha do Bioma Pampa.



Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE e CPRM.

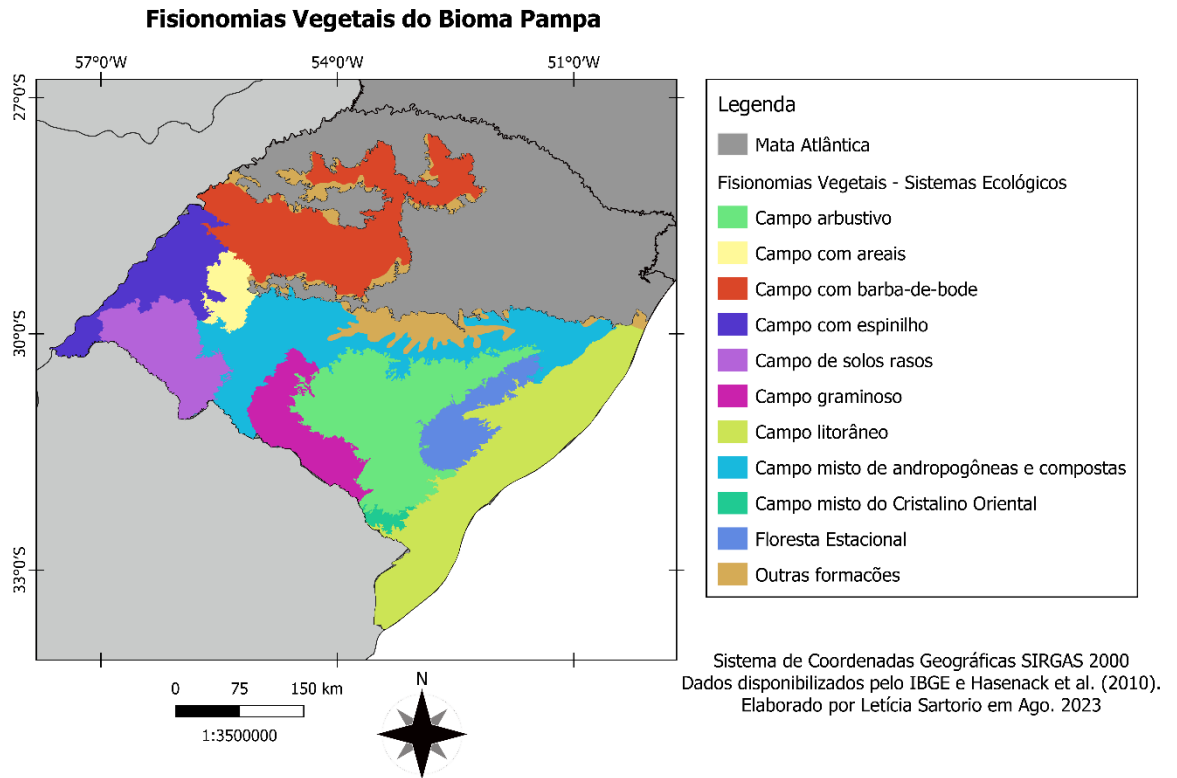


### *Fisionomias Vegetais (Sistemas Ecológicos)*

Os campos se enquadram como o tipo de vegetação natural dominante no Bioma Pampa, as gramíneas configuram uma superfície vegetal continua com a presença de arbustos e subarbustos (BENCKE, 2016). No meio dessas formações campestres há manchas de matas densas nas encostas e ao longo dos cursos hídricos, essas florestas ciliares e de galeria estão relacionadas com a rede de drenagem (SUERTEGARAY; SILVA, 2009; BENCKE, 2016). Apresenta alta diversidade vegetal, que se distribuem nos campos, banhados, capões e matas ciliares (BOTELHO; JÚNIOR, 2016). São mais de 400 espécies nativas de gramíneas, e ao total a flora do Bioma Pampa alcança 2.150 espécies (BENCKE, 2016). Importante considerar que o clima do Bioma Pampa é favorável ao desenvolvimento de formações florestais, entretanto há a prevalência de formações campestres, pois, elas são formações relictuais de um clima pretérito (BURIOL *et al.*, 2019).

De maneira geral, o Bioma Pampa é composto por um mosaico de distintas fitofisionomias campestres, formações arbustivas e florestais, e áreas úmidas. Nota-se uma associação entre relevo e vegetação natural, onde as florestas ocupam as áreas mais acidentadas e os campos as mais planas (BENCKE, 2016). Hasenack *et al.* (2010) mapeou os sistemas ecológicos do Bioma Pampa, identificando ao todo nove tipos. Este mapeamento teve como base principalmente a vegetação predominante. A Figura 33 apresenta as fisionomias vegetais (sistemas ecológicos) delimitados.

Figura 33 – Fisionomias Vegetais do Bioma Pampa.



Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE e Hasenack et al. (2010).

A Floresta Estacional se localiza no nordeste do Planalto Sul-Riograndense e apresenta a formação florestal de Floresta Estacional Semidecidual, sendo que em torno de 20-50% das árvores são caducifólias. O Campo Arbustivo ocupa a parte ocidental e meridional do Planalto Sul-Riograndense, possui espécies de gramíneas cespitosas eretas como barbas-de-bode, com grande representatividade de leguminosas juntamente a vegetações arbustivas. Além disso, há vegetação rupestre e endêmicas neste campo, com evidência para as cactáceas (HASENACK *et al.*, 2010).

O Campo Litorâneo se distribui nas planícies baixas de relevo suave da costa, possui gramíneas de baixo porte que cobrem o solo. As espécies que sobrevivem nesta área de solos arenosos são prostadas. As ciperáceas predominam nas áreas mal drenadas, em que a matéria orgânica se acumula (HASENACK *et al.*, 2010; BOLDRINI, 2020). O Campo Graminoso tem sua ocorrência em solos férteis na Depressão Gaúcha, ao lado do Planalto Sul-Riograndense, entre altitudes de 30 a 400

m e relevo suave. A vegetação é composta por herbáceas, principalmente de gramíneas como o capim-forquilha (HASENACK *et al.*, 2010).

Segundo Hasenack *et al.* (2010) o Campo Misto com Andropogôneas e Compostas ocorre aproximadamente na área das Depressões Gaúchas, em uma altitude entre 30-400 m com relevo suave. O estrato inferior é dominado por espécies prostadas, como o capim-forquilha nas encostas e topos das coxilhas, e nas áreas úmidas pela grama-tapete. Assim, se o manejo correto for aplicado ao campo haverá pouca área de solo exposto. No estrato superior há o capim-caninha, o capim-rabo-de-burro e a macega-estaladeira. Dentre as principais compostas há a roseta e o alecrim-do-campo, que se instalam quando o solo está descoberto por conta do sobrepastejo. O Campos de Solos Raros se encontra em solos rasos, com relevo suave e altitudes entre 30 e 400 m. A vegetação é considerada peculiar devido ao ambiente estressante, com solos pedregosos acompanhados de déficit hídrico no verão. Assim, há gramíneas cespitosas de baixo porte (HASENACK *et al.*, 2010).

O Campo com Espinilho ocupa áreas planas e baixas entre 30-400 m de altitude, ao longo do rio Uruguai e com ocorrência de solos férteis, e imperfeitamente a mal drenados. Nos campos há manchas de capim-forquilha e cevadinha. Os Campos com Areais também existem em áreas de relevo suave, em que os solos são arenosos, bem drenados, profundos e de pouca fertilidade. A flora se diferencia dos demais sistemas, pois estão adaptadas a um ambiente árido. Se destacam o capim-limão e as compostas, que superam as gramíneas e se distribuem de forma isolada, reduzindo a cobertura vegetal do solo. Por último, o Campo com Barba-de-Bode ocorre entre 30 e 1000 m de altitude, em solos profundos e de baixa fertilidade no Planalto das Missões e das Araucárias. As gramíneas prevalecem nos remanescentes de vegetação nativa, sendo que no estrato superior há a barba-de-bode e no inferior capim-forquilha, em solos argilosos, e a grama-missioneira, em solos arenosos (HASENACK *et al.*, 2010; BOLDRINI, 2020).

### 6.2.6 Geocomplexos e Geofácies do Bioma Pampa

De acordo com Bertrand e Bertrand (2002) a paisagem é o reflexo e a marca impressa da sociedade na natureza. E o conceito de geossistema é definido como uma combinação espacial de atributos abióticos, bióticos e antrópicos, possuindo inspirações sistêmicas. O geossistema é assim indicado como o estado global de um certo lugar em um dado momento. A nível de terreno é um mosaico de unidades com distintas dimensões - geótopo, geofácies, geocomplexos etc., - sendo estes homogêneas nas suas escalas. Mas também se destaca que unidades com proximidade espacial podem ter sua evolução em sentidos e velocidades distintos. Portanto, o geossistema é um conceito espacial que permite a cartografia das unidades nas suas escalas, é um conceito naturalista que considera os componentes do meio geográfico, como as formas do relevo, e um conceito antrópico pois inclui os impactos das atividades humanas (BERTRAND; BERTRAND, 2002). Neste estudo analisamos a paisagem a partir da ótica geossistêmica com a delimitação cartográfica da paisagem nas escalas de geocomplexos e geofácies, sendo que a última representa o estado do geossistema com as transformações de cunho antrópico. As unidades superiores estão apresentadas na Tabela 10.

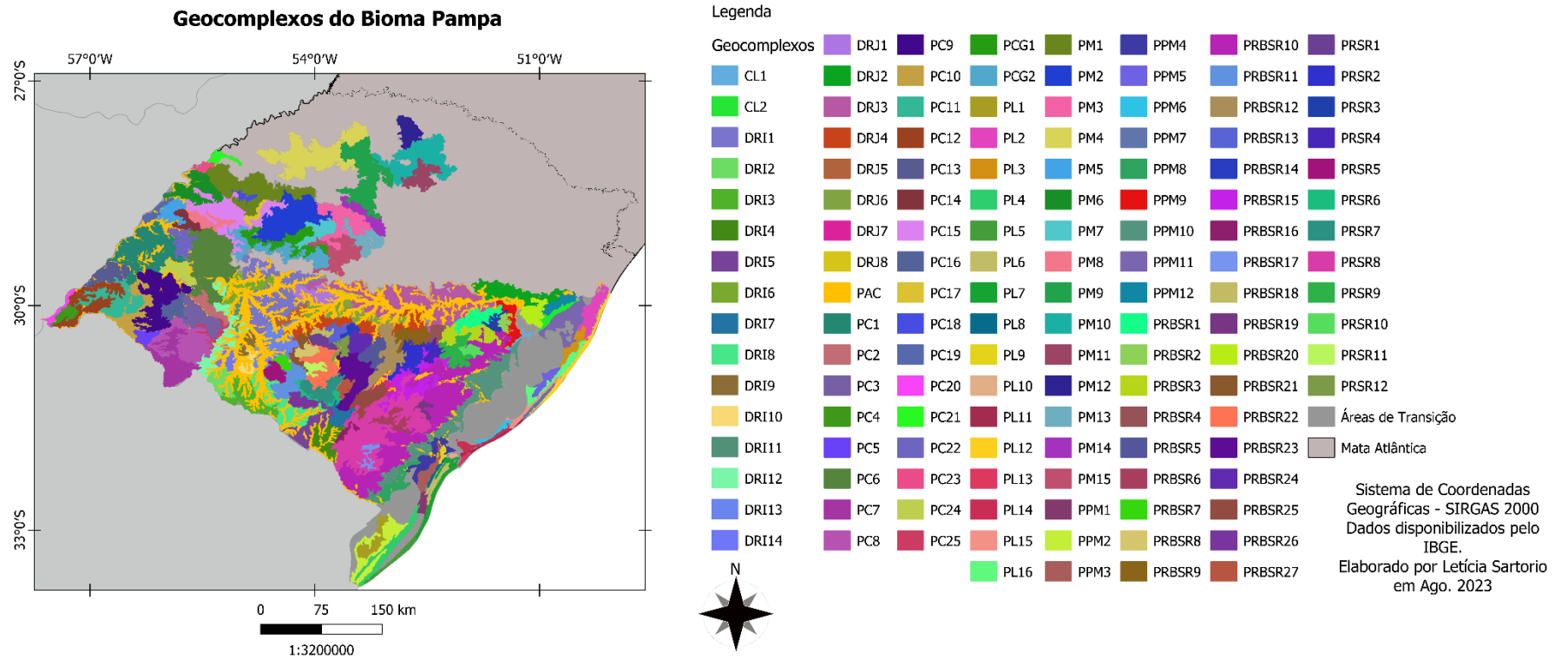
Ao total foram delimitados 135 geocomplexos no Bioma Pampa, compatibilizando as informações apresentadas acima. Nota-se que o tamanho e número dos geocomplexos por unidade variam, pois cada unidade apresenta atributos únicos que a tornam mais homogênea ou heterogênea. Esses fatores conseqüentemente refletem na delimitação dos geocomplexos. A Figura 34 apresenta a espacialização dos Geocomplexos identificados. Cada um apresenta um código, sendo as primeiras letras os códigos das unidades (Tabela 10) seguido do seu número. Importante notar a existência de áreas de transição entre os geocomplexos.

As geofácies foram definidas a partir da união entre a CP 1 e a CP 2. No qual foi possível definir as fáceis em 2 níveis, como apresenta a Tabela 11. Esta proposta hierárquica permite agrupar/detalhar as fácies, facilitando o entendimento. O primeiro nível abrange três fácies: Estabilização (sem alteração), Regeneração (transição entre uso para cobertura da terra) e Degradação (transição de cobertura para uso da terra). Este nível está apresentado espacialmente na Figura 35.

A fácies de Estabilização se subdivide em Conservação Natural e Antrópica no segundo nível, e a fácies de Regeneração se mantém. Já a fácies de Degradação se subdivide nos processos identificados na CP 2: Expansão Soja, Expansão Agropecuária, Expansão Silvicultura e Intensificação Agropecuária; somadas a classe de Degradação, que corresponde a Áreas com MUCT identificada na CP 1, que representa áreas não estáveis sem a informação do principal tipo de conversão. A Figura 36 apresenta a distribuição das fácies no segundo nível hierárquico.

Em seguida, os geocomplexos e as geofácies são apresentadas por unidades (Tabela 10).

Figura 34 - Geocomplexos do Bioma Pampa.



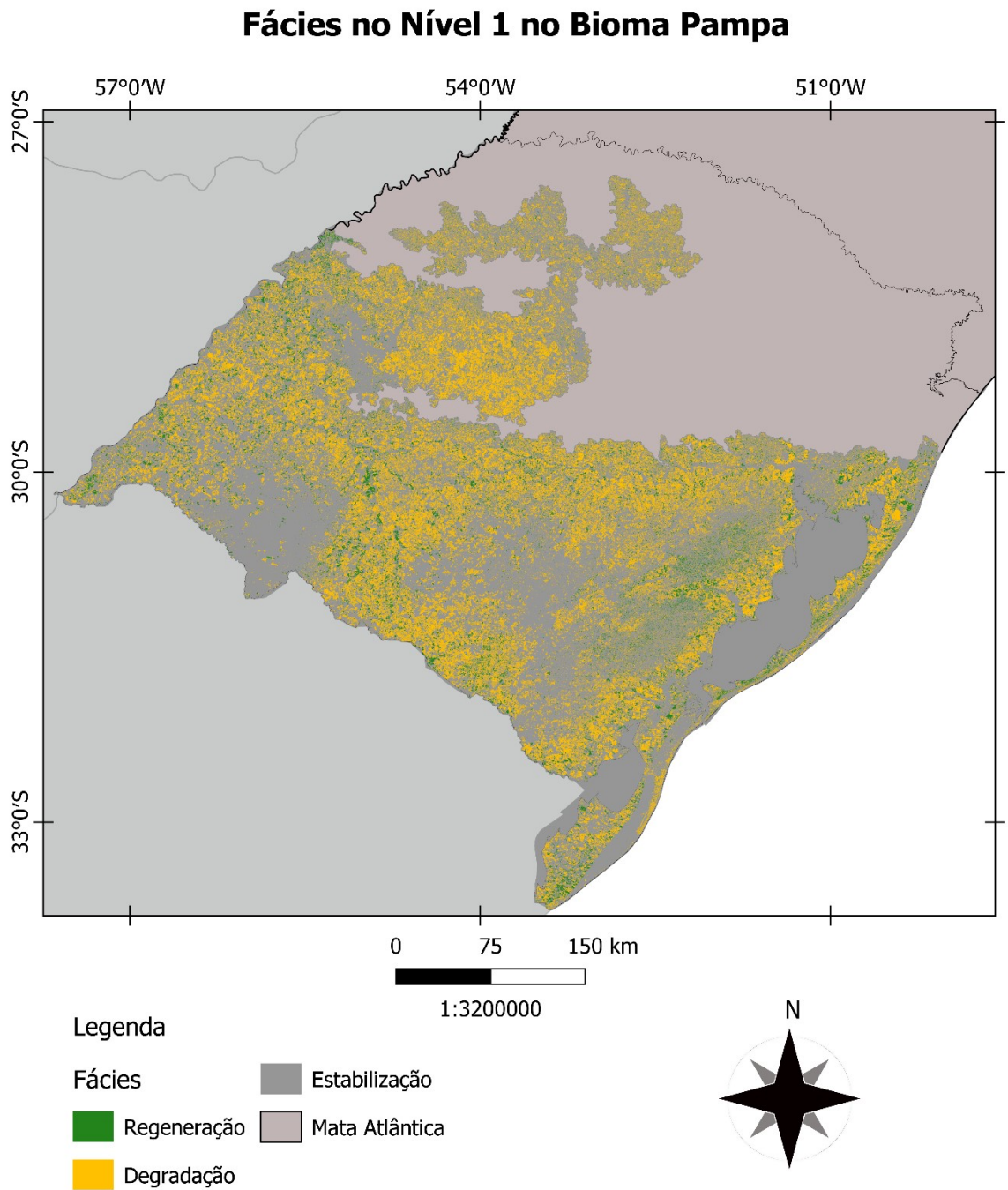
Fonte: A autora (2023).

Tabela 11 - Fácies em dois níveis hierárquico.

Fácies - Nível 1	Fácies - Nível 2
Estabilização	Conservação Natural
	Antrópica Estável
Regeneração	Regeneração
Degradação	Degradação (Áreas com MUCT)
	Expansão Soja
	Expansão Agropecuária
	Expansão Silvicultura
	Intensificação Agropecuária

Fonte: A autora (2023).

Figura 35 - Fácies no Nível 1 do Bioma Pampa.

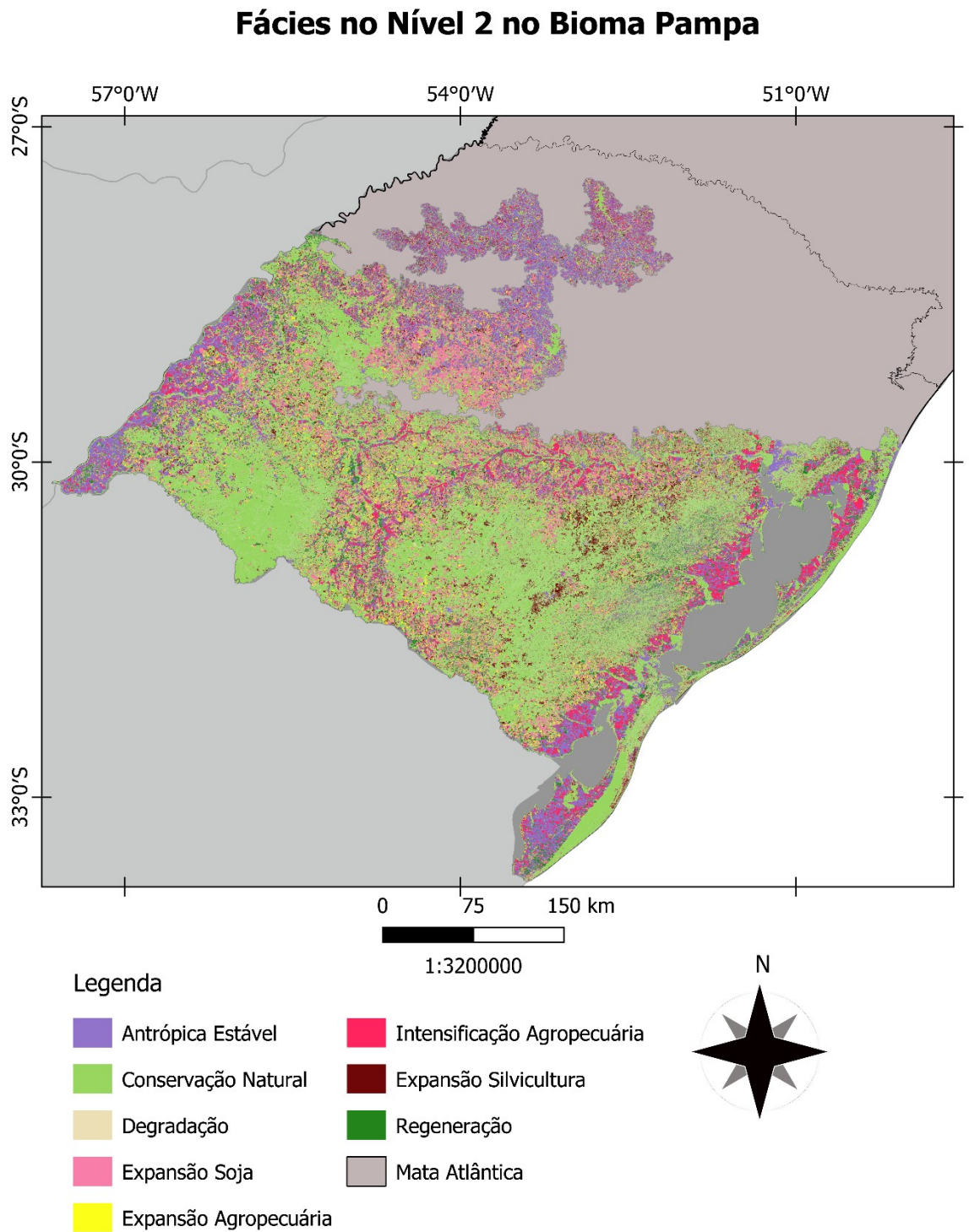


Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
Dados disponibilizados pelo IBGE.  
Elaborado por Letícia Sartorio em Ago. 2023

Fonte: A autora (2023).



Figura 36 - Fácies no Nível 2 do Bioma Pampa.



Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
Dados disponibilizados pelo IBGE.  
Elaborado por Letícia Sartorio em Ago. 2023

Fonte: A autora (2023).

## Planícies Alúvio-coluvionares

Esta unidade é composta por somente um geocomplexo, denominado de PAC. Este ocorre por todo Bioma Pampa, atravessando as demais unidades, pois corresponde as planícies alúvio-coluvionares que se localizam no entorno dos principais rios, como Jacuí e Ibicuí. A Figura 37 apresenta a distribuição desse geocomplexo e a Figura 38 as fácies presentes no mesmo.

Figura 37- Geocomplexos da Unidade Planícies Alúvio-coluvionares.

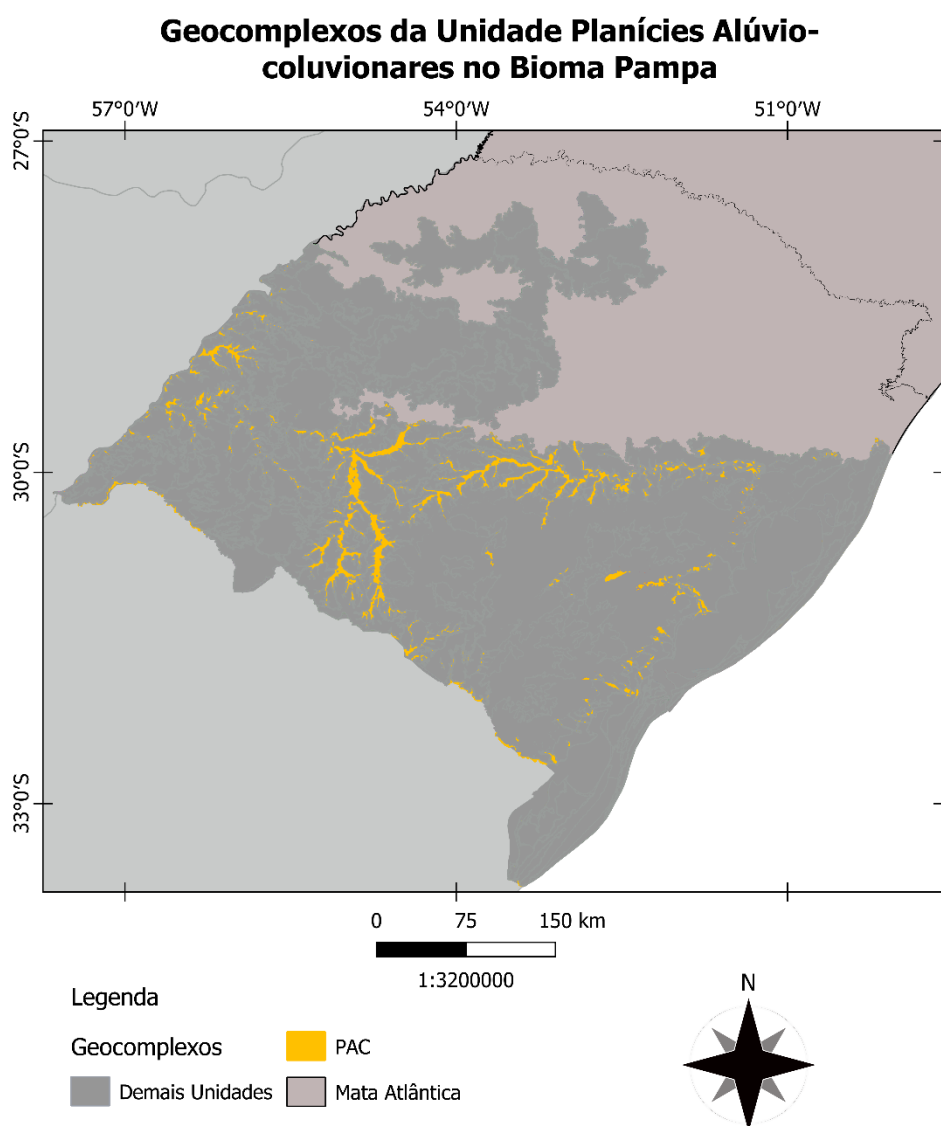
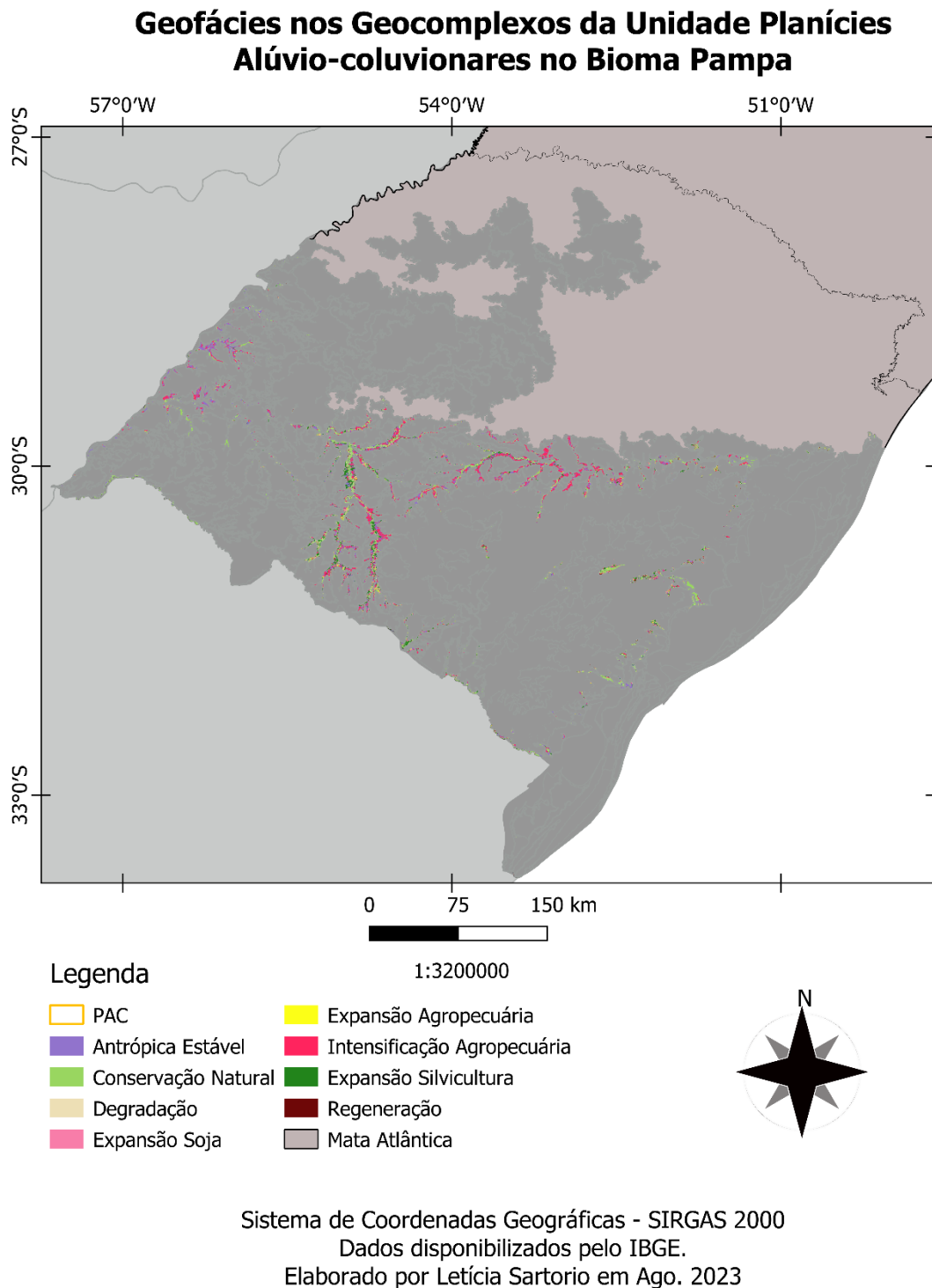


Figura 38 - Geofácies nos Geocomplexos da Unidade Planícies Alúvio-coluvionares.



Fonte: A autora (2023).

A Tabela 12 apresenta as características do geocomplexo e a Tabela 13 a área em hectares e porcentagem das fácies nesse geocomplexo.

Tabela 12 - Características do Geocomplexo da Unidade Planícies Alúvio-coluvionares.

Código	Pedologia	Geologia	Modelado	Drenagem	Fisionomia Vegetal	Rocha Matriz	Área (ha)
PAC	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (GXve)/Planossolo Háplico Eutrófico (SXe)/Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (RYve)	Depósitos Aluvionares Holocênicos (Q2a)	385Atf1/Apf. Acumulação, terraço e planície fluvial.	--	--	Material Superficial (Areia, Areia arcoseana)	1627385,914

Fonte: A autora (2023).

Tabela 13 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos das Unidades Planícies Alúvio-coluvionares (PAC) e Colinas Litorâneas (CL).

	PAC	1627385,914	CL1	18344,171	CL2	50895,087
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>751505</b>	<b>46,18</b>	<b>10734,32</b>	<b>58,52</b>	<b>21855,07</b>	<b>42,94</b>
<i>Conservação Natural</i>	397048	24,40	4329,81	23,60	21026,2	41,31
<i>Antrópica Estável</i>	354457	21,78	6404,51	34,91	828,866	1,63
<b>Regeneração</b>	<b>156826</b>	<b>9,64</b>	<b>417,051</b>	<b>2,27</b>	<b>2932,63</b>	<b>5,76</b>
Regeneração	156826	9,64	417,051	2,27	2932,63	5,76
<b>Degradação</b>	<b>698741,9</b>	<b>42,94</b>	<b>6891,86</b>	<b>37,57</b>	<b>24315,451</b>	<b>47,78</b>
<i>Degradação</i>	221802	13,63	3725,92	20,31	14325,9	28,15
<i>Expansão Soja</i>	49160,1	3,02	262,148	1,43	475,141	0,93
<i>Expansão Agropecuária</i>	53692,8	3,30	811,644	4,42	1662,23	3,27
<i>Expansão Silvicultura</i>	55322	3,40	1151,45	6,28	4917,35	9,66
<i>Intensificação Agropecuária</i>	318765	19,59	940,694	5,13	2934,83	5,77

Fonte: A autora (2023).

Em relação ao geocomplexos, predomina um modelado de acumulação fluvial com formação de terraço e planície. O modelado de planície de acumulação fluvial (Apf) é uma área plana atingida por inundações constantes e corresponde às várzeas atuais. Tem sua ocorrência em vales em que há preenchimento aluvial (IBGE, 2009). O modelado de terraço de acumulação fluvial (Atf) representa uma forma plana com inclinação leve e possui uma ruptura no declive em comparação ao leito do rio e às várzeas atuais localizadas no nível inferior. Este modelado predomina nos vales que contém aluviões finas a grosseiras, pleistocênicas e holocênicas (IBGE, 2009). Há o domínio de Material Superficial e da unidade geológica Depósitos Aluvionares Holocênicos.

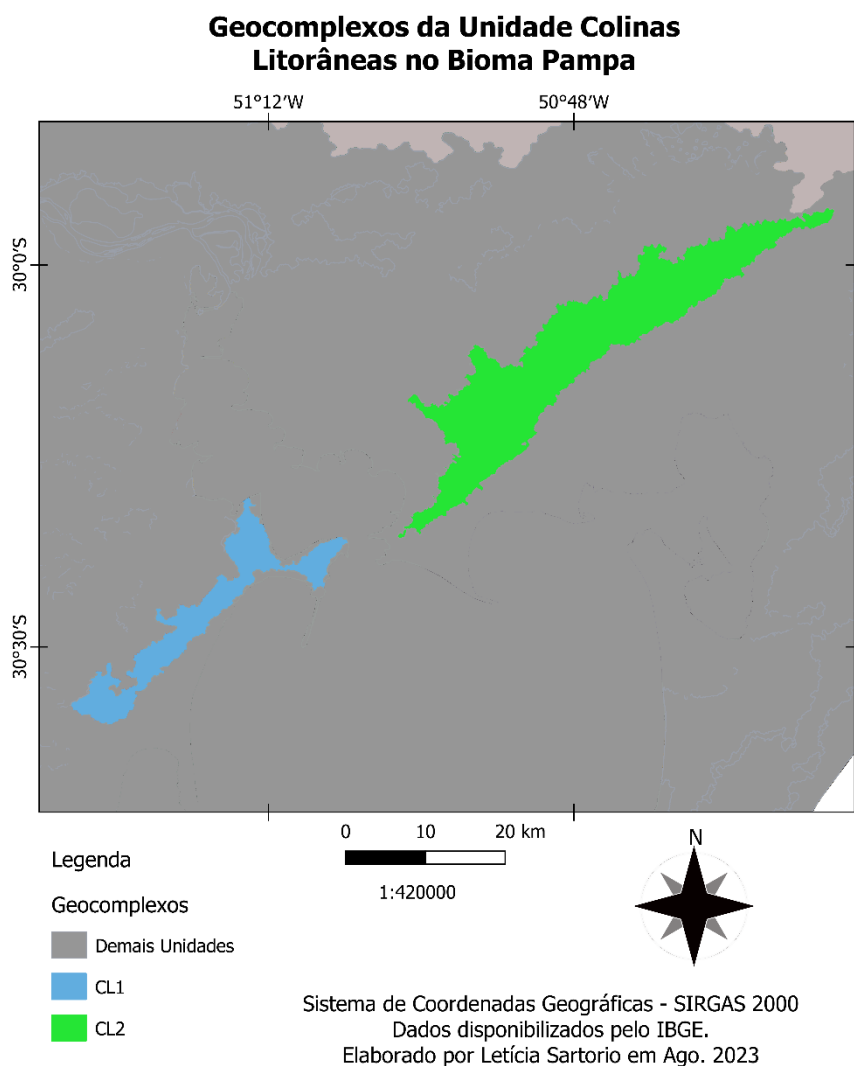
Neste geocomplexo há a presença de três tipos de solos. Gleissolo Háplico Ta Eutrófico são solos com argila de elevada atividade e com saturação superior a 50% até 100 cm. O solo Neossolo Flúvico Ta Eutrófico também possui argila de alta atividade com saturação superior a 50% dentro de 150 cm a partir da superfície. E o Planossolo Háplico Eutrófico apresenta saturação maior que 50% até 150 cm (EMBRAPA, 2018).

Ao observar as fácies notamos o predomínio da Estabilização. Mas cerca de 43% da área é coberta por Degradação, e dentro desta se destaca a Intensificação Agropecuária. Este processo está relacionado a áreas de Arroz que intercalam com a Agropecuária nesta região de várzea, sendo propícia para a rizicultura. Ademais, nota-se a regeneração neste geocomplexo, em mais de 9% de sua área.

### *Colinas Litorâneas*

A unidade de Colinas Litorâneas apresenta dois geocomplexos, a localização e características estão apresentados na Figura 39 e Tabela 14, respectivamente. A Figura 40 apresenta a distribuição das fácies nestes geocomplexos e a Tabela 12 apresenta a área em hectares e porcentagem de cada nos geocomplexos.

Figura 39 - Geocomplexos da Unidade Colinas Litorâneas.

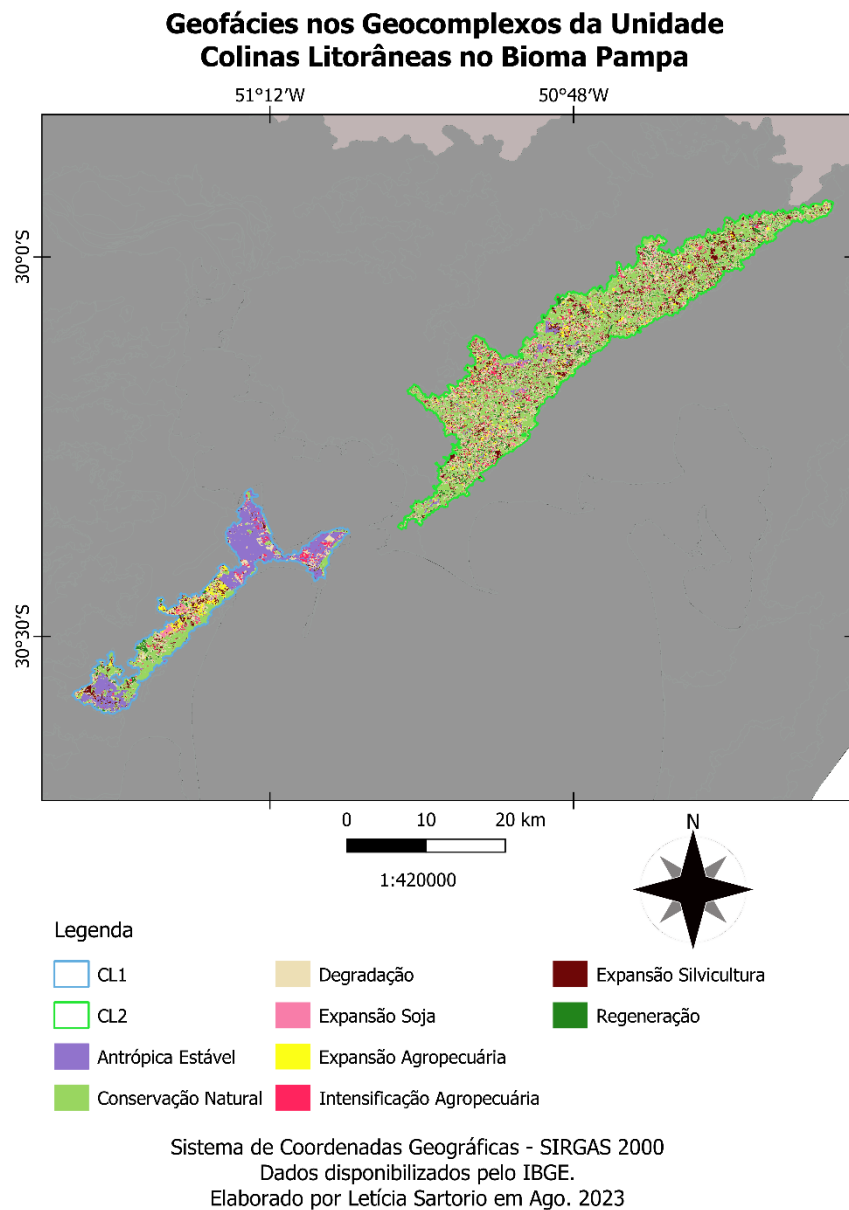


Fonte: A autora (2023).

Nesta unidade predomina o modelado de dissecação homogênea com topo convexo. O modelado de dissecação homogênea (D) se caracteriza pela dissecação fluvial em distintas litologias sem controle estrutural forte, com presença de colinas, morros e interflúvios tabulares. As formas com topo convexo (c) são em sua maioria esculpidas em rochas do tipo ígneas e metamórficas. Possuem vales com boa definição e vertentes com declividade variada, com entalhamento por sulcos e com cabeceiras de drenagem de primeira ordem (IBGE, 2009). Predomina Material Superficial e a unidade geológica Itapoã. O Campo misto de andropogôneas e compostas é a fisionomia vegetal que ocorre nessa unidade.

Em relação aos solos, possui o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico que apresenta saturação inferior a 50% nos primeiros 100 cm do horizonte B. E o Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Alumínico são solos com argila de alta atividade e apresenta nos primeiros 100 cm do horizonte B caráter Alumínico (EMBRAPA, 2018). Em relação as geofácies no CL1 predomina a Estabilização, com destaque para a fâcies de Antrópica Estável, e no CL2 a Degradação.

Figura 40 - Geofácies nos Geocomplexos da Unidade Colinas Litorâneas.



Fonte: A autora (2023).

Tabela 14 - Características dos Geocomplexos da Unidade Colinas Litorâneas.

<b>Código</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Geologia</b>	<b>Modelado</b>	<b>Drenagem</b>	<b>Fisionomia Vegetal</b>	<b>Rocha Matriz</b>	<b>Área (ha)</b>
CL1	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd)	Itapoã (Q1Q2it)	386Dc31/41/51. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem de média a muito fina	Campo misto de andropogôneas e compostas	Material superficial (Areia)	18344,171
CL2	Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) e Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Alumínico (PVAva)	Itapoã (Q1Q2it)	386Dc41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem fina	Campo misto de andropogôneas e compostas	Material superficial (Areia)	50895,087

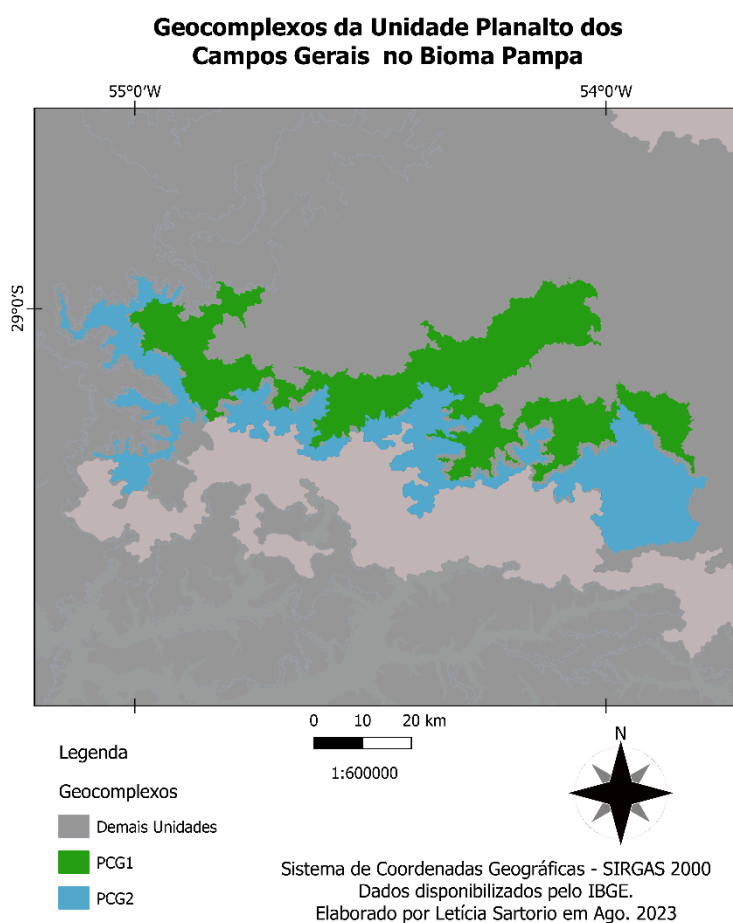
Fonte: A autora (2023).



## Planalto dos Campos Gerais

A unidade do Planalto dos Campos Gerais também possui somente dois geocomplexos, os mesmos estão presentes na Figura 41 e suas características na Tabela 15. O modelado predominante é de dissecação homogênea de topo convexo, sendo caracterizado pela dissecação fluvial em distintas litologias sem controle estrutural forte, com colinas, morros e interflúvios tabulares. O topo convexo (c) é em sua maioria esculpida em rochas ígneas e metamórficas. Ademais, apresentam vales com boa definição e vertentes com declividade variada, com entalhamento por sulcos e com cabeceiras de drenagem de primeira ordem (IBGE, 2009). Há presença de rochas ígneas e da unidade geológica Serra Geral - Fácies Caxias. O Campo com barba-de-bode é a fisionomia vegetal dominante.

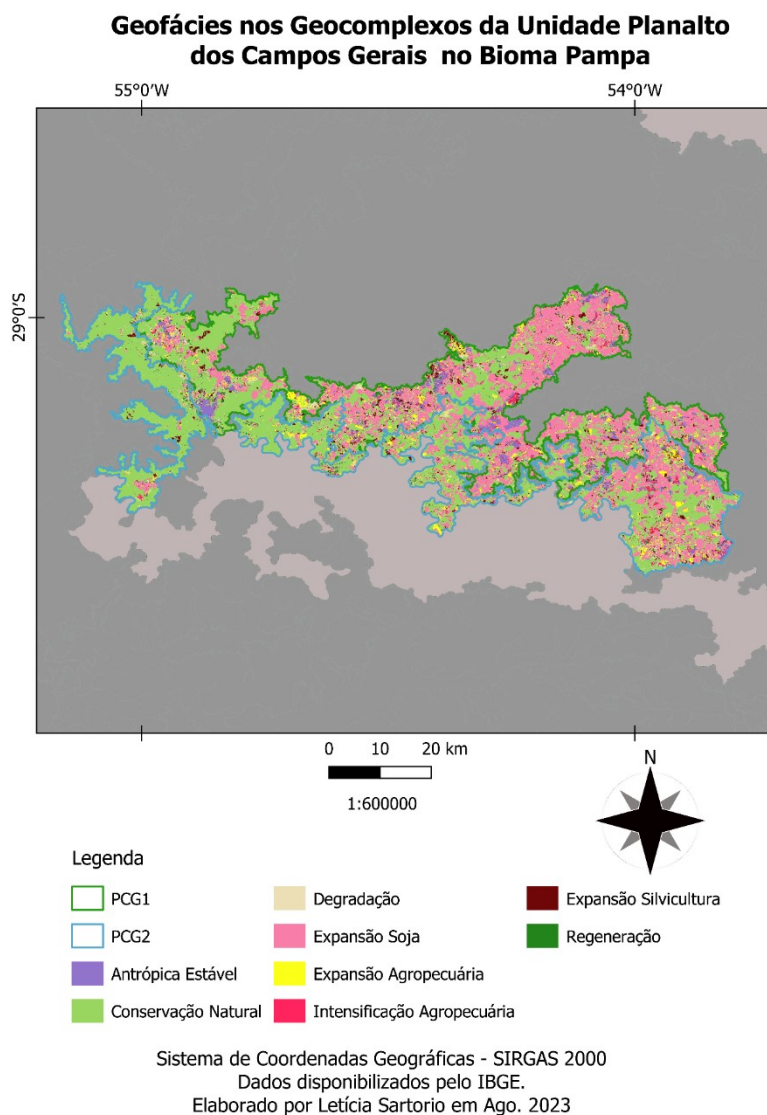
Figura 41 - Geocomplexos da Planalto dos Campos Gerais.



Fonte: A autora (2023).

No geocomplexo PCG1 há o solo Argissolo Vermelho Alumínico que apresentam caráter alumínico nos primeiros 100 cm do horizonte B. E no PCG2 predomina o Neossolo Litólico Distrófico que nos primeiros 50 cm da superfície apresentam saturação menor que 50% (EMBRAPA, 2018). A Figura 42 apresenta a distribuição das geofácies e a Tabela 16 a sua área. Nota-se que no geocomplexo ao norte (PCG1) predomina a Degradação, com considerável Expansão de Soja (39,27%). Já no PCG2 há maior presença de Estabilização, com destaque para a Conservação Natural.

Figura 42 - Geofácies nos Geocomplexos da Unidade Planalto dos Campos Gerais.



Fonte: A autora (2023).

Tabela 15 - Características dos Geocomplexos do Planalto dos Campos Gerais.

Código	Pedologia	Geologia	Modelado	Drenagem	Fisionomia Vegetal	Rocha Matriz	Área (ha)
PCG1	Argissolo Vermelho Alumínico (PVa)	Serra Geral - Fácies Caxias (K1(A)cx)	449Dc11/21/31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem de muito grosseira a fina	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Basalto)	179367,794
PCG2	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Serra Geral - Fácies Caxias (K1(A)cx)	449Dc11/21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a média.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Basalto)	150583,559

Fonte: A autora (2023).

Tabela 16 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planalto dos Campos Gerais.

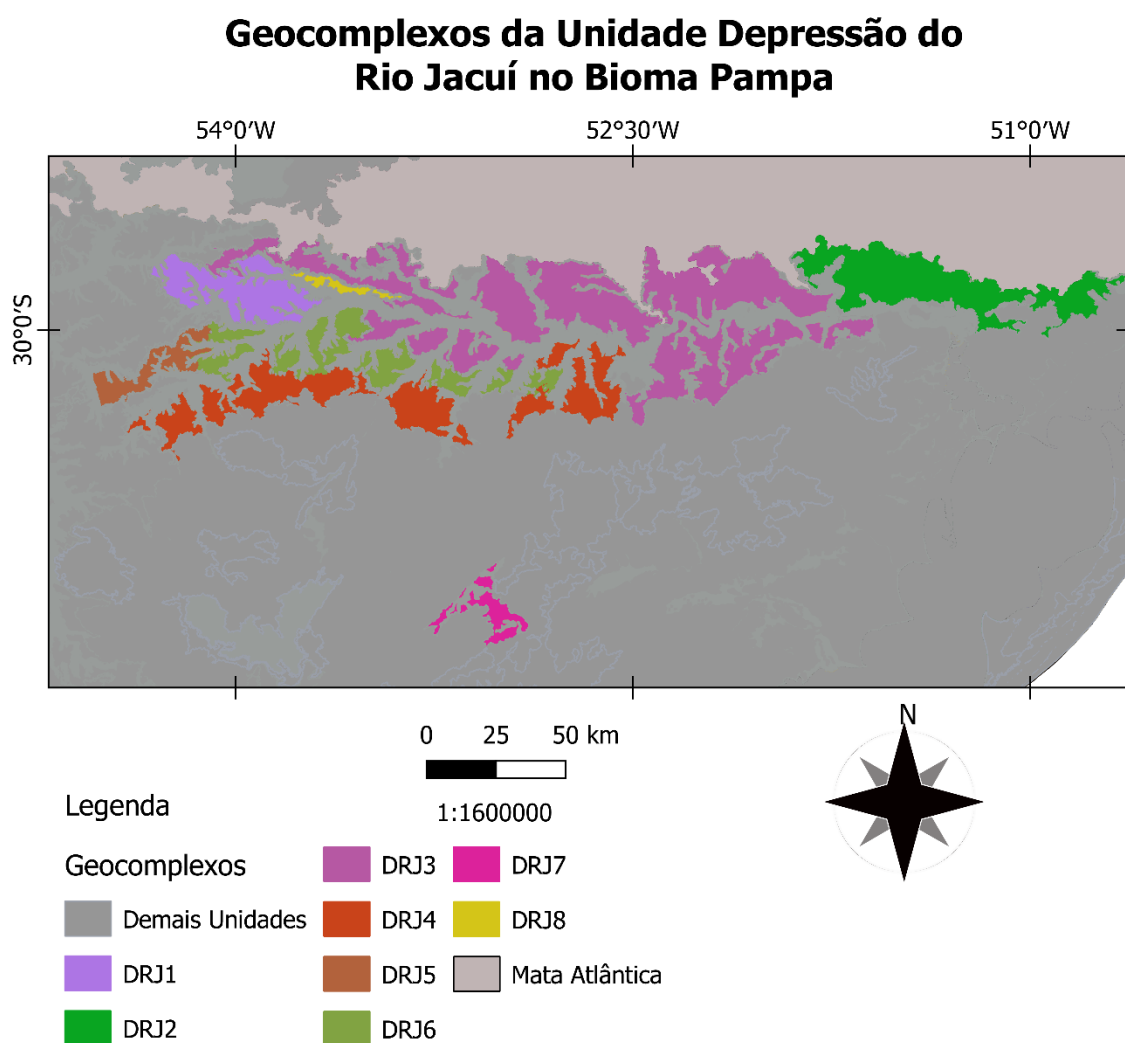
	PCG1	179367,794	PCG2	150583,559
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>71125,30</b>	<b>39,65</b>	<b>90607,31</b>	<b>60,17</b>
<i>Conservação Natural</i>	59761,8	33,32	87430,3	58,06
<i>Antrópica Estável</i>	11363,5	6,34	3177,01	2,11
<b>Regeneração</b>	<b>1852,15</b>	<b>1,03</b>	<b>1613,7</b>	<b>1,07</b>
Regeneração	1852,15	1,03	1613,7	1,07
<b>Degradação</b>	<b>104955,76</b>	<b>58,52</b>	<b>56495,18</b>	<b>37,52</b>
<i>Degradação</i>	13861,6	7,73	10196,4	6,77
<i>Expansão Soja</i>	70430	39,27	32675,7	21,70
<i>Expansão Agropecuária</i>	9269,22	5,17	6302,78	4,19
<i>Expansão Silvicultura</i>	7611,88	4,24	4454,09	2,96
<i>Intensificação Agropecuária</i>	3783,06	2,11	2866,21	1,90

Fonte: A autora (2023).

## Depressão do Rio Jacuí

A Depressão do Rio Jacuí apresenta cotas altimétricas entre 10 e 150m e ocupa a região central do Rio Grande do Sul, entre os municípios de Porto Alegre e Santa Maria (VIERO; SILVA, 2010). Esta unidade possui oito geocomplexos (Figura 43 e Tabela 17) e as geofácies deles estão apresentadas na Figura 44, e a sua área na Tabela 18.

Figura 43 - Geocomplexos da Depressão do Rio Jacuí.



Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
Dados disponibilizados pelo IBGE.  
Elaborado por Letícia Sartorio em Ago. 2023

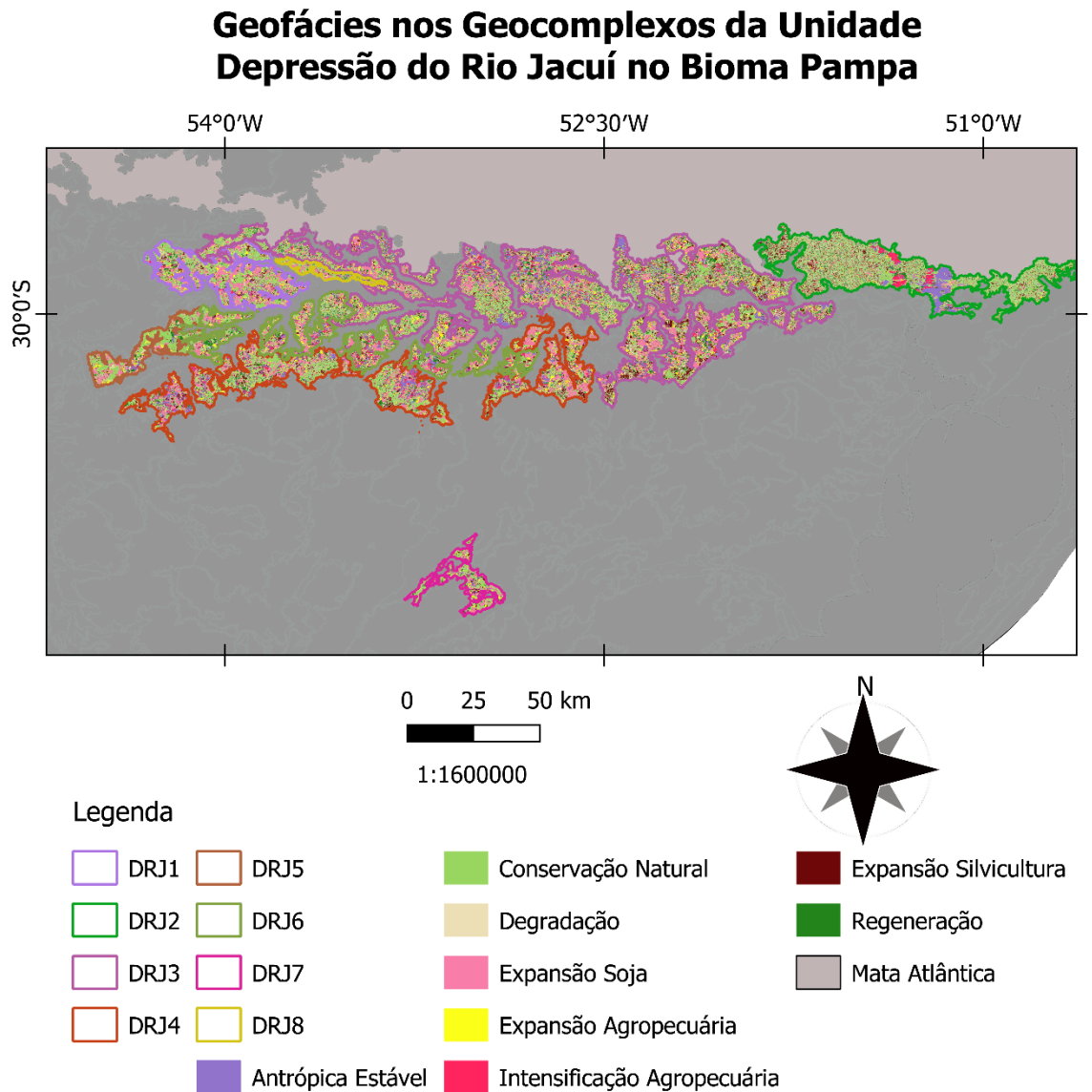
Fonte: A autora (2023).

Nesta unidade predomina os modelados dissecados homogêneos de topo convexo. Como já citado, estes se caracterizam pela dissecação fluvial em distintas litologias sem controle estrutural forte, com presença de colinas, morros e interflúvios tabulares, e as formas com topo convexo (c) são normalmente esculpidas em rochas do tipo ígneas e metamórficas. Possuem vales bem definidos e as vertentes com declividade variada (IBGE, 2009). Há o predomínio de rochas sedimentares e das unidades geológicas Rosário do Sul, Rio do Rastro e Guatá. Os sistemas ecológicos presentes são: Campo misto de andropogôneas e compostas, e Campo arbustivo.

Em relação a pedologia possui uma variedade de tipos, os principais serão apresentados a seguir. O Luvissole Crômico Pálico (TCp) apresenta espessura do solum superior a 80 cm e o Luvissole Háptico Órtico (TXo) representa os que não se enquadram nas demais classes. O Argissolo Vermelho Alumínico (PVa) apresenta caráter alumínico no horizonte B e o Argissolo Vermelho Distrófico (PVD) possui saturação inferior a 50% nos primeiros 50 cm do horizonte B. Já o Argissolo Bruno-Acinzentado Ta Alumínico (PBACva) apresenta caráter alumínio e argila de elevada atividade. Por fim, o Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Alumínico (PVAva) se caracteriza também pela argila de alta atividade e pelo caráter alumínico (EMBRAPA, 2018).

Ao observar as geofácies e a Tabela 18 nota-se maior presença de Degradação nos geocomplexos, principalmente por conta da Expansão da Soja. Mas também há áreas significativas de Conservação Natural nos geocomplexos DRJ2, DRJ5 e DRJ7. A fácies de Regeneração é a que apresenta a menor expressão espacial, não alcançando 10% das áreas dos geocomplexos.

Figura 44 - Geofácies nos Geocomplexos da Depressão do Rio Jacuí.



Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
Dados disponibilizados pelo IBGE.  
Elaborado por Letícia Sartorio em Ago. 2023

Fonte: A autora (2023).

Tabela 17 - Características dos Geocomplexos da Depressão do Rio Jacuí.

<b>Código</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Geologia</b>	<b>Modelado</b>	<b>Drenagem</b>	<b>Fisionomia Vegetal</b>	<b>Rocha Matriz</b>	<b>Área (ha)</b>
DRJ1	Argissolo Bruno-Acinzentado Ta Alumínico (PBACva)/Argissolo Vermelho Ta Alumínico (PVva)/ Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Alumínico (PVAva)	Rosário do Sul (Trs)	387Dc11/21. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a grosseira	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	96113,947
DRJ2	Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Alumínico (PVAva)	Botucatu (J3K1bt)/Rosário do Sul (Trs)	387Dc31/41/42. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem média a fina	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	175720,237
DRJ3	Argissolo Vermelho Alumonico (PVa)	Rosário do Sul (Trs)	387Dc21/31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a fina	Outras formações	Sedimentar (Arenito)	523817,170
DRJ4	Argissolo Vermelho Distrófico (PVd)	Guatá (P1g)	387Dc11/21/31. Dissecação homogênea	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	216973,612

			com topo convexo.	grosseira a média.			
DRJ5	Chernossolo Ebânico Órtico (MEo)	Rio do Rasto (P3Tr1rr)	387Dc41/51. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem fina a muito fina.	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Argilito)	45436,161
DRJ6	Luvissolo Háptico Órtico (TXo)	Irati (P1pir)/Guatá (P1g)/Rosário do Sul (Trs)	387Dc21/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a fina.	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito, Argilito)	122918,678
DRJ7	Luvissolo Crômico Pálico (TCp)	Rosário do Sul (Trs)	387Dc21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a média.	Campo arbustivo	Sedimentar (Arenito)	31536,747
DRJ8	Luvissolo Háptico Órtico (TXo)	Rosário do Sul (Trs)	387Dc11/21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a média.	Outras formações	Sedimentar (Arenito)	12433,120

Fonte: A autora (2023).



Tabela 18 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Depressão do Rio Jacuí.

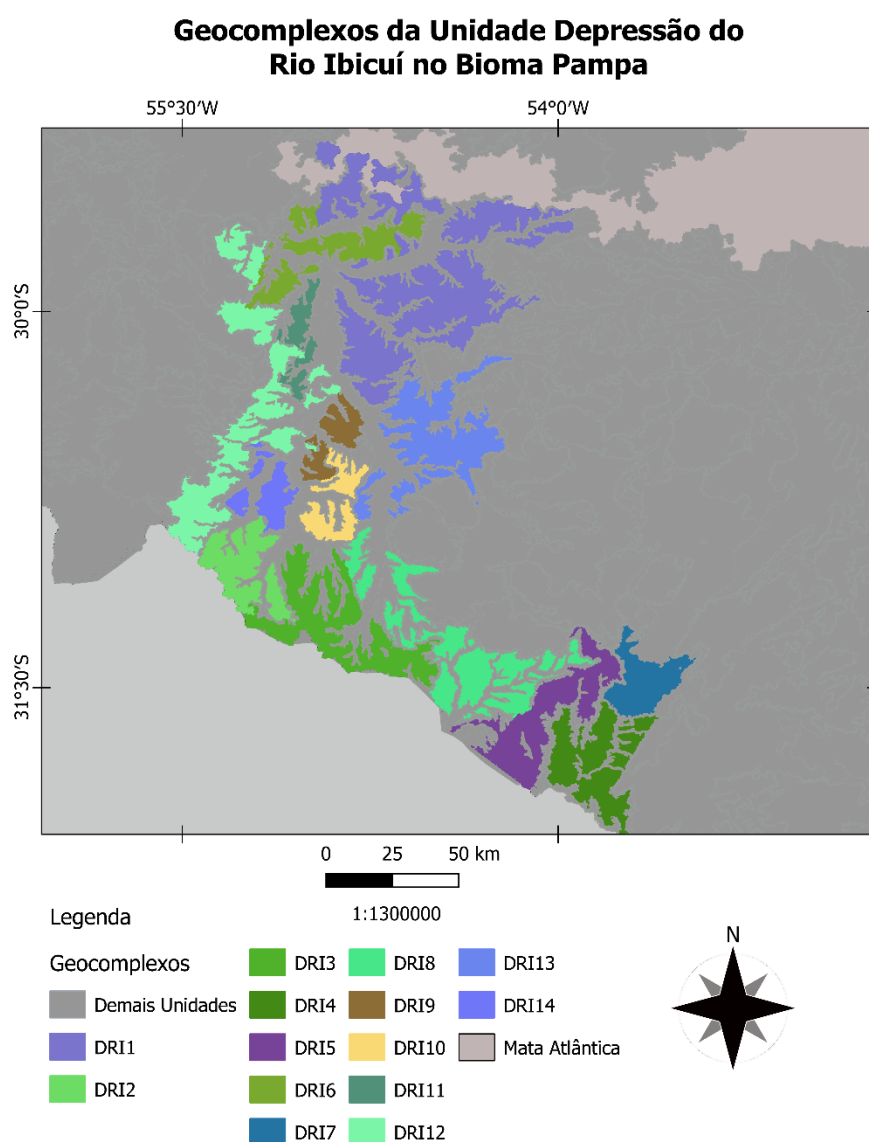
	<b>DRJ1</b>	96113,947	<b>DRJ2</b>	175720,237	<b>DRJ3</b>	523817,170	<b>DRJ4</b>	216973,612
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>32451,35</b>	<b>33,76</b>	<b>77320,10</b>	<b>44,00</b>	<b>157268,60</b>	<b>30,02</b>	<b>71568,40</b>	<b>32,98</b>
<i>Conservação Natural</i>	29153,7	30,33	60162,9	34,24	114350	21,83	50602,3	23,32
<i>Antrópica Estável</i>	3297,65	3,43	17157,2	9,76	42918,6	8,19	20966,1	9,66
<b>Regeneração</b>	<b>4270,36</b>	<b>4,44</b>	<b>11372,7</b>	<b>6,47</b>	<b>37070,1</b>	<b>7,08</b>	<b>12171,2</b>	<b>5,61</b>
Regeneração	4270,36	4,44	11372,7	6,47	37070,1	7,08	12171,2	5,61
<b>Degradação</b>	<b>58132,58</b>	<b>60,48</b>	<b>80734,71</b>	<b>45,94</b>	<b>320423,7</b>	<b>61,17</b>	<b>130022,1</b>	<b>59,92</b>
<i>Degradação</i>	16165,1	16,82	43878,4	24,97	117288	22,39	37826,2	17,43
<i>Expansão Soja</i>	23955,6	24,92	3586,89	2,04	80248	15,32	41998	19,36
<i>Expansão Agropecuária</i>	8028,87	8,35	3734,72	2,13	40646,7	7,76	17822,1	8,21
<i>Expansão Silvicultura</i>	6285,08	6,54	14940,7	8,50	51972,3	9,92	18253,8	8,41
<i>Intensificação Agropecuária</i>	3697,93	3,85	14594	8,31	30268,7	5,78	14122	6,51
	<b>DRJ5</b>	45436,161	<b>DRJ6</b>	122918,678	<b>DRJ7</b>	31536,747	<b>DRJ8</b>	12433,120
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>21411,48</b>	<b>47,12</b>	<b>34288,70</b>	<b>27,90</b>	<b>14338,51</b>	<b>45,47</b>	<b>4096,05</b>	<b>32,94</b>
<i>Conservação Natural</i>	19852,3	43,69	20184,2	16,42	13116,7	41,59	3295,01	26,50
<i>Antrópica Estável</i>	1559,18	3,43	14104,5	11,47	1221,81	3,87	801,04	6,44
<b>Regeneração</b>	<b>2565,61</b>	<b>5,65</b>	<b>10044,1</b>	<b>8,17</b>	<b>2051,72</b>	<b>6,51</b>	<b>854,947</b>	<b>6,88</b>
Regeneração	2565,61	5,65	10044,1	8,17	2051,72	6,51	854,947	6,88
<b>Degradação</b>	<b>21168,29</b>	<b>46,59</b>	<b>77514,47</b>	<b>63,06</b>	<b>14599,108</b>	<b>46,29</b>	<b>7220,518</b>	<b>58,08</b>
<i>Degradação</i>	6590,06	14,50	23673,9	19,26	4623,95	14,66	2411,66	19,40
<i>Expansão Soja</i>	6956,06	15,31	23805,2	19,37	4694,76	14,89	2857,66	22,98
<i>Expansão Agropecuária</i>	4023,62	8,86	10369,9	8,44	2093,33	6,64	772,367	6,21
<i>Expansão Silvicultura</i>	2057,79	4,53	8625,67	7,02	2346,61	7,44	621,444	5,00
<i>Intensificação Agropecuária</i>	1540,76	3,39	11039,8	8,98	840,458	2,67	557,387	4,48

Fonte: A autora (2023).

## Depressão do Rio Ibicuí

A Depressão do Rio Ibicuí possui cotas altimétricas entre 100 e 200 m, em que predominam colinas baixas que estão cobertas pelas planícies aluviais provenientes dos sistemas de drenagem (VIEIRO; SILVA, 2010). Esta unidade possui 14 geocomplexos que estão apresentados na Figura 45. A Tabela 19 contém as características dos geocomplexos delimitados.

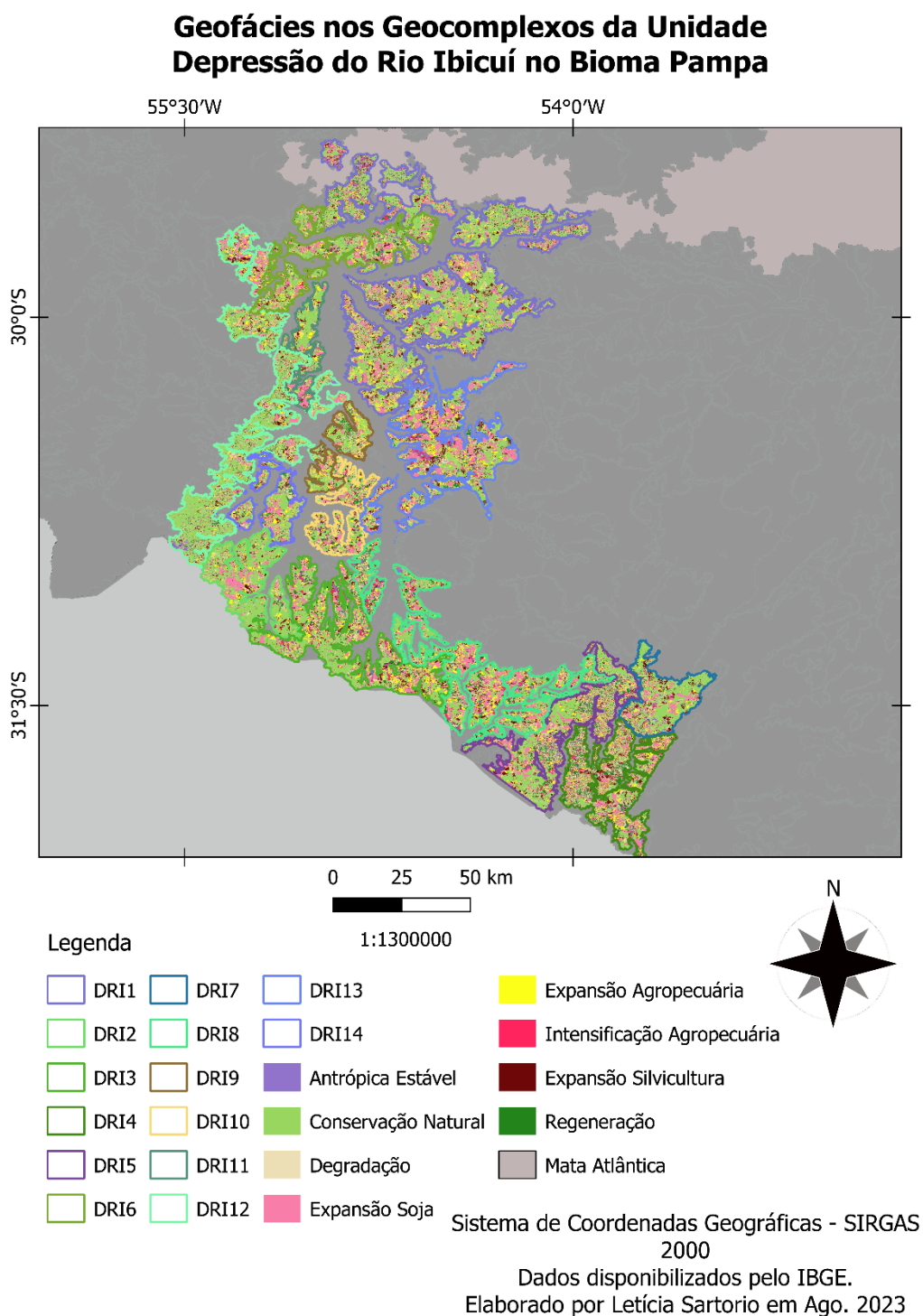
Figura 45 - Geocomplexos da Depressão do Rio Ibicuí.



Fonte: A autora (2023).

A Figura 46 apresenta a distribuição das geofácies nos geocomplexos da Depressão do Rio Ibicuí, e a Tabela 20 expõe a área em hectares e porcentagem de cada fácies.

Figura 46 - Geofácies nos Geocomplexos da Depressão do Rio Ibicuí.



Fonte: A autora (2023).

Ao analisar a Tabela 19 nota-se que o tipo de rocha principal é a sedimentar e as unidades geológicas mais recorrentes são a Rosário do Sul, Rio do Rastro, Estrada Nova, Guatá e Botucatu. O modelado predominante é o de dissecação homogênea com topo convexo, este apresenta dissecação fluvial sem forte controle estrutural e o topo convexo indica a presença de vales com boa definição e vertentes com declividade variada (IBGE, 2009). Possui três sistemas ecológicos, o Campo arbustivo, o Campo graminoso e o Campo misto de andropogôneas e compostas.

Esta unidade apresenta distintas pedologias. O Luvisolo Háplico Órtico (TXo) é um tipo de solo que não se enquadra nas demais classificações na 3ª ordem. O Planossolo Háplico Carbonático (SXk) é um solo com caráter carbonático em um ou mais de seus horizontes. Já o Chernossolo Ebânico Carbonático (MEk) são solos com caráter carbonático e o Chernossolo Ebânico Órtico (MEo) são os demais solos que não se encaixam nas outras categorias. Os Vertissolo Ebânico Carbonático (VEk) também apresentam caráter carbonático. Os demais solos são argissolos, sendo eles: Argissolo Vermelho Ta Alumínico (PVva), Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Alumínico (PVAva), Argissolo Bruno-Acinzentado Ta Alumínico (PBACva) e Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAAd). Todos apresentam argila de alta atividade, os três primeiros com caráter alumínico e o último distrófico com saturação inferior a 50% nos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2018).

Ao observar o mapa e Tabela (Figura 46 e Tabela 20) das geofácies notamos que nesta unidade há predomínio de fácies de Degradação, mas alguns geocomplexos apresentam maior Estabilização, com destaque para a fácies de Conservação Natural (DRI2, DRI7, DRI12). Em relação a fácies de Regeneração destaca-se a sua ocorrência na DRI4 em 10.46% de sua área e na DRI10 em 9.15% da sua área total. Além disso, a fácies de Degradação apresenta de forma geral maior contribuição das fácies de Degradação, Expansão Soja e Expansão Agropecuária nesta unidade.

Tabela 19 - Características dos Geocomplexos da Depressão do Rio Ibicuí.

Código	Pedologia	Geologia	Modelado	Drenagem	Fisionomia Vegetal	Rocha Matriz	Área (ha)
DRI1	Argissolo Vermelho Alumínico (PVa)	Rosário do Sul (Trs)	388Dc21/31/41 Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a fina	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	379666,824
DRI2	Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Alumínico (PVAva)	Rosário do Sul (Trs)	388Dc41/51. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem fina a muito fina	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	79241,748
DRI3	Chernossolo Ebânico Carbonático (MEk)	Rosário do Sul (Trs)/Rio do Rasto (P3Tr1rr)/ Estrada Nova (P23en)	388Dc31/41/51. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média a muito fina	Campo gramíneo	Sedimentar (Argilito, Arenito, Folhelho arenoso)	146012,063
DRI4	Vertissolo Ebânico Carbonático (VEk)	Rio do Rasto (P3Tr1rr)/Estrada Nova (P23en)	388Dc41/51. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem fina a muito fina	Campo gramíneo	Sedimentar (Argilito, Folhelho)	109960,322
DRI5	Chernossolo Ebânico Carbonático (MEk)	Rio do Rasto (P3Tr1rr)/Estrada Nova (P23en)	388Dc41/51. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de	Campo gramíneo	Sedimentar (Argilito, Folhelho arenoso)	117335,178

				drenagem fina a muito fina			
DRI6	Argissolo Bruno-Acinzentado Ta Alumínico (PBACva)	Rosário do Sul (Trs)	388Dc31/41/51. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média a muito fina	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	91728,254
DRI7	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAAd)	Guatá (P1g)	388Dc21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a média	Campo arbustivo	Sedimentar (Arenito)	63245,843
DRI8	Planossolo Háplico Carbonático (SXk)	Rio do Rasto (P3Tr1rr)/Guatá (P1g)/Estrada Nova (P23en)	388Dc11/21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a média	Campo gramíneo	Sedimentar (Folhelho arenoso, Argilito)	161331,693
DRI9	Argissolo Bruno-Acinzentado Ta Alumínico (PBACva)	Rosário do Sul (Trs)	388Dc41/51. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem fina a muito fina	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	40108,743
DRI10	Chernossolo Ebânico Órtico (MEo)	Irati (P1pir)/Rio do Rasto (P3Tr1rr)/Estrada Nova (P23en)	388Dc31/51. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média a muito fina	Campo gramíneo	Sedimentar (Argilito, Folhelho arenoso)	47705,583

DRI11	Luvissole Háplico Órtico (TXo)	Rosário do Sul (Trs)	388Dc21/31/41. Dissecção homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a fina	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	36822,658
DRI12	Argissolo Vermelho Ta Alumínico (PVva)	Botucatu (J3K1bt)/Rosário do Sul (Trs)	388Dc21/41. Dissecção homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a fina	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	190105,393
DRI13	Luvissole Háplico Órtico (TXo)	Guatá (P1g)	388Dc21/31. Dissecção homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a média	Campo graminoso	Sedimentar (Arenito, Folhelho arenoso)	155590,346
DRI14	Luvissole Háplico Órtico (TXo)	Rosário do Sul (Trs)	388Dc31/51. Dissecção homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média e muito fina	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	44110,359

Fonte: A autora (2023).

Tabela 20 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Depressão do Rio Ibicuí.

	<b>DR11</b>	379666,824	<b>DR12</b>	79241,748	<b>DR13</b>	146012,063	<b>DR14</b>	109960,322
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>172870,89</b>	<b>45,53</b>	<b>44172,50</b>	<b>55,74</b>	<b>54727,77</b>	<b>37,48</b>	<b>21168,39</b>	<b>19,25</b>
<i>Conservação Natural</i>	164872	43,43	43816,6	55,29	50751,6	34,76	19806,2	18,01
<i>Antrópica Estável</i>	7998,89	2,11	355,898	0,45	3976,17	2,72	1362,19	1,24
<b>Regeneração</b>	<b>11523,3</b>	<b>3,04</b>	<b>1631,34</b>	<b>2,06</b>	<b>7954,36</b>	<b>5,45</b>	<b>11499,3</b>	<b>10,46</b>
Regeneração	11523,3	3,04	1631,34	2,06	7954,36	5,45	11499,3	10,46
<b>Degradação</b>	<b>190273,8</b>	<b>50,12</b>	<b>32934,88</b>	<b>41,56</b>	<b>82594,36</b>	<b>56,56</b>	<b>76059,51</b>	<b>69,17</b>
<i>Degradação</i>	66331,5	17,47	10849,2	13,69	27369,9	18,74	34162,3	31,07
<i>Expansão Soja</i>	48168,7	12,69	9744,83	12,30	16905,7	11,58	11794,1	10,73
<i>Expansão Agropecuária</i>	33375,2	8,79	5682,01	7,17	17631,1	12,08	12084	10,99
<i>Expansão Silvicultura</i>	30566,9	8,05	5173,32	6,53	12071,2	8,27	11886,1	10,81
<i>Intensificação Agropecuária</i>	11831,5	3,12	1485,52	1,87	8616,46	5,90	6133,01	5,58
	<b>DR15</b>	117335,178	<b>DR16</b>	91728,254	<b>DR17</b>	63245,843	<b>DR18</b>	161331,693
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>40327,3</b>	<b>34,37</b>	<b>36565,80</b>	<b>39,86</b>	<b>33510,27</b>	<b>52,98</b>	<b>45562,89</b>	<b>28,24</b>
<i>Conservação Natural</i>	38731,1	33,01	34344,7	37,44	32615,7	51,57	38669,6	23,97
<i>Antrópica Estável</i>	1596,22	1,36	2221,1	2,42	894,567	1,41	6893,29	4,27
<b>Regeneração</b>	<b>9483,72</b>	<b>8,08</b>	<b>4503,91</b>	<b>4,91</b>	<b>1222,08</b>	<b>1,93</b>	<b>10696,2</b>	<b>6,63</b>
Regeneração	9483,72	8,08	4503,91	4,91	1222,08	1,93	10696,2	6,63
<b>Degradação</b>	<b>66491,75</b>	<b>56,67</b>	<b>49819,46</b>	<b>54,32</b>	<b>27570,23</b>	<b>43,59</b>	<b>104063,5</b>	<b>64,51</b>
<i>Degradação</i>	28512,6	24,30	16937,9	18,47	9279,85	14,67	32600,3	20,21
<i>Expansão Soja</i>	13238,6	11,28	14128,9	15,40	6304,33	9,97	28211	17,49
<i>Expansão Agropecuária</i>	10565,5	9,00	8536,89	9,31	4061,86	6,42	18935,9	11,74
<i>Expansão Silvicultura</i>	8692,66	7,41	6678,89	7,28	6477,18	10,24	13396,6	8,30
<i>Intensificação Agropecuária</i>	5482,39	4,67	3536,88	3,86	1447,01	2,29	10919,7	6,77
	<b>DR19</b>	40108,743	<b>DR10</b>	47705,583	<b>DR11</b>	36822,658	<b>DR12</b>	190105,393



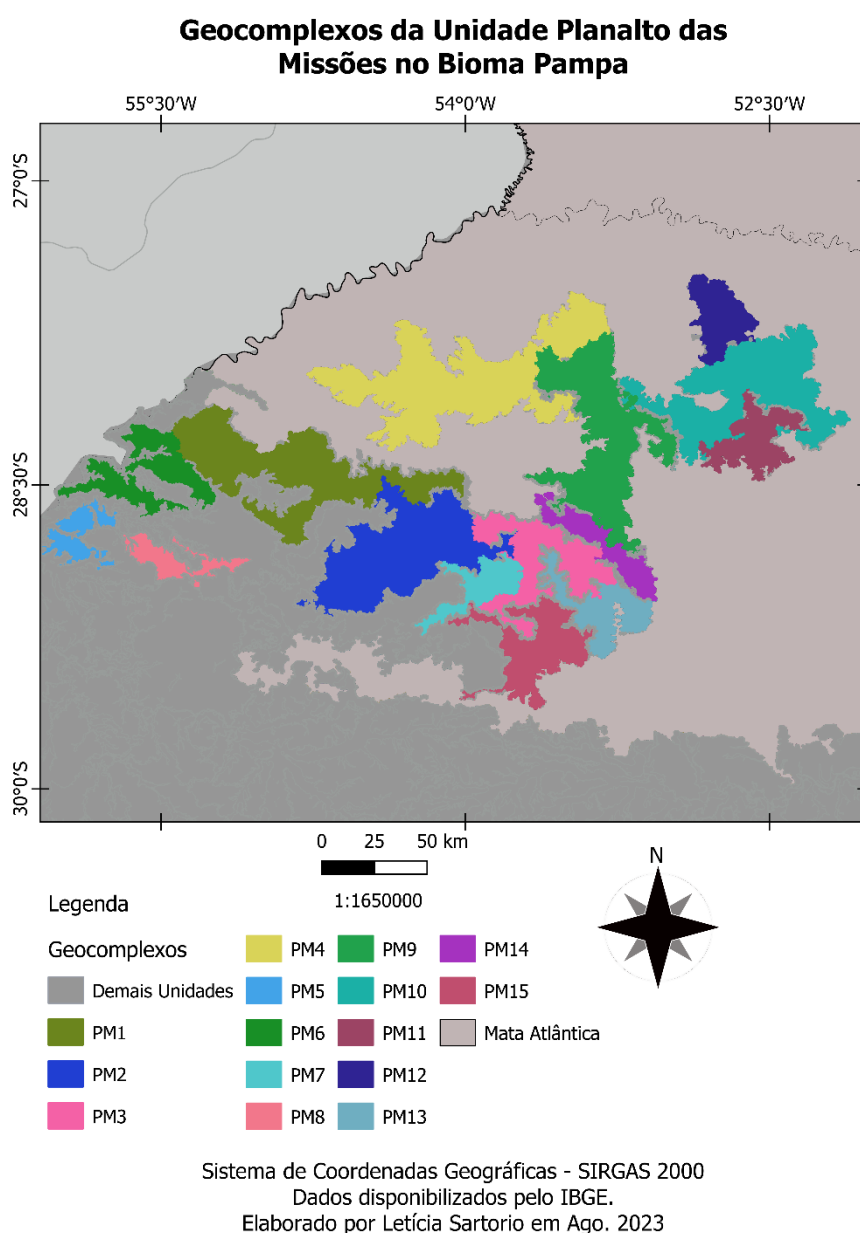
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>14642,46</b>	<b>36,51</b>	<b>13066,96</b>	<b>27,39</b>	<b>14577,21</b>	<b>39,59</b>	<b>94374,77</b>	<b>49,64</b>
<i>Conservação Natural</i>	14104,3	35,17	11587,1	24,29	13639,2	37,04	90566,4	47,64
<i>Antrópica Estável</i>	538,163	1,34	1479,86	3,10	938,009	2,55	3808,37	2,00
<b>Regeneração</b>	<b>2947,06</b>	<b>7,35</b>	<b>4363,21</b>	<b>9,15</b>	<b>1823,41</b>	<b>4,95</b>	<b>6979,85</b>	<b>3,67</b>
Regeneração	2947,06	7,35	4363,21	9,15	1823,41	4,95	6979,85	3,67
<b>Degradação</b>	<b>22061,2</b>	<b>55,00</b>	<b>29996,87</b>	<b>62,88</b>	<b>20256,16</b>	<b>55,01</b>	<b>86542,86</b>	<b>45,52</b>
<i>Degradação</i>	8236,14	20,53	11469	24,04	6593	17,90	32720,5	17,21
<i>Expansão Soja</i>	3914,99	9,76	6320,21	13,25	5083,86	13,81	19962,4	10,50
<i>Expansão Agropecuária</i>	6025,03	15,02	5291,48	11,09	4164,89	11,31	14563,5	7,66
<i>Expansão Silvicultura</i>	2470,68	6,16	4149,14	8,70	2766,6	7,51	13211,8	6,95
<i>Intensificação Agropecuária</i>	1414,36	3,53	2767,04	5,80	1647,81	4,47	6084,66	3,20
	<b>DRI13</b>	155590,346	<b>DRI14</b>	44110,359				
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)				
<b>Estabilização</b>	<b>47452,23</b>	<b>30,50</b>	<b>17350,08</b>	<b>39,33</b>				
<i>Conservação Natural</i>	40626,3	26,11	16595,5	37,62				
<i>Antrópica Estável</i>	6825,93	4,39	754,578	1,71				
<b>Regeneração</b>	<b>6946,71</b>	<b>4,46</b>	<b>3066,9</b>	<b>6,95</b>				
Regeneração	6946,71	4,46	3066,9	6,95				
<b>Degradação</b>	<b>99882,19</b>	<b>64,19</b>	<b>23294,58</b>	<b>52,81</b>				
<i>Degradação</i>	28290,8	18,18	8560,49	19,41				
<i>Expansão Soja</i>	30778,9	19,78	5745,99	13,03				
<i>Expansão Agropecuária</i>	18418,5	11,84	4405,67	9,99				
<i>Expansão Silvicultura</i>	13885,1	8,92	3140,83	7,12				
<i>Intensificação Agropecuária</i>	8508,89	5,47	1441,6	3,27				

Fonte: A autora (2023).

## Planalto das Missões

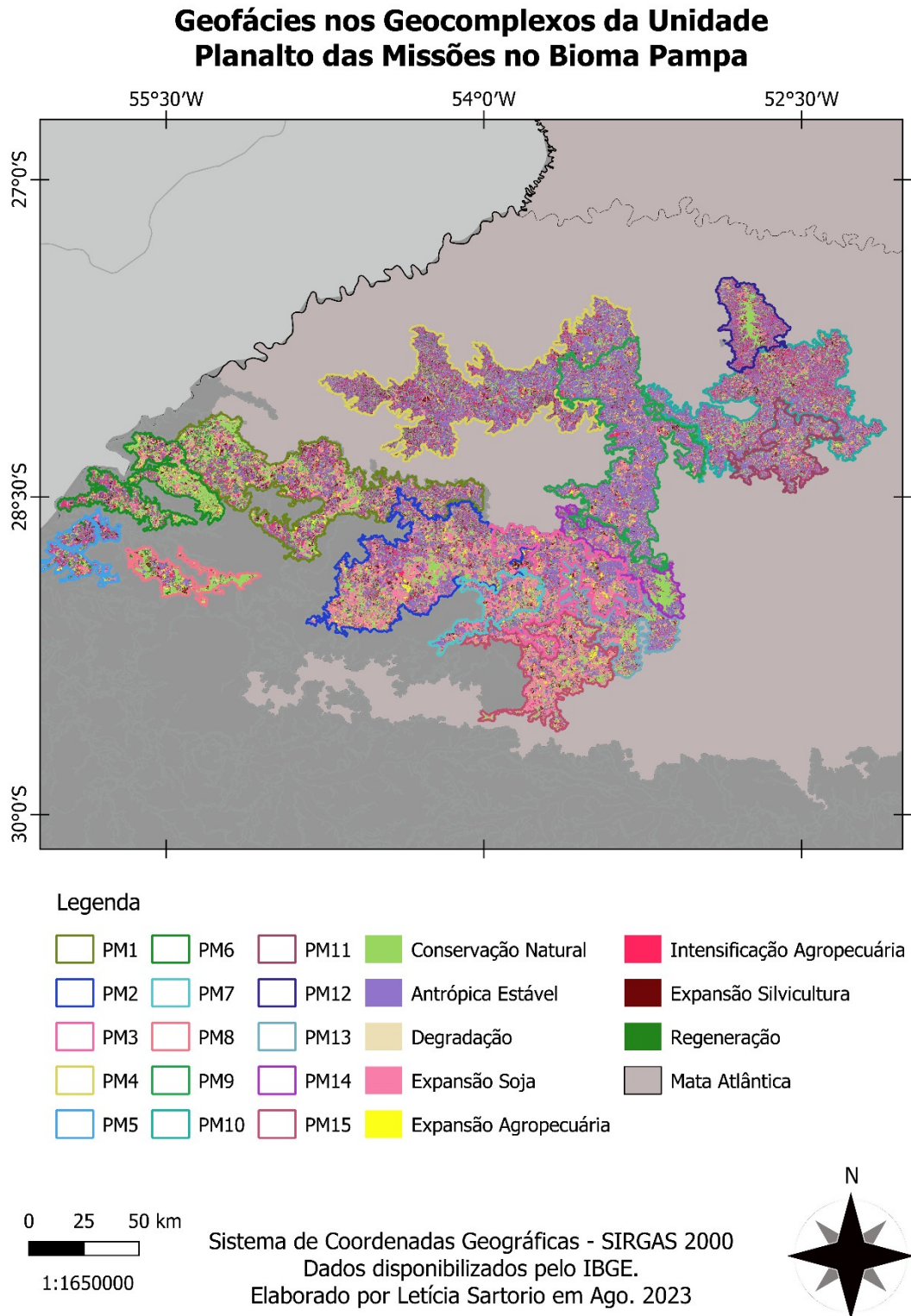
A unidade do Planalto das Missões foi subdividida em 15 geocomplexos, sua distribuição espacial pode ser vista na Figura 47 e suas características na Tabela 21. As geofácies estão apresentadas na Figura 48 e sua área por geocomplexo na Tabela 22.

Figura 47 - Geocomplexos do Planalto das Missões.



Fonte: A autora (2023).

Figura 48 - Geofácies nos Geocomplexos do Planalto das Missões.



Fonte: A autora (2023).

Nos geocomplexos predominam rochas ígneas, e secundamente sedimentares. Em relação as unidades geológicas podemos destacar a Paranapanema, a Serra Geral - Fácies Caxias e a Tupanciretã. Há a presença de dois sistemas ecológicos: Campo com espinilho e Campo com barba-de-bode. O modelado predominante entre os geocomplexos é o de dissecação homogênea com topo convexo, já explicitado acima. Em termos de pedologia há o domínio de latossolos, nitossolos e argissolos. Latossolo Vermelho Aluminoférrico (LVaf) possui caráter aluminico, o Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) apresenta saturação inferior a 50% nos primeiros 100 cm do horizonte B, e Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) se caracteriza por possuir saturação inferior a 50% nos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2018).

O Nitossolo Bruno Aluminico (NBa) possui caráter aluminico e o Nitossolo Vermelho Eutroférrico (NVef) apresenta saturação igual ou superior a 50% nos 50 primeiros centímetros do horizonte B. Por último, o Argissolo Vermelho Aluminico (PVa) detém caráter aluminico nos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2018).

Ao observar as geofácies na Figura 48 nota-se que os geocomplexos mais ao norte (PM4, PM9-PM14) apresentam maior porcentagem de área na fácies de Estabilização, está tendo maior composição da fácies de Antrópica Estável. Isso ocorre, pois, esta área possui a prática agropecuária instalada há um longo período (CP 1). Ao contrário, os geocomplexos mais ao sul (PM2, PM3, PM7 e PM15) apresentam em sua maioria fácies de Degradação, principalmente de Expansão de Soja, já que ocupa área de avanço de fronteira agrícola no Bioma Pampa. A PM8 é o geocomplexo com maior área de Conservação Natural.

Tabela 21 - Características dos Geocomplexos do Planalto das Missões.

<b>Código</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Geologia</b>	<b>Modelado</b>	<b>Drenagem</b>	<b>Fisionomia Vegetal</b>	<b>Rocha Matriz</b>	<b>Área (ha)</b>
PM1	Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf)	Paranapanema (K1(B)p)	453Dc11/21. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a grosseira.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Basalto)	368956,262
PM2	Associação de Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf)/Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	Paranapanema (K1(B)p)	453Dc11/21/31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a fina.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Basalto)	340493,184
PM3	Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	Tupanciretã (E1tp)	453Dc21. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira.	Campo com barba-de-bode	Sedimentar (Arenito)	172959,907
PM4	Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf)	Paranapanema (K1(B)p)	453Dc11/21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Andesito, Basalto)	435486,348

				grosseira a média.			
PM5	Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef)	Paranapanema (K1(B)p)	453Dc11. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira.	Campo com espinilho	Ígnea (Andesito, Basalto)	60484,586
PM6	Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef)	Paranapanema (K1(B)p)	453Dc11/21. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a grosseira.	Campo com barba-de-bode/Campo com espinilho	Ígnea (Basalto)	147564,630
PM7	Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	Tupanciretã (E1tp)	453Dc31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média a fina.	Campo com barba-de-bode	Sedimentar (Arenito)	74799,167
PM8	Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef)	Paranapanema (K1(B)p)	453Dc11/21. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a grosseira.	Campo com espinilho	Ígnea (Basalto)	59833,686

PM9	Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	Paranapanema (K1(B)p)	453Dc21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a média.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Andesito, Basalto)	323543,661
PM10	Latossolo Vermelho Aluminoférrico (LVaf)	Paranapanema (K1(B)p)	453Dc21. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Andesito, Basalto)	324208,360
PM11	Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	Paranapanema (K1(B)p)	453Dc21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a média.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Andesito, Basalto)	102108,119
PM12	Associação de Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf)/Latossolo Vermelho Aluminoférrico (LVaf)	Paranapanema (K1(B)p)	453Dc21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a média.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Andesito, Basalto)	90282,496

PM13	Nitossolo Bruno Alumínico (NBa)	Serra Geral - Fácies Caxias (K1(A)cx)	453Dc31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média a fina.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Basalto, Latito)	104967,141
PM14	Latosolo Vermelho Distroférico (LVdf)	Paranapanema (K1(B)p)	453Dc31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Basalto, Latito)	85392,902
PM15	Argissolo Vermelho Alumínico (PVa)	Serra Geral - Fácies Caxias (K1(A)cx)	453Dc21/31/41. Dissecação homogênea com topo convexo	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a fina.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Riodacito)	158773,999

Fonte: A autora (2023).

Tabela 22 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planalto das Missões.

	<b>PM1</b>	368956,262	<b>PM2</b>	340493,184	<b>PM3</b>	172959,907	<b>PM4</b>	435486,348
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>173012,20</b>	<b>46,89</b>	<b>151811,10</b>	<b>44,59</b>	<b>79848,70</b>	<b>46,17</b>	<b>262910,90</b>	<b>60,37</b>
<i>Conservação Natural</i>	75915,1	20,58	55165,6	16,20	14353,3	8,30	42967,9	9,87
<i>Antrópica Estável</i>	97097,1	26,32	96645,5	28,38	65495,4	37,87	219943	50,51
<b>Regeneração</b>	<b>24979</b>	<b>6,77</b>	<b>8176,4</b>	<b>2,40</b>	<b>4143,57</b>	<b>2,40</b>	<b>18756,9</b>	<b>4,31</b>
Regeneração	24979	6,77	8176,4	2,40	4143,57	2,40	18756,9	4,31
<b>Degradação</b>	<b>165839,50</b>	<b>44,95</b>	<b>176713,00</b>	<b>51,90</b>	<b>87357,15</b>	<b>50,51</b>	<b>148476,89</b>	<b>34,09</b>



<i>Degradação</i>	33378	9,05	24319,6	7,14	14391,4	8,32	24928,8	5,72
<i>Expansão Soja</i>	43589,5	11,81	79935,8	23,48	38928,7	22,51	14724,1	3,38
<i>Expansão Agropecuária</i>	17550,7	4,76	17867,5	5,25	12062	6,97	8430,79	1,94
<i>Expansão Silvicultura</i>	29624,9	8,03	24414,7	7,17	9019,95	5,22	36061,9	8,28
<i>Intensificação Agropecuária</i>	41696,4	11,30	30175,4	8,86	12955,1	7,49	64331,3	14,77
	<b>PM5</b>	60484,586	<b>PM6</b>	147564,630	<b>PM7</b>	74799,167	<b>PM8</b>	59833,686
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>26577,80</b>	<b>43,94</b>	<b>65060,50</b>	<b>44,09</b>	<b>27413,14</b>	<b>36,65</b>	<b>31420,75</b>	<b>52,51</b>
<i>Conservação Natural</i>	5058	8,36	41581,9	28,18	8624,04	11,53	24155,2	40,37
<i>Antrópica Estável</i>	21519,8	35,58	23478,6	15,91	18789,1	25,12	7265,55	12,14
<b>Regeneração</b>	<b>6155,1</b>	<b>10,18</b>	<b>14505</b>	<b>9,83</b>	<b>1476,95</b>	<b>1,97</b>	<b>5473,88</b>	<b>9,15</b>
Regeneração	6155,1	10,18	14505	9,83	1476,95	1,97	5473,88	9,15
<b>Degradação</b>	<b>27378,06</b>	<b>45,26</b>	<b>66622,99</b>	<b>45,15</b>	<b>45234,82</b>	<b>60,47</b>	<b>22414,53</b>	<b>37,46</b>
<i>Degradação</i>	6745,72	11,15	20086	13,61	6675,5	8,92	8139,57	13,60
<i>Expansão Soja</i>	5230,62	8,65	13174,5	8,93	26201,6	35,03	3300,98	5,52
<i>Expansão Agropecuária</i>	1918,76	3,17	8060,29	5,46	4421,57	5,91	2704,82	4,52
<i>Expansão Silvicultura</i>	3638,58	6,02	10493	7,11	3586,93	4,80	4238,04	7,08
<i>Intensificação Agropecuária</i>	9844,38	16,28	14809,2	10,04	4349,22	5,81	4031,12	6,74
	<b>PM9</b>	323543,661	<b>PM10</b>	324208,360	<b>PM11</b>	102108,119	<b>PM12</b>	90282,496
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>214501,40</b>	<b>66,30</b>	<b>197569,70</b>	<b>60,94</b>	<b>62183,10</b>	<b>60,90</b>	<b>53604,50</b>	<b>59,37</b>
<i>Conservação Natural</i>	23635,4	7,31	40735,7	12,56	11132,9	10,90	16780	18,59
<i>Antrópica Estável</i>	190866	58,99	156834	48,37	51050,2	50,00	36824,5	40,79
<b>Regeneração</b>	<b>7718,81</b>	<b>2,39</b>	<b>10261</b>	<b>3,16</b>	<b>3382,2</b>	<b>3,31</b>	<b>3084,38</b>	<b>3,42</b>
Regeneração	7718,81	2,39	10261	3,16	3382,2	3,31	3084,38	3,42
<b>Degradação</b>	<b>98342,50</b>	<b>30,39</b>	<b>112186,01</b>	<b>34,60</b>	<b>35373,17</b>	<b>34,64</b>	<b>32581,54</b>	<b>36,09</b>
<i>Degradação</i>	16799,7	5,19	18587	5,73	6881,88	6,74	5229,06	5,79

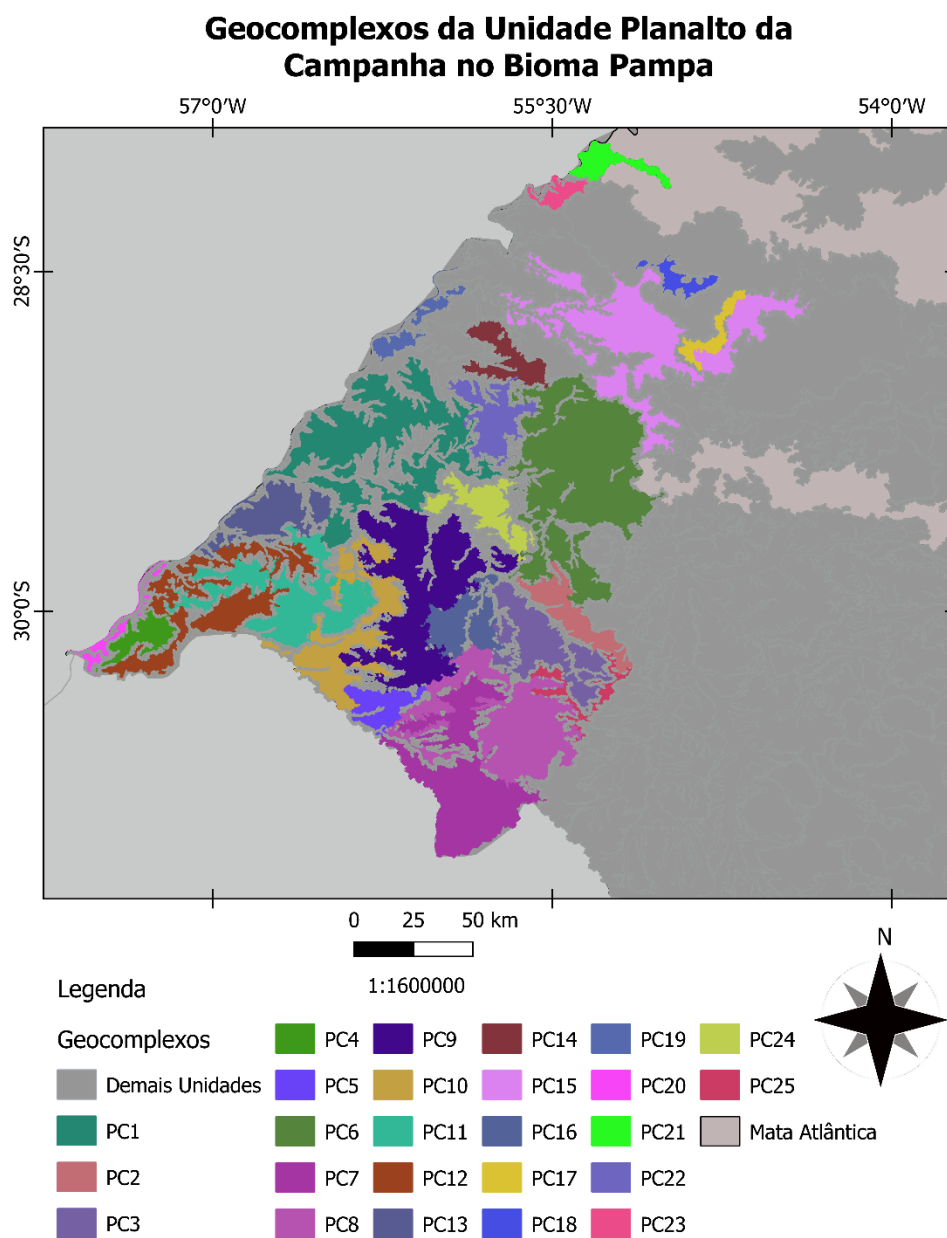
<i>Expansão Soja</i>	23396,6	7,23	17017	5,25	8133,5	7,97	3385,51	3,75
<i>Expansão Agropecuária</i>	11484,9	3,55	7038,91	2,17	3157,86	3,09	1695,57	1,88
<i>Expansão Silvicultura</i>	17309,4	5,35	19780,6	6,10	4970,23	4,87	6709,1	7,43
<i>Intensificação Agropecuária</i>	29351,9	9,07	49762,5	15,35	12229,7	11,98	15562,3	17,24
	<b>PM13</b>	104967,141	<b>PM14</b>	85392,902	<b>PM15</b>	158773,999		
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)		
<b>Estabilização</b>	<b>57524,40</b>	<b>54,80</b>	<b>57498,20</b>	<b>67,33</b>	<b>53044,30</b>	<b>33,41</b>		
<i>Conservação Natural</i>	19902,7	18,96	20352,9	23,83	25864,1	16,29		
<i>Antrópica Estável</i>	37621,7	35,84	37145,3	43,50	27180,2	17,12		
<b>Regeneração</b>	<b>2185,31</b>	<b>2,08</b>	<b>2623,52</b>	<b>3,07</b>	<b>2391,55</b>	<b>1,51</b>		
Regeneração	2185,31	2,08	2623,52	3,07	2391,55	1,51		
<b>Degradação</b>	<b>43485,49</b>	<b>41,42</b>	<b>24351,23</b>	<b>28,52</b>	<b>101333,46</b>	<b>63,82</b>		
<i>Degradação</i>	7782,5	7,41	4959,08	5,81	13893,1	8,75		
<i>Expansão Soja</i>	18283	17,42	6675,38	7,82	58033,5	36,55		
<i>Expansão Agropecuária</i>	4731,02	4,51	2129,34	2,49	11672,8	7,35		
<i>Expansão Silvicultura</i>	5556,25	5,29	3157,5	3,70	8678,75	5,47		
<i>Intensificação Agropecuária</i>	7132,72	6,80	7429,93	8,70	9055,31	5,70		

Fonte: A autora (2023).

## Planalto da Campanha

O Planalto da Campanha possui 25 geocomplexos (Figura 49 e Tabela 23). As geofácies nos geocomplexos podem ser visualizadas na Figura 50, e sua área na Tabela 24.

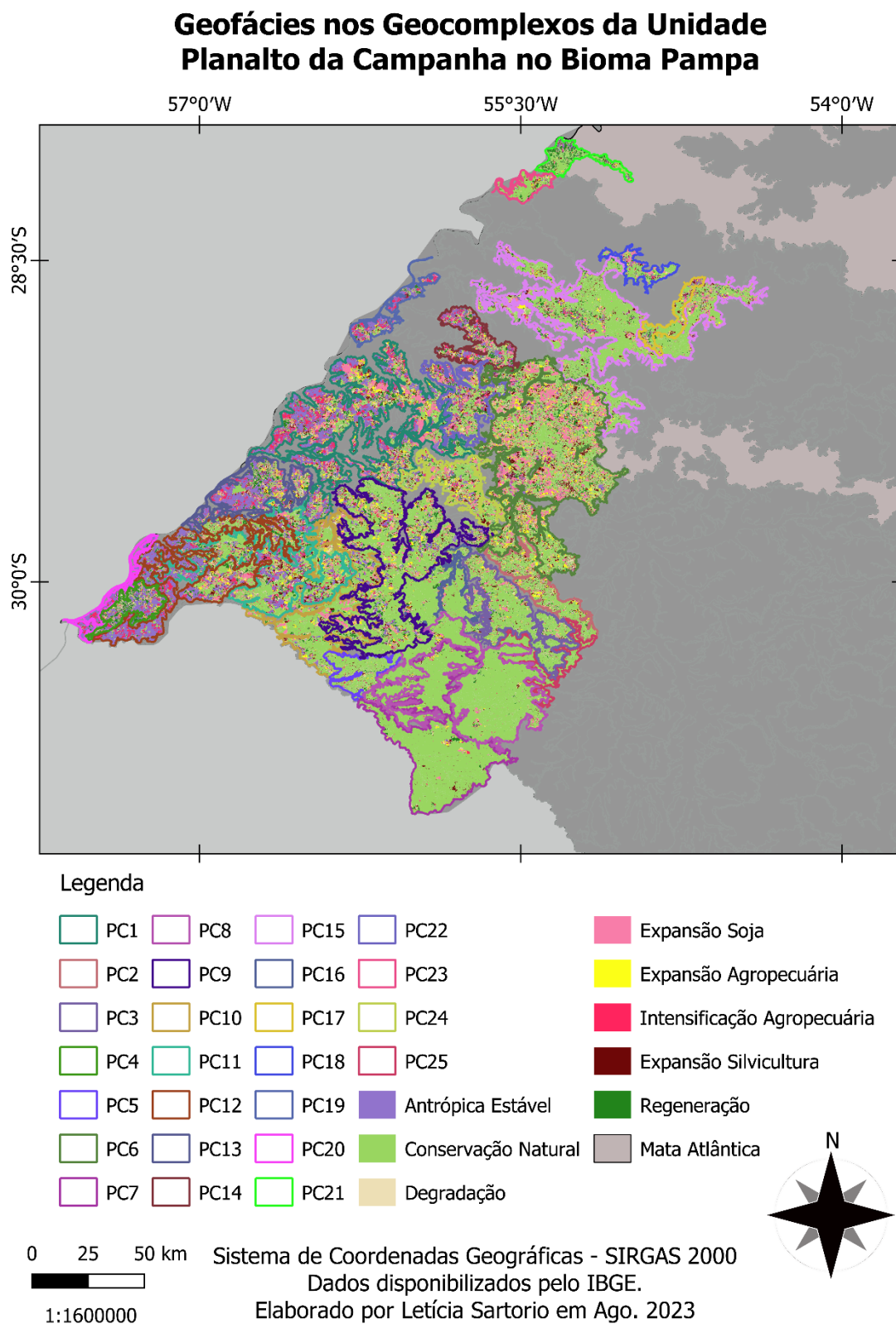
Figura 49 - Geocomplexos do Planalto da Campanha.



Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
Dados disponibilizados pelo IBGE.  
Elaborado por Letícia Sartorio em Ago. 2023

Fonte: A autora (2023).

Figura 50 - Geofácies nos Geocomplexos do Planalto da Campanha.



Fonte: A autora (2023).

Na unidade do Planalto da Campanha Gaúcha há a preponderância do relevo suave e ondulado, com origem associada ao derramamento basáltico coberta por uma vegetação gramíneo-lenhosa. Esta foi modelada por rochas basálticas da Formação Serra Geral, com uma pequena porção esculpida em arenitos interderrames e em arenitos eólicos da Formação Botucatu. Atualmente, os processos erosivos que atuam na unidade elevam a quantidade de áreas com risco de arenização (BOTELHO, JÚNIOR, 2016).

Por ser tratar de uma grande unidade apresenta distintas características em seus geocomplexos. Assim, possui rochas ígneas, sedimentares e material superficial na sua constituição. As principais unidades geológicas são Paranapanema, Serra Geral e Botucatu. Ademais, possui diversos sistemas ecológicos, sendo eles: Campo com areais, Campo com barba-de-bode, Campo com espinilho, Campo de solos rasos e Campo misto de andropôgoneas e compostas.

Está diversidade também está presente no modelado, com formas dissecadas e aplanadas. O modelado de dissecação homogênea (D) apresenta dissecação fluvial em distintas litologias sem controle estrutural forte, possuindo colinas, morros e interflúvios tabulares. As formas com topo convexo (c) são em sua maioria esculpidas em rochas do tipo ígneas e metamórficas. Possuem vales com boa definição e vertentes com declividade variada (IBGE, 2009). As formas com topo tabular (t) possuem feições de rampas com inclinação suave e lombadas, são esculpidas normalmente em coberturas sedimentares não consolidadas e rochas metamórficas, com eventual controle estrutural. Apresentam rede de drenagem de baixa densidade, com vertentes de baixa declividade e vales rasos. São resultados do processo de dissecação que age sobre uma área aplanada (IBGE, 2009).

O modelado de pediplano retocado inumado/desnudado (Pri, Pru) representa uma superfície de aplanamento desenvolvida no decorrer de sucessivas fases de retorno de erosão, mas sem perder os atributos de aplanamento. Tem ocorrência geralmente nas depressões pediplanadas interplanálticas e periféricas tabuliformes e no sopé de escarpas. Pode apresentar cobertura detrítica e/ou encouraçamentos que ultrapassam um metro

de espessura, o que aponta para sucessivos remanejamentos (Pri), ou podem ser rochas pouco modificadas truncadas por ações de aplanamento que desnudaram o relevo (Pru) (IBGE, 2009).

O modelado de pediplano degradado inumado/desnudado (Pgi/Pgu) representa uma superfície de aplanamento com conservação parcial, possui perda de continuidade devido a mudança no sistema morfogenético. Ocorre nos topos de planaltos e chapadas, que são dominados por residuais ou relevos dissecados. Pode estar desnudada (Pgu), por conta da exumação de camada sedimentar ou remoção da cobertura anterior (IBGE, 2009).

Em relação a pedologia há maior presença de neossolos, nitossolos, chernossolos, plintossolos e argissolos. O Neossolo Litólico Chernossólico (RLm) possui horizonte A chernozêmico e sem caráter carbonático. O Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef) possui saturação superior a 50% nos primeiros 50 cm do horizonte B. Já o Chernossolo Ebânico Carbonático (MEk) possui caráter carbonático. O Plintossolo Argilúvico Distrófico (FTd) apresenta saturação inferior a 50% nos primeiros 100 cm do horizonte B ou C. Por último, o Argissolo Vermelho Ta Alumínico (PVva) é um solo com argila de atividade alta e caráter alumínico (EMBRAPA, 2018).

Ao observar a Figura 50 das geofácies nota-se que a fâcies de Conservação Natural se localiza em direção ao centro do Bioma Pampa e as de Degradação em direção a fronteira oeste. Somente quatro geocomplexos apresentaram mais de 50% da sua área total degradada, PC1, PC6, PC14 e PC22. Em relação a Regeneração destaca-se a PC21 com 24,77% da sua área regenerada, a PC4 (17,89%) e a PC14 (10,54%). Porém, a fâcies com maior presença na unidade é a de Estabilização, em sua maioria devido a fâcies de Conservação Natural que na PC7, PC8 e PC25 ocupou mais de 90% da área do geocomplexo. Nota-se que na PC20 a fâcies de Estabilização é em sua maioria constituída pela fâcies de Antrópica Estável.

Tabela 23 - Características dos Geocomplexos do Planalto da Campanha.

<b>Código</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Geologia</b>	<b>Modelado</b>	<b>Drenagem</b>	<b>Fisionomia Vegetal</b>	<b>Rocha Matriz</b>	<b>Área (ha)</b>
PC1	Plintossolo Argilúvico Distrófico (FTd)	Paranapanema (K1(B)p)	389Pri/Pru. Pediplano Retocado Inumado/Desnuda do. Aplanamento.	--	Campo com espinilho	Ígnea (Andesito, Basalto)	312147,110
PC2	Argissolo Vermelho Ta Alumínico (PVva)	Botucatu (J3K1bt)	389Dc21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a média.	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	67754,279
PC3	Argissolo Vermelho Alumínico (PVa)	Botucatu (J3K1bt)	389Dc21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a média.	Campo misto de andropogôneas e compostas	Sedimentar (Arenito)	121183,565
PC4	Planossolo Háptico Eutrófico (SXe)	Depósitos Aluvionares Antigos (Q1a)	389Pri. Pediplano Retocado Inumado. Aplanamento.	--	Campo com espinilho	Material superficial (Areia)	37613,310
PC5	Argissolo Vermelho Ta	Botucatu (J3K1bt)	389Dc21.	Aprofundamento das incisões	Campo de solos rasos	Sedimentar (Arenito)	43576,354

	Alumínico (PVva)		Dissecação homogênea com topo convexo.	muito fraco e densidade de drenagem grosseira.			
PC6	Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	Botucatu (J3K1bt)/Rosário do Sul (Trs)	389Dc21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a média.	Campo com areais	Sedimentar (Arenito)	396267,610
PC7	Neossolo Litólico Chernossólico (RLm)	Serra Geral (K1(B)sg)	389Pru/Pgu. Pediplano Retocado /Degradado Desnudado. Aplanamento.	--	Campo de solos rasos	Ígnea (Andesito, Basalto)	226407,951
PC8	Neossolo Litólico Chernossólico (RLm)	Serra Geral (K1(B)sg)	389Dt11/21. Dissecação homogênea com topo tabular.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a grosseira.	Campo de solos rasos	Ígnea (Andesito, Basalto)	216385,345
PC9	Neossolo Litólico Chernossólico (RLm)	Serra Geral (K1(B)sg)	389Pru. Pediplano Retocado Desnudado. Aplanamento.	--	Campo de solos rasos	Ígnea (Andesito, Basalto)	265504,613



PC10	Neossolo Litólico Chernossólico (RLm)	Serra Geral (K1(B)sg)	389Dt11/21. Dissecação homogênea com topo tabular.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a grosseira.	Campo de solos rasos	Ígnea (Andesito, Basalto)	148490,655
PC11	Neossolo Litólico Chernossólico (RLm)	Serra Geral (K1(B)sg)	389Pru. Pediplano Retocado Desnudado. Aplanamento.	--	Campo de solos rasos	Ígnea (Andesito, Basalto)	178190,489
PC12	Chernossolo Ebânico Carbonático (MEk)/ Neossolo Litólico Chernossólico (RLm)	Serra Geral (K1(B)sg)	389Dt11/21. Dissecação homogênea com topo tabular.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a grosseira.	Campo com espinilho/Campos de solos rasos	Ígnea (Andesito, Basalto)	151336,446
PC13	Chernossolo Ebânico Carbonático (MEk)	Serra Geral (K1(B)sg)	389Pri. Pediplano Retocado Inumado. Aplanamento.	---	Campo com espinilho	Ígnea (Andesito, Basalto)	87473,112
PC14	Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef)	Paranapanema (K1(B)p)	389Pru. Pediplano Retocado Desnudado. Aplanamento.	--	Campo com espinilho	Ígnea (Andesito, Basalto)	55171,822

PC15	Neossolo Litólico Chernossólico (RLm)	Paranapanema (K1(B)p)	389Dc11/21. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a grosseira.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Basalto)	307434,517
PC16	Neossolo Litólico Chernossólico (RLm)	Serra Geral (K1(B)sg)	389Dc21/31. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a média.	Campo de solos rasos	Ígnea (Andesito, Basalto)	78856,521
PC17	Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef)	Paranapanema (K1(B)p)	389Dc11/21. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a grosseira.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Basalto)	26555,440
PC18	Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef)	Paranapanema (K1(B)p)	389Dc11/21. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira a grosseira.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Basalto)	24160,186

PC19	Plintossolo Argilúvico Distrófico (FTd)	Paranapanema (K1(B)p)	389Pri. Pediplano Retocado Inumado. Aplanamento.	--	Campo com espinilho	Ígnea (Andesito, Basalto)	31802,996
PC20	Chernossolo Ebânico Carbonático (MEk)	Serra Geral (K1(B)sg)	389Pri. Pediplano Retocado Inumado. Aplanamento.	--	Campo com espinilho	Material Superficial (Areia)	20215,078
PC21	Neossolo Litólico Chernossólico (RLm)	Paranapanema (K1(B)p)	389Pru. Pediplano Retocado Desnudado. Aplanamento.	--	Outras formações	Ígnea (Andesito, Basalto)	30685,698
PC22	Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef)	Paranapanema (K1(B)p)	389Pru/Pri. Pediplano Retocado Desnudado/ Inumado. Aplanamento.	--	Campo com espinilho	Ígnea (Andesito, Basalto)	73922,421
PC23	Neossolo Litólico Chernossólico (RLm)	Paranapanema (K1(B)p)	389Dc11. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem muito grosseira.	Campo com barba-de-bode	Ígnea (Basalto)	20526,517

PC24	Nitossolo Vermelho Eutroférico (NVef)	Serra Geral (K1(B)sg)	389Pru. Pediplano Retocado Desnudado. Aplanamento.	--	Campo com espinilho	Ígnea (Andesito, Basalto)	70628,816
PC25	Neossolo Litólico Chernossólico (RLm)	Serra Geral (K1(B)sg)	389Pgu. Pediplano Degradado Desnudado. Aplanamento.	--	Campo de solos rasos/Campo misto de andropôgoneas e compostas	Ígnea (Andesito, Basalto)	35440,316

Fonte: A autora (2023).

Tabela 24 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planalto da Campanha.

	<b>PC1</b>	312147,110	<b>PC2</b>	67754,279	<b>PC3</b>	121183,565	<b>PC4</b>	37613,310
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>135711,40</b>	<b>43,48</b>	<b>40772,49</b>	<b>60,18</b>	<b>89205,82</b>	<b>73,61</b>	<b>14729,76</b>	<b>39,16</b>
<i>Conservação Natural</i>	41731,5	13,37	40308,5	59,49	87678,2	72,35	1782,56	4,74
<i>Antrópica Estável</i>	93979,9	30,11	463,992	0,68	1527,62	1,26	12947,2	34,42
<b>Regeneração</b>	<b>18111,8</b>	<b>5,80</b>	<b>2605,65</b>	<b>3,85</b>	<b>4080,27</b>	<b>3,37</b>	<b>6727,51</b>	<b>17,89</b>
Regeneração	18111,8	5,80	2605,65	3,85	4080,27	3,37	6727,51	17,89
<b>Degradação</b>	<b>157098,9</b>	<b>50,33</b>	<b>23604,99</b>	<b>34,84</b>	<b>26702,72</b>	<b>22,03</b>	<b>16052,787</b>	<b>42,68</b>
<i>Degradação</i>	47577,1	15,24	10144,4	14,97	12835,8	10,59	9167,44	24,37
<i>Expansão Soja</i>	34653,3	11,10	2410,45	3,56	3525,68	2,91	660,217	1,76
<i>Expansão Agropecuária</i>	20949,6	6,71	4467,41	6,59	3465,92	2,86	1585,54	4,22
<i>Expansão Silvicultura</i>	15534,9	4,98	4655,76	6,87	4275,96	3,53	1167,01	3,10
<i>Intensificação Agropecuária</i>	38384	12,30	1926,97	2,84	2599,36	2,14	3472,58	9,23

	<b>PC5</b>	43576,354	<b>PC6</b>	396267,61	<b>PC7</b>	226407,951	<b>PC8</b>	216385,35
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>36179,36</b>	<b>83,03</b>	<b>161920,00</b>	<b>40,86</b>	<b>212644,79</b>	<b>93,92</b>	<b>202374,24</b>	<b>93,52</b>
<i>Conservação Natural</i>	36027,5	82,68	151886	38,33	212203	93,73	202115	93,41
<i>Antrópica Estável</i>	151,86	0,35	10034	2,53	441,787	0,20	259,238	0,12
<b>Regeneração</b>	<b>990,877</b>	<b>2,27</b>	<b>20004,7</b>	<b>5,05</b>	<b>2394,94</b>	<b>1,06</b>	<b>2026,94</b>	<b>0,94</b>
Regeneração	990,877	2,27	20004,7	5,05	2394,94	1,06	2026,94	0,94
<b>Degradação</b>	<b>5733,427</b>	<b>13,15</b>	<b>208209,7</b>	<b>52,55</b>	<b>10557,032</b>	<b>4,66</b>	<b>10496,36</b>	<b>4,85</b>
<i>Degradação</i>	3112,51	7,14	61761,4	15,59	4255,53	1,88	4784,53	2,21
<i>Expansão Soja</i>	167,3	0,38	66883,1	16,88	977,482	0,43	1456,5	0,67
<i>Expansão Agropecuária</i>	526,673	1,21	36025,2	9,09	1573,13	0,69	1388,57	0,64
<i>Expansão Silvicultura</i>	1010,12	2,32	32839,7	8,29	2583,04	1,14	1693,9	0,78
<i>Intensificação Agropecuária</i>	916,824	2,10	10700,3	2,70	1167,85	0,52	1172,86	0,54
	<b>PC9</b>	265504,613	<b>PC10</b>	148490,66	<b>PC11</b>	178190,489	<b>PC12</b>	151336,45
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>169379,80</b>	<b>63,80</b>	<b>98691,39</b>	<b>66,46</b>	<b>97721,60</b>	<b>54,84</b>	<b>88220,00</b>	<b>58,29</b>
<i>Conservação Natural</i>	154922	58,35	91755,1	61,79	62616,1	35,14	33751,6	22,30
<i>Antrópica Estável</i>	14457,8	5,45	6936,29	4,67	35105,5	19,70	54468,4	35,99
<b>Regeneração</b>	<b>13417,2</b>	<b>5,05</b>	<b>5429,8</b>	<b>3,66</b>	<b>10852,7</b>	<b>6,09</b>	<b>10469,8</b>	<b>6,92</b>
Regeneração	13417,2	5,05	5429,8	3,66	10852,7	6,09	10469,8	6,92
<b>Degradação</b>	<b>80948,69</b>	<b>30,49</b>	<b>43344,33</b>	<b>29,19</b>	<b>68769,17</b>	<b>38,60</b>	<b>51952,66</b>	<b>34,32</b>
<i>Degradação</i>	34546,5	13,01	15710,8	10,58	26597,7	14,93	19120,6	12,63
<i>Expansão Soja</i>	12596,1	4,74	9979,47	6,72	8431,36	4,73	5743,97	3,80
<i>Expansão Agropecuária</i>	14547,6	5,48	7410,15	4,99	8895,11	4,99	5248,3	3,47
<i>Expansão Silvicultura</i>	11626,3	4,38	6271,43	4,22	10878,5	6,10	4697,39	3,10
<i>Intensificação Agropecuária</i>	7632,19	2,87	3972,48	2,68	13966,5	7,84	17142,4	11,33
	<b>PC13</b>	87473,112	<b>PC14</b>	55171,822	<b>PC15</b>	307434,517	<b>PC16</b>	78856,521
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>42563,10</b>	<b>48,66</b>	<b>20660,22</b>	<b>37,45</b>	<b>217852,90</b>	<b>70,86</b>	<b>67837,41</b>	<b>86,03</b>

<i>Conservação Natural</i>	11427	13,06	7048,22	12,78	208418	67,79	66985,9	84,95
<i>Antrópica Estável</i>	31136,1	35,60	13612	24,67	9434,9	3,07	851,508	1,08
<b>Regeneração</b>	<b>8252,46</b>	<b>9,43</b>	<b>5814,64</b>	<b>10,54</b>	<b>15672,4</b>	<b>5,10</b>	<b>1743,4</b>	<b>2,21</b>
Regeneração	8252,46	9,43	5814,64	10,54	15672,4	5,10	1743,4	2,21
<b>Degradação</b>	<b>36307,45</b>	<b>41,51</b>	<b>28361,98</b>	<b>51,40</b>	<b>69886,65</b>	<b>22,74</b>	<b>8826,25</b>	<b>11,19</b>
<i>Degradação</i>	14361,1	16,42	10131,8	18,36	25843,8	8,41	3905,78	4,95
<i>Expansão Soja</i>	3535,18	4,04	4949,67	8,97	13830,5	4,50	1286,64	1,63
<i>Expansão Agropecuária</i>	4742	5,42	2793,94	5,06	10153,7	3,30	1057,44	1,34
<i>Expansão Silvicultura</i>	3552,77	4,06	2715,6	4,92	12918,7	4,20	1440,52	1,83
<i>Intensificação Agropecuária</i>	10116,4	11,57	7770,97	14,09	7139,95	2,32	1135,87	1,44
	<b>PC17</b>	26555,440	<b>PC18</b>	24160,186	<b>PC19</b>	31802,996	<b>PC20</b>	20215,078
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>16851,75</b>	<b>63,46</b>	<b>14584,45</b>	<b>60,37</b>	<b>17728,55</b>	<b>55,74</b>	<b>14360,16</b>	<b>71,04</b>
<i>Conservação Natural</i>	14909,3	56,14	12825,6	53,09	4039,75	12,70	3511,36	17,37
<i>Antrópica Estável</i>	1942,45	7,31	1758,85	7,28	13688,8	43,04	10848,8	53,67
<b>Regeneração</b>	<b>1151,61</b>	<b>4,34</b>	<b>1422,73</b>	<b>5,89</b>	<b>1809,92</b>	<b>5,69</b>	<b>952,389</b>	<b>4,71</b>
Regeneração	1151,61	4,34	1422,73	5,89	1809,92	5,69	952,389	4,71
<b>Degradação</b>	<b>8320,817</b>	<b>31,33</b>	<b>7757,928</b>	<b>32,11</b>	<b>12087,575</b>	<b>38,01</b>	<b>4855,3806</b>	<b>24,02</b>
<i>Degradação</i>	2393,09	9,01	1963,67	8,13	3085,39	9,70	1141,28	5,65
<i>Expansão Soja</i>	1883,84	7,09	2962,95	12,26	1362,13	4,28	60,5016	0,30
<i>Expansão Agropecuária</i>	1068,04	4,02	983,297	4,07	746,255	2,35	130,083	0,64
<i>Expansão Silvicultura</i>	2029,6	7,64	931,172	3,85	1054,34	3,32	121,926	0,60
<i>Intensificação Agropecuária</i>	946,247	3,56	916,839	3,79	5839,46	18,36	3401,59	16,83
	<b>PC21</b>	30685,698	<b>PC22</b>	73922,421	<b>PC23</b>	20526,517	<b>PC24</b>	70628,816
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>16517,99</b>	<b>53,83</b>	<b>30563,89</b>	<b>41,35</b>	<b>14712,33</b>	<b>71,67</b>	<b>30479,80</b>	<b>43,15</b>
<i>Conservação Natural</i>	14230,4	46,37	20577,6	27,84	14378,9	70,05	24046,1	34,05
<i>Antrópica Estável</i>	2287,59	7,45	9986,29	13,51	333,434	1,62	6433,7	9,11
<b>Regeneração</b>	<b>7599,53</b>	<b>24,77</b>	<b>5693,21</b>	<b>7,70</b>	<b>1257,58</b>	<b>6,13</b>	<b>4593,77</b>	<b>6,50</b>

Regeneração	7599,53	24,77	5693,21	7,70	1257,58	6,13	4593,77	6,50
<b>Degradação</b>	<b>6008,627</b>	<b>19,58</b>	<b>37089,15</b>	<b>50,18</b>	<b>4344,193</b>	<b>21,16</b>	<b>35053,32</b>	<b>49,63</b>
<i>Degradação</i>	3230,67	10,53	12312,1	16,66	1702,35	8,29	13184,2	18,67
<i>Expansão Soja</i>	257,594	0,84	9244,21	12,51	483,026	2,35	6320,89	8,95
<i>Expansão Agropecuária</i>	392,833	1,28	4183,86	5,66	573,538	2,79	5724,83	8,11
<i>Expansão Silvicultura</i>	1085,3	3,54	5320,4	7,20	1145,47	5,58	5378,04	7,61
<i>Intensificação Agropecuária</i>	1042,23	3,40	6028,58	8,16	439,809	2,14	4445,36	6,29

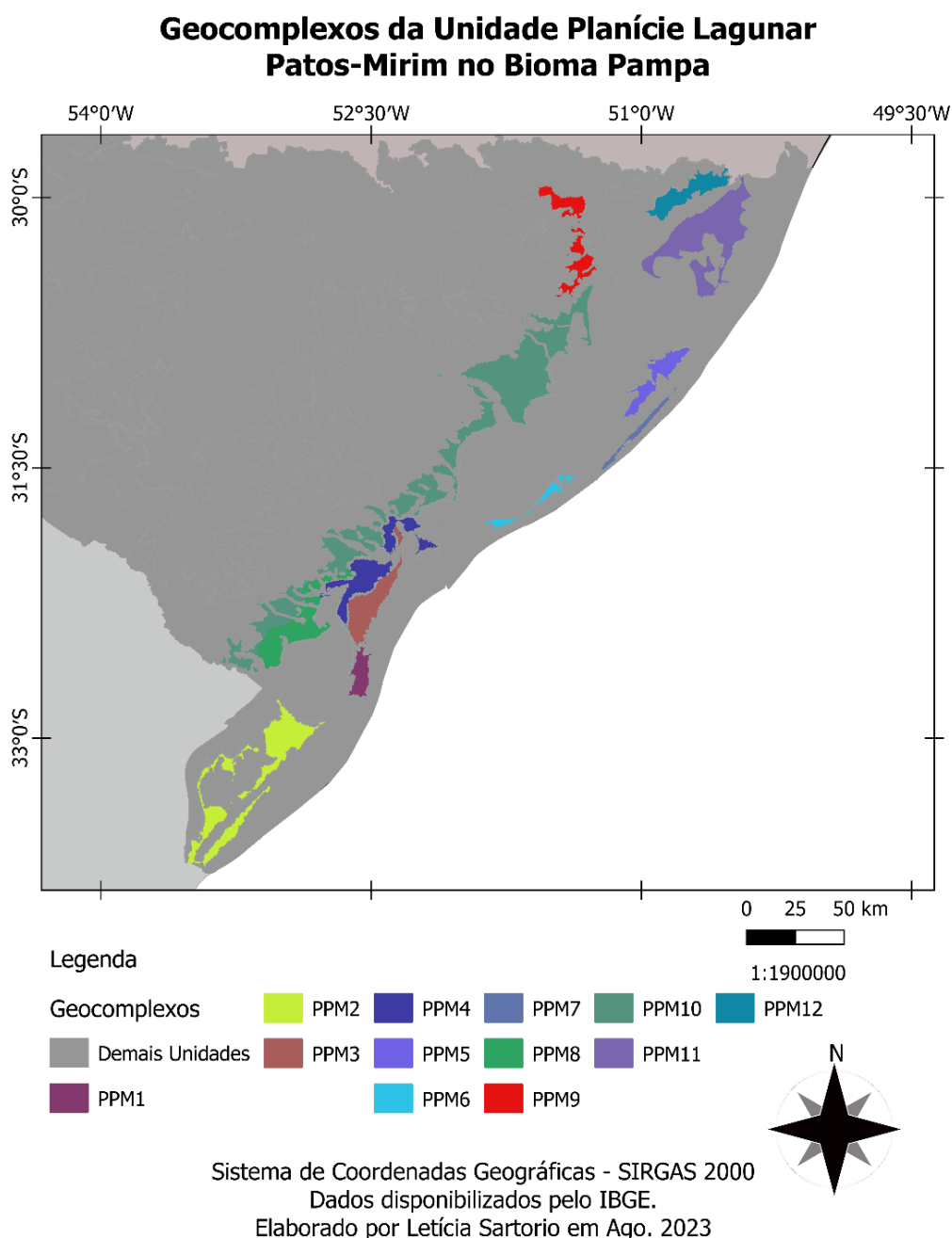
	<b>PC25</b>	35440,316
Fácies	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>34118,52</b>	<b>96,27</b>
<i>Conservação Natural</i>	34088,4	96,19
<i>Antrópica Estável</i>	30,1205	0,08
<b>Regeneração</b>	<b>159,58</b>	<b>0,45</b>
Regeneração	159,58	0,45
<b>Degradação</b>	<b>704,60377</b>	<b>1,98</b>
<i>Degradação (Áreas com MUCT)</i>	416,288	1,17
<i>Expansão Soja</i>	4,48777	0,01
<i>Expansão Agropecuária</i>	26,383	0,07
<i>Expansão Silvicultura</i>	138,078	0,39
<i>Intensificação Agropecuária</i>	119,367	0,34

Fonte: A autora (2023).

## Planície Lagunar Patos-Mirim

A unidade da Planície Lagunar Patos-Mirim possui 12 geocomplexos que estão apresentados na Figura 51 e Tabela 25. As geofácies podem ser visualizadas na Figura 52 e sua extensão em área por geocomplexo na Tabela 26.

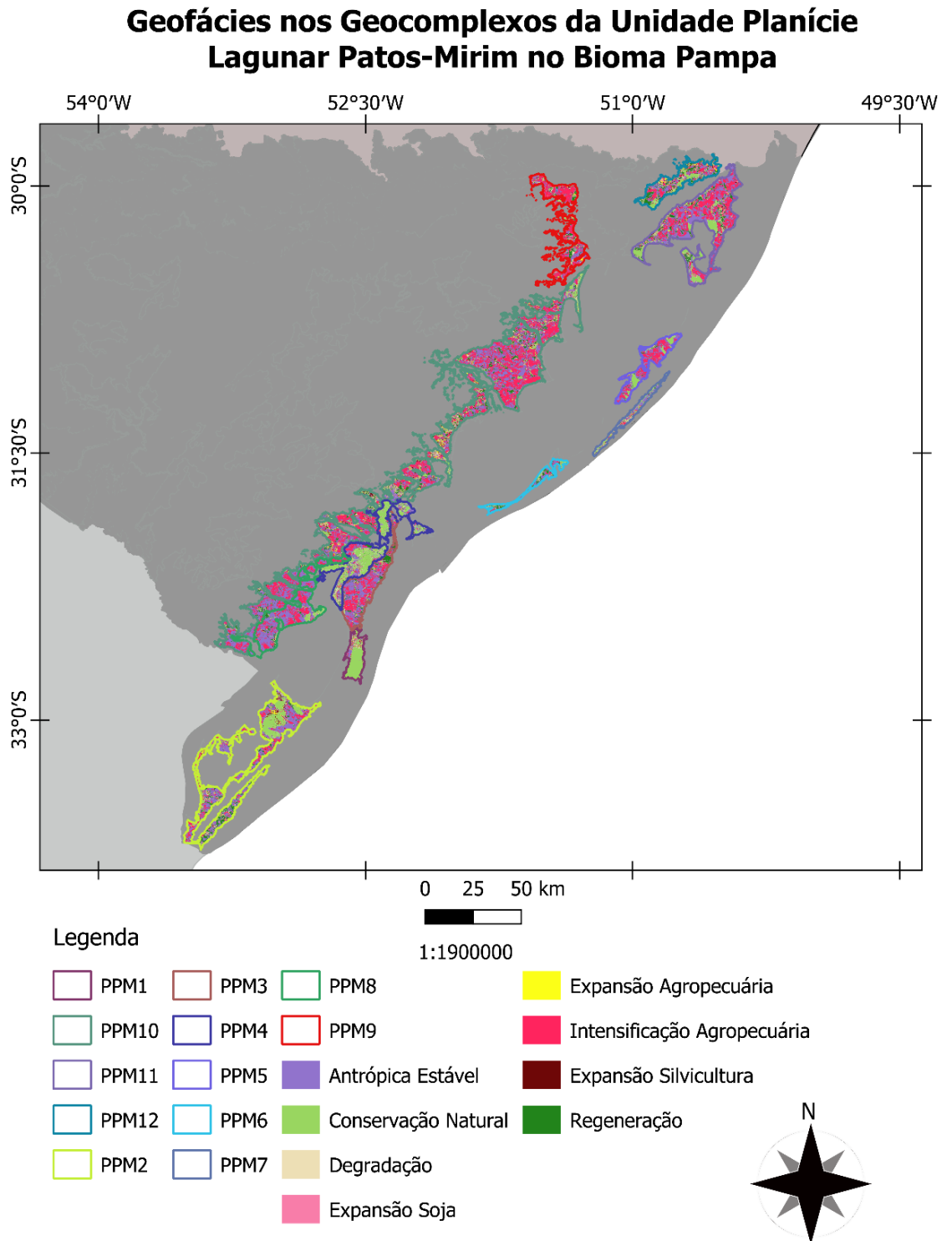
Figura 51 - Geocomplexos do Planície Lagunar Patos-Mirim.



Fonte: A autora (2023).



Figura 52 - Geofácies nos Geocomplexos do Planície Lagunar Patos-Mirim.



Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
Dados disponibilizados pelo IBGE.  
Elaborado por Letícia Sartorio em Ago. 2023

Fonte: A autora (2023).

Em relação aos geocomplexos há o predomínio dos Campos Litorâneas como fisionomia vegetal e do Material Superficial como base. As unidades geológicas mais recorrentes são as seguintes: Aluviões Fluvioacustres Holocênicos, Chuí e Graxaim. Domina o modelado de acumulação lagunar. O modelado de planície de acumulação lagunar (Aplg) é uma área plana que está relacionada a uma combinação de processos que originaram os corpos lagunares que estão associados às barreiras costeiras. Pode possuir sedimentos eólicos, fluviais, praias e até camadas de lama orgânica ou turfa. Verifica-se sua ocorrência nas faixas costeiras que estão ligadas a planícies marinhas, eólicas ou fluviomarinhas (IBGE, 2009).

O modelado de terraço de acumulação lagunar (Atlg) apresenta forma plana, com uma suave inclinação, sendo que possui um ressalto em comparação à laguna ou planície estabelecida em nível inferior. Ocorre nas áreas costeiras em que houve variações do nível do mar ou que foram submetidas à neotectônica. Além disso, os terraços possuem valores numéricos relacionados aos níveis de posicionamentos altimétricos e geocronológico, em ordem crescente dos mais recentes aos mais antigos (IBGE, 2009).

Na pedologia predomina planossolos, gleissolos, organossolos e neossolos, sendo estes apresentados a seguir. O Planossolo Háplico Eutrófico (SXe) apresenta saturação igual ou superior a 50% na maior parte do horizonte B. O Gleissolo Melânico Ta Eutrófico (GMve) são solos com argila de elevada atividade e saturação superiores ou igual a 50% nos horizontes B e/ou C. E o Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (GXve) apresenta estas mesmas características que o anterior. O Organossolo Háplico Hêmico (OXy) se caracteriza por ser um solo com material orgânico hêmico na maior parte dos seus horizontes. Por fim, o Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (RYve) é um solo com argila de alta atividade e saturação igual ou superior a 50% no horizonte C (EMBRAPA, 2018).

A partir da Figura 52 notamos a presença de fácies de Conservação Natural, Antrópica Estável e Intensificação Agropecuária nos geocomplexos da unidade. A Estabilização predomina na PPM1 e PPM4 devido a fácies de Conservação Natural, na PPM2, PPM3 e PPM8 é devido a fácies de Antrópica Estável. A Regeneração é mais significativa na PPM6 (21,18%) e na PPM12

(19,04%). A Degradação não apresenta altas porcentagens, mas é superior na PPM9, PPM10, PPM11 e PPM12, principalmente por conta da presença da fácies de Intensificação Agropecuária.

Tabela 25- Características dos Geocomplexos do Planície Lagunar Patos-Mirim.

<b>Código</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Geologia</b>	<b>Modelado</b>	<b>Drenagem</b>	<b>Fisionomia Vegetal</b>	<b>Rocha Matriz</b>	<b>Área (ha)</b>
PPM1	Organossolo Háplico Hêmico (OXy)	Aluviões Fluviolacustres Holocênicos (Q2fl)	384Aplg. Acumulação, planície lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	23839,873
PPM2	Associação de Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (GXve)/ Gleissolo Melânico Ta Eutrófico (GMve)	Chuí (Q1ch)	384Atlg1/2. Acumulação, terraço lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	130985,090
PPM3	Associação de Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (GXve)/ Gleissolo Melânico Ta Eutrófico (GMve)	Chuí (Q1ch)	384Atlg2. Acumulação, terraço lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	57937,736
PPM4	Associação de Organossolo Háplico Hêmico (OXy)/ Gleissolo Melânico Ta Eutrófico (GMve)	Aluviões Fluviolacustres Holocênicos (Q2fl)	384Atlg1/Aplg. Acumulação, terraço e planície lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	75658,900
PPM5	Planossolo Háplico Eutrófico (SXe)	Aluviões Fluviolacustres Holocênicos (Q2fl)	384Aplg/Atlg1. Acumulação, planície e terraço lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	37281,129
PPM6	Planossolo Háplico Eutrófico (SXe)	Aluviões Fluviolacustres Holocênicos (Q2fl)	384Atlg1/Aplg. Acumulação, terraço e planície lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	16043,690

PPM7	Gleissolo Melânico Ta Eutrófico (GMve)	Aluviões Fluviolacustres Holocênicos (Q2fl)	384Aplg. Acumulação, planície lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	16511,000
PPM8	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (GXve)	Chuí (Q1ch)	384Atlg1/2. Acumulação, terraço lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	70853,916
PPM9	Planossolo Háplico Eutrófico (SXe)	Chuí (Q1ch) / Graxaim (Q1gx)	384Atlg1/2. Acumulação, terraço lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	57165,761
PPM10	Planossolo Háplico Eutrófico (SXe)	Chuí (Q1ch)	384Atlg2. Acumulação, terraço lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	395283,563
PPM11	Associação de Planossolo Háplico Eutrófico (SXe)/ Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (RYve)	Chuí (Q1ch)	384Atlg1/2. Acumulação, terraço lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	134847,784
PPM12	Planossolo Háplico Eutrófico (SXe)	Aluviões Fluviolacustres Holocênicos (Q2fl)	384Atlg1/2. Acumulação, terraço lagunar.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	48569,060

Fonte: A autora (2023).

Tabela 26 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planície Lagunar Patos-Mirim.

	<b>PPM1</b>	23839,873	<b>PPM2</b>	130985,090	<b>PPM3</b>	57937,736	<b>PPM4</b>	75658,900
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>18250,94</b>	<b>76,56</b>	<b>72356,10</b>	<b>55,24</b>	<b>25596,67</b>	<b>44,18</b>	<b>51737,90</b>	<b>68,38</b>
<i>Conservação Natural</i>	16885,8	70,83	20271,1	15,48	2023,07	3,49	37908,3	50,10
<i>Antrópica Estável</i>	1365,14	5,73	52085	39,76	23573,6	40,69	13829,6	18,28
<b>Regeneração</b>	<b>420,479</b>	<b>1,76</b>	<b>12223</b>	<b>9,33</b>	<b>6163,4</b>	<b>10,64</b>	<b>3083,72</b>	<b>4,08</b>
Regeneração	420,479	1,76	12223	9,33	6163,4	10,64	3083,72	4,08
<b>Degradação</b>	<b>5053,34</b>	<b>21,19</b>	<b>45970,52</b>	<b>35,09</b>	<b>25991,65</b>	<b>44,86</b>	<b>20071,10</b>	<b>26,53</b>
<i>Degradação</i>	2962,06	12,42	14676,8	11,20	5482,23	9,46	11562	15,28
<i>Expansão Soja</i>	36,8258	0,15	521,693	0,40	440,305	0,76	124,552	0,16
<i>Expansão Agropecuária</i>	532,928	2,24	3265,96	2,49	853,926	1,47	926,705	1,22
<i>Expansão Silvicultura</i>	647,495	2,72	4045,47	3,09	960,286	1,66	1283,51	1,70
<i>Intensificação Agropecuária</i>	874,029	3,67	23460,6	17,91	18254,9	31,51	6174,33	8,16
	<b>PPM5</b>	37281,129	<b>PPM6</b>	16043,690	<b>PPM7</b>	16511,000	<b>PPM8</b>	70853,916
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>18213,91</b>	<b>48,86</b>	<b>7070,00</b>	<b>44,07</b>	<b>8795,81</b>	<b>53,27</b>	<b>40579,65</b>	<b>57,27</b>
<i>Conservação Natural</i>	6639,61	17,81	3090,99	19,27	6091,93	36,90	4151,25	5,86
<i>Antrópica Estável</i>	11574,3	31,05	3979,01	24,80	2703,88	16,38	36428,4	51,41
<b>Regeneração</b>	<b>1835,54</b>	<b>4,92</b>	<b>3398,5</b>	<b>21,18</b>	<b>647,989</b>	<b>3,92</b>	<b>3873,94</b>	<b>5,47</b>
Regeneração	1835,54	4,92	3398,5	21,18	647,989	3,92	3873,94	5,47
<b>Degradação</b>	<b>17082,23</b>	<b>45,82</b>	<b>5432,98</b>	<b>33,86</b>	<b>6785,46</b>	<b>41,10</b>	<b>26221,29</b>	<b>37,01</b>
<i>Degradação</i>	2183,72	5,86	3256,87	20,30	3726,45	22,57	4166,78	5,88
<i>Expansão Soja</i>	133,581	0,36	21,3045	0,13	142,783	0,86	89,952	0,13
<i>Expansão Agropecuária</i>	182,507	0,49	144,636	0,90	321,343	1,95	340,062	0,48
<i>Expansão Silvicultura</i>	356,126	0,96	204,417	1,27	796,072	4,82	560,1	0,79
<i>Intensificação Agropecuária</i>	14226,3	38,16	1805,75	11,26	1798,81	10,89	21064,4	29,73
	<b>PPM9</b>	57165,761	<b>PPM10</b>	395283,563	<b>PPM11</b>	134847,784	<b>PPM12</b>	48569,060
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>16299,02</b>	<b>28,51</b>	<b>147928,20</b>	<b>37,42</b>	<b>58606,50</b>	<b>43,46</b>	<b>17001,53</b>	<b>35,00</b>

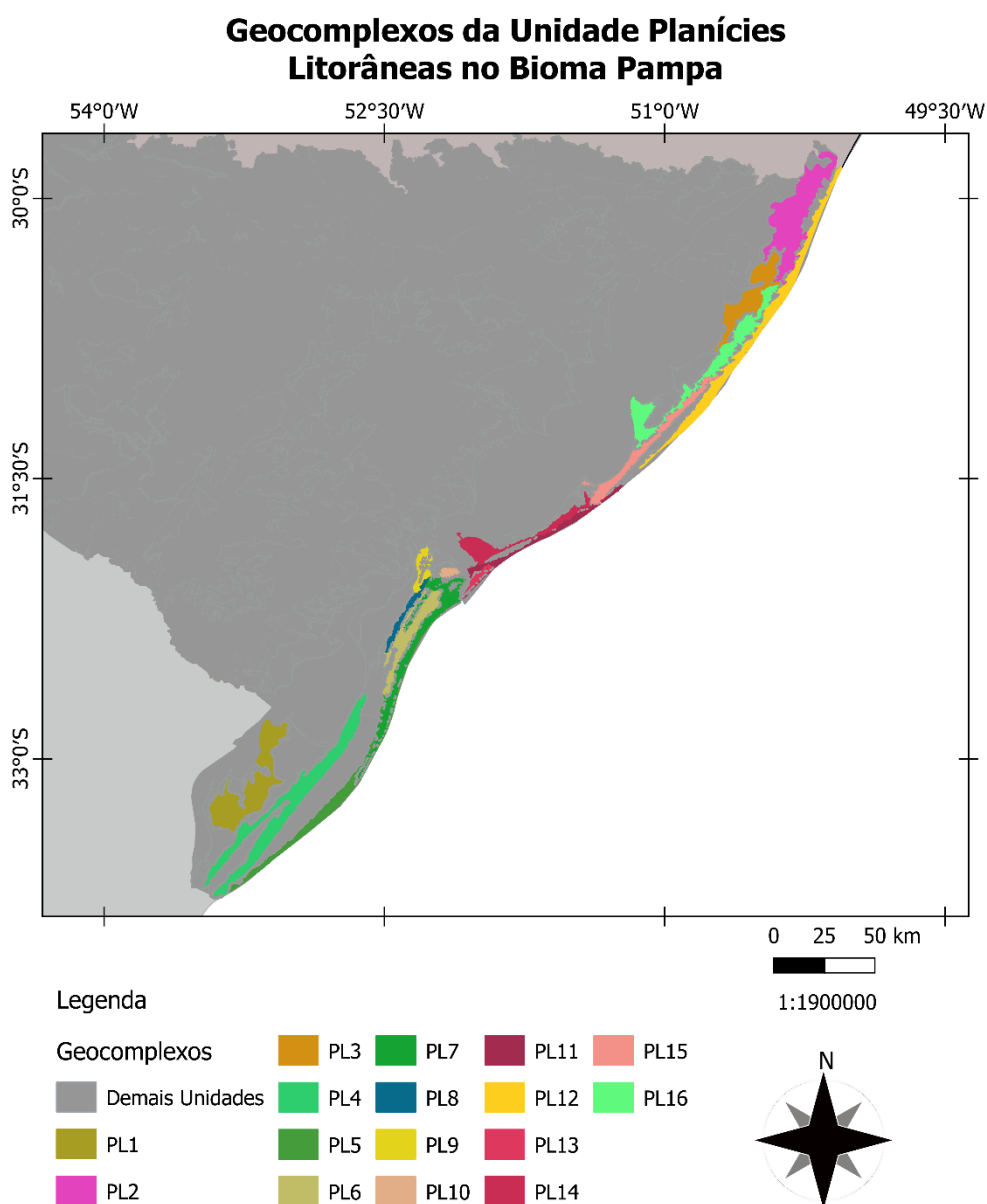
<i>Conservação Natural</i>	4269,72	7,47	25070,2	6,34	19199,5	14,24	7920,67	16,31
<i>Antrópica Estável</i>	12029,3	21,04	122858	31,08	39407	29,22	9080,86	18,70
<b>Regeneração</b>	<b>5332,04</b>	<b>9,33</b>	<b>32562,5</b>	<b>8,24</b>	<b>12329,9</b>	<b>9,14</b>	<b>9245,2</b>	<b>19,04</b>
Regeneração	5332,04	9,33	32562,5	8,24	12329,9	9,14	9245,2	19,04
<b>Degradação</b>	<b>35128,84</b>	<b>61,45</b>	<b>212944,82</b>	<b>53,88</b>	<b>63147,13</b>	<b>46,83</b>	<b>22052,16</b>	<b>45,41</b>
<i>Degradação</i>	7935,94	13,88	49316,6	12,48	13486,6	10,00	8405,4	17,31
<i>Expansão Soja</i>	1112,87	1,95	7323,62	1,85	982,837	0,73	837,344	1,72
<i>Expansão Agropecuária</i>	2158,82	3,78	10854,2	2,75	1682,74	1,25	1916,84	3,95
<i>Expansão Silvicultura</i>	2662,61	4,66	12220,4	3,09	2670,15	1,98	2780,76	5,73
<i>Intensificação Agropecuária</i>	21258,6	37,19	133230	33,70	44324,8	32,87	8111,82	16,70

Fonte: A autora (2023).

## Planícies Litorâneas

A unidade Planícies Litorâneas possui ao total 16 geocomplexos que estão apresentados na Figura 53 e Tabela 27. As geofáceis podem ser visualizadas na Figura 54 e sua área em cada geocomplexo na Tabela 28.

Figura 53 - Geocomplexos do Planícies Litorâneas.

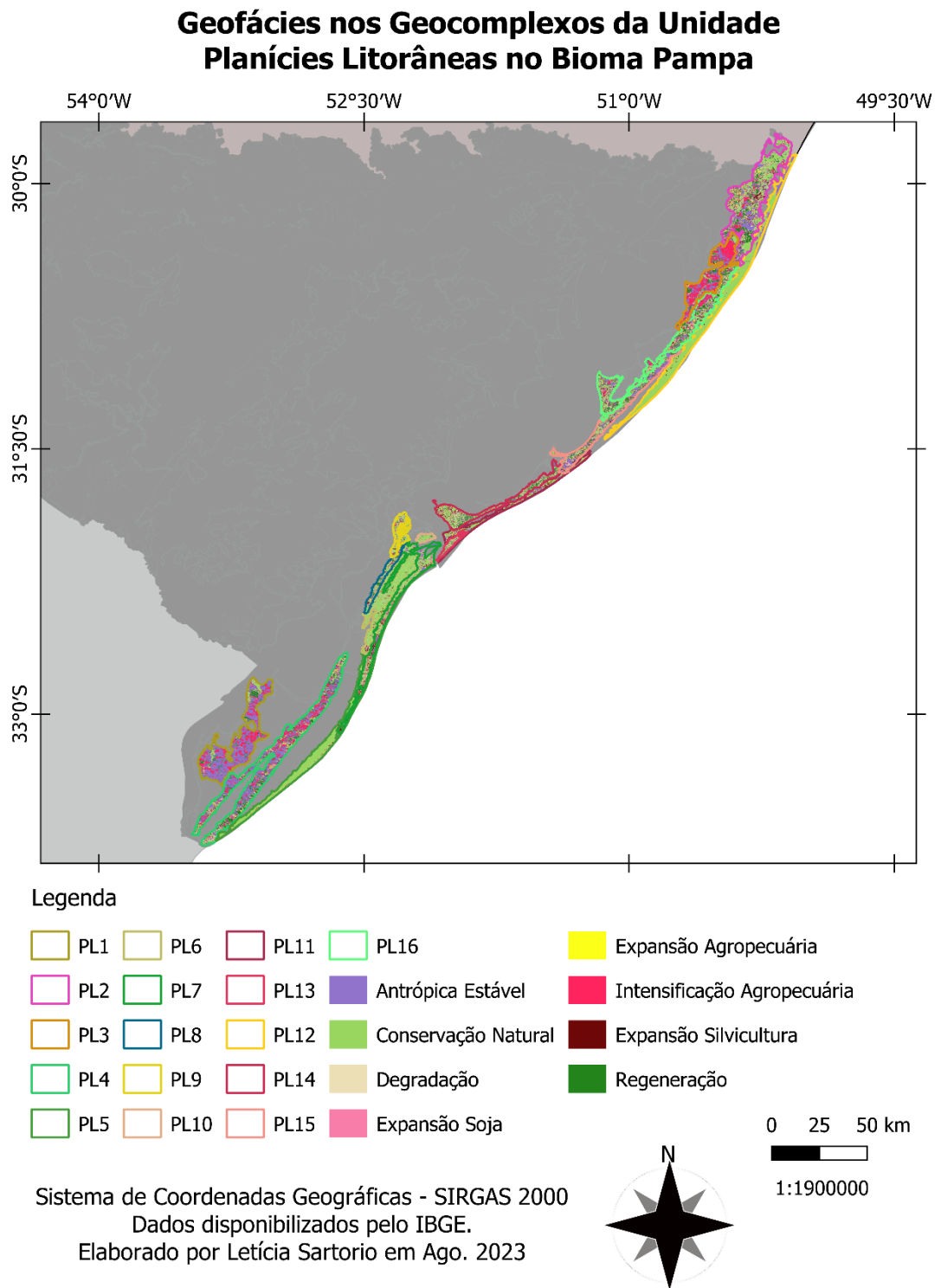


Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
Dados disponibilizados pelo IBGE.  
Elaborado por Letícia Sartorio em Ago. 2023

Fonte: A autora (2023).



Figura 54 - Geofácies nos Geocomplexos do Planícies Litorâneas.



Fonte: A autora (2023).

Os geocomplexos dessa unidade se caracterizam por pertencerem a fisionomia vegetal Campos Litorâneos e pela presença de Material Superficial na

sua constituição. Dentre as unidades geológicas destaca-se os Depósitos Eólicos Costeiros Holocênicos, Chuí, Itapoã, e Coberturas Eólicas Pleistocênicas. O modelado predominante é o de acumulação marinha ou eólica, com formação de terraços, planícies e dunas.

O modelado de terraço de acumulação marinha (Atm) representa uma acumulação marinha plana, com inclinação leve para o mar e possui ruptura de declive em relação a planície marinha recente. Predomina nas baixas litorâneas pleistocênicas e holocênicas (IBGE, 2009). O modelado de duna de acumulação eólica (Ade) pode variar de acordo com o estoque de sedimentos disponibilizado pelo sistema fluvial ou costeiro e em função do regime de ventos. Tem sua ocorrência nas áreas litorâneas, ou no interior, onde a atuação de ventos é propícia e há constância no suprimento sedimentar. O modelado de planície de acumulação eólica (Ape) são áreas aplainadas entre as dunas, que foram formadas por sedimentos eólicos em laminações lisas. Pode ocorrer em áreas litorâneas ou no interior continental entre os campos de dunas (IBGE, 2009). IBGE (2009) apresenta que a área de extensão das interdunas pode variar de acordo com o sedimento disponível e da presença de água no sistema (lençol freático).

Na pedologia destaca-se as dunas, plintossolos, neossolos e espodossolos. O Plintossolo Argilúvico Alumínico (FTa) possui caráter alumínico no horizonte B e/ou C. O Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (RQg) apresenta lençol freático elevado na maior parte do ano, sendo imperfeitamente ou mal drenados. E o Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo) e o Espodossolo Ferrilúvico Órtico (ESo) são os que não se encaixaram nas demais categorias.

Ao analisar as geofácies na Figura 54 é possível notar a presença da fâcies de Conservação Natural, Antrópica Estável e Intensificação Agropecuária. A partir da Tabela 28 nota-se que os geocomplexos PL1, PL5, PL6, PL10 e PL12 apresentam maior estabilização ligada a Conservação Natural, exceto o PL1. A Regeneração se destaca na PL14 com 20,31% de sua área, e na PL2, PL4, PL8, PL9 e PL16. Já a Degradação ocorre de forma mais intensa na PL9, PL13, PL15 e PL16. Na PL3 a degradação está conectada a Intensificação Agropecuária e na PL7 a Expansão da Silvicultura.

Tabela 27 - Características dos Geocomplexos do Planícies Litorâneas.

<b>Código</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Geologia</b>	<b>Modelado</b>	<b>Drenagem</b>	<b>Fisionomia Vegetal</b>	<b>Rocha Matriz</b>	<b>Área (ha)</b>
PL1	Associação de Gleissolo Háptico Ta Eutrófico (GXve)/Planossolo Háptico Eutrófico (SXe)	Chuí (Q1ch)	383Atm2. Acumulação marinha, terraço	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	85145,740
PL2	Associação de Plintossolo Argilúvico Alumínico (FTa)/Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (RQg)/Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo)	Coberturas Eólicas Pleistocênicas (Q1e)/Itapoã (Q1Q2it)	383Ape/383Ade. Acumulação eólica, planície/duna.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	103189,001
PL3	Planossolo Háptico Eutrófico (SXe)	Chuí (Q1ch)	383Atm2. Acumulação marinha, terraço	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	49475,477
PL4	Planossolo Háptico Eutrófico (SXe)	Chuí (Q1ch)	383Atm1/2. Acumulação marinha, terraço	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	116196,825
PL5	Dunas (Dn)	Depósitos Eólicos Costeiros Holocênicos (Q2e1)	383Ade. Acumulação eólica, duna.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	47769,422

PL6	Espodossolo Ferrilúvico Órtico (ESo)	Depósitos Litorâneos Holocênicos (Q2li)	383Atm1. Acumulação marinha, terraço.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	42452,051
PL7	Associação de Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (RQg)/Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo)	Depósitos Eólicos Costeiros Holocênicos (Q2e1)	383Ape. Acumulação eólica, planície.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	50025,415
PL8	Plintossolo Argilúvico Alumínico (FTa)	Itapoã (Q1Q2it)	383Ape. Acumulação eólica, planície.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	13319,493
PL9	Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Alumínico (PVAva)	Itapoã (Q1Q2it)	383Ape. Acumulação eólica, planície.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	13888,840
PL10	Dunas (Dn)	Depósitos Eólicos Costeiros Holocênicos (Q2e1)	383Ade. Acumulação eólica, duna.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	4045,405
PL11	Dunas (Dn)	Depósitos Eólicos Costeiros Holocênicos (Q2e1)	383Ade. Acumulação eólica, duna.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	25523,205
PL12	Dunas (Dn)	Depósitos Eólicos Costeiros	383Ade. Acumulação eólica, duna.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	73308,782

		Holocênicos (Q2e1)					
PL13	Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (RQg)	Aluviões Fluviolacustres Holocênicos (Q2fl)	383Ape. Acumulação eólica, planície.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	5637,244
PL14	Plintossolo Argilúvico Alumínico (FTa)/Dunas (Dn)	Chuí (Q1ch)	383Atm1/Ape. Acumulação, terraço marinho e planície eólica.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	35291,834
PL15	Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (RQg)	Itapoã (Q1Q2it)	383Ape. Acumulação eólica, planície.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	42704,967
PL16	Plintossolo Argilúvico Alumínico (FTa)	Coberturas Eólicas Pleistocênicas (Q1e)/Chuí (Q1ch)	383Ape/383Atm1. Acumulação, planície eólica e terraço marinho.	--	Campo litorâneo	Material superficial (Areia)	71019,427

Fonte: A autora (2023).

Tabela 28 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planícies Litorâneas.

	PL1	85145,740	PL2	103189,001	PL3	49475,477	PL4	116196,825
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>51869,08</b>	<b>60,92</b>	<b>40060,50</b>	<b>38,82</b>	<b>15202,90</b>	<b>30,73</b>	<b>42832,30</b>	<b>36,86</b>
<i>Conservação Natural</i>	3792,98	4,45	26521,4	25,70	2010	4,06	4892,5	4,21
<i>Antrópica Estável</i>	48076,1	56,46	13539,1	13,12	13192,9	26,67	37939,8	32,65
<b>Regeneração</b>	<b>5888,23</b>	<b>6,92</b>	<b>15044,2</b>	<b>14,58</b>	<b>4390,35</b>	<b>8,87</b>	<b>17576</b>	<b>15,13</b>

Regeneração	5888,23	6,92	15044,2	14,58	4390,35	8,87	17576	15,13
<b>Degradação</b>	<b>27201,744</b>	<b>31,94</b>	<b>46614,228</b>	<b>45,18</b>	<b>29756,436</b>	<b>60,14</b>	<b>55410,27</b>	<b>47,68</b>
<i>Degradação</i>	5860,38	6,88	28168,8	27,30	4899,96	9,90	24113,6	20,75
<i>Expansão Soja</i>	173,333	0,20	660,068	0,64	477,177	0,96	1651,89	1,42
<i>Expansão Agropecuária</i>	783,189	0,92	2039,31	1,98	799,759	1,62	3960,66	3,41
<i>Expansão Silvicultura</i>	875,142	1,03	7107,39	6,89	1154,94	2,33	4661,02	4,01
<i>Intensificação Agropecuária</i>	19509,7	22,91	8638,66	8,37	22424,6	45,32	21023,1	18,09
	<b>PL5</b>	47769,422	<b>PL6</b>	42452,051	<b>PL7</b>	50025,415	<b>PL8</b>	13319,493
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>39503,16</b>	<b>82,70</b>	<b>34942,76</b>	<b>82,31</b>	<b>22683,90</b>	<b>45,34</b>	<b>4385,84</b>	<b>32,93</b>
<i>Conservação Natural</i>	39260,7	82,19	34672,5	81,67	17625,5	35,23	3788,34	28,44
<i>Antrópica Estável</i>	242,458	0,51	270,259	0,64	5058,4	10,11	597,504	4,49
<b>Regeneração</b>	<b>205,812</b>	<b>0,43</b>	<b>384,81</b>	<b>0,91</b>	<b>1012,8</b>	<b>2,02</b>	<b>2059,34</b>	<b>15,46</b>
Regeneração	205,812	0,43	384,813	0,91	1012,8	2,02	2059,34	15,46
<b>Degradação</b>	<b>7845,59</b>	<b>16,42</b>	<b>5872,78</b>	<b>13,84</b>	<b>25409,07</b>	<b>50,79</b>	<b>6709,83</b>	<b>50,37</b>
<i>Degradação</i>	3752,13	7,85	3483,53	8,21	13153,8	26,29	3928,07	29,49
<i>Expansão Soja</i>	297,921	0,62	58,8538	0,14	633,267	1,27	359,446	2,70
<i>Expansão Agropecuária</i>	905,101	1,89	186,645	0,44	663,407	1,33	709,28	5,33
<i>Expansão Silvicultura</i>	1965,11	4,11	1154,01	2,72	6975,34	13,94	788,254	5,92
<i>Intensificação Agropecuária</i>	925,326	1,94	989,738	2,33	3983,26	7,96	924,784	6,94
	<b>PL9</b>	13888,840	<b>PL10</b>	4045,405	<b>PL11</b>	25523,205	<b>PL12</b>	73308,782
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>4830,24</b>	<b>34,78</b>	<b>2888,28</b>	<b>71,40</b>	<b>13174,59</b>	<b>51,62</b>	<b>66398,50</b>	<b>90,57</b>
<i>Conservação Natural</i>	4199,47	30,24	2815,39	69,59	11991	46,98	60095,4	81,98
<i>Antrópica Estável</i>	630,773	4,54	72,8875	1,80	1183,59	4,64	6303,1	8,60
<b>Regeneração</b>	<b>1627,8</b>	<b>11,72</b>	<b>157,985</b>	<b>3,91</b>	<b>874,41</b>	<b>3,43</b>	<b>304,011</b>	<b>0,41</b>
Regeneração	1627,8	11,72	157,985	3,91	874,41	3,43	304,011	0,41
<b>Degradação</b>	<b>7113,26</b>	<b>51,22</b>	<b>930,03</b>	<b>22,99</b>	<b>11190,97</b>	<b>43,85</b>	<b>6272,10</b>	<b>8,55</b>
<i>Degradação</i>	4769,13	34,34	686,522	16,97	5838,46	22,88	2889,26	3,94

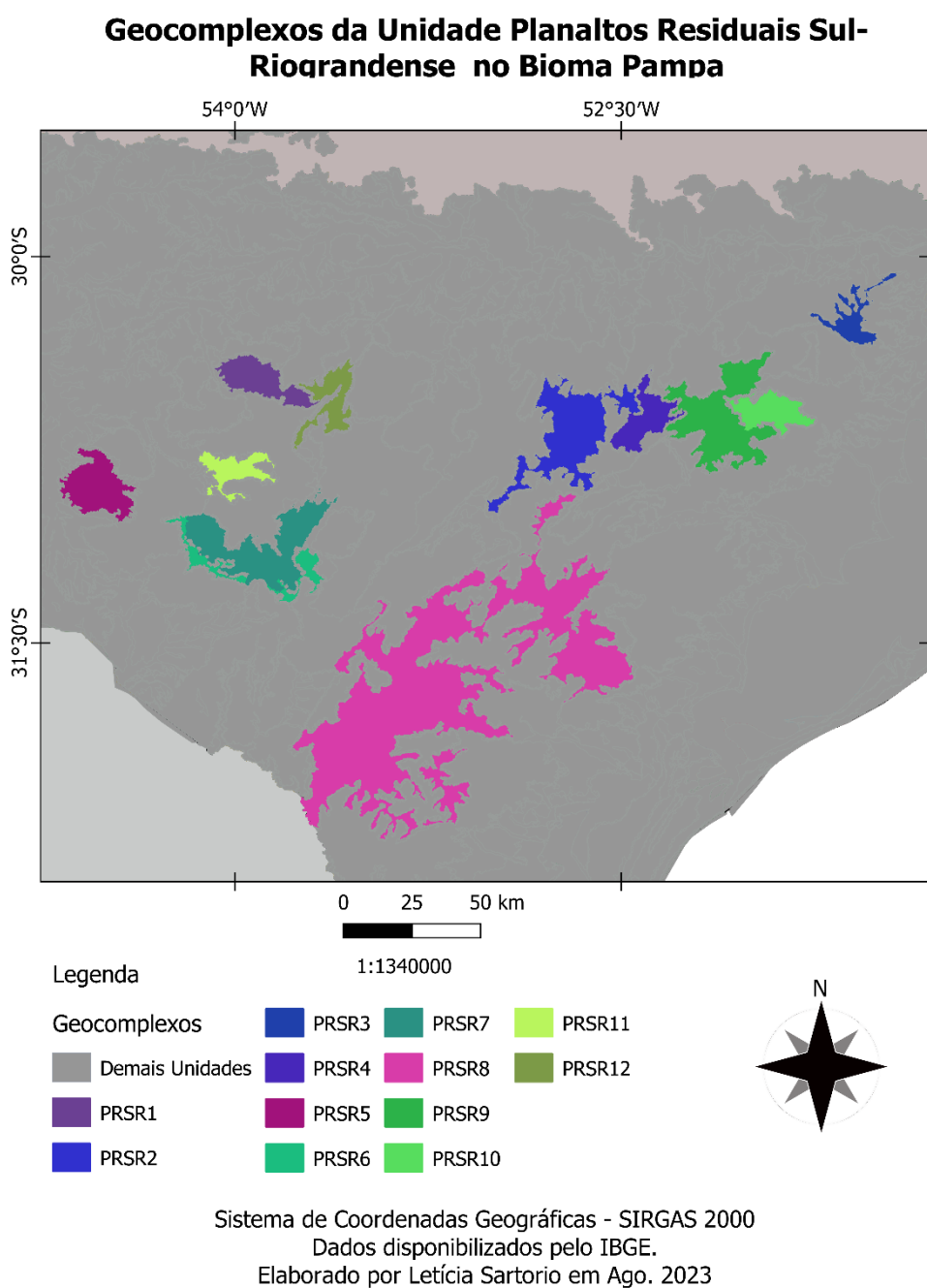
<i>Expansão Soja</i>	110,526	0,80	8,19383	0,20	234,01	0,92	591,389	0,81
<i>Expansão Agropecuária</i>	350,446	2,52	19,4806	0,48	814,831	3,19	599,396	0,82
<i>Expansão Silvicultura</i>	725,647	5,22	95,7953	2,37	3190,08	12,50	1704,76	2,33
<i>Intensificação Agropecuária</i>	1157,51	8,33	120,041	2,97	1113,59	4,36	487,299	0,66
	<b>PL13</b>	<b>5637,244</b>	<b>PL14</b>	<b>35291,834</b>	<b>PL15</b>	<b>42704,967</b>	<b>PL16</b>	<b>71019,427</b>
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>1566,64</b>	<b>27,79</b>	<b>10201,87</b>	<b>28,91</b>	<b>13432,73</b>	<b>31,45</b>	<b>17072,43</b>	<b>24,04</b>
<i>Conservação Natural</i>	1351,24	23,97	8520,78	24,14	6238,24	14,61	9074,49	12,78
<i>Antrópica Estável</i>	215,402	3,82	1681,09	4,76	7194,49	16,85	7997,94	11,26
<b>Regeneração</b>	<b>474,583</b>	<b>8,42</b>	<b>7167,75</b>	<b>20,31</b>	<b>6191,41</b>	<b>14,50</b>	<b>13124,5</b>	<b>18,48</b>
Regeneração	474,583	8,42	7167,75	20,31	6191,41	14,50	13124,5	18,48
<b>Degradação</b>	<b>3512,52</b>	<b>62,31</b>	<b>17359,57</b>	<b>49,18</b>	<b>22707,45</b>	<b>53,17</b>	<b>40149,31</b>	<b>56,53</b>
<i>Degradação</i>	2532,96	44,93	13147,6	37,25	15123,5	35,41	21612,2	30,43
<i>Expansão Soja</i>	34,4626	0,61	98,975	0,28	294,929	0,69	904,592	1,27
<i>Expansão Agropecuária</i>	120,763	2,14	517,404	1,47	1117,59	2,62	2109,99	2,97
<i>Expansão Silvicultura</i>	386,31	6,85	1922,04	5,45	3999,17	9,36	5197,73	7,32
<i>Intensificação Agropecuária</i>	438,025	7,77	1673,55	4,74	2172,26	5,09	10324,8	14,54

Fonte: A autora (2023).

## Planaltos Residuais Sul-Riograndense

Foram identificados 12 geocomplexos na unidade Planaltos Residuais Sul-Riograndense (Figura 55 e Tabela 29). As geofácies nos geocomplexos estão apresentadas na Figura 56 e a sua área em hectares e porcentagem na Tabela 30.

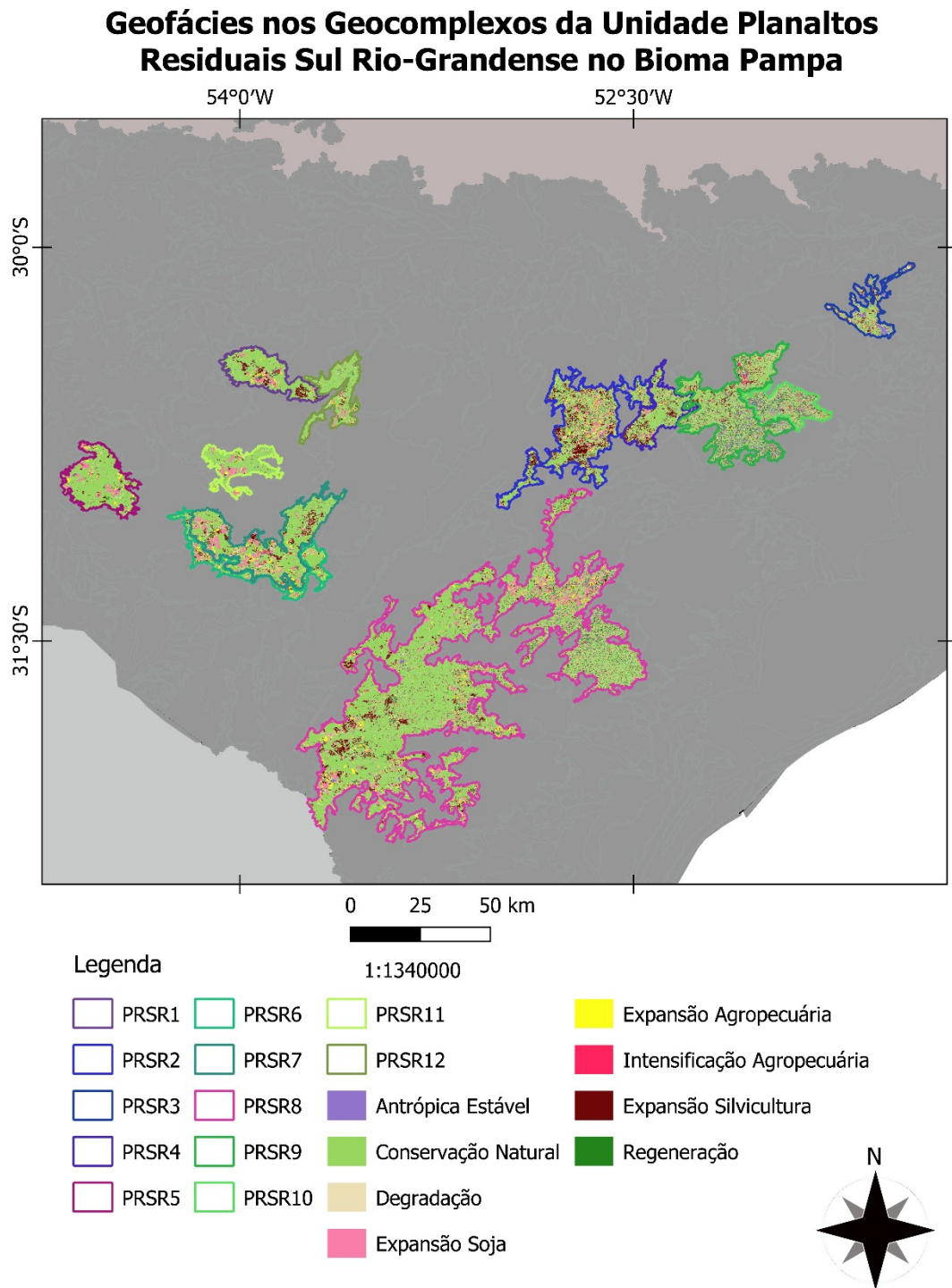
Figura 55 - Geocomplexos do Planaltos Residuais Sul-Riograndense.



Fonte: A autora (2023).



Figura 56 - Geofácies nos Geocomplexos do Planaltos Residuais Sul-Riograndense.



Sistema de Coordenadas Geográficas - SIRGAS 2000  
 Dados disponibilizados pelo IBGE.  
 Elaborado por Letícia Sartorio em Ago. 2023

Fonte: A autora (2023).

A maioria dos geocomplexos é constituída por rochas ígneas, mas também há metamórficas e sedimentares. Há uma grande variedade de unidades geológicas tornando mais complexa a delimitação dos geocomplexos. Podemos destacar a presença das seguintes: Acampamento Velho, Canguçu, Granítico Encruzilhada do Sul, Arroio dos Ladrões, Hilário, Santa Tecla e Cambaí. Ademais possui três sistemas ecológicos, o Campo arbustivo, o Campo gramíneo e a Floresta Estacional.

No modelado há o predomínio da dissecação, mas também há áreas de aplanamento. O modelado de dissecação homogênea (D) se caracteriza pela dissecação fluvial em distintas litologias sem controle estrutural forte (IBGE, 2009). As formas com topo convexo (c) são em sua maioria esculpidas em rochas do tipo ígneas e metamórficas. Possuem vales com boa definição e vertentes com declividade variada. Já, as formas com topo tabular (t) possuem feições de rampas com inclinação suave e lombadas, são esculpidas normalmente em coberturas sedimentares não consolidadas e rochas metamórficas. São resultados do processo de dissecação que age sobre uma área aplanada (IBGE, 2009).

O modelado de pediplano retocado inumado/desnudado (Pri, Pru) representa uma superfície de aplanamento desenvolvida no decorrer de sucessivas fases de retorno de erosão, mas sem perder os atributos de aplanamento. Tem ocorrência geralmente nas depressões pediplanadas interplanálticas e periféricas tabuliformes e no sopé de escarpas. Pode apresentar cobertura detrítica e/ou encouraçamentos que ultrapassam um metro de espessura, o que aponta para sucessivos remanejamentos (Pri), ou podem ser rochas pouco modificadas truncadas por ações de aplanamento que desnudaram o relevo (Pru) (IBGE, 2009).

Na pedologia destaca-se a presença de neossolos, argissolos e luvissolos. O Neossolo Litólico Distrófico (RLd) apresenta saturação inferior a 50% na maioria dos seus horizontes. O Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) também apresenta saturação inferior a 50%, mas nos primeiros 100 cm do horizonte B. E o Argissolo Vermelho Alumínico (PVa) possui caráter alumínico no horizonte B (EMBRAPA, 2018).

Ao observar as geofácies na Figura 56 nota-se maior expressão espacial da fácies de Conservação Natural, e de áreas de Expansão de Silvicultura. Assim, nota-se maior presença da fácies de Estabilização, com grande contribuição da Conservação Natural, nos geocomplexos a seguir: PRSR1, PRSR4-8 e PRSR11-12. A Regeneração se destaca no PRSR 9 e PRSR 10 com mais de 10% de sua área com fácies de regeneração. Já, o processo de Degradação não atingiu 50% da área em nenhum geocomplexo, mas salienta-se a presença mais significativa da Expansão da Silvicultura nos PRSR2-4. Sendo que no PRSR2 atingiu 18.31% da sua área.

Tabela 29 – Características dos Geocomplexos do Planaltos Residuais Sul-Riograndense.

<b>Código</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Geologia</b>	<b>Modelado</b>	<b>Drenagem</b>	<b>Fisionomia Vegetal</b>	<b>Rocha Matriz</b>	<b>Área (há)</b>
PRSR1	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Acampamento Velho (NP3(A)a)	390Pru. Pediplano Retocado Desnudado. Aplanamento.	--	Campo arbustivo	Ígnea (Tufo félsico, Riolito, Tufo lapillítico, Ignimbrito, Brecha piroclástica)	40675,456
PRSR2	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd)	Canguçu (NP2c)/Granítico Encruzilhada do Sul (NP3(G)e)	390Dc31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média a fina.	Campo arbustivo	Ígnea (Sienogranito, Monzogranito)	99347,852
PRSR3	Argissolo Vermelho Alumínico (Pva)	Arroio dos Ladrões (NP3(G)al)	390Dc31/32. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem média.	Campo arbustivo	Ígnea (Sienogranito)	26133,300
PRSR4	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Granito Cordilheira (NP3(G)co)/Arroio dos Ladrões (NP3(G)al)	390Dc21/32. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem	Campo arbustivo	Ígnea (Sienogranito, Monzogranito)	36060,193

				grosseira a média.			
PRSR5	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Acampamento Velho (NP3(A)a)/Hilário (NP3(E)h)	390Dt11/Dc21/4 2. Dissecação homogênea com topo tabular e convexo	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem muito grosseira a fina.	Campo arbustivo/ Campo graminoso	Ígnea (Basalto, Riolito, Rocha vulcânica piroclástica, Tufo lapillítico, Ignimbrito, Brecha piroclástica)	52124,091
PRSR6	Argissolo Vermelho Distrófico (PVd)	Santa Tecla (K1ste)	390Pri. Pediaplano Retocado Inumado. Aplanamento.	--	Campo arbustivo	Sedimentar (Arenito, Siltito)	30024,263
PRSR7	Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd)/Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (PVAe)	Cambaí (NP2cmb)	390Dc31/42/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem média a muito fina.	Campo arbustivo	Ígnea (Granodiorito, Monzogranito)	89590,230
PRSR8	Argissolo Vermelho-Amarelo	Canguçu (NP2c)	390Dc31/41/42/5 2. Dissecação	Aprofundamento das incisões muito	Campo arbustivo/Flor	Metamórfica Gnaiss granítico,	527445,95 2

	Distrófico (PVAd)/Argis solo Amarelo Eutrófico (Pae)		homogênea com topo convexo.	fraco a fraco e densidade de drenagem média a muito fina.	esta Estacional	Gnaise granodiorítico)	
PRSR9	Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd)/Argis solo Vermelho Alumínico (Pva)	Arroio dos Ladrões (NP3(G)al)/Canguçu (NP2c)	390Dc21/31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a fina.	Floresta Estacional/Campo arbustivo	Ígnea (Sienogranito, Monzogranito)	98801,689
PRSR10	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Arroio dos Ladrões (NP3(G)al)	390Dc42/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões fraco e densidade de drenagem fina a muito fina.	Floresta Estacional	Ígnea (Sienogranito, Monzogranito)	33640,631
PRSR11	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd)	Cambaí (NP2cmb)/ Granito Jaguari-Lavras (NP3(G)j)	390Dc31/32. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem média.	Campo arbustivo	Ígnea (Sienogranito, Granodiorito, Monzogranito)	28177,923

PRSR12	Luvissole Crômico Pálico (TCp)	Santa Bárbara (Os)	390Dc21/31/41. Dissecção homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a fina.	Campo arbustivo	Sedimentar (Arenito, Conglomerado)	32437,489
--------	--------------------------------	--------------------	--	---	-----------------	------------------------------------	-----------

Fonte: A autora (2023).

Tabela 30 – Área (há) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planaltos Residuais Sul-Riograndense.

	<b>PRSR1</b>	40675,456	<b>PRSR2</b>	99347,852	<b>PRSR3</b>	26133,300	<b>PRSR4</b>	36060,193
Fácies	Área (há)	Área (%)	Área (há)	Área (%)	Área (há)	Área (%)	Área (há)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>28992,71</b>	<b>71,28</b>	<b>46854,16</b>	<b>47,16</b>	<b>11823,68</b>	<b>45,24</b>	<b>20760,19</b>	<b>57,57</b>
<i>Conservação Natural</i>	28763	70,71	46078,6	46,38	9234,16	35,33	20599,2	57,12
<i>Antrópica Estável</i>	229,711	0,56	775,56	0,78	2589,52	9,91	160,993	0,45
<b>Regeneração</b>	<b>785,083</b>	<b>1,93</b>	<b>3656,03</b>	<b>3,68</b>	<b>904,79</b>	<b>3,46</b>	<b>1215,02</b>	<b>3,37</b>
Regeneração	785,083	1,93	3656,03	3,68	904,79	3,46	1215,02	3,37
<b>Degradação</b>	<b>10271,71</b>	<b>25,25</b>	<b>45712,89</b>	<b>46,02</b>	<b>12503,33</b>	<b>47,84</b>	<b>12838,01</b>	<b>35,61</b>
<i>Degradação</i>	2664,3	6,55	16685,6	16,80	7171,54	27,44	4899,16	13,59
<i>Expansão Soja</i>	1869,85	4,60	3861,22	3,89	331,827	1,27	923,197	2,56
<i>Expansão Agropecuária</i>	1205,82	2,96	4322,06	4,35	693,44	2,65	997,64	2,77
<i>Expansão Silvicultura</i>	4020,13	9,88	18187,1	18,31	2930,15	11,21	5496,3	15,24
<i>Intensificação Agropecuária</i>	511,61	1,26	2656,91	2,67	1376,37	5,27	521,717	1,45
	<b>PRSR5</b>	52124,091	<b>PRSR6</b>	30024,263	<b>PRSR7</b>	89590,230	<b>PRSR8</b>	527445,952
Fácies	Área (há)	Área (%)	Área (há)	Área (%)	Área (há)	Área (%)	Área (há)	Área (%)

<b>Estabilização</b>	<b>39496,44</b>	<b>75,77</b>	<b>16752,01</b>	<b>55,79</b>	<b>52714,61</b>	<b>58,84</b>	<b>332266,53</b>	<b>63,00</b>
<i>Conservação Natural</i>	39209,4	75,22	16613,3	55,33	52477,7	58,58	328141	62,21
<i>Antrópica Estável</i>	287,039	0,55	138,707	0,46	236,911	0,26	4125,53	0,78
<b>Regeneração</b>	<b>942,538</b>	<b>1,81</b>	<b>210,624</b>	<b>0,70</b>	<b>2164,2</b>	<b>2,42</b>	<b>18146,9</b>	<b>3,44</b>
Regeneração	942,538	1,81	210,624	0,70	2164,2	2,42	18146,9	3,44
<b>Degradação</b>	<b>11259,27</b>	<b>21,60</b>	<b>12701,05</b>	<b>42,31</b>	<b>33305,37</b>	<b>37,17</b>	<b>160772,99</b>	<b>30,48</b>
<i>Degradação</i>	3515,09	6,74	3683,26	12,27	11623,1	12,97	70148,9	13,30
<i>Expansão Soja</i>	3182,73	6,11	3494,4	11,64	7451,55	8,32	22468,3	4,26
<i>Expansão Agropecuária</i>	2088,52	4,01	2584,99	8,61	4213,86	4,70	19495,7	3,70
<i>Expansão Silvicultura</i>	1650,45	3,17	2633,27	8,77	8008,36	8,94	38862,6	7,37
<i>Intensificação Agropecuária</i>	822,483	1,58	305,133	1,02	2008,5	2,24	9797,49	1,86
	<b>PRSR9</b>	98801,689	<b>PRSR10</b>	33640,631	<b>PRSR11</b>	28177,923	<b>PRSR12</b>	32437,489
Fácies	Área (há)	Área (%)	Área (há)	Área (%)	Área (há)	Área (%)	Área (há)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>46306,94</b>	<b>46,87</b>	<b>13926,52</b>	<b>41,40</b>	<b>19568,41</b>	<b>69,45</b>	<b>24139,34</b>	<b>74,42</b>
<i>Conservação Natural</i>	41354,2	41,86	11881,9	35,32	19457,8	69,05	24046,7	74,13
<i>Antrópica Estável</i>	4952,74	5,01	2044,62	6,08	110,612	0,39	92,6433	0,29
<b>Regeneração</b>	<b>10619,1</b>	<b>10,75</b>	<b>4833,75</b>	<b>14,37</b>	<b>348,228</b>	<b>1,24</b>	<b>1030,78</b>	<b>3,18</b>
Regeneração	10619,1	10,75	4833,75	14,37	348,228	1,24	1030,78	3,18
<b>Degradação</b>	<b>37899,69</b>	<b>38,36</b>	<b>13669,82</b>	<b>40,63</b>	<b>7713,75</b>	<b>27,37</b>	<b>6564,40</b>	<b>20,24</b>
<i>Degradação</i>	23900,2	24,19	9665,69	28,73	1989,63	7,06	2943,96	9,08
<i>Expansão Soja</i>	1728,49	1,75	553,218	1,64	3360,42	11,93	1272,87	3,92
<i>Expansão Agropecuária</i>	2276,91	2,30	561,627	1,67	1250,6	4,44	860,83	2,65
<i>Expansão Silvicultura</i>	6663,15	6,74	1058,39	3,15	905,285	3,21	1157,76	3,57
<i>Intensificação Agropecuária</i>	3330,94	3,37	1830,89	5,44	207,816	0,74	328,975	1,01

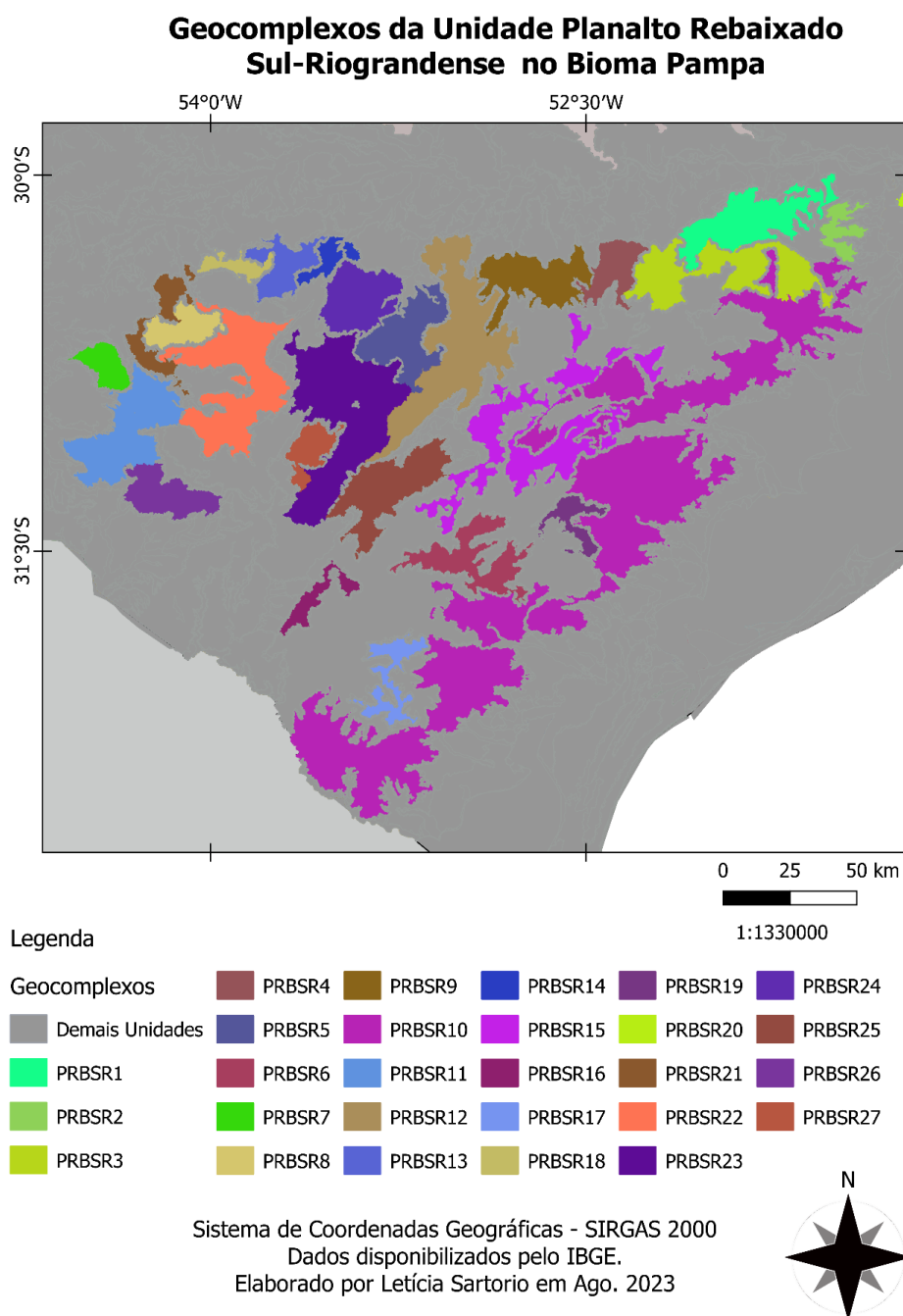
Fonte: A autora (2023).



## Planalto Rebaixado Sul-Riograndense

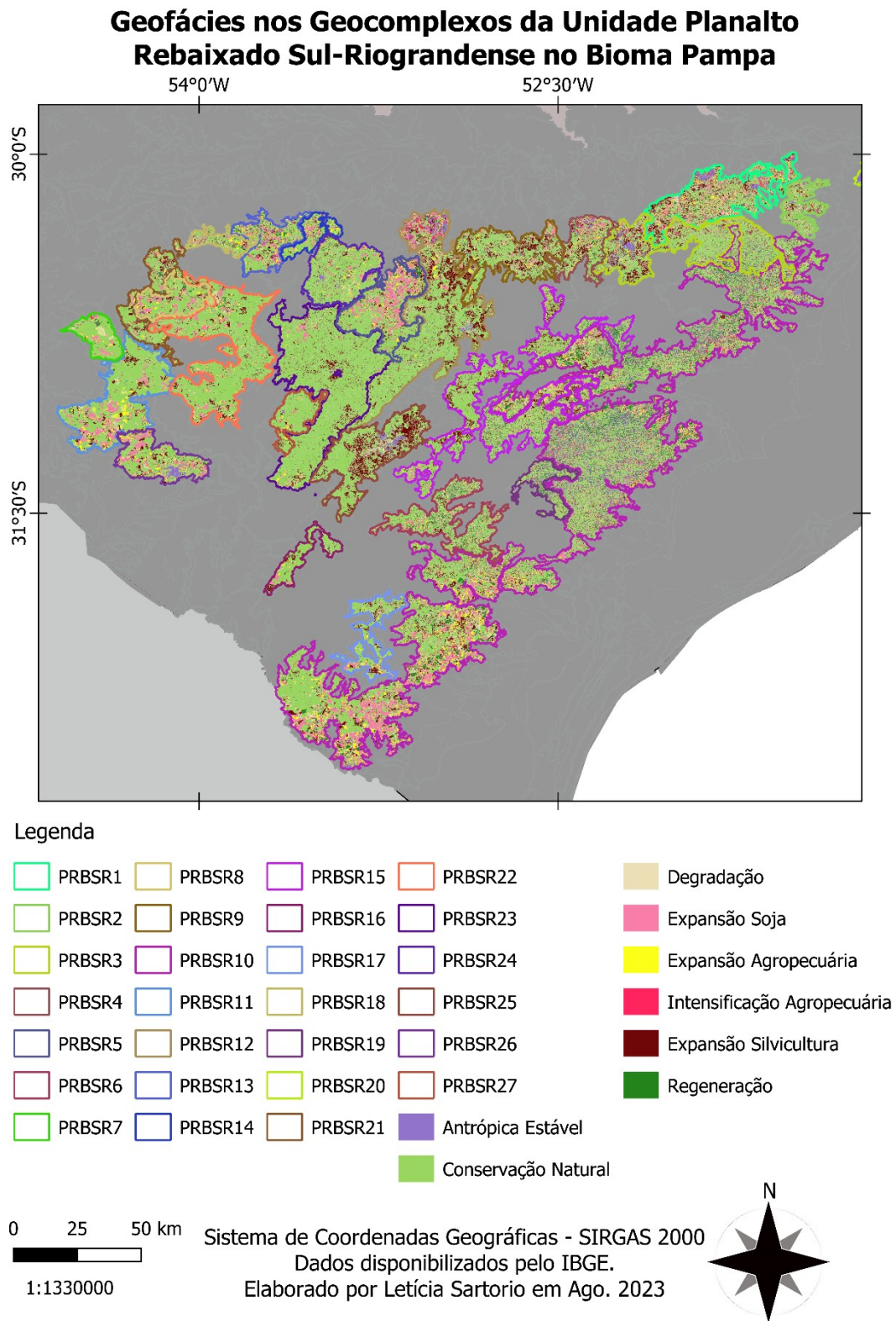
A unidade do Planalto Rebaixado Sul-Riograndense possui 27 geocomplexos (Figura 57 e Tabela 31). As geofácies podem ser visualizadas na Figura 58 e sua área em cada geocomplexo na Tabela 32.

Figura 57 – Geocomplexos do Planalto Rebaixado Sul-Riograndense.



Fonte: A autora (2023).

Figura 58 – Geofácies nos Geocomplexos do Planalto Rebaixado Sul-Riograndense.



Fonte: A autora (2023).

Nesta unidade há maior presença de rochas ígneas e metamórficas. Como na unidade anterior também possui uma grande diversidade em termos de unidades geológicas. Podendo-se destacar a unidade Canguçu, Cambaí, Arroio dos Ladrões e Mangueirão. O Campo arbustivo é a fisionomia vegetal com maior presença, seguido pelo Campo misto de andropogôneas e compostas, Floresta estacional e Campo misto do Cristalino Oriental.

O modelado de dissecação homogênea com topo convexo é o que domina nesta unidade. O modelado de dissecação homogênea (D) se caracteriza pela dissecação fluvial em distintas litologias sem controle estrutural forte, com presença de colinas, morros e interflúvios tabulares (IBGE, 2009). As formas com topo convexo são em sua maioria esculpidas em rochas do tipo ígneas e metamórficas. Possuem vales com boa definição e vertentes com declividade variada, com entalhamento por sulcos e com cabeceiras de drenagem de primeira ordem (IBGE, 2009).

Em termos de pedologia há expressiva presença de neossolos e argissolos, seguido por chernossolos. O Neossolo Litólico Distrófico (RLd) possui saturação inferior a 50% na maioria dos seus horizontes e o Neossolo Litólico Eutrófico (Rle) apresenta saturação igual ou superior a 50% na maioria dos seus horizontes. O Chernossolo Argilúvico Órtico (Mto) são solos que não se encaixam nas demais categorias de chernossolos. Já o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) apresenta saturação inferior a 50% nos primeiros 100 cm do horizonte B e o Argissolo Vermelho Alumínico (Pva) possui caráter alumínico nos primeiros 100 cm do horizonte B (EMBRAPA, 2018).

Na Figura 58 é possível observar grande presença da fâcies de Conservação Natural, e em menor da Expansão da Silvicultura ao centro e da Expansão da Soja ao sul. A Regeneração ocorre em cerca de 10% da área no PRBSR19, PRBSR10 e PRBSR6. A Degradação predomina em poucos geocomplexos com maior expressão no PRBSR1, PRBSR4, PRBSR9 e PRBSR12, estes com maior contribuição da Expansão Silvicultura, no PRBSR25 a fâcies de Expansão Silvicultura ocupa 22,97% da área do geocomplexo. A Estabilização, com destaque para Conservação Natural, predomina nos demais geocomplexos como no PRBSR6-8, PRBSR14-16 e PRBSR21-24. Ademais, no PRBSR20 há uma significativa contribuição da fâcies Antrópica Estável na Estabilização.

Tabela 31 – Características dos Geocomplexos do Planalto Rebaixado Sul-Riograndense.

<b>Código</b>	<b>Pedologia</b>	<b>Geologia</b>	<b>Modelado</b>	<b>Drenagem</b>	<b>Fisionomia Vegetal</b>	<b>Rocha Matriz</b>	<b>Área (há)</b>
PRBSR 1	Argissolo Vermelho Alumínico (Pva)	Canguçu (NP2c)	391Dc31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média a fina.	Campo misto de andropogôneas e compostas/Campo arbustivo	Metamórfica (Ortognaisse tonalítico, Paragnaisse, Gnaisse granodiorítico)	101983,56 2
PRBSR 2	Argissolo Vermelho Alumínico (Pva)	Arroio dos Ladrões (NP3(G)al)/Canguçu (NP2c)	391Dc32/42. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões fraco e densidade de drenagem média a fina.	Campo arbustivo/Campo misto de andropogôneas e compostas	Ígnea (Sienogranito)	27290,268
PRBSR 3	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Canguçu (NP2c)/Arroio dos Ladrões (NP3(G)al)	391Dc32/42/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões fraco e densidade de drenagem média a muito fina.	Campo arbustivo	Ígnea (Sienogranito, Monzogranito)	117888,07 1
PRBSR 4	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVA <sub>d</sub> )	Granítico Encruzilhada do Sul (NP3(G)e)/Canguçu (NP2c)	391Dc31/41/42. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões de muito fraco a fraco e densidade de drenagem média a fina.	Campo arbustivo/Campo misto de andropogôneas e compostas	Ígnea (Sienogranito, Monzogranito)	42327,396
PRBSR 5	Argissolo Vermelho Distrófico (PV <sub>d</sub> )	Guaritas (Og)	391Dc31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de	Campo arbustivo	Sedimentar (Arcóseo, Arenito conglomerático)	79542,015

				drenagem média a fina.			
PRBSR 6	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Canguçu (NP2c)	391Dc42. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões fraco e densidade de drenagem fina.	Campo arbustivo/Floresta estacional	Metamórfica (Gnaiss granítico, Gnaiss granodiorítico)	74834,379
PRBSR 7	Chernossolo Argilúvico Órtico (Mto)	Cambaí (NP2cmb)	391Dc41/51. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem fina a muito fina.	Campo arbustivo	Metamórfica (Ortogranulito)	27998,852
PRBSR 8	Chernossolo Argilúvico Órtico (Mto)	Cambaí (NP2cmb)/Vacacaí (NP2v)	391Dc31/41/51. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média a muito fina.	Campo arbustivo	Metamórfica (Metadacito, Xisto magnésiano)	36768,999
PRBSR 9	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Granítico Encruzilhada do Sul (NP3(G)e)/Sienito Piquiri (NP3(S)p)/Arroio dos Nobres (NP3an)	391Dc31/42/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem média a muito fina.	Campo arbustivo	Ígnea (Sienogranito, Monzogranito)	81312,549
PRBSR 10	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd)	Canguçu (NP2c)	391Dc31/41/42/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem	Floresta Estacional/Campo arbustivo/Campo misto do	Metamórfica (Gnaiss granítico, Gnaiss granodiorítico,	819533,961

				média a muito fina.	Cristalino Oriental	Ortognaisse tonalítico)	
PRBSR 11	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd)	Cambaí (NP2cmb)/Granito Santo Afonso (NP3(G)a)	391Dc31/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem média a muito fina.	Campo arbustivo	Ígnea Granodiorito, Monzogranito)	113800,188
PRBSR 12	Neossolo Litólico Eutrófico (Rle)	Cerro das Madeiras (NP3cm)/Cerro da Árvore (NP3a)	391Dc42/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões fraco e densidade de drenagem fina a muito fina.	Campo arbustivo	Metamórfica (Metapelito, Granada xisto, Ortognaisse)	185238,422
PRBSR 13	Neossolo Litólico Eutrófico (Rle)	Vacacaí (NP2v)	391Dc31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média a fina.	Campo arbustivo	Metamórfica (Metadacito, Metapelito, Metavulcanoclástica)	43493,085
PRBSR 14	Chernosso lo Ebânico Órtico (Meo)	Mangueirão (NP3mg)	391Dc31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média a fina.	Campo arbustivo	Ígnea (Rocha vulcânica piroclástica)	20613,439
PRBSR 15	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Canguçu (NP2c)/Arroio dos Ladrões (NP3(G)al) / Granito Cerro Frio (NP3(G)f)	391Dc41/42/51/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem fina a muito fina.	Campo arbustivo/Floresta Estacional	Ígnea (Monzogranito, Sienogranito)	176514,051

PRBSR 16	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Canguçu (NP2c)	391Dc52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões fraco e densidade de drenagem muito fina.	Campo arbustivo	Ígnea (Monzogranito, Sienogranito)	24512,308
PRBSR 17	Chernosso lo Argilúvico Órtico (Mto)	Canguçu (NP2c)	391Dc42/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões fraco e densidade de drenagem fina a muito fina.	Campo arbustivo	Metamórfica (Gnaiss granítico, Gnaiss granodiorítico)	39698,970
PRBSR 18	Chernosso lo Argilúvico Órtico (Mto)	Cambaí (NP2cmb)	390Dc21/31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a fina.	Campo arbustivo	Metamórfica (Gnaiss granítico, Ortognaiss monzogranítico, Gnaiss granodiorítico)	18620,248
PRBSR 19	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Canguçu (NP2c)	391Dc41/52/53. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a médio e densidade de drenagem fina a muito fina.	Floresta Estacional	Metamórfica (Gnaiss granítico, Gnaiss granodiorítico)	25930,076
PRBSR 20	Argissolo Vermelho- Amarelo Distrófico (PVAd)	Canguçu (NP2c)	391Dc31/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem média a fina.	Campo misto de andropogôneas e compostas	Metamórfica (Gnaiss granítico, Gnaiss granodiorítico)	73779,373
PRBSR 21	Argissolo Vermelho-	Cambaí (NP2cmb)	391Dc41/52. Dissecação	Aprofundamento das incisões	Campo arbustivo	Ígnea, Metamórfica	42442,965

	Amarelo Distrófico (PVAd)		homogênea com topo convexo.	muito fraco a fraco e densidade de drenagem fina a muito fina.		(Gnaiss granítico, Ortognaiss monzogranítico, Gnaiss granodiorítico)	
PRBSR 22	Neossolo Litólico Eutrófico (Rle)	Cambaí (NP2cmb)/Hilário (NP3(E)h))	391Dc31/32/42/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem média a muito fina.	Campo arbustivo	Ígnea (Traquibasalto, Traquiandesito, Diorito, Tonalito, Granodiorito)	150097,564
PRBSR 23	Neossolo Litólico Eutrófico (Rle)	Guaritas (Og)/Santa Bárbara (Os)	391Dc31/41/42/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem média a muito fina.	Campo arbustivo	Sedimentar (Arcóseo, Arenito conglomerático, Argilito)	202925,027
PRBSR 24	Neossolo Litólico Eutrófico (RLe)	Caçapava do Sul (NP3(G)cs)/Mangueirão (NP3mg)	391Dc21/31/41/42. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem grosseira a fina.	Campo arbustivo	Ígnea (Sienogranito, Granodiorito, Monzogranito)	71680,463
PRBSR 25	Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Porongos (NP3p)/Cerro das Madeiras (NP3cm) / Arroio dos Nobres (NP3an)	391Dc42/51/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco a fraco e densidade de drenagem fina a muito fina.	Campo arbustivo	Metamórfica (Metapelito, Granada xisto)	94550,585



PRBSR 26	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd)	Cambaí (NP2cmb)	391Dc21/41. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões muito fraco e densidade de drenagem grosseira a fina.	Campo arbustivo/Campo gramíneo	Metamórfica (Ortognaisse granodiorítico, Ortognaisse granítico)	55309,988
PRBSR 27	Associação de Neossolo Litólico Eutrófico (RLe)/ Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	Cambaí (NP2cmb)/Mangueirão (NP3mg)	391Dc42/52. Dissecação homogênea com topo convexo.	Aprofundamento das incisões fraco e densidade de drenagem fina a muito fina.	Campo arbustivo	Metamórfica (Ortognaisse granodiorítico, Ortognaisse granítico)	31376,151

Fonte: A autora (2023).

Tabela 32 - Área (ha) e Porcentagem (%) das Fácies nos Geocomplexos da Unidade Planalto Rebaixado Sul-Riograndense.

	PRBSR1	101983,562	PRBSR2	27290,268	PRBSR3	117888,071	PRBSR4	42327,396
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>33096,15</b>	<b>32,45</b>	<b>11867,11</b>	<b>43,48</b>	<b>59838,03</b>	<b>50,76</b>	<b>17509,21</b>	<b>41,37</b>
<i>Conservação Natural</i>	28479,3	27,93	10817,1	39,64	55200,6	46,82	16369,4	38,67
<i>Antrópica Estável</i>	4616,85	4,53	1050,01	3,85	4637,43	3,93	1139,81	2,69
<b>Regeneração</b>	<b>3748,42</b>	<b>3,68</b>	<b>1398,12</b>	<b>5,12</b>	<b>4855,78</b>	<b>4,12</b>	<b>1931,07</b>	<b>4,56</b>
Regeneração	3748,42	3,68	1398,12	5,12	4855,78	4,12	1931,07	4,56
<b>Degradação</b>	<b>62475,70</b>	<b>61,26</b>	<b>13015,97</b>	<b>47,70</b>	<b>48706,65</b>	<b>41,31</b>	<b>21686,49</b>	<b>51,23</b>
<i>Degradação</i>	29872,6	29,29	7834,01	28,71	25724,4	21,82	8812,69	20,82
<i>Expansão Soja</i>	5385,25	5,28	199,725	0,73	1564,14	1,33	2579,41	6,09
<i>Expansão Agropecuária</i>	5475,1	5,37	928,578	3,40	2597,78	2,20	2198,07	5,19

<i>Expansão Silvicultura</i>	14533,1	14,25	2657,23	9,74	14169,9	12,02	6358,82	15,02
<i>Intensificação Agropecuária</i>	7209,65	7,07	1396,43	5,12	4650,43	3,94	1737,5	4,10
	<b>PRBSR5</b>	79542,015	<b>PRBSR6</b>	74834,379	<b>PRBSR7</b>	27998,852	<b>PRBSR8</b>	36768,999
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>38429,94</b>	<b>48,31</b>	<b>38106,28</b>	<b>50,92</b>	<b>20261,02</b>	<b>72,36</b>	<b>21458,00</b>	<b>58,36</b>
<i>Conservação Natural</i>	37835,7	47,57	37551,1	50,18	20191,7	72,12	21021,5	57,17
<i>Antrópica Estável</i>	594,242	0,75	555,183	0,74	69,3154	0,25	436,496	1,19
<b>Regeneração</b>	<b>1538,78</b>	<b>1,93</b>	<b>6767,67</b>	<b>9,04</b>	<b>721,032</b>	<b>2,58</b>	<b>704,651</b>	<b>1,92</b>
Regeneração	1538,78	1,93	6767,67	9,04	721,032	2,58	704,651	1,92
<b>Degradação</b>	<b>38158,85</b>	<b>47,98</b>	<b>26979,21</b>	<b>36,05</b>	<b>6854,69</b>	<b>24,49</b>	<b>13929,14</b>	<b>37,89</b>
<i>Degradação</i>	9915,99	12,47	15403	20,58	2784,49	9,95	3852,24	10,48
<i>Expansão Soja</i>	15934,3	20,03	2675,63	3,58	2079,35	7,43	4433,79	12,06
<i>Expansão Agropecuária</i>	4819,91	6,06	2590,97	3,46	1086,81	3,88	1974,86	5,37
<i>Expansão Silvicultura</i>	5914,41	7,44	4988,79	6,67	495,948	1,77	2905,69	7,90
<i>Intensificação Agropecuária</i>	1574,24	1,98	1320,82	1,76	408,095	1,46	762,559	2,07
	<b>PRBSR9</b>	81312,549	<b>PRBSR10</b>	819533,961	<b>PRBSR11</b>	113800,188	<b>PRBSR12</b>	185238,42 2
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>40790,08</b>	<b>50,16</b>	<b>311531,90</b>	<b>38,01</b>	<b>74592,85</b>	<b>65,55</b>	<b>115527,74</b>	<b>62,37</b>
<i>Conservação Natural</i>	40394,5	49,68	276174	33,70	74422,9	65,40	110243	59,51
<i>Antrópica Estável</i>	395,576	0,49	35357,9	4,31	169,947	0,15	5284,74	2,85
<b>Regeneração</b>	<b>2561,44</b>	<b>3,15</b>	<b>79960,4</b>	<b>9,76</b>	<b>987,361</b>	<b>0,87</b>	<b>3029,74</b>	<b>1,64</b>
Regeneração	2561,44	3,15	79960,4	9,76	987,361	0,87	3029,74	1,64
<b>Degradação</b>	<b>35285,44</b>	<b>43,39</b>	<b>405585,50</b>	<b>49,49</b>	<b>37137,19</b>	<b>32,63</b>	<b>60625,46</b>	<b>32,73</b>
<i>Degradação</i>	12922,4	15,89	207650	25,34	10310,8	9,06	16842,1	9,09
<i>Expansão Soja</i>	2522,72	3,10	59953	7,32	11499,6	10,11	6878,71	3,71
<i>Expansão Agropecuária</i>	2356,22	2,90	48256,9	5,89	7270,74	6,39	4404,99	2,38
<i>Expansão Silvicultura</i>	14944,1	18,38	57452,8	7,01	6904,76	6,07	27152,6	14,66
<i>Intensificação Agropecuária</i>	2540	3,12	32272,8	3,94	1151,29	1,01	5347,06	2,89

	<b>PRBSR1 3</b>	43493,085	<b>PRBSR14</b>	20613,439	<b>PRBSR15</b>	176514,051	<b>PRBSR16</b>	24512,308
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>20022,35</b>	<b>46,04</b>	<b>11121,76</b>	<b>53,95</b>	<b>96673,21</b>	<b>54,77</b>	<b>3808,60</b>	<b>75,76</b>
<i>Conservação Natural</i>	18935,6	43,54	10954,4	53,14	94907,5	53,77	18547,4	75,67
<i>Antrópica Estável</i>	1086,75	2,50	167,361	0,81	1765,71	1,00	22,6033	0,09
<b>Regeneração</b>	<b>2927,99</b>	<b>6,73</b>	<b>634,151</b>	<b>3,08</b>	<b>11616,7</b>	<b>6,58</b>	<b>158,565</b>	<b>0,65</b>
Regeneração	2927,99	6,73	634,151	3,08	11616,7	6,58	158,565	0,65
<b>Degradação</b>	<b>19752,73</b>	<b>45,42</b>	<b>8453,02</b>	<b>41,01</b>	<b>61683,68</b>	<b>34,94</b>	<b>5334,39</b>	<b>21,76</b>
<i>Degradação</i>	7245,1	16,66	2570,8	12,47	29907,9	16,94	1341,47	5,47
<i>Expansão Soja</i>	5091,89	11,71	2539,41	12,32	4370,2	2,48	976,257	3,98
<i>Expansão Agropecuária</i>	3331,32	7,66	1825,45	8,86	5196,99	2,94	426,506	1,74
<i>Expansão Silvicultura</i>	2824,18	6,49	1213,85	5,89	18659,7	10,57	2203,04	8,99
<i>Intensificação Agropecuária</i>	1260,24	2,90	303,512	1,47	3548,89	2,01	387,119	1,58
	<b>PRBSR1 7</b>	39698,970	<b>PRBSR18</b>	18620,248	<b>PRBSR19</b>	25930,076	<b>PRBSR20</b>	73779,373
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
<b>Estabilização</b>	<b>25939,03</b>	<b>65,34</b>	<b>9550,82</b>	<b>51,29</b>	<b>12261,82</b>	<b>47,29</b>	<b>51809,00</b>	<b>70,22</b>
<i>Conservação Natural</i>	25885,2	65,20	9270,71	49,79	10076,2	38,86	32271,6	43,74
<i>Antrópica Estável</i>	53,8307	0,14	280,106	1,50	2185,62	8,43	19537,4	26,48
<b>Regeneração</b>	<b>290,625</b>	<b>0,73</b>	<b>862,929</b>	<b>4,63</b>	<b>3012,09</b>	<b>11,62</b>	<b>2300,42</b>	<b>3,12</b>
Regeneração	290,625	0,73	862,929	4,63	3012,09	11,62	2300,42	3,12
<b>Degradação</b>	<b>12271,15</b>	<b>30,91</b>	<b>7743,88</b>	<b>41,59</b>	<b>9563,82</b>	<b>36,88</b>	<b>16892,07</b>	<b>22,89</b>
<i>Degradação</i>	3786	9,54	2707,85	14,54	6553,52	25,27	8773,82	11,89
<i>Expansão Soja</i>	2041,95	5,14	1928,53	10,36	503,378	1,94	2405,58	3,26
<i>Expansão Agropecuária</i>	1789,51	4,51	1432,17	7,69	571,711	2,20	1135,37	1,54
<i>Expansão Silvicultura</i>	3972,21	10,01	1294	6,95	1178,83	4,55	2715,13	3,68
<i>Intensificação Agropecuária</i>	681,484	1,72	381,332	2,05	756,383	2,92	1862,17	2,52
	<b>PRBSR2 1</b>	42442,965	<b>PRBSR22</b>	150097,564	<b>PRBSR23</b>	202925,027	<b>PRBSR24</b>	71680,463
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)

<b>Estabilização</b>	<b>25087,33</b>	<b>59,11</b>	<b>113509,02</b>	<b>75,62</b>	<b>171946,25</b>	<b>84,73</b>	<b>47316,72</b>	<b>66,01</b>
<i>Conservação Natural</i>	24938,8	58,76	113115	75,36	171702	84,61	46461,4	64,82
<i>Antrópica Estável</i>	148,532	0,35	394,023	0,26	244,251	0,12	855,318	1,19
<b>Regeneração</b>	<b>1310,43</b>	<b>3,09</b>	<b>1994,88</b>	<b>1,33</b>	<b>1142,21</b>	<b>0,56</b>	<b>2446,48</b>	<b>3,41</b>
Regeneração	1310,43	3,09	1994,88	1,33	1142,21	0,56	2446,48	3,41
<b>Degradação</b>	<b>15256,94</b>	<b>35,94</b>	<b>31533,28</b>	<b>21,01</b>	<b>23921,01</b>	<b>11,79</b>	<b>19699,97</b>	<b>27,48</b>
<i>Degradação</i>	5684,29	13,39	11535,1	7,69	7173,95	3,54	9233,75	12,88
<i>Expansão Soja</i>	2523,35	5,95	6031,85	4,02	2286,77	1,13	3094,29	4,32
<i>Expansão Agropecuária</i>	1723,56	4,06	3631,83	2,42	1605,16	0,79	2835,78	3,96
<i>Expansão Silvicultura</i>	4292,17	10,11	8325,47	5,55	11657	5,74	3359,93	4,69
<i>Intensificação Agropecuária</i>	1033,57	2,44	2009,03	1,34	1198,13	0,59	1176,22	1,64
	<b>PRBSR2 5</b>	94550,585	<b>PRBSR26</b>	55309,988	<b>PRBSR27</b>	31376,151		
Fácies	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)		
<b>Estabilização</b>	<b>57593,70</b>	<b>60,91</b>	<b>29104,38</b>	<b>52,62</b>	<b>25947,14</b>	<b>82,70</b>		
<i>Conservação Natural</i>	55513,7	58,71	26486,7	47,89	25859	82,42		
<i>Antrópica Estável</i>	2080	2,20	2617,68	4,73	88,14	0,28		
<b>Regeneração</b>	<b>481,245</b>	<b>0,51</b>	<b>891,575</b>	<b>1,61</b>	<b>124,688</b>	<b>0,40</b>		
Regeneração	481,245	0,51	891,575	1,61	124,688	0,40		
<b>Degradação</b>	<b>33609,22</b>	<b>35,54</b>	<b>24443,29</b>	<b>44,19</b>	<b>4434,37</b>	<b>14,13</b>		
<i>Degradação</i>	9553,24	10,10	7258,57	13,12	1286,91	4,10		
<i>Expansão Soja</i>	346,669	0,37	8351,77	15,10	500,146	1,59		
<i>Expansão Agropecuária</i>	250,978	0,27	3723,31	6,73	853,26	2,72		
<i>Expansão Silvicultura</i>	21715	22,97	4036,55	7,30	1605,96	5,12		
<i>Intensificação Agropecuária</i>	1743,33	1,84	1073,09	1,94	188,09	0,60		

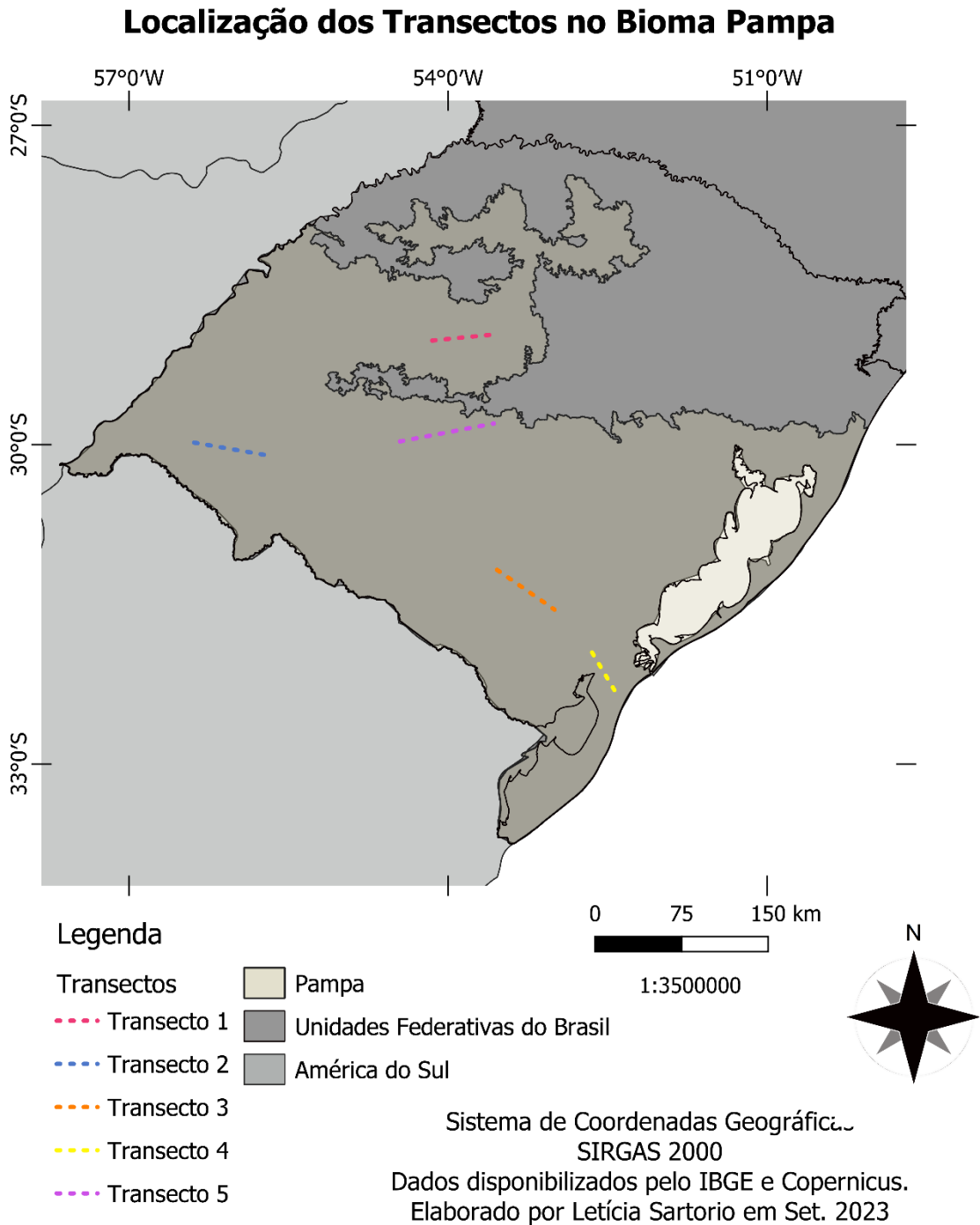
Fonte: A autora (2023).

### *Perfis Físico-ecológicos dos Geocomplexos*

A Figura 59 apresenta a localização dos transectos utilizados para construir os perfis topográficos e físico-ecológico dos geocomplexos. O transecto 1 abrange geocomplexos no Planalto das Missões e no Planalto dos Campos Gerais. O transecto 2 se estende sob os geocomplexos do Planalto da Campanha. Já o transecto 3 se localiza entre geocomplexos do Planalto Rebaixado Sul-Riograndense e Planaltos Residuais Sul-Riograndense. As Planícies Costeiras e Planície Lagunar Patos-Mirim estão representada pelo transecto 4. Por fim, o transecto 5 abrange geocomplexos na Depressão do Rio Jacuí e Ibicuí.

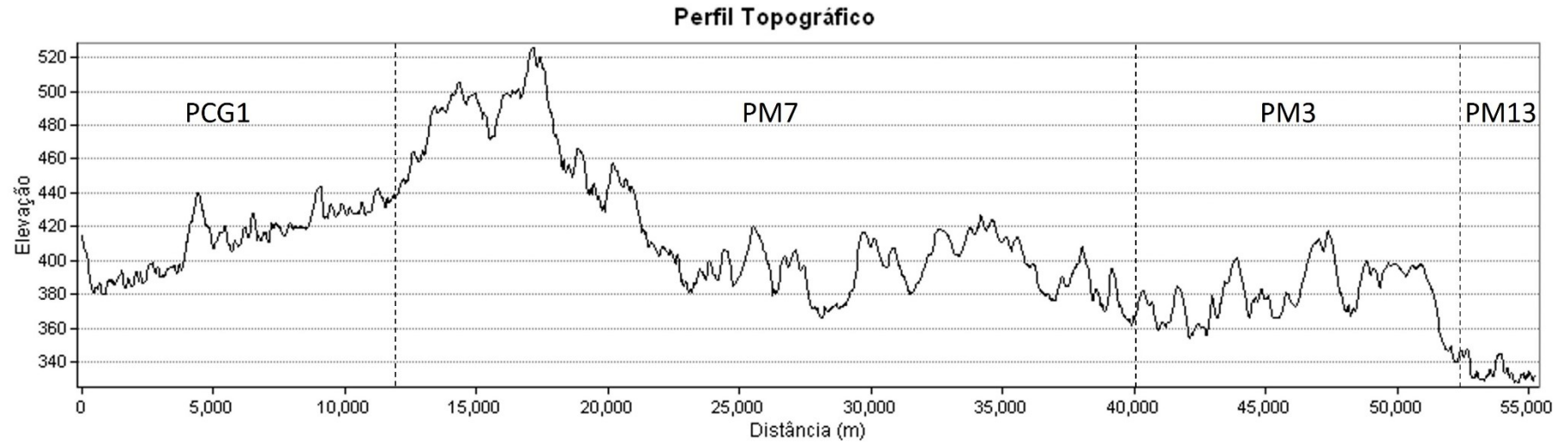
Estes perfis permitem visualizar a topografia dos geocomplexos com suas características físico-ecológicas. Nas Figuras Figura 60, Figura 61, Figura 62, Figura 64 e Figura 63 podemos visualizar, respectivamente, os perfis dos transectos 1, 2, 3, 4 e 5. A partir dos mesmo se evidencia as diferenças topográficas entre as unidades, e também a diversidade físico-ecológica existente no Bioma Pampa.

Figura 59 - Localização dos Transectos dos Perfis Topográficos.



Fonte: A autora (2023).

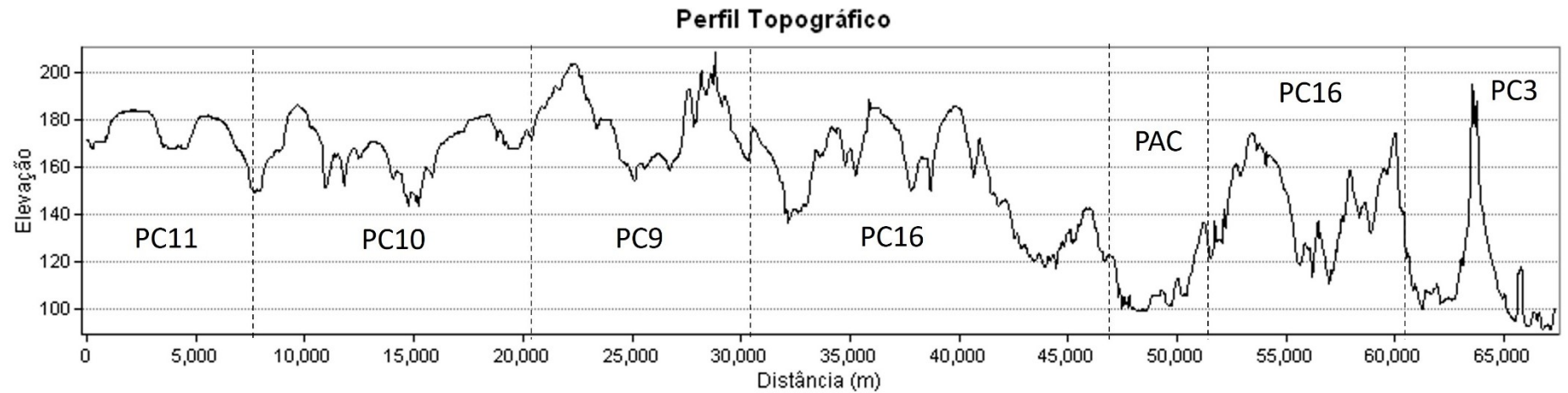
Figura 60 - Perfil físico-ecológico do transecto 1.



Unidade	Planalto dos Campos Gerais	Planalto das Missões		Planalto das Missões	Planalto das Missões
Geologia	Serra Geral - Fácies Caxias	Tupanciretã		Tupanciretã	Serra Geral - Fácies Caxias
Geomorfologia	Dc11/21/31/41	Dc31/41		Dc21	Dc31/41
Pedologia	Argissolo Vermelho Alumínico	Latossolo Vermelho Distrófico		Latossolo Vermelho Distrófico	Nitossolo Bruno Alumínico
Vegetação	Campo com barba-de-bode	Campo com barba-de-bode		Campo com barba-de-bode	Campo com barba-de-bode

Fonte: A autora (2023).

Figura 61 - Perfil físico-ecológico do transecto 2.

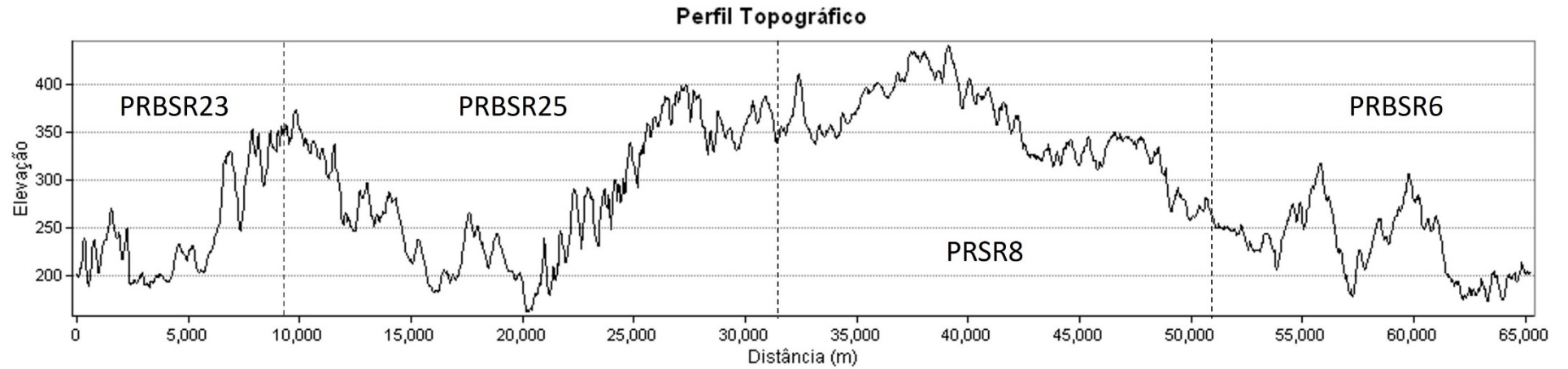


Unidade	Planalto da Campanha	Planalto da Campanha	Planalto da Campanha	Planalto da Campanha	PAC	--	Planalto da Campanha
Geologia	Serra Geral	Serra Geral	Serra Geral	Serra Geral	Q2a	--	Botucatu
Geomorfologia	Pru	Dt11/21	Pru	Dc21/31	Atf1/ Apf	--	Dc21/31
Pedologia	Neossolo Litólico Chernossólico	Neossolo Litólico Chernossólico	Neossolo Litólico Chernossólico	Neossolo Litólico Chernossólico	GXve/ SXe/ RYve	--	Argissolo Vermelho Alumínico
Vegetação	Campo de solos rasos	Campo de solos rasos	Campo de solos rasos	Campo de solos rasos	--	--	Campo misto de andropogôneas e compostas

Fonte: A autora (2023).



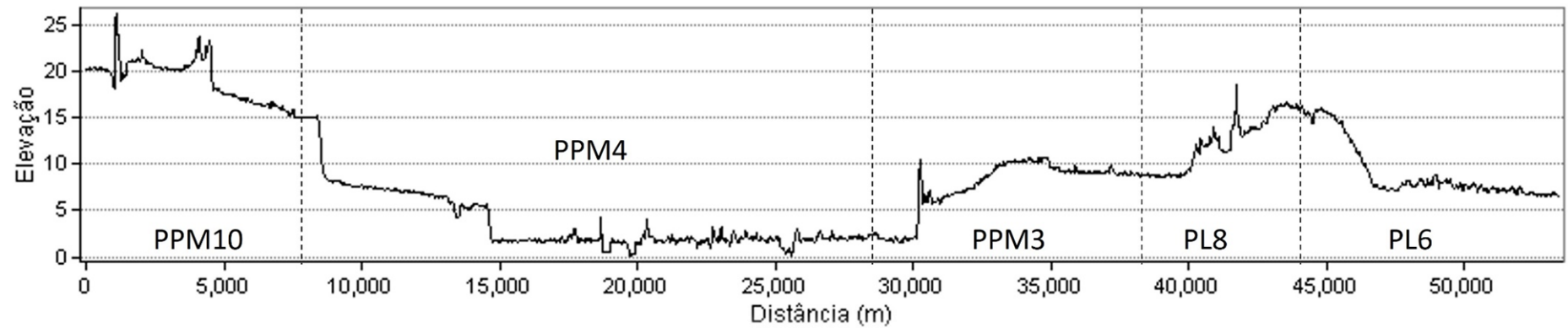
Figura 62 - Perfil físico-ecológico do transecto 3.



Unidade	Planalto Rebaixado Sul-Riograndense	Planalto Rebaixado Sul-Riograndense	Planaltos Residuais Sul-Riograndense	Planaltos Residuais Sul-Riograndense
Geologia	Guaritas /Santa Bárbara	Porongos/Cerro das Madeiras/Arroio dos Nobres	Canguçu	Santa Tecla
Geomorfologia	Dc31/41/42/52	Dc42/51/52	Dc31/41/42/52	Pri
Pedologia	Neossolo Litólico Eutrófico	Neossolo Litólico Distrófico	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico/Argissolo Amarelo Eutrófico	Argissolo Vermelho Distrófico
Vegetação	Campo arbustivo	Campo arbustivo	Campo arbustivo/Floresta Estacional	Campo arbustivo

Fonte: A autora (2023).

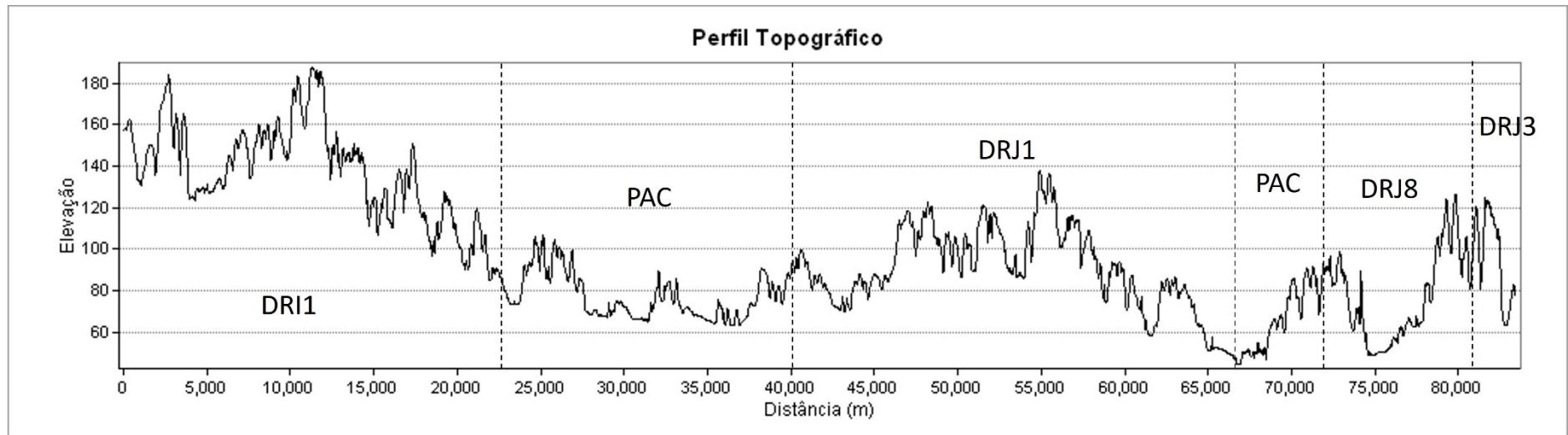
Figura 63 - Perfil físico-ecológico do transecto 4.



Unidade	Planície Lagunar Patos-Mirim	Planície Lagunar Patos-Mirim	Planície Lagunar Patos-Mirim	Planícies Litorâneas	Planícies Litorâneas
Geologia	Chuí	Aluviões Fluviolacustres Holocênicos	Chuí	Itapoã	Depósitos Litorâneos Holocênicos
Geomorfologia	Atlg2	Atlg1/Aplg	Atlg2	Ape	Atm1
Pedologia	Planossolo Háplico Eutrófico	Organossolo Háplico Hêmico/Gleissolo Melânico Ta Eutrófico	Gleissolo Háplico Ta Eutrófico/Gleissolo Melânico Ta Eutrófico	Plintossolo Argilúvico Alumínico	Espodossolo Ferrilúvico Órtico
Vegetação	Campo litorâneo	Campo litorâneo	Campo litorâneo	Campo litorâneo	Campo litorâneo

Fonte: A autora (2023).

Figura 64 - Perfil físico-ecológico do transecto 5.



Unidade	Depressão do Rio Ibicuí	Planícies Alúvio-coluvionares	Depressão do Rio Jacuí	--	Depressão do Rio Jacuí	Depressão do Rio Jacuí
Geologia	Rosário do Sul	Depósitos Aluvionares Holocênicos	Rosário do Sul	--	Rosário do Sul	Rosário do Sul
Geomorfologia	Dc21/31/41	Atf1/Apf	Dc11/21	--	Dc11/21/31	Dc21/31/41
Pedologia	Argissolo Vermelho Alumínico	Gleissolo Háptico Ta Eutrófico/Planossolo Háptico Eutrófico /Neossolo Flúvico Ta Eutrófico	Argissolo Bruno-Acinzentado Ta Alumínico/Argissolo Vermelho Ta Alumínico/Argissolo Vermelho-Amarelo Ta Alumínico	--	Luvissolo Háptico Órtico	Argissolo Vermelho Alumonico
Vegetação	Campo misto de andropogôneas e compostas	--	Campo misto de andropogôneas e compostas	--	Outras formações	Outras formações

Fonte: A autora (2023).

### 8.2.7 Discussão

Este capítulo apresentou uma proposta de hierarquização da paisagem seguindo a teoria geossistêmica apresentada por Bertrand e Bertrand (2002). E delimitou os geocomplexos e geofácies no Bioma Pampa, a partir de informações físico-ecológicas e da integração dos processos MUCT. Resultando em 135 geocomplexos que exprimem a complexidade e diversidade paisagística existente no Bioma Pampa. As geofácies representam o estado dos geocomplexos ao decorrer do tempo. Assim, produzindo um estudo integrado da paisagem que associa a sua dinâmica espaço-temporal entre 1985 e 2020.

A importância de delimitar os geocomplexos é expressa por Silva (2012), que destaca que existem heterogeneidades no Bioma Pampa que tornam possíveis definir unidades distintas que vão responder de diferentes formas ao mesmo tipo de pressão aplicada. Dessa forma, o conhecimento das diferenças existentes no Bioma Pampa permite pensar ações específicas que vão de encontro as características das unidades. Além disso, Borba e Sell (2020) colocam que compreender o Bioma Pampa como homogêneo e um continuum é reducionista e fictício. E que é desta visão que advém a ideia de que a paisagem do bioma é monótona e irrelevante. O que suporta, e até incentiva, a conversão dos campos em áreas de silvicultura, soja ou mineração (BORBA; SELL, 2020).

Borba e Sell (2020) propuseram uma subdivisão da ecorregião das savanas uruguaias em seis ecoprovíncias tendo como base a geodiversidade. Os resultados alcançados evidenciam a heterogeneidade da área. Ademais, constatar que se trata de uma ecorregião heterogênea é extremamente importante para o planejamento de ações de desenvolvimento e de conservação ambiental (BORBA; SELL, 2020).

O Bioma Pampa no estado do Rio Grande do Sul possui poucas unidades de conservação, apesar de apresentar áreas como prioritárias para conservação. Adiciona-se a este cenário uma grande pressão do mercado internacional, que se cristaliza por meio dos empreendimentos voltados para a mineração, para a silvicultura e a para a sojicultura. Tal cenário reforça a necessidade da aplicação de ações de proteção ambiental (BORBA; SELL, 2020). A partir da análise das geofácies

é possível identificar geocomplexos ainda conservados que apresentam potencial para serem convertidos em áreas de proteção ambiental.

Ademais, é necessário que as medidas de proteção sejam elaboradas considerando as características das ecoprovíncias, ou das unidades da paisagem. Conciliando a preservação e a funcionalidade da paisagem associada a presença humana. Além disso, deve-se destacar o potencial que o Bioma Pampa possui para atividades voltadas para o geoturismo, que incentiva o desenvolvimento econômico nas áreas com feições geomorfológicas de destaque (BORBA; SELL, 2020).

A FEPAM realizou o ZAS (Zoneamento Ambiental para a Atividade de Silvicultura) para servir como um instrumento de gestão ambiental do Rio Grande do Sul. Neste contexto foram mapeadas as Unidades de Paisagem Natural para todo o estado. Estas possuem elevado nível de homogeneidade interna e não consideram as transformações decorrentes dos usos antrópicos. As unidades foram produzidas por intermédio do cruzamento de informações de geomorfologia, vegetação potencial original, solo e altimetria simplificadas e na escala de 1:250:000, com auxílio de imagens Landsat, e com posterior ajuste manual. Ao total foram delimitadas 45 Unidades de Paisagem Natural para todo o Estado (FEPAM, 2010). Ao observar estas Unidades de Paisagem Natural é possível notar algumas semelhanças espaciais com os geocomplexos identificados neste trabalho, mas a delimitação aqui realizada apresenta mais subdivisões e no ZAS as unidades são maiores e mais homogêneas.

Suertegaray e Guasseli (2012) identificaram as paisagens do Rio Grande do Sul com uso de sensoriamento remoto e geoprocessamento, a partir de imagens Landsat do ano 2000. A delimitação partiu-se a partir das 5 unidades da paisagem de acordo com a compartimentação do relevo, sendo elas: Planalto Basáltico, Cuesta de Haedo, Depressão Central, Escudo Sul-rio-grandense e a Planície Costeira. Estas foram subdivididas em 13 unidades de acordo com o uso e cobertura da terra identificado por meio da resposta espectral da imagem.

As unidades 14 e 15 (Paisagem Agrícola) apresentam certa correspondência espacial com os geocomplexos do Planalto da Missões e da Campanha (norte). E segundo Suertegaray e Guasseli (2012) há predomínio de trigo e soja e corresponde a parte oeste e central do planalto. A unidade 23 (paisagem agrícola) possui

correspondência com os geocomplexos na porção oeste do Planalto da Campanha, onde há predomínio da rizicultura. A unidade 31 corresponde a parte da Depressão do Rio Ibicuí e na classificação dos autores se caracteriza pela cobertura campestre e matas de galerias nos entornos dos rios. Esta era dominada pela prática pastoril, que com o passar do tempo houve a expansão do cultivo de arroz nas áreas de várzeas (SUERTEGARAY; GUASSELLI, 2012).

A unidade da Depressão do Rio Jacuí e do Ibicuí tem correspondência espacial com a unidade 32 e 33, uma paisagem agrícola. Na qual houve a transformação da paisagem pastoril pela inserção da cultura do arroz, no entorno dos corpos hídricos. As unidades 51 e 52 ocorrem nas Planícies Litorâneas e Planície Lagunar Patos-Mirim, no entorno dos corpos lagunares onde há áreas de cultivo de arroz. Em que, essa cultura é favorável pelas áreas planas com disponibilidade de água para irrigação (SUERTEGARAY; GUASSELLI, 2012). Interessante notar que a área do Planalto Sul-Riograndense foi apontada pelos autores como área de campos, e nota-se o predomínio de Conservação Natural nas geofácies na mesma. Assim como na porção mais interna do Planalto da Campanha. Portanto, de forma geral é possível realizar algumas associações entre as unidades observadas pelos autores com as características dos geocomplexos e geofácies.

Por fim, destaca-se novamente a importância da delimitação dos geocomplexos no Bioma Pampa, definindo unidades da paisagem que pode servir de base para a construção de planejamentos ambientais e territoriais. Ademais, também evidência que o Bioma Pampa está longe de ser homogêneo.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa visou gerar informações sobre o Bioma Pampa em sua totalidade para compreender espacial e temporalmente as principais transformações na paisagem de forma integrada. Buscou investigar as transformações na paisagem entre os anos de 1985 e 2020, por intermédio da abordagem geossistêmica e da análise sintética dos dados do MapBiomas. Objetivando também identificar as diferenças paisagísticas no Bioma e se os diferentes geocomplexos apresentam distintos estados de evolução em relação aos processos de mudança no uso e cobertura da terra. A elaboração dessa síntese, referente à paisagem do Bioma Pampa, servirá de auxílio para o planejamento territorial do Bioma e de estratégias voltadas para a conservação ambiental.

Assim, com os resultados produzidos é possível identificar as principais trajetórias espaço-temporais de MUCT no Bioma Pampa e entender a sua dinâmica. O uso da Análise de Componentes Principais permitiu descrever os 35 anos de dados gerados pelo MapBiomas e a identificar padrões e processos do uso e cobertura da terra. Dentre os resultados, destaca-se o avanço do cultivo de soja no Bioma Pampa, suprimindo a vegetação natural, ademais também há a expansão da agropecuária e da silvicultura. Além disso, foi possível alocar temporalmente os processos MUCT, o que permite visualizar a evolução espaço-temporal das modificações no uso e cobertura da terra e suas principais direções. De maneira geral, salienta-se a expansão da sojicultura do norte do Rio Grande do Sul em direção à área central do Bioma Pampa, tanto sobre áreas campestres quanto na substituição de outros cultivos, como o arroz. Este último configura um processo de intensificação de uso da terra, também com significativa ocorrência no Bioma. O mapeamento de tais alterações serve de base para o reconhecimento de áreas naturais sobre pressão, devido ao avanço de classes antrópicas, fornecendo informações sobre áreas prioritárias para proteção ambiental, como os remanescentes campestres no centro do Bioma Pampa.

Ademais, a delimitação das 135 unidades da paisagem (geocomplexos) produziu uma síntese referente a informações estruturais (geologia, geomorfologia, pedologia, fisionomia vegetal (sistema ecológico), etc.) que constituem o Bioma. A

abordagem geossistêmica mostrou o seu potencial para estudos da paisagem, auxiliando tanto teoricamente como metodologicamente o desenvolvimento da pesquisa no campo geográfico. Permitindo relacionar os atributos físico-ecológicos e cartografar geocomplexos que sejam distintos dos seus vizinhos, mas o mais similar possível no seu interior.

O elevado número de geocomplexos delimitados evidencia a diversidade existente, e a necessidade de reconhecer o Bioma Pampa como um conjunto rico e heterogêneo. Com base nos resultados aqui relatados, é possível destacar a variedade existente no Bioma Pampa, sendo que essa multiplicidade é reproduzível no nível de unidade de paisagem de geocomplexos. Isso reforça, portanto, que o Bioma Pampa não é uma área homogênea, composta apenas por uma vegetação herbácea contínua no espaço e no tempo, mas diverso, com riqueza em termos geológicos, pedológicos, geomorfológicos e de vegetação. Devido ao elevado nível de biodiversidade e geodiversidade no Bioma, é urgente que o mesmo seja valorizado e preservado.

A agregação dessas unidades com os processos de MUCT identificados permitiu relacionar a dinâmica de evolução com a estrutura da paisagem, a partir do nível de unidade de paisagem de geofácies. Tais dados espaciais permitem compreender a distribuição dos elementos físicos-ecológicos que constituem o Bioma e sua dinâmica espaço-temporal. Nota-se que as MUCT não são iguais dentro das unidades de paisagem, variando de acordo com os geocomplexos. A junção destas informações pode auxiliar nas formulações de diagnósticos referente à área de interesse e poderá guiar a gestão territorial e ambiental, pela integração de distintas variáveis físicas, ecológicas e socioculturais.

Entre as principais questões paisagísticas analisadas, destaca-se o avanço do agronegócio, com a monocultura da soja, no Bioma Pampa. Essa expansão provoca a fragmentação de habitats, o desmatamento, a erosão do solo e a contaminação do solo, da água e do ar pela aplicação de agrotóxicos. Mas os danos não são somente de cunho ambiental, mas também sociocultural, com a redução da prática pecuária com a conversão dos campos. Nesse sentido, é fundamental desenvolver o foco no planejamento ambiental considerando os atributos específicos das distintas unidades



de geocomplexos do Bioma Pampa. Somente áreas homogêneas podem se beneficiar dos resultados das mesmas ações frequentes de forma global no bioma, o que não é o caso do Bioma Pampa. Por isso, é necessário analisar as peculiaridades de cada unidade de paisagem para gerar estratégias que atendam às suas potencialidades e fragilidades. Portanto, o Bioma Pampa não é um conjunto homogêneo no tempo e no espaço, mas detém uma grande diversidade paisagística com significativas intervenções humanas.

Por fim, todos resultados alcançados foram cartografados e possuem capacidade de auxiliar no planejamento ambiental e gestão territorial ao nível de Bioma. Futuramente, há a possibilidade de construir um WebSIG que facilite o acesso à informação produzida.

Pesquisas futuras podem investigar as relações entre os processos MUCT e os atributos socioambientais, buscando encontrar os fatores motrizes com capacidade de incentivar ou catalisar as mudanças no uso e cobertura da terra. Além disso, a exploração das métricas da paisagem no Bioma Pampa podem aprofundar a compreensão da estrutura dessa paisagem e das suas modificações ao longo do tempo.

## **FINANCIAMENTO**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) através de bolsa de mestrado.

## REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê editorial, 2003.

AGRESTI, Alan. **An introduction to categorical data analysis**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018.

AGRESTI, Alan. **Analysis of ordinal categorical data**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

AGUIAR, Ana Paula Dutra de. **Modelagem de mudança do uso da terra na Amazônia: explorando a heterogeneidade intrarregional**. 2012. 182f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: INPE, 2012.

ALMEIDA, D.; ANGHINONI, I. **Projeto soja 6.000: manejo para alta produtividade em terras baixas**. 2. ed. Porto Alegre: JRJ, 2018. 96 p.

ALVES, E. D. A.; CONTINI, E.; GASQUES, J. G. Evolução da produção e produtividade da agricultura brasileira. p. 67-98 In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.

AMORIM, Raul Reis; OLIVEIRA, Regina Célia de. As unidades de paisagem como uma categoria de análise geográfica: o exemplo do município de São Vicente-SP. **Sociedade & natureza**, v. 20, n.2, p. 177-198, 2008. DOI: 10.1590/S1982-45132008000200011.

ANTUNES, Roberto Luiz dos Santos. **Variação espaço-temporal de NDVI em área de aproveitamento hidroelétrico-UHE Santo Antônio, Porto Velho (RO)**. 2012. 123f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2012.

BATISTELLA, Mateus. **Landscape change and land-use/land-cover dynamics in Rondônia, Brazilian Amazon**. 2001. 257f. Tese (Doutor em Filosofia) – Universidade de Indiana, Bloomington: IU, 2001.

BATISTELLA, Mateus.; ALVES, Diogenes Salas; MORAN, Emilio; SOUZA, Carlos; WALKER, Robert; WALSH, Steve. People and environment in Amazonia: The LBA experience and other perspectives. **Geophysical Monograph Series**, v. 186, p. 1–9, 2009. DOI:10.1029/2009GM000902

BATISTELLA, Mateus; VALLADARES, Gustavo Souza. Farming expansion and land degradation in Western Bahia, Brazil. **Biota Neotropica**, v. 9, p. 61-76, 2009. DOI: 10.1590/S1676-06032009000300005.

BELING, Helena Maria; CANCELIER, Janete Webler; FLORES, Carmen Rejane. Transformações no espaço rural gaúcho: um olhar para o Pampa Gaúcho.

**GeoTextos**, v. 18, n. 1, p. 89-111, 2022. DOI:  
<https://doi.org/10.9771/geo.v18i1.48716>

BENCKE, Glayson Ariel. Biodiversidade. p. 61-75. *In*: CHOMENKO, L.; BENCKE, A. **Nosso Pampa Desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016.

BENCKE, Glayson Ariel; CHOMENKO, Luiza; SANT'ANNA; Danilo Menezes. O que é o pampa?. *In*: CHOMENKO, L.; BENCKE, A. **Nosso Pampa Desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. p. 16-27.

BEROUTCHACHVILI, Nicolas; BERTRAND, Georges. Le géosystème ou "système territorial naturel". **Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, v. 49, n. 2, p. 167-180, 1978. DOI: 10.3406/rgpso.1978.3548.

BERTALANFFY, Ludwig Von. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975.

BERTRAND, Claude; BERTRAND, Georges. **Une géographie traversière: L'environnement à travers territoires et temporalités**. Paris: Éditions Arguments, 2002. 311p.

BERTRAND, George. Itinerario en torno al paisaje: una epistemología de terreno para tiempos de crisis. **Ería: Revista cuatrimestral de geografía**, n. 81, p. 5-38, 2010.

BERTRAND, Georges. Le paysage entre la nature et la société. **Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, v. 49, n. 2, p. 239-258, 1978. DOI: 10.3406/rgpso.1978.3552.

BERTRAND, Georges. Le paysage et la géographie: un nouveau rendez-vous. **Treballs de la Societat Catalana de Geografia**, v.15, n.50, p. 57-93, 2000.

BERTRAND, Georges. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, 2004.

BLASCHKE, Thomas; STROBL, Josef. Defining landscape units through integrated morphometric characteristics. **Landscape modelling: Digital techniques for landscape architecture**, p. 104-113, 2003.

BOLDRINI, Ilsi. Por que e para que conservar o Pampa?. p. 12-29. *In*: CONGRESSO SOBRE O BIOMA PAMPA. 2020. Pelotas. **Anais do I Congresso sobre o Bioma Pampa: Reunindo saberes**, 2020, Pelotas, RS: Editora UFPel, 2020.

BORBA, André W.; SELL, Jaciele C. A geodiversidade do Pampa Gaúcho e suas implicações para os problemas e as potencialidades ambientais da região. p. 30-41. *In*: CONGRESSO SOBRE O BIOMA PAMPA. 2020. Pelotas. **Anais do I Congresso sobre o Bioma Pampa: Reunindo saberes**, 2020, Pelotas, RS: Editora UFPel, 2020.

BOTELHO, Rosangela Garrido Machado; CLEVELÁRIO JÚNIOR, Judicael. Recursos naturais e questões ambientais. *In*: FIGUEIREDO, Adma H. de (Org.). **Brasil: uma visão geográfica e ambiental no início do século XXI**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. p. 138-318.

BRIASSOULIS, Helen. **Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches**. 2 ed. Morgantown: Regional Research Institute, West Virginia University, 2020.

BRO, Rasmus; SMILDE, Age K. Principal component analysis. **Analytical methods**, v. 6, n. 9, p. 2812-2831, 2014. DOI: 10.1039/C3AY41907J.

BURIOL, Galileo A.; ESTEFANEL, Valduino; CHAGAS, Álvaro C. D.; EBERHARDT, Denise. Clima e vegetação natural do estado do Rio Grande do Sul segundo o diagrama climático de Walter e Lieth. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 2, p. 91-100, 2007.

CAMARGOS, Lourdes Manresa; ROCHA, Nicole Andrade da; MOURA, Ana Clara Mourão. Use of Landscape Metrics and Multi-criteria Analysis to Identify Landscape Units Concerning of Vegetation of Quadrilátero Ferrífero-MG. *In: **International Conference on Computational Science and Its Applications***. Cham: Springer, 2020, p. 381-393.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. **Da Descrição de Áreas à Teoria dos Geossistemas: uma Abordagem Epistemológica sobre Sínteses Naturalistas**. 2013. 217f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza; CORRÊA, Antônio Carlos de Barro. Geossistemas e Geografia no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 61, n. 02, p. 3-33, 2016. DOI: 10.21579/issn.2526-0375\_2016\_n2\_p3-33.

CHOMENKO, Luiza. O Pampa em transformação. *In: CHOMENKO, Luiza; BENCKE, Glayson. **Nosso Pampa Desconhecido***. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. p. 188-203.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Evolução dos custos de produção de soja no Brasil. **Compêndio de Estudos Conab**, v. 2, 2016.

CONTINI, E.; GASQUES, J. G.; LEONARDI, R. B. D. A.; BASTOS, E. T. Evolução recente e tendências do agronegócio. **Revista de política agrícola**, v. 15, n. 1, p. 5-28, 2006.

CORDEIRO, José L.; HASENACK, Heinrich. Cobertura vegetal atual do Rio Grande do Sul. *In: PILLAR, V.D.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (Ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade***. Brasília: MMA, 2009, p. 285-299.

COUTINHO, Leopoldo. **Biomass brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul, 1:750:000**. 2013. Disponível em: <[https://geosgb.sgb.gov.br/geosgb/downloads.html?\\_gl=1\\*10icg0z\\*\\_ga\\*MTMwNDQ1NTg2OC4xNjg2NzcxODMy\\*\\_ga\\_HYCRRWGXHRJ\\*MTY5MjAxNzk5OS4xLjEuMTY5MjAxODA2My4wLjAuMA..](https://geosgb.sgb.gov.br/geosgb/downloads.html?_gl=1*10icg0z*_ga*MTMwNDQ1NTg2OC4xNjg2NzcxODMy*_ga_HYCRRWGXHRJ*MTY5MjAxNzk5OS4xLjEuMTY5MjAxODA2My4wLjAuMA..)>. Acesso em: Jun. 2023.

DENG, J. S.; WANG, K.; DENG, Y. H.; QI, G. J. PCA-based land-use change detection and analysis using multitemporal and multisensor satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 16, p. 4823-4838, 2008. DOI: 10.1080/01431160801950162.

DHARANI, M.; SREENIVASULU, G. Land use and land cover change detection by using principal component analysis and morphological operations in remote sensing applications. **International Journal of Computers and Applications**, v. 43, n. 5, p. 462-471, 2021. DOI: 10.1080/1206212X.2019.1578068.

DINIZ, Marco Túlio Mendonça; OLIVEIRA, Antônia Vilaneide Lopes Costa. Mapeamento das unidades de paisagem do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Boletim Goiano de geografia**, v. 38, n. 2, p. 342-364, 2018. DOI: 10.5216/bgg.v38i2.54613.

DUTRA, Débora Joana; ELMIRO, Marcos Antônio Timbó; GARCIA, Ricardo Alexandrino. Comparative analysis of methods applied in vegetation cover delimitation using Landsat 8 images. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 732-744, 2022. DOI: 10.14393/SN-v32-2020-56139.

ELLWANGER, Joel Henrique; ZILLOTTO, Marina; CHIES, José Artur Bogo. Protect Brazil's overlooked Pampa biome. **Science**, v. 377, n. 6607, p. 720-720, 2022.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 356.

ERHART, Henri. A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos. **Notícia geomorfológica**, v. 6, n.1, p. 51-8, 1966.

ESA - Agência Espacial Europeia. **Copernicus Modelo Digital de Elevação Global**. 2021. Distribuído por OpenTopography. Acesso: Jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>.

ESTORNELL, Javier; MARTÍ-GAVILÁ, Jesus M.; SEBASTIÁ, M. Teresa; MENGUAL, Jesus. Principal component analysis applied to remote sensing. **Modelling in Science Education and Learning**, v. 6, n. 2, p. 83-89, 2013. DOI: 10.4995/msel.2013.1905.

FARINA, Almo. **Principles and methods in landscape ecology**. Netherlands: Springer, 2006.

FEIX, R. D. [et al.]. **Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul — 2022**. Porto Alegre: SEPLAG, Departamento de Economia e Estatística, 2022. p. 78.

FEIX, R. D.; LEUSIN JÚNIOR, S. **Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul — 2019**. Porto Alegre: SEPLAG, Departamento de Economia e Estatística, 2019.

FEPAM. **Zoneamento ambiental da silvicultura: estrutura, metodologia e resultados**. Volume I. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, SEMA, FEPAM, 2010.

FERNANDO, Avelina Maria Moura Palhares. **Análise fatorial para variáveis ordinais**. 2014. 216f. Dissertação (Mestrado em Modelação, Análise de Dados e Sistemas de Apoio à Decisão) – Universidade do Porto, Porto: UP, 2014.

FERREIRA, M. O.; NEVES, C. E. Abordagem Geossistêmica de Georges Bertrand: perspectiva sobre o pensamento geográfica. **Revista Formação (Online)**, v. 30, n. 57, p. 7-30, 2023.

FERREIRA, Vanderlei Oliveira. A abordagem da paisagem no âmbito dos estudos ambientais integrados. **GeoTextos**, v. 6, n. 2, 2010. DOI: <https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v6i2.4836>.

FORMAN, Richard T.T. **Land Mosaics. The Ecology of Landscapes and Regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

FREITAS, Marcos Wellausen Dias de; SANTOS, João Roberto. Zoneamento hierárquico da paisagem nos domínios da bacia do Rio Uruguai. **Sociedade & Natureza**, v. 26, n.2, p. 287-300, 2014. DOI: 10.1590/1982-451320140207.

FREITAS, Marcos Wellausen Dias. **Estudo integrado da paisagem no Sertão Pernambucano (NE-BRASIL) com o uso de sistemas de informação geográfica e sensoriamento remoto**. 2006. 191f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: INPE, 2006.

FREITAS, Marcos Wellausen Dias; SANTOS, João Roberto dos; ALVES, Diógenes Salas. Land-use and land-cover change processes in the Upper Uruguay Basin: linking environmental and socioeconomic variables. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 2, p. 311-327, 2013. DOI: 10.1007/s10980-012-9838-9.

GODOY, Paulo R.T. (Org.). **História do pensamento geográfico e epistemologia em Geografia**. [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2010. 289 p.

Google Earth Engine (GEE) - **Eigen Analysis**. 2022. Disponível em: <[https://developers.google.com/earth-engine/guides/arrays\\_eigen\\_analysis](https://developers.google.com/earth-engine/guides/arrays_eigen_analysis)>. Acesso em: Setembro 2022.

GROTH, D.; HARTMANN, S.; KLIE, S.; SELBIG, J. Principal components analysis **Methods Mol Biol**, v. 930, p. 527-547, 2013. DOI: 10.1007/978-1-62703-059-5\_22.

GUPTA, Ravi P.; TIWARI, Reet K.; SAINI, Varinder; SRIVASTAVA, Neeraj. A simplified approach for interpreting principal component images. **Advances in Remote Sensing**, v. 2, n. 2, 2013. DOI: 10.4236/ars.2013.22015.

HAIGH, M. J. Holons, fractals and the dynamics of evolving hierarchical systems. *In*: BANEK, Y *et al.* (Org.). **Ekologicheskiya Osnovii Ypravleniya i Planirovaniya Landshafta (Ecological Principles of Landscape Management and Planning)**. Ceske Budovicc: Ustav krajinne ekologic CSAV, 1989. p. 183-217.

HAIGH, Martin. Geography and general system theory, philosophical homologies and current practice. **Geoforum**, v. 16, n. 2, p. 191-203, 1985. DOI: 10.1016/0016-7185(85)90028-4

HASENACK, H.; WEBER, E.; BOLDRINI, I.I.; TREVISAN, R. (Porto Alegre, RS). **Mapa de sistemas ecológicos das Savanas Uruguaias em escala 1:500.000 ou superior**. Porto Alegre, 2010. Escala 1:500.000. Centro de Ecologia. Relatório técnico Projeto UFRGS/TNC. 18 p.

HASENACK, H.; WEBER, E.; BOLDRINI, I.I.; TREVISAN, R. (Porto Alegre, RS). **Mapa de sistemas ecológicos das Savanas Uruguaias em escala 1:500.000 ou superior**. Porto Alegre, 2010. Escala 1:500.000. Centro de Ecologia. Relatório técnico Projeto UFRGS/TNC. 18 p.

HASENACK, H.; WEBER, E.; VÉLEZ-MARTIN, E.; HOFMANN, G.; DEWES, H. Bioma Pampa: oportunidades e desafios de pesquisa para o desenvolvimento sustentável. *In*: VILELA, Evaldo F.; CALLEGARO, Magela C.; FERNANDES, Geraldo W. (Org.). **Biomass e agricultura: oportunidades e desafios**. Rio de Janeiro: Vertente edições, 2019. p. 123-140.

HASENACK, Heinrich. **Determinantes biofísicos e geopolíticos do uso da terra no estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2017. 70f. Tese (Doutorado em Agronegócios) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2017.

HOUET, Thomas; VERBURG, Peter H.; LOVELAND, Thomas R. Monitoring and modelling landscape dynamics. **Landscape ecology**, v. 25, n. 2, p. 163-167, 2010. DOI: 10.1007/s10980-009-9417-x.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass do Brasil - 1:250000**. 2019a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15842-biomass.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: Jun. 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da terra**. Manuais Técnicos em Geociências. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. v. 7.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. Rio De Janeiro: IBGE, 2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapeamento de recursos naturais do Brasil-Escala 1: 250.000**. Documentação Técnica Geral. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Províncias Estruturais Compartimentos de Relevo Tipos de Solos Regiões Fitoecológicas e Outras Áreas**. Rio De Janeiro: IBGE, 2019b.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Províncias Estruturais Compartimentos de Relevo Tipos de Solos Regiões Fitoecológicas e Outras Áreas**. Rio De Janeiro: IBGE, 2019b.

JOLLIFFE, Ian T. **Principal component analysis**. New York: Springer, 2002.

JOLLIFFE, Ian T.; CADIMA, Jorge. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A**:



**Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 374, n. 2065, p. 20150202, 2016. DOI: 10.1098/rsta.2015.0202.

KOESTLER, Arthur. **O fantasma da máquina**. Rio de Janeiro: Editora Zahar, 1969.

KUPLICH, T. M.; CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F. O avanço da soja no bioma Pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, v. 31, p. 83-100, 2018.

KUPLICH, Tatiana M.; CAPOANE, Viviane; COSTA, Luis F. F. O avanço da soja no bioma Pampa. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, n. 31, p. 83-100, 2018.

LAMBIN, E.F.; GEIST, H. (Org) **Land-Use and Land-Cover Change. Global Change - The IGBP Series**. Berlin: Springer, 2006.

LIMA, Eugênio Antônio; CANO, Hellen; NASCIMENTO, José Antônio Sena do. Uma contribuição à geografia dos recursos hídricos. *In*: FIGUEIREDO, Adma H. de (Org.) **Brasil: uma visão geográfica e ambiental no início do século XXI**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 319-355.

LIMBERGER, Leila. Abordagem sistêmica e complexidade na geografia. **Geografia**, v. 15, n. 2, p. 95-109, 2006.

LU, Ching Yu. **Análise fatorial para dados qualitativos ordinais**. 2021. 144f. Monografia (Graduação em Estatística) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos: UFSCar, 2021.

MACIEL, Adeline M.; PICOLI, Michelle C.; VINHAS, Lubia; CAMARA, Gilberto. Identifying land use change trajectories in Brazil's Agricultural frontier. **Land**, v. 9, n. 12, 2020. DOI: 10.3390/land9120506.

MAIER, Éder Leandro Bayer. **Relações espaço-temporais entre dados paleoclimáticos do Nevado Illimani (Bolívia) e a precipitação na América do Sul**. 2014. 126f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2014.

MANLY, Bryan FJ. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2008.

MANZOLLI, Bruno Antônio. **Diagnóstico da Exploração de Ouro no Brasil**. Prêmio Mapbiomas, 2022. Disponível em: [http://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Trabalhos%20vencedores%204ed/2oLugar\\_CategoriaJovem\\_BrunoAntonioManzoli.pdf](http://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Trabalhos%20vencedores%204ed/2oLugar_CategoriaJovem_BrunoAntonioManzoli.pdf) Acesso em: 19 de julho de 2022.

MAPBIOMAS. **MapBiomas General “Handbook” Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) - Collection 5**, p. 1-48, 2020.

MAPBIOMAS. **MapBiomas General “Handbook” Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) - Collection 6**, Versão 1.0, p. 1-49, 2022a.

MAPBIOMAS. **Pampa - Appendix - Collection 6**, Versão 1.3, p. 1-30, 2022b.

MARTINEZ-IZQUIERDO, María; MOLINA-SÁNCHEZ, Iñigo; MORILLO-BALSERA, María. Efficient dimensionality reduction using principal component analysis for

image change detection. **IEEE Latin America Transactions**, v. 17, n. 04, p. 540-547, 2019. DOI: 10.1109/TLA.2019.8891877.

MAS, Jean-François; LEMOINE-RODRÍGUEZ, Richard; GONZÁLEZ-LÓPEZ, Rafael; LÓPEZ-SÁNCHEZ, Jairo; PIÑA-GARDUÑO, Andrés; HERRERA-FLORES, Evelyn. Land use/land cover change detection combining automatic processing and visual interpretation. **European Journal of Remote Sensing**, v. 50, n.1, p. 626-635, 2017. DOI: 10.1080/22797254.2017.1387505.

MAS, Jean-François; VASCONCELOS, Rodrigo; FRANCA-ROCHA, Washington. (2019). Analysis of high temporal resolution land use/land cover trajectories. **Land**, v. 8, n. 2, 2019. DOI: 10.3390/land8020030.

MCGARIGAL, Kevin; CUSHMAN, Samuel; ENE, E. **FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps**. Programa de computador produzido pelos autores na Universidade de Massachusetts, Amherst. 2012.

MCGARIGAL, Kevin; MARKS, Barbara J. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure** - Appendix C: Definition and description of FRAGSTATS metrics. Portland: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. p. 122. 1995.

MEDEIROS, Diogo Bernardino Santos de. **Mapeamento e análise integrada das unidades de paisagem (geofácies) do Seridó Potiguar**. 2019. 201f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal: UFRN, 2019.

PORTO, M.L. & MENEGAT, R. 2004. Ecologia de paisagem: um novo enfoque na gestão dos sistemas da Terra e do homem. In: MENEGAT, R. & ALMEIDA, G. 2004. **Desenvolvimento sustentável e estratégias para a gestão ambiental**. Porto Alegre, Edufrgs, pp. 361-376.

MENGUE, V. P.; DA SILVA, T. S.; FONTANA, D. C.; SCOTTÁ, F. C. Detecção de mudanças espaciais relacionadas à expansão da fronteira agrícola no Bioma Pampa. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 40–70, 2018. DOI: 10.14393/rbcv70n1-45189. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/45189>. Acesso em: 28 nov. 2022.

MENGUE, V. P.; FREITAS, M. W. D.; DA SILVA, T. S.; FONTANA, D. C.; SCOTTÁ, F. C. LAND-USE and land-cover change processes in Pampa biome and relation with environmental and socioeconomic data. **Applied Geography**, v. 125, 102342, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102342>

MINGOTI, Sueli Aparecida. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MONTEIRO, CA de F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2 ed., 2001.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Derivações Antropogênicas dos Geossistemas no Brasil e Alterações Climáticas. Perspectivas urbanas e agrárias ao

problema da elaboração de modelos de avaliação. *In: SIMPÓSIO ACADEMIA DE CIÊNCIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO*. 1978, São Paulo. **A Comunidade Vegetal como unidade biológica, turística e econômica. Anais...** São Paulo: Aciesp, 1978, p. 43-76.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. Os geossistemas como elemento de integração na síntese geográfica e fator de promoção interdisciplinar na compreensão do ambiente. **Revista de Ciências Humanas**, v. 14, n. 19, p. 67-100, 1996. DOI: 10.5007/1913-2507.1996.14.19.67-100.

MOREIRA, Juliana Gomes; CONTERATO, Marcelo Antonio; MATTE, Alessandra. Transformações produtivas e mudanças no uso da terra no Pampa brasileiro: influências do avanço da soja na bovinocultura de corte. **CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária**, v. 14, n. 33, p. 179-207, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCT143308>

MORI, Yuichi; KURODA, Masahiro; MAKINO, Naomichi. **Nonlinear principal component analysis and its applications**. Berlin: Springer, 2016.

MORIN, Edgar. **A cabeça bem-feita**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, v. 99, 2000.

MORIN, Edgar. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2005.

NARDIN, Dionara D.; ROBAINA, Luís E. D. S. Zoneamento geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul: um estudo em bacias hidrográficas em processo de arenização. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 3, p. 487-502, 2010. DOI: 10.1590/S1982-45132010000300006.

NEVES, Carlos Eduardo. A Geografia Desconhecida de Georges Bertrand: Contribuições à Discussão e Aplicação do “Geossistema Complexo” no Brasil. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 15, p. 139-166, 2017. DOI: 10.5016/estgeo.v15iESPECIAL.12785.

NEVES, Carlos Eduardo; SODRÉ, Maiara Tavares. Por um Geossistema complexo: articulações teóricas e operacionais apoiadas por núcleos e redes de pesquisa. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, n. 1, 2021. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.169705.

OLIVEIRA, Anizia; SOUZA, Rosemeri Melo. Contribuições do método geossistêmico aos estudos integrados da paisagem. **Geoambiente On-line**, n. 19, p. 01-19, 2012. DOI: 10.5216/revgeoamb.v0i19.26057.

OLIVEIRA, C. V. D. **Análise de mudanças da cobertura e uso do solo no Bioma Pampa com matrizes de transição**. 2020. 79f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2020.

OLIVEIRA, Cristina Silva; NETO, Roberto Marques. Gênese da teoria dos geossistemas: uma discussão comparativa das escolas Russo-Soviética e Francesa. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 47, n. 1, p. 06-20, 2020. DOI: 10.5380/raega.v47i1.58198.

OLIVEIRA, Isabela Fernanda Gomes; TIMO, Mariana Barbosa; TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset; SÁ, Patrícia Rodrigues Costa. Proposta de classificação das unidades de paisagem da região de Monjolos, Minas Gerais. **Acta Geográfica**, v. 11, n. 26, p. 146-159, 2017. DOI: 10.18227/2177-4307.acta.v11i26.3063.

OLIVEIRA, T. E.; DE FREITAS, D. S.; GIANEZINI, M.; RUVIARO, C. F.; ZAGO, D.; MÉRCIO, T. Z.; ...; BARCELLOS, J. O. J. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land use policy**, v. 63, p. 394-400, 2017. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.02.010.

OLSON, D.M. et al. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. **BioScience**, v. 51, n. 11, p. 933-938, 2001.

OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. D. P.; BLANCO, C. C.; ...; FORNECK, E. D. Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: PILLAR, V.D.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (Ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009, p. 26-41.

PAIVA, Pedro Henrique de Abreu; BACHA, Carlos José Caetano. The gross domestic product (GDP) shares of the agriculture sector and the hydrocarbon and mining sector in the countries of South America between 1960 and 2014. **Cepal Review**, 2019.

PASSOS, Messias Modesto. **A raia divisória–geossistema, paisagem e eco-história**. Maringá: Eduem, 1 ed., 2006.

PASSOS, Messias Modesto. O GTP bertrandiano trasladado para a realidade da Geografia brasileira. **Geosul**, v. 36, n. 80, p. 17-42, 2021. DOI: 10.5007/2177-5230.2021.e77300.

PEBESMA, E. Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. **The R Journal**, v. 10, n. 2, p. 439–446, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>.

PILLAR, Valério De Patta; VÉLEZ-MARTIN, Eduardo; OVERBECK, Gerhard E.; BOLDRINI, Ilsi Iob. Campos Sulinos - A biodiversidade na imensidão dos campos do sul do Brasil. In: PEIXOTO, A. L.; LUZ, J. R. P.; BRITO, MA de. **Conhecendo a biodiversidade**. Brasília: CNPq, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2016. p. 34-39.

Projeto MapBiomias – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, acessado em Junho/2022 através do link: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR)

REIS, Mariane Souza; ESCADA, Maria Isabel Sobral; SANT'ANNA, Sidnei João Siqueira; DUTRA, Luciano Vieira. Métodos de Classificação e Análise de Trajetórias de Uso e Cobertura da Terra na Amazônia: Implicações para Estudos de Regeneração Florestal. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, p. 1087–1113, 2020. DOI: 10.14393/rbcv72nespecial50anos-56535. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/56535>. Acesso em: 23 jul. 2022.

RIBEIRO, Soraya; MOREIRA, Leonardo F. B.; OVERBECK, Gerhard E.; MALTCHIK, Leonardo. Protected Areas of the Pampa biome presented land use incompatible with conservation purposes. **Journal of Land Use Science**, v. 16, n. 3, p. 260-272, 2021. DOI: 10.1080/1747423X.2021.1934134.

RINDFUSS, R. R.; ENTWISLE, B.; WALSH, S. J.; AN, L.; BADENOCH, N.; BROWN, D. G.; ...; VERBURG, P. H. Land use change: complexity and comparisons. **Journal of land use science**, v. 3, n. 1, p. 1-10, 2008. DOI: 10.1080/17474230802047955.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. 6. ed. Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Departamento de Planejamento Governamental, 2021. 203 p.

ROBAINA, Luís Eduardo de Souza; TRENTIN, Romario; SCCOTI, Anderson Augusto Volpato. Geomorphological description of the biome Pampa (Brazil) with support of digital elevation model and geographic information system. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, n. 1, 2021. DOI: 10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.169605.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; SILVA, Edson Vicente Da; CAVALCANTI, Agostinho de Paula Brito. **Geoecologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 5 ed. Fortaleza: Edições UFC, 2017.

ROESCH, L. F. W.; VIEIRA, F. C. B.; PEREIRA, V. A.; SCHÜNEMANN, A. L.; TEIXEIRA, I. F.; SENNA, A. J. T.; STEFENON, V. M. The Brazilian Pampa: a fragile biome. **Diversity**, v. 1, n. 2, p. 182-198, 2009. DOI: 10.3390/d1020182.

ROSA, M. R.; BRANCALION, P. H.; CROUZEILLES, R.; TAMBOSI, L. R.; PIFFER, P. R.; LENTI, F. E.; ... ; METZGER, J. P. Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs. **Science advances**, v. 7, n. 4, 2021. DOI: 10.1126/sciadv.abc454.

ROSSATO, Maíra Suertegaray. Os climas do Rio Grande do Sul: uma proposta de classificação climática. **Revista Entre-Lugar**, v. 11, n. 22, p. 57-85, 2020. DOI: 10.30612/el.v11i22.12781.

ROSSATO, Maíra Suertegaray. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 253 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2011.

SANT'ANNA, Danilo Menezes. Atividades Produtivas. *In*: CHOMENKO, L.; BENCKE, A. **Nosso Pampa Desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. p. 169-186.

SANTOS, D. M. D. **A participação do Rio Grande do Sul na evolução da produção da soja no Brasil e a relação com a renda obtida pelos produtores gaúchos (2000 a 2018)**. 2020. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso Ciências Econômicas) - da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí: UNIJUÍ, 2020.

SANTOS, Rozely Ferreira. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SARETTA, Fernanda. **Geossistemas do Morro São Pedro (Porto Alegre-RS): um estudo integrado da paisagem de 1964 a 2019**. 2020. 65f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: UFRGS, 2020.

SARETTA, Fernanda; DE FREITAS, Marcos Wellausen Dias; CARVALHO, Carina Richardt; FOPPA, Larissa; SANTOS, Marcelo Juliano Santos. Geossistemas do Morro São Pedro (Porto Alegre-RS): um estudo integrado da paisagem de 1964 a 2019. *In*: DE FREITAS, Marcos Wellausen Dias; SOUZA, José Catafesto; MORINICO, José Cirilo Pires(Orgs.). **Teko Vy'a: alegria Mbyá-Guarani, natureza e cultura na Tekoa Anhetengua**. Florianópolis: Editora Neste Sentido. 2020. p. 7-36.

SARTORIO, Letícia F.; MAIER, Éder L. B. Identificação das Mudanças Espaço-temporais nos Biomas Brasileiros por Intermédio da Análise de Componentes Principais (ACP). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 2, p. 228–247, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n2-63991.

SEABRA, Vinicius da Silva; VICENS, Raul Sánchez; CRUZ, Carla Bernadete Madureira. Conceito de Paisagem numa Perspectiva Geossistêmica. **Revista Ambientale**, v. 4, n. 1, p. 30-42, 2013.

SEMENOV, Yu M.; SNYTKO, Valerian A. The 50th anniversary of the appearance of VB Sochava's first article on the geosystem. **Geography and Natural Resources**, v. 34, n. 3, p. 197-200, 2013. DOI: 10.1134/S1875372813030013.

SILVA JUNIOR, C. H.; HEINRICH, V. H.; FREIRE, A. T.; BROGGIO, I. S.; ROSAN, T. M.; DOBLAS, J.; ... ; ARAGÃO, L. E. Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil. **Scientific data**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2020. DOI: 10.1038/s41597-020-00600-4.

SILVA, Marcelo Dutra. Os cultivos florestais do pampa, no sul do rio grande do sul: desafios, perdas e perspectivas frente ao avanço de novas fronteiras agrícolas. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 215-226, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i1.26319>

SILVA, Marcelo Dutra. Os cultivos florestais do pampa, no sul do rio grande do sul: desafios, perdas e perspectivas frente ao avanço de novas fronteiras agrícolas. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 215-226, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i1.26319>

SILVEIRA, Vicente C. P.; GONZÁLEZ, José A.; FONSECA, Eliana L. D. Land use changes after the period commodities rising price in the Rio Grande do Sul State, Brazil. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, 2017. DOI: 10.1590/0103-8478cr20160647.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira. Fragmentação da paisagem florestal em função da estrutura e dinâmica fundiária no norte do Mato Grosso. *In*: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2001. Foz do Iguaçu. Anais.... 2001, p. 21-26.

SOARES-FILHO, Britaldo Silveira; CERQUEIRA, Gustavo Coutinho; ARAÚJO, William Leite; VOLL, Eliane. Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular. **Megadiversidade**, v. 3, n. 1-2, p. 74-76, 2007.

SOUZA, C.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; ...; AZEVEDO, T. Reconstructing Three Decades of Land Use

and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 27, 2020. DOI:10.3390/rs12172735.

SOUZA, Marcelo Lopes de. Quando trunfo se revela um fardo: reexaminando os percalços de um campo disciplinar que se pretendeu uma ponte entre o conhecimento da natureza e o da sociedade. **GeoUSP: Espaço e Tempo**. v. 22, n.2, p. 274-308, 2018. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geosp.2018.147381.

SOUZA, Reginaldo José. O Sistema GTP (Geossistema-Território-Paisagem) como Novo Projeto Geográfico para a Análise da Interface Sociedade-Natureza. **Formação (Online)**, v. 2, n. 16, 2009. DOI: 10.33081/formacao.v2i16.866.

SUERTEGARAY, Dirce M.A.; SILVA, Luís A.P. Tchê Pampa: história da natureza gaúcha. In: PILLAR, V.D.; MÜLLER, S.C.; CASTILHOS, Z.M.S; JACQUES, A.V.A. (Ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009, p.42-62.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes; GUASSELLI, Laurindo Antonio. Paisagens (imagens e representações) do Rio Grande do Sul. p. 27-38. In: VERDUM, Roberto; BASSO, Luís Alberto; SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 2012.

SUERTEGARAY, Dirce Maria. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y ciencias sociales**, v. 5, n. 79-104, 2001.

SUERTEGARAY, Dirce Maria. Notas sobre a Epistemologia da Geografia. **Cadernos Geográficos**. Florianópolis, n. 12. 2005.

TEIXEIRA, Jodenir Calixto; HESPANHOL, Antonio Nivaldo. A trajetória da pecuária bovina brasileira. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 2, n. 36, p. 26-38, 2014. TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

TURNER, Monica; GARDNER, Robert. Introduction to Landscape Ecology and Scale. In: TURNER, Monica. **Landscape Ecology in Theory and Practice**. New York: Springer, 2015.

VERBURG, P. H.; CROSSMAN, N.; ELLIS, E. C.; HEINIMANN, A.; HOSTERT, P.; MERTZ, O.; ...; ZHEN, L. Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. **Anthropocene**, v. 12, p. 29-41, 2015. DOI: 10.1016/j.ancene.2015.09.004.

VERBURG, Peter H.; SOEPBOER, Welmoed.; VELDKAMP, A.; LIMPIADA, Ramil, ESPALDON, Victoria; MASTURA, Sharifah S.A. Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model. **Environmental management**, v. 30, n. 3, p. 391-405, 2002. DOI: 10.1007/s00267-002-2630-x.

VERBURG, Peter H.; VAN BERKEL, Derek B.; VAN DOORN, Anne M.; VAN EUPEN, Michiel; VAN DEN HEILIGENBERG, Harm A. Trajectories of land use change in Europe: a model-based exploration of rural futures. **Landscape ecology**, v. 25, n. 2, p. 217-232, 2010. DOI: 10.1007/s10980-009-9347-7.

VERBURG, Peter. H.; VAN ASSELEN, Sanneke; VAN DER ZANDEN, Emma H.; STEHFEST, Elke. The representation of landscapes in global scale assessments of environmental change. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 6, p. 1067-1080, 2013. DOI: 10.1007/s10980-012-9745-0.

VERDUM, Roberto. Paisagem do Pampa: monotonia que se rompe no espaço e no tempo. *In*: CHOMENKO, L.; BENCKE, A. **Nosso Pampa Desconhecido**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016. p. 44-59.

VIERO, Ana Cláudia; SILVA, Diogo Rodrigues Andrade da. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2010. 212 p.

WALTER, Heinrich. **Vegetação e zonas climáticas: tratado de ecologia global**. Editora Pedagógica e Universitária LTDA. São Paulo. 1986.

WIENS, John; MOSS, Michael; TURNER, Monica; MLADENOFF, David. (Eds.). **Foundation papers in landscape ecology**. Nova York: Columbia University Press, 2007.

XAVIER, Joaquim Pedro de Santana; NERY, Tullius; LISTO, Fabrizio. (2019). Unidades de Paisagem do Estado de Pernambuco: 1ª aproximação. *In*: PINHEIRO, L.S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019. p. 1-12.

ZANOTTA, Daniel; FERREIRA, Matheus; ZORTEA, Maciel. **Processamento de Imagens de Satélite**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

ZARTH, Paulo Afonso; GERHARDT, Marcos. Uma História Ambiental do Rio Grande do Sul. p. 249-295 *In*: TEIXEIRA FILHO, Althen (Org.). **Lavouras de destruição: a imposição do consenso**. Pelotas: Livraria mundial, 2009.

ZIOTI, F.; FERREIRA, K. R.; QUEIROZ, G. R.; NEVES, A. K.; CARLOS, F. M.; SOUZA, F. C.; ...; SIMOES, R. E. A platform for land use and land cover data integration and trajectory analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 106, 2022. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102655.

ZONNEVELD, I. S. 1972. **Textbook of Photo-Interpretation**, vol.7 (Chapter 7: Use of aerial photointerpretation in geography and geomorphology). Enschede : ITC



## APÊNDICE A

Código na linguagem Javascript utilizado no *Google Earth Engine*.

1. Reordenamento e agrupamento das classes de uso e cobertura da terra.

```
var table = ee.FeatureCollection('users/leticiasartorio98/pampa');
Map.addLayer(table, {color: 'pink'}, 'pampa');

//// Importar mapas de uso e cobertura do solo da coleção 6 - MapBiomias
var mapbiomas = ee.Image('projects/mapbiomas-
workspace/public/collection6/mapbiomas_collection60_integration_v1')
  .clipToCollection(table);

print(mapbiomas, 'mapbiomas');

var bandas = mapbiomas.bandNames();//nome das bandas

// Remap
var remape = function(collection){
// nome das bandas
var bands = collection.bandNames() ;

// lista com o número de bandas iniciando do 1
var count = ee.List.sequence(1, bands.size());

// A lista de valores para substituir.
var fromList = [3, 12, 29, 11, 33, 23, 25, 9, 15, 41, 21, 40, 39, 30, 24];

// Uma lista dos novos valores.
var toList = [1, 20, 10, 10, 15, 5, 5, 70, 340, 340, 340, 380, 430, 500, 500];

// remap por banda
var newCollection = count.map(function(b){

var img =
ee.Image(collection.select(ee.String(bands.get(ee.Number(b).subtract(1))))));

var imgRemap = img.remap({
from: fromList,
to: toList,
```

```

//defaultValue: 0,
// bandName: image
});

var name = bands.getString((ee.Number(b).subtract(1)));

imgRemap = imgRemap.rename(name);

return imgRemap;

});
return newCollection//.set('system: id',1)
};

var collectionNewRemap = ee.ImageCollection(remape(mapbiomas));
print(collectionNewRemap,'Remapeada')

var RemapMapBiomass = collectionNewRemap.toBands().rename(bandas)
print(RemapMapBiomass,' RemapMapBiomass')

Map.addLayer(RemapMapBiomass,{min:0,max:100},'y');

Export.image.toAsset({
  image: RemapMapBiomass,
  description: 'remap',
  assetId: 'MapBiomass6_remap',
  pyramidingPolicy: {
    '.default': 'mode'
  },
  region: table,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13
});

```

## 2. Análise de Componentes Principais com base em GEE (2022).

```
var mapbiomas = ee.Image("users/leticiasartorio98/MapBiomass6_remap_3001");
var table = ee.FeatureCollection('users/leticiasartorio98/pampa');

var image = mapbiomas.clipToCollection(table);

Map.addLayer(image,{min:0,max:100,bands:['classification_1985'],'Uso_1985');

var bands = image.bandNames();

var arrayImage = image.select(bands).toArray();

var covar = arrayImage.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.covariance(),
  bestEffort: true,
  geometry : table,
  scale:30,
  maxPixels: 1e13,
  tileScale: 16
});

var covarArray = ee.Array(covar.get('array'));

// Auto valores e vetores
var eigens = covarArray.eigen();
print(eigens);

var eigenValues = eigens.slice(1, 0, 1);
print(eigenValues,{'values'});

var eigenVectors = eigens.slice(1, 1);
print(eigenVectors);

var eigenVectorsListN = eigenVectors.toList().flatten()

var featureCollection2 = ee.FeatureCollection(eigenVectorsListN
  .map(function(element){
    return ee.Feature(null,{'prop':element})}))

var eigenValuesList = eigenValues.toList().flatten()
var total = eigenValuesList.reduce(ee.Reducer.sum())
```

```

var percentageVariance = eigenValuesList.map(function(item) {
  return (ee.Number(item).divide(total)).multiply(100).format('%0.2f')
})

var featureCollection1 = ee.FeatureCollection(percentageVariance
  .map(function(element){
    return ee.Feature(null,{prop:element}}))

Export.table.toDrive({
  collection: featureCollection1,
  description: ' eigenValues',
  fileFormat: 'CSV'});

Export.table.toDrive({
  collection: featureCollection2,
  description: 'eigenVectors',
  fileFormat: 'CSV'});

var principalComponents = ee.Image(eigenVectors)
.matrixMultiply(arrayImage.toArray(1));

var getNewBandNames = function(prefix) {
  var seq = ee.List.sequence(1, bands.length());
  return seq.map(function(b) {
    return ee.String(prefix).cat(ee.Number(b).int());
  });
};

var pclmage = principalComponents
  .arrayProject([0])
  .arrayFlatten([getNewBandNames('pc')])
  .clip(table);

/// Seleção de PC
var ipc1= pclmage.select('pc1');
var ipc2= pclmage.select('pc2');
var ipc3= pclmage.select('pc3');
var ipc4= pclmage.select('pc4');
var ipc5= pclmage.select('pc5');

```

```
var roi_bounding = table.map(function(feature){
  return feature.bounds()
});
```

```
var roi_simple = roi_bounding.geometry();
```

```
Export.image.toAsset({
  image: pclImage,
  description: 'pclImage',
  assetId: 'pclImagesPampa',
  pyramidingPolicy: {
    '.default': 'mean'
  },
  region: table,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13
});
```

```
///  
// Exportar os dados individuais  
Export.image.toDrive({  
  image: ipc1,  
  description: 'ipc1Pampa',  
  fileNamePrefix: ipc1,  
  region: roi_simple,  
  scale: 30,  
  fileFormat: 'GeoTIFF',  
  maxPixels: 1e13,  
  skipEmptyTiles: true  
});
```

## APÊNDICE B

Tabulação cruzada entre os anos de maior e menor correlação para a 2º, 3º, 4º e 5º CP. As principais transições estão destacadas na mesma tonalidade que na Tabela 3. Os valores correspondem as classes agrupadas (Quadro 2).

Tabela B1 – Tabulação cruzada (em *pixels*) para a 2º CP entre os anos de 1990 e 2017.

2017 1990	1	5	10	15	20	70	340	380	430	500	Total
1	22.640.377	21.990	165.611	73.143	2.598.605	935.099	805.659	35.783	331.430	66.322	27.674.019
5	120.688	2.709.621	53.894	43.448	475.374	200.605	165.500	5.471	75.915	54.976	3.905.492
10	158.030	10.923	3.099.370	51.562	418.470	80.787	119.252	20.294	2.764	12.642	3.974.094
15	97.031	32.436	124.329	23.030.132	121.125	2.316	184.749	43.623	7.002	3.112	23.645.855
20	5.833.399	309.777	409.398	497.790	72.263.589	3.193.295	11.679.351	1.317.669	14.694.095	212.400	110.410.763
70	970	120	90	14	565	1.339.572	222	35	158	1.313	1.343.059
340	1.876.862	191.182	436.562	324.624	12.952.897	830.160	23.262.106	9.375.510	13.089.946	92.518	62.432.367
380	9.573	963	11.379	47.484	246.042	8.248	1.149.425	1.124.775	154.258	923	2.753.070
430	31.845	9.377	571	10.026	286.174	23.947	616.483	56.076	12.211.719	9.313	13.255.531
500	2.404	6.160	490	636	1.525	338	256	2	26	1.220.286	1.232.123
<b>Total</b>	30.771.179	3.292.549	4.301.694	24.078.859	89.364.366	6.614.367	37.983.003	11.979.238	40.567.313	1.673.805	250.626.373

Fonte: A autora (2023).

Tabela B2 – Tabulação cruzada (em *pixels*) para a 3º CP entre os anos de 1987 e 2003.

<b>2003 1987</b>	1	5	10	15	20	70	340	380	430	500	<b>Total</b>
1	23.124.712	15.893	154.968	47.966	2.792.482	541.110	937.751	8.337	121.995	38.374	27.783.588
5	27.951	2.935.702	43.493	46.926	454.655	41.868	367.850	345	19.165	76.797	4.014.752
10	142.188	5.868	3.344.391	89.597	391.680	69.298	156.684	15.876	119	6.060	4.221.761
15	88.558	25.137	120.215	23.164.360	104.190	673	178.345	11.619	1.148	2.313	23.696.558
20	3.456.042	229.376	375.097	327.926	91.133.896	531.927	12.146.411	458.782	4.637.431	177.454	113.474.342
70	600	24	108	10	290	907.946	508	1	8	587	910.082
340	1.150.473	140.072	286.830	237.055	14.009.842	218.893	32.666.988	1.931.956	8.235.613	50.956	58.928.678
380	24.265	2.411	20.103	56.950	551.231	5.757	4.256.679	627.635	150.717	2.610	5.698.358
430	18.014	4.821	237	4.123	556.451	5.190	1.022.060	11.431	9.119.928	3.588	10.745.843
500	911	3.299	290	472	1.218	2	969	1	19	1.145.168	1.152.349
<b>Total</b>	28.033.714	3.362.603	4.345.732	23.975.385	109.995.935	2.322.664	51.734.245	3.065.983	22.286.143	1.503.907	250.626.311

Fonte: A autora (2023).

Tabela B3 – Tabulação cruzada (em *pixels*) para a 3º CP entre os anos de 2003 e 2019.

<b>2019</b> <b>2003</b>	1	5	10	15	20	70	340	380	430	500	<b>Total</b>
1	24.066.916	11.948	134.672	63.208	1.852.120	830.812	776.327	14.999	254.827	27.910	28.033.739
5	71.999	2.620.623	19.395	20.203	288.872	94.764	146.463	3.226	81.613	15.462	3.362.620
10	216.009	16.395	3.343.082	46.076	442.381	42.550	180.808	44.947	5.630	7.856	4.345.734
15	40.667	40.259	120.129	23.398.330	98.239	3.340	158.177	106.756	7.673	1.699	23.975.269
20	4.961.216	255.917	401.116	255.351	74.964.377	3.097.764	12.420.768	627.288	12.906.641	105.475	109.995.913
70	3.361	630	305	41	1.531	2.313.936	688	42	460	1.672	2.322.666
340	1.024.209	184.174	177.607	194.755	7.643.211	536.747	24.255.104	7.816.825	9.876.887	24.782	51.734.301
380	7.458	1.463	14.377	12.983	223.817	3.868	1.398.254	1.103.926	298.844	985	3.065.975
430	49.227	12.326	369	14.513	411.846	72.383	1.492.653	90.843	20.133.580	8.403	22.286.143
500	2.651	8.179	1.800	646	2.219	322	436	2	65	1.487.647	1.503.967
<b>Total</b>	30.443.713	3.151.914	4.212.852	24.006.106	85.928.613	6.996.486	40.829.678	9.808.854	43.566.220	1.681.891	250.626.327

Fonte: A autora (2023).



Tabela B4 – Tabulação cruzada (em *pixels*) para a 4º CP entre os anos de 1985 e 1997.

<b>1997</b> <b>1985</b>	1	5	10	15	20	70	340	380	430	500	<b>Total</b>
1	23.252.384	12.406	119.594	44.570	1.886.846	634.651	1.002.863	50.605	41.048	23.091	27.068.058
5	20.933	3.140.659	25.356	21.994	323.139	22.094	370.510	2.173	916	112.662	4.040.436
10	116.707	5.309	3.218.645	63.579	285.278	64.056	322.710	20.485	7	3.278	4.100.054
15	73.867	34.089	68.189	23.102.063	75.166	598	162.883	58.351	220	1.472	23.576.898
20	3.825.486	190.948	331.929	230.508	95.165.485	458.340	13.440.253	768.894	1.263.163	155.132	115.830.138
70	442	3	35	5	72	603.493	291	0	5	89	604.435
340	1.116.236	101.708	220.510	198.610	12.030.295	201.581	34.006.129	3.387.665	4.137.082	46.951	55.446.767
380	39.702	3.978	14.328	91.990	642.343	6.535	5.686.879	1.489.852	76.633	4.528	8.056.768
430	13.979	1.916	143	3.323	618.657	4.417	1.970.634	25.380	8.227.704	2.238	10.868.391
500	498	2.274	139	320	376	0	463	13	7	1.030.457	1.034.547
<b>Total</b>	28.460.234	3.493.290	3.998.868	23.756.962	111.027.657	1.995.765	56.963.615	5.803.418	13.746.785	1.379.898	250.626.492

Fonte: A autora (2023).

Tabela B5 – Tabulação cruzada (em *pixels*) para a 4º CP entre os anos de 1997 e 2008.

<b>2008</b> <b>1997</b>	1	5	10	15	20	70	340	380	430	500	<b>Total</b>
1	24.352.732	19.369	200.728	44.358	2.585.953	359.119	710.489	12.098	145.612	29.782	28.460.240
5	22.099	2.946.567	24.423	26.001	279.887	17.171	129.616	1.344	21.600	24.618	3.493.326
10	132.218	12.035	3.329.956	33.672	356.263	20.786	99.644	7.464	915	5.926	3.998.879
15	63.146	36.255	130.682	23.201.465	116.387	668	155.636	47.565	2.921	1.956	23.756.681
20	3.844.034	312.600	444.335	244.420	88.715.268	1.066.811	9.190.814	424.197	6.691.658	93.519	111.027.656
70	2.755	511	1.009	25	1.357	1.988.055	754	13	140	1.148	1.995.767
340	1.133.043	270.634	470.789	183.761	12.532.041	217.215	28.176.203	4.606.793	9.338.385	34.639	56.963.503
380	47.467	4.441	21.243	63.890	501.253	1.171	3.729.485	1.140.707	293.059	706	5.803.422
430	10.737	3.745	226	2.101	121.345	1.994	654.338	16.145	12.933.934	2.220	13.746.785
500	1.153	3.728	1.771	451	2.360	84	320	5	58	1.370.033	1.379.963
<b>Total</b>	29.609.384	3.609.885	4.625.162	23.800.144	105.212.114	3.673.074	42.847.299	6.256.331	29.428.282	1.564.547	250.626.222

Fonte: A autora (2023).

Tabela B6 – Tabulação cruzada (em *pixels*) para a 4º CP entre os anos de 2008 e 2019.

<b>2019</b> <b>2008</b>	1	5	10	15	20	70	340	380	430	500	<b>Total</b>
1	25.184.579	9.663	122.924	63.797	1.909.114	1.242.228	833.654	10.651	216.636	16.144	29.609.390
5	69.607	2.791.813	20.960	40.070	366.081	78.041	162.069	3.570	65.458	12.223	3.609.892
10	253.539	14.427	3.513.025	55.085	509.401	31.483	191.471	44.588	5.255	6.902	4.625.176
15	39.328	20.138	55.300	23.405.569	89.579	1.888	119.732	60.048	7.452	1.107	23.800.141
20	4.104.204	182.646	367.282	213.782	76.184.461	1.582.111	11.849.115	675.651	9.977.230	75.609	105.212.091
70	6.032	547	448	33	2.436	3.660.504	1.071	36	609	1.358	3.673.074
340	705.784	108.212	120.458	172.081	5.976.621	330.329	22.202.047	6.261.728	6.957.399	12.690	42.847.349
380	5.627	1.886	9.930	35.669	241.554	6.115	3.004.329	2.513.901	436.488	863	6.256.362
430	72.727	13.904	918	19.433	647.167	63.533	2.465.705	238.675	25.899.625	6.595	29.428.282
500	2.292	8.714	1.618	545	2.187	254	477	6	68	1.548.417	1.564.578
<b>Total</b>	30.443.719	3.151.950	4.212.863	24.006.064	85.928.601	6.996.486	40.829.670	9.808.854	43.566.220	1.681.908	250.626.335

Fonte: A autora (2023).

Tabela B7 – Tabulação cruzada (em *pixels*) para a 5º CP entre os anos de 1985 e 1993.

<b>1993</b> <b>1985</b>	1	5	10	15	20	70	340	380	430	500	<b>Total</b>
1	23.163.356	9.562	113.339	41.504	1.917.923	554.921	966.954	265.542	22.072	12.905	27.068.078
5	10.466	3.425.695	16.550	18.315	280.547	5.376	179.739	3.419	399	99.964	4.040.470
10	126.596	5.751	3.373.272	46.905	248.781	48.036	233.801	14.965	16	1.934	4.100.057
15	55.207	31.057	65.985	23.215.431	57.122	532	120.553	29.845	147	995	23.576.874
20	3.141.457	172.268	312.960	150.863	97.675.597	343.649	12.646.147	520.147	758.477	108.590	115.830.155
70	585	13	109	3	46	603.377	225	45	5	27	604.435
340	924.007	117.863	236.625	169.501	10.297.839	157.340	36.583.187	3.728.480	3.195.527	36.597	55.446.966
380	34.297	3.284	15.803	91.651	531.929	5.534	5.823.648	1.479.292	67.850	3.489	8.056.777
430	8.870	1.254	64	1.784	390.239	3.327	2.398.308	18.327	8.044.879	1.339	10.868.391
500	305	2.247	146	166	532	5	274	92	9	1.030.761	1.034.537
<b>Total</b>	27.465.146	3.768.994	4.134.853	23.736.123	111.400.555	1.722.097	58.952.836	6.060.154	12.089.381	1.296.601	250.626.740

Fonte: A autora (2023).

Tabela B8 – Tabulação cruzada (em *pixels*) para a 5º CP entre os anos de 1993 e 2001.

<b>2001 1993</b>	1	5	10	15	20	70	340	380	430	500	<b>Total</b>
1	24.004.257	13.170	140.520	33.510	2.185.946	266.175	737.267	8.200	53.628	22.460	27.465.133
5	18.576	3.035.597	25.961	44.873	302.250	21.577	282.776	323	10.623	26.396	3.768.952
10	122.008	6.524	3.380.536	45.386	364.003	34.469	159.664	17.441	244	4.588	4.134.863
15	74.745	19.545	100.850	23.247.908	89.709	229	164.250	36.512	863	1.436	23.736.047
20	2.805.666	229.607	335.852	233.676	94.384.822	128.968	9.872.984	575.833	2.736.124	97.011	111.400.543
70	2.559	157	557	19	727	1.716.276	1.286	4	41	473	1.722.099
340	938.473	163.100	312.513	190.210	12.659.710	75.999	34.879.473	3.000.511	6.703.627	29.063	58.952.679
380	289.860	2.811	15.146	34.704	343.313	11.596	4.573.275	701.558	86.212	1.684	6.060.159
430	10.832	1.308	65	1.444	148.630	850	1.212.174	13.565	10.699.156	1.357	12.089.381
500	1.414	2.555	614	513	1.557	3	853	1	28	1.289.108	1.296.646
<b>Total</b>	28.268.390	3.474.374	4.312.614	23.832.243	110.480.667	2.256.142	51.884.002	4.353.948	20.290.546	1.473.576	250.626.502

Fonte: A autora (2023).

Tabela B9 – Tabulação cruzada (em *pixels*) para a 5º CP entre os anos de 2001 e 2011.

<b>2011</b> <b>2001</b>	1	5	10	15	20	70	340	380	430	500	<b>Total</b>
1	24.476.363	11.948	186.862	44.921	2.259.050	499.370	662.926	7.913	98.313	20.733	28.268.399
5	57.066	2.733.063	27.417	15.750	347.146	39.718	216.391	737	19.031	18.087	3.474.406
10	139.960	10.125	3.476.934	47.153	442.523	23.949	160.041	6.599	873	4.448	4.312.605
15	40.559	50.865	79.649	23.337.437	140.278	1.474	156.558	22.465	1.550	1.208	23.832.043
20	4.287.684	226.267	504.623	167.755	86.746.249	2.186.463	10.384.496	336.426	5.569.467	71.245	110.480.675
70	3.064	587	1.011	44	1.802	2.246.888	1.297	17	224	1.208	2.256.142
340	905.434	162.264	227.658	142.884	9.396.204	318.062	29.976.869	4.106.326	6.627.654	20.560	51.883.915
380	4.978	876	15.715	43.927	334.531	3.698	2.929.723	861.545	158.411	548	4.353.952
430	36.121	6.550	419	4.320	510.106	42.478	1.903.871	59.001	17.724.471	3.209	20.290.546
500	1.582	4.017	1.836	635	2.662	137	729	3	51	1.461.957	1.473.609
<b>Total</b>	29.952.811	3.206.562	4.522.124	23.804.826	100.180.551	5.362.237	46.392.901	5.401.032	30.200.045	1.603.203	250.626.292

Fonte: A autora (2023).

Tabela B10 – Tabulação cruzada (em *pixels*) para a 5º CP entre os anos de 2011 e 2020.

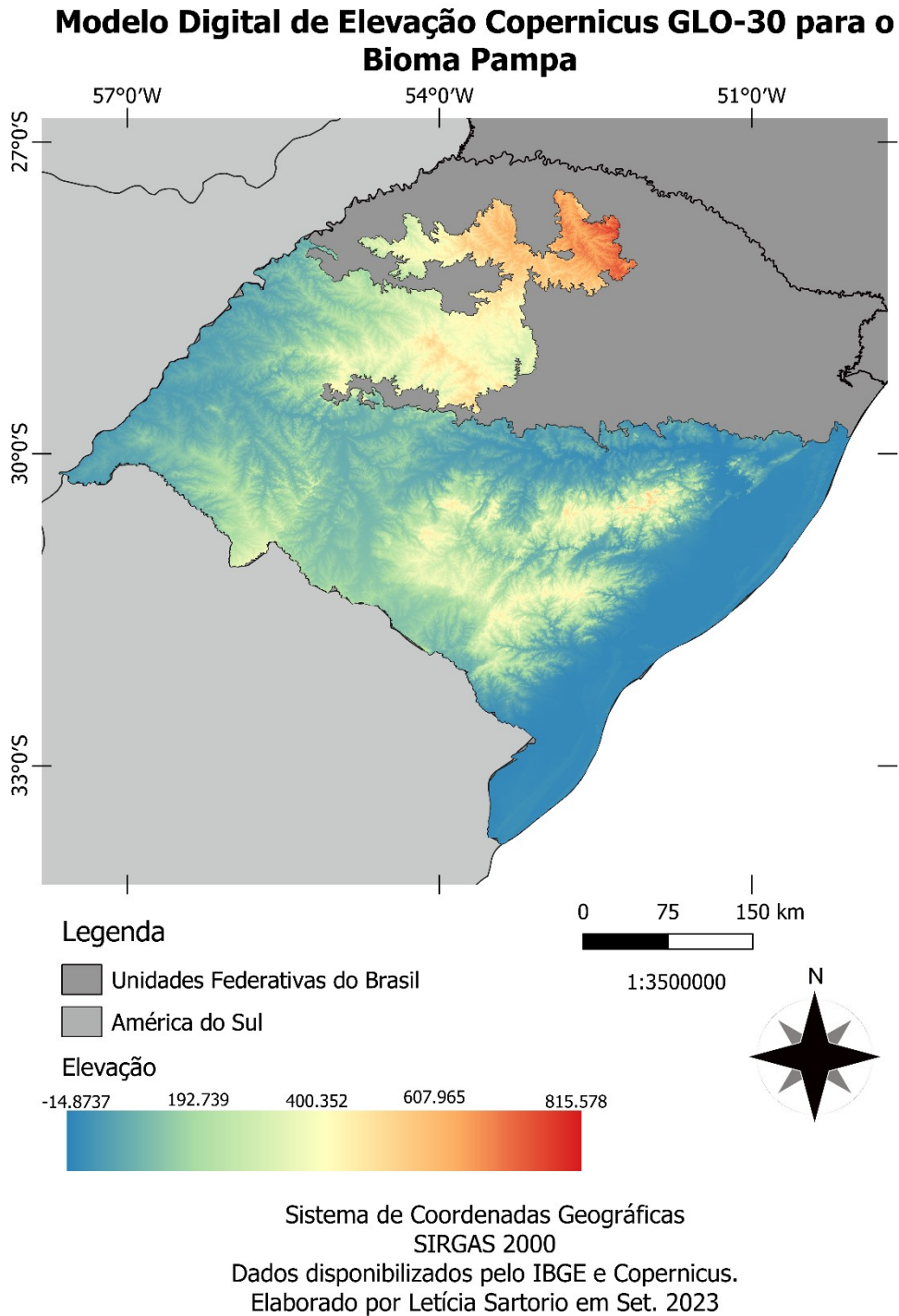
<b>2020</b> <b>2011</b>	1	5	10	15	20	70	340	380	430	500	<b>Total</b>
1	25.220.736	7.043	129.367	72.061	2.211.815	977.269	1.111.831	18.963	190.581	13.148	29.952.814
5	33.549	2.669.550	9.794	34.192	237.533	35.201	126.948	7.942	41.939	9.890	3.206.538
10	226.433	12.136	3.449.352	51.731	401.240	27.714	272.799	70.719	4.850	5.153	4.522.127
15	59.776	15.210	123.640	23.097.443	93.053	996	283.265	121.997	6.801	2.262	23.804.443
20	3.407.919	169.925	344.030	206.637	72.923.733	478.484	12.954.952	1.033.315	8.601.251	60.296	100.180.542
70	9.298	511	679	60	5.154	5.341.275	2.852	85	849	1.476	5.362.239
340	648.996	131.216	114.925	130.017	5.358.696	141.567	20.350.947	11.141.726	8.360.943	13.964	46.392.997
380	2.141	909	3.721	18.061	173.825	1.558	1.691.557	3.154.365	354.763	132	5.401.032
430	36.791	6.598	339	10.014	393.783	9.795	1.918.667	477.660	27.341.640	4.758	30.200.045
500	1.836	7.148	1.412	198	2.524	330	637	9	102	1.589.107	1.603.303
<b>Total</b>	29.647.475	3.020.246	4.177.259	23.620.414	81.801.356	7.014.189	38.714.455	16.026.781	44.903.719	1.700.186	250.626.080

Fonte: A autora (2023).

## APÊNDICE C

Mapas auxiliares na delimitação dos Geocomplexos.

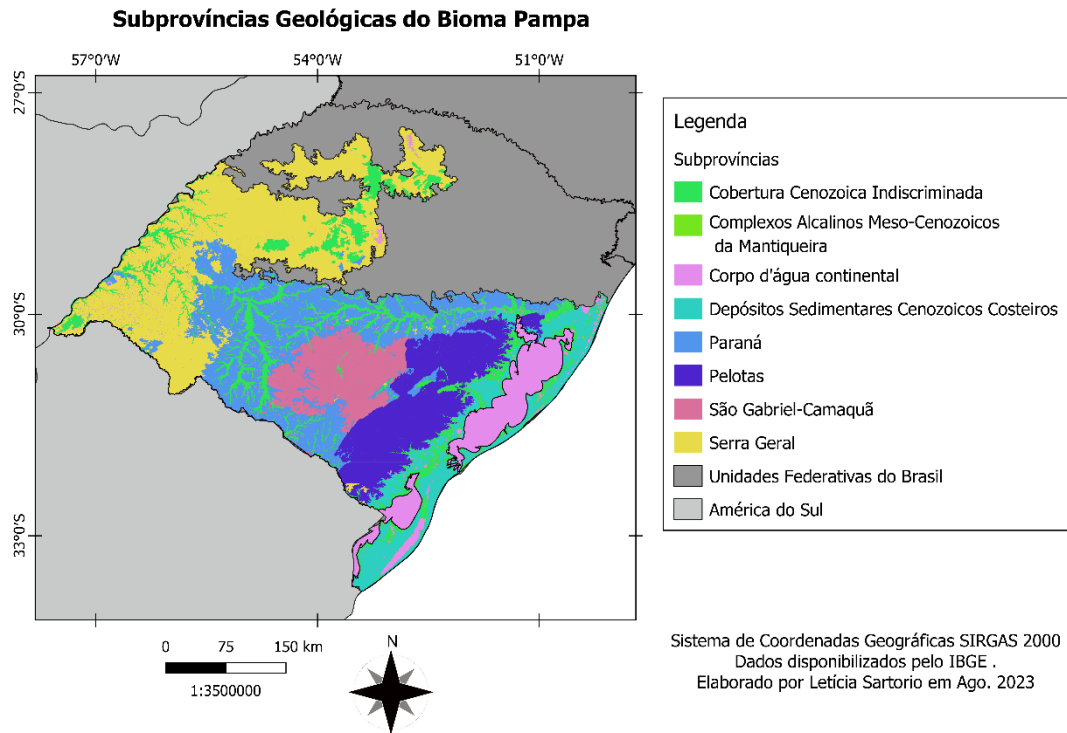
Figura C1 – Modelo Digital de Elevação para o Bioma Pampa.



Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE e Copernicus.

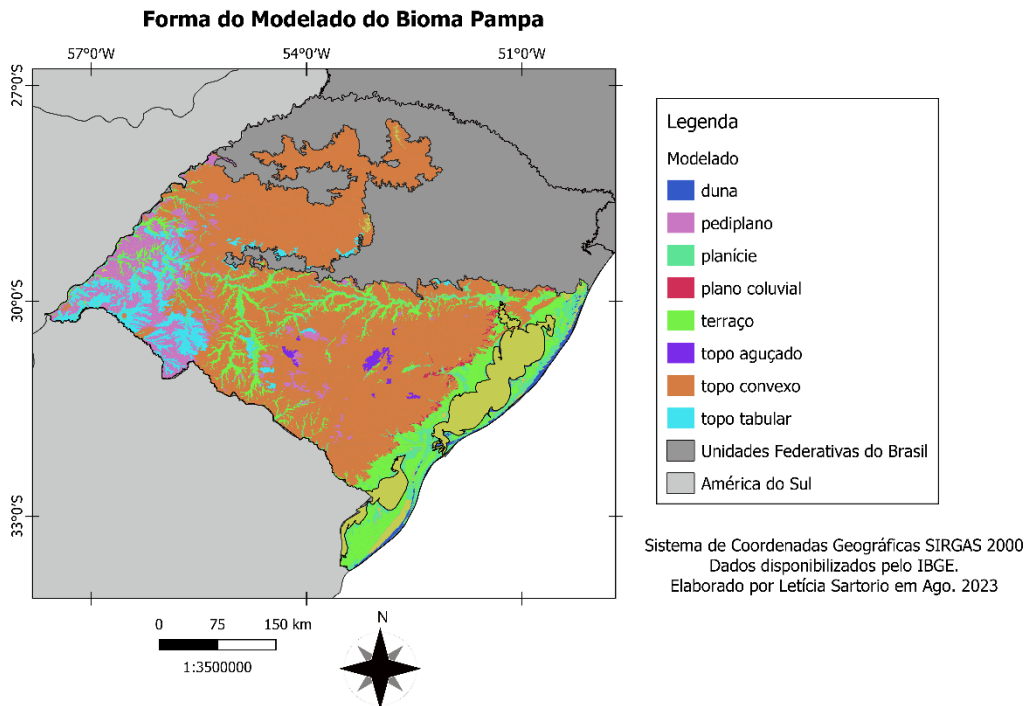


Figura C2 – Subprovíncias geológicas do Bioma Pampa.



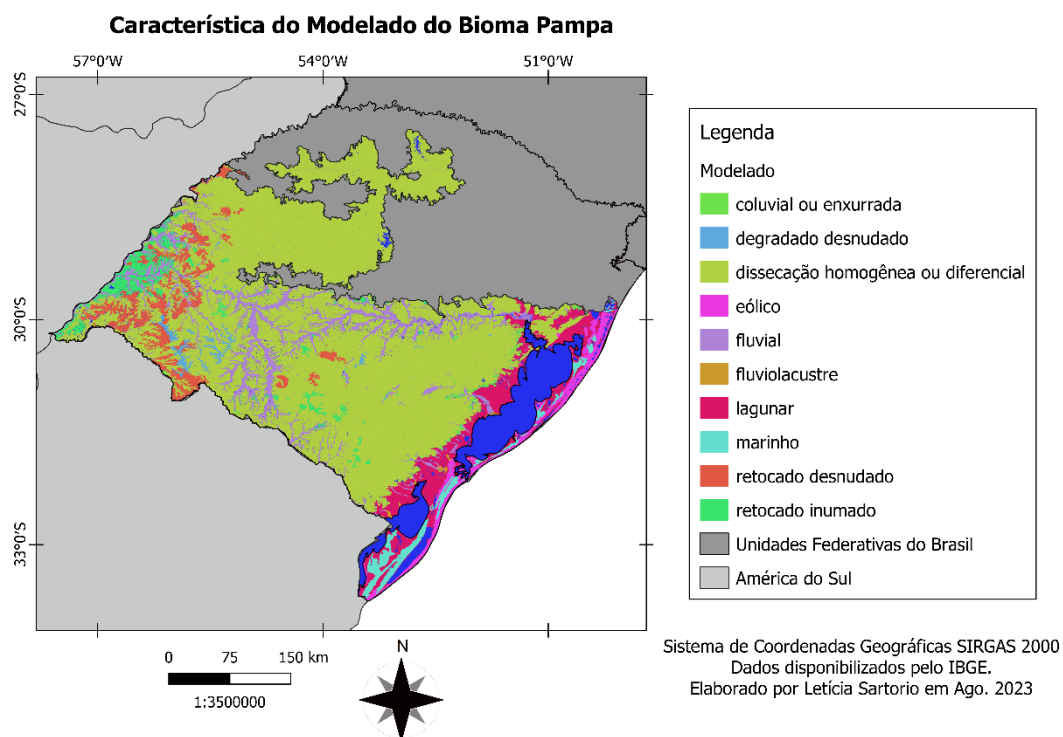
Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

Figura C3 – Forma do Modelado do Bioma Pampa.



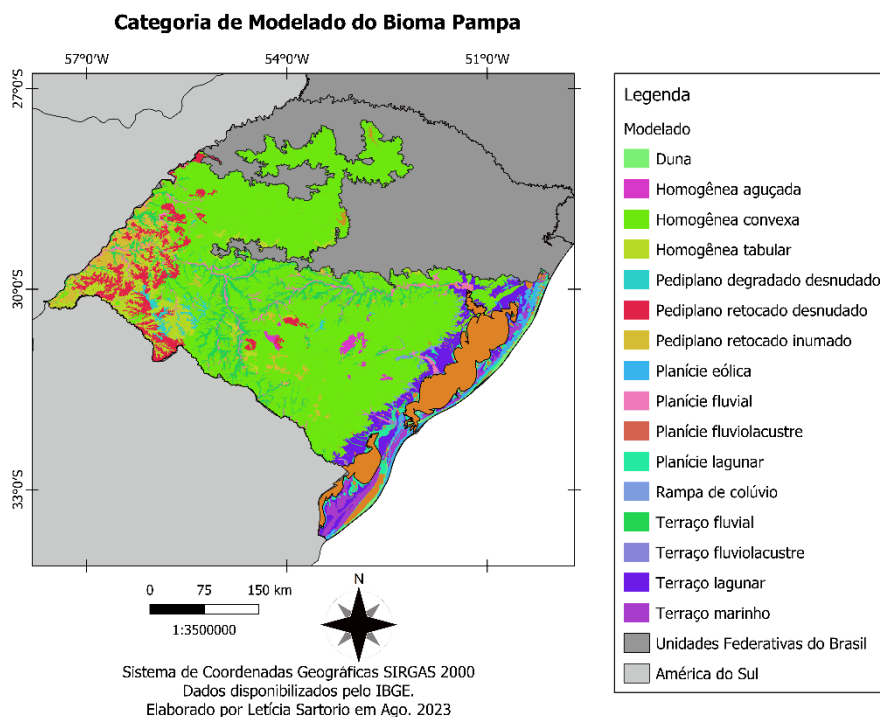
Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

Figura C4 – Característica do Modelado do Bioma Pampa.



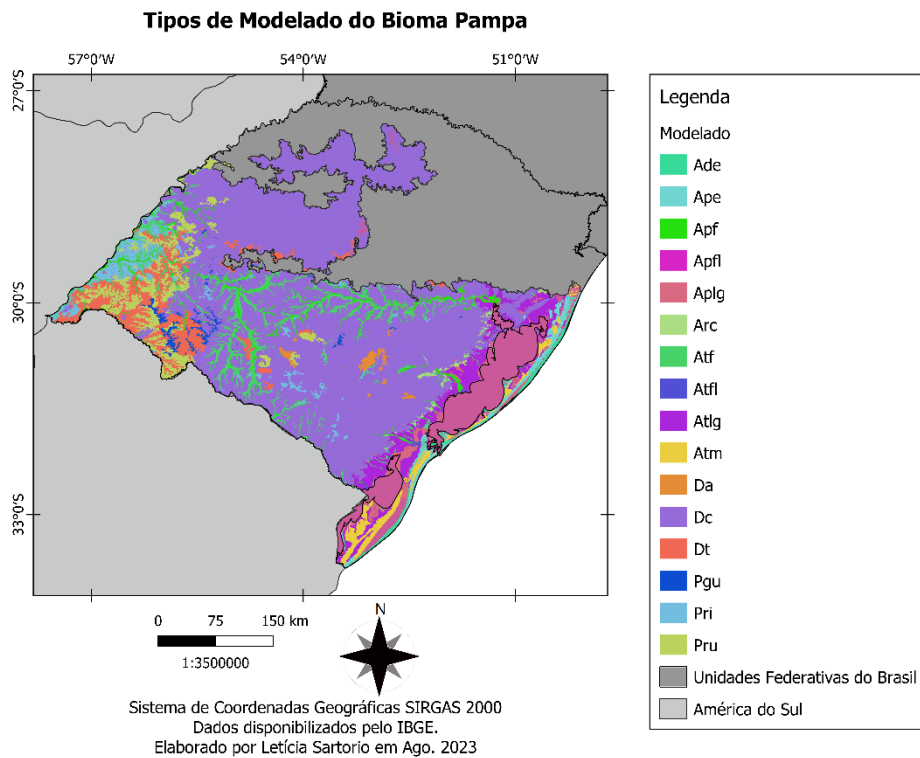
Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

Figura C5 – Categorias de Modelado do Bioma Pampa.



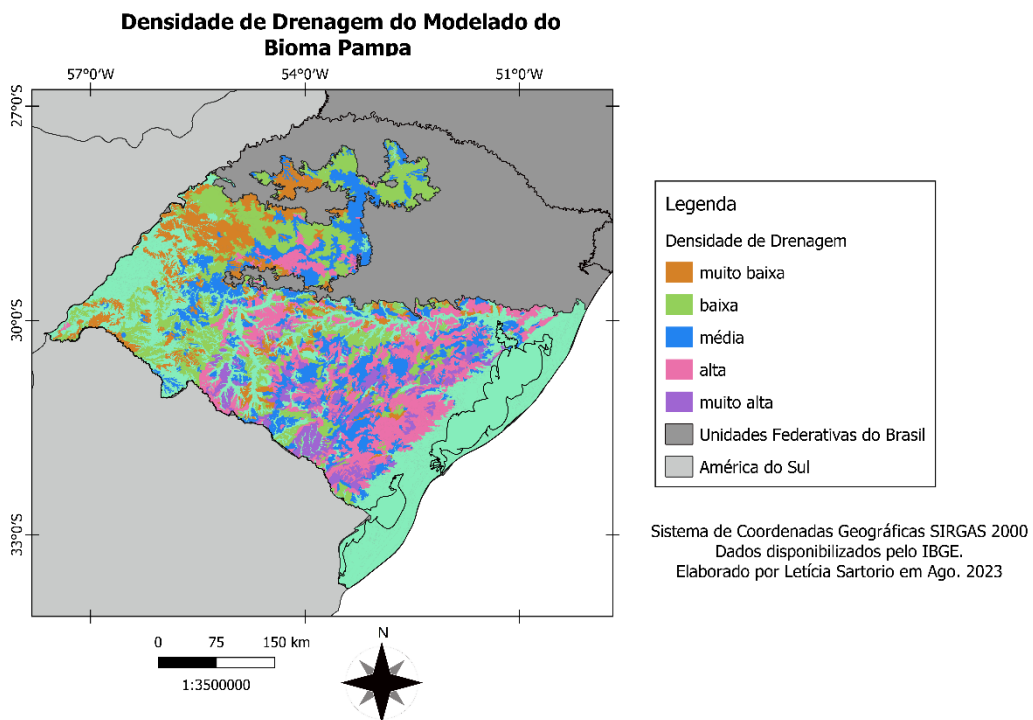
Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

Figura C6 – Tipos de Modelado (simbologia) do Bioma Pampa.



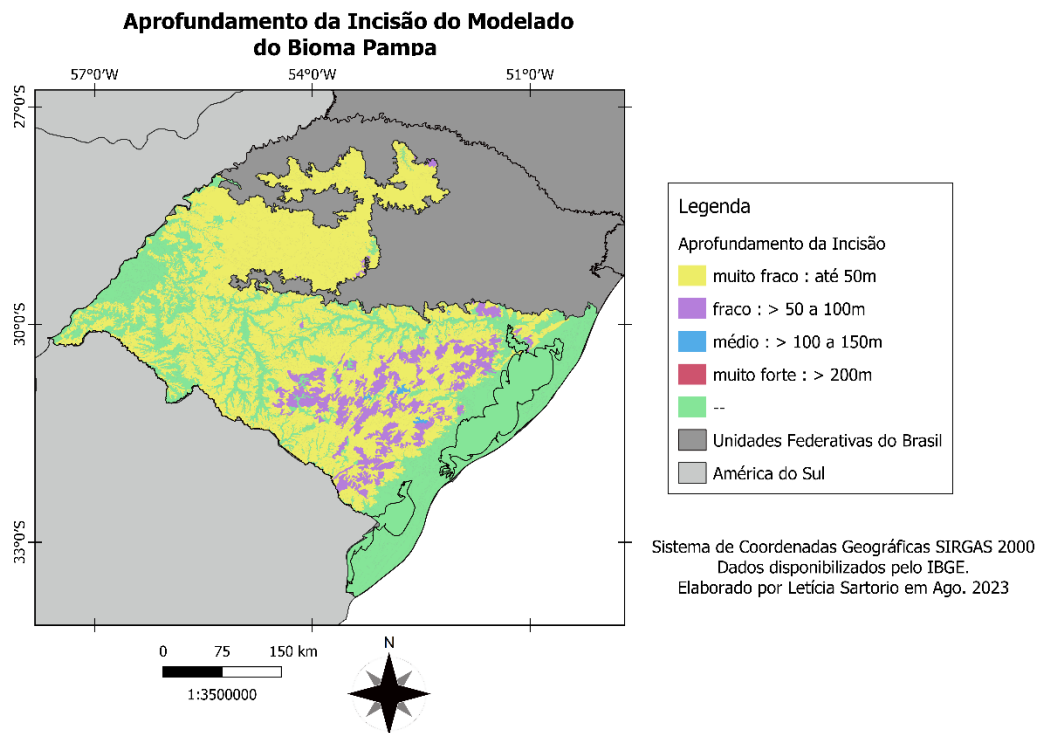
Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

Figura C7 – Densidade de Drenagem do Modelado do Bioma Pampa.



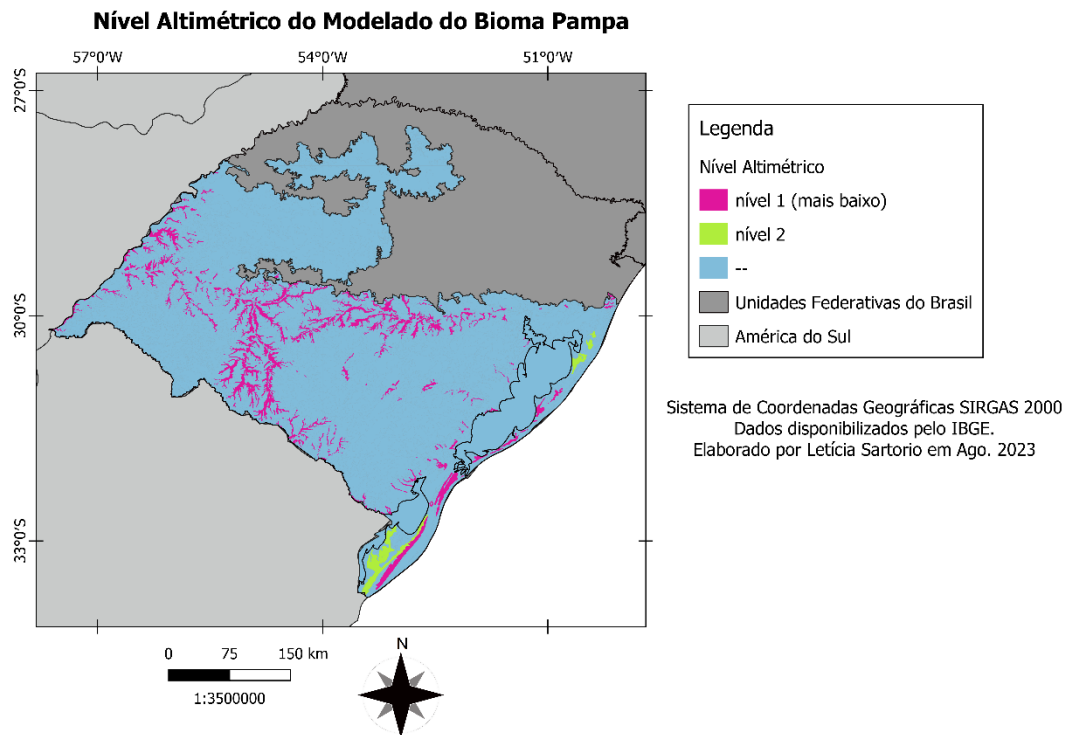
Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

Figura C8 – Aprofundamento da Incisão do Modelado do Bioma Pampa.



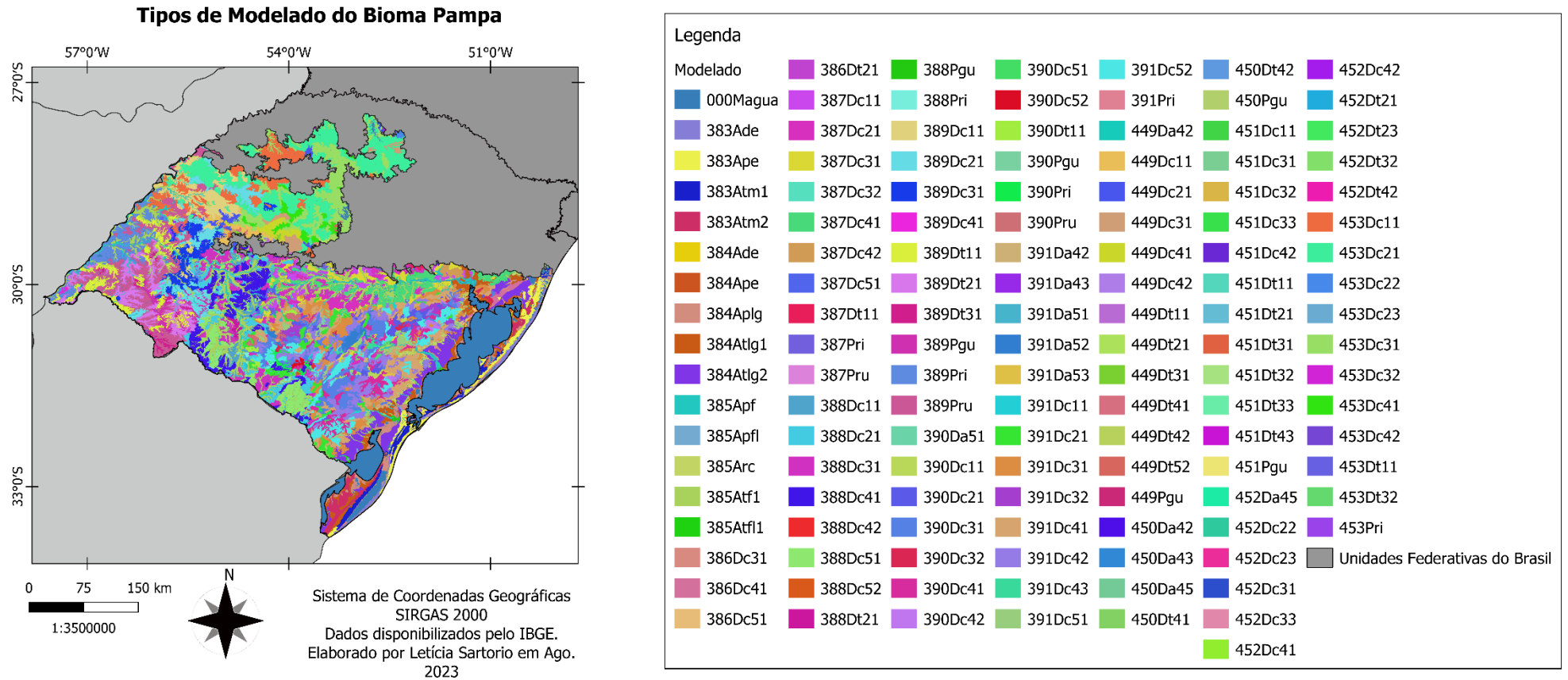
Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

Figura C9 – Nível Altimétrico do Modelado do Bioma Pampa.



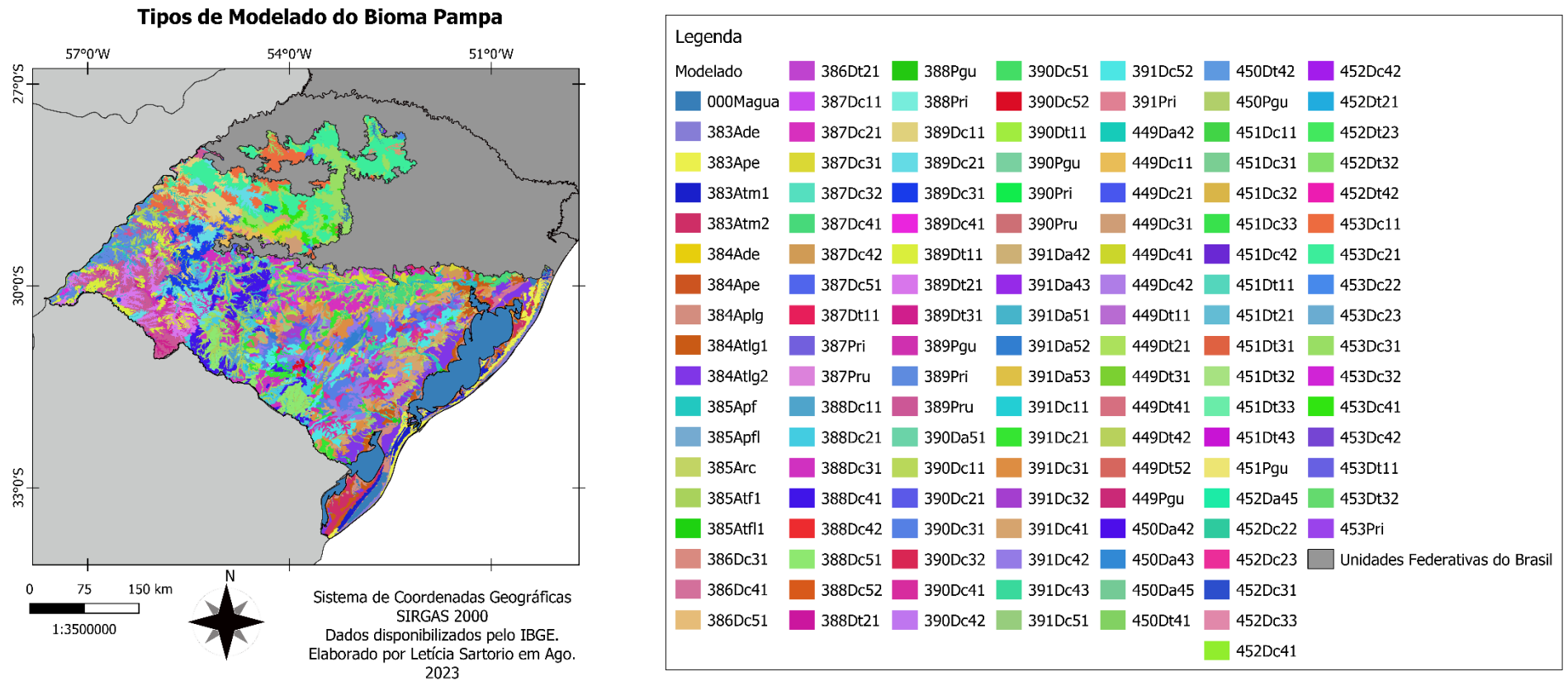
Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

Figura C10 – Modelado detalhado do Bioma Pampa.



Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

Figura C11 – Pedologia (Grandes Grupos, 3º nível) do Bioma Pampa.



Fonte: Cartografia da autora (2023). Dados: IBGE.

