



HAL
open science

Feições eólicas quaternárias e vulnerabilidades agrícolas em áreas de arenização no Pampa Brasileiro

Tania Cristina Gomes

► **To cite this version:**

Tania Cristina Gomes. Feições eólicas quaternárias e vulnerabilidades agrícolas em áreas de arenização no Pampa Brasileiro. *Geography*. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul; Le Mans Université, 2019. Portuguese. NNT: . tel-02265926

HAL Id: tel-02265926

<https://shs.hal.science/tel-02265926>

Submitted on 12 Aug 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE DE DOCTORAT DE

LE MANS UNIVERSITE
DE BRETAGNE OCCIDENTALE
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE
ECOLE DOCTORALE N° 604
Sociétés, Temps, Territoires
Spécialité : Géographie Physique

Par

Tania Cristina GOMES

Dépôts éoliens quaternaires et vulnérabilité concernant les activités agricoles en zones d'*arenização* dans la Pampa Brésilienne

Feições eólicas quaternárias e vulnerabilidades agrícolas em áreas de arenização no Pampa brasileiro

Thèse présentée et soutenue à l'UFRGS, le 4 juillet 2019 Unité de recherche: Programme de Pos Graduation en Géographie - UFRGS

Thèse N°: 2019LEMA3009

Composition du Jury :

Rapporteurs:

João Osvaldo RODRIGUES NUNES

François BETARD

Professeur, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Brésil
Maître de conférences (HDR), Université de Paris 7 – Diderot, France

Examineurs: Sylvie BOURQUIN

Laurindo Antonio GUASSELLI

Directrice de Recherche, Université de Rennes 1, France
Professeur, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Brésil

Dir. de thèse: Roberto VERDUM

Co-dir. de thèse : François LAURENT

Co-encadrante : Jeannine CORBONNOIS

Professeur, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Brésil

Professeur, Le Mans Université, France

Professeur émérite, Le Mans Université, France



TANIA CRISTINA GOMES

**FEIÇÕES EÓLICAS QUATERNÁRIAS E VULNERABILIDADES AGRÍCOLAS EM
ÁREAS DE ARENIZAÇÃO NO PAMPA BRASILEIRO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, para obtenção do título de Doutora em Geografia.

Orientador no Brasil: Prof. Dr. Roberto Verdum
Orientador na França: Prof. Dr. François Laurent
Coorientadora na França: Prof^ª. Dr^ª. Jeannine Corbonnois

Porto Alegre
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

&

LE MANS UNIVERSITÉ
ECOLE DOCTORALE: SOCIÉTÉS, TEMPS, TERRITOIRES
UNIVERSITÉ BRETAGNE LOIRE

(COTUTELA)

FEIÇÕES EÓLICAS QUATERNÁRIAS E VULNERABILIDADES AGRÍCOLAS EM
ÁREAS DE ARENIZAÇÃO NO PAMPA BRASILEIRO

DÉPÔTS ÉOLIENS QUATERNAIRES ET VULNÉRABILITÉ CONCERNANT LES
ACTIVITÉS AGRICOLES EN ZONES D'ARENIZAÇÃO DANS LA PAMPA
BRÉSILIENNE

Tania Cristina Gomes
(Tese de Doutorado)

TANIA CRISTINA GOMES
Geógrafa – Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Mestra em Geografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

TESE

Submetida como parte dos requisitos
Para a obtenção do Grau de

DOUTORA EM GEOGRAFIA
DOCTEUR EN GÉOGRAPHIE PHYSIQUE

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geografia
&
Le Mans Université
Ecole Doctorale: Sociétés, Temps, Territoires - STT
Université Bretagne Loire

Porto Alegre – Brasil

Aprovada em 04/07/2019.
Homologada em 17/07/2019.

BANCA EXAMINADORA

Avaliador externo:	João Osvaldo RODRIGUES NUNES	Professeur, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Brèsil
Avaliador externo:	François BETARD	Maître de conférences (HDR), Université de Paris 7 – Diderot, France
Avaliador externo:	Sylvie BOURQUIN	Directrice de Recherche, Université de Renne 1, France
Avaliador interno:	Laurindo Antonio GUASSELLI	Professeur, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Brèsil
Orientador:	Roberto VERDUM	Professeur, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Brèsil
Coorientador:	François LAURENT	Professeur, Le Mans Université, France
Colaboradora:	Jeannine CORBONNOIS	Professeur émérite, Le Mans Université, France



Dedico ao meu companheiro de vida, Igor,
pelo arrimo incondicional, sobretudo nos
momentos de muitas dúvidas e incertezas,
bastante comuns para quem busca trilhar
novos caminhos e precisa de apoio para
completar a travessia. Dedico também ao
nosso pequeno ... que ainda não conhece
os desafios do mundo, mas sinto que está
chegando cheio de coragem.

AGRADECIMENTOS

AGRADECER é um repto tão grandioso quanto escrever uma tese. Agradecer é um ato de reconhecimento. Foram tantas as pessoas, instituições e agências de fomento que me acompanharam ao longo dessa caminhada. Digo que a conquista é minha, mas a trajetória nunca foi solitária. Sinto que corri uma maratona e tenho orgulho do trabalho que fizemos. Me sinto pronta para a próxima etapa desse ciclo que não se encerra aqui, pois este trabalho não tem por pretensão produzir verdades absolutas, mas sim abrir caminho para novas investigações.

A travessia foi individualmente ousada, mas eu gostaria de manifestar gratidão a todos aqueles que acreditaram na minha capacidade e, por confiarem em mim, apoiaram todas as minhas decisões.

Agradeço ao meu amor e companheiro, Ígor, que com muita paciência, carinho, compreensão e cumplicidade me acompanhou ao longo dessa difícil caminhada e, me incentivou a querer escalar as mais altas montanhas. À minha mãe, Helena por acreditar no meu potencial. À grande amiga Lígia, mesmo distante geograficamente sempre esteve presente. A todos da família, minha e do Ígor que, de alguma forma, tornaram essa caminhada mais leve.

Ao meu orientador brasileiro, professor Roberto Verdum, por me acolher como orientanda de doutorado. Também pelo incentivo, pela confiança, pela troca de conhecimento e amizade e, principalmente por me instigar a olhar para a paisagem do Pampa e os *areais* de maneira tão singular.

Sou igualmente grata aos meus orientadores franceses, professores François Laurent e Jeannine Corbonnois, pela acolhida, orientação e confiança no meu trabalho.

Aos professores que compuseram a minha banca de qualificação de projeto de tese, professora Katia Kellem, professor Laurindo Guasselli e professor Norberto Dani.

A professora Christelle Lahaye do IRAMAT – *Institut de Recherche sur les ArchéoMATériaux – Université Bordeaux Montaigne* por colocar o laboratório à disposição, pela dedicação e esforços em contribuir com o trabalho proposto.

Do mesmo modo agradeço a prof. Sylvie Bourquin – *Université Rennes 1* por nos receber e pela indicação da prof. Christelle Lahaye como colaboradora.

Aos bolsistas de Iniciação Científica, Neemias Lopes, Benôni Schuvartz e Aline Gomes pela dedicação em trabalhos de campo, laboratório ou de gabinete.

Aos colegas e amigos do laboratório de Geografia Física – *Geographys*, Lucimar Vieira, Carmem Vieira e Jean Caneppele, sempre dispostos a dialogar sobre os *areais* e também pelas rodadas de chimarrão e riso frouxo.

Agradeço a colega Dr. Carmem Vieira, ao prof. Verdum e ao Dr. Marcos Borba (Embrapa Pecuária Sul) que juntos acolheram a proposta para submissão de projeto ao programa CAPES/Embrapa. Sem uma bolsa de pesquisa do referido programa e dedicação exclusiva, concluir o doutorado seria mais difícil.

Ainda, em particular agradecimento ao prof. Verдум e prof. François Laurent pelo convite para participar do projeto *QUALPROSUL* (Edital nº 16/2015) que viabilizou a bolsa de doutorado sanduiche na França. Obrigada pela confiança.

Aos colegas e amigos dos grupos de pesquisa: Arenização/desertificação – questões ambientais e Grupo Laboratório da Paisagem – *Pagus/UFRGS*.

Agradeço do mesmo modo a colega e amiga Luciana Vieira (a Catarina) que entre Santa Catarina e Rio Grande do Sul, em muitas idas e vindas, sempre reservou um tempo para um café na Cidade Baixa.

Ao técnico em geologia, Gilberto (Giba), por me acolher no Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos - CECO e me orientar nas análises sedimentológicas.

Aos funcionários e bolsistas da Biblioteca do IGEO, em especial a Renata Grun pela paciência na seleção do material cartográfico.

Aos revisores e tradutores, Vitoria kessler e Gustavo Suertegaray pela disponibilidade e profissionalismo.

Aos colegas e amigos, Bruno Marascalki e Reinis Osis pelo apoio técnico e longas conversas sobre Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

Aos colegas e amigos, Daniel Zanotta e Jefferson Ferrerira pela paciência e disposição na incumbência de fazer a leitura da tese.

Aos colegas, brasileiros, franceses e demais origens, que convivi durante o período que trabalhei no labo ESO (*Laboratoire Espaces et Sociétés – ESO*). Reinis Osis, Vanessa dos Santos, Raphael Diniz, Ali Hasan, François Ory, François Messner, Amel, Mélanie Rateau, Heduen Estrella, Ana-Catharina Santos-Silva, Claire Philippe e Stef Breda. Foram muitos almoços e uma rotina diária de cafés e diálogos sobre trabalho. Amigos também de papear em momentos de descontração regados a vinho e queijo francês, mas as discussões sempre acabavam no objeto de tese (risos).

Do mesmo modo, agradeço a todos os professores e funcionários do admirativo do laboratório ESO-Le Mans que sempre me atenderam com cordialidade, em especial, aos professores Frédéric Fortunel, Gérald Billard e Mathieu Durand, Yamna Djellouli e, a Frédérique Leguillon.

As colegas brasileiras Juliana e Letícia e, seus respectivos companheiros, Jackon e Alex, que me acolheram emocionalmente enquanto estive longe da família. Assim como, Antônia de Moura, companheira do meu orientador francês e o simpático casal de franceses, Michèlle e Paul Roussillat, que tornaram meus dias no velho mundo mais tranquilo.

A todos que me acolheram nas Relações Internacionais da universidade de Le Mans, especialmente, Fanny Laude-Molina et Annie Rutter. Assim como todos os funcionários da Cité Universitaire Vaurouzé, em particular Sylviane e Fabienne Gamet.

Agradeço a todas as instituições e agências de fomento pela oportunidade e suporte financeiro.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pública, gratuita e uma das melhores do país. Instituto de Geociências. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFRGS e a todos os docentes do programa pelo aprendizado. Meus agradecimentos também aos funcionários técnico-administrativos do PPGA e aos bolsistas da secretaria, sempre dispostos a nos auxiliar com a burocracia do sistema acadêmico.

A *Université du Maine*, atualmente, *Le Mans Université* pela oportunidade de cursar o doutorado em regime de cotutela através de cooperação científica entre França e Brasil. A *École doctorale Sociétés, Temps, Territoires – STT (Université Bretagne Loire)*. Ao *Laboratoire Espaces et Sociétés – ESO/Le Mans*.

Ao Programa CAPES/Embrapa pela concessão da bolsa de doutorado (Processo: 88882.157107/2017-01) e ao Técnico Administrativo Maxwell Santana Fonseca pela agilidade e cordialidade.

Igualmente grata ao Programa CAPES/Cofecub pela concessão da bolsa de doutorado na modalidade Sanduiche/Cotutela (Processo: 88887.137176/2017-00).



Um dia a Verdade e a Mentira se encontram...

A Mentira diz à Verdade:

_ hoje está um dia maravilhoso.

A Verdade olha para o céu desconfiada e suspira, pois,
o dia estava realmente lindo.

Elas passam algum tempo juntas, chegando finalmente
a um poço.

A mentira diz à Verdade:

_ a água está muito boa, vamos tomar um banho
juntas?

A Verdade mais uma vez desconfiada, testa a água e descobre que realmente está muito gostosa. Elas se despem e começam a tomar banho. De repente! A Mentira sai da água, veste as roupas da Verdade e foge. A Verdade furiosa sai do poço e corre para encontrar a Mentira e pegar suas roupas de volta. O mundo vem da Verdade nua, desvia o olhar com desprezo e raiva. A pobre Verdade volta ao poço e desaparece para sempre. Escondendo nele sua vergonha. Desde então a Mentira viaja ao redor do mundo vestida como a Verdade, satisfazendo as necessidades da sociedade, porque o mundo não nutre o menor desejo de encontrar a Verdade nua.

Parábola Judaica – Abertura do livro *A classe Média no Espelho* de Jessé de Souza.

FEIÇÕES EÓLICAS QUATERNÁRIAS E VULNERABILIDADES AGRÍCOLAS EM ÁREAS DE ARENIZAÇÃO NO PAMPA BRASILEIRO¹

Autora: Tania Cristina Gomes
Orientador no Brasil: Prof. Roberto Verдум
Orientador na França: Prof. François Laurent
Coorientadora na França: Prof^a. Jeannine Corbonnois
Local e data da defesa de tese: Porto Alegre, 4 de julho de 2019.

RESUMO

No Sul do Brasil, o sudoeste do Rio Grande do Sul expõe *manchas de areia* encravadas na paisagem do Pampa brasileiro, bioma que representa 63% do território do Estado. Os depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis representam a herança de um clima mais seco do que o atual e fornecem evidências paleoclimáticas importantes para a compreensão dessa paisagem. Em condições climáticas contemporâneas, a região guarda campos de colinas (coxilhas, na denominação regional), cobertos por vegetação herbáceas-arbustivas e por manchas de areia, por vertentes de relevos testemunhos (cerros) e por fundos de vales, discordando da típica paisagem de clima úmido atual. Estes depósitos de areia estão, ao mesmo tempo, sob ação eólica, nas estações secas, e sujeitos às erosões superficial e subsuperficial, em estações chuvosas, o que remobiliza os sedimentos eólicos inconsolidados, dando início ao processo de *arenização* e à formação de areais. O objetivo deste estudo é identificar, na área de estudo, associações entre as feições geomorfológicas atuais e as formações superficiais quaternárias, assim como as dinâmicas erosivas/depositacionais atuantes nessas feições, no contexto de uma área submetida historicamente à pressão agrícola. A área do recorte espacial possui cerca de 144 mil ha e situa-se ao longo da rodovia RS-377, entre os municípios de Alegrete e de Manoel Viana. Os procedimentos metodológicos incluíram etapas de trabalho de campo, de gabinete e de laboratório. A observação de campo conduziu as primeiras interpretações sobre a evolução morfológica dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, bem como o levantamento dos quatro pontos de coletas de material sedimentar eólico, para análises granulométrica e morfoscópica e para a realização de datação absoluta, estabelecida pelo método de Luminescência Ópticamente Estimulada (Protocolo SAR). Em gabinete, foram realizados os mapeamentos – identificação e classificação dos depósitos eólicos e de seus atributos, compartimentação das unidades de relevo e mapeamento de uso e de cobertura da terra. A sedimentologia do ambiente estudado mostra variabilidade em suas características. Os sedimentos são compostos predominantemente por areias quartzosas, de classe modal Areia Fina, variando em menor proporção nas frações de Areia média a de Areia muito fina. As características morfológicas e ópticas dos sedimentos esclarecem quanto à competência eólica sobre as partículas e sobre seu transporte, demonstrando certo grau de selecionamento, evidenciado pela diminuição do tamanho dos grãos no sentido SE-NO, devido ao retrabalhamento e à evolução de Areia média a Areia fina. Os grãos subarredondados e arredondados somam percentuais acima de 70%, o que pode demonstrar um menor tempo de retrabalhamento desses em meio aquoso. Associando as características de arredondamento, de esfericidade e de textura superficial, imagina-se que os grãos de Areia média e de Areia fina podem ter sido transportados pelos ventos, deslocados do setor SE-S para N-NO, tendo sido depositados sobre a região, conforme a direção do paleovento, medida em trabalho de campo. No entanto, em meio aos grãos com características eólicas podem existir

¹ Tese de Doutorado em cotutela. Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. Escola *Doutoral Sociétés, Temps, Territoires – Le Mans Université*, França. Julho, 2019.

grãos com características típicas de ação hídrica, como sedimentos oriundos da Formação Guará ou de ambientes fluviais mais recentes. A distribuição das feições geomorfológicas, associada às unidades de relevo mostra que os depósitos eólicos ocorrem substancialmente sobre os topos de colinas, seguido de vales secos, refletindo sobre o percentual de ocorrência de processos erosivos, que também ocorrem em maior número sobre esses compartimentos (cerca de 37% em topos de colina e de 23% em vales secos). Igualmente, a feição do tipo areal ocorre, em maior percentual, sobre os topos de colinas, seguido dos vales secos, confirmando as dinâmicas de ativação e de formação de areais, que ocorrem em depósitos eólicos, comumente sobre colinas, desencadeadas por processos erosivos e, sobretudo, pela ação de processos hídricos (ravinação e voçorocamento), típicos do clima úmido atual. Ainda, os campos de dunas estudados podem estar associados a contextos dinâmicos regionais mais amplos, presentes nos Pampas Argentino e Uruguaio. Relativamente aos usos da terra, mapeados entre os anos de 1982 e 2016, há um aumento significativo da superfície destinada à Lavoura, em detrimento à de Campo. A Silvicultura é observada somente no ano de 2016, pois o incentivo ao plantio de exóticas teve início no final da década de 1970. Por fim, os distintos usos sobre as colinas, associados aos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, determinam as dinâmicas ambiental e econômica no Pampa brasileiro. O Pampa possui, como aptidão primária, a pecuária, mas a conversão de uso, sobretudo de campo de pastoreio em lavoura, destinada a cultivos agrícolas, intensifica a pressão sobre os recursos hídricos, sobre a vegetação herbácea e sobre os solos francamente arenosos, particularmente sensíveis à erosão.

Palavras-chave: Dinâmicas eólicas continentais. Dinâmicas agrícolas. Pampa. Arenização. Areais

DÉPÔTS ÉOLIENS QUATERNAIRES ET VULNÉRABILITÉ CONCERNANT LES ACTIVITÉS AGRICOLES EN ZONES D'ARENIZAÇÃO DANS LA PAMPA BRÉSILIENNE ²

Auteure: Tania Cristina Gomes

Directeur de thèse au Brésil: Roberto Verdum

Directeur de thèse en France: François Laurent

Co-encadrante en France: Jeannine Corbonnois

Lieu et date de la soutenance : Porto Alegre, 4 de juillet de 2019.

RÉSUMÉ

Au sud du Brésil, le sud-ouest du Rio Grande do Sul présente des taches de sable dans le paysage de la pampa brésilienne, un biome qui représente 63% du territoire de l'État. Les dépôts éoliens stables et / ou instables représentent l'héritage d'un climat plus sec que l'actuel et fournissent des preuves paléoclimatiques importantes pour comprendre la formation de ces paysages. Dans les conditions climatiques actuelles, la région entretient des champs de collines (coxilhas, dénomination régionale), recouverts d'une végétation arbustive herbacée et de parcelles sablonneuses, sur les versants de reliefs témoins (cerros) et sur le fond des vallées, en désaccord avec le paysage typique du climat pluvieux actuel. Ces dépôts de sable sont en même temps sous l'action des vents pendant la saison sèche et soumis à une érosion superficielle et souterraine pendant la saison des pluies, ce qui remobilise les sédiments éoliens non consolidés, amorçant ainsi le processus d'arenização et de formation de taches de sable. L'objectif de cette étude est d'identifier, dans la zone d'étude, des associations entre les caractéristiques géomorphologiques actuelles et les formations superficielles quaternaires, ainsi que la dynamique érosive / sédimentaire agissant sur ces caractéristiques, dans le contexte d'une zone historiquement soumise à la pression agricole. La zone d'étude est d'environ 144 000 ha et est située le long de la route RS-377, entre les municipalités d'Alegrete et de Manoel Viana. Les procédures méthodologiques incluent des étapes de travail sur le terrain, au bureau et en laboratoire. Les observations de terrain ont conduit aux premières interprétations sur l'évolution morphologique des dépôts éoliens stables et / ou instables, ainsi qu'à l'étude des quatre points de collecte du matériau sédimentaire, avec des analyses granulométriques et morphologiques et à la datation absolue établie par méthode de luminescence stimulée optiquement (protocole SAR). Au bureau, des cartographies ont été réalisées - identification et classification des dépôts éoliens, subdivision des unités de relief et cartographie de l'utilisation et de la couverture des sols. La sédimentologie de l'environnement étudié montre une variabilité dans ses caractéristiques. Les sédiments sont principalement composés de sables de quartz, de la classe sable fin, variant dans une moindre mesure entre les fractions de sable moyen et de sable très fin. Les caractéristiques morphologiques et optiques des sédiments montre une compétence éolienne sur les particules et leur transport, montrant un certain degré de sélection, mis en évidence par la diminution de la taille des grains dans la direction SE-NO, due au remaniement et à l'évolution du sable moyen à sable fin. Les grains sous-arrondis et arrondis atteignent des proportions de 70%, ce qui peut indiquer un temps de reprise plus court par l'eau. En associant les caractéristiques de rotondité, de sphéricité et de texture de surface, on estime que les grains de sable moyen et de sable fin pourraient avoir été transportés par les vents, déplacés du secteur

² Thèse de Doctorat en Cotutelle Programme de Pos Graduation en Géographie – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brésil. École Doctorale Sociétés, Temps, Territoires – Le Mans Université, France. Juillet, 2019.

SE-S vers N-NO, après s'être déposés sur la région, selon la direction du paleovent, mesurée dans le travail sur le terrain. Cependant, parmi les grains avec des caractéristiques éoliennes, il peut exister des grains avec des caractéristiques d'action par l'eau, tels que les sédiments de la Formation Guará ou des milieux fluviaux plus récents. La distribution des caractéristiques géomorphologiques associées aux unités de relief montre que les dépôts de vent se produisent essentiellement sur les sommets des collines, suivis des vallées sèches, ce qui reflète le pourcentage d'occurrences de processus érosifs, qui sont également plus nombreux dans ces compartiments (environ 37% dans les sommets de colline et 23% dans les vallées sèches). De même, les dépôts de sable apparaissent, sur un pourcentage plus élevé, au sommet des collines, suivie des vallées sèches, confirmant la dynamique de l'activation et de la formation de taches de sable, se produisant dans les dépôts éoliens, généralement sur les collines, déclenchée par des processus érosifs et principalement en raison de l'action des processus hydriques (ravinement et « voçorocamento »), caractéristiques du climat humide actuel. De plus, les champs de dunes étudiés peuvent être associés à des contextes dynamiques régionaux plus vastes, présents dans les pampas argentines et uruguayennes. En ce qui concerne les utilisations des sols, cartographiées de 1982 à 2016, on observe une augmentation significative de la superficie consacrée aux cultures, au détriment des prairies. La foresterie n'est observée qu'en 2016, l'incitation à la plantation d'essences exotiques ayant débuté à la fin des années 1970. Enfin, les différentes utilisations des collines, associées aux dépôts éoliens stables et / ou instables, déterminent la dynamique environnementale et économique dans la pampa brésilienne. La Pampa a comme principale aptitude le bétail, mais la conversion de son utilisation, en particulier des pâturages en cultures, intensifie la pression sur les ressources en eau, sur la végétation herbacée et sur les sols relativement sableux particulièrement sensibles à l'érosion.

Mots-clés : Dynamiques éoliennes continentales. Dynamiques agricoles. Pampa. *Arenização*. *Areais*.

QUATERNARY SAND DEPOSITS AND VULNERABILITY TO AGRICULTURAL
ACTIVITIES IN AREAS OF *ARENIZAÇÃO* IN BRAZILIAN PAMPA³

Author: Tania Cristina Gomes
Advisor in Brazil: Roberto Verдум
Advisor in France: François Laurent
Co-Advisor in France: Jeannine Corbonnois
Place and date of the defense: Porto Alegre, July 4th, 2019

ABSTRACT

In southern Brazil, the southwest of Rio Grande do Sul exposes sand spots embedded in Brazilian Pampa landscape, a biome that represents 63% of the state's territory. Both stable and / or unstable wind deposits represent the inheritance of a drier climate than the current one and provide important paleoclimatic evidences for understanding this landscape. In contemporary climatic conditions, the region maintains hill fields (*coxilhas*, in the regional denomination), covered by herbaceous-shrub vegetation and sand spots, along testimonial slopes and valleys strands, disagreeing with the current wet climate typical landscape. These sand deposits are under wind action, in dry seasons, and subject to superficial and subsurface erosion, in rainy seasons, at once. These agents remobilize the non-consolidated eolic sediments, initiating both processes of *arenização* (sandisation) and sand sandy stretching. The objective of this thesis is to identify, inside the study area, associations between the current geomorphological features and the quaternary surface formations, as well as the erosive / depositional dynamics acting on these features, in the context of an area historically submitted to agricultural pressure. The spatial cutting area has about 144,000 ha and it is located along the RS-377 highway, between the municipalities of Alegrete and Manoel Viana. Methodological procedures included field, cabinet and laboratory work steps. Field observations led to the initial interpretations on the morphological evolution of stable and / or unstable eolian deposits, as well as to the survey of the four points of collection of sedimentary material, for both granulometric and morphological analyzes and for absolute dating, which was established by optically stimulated luminescence method (SAR protocol). In the cabinet stage, the mappings were carried out, in order to achieve the identification and classification of the eolic deposits and their attributes, the subdivision of the relief units and the mapping of land use and land cover. The sedimentology of the environment shows variability in its characteristics. The sediments are predominantly composed by quartz sands, of Fine sand modal class, varying to lesser fractions of Medium sand and Very fine sand. Both morphological and optical characteristics of the sediments clarify the eolic competence over the particles and their mobilization, demonstrating a certain degree of selection, which is evidenced by the decrease of the grain size in SE-NO direction, due to the reworking and the evolution of Medium sand to Fine sand. Both sub-rounded and rounded grains added percentages up to 70%, which may demonstrate a shorter rework time in an aqueous medium. Associating to roundness, sphericity and surface texture characteristics, it is estimated that both Medium sand and Fine sand grains may have been transported by the winds, displaced from the sector SE-S to N-NO, having been deposited on the region, according to the direction of the paleowind that was measured in field work. However, among grains with wind

³ Doctoral thesis in co-supervision. *Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil. Graduate school Sociétés, Temps, Territoires – Le Mans Universté of Le Mans, France. July 2019.*

characteristics there may be grains with typical water action characteristics, such as sediments from Guará Formation or from recent fluvial environments. The geomorphological features distribution associated to the relief units shows that the eolic deposits occur substantially on the tops of hills, followed by dry valleys, reflecting on erosive processes occurrence percentage, which also occur on these compartments, majority (about 37% in hill tops and 23% in dry valleys). Likewise, the sand stretch feature occurs, on a higher percentage, at the tops of hills, followed by the dry valleys, confirming the dynamics of sand stretch activation and formation, which occur in eolic deposits, usually over hills, being triggered by erosive processes, mainly due to the action of water processes (rilling and gulying), which are typical in the current humid climate. In addition, the dunefields that were studied may be associated with broader regional dynamic contexts, present in both Argentinian and Uruguayan Pampas. In relation to land uses, which was mapped between 1982 and 2016, there is a significant increase in the area devoted to crops, in detriment to the field one. Forestry is only observed in 2016, as the incentive for exotic planting began in the late 1970s. Finally, the different uses of hills, associated to both stable and / or unstable wind deposits, determine the environmental dynamics and the economy in the Brazilian Pampa. The Pampas has livestock as its primary aptitude, but the conversion of land use, especially from pasture fields to crop, intensifies the pressure on water resources, on herbaceous vegetation and on sandy soils, which are particularly sensitive to erosion.

Keywords: Continental eolic dynamics. Agricultural dynamics. Pampa. *Arenização*. Sand stretch.

FEIÇÕES EÓLICAS QUATERNÁRIAS E VULNERABILIDADES AGRÍCOLAS EM ÁREAS DE ARENIZAÇÃO NO PAMPA BRASILEIRO⁴

Autora: Tania Cristina Gomes
Orientador no Brasil: Roberto Verdum
Orientador na França: François Laurent
Coorientadora na França: Jeannine Corbonnois
Local e data da defesa de tese: Porto Alegre, 4 de julho de 2019.

RESUMO EXPANDIDO

Concepção da problemática, justificativa e proposição de pesquisa

A América do Sul possui sistemas de dunas e depósitos eólicos continentais associados que sobrevivem de uma multiplicidade de conformações ambientais, sob distintas condições climáticas, que variam de úmidas-subúmidas a semiáridas-áridas. A evolução dos sistemas eólicos do Quaternário, sobretudo do Holoceno, foi inferida a partir de poucos estudos, concentrados em áreas limitadas, enquanto muitas regiões conservam-se inexploradas. Para além, as heterogeneidades ambiental e geomorfológica continentais geram questionamentos sobre a representatividade dos registros estudados, bem como sobre se os resultados e interpretações podem ser compreendidas em escala regional, visto que os campos de dunas interiores da América do Sul têm sido pouco explorados com foco de interesse científico, sendo estes menos conhecidos do que as sucessões de *loess* no continente [1].

No entanto, na década passada, houve uma retomada dos estudos sobre sistemas eólicos interiores na América do Sul, sobretudo como registro de informações paleoambientais e paleoclimáticas, ocorridas durante o Quaternário. Os estudos recentes trazem descrições e interpretações mais detalhadas sobre a gênese, a composição, a idade absoluta e a geomorfologia dos sistemas eólicos, além de catalogar novos campos de dunas, ainda desconhecidos, inclusive relatados a partir de estimativas quantitativas de idade, comumente inferidas por luminescência opticamente estimulada, sendo este um conhecimento fundamental para correlacionar sistemas eólicos com outros registros de *proxy* e para compreender as respostas dessas morfologias às mudanças climáticas [1].

O estado da arte em relação à pesquisa de sistemas de dunas interiores, na qual se encontra o Norte tropical (~10°N ~10°S) abrange os campos de dunas de *Llanos del Orinoco* e da bacia amazônica, composto principalmente por dunas parabólicas, *blowout* (ou deflação) e lineares, desenvolvidas nas várzeas do rio. O Sul tropical (~10°S ~22°S) compreende sistemas eólicos situados ao longo das extensas planícies do *Gran Chaco* e aqueles localizados em bacias fluviais, associadas ao escudo cratônico brasileiro (São Francisco, Pantanal e Mato Grosso), não havendo dados cronológicos disponíveis para as dunas lineares e para as *lunettes* descritas no Pantanal, mesmo que se admita que estas cristas lineares foram distinguidas no alto rio Paraná (Mato Grosso), com acúmulo de areia associada e em diferentes fases do Holoceno. Já o *Piemonte* andino e os Pampas ocidentais, no leste subtropical da América do Sul, compreendem uma grande variedade de morfologias de origem eólica, como, por exemplo, dunas do tipo *Barchan-barchanoid*, lineares, parabólicas, transversais e *lunettes*, bacias de

⁴ Tese de Doutorado em cotutela. Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil. Escola Doutoral *Sociétés, Temps, Territoires – Le Mans Université*, França. Maio, 2019.

deflação e lençóis de areia, sendo que as datações por luminescência sugerem atividade eólica durante tempos glaciais tardios e no Holoceno [1].

No extremo Sul do Brasil, o Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul expõe, como característica marcante, *manchas de areia* encravadas na paisagem do Pampa brasileiro, bioma que representa 63% do território do Estado (Figura 2). Os depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis representam uma herança de um clima mais seco do que o atual e fornecem evidências paleoclimáticas importantes para a compreensão da paisagem do Pampa. Em condições climáticas contemporâneas, a região guarda amplos campos de colinas (coxilhas, na denominação regional) cobertos por vegetação herbáceas-arbustivas e peculiares manchas de areia, que repousam sobre as colinas, discordando da típica paisagem de clima úmido atual. Estes depósitos de areia estão, ao mesmo tempo, sob ação eólica, sobretudo nas estações secas, e sujeitos à erosão superficial e subsuperficial, em estações chuvosas, o que reativa os depósitos, dando início ao processo de *arenização*⁵ [2] e à formação de *areais*, através da remobilização dos sedimentos eólicos inconsolidados.

Os *areais* ocorrem sobre dois distintos compartimentos geomorfológicos, desconsiderando a *Cuesta* enquanto compartimento geomorfológico: na escarpa erosiva do Planalto Meridional, caracterizando áreas de relevo acidentado e com presença de relevos testemunhos; e na Depressão Periférica, na qual predominam as paisagens do Pampa brasileiro, com presença de relevos do tipo colinas (coxilhas) e morros testemunhos (cerros), com cotas altimétricas de até 200m. Os *areais* ocorrem predominantemente nos compartimentos de colinas com substrato arenítico e são, em sua maioria, originários de deposição eólica, admitindo-se a fragilidade das morfologias de colinas, em virtude da presença de solos incipientes e de formações superficiais quaternárias inconsolidadas [3].

Ainda, dados associados à litologia demonstram que 98,52% das manchas arenosas estão assentadas sobre as Formações Botucatu e Guará ou sobre depósitos aluviais em contato com essas formações, sendo que 38,45% dos *areais* ocorre sobre a Formação Botucatu (Deserto Botucatu –arenitos eólicos de origem Juro-Cretácea) e 52,92%, sobre a Formação Guará, definida como neojurássica, resultante de sucessivas mudanças climáticas, intercaladas de períodos úmidos com períodos de aridez, apresentando fácies ora constituídas por depósitos fluviais, ora por depósitos dunários [3] - (Figura 40).

A área definida como recorte espacial, com cerca de 144 mil ha, situa-se ao longo da rodovia RS-377, entre os municípios de Alegrete e de Manoel Viana. O recorte espacial inclui características importantes para o estudo das morfologias eólicas enquanto objeto de tese. Dentre os elementos evidenciados na área escolhida, observa-se a presença de *areais*, morfologias tipicamente associadas a depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis; afloramentos de blocos areníticos; lagos em bacia de deflação, estrangulamentos de paleodrenagem/valão por depósitos eólicos; processos erosivos lineares, do tipo ravinhas e voçorocas; dentre outras características.

⁵ [2] *Arenização* é o processo de formação dos chamados *areais*, que, em síntese, derivam do retrabalhamento de depósitos arenosos, no caso de formações superficiais quaternárias, resultante da dinâmica morfogenética, nas quais os processos hídricos superficiais, particularmente o escoamento concentrado do tipo ravina ou voçoroca, associados às chuvas torrenciais, expõem, transportam e depositam areia, dando origem à formação de *areais*, que, em contato com o vento, tendem a uma constante remoção (SUERTEGARAY; VERDUM, 2008).

Ponderando que as feições geomorfológicas continentais, como depósitos eólicos antigos e estáveis, também testemunham condições climáticas passadas e que, mesmo que pouco estudadas, por constituírem feições de difícil identificação e classificação, quando em regiões interiores, constituem indicadores geomorfológicos e sedimentológicos de mudanças paleoclimáticas ocorridas durante o Quaternário, e seguramente podem também compor significativos e extensos registros eólicos no Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, na região meridional do Brasil.

Considerando que os depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis estudados guardam respeitáveis evidências de mudanças climáticas ocorridas regionalmente e que estas influenciaram na formação e na transformação da paisagem atual, inferem-se as seguintes hipóteses: **1)** de que os *areais*, que se encontram associados às dinâmicas erosivas nas formações superficiais eólicas do Quaternário, têm sua gênese relacionada às dinâmicas naturais; **2)** de que a origem dos depósitos eólicos na área de estudo pode ser datada de um período geológico recente, cerca de 2.000 A.P., visto que as feições deixam registros e características evidentes de comporem as formações superficiais mais recentes no ciclo deposicional; **3)** as morfologias de coxilhas e das rampas atuais apresentam evidências de associação com as formações superficiais quaternárias típicas de intemperismo/deposição hídrico e eólico, ou seja, são passivas de associação da forma com a gênese.

Igualmente, este estudo ainda procura desvelar a relação entre sociedade e natureza, absorvendo novas variáveis, especialmente aquelas relacionadas às atividades econômicas ligadas à agropecuária (pecuária extensiva e cultivo de monoculturas, como arroz, milho, trigo, soja e, recentemente, o plantio de eucalipto), fundamentais para o setor do agronegócio, em expansão em todo o território nacional e, mais especificamente, na área estudada e em seu entorno.

Para tanto, expõem-se o contexto das dinâmicas climáticas atuais e as mudanças de uso da terra na área de estudo, que possui como aptidão primária a pecuária e que, *a posteriori*, a instalação das monoculturas de grãos e arbóreas. Assim, abordam-se, inicialmente, as relações entre as dinâmicas climáticas e meteorológicas e, posteriormente, as dinâmicas agrícolas do passado recente (década de 1970) e as atuais, sendo ambas dinâmicas que potencializam a degradação das feições eólicas identificadas na área de estudo.

É no contexto das primeiras reflexões e do levantamento das principais hipóteses que se elabora o *objetivo geral* da tese, cujo intuito é o de identificar, na área de estudo, a associação entre as feições geomorfológicas atuais e as formações superficiais quaternárias, típicas de clima seco, assim como as dinâmicas erosivas/deposicionais atuantes nessas feições, no contexto dessa área, submetida historicamente à pressão agrícola. Este trabalho tem, ainda, como *objetivos específicos*: 1) Identificar, classificar e mapear as paleofeições geomorfológicas eólicas existentes na área de estudo; 2) Caracterizar os processos geomorfológicos pretéritos que geraram estas feições, para compreender a dinâmica erosiva e deposicional dos depósitos eólicos; 3) Caracterizar o contexto da evolução e da pressão agrícolas, associadas aos sistemas de pastoreio e de monoculturas.

Material e método

A pesquisa teve como ponto de partida, além de considerar o conhecimento científico acumulado referente à temática abordada, as observações de campo sobre a formação de depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, compostos de sedimentos do Quaternário, sobretudo

as formações superficiais do Holoceno. A partir daí, seguiu-se o levantamento bibliográfico específico (teórico, metodológico e prático) e o documental-cartográfico.

O referencial teórico-conceitual e os procedimentos metodológicos, bem como as técnicas operacionais aplicadas nos estudos pesquisados, orientaram o caminho metodológico percorrido, no qual o referencial teórico-conceitual adotado fundamentou a proposta de tese, sendo que os procedimentos metodológicos conduziram às técnicas que operacionalizaram a pesquisa.

Dessa maneira, os procedimentos técnicos foram adotados em concordância com os objetivos específicos propostos e combinados com as etapas de campo, de laboratório e de gabinete. A etapa de observação de campo conduziu às primeiras interpretações sobre a evolução morfológica dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, bem como ao levantamento dos pontos de coletas de material sedimentar eólico, para análises granulométrica e morfooscópica e, ainda, para a realização de datação absoluta, através do método de Luminescência Opticamente Estimulada (Protocolo SAR).

Foram amostrados quatro pontos de coleta em trincheira (P1, P2, P3 e P4), situados em áreas estimadas como de ocorrência de depósitos eólicos, considerando aspectos morfológicos do relevo, ocorrência de processo de arenização, canais reativados, canais soterrados, feições abrasivas e afloramentos rochosos, ou seja, levando em consideração o modelo morfológico adotado para identificação e para classificação dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis continentais interiores (Quadro 1). Destaca-se, ainda, que foram amostradas porções únicas de cada perfil, devido à homogeneidade do material sedimentar eólico, e que os testemunhos coletados foram todos situados em colinas (coxilhas) supostamente originárias de sedimentos eólicos, não ultrapassando 160cm de profundidade.

Após a coleta dos testemunhos de areia, a etapa de laboratório conduziu às análises granulométrica, morfooscópica e de datação absoluta por Luminescência Opticamente Estimulada – OSL, para determinação da geocronologia e para a reconstrução das flutuações paleoclimáticas. As análises granulométricas e a morfooscópica foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos, sob orientação metodológica do técnico em geologia Gilberto Silveira do Santos.

A granulometria incluiu análises físicas para a determinação granulométrica de grossos e finos em Escala Wentworth (1922) e das propriedades morfooscópicas (arredondamento (Krumbein (1941)), esfericidade (Rittenhouse (1943)) e textura superficial (Bigarella (1946))). A morfooscopia foi realizada a partir da individualização da classe modal (0.125mm – areia fina), utilizando lupa binocular. A categorização dos grãos da classe modal foi feita por classificação visual, sob individualização de 100 grãos, observando ausência de vício amostral de cada amostra para determinação da proporção direta do percentual de arredondamento, da esfericidade e da análise da textura superficial. Ressalta-se que os finos (silte/argila), extraídos durante o processo de pipetagem, foram atacados com solução de ácido clorídrico (HCl), a 10%, e aquecidos até cessar a efervescência, para a retirada da película que dá cor aos grãos, restando grãos em sua coloração original.

As análises para a determinação da geocronologia por luminescência foram realizadas em dois laboratórios. No Brasil, foram datados os materiais de P1 e P2 no Laboratório de Datação Comércio & Prestação de Serviços LTDA, em São Paulo (SP), com recurso do Projeto QUALPROSUL: *Qualités de produits territorialisés au Rio Grande do Sul* -

CAPES/COFECUB. Na França, foram datados os sedimentos de P3 e P4 no Laboratório IRAMAT – *Institut de Recherche sur les ArchéoMATériaux*, da *Université Bordeaux Montaigne – France*, sob responsabilidade da professora pesquisadora Christelle Lahaye, especialista em cronologia. Estes resultados foram obtidos gratuitamente, como material de interesse científico e como proposição futura de pesquisas conjuntas.

Para o mapeamento dos depósitos estáveis e/ou instáveis e de seus atributos (depósitos eólicos estáveis, *areais*, afloramentos rochosos, relevos abruptos ou tabulares, bacias de deflação e processos erosivos, do tipo ravinhas e voçorocas) elaborou-se uma chave de interpretação a partir de observação de campo e de fotointerpretação digital. Esta chave definiu os elementos e as feições de interesse que caracterizam os depósitos eólicos em sua morfogênese, originando o mapeamento em detalhe da área estudada (Quadro 2).

O pré-processamento da base cartográfica para a fotointerpretação digital deu-se pela transformação de fotografias aéreas analógicas em digitais, formadas por par estereoscópico pelo método anaglífico, cujos resultados são passíveis de serem manipulados diretamente em meio digital 3D, em qualquer *software* de geoprocessamento. As primeiras fotografias aéreas analógicas analisadas, para pré-visualização, foram obtidas junto à 1ª Divisão de Levantamento do Exército Brasileiro e são do ano de 1990, possuindo escala de 1:60.000. Após a delimitação da área de estudo, foram usadas fotografias aéreas (1:60.000, dos anos 1964/65), obtidas no acervo da Biblioteca da Geociências da UFRGS.

Assim, após o pré-processamento cartográfico, foram identificados e vetorizados os depósitos eólicos estáveis e instáveis, na forma de *areais*, a partir da extração de informação qualitativa do objeto estudado por interpretação visual, através da fotointerpretação digital 3D em anaglifos. Feitas as primeiras considerações sobre a localização e sobre o padrão morfológico dos depósitos eólicos, abre-se a análise, a fim de realizar o mapeamento dos demais atributos/feições a serem qualificados e/ou quantificados.

O mapeamento das unidades de relevo foi realizado a partir da reclassificação dos dados disponíveis no projeto TOPODATA – Forma do Terreno associado à Rede de Drenagem, disponível junto à Agência Nacional de Águas – ANA. A reclassificação final estabeleceu as unidades: Vales (Vales Secos e Vales Drenados), Colinas e Espaços Intermediários ou Vertentes (Quadro 2).

Ainda foram elaborados perfis topográficos esquemáticos para cada ponto de coleta. Os perfis foram gerados a partir de imagens SRTM em ambiente, com o auxílio do programa ArcGis 10.5. Em seguida, os perfis topográficos e as unidades litológicas foram sobrepostas, juntamente com os demais atributos interpretados: depósitos eólicos, *areais*, drenagem, processos erosivos, afloramentos rochosos e falhas. Vale salientar que o mapeamento geológico disponibilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM – está na escala 1:750.000 e que a ausência de sondagem torna difícil elaborar perfis mais precisos. Portanto, os perfis organizados consistem em perfis esquemáticos, interpretados a partir de materiais e de bases cartográficas disponíveis.

O mapeamento do uso e da cobertura da terra foi elaborado a partir do processamento de imagens de satélite Landsat 2 (1982) e Landsat 8 (2016), disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. Todos os processamentos aplicados ao mapeamento de uso foram realizados no *software* Arcgis10.5. As imagens foram selecionadas levando em consideração a qualidade sobre o nível de identificação de feições e de tipos de usos, utilizando o índice

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) para a identificação das áreas irrigadas, com classificação automática nas duas faixas espectrais, sendo, respectivamente, red=4 e infravermelho próximo=5, a partir da função saída científica.

A definição dos usos e da cobertura da terra ocorreu a partir da classificação proposta pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (o Sistema de classificação para a cobertura e o uso da terra). Assim, a chave desta interpretação classificou os espaços como: Lavoura temporária, Cultivo irrigado, Silvicultura, Campo Nativo, Mata ciliar, Corpos de água, Areais, Solo exposto (Quadro 4).

Resultados

A morfologia dos depósitos eólicos reflete as características dos sedimentos (sobretudo o tamanho do grão e o volume disponível) e a variabilidade direcional do vento observado em longo prazo, a partir do regime de ventos. Dessa maneira, os depósitos eólicos ocorrem em padrões auto-organizados, que se desenvolvem ao longo do tempo, como resposta de superfície de areia ao regime de ventos (notadamente, sua variabilidade direcional) e ao fornecimento de areia. A vegetação e os obstáculos topográficos constituem fatores significativos, que influenciam na sua morfologia, tanto em campos de dunas costeiras quanto em regiões semiáridas e subúmidas [4].

A região de ocorrência dos *areais*, em toda a sua extensão, comporta depósitos aluviais e eólicos, sendo que muitos deles margeiam os rios. Os depósitos eólicos estáveis observados e mapeados na área de estudo exibem formas originais, remodeladas e desfiguradas pela erosão pluvial e fluvial, e apresentam diferentes graus de preservação sobre a morfologia eólica. O sistema eólico, na área estudada, não possui um padrão morfológico ou uma orientação necessariamente precisa de deposição (Figura 28).

No entanto, se analisarmos os depósitos instáveis (*areais* reativados pela dinâmica climática atual), é possível inferir que há uma orientação regional desses *areais*. Igualmente, são observadas regionalmente colinas associadas a campos de dunas (*dune fields*) do Quaternário, sobretudo do Holoceno, dispostas de forma alongada, no sentido SE (face de barlavento) para NO (face de sotavento), demonstrando o sentido preferencial de paleoventos, formando um corredor de deposição (Figura 30).

Os depósitos eólicos ainda podem ser estáveis, com cobertura herbácea e com afloramentos rochosos aparentes, evidenciando a abrasão na face à barlavento (SE) e sustentando a deposição eólica à sotavento (NO). Também podem apresentar pequenos lagos em deflação (*lunettes* ou PAN), que consistem basicamente em uma área rebaixada pela erosão (abrasão eólica) causada pelo vento, originando pequenos lagos deflacionados. Além disso, os depósitos eólicos podem estar associados a canais fluviais soterrados pelas suas areias. Na área estudada é possível observar esses depósitos eólicos barrando/estrangulando a continuidade da drenagem, visivelmente encaixada em áreas úmidas, atualmente (Figura 30).

O registro geomorfológico e sedimentar sobre a forma de depósitos eólicos pode ser discutido em dois contextos: o primeiro diz respeito a um ambiente em condições de fornecer suprimentos e características climáticas de semiaridez/aridez suficientes para originar depósitos eólicos e campos de dunas; o segundo diz respeito ao ambiente úmido, atual, que herdou morfologias típicas de clima seco, atacadas e remodeladas pela ação erosiva do clima úmido contemporâneo.

As curvas granulométricas dos *areais* dos depósitos eólicos apresentam granulometria e comportamento de curvas granulométricas muito semelhantes às de depósitos típicos de erosão e de deposição eólica, assim como de ambientes desérticos, áridos ou semiáridos, definidas como de areia fina.

A distribuição granulométrica dos pontos amostrados (P1, P2, P3 e P4) apontou classificação textural **Areia** para cerca de 92% das amostras (Figura 18). Vale salientar que, durante a coleta dos testemunhos, a cerca de 1,5 m da superfície, a escavação do perfil toca em fragmentos de rochas, pertencentes à Formação Botucatu ou à Formação Guará. Já o material exposto nos perfis é bastante homogêneo, francamente arenoso, friável e inconsolidado, evidenciando de que se tratam de sedimentos bem selecionados e oriundos do transporte eólico.

As amostras ainda apresentaram valores reduzidos para frações silte/argila, não ultrapassando valores superiores a 4% para silte e a 5,3% para argilas. O maior valor registrado para **Silte** pertence ao P2 (de cerca de 3,7149%) e o valor mais baixo compete ao P3 (de cerca de 1,9366%). Para as **Argilas**, P1 apresentou maior valor (de cerca de 5,3589%) e o menor percentual concentra-se no P3 – cerca de 2,0281%. A fração **Cascalho** é inexistente para todos os perfis.

Dentro da distribuição granulométrica, para a fração **Areia** a classe modal foi atribuída à fração **Areia Fina**, encontrada em percentuais acima de 54% em todas as amostras (64,808% em P1; 54,296% em P2; 56,996% em P3 e 54,389% em P4), seguido dos valores para **Areia Média** (16,317 % em P1; 29,7187% em P2; 28,548% em P3 e 29,710% em P4) e dos valores para **Areia Muito Fina** (10,901% em P1; 7,567% em P2; 9,332% em P3 e 8,049% em P4). (Figura 19)

Os resultados obtidos a partir da distribuição granulométrica, ao serem associados à espacialização dos pontos amostrados (Figura 28), denotam uma diminuição no tamanho dos grãos de P2 para P1, no sentido SE/NO, ocorrendo um aumento crescente no nível de seleção desses grãos de Areia Média para Areia Fina. Do mesmo modo, a fração Areia Muito Fina ratifica esta crescente distribuição e a seleção do tamanho das partículas no sentido Norte: P2=7,57%, P4=8,05%, P3=9,33% e P1=10,90%. Os resultados apontam para uma melhor competência de seleção do agente eólico.

A partir do estabelecimento da classe modal Areia Fina – 0.125mm (64,808% em P1; 54,296% em P2; 56,996% em P3 e 54,389% em P4) foram estabelecidos os testes de morfoscopia através de critérios de arredondamento (Figura 21), de esfericidade (Figura 22) e de textura superficial das partículas/grãos de quartzo (Figura 23). No aspecto arredondamento, as partículas do tipo **Angular** são inexistentes e apenas P4 (4%) guarda grãos bem arredondados.

A maior concentração para a classificação arredondamento ocorre em partículas **Subarredondados** (81% em P1; 80% em P2; 67% em P3 e 51% em P4), seguida de **Subangulares** (14% em P1; 9% em P2; 26% em P3 e 23 % em P4) e, por fim, **Arredondados** (5% em P1; 11% em P2; 7% em P3 e 12 % em P4).

No critério esfericidade, todas as amostras apresentaram esfericidade **Boa** (71% em P1; 82% em P2; 73% em P3 e 35% em P4), com exceção do perfil P4, que registrou baixos valores para boa esfericidade, o que pode ser justificado pelo fato deste perfil estar situado mais

próximo à área-fonte ou por estar associado à Formação Botucatu, a qual apresenta sedimentos menos esféricos. Para a esfericidade **Média**, os perfis P1, com 10%, P2, com 7% e P3, com 13%, se dispõem de maneira mais uniforme, ao passo que o perfil P4 registrou 48% de partículas de média esfericidade. Já os grãos de esfericidade **Muito Boa** ocorrem em todos os perfis e, também, de maneira similar (19% em P1; 11% em P2; 14% em P3 e 17% em P4).

O aspecto esfericidade sob textura superficial dos grãos – sacaroide, mamelonados ou lisos, associado aos estágios de polimento das partículas (polido, polido/fosco e fosco), revela predominância de grãos **Mamelonados** em todas as amostras (80% em P1; 83% em P2; 80% em P3 e 71% em P4), seguidos de partículas do tipo **Sacaroide** (P1 com 13%; P2 com 15%; P3 com 18% e P4 com 26%). A ocorrência de grãos do tipo **Liso** não ultrapassou o percentual de 10% (com 7% em P1; 2% em P2; 4% em P3 e 3% em P4).

Referente ao grau de polimentos dos distintos grãos, estes se apresentam de maneira bastante heterogênea, como pode ser notado no gráfico de textura superficial. O maior percentual de **Polidos** foi registrado nos perfis P2 e P1 (50% e 45%, respectivamente) decaindo em P3 e P4 (27% e 24%, respectivamente). Para os grãos **Foscos**, P1 e P3 indicaram os maiores percentuais (com 38% em P1 e 34% em P3), seguidos de 18% em P4 e 13% em P2. Os grãos em transição – **Polido/fosco** – também apresentaram valores variados (17% em P1; 37% em P2; 39% em P3 e 58% em P4).

A sedimentologia do ambiente deposicional eólico mostra certa variabilidade em suas características. Os sedimentos são compostos predominantemente por areias quartzosas e pela classe modal na fração Areia Fina, variando em menor proporção nas frações de Areia Média e de Areia Muito Fina. As características morfológicas e ópticas dos sedimentos esclarecem certa competência eólica sobre as partículas e sobre seu transporte, demonstrando um grau de selecionamento, evidenciado pela diminuição do tamanho dos grãos no sentido SE-NO, devido ao retrabalhamento e à evolução de Areia Média a Areia Fina no lineamento dos pontos amostrados. Os grãos subarredondados e arredondados somam percentuais acima de 70%, o que pode demonstrar um menor tempo de retrabalhamento desses tipos em meio aquoso.

Com a associação das características de arredondamento, de esfericidade e de textura superficial, imagina-se que os grãos de Areia Média e de Areia Fina podem ter sido transportados pelos ventos, deslocados do setor SE-S para N-NO e depositados sobre a região, conforme a direção do paleovento, medida em trabalho de campo (SE-165°). No entanto, podem ter sido contaminados com grãos provenientes de depósitos aluviais, ou seja, em meio aos grãos com características eólicas podem existir grãos de características típicas da ação hídrica, como no caso dos sedimentos oriundos da Formação Guará ou de sedimentos de ambientes fluviais mais recentes.

Dos 144 mil ha, cerca de 38 ha são de Vales Drenados, 21 ha, de Vales Secos, 18 ha, de Espaços Intermediários/Vertente e 65 ha são compostos de Colinas. Também foram calculadas as áreas e os percentuais equivalentes a cada feição geomorfológica, em cada unidade de relevo. (Quadro 6)

Dessa maneira, tem-se, na unidade Vales Drenados, 0,28 % de *areais*, 0,017% de processos erosivos e 7,47% de depósitos eólicos. Para os Vales Secos, tem-se 0,9% de *areais*, 0,04% de processos erosivos e 22,25% de depósitos eólicos. Vertentes/Espaços Intermediários possuem 0,43% de *areais*, 0,02% de processos erosivos e 17,82% de depósitos eólicos. E, por

fim, na unidade Colinas, são cerca de 0,44% de *areais*, 0,0098% de processos erosivos e cerca de 20% de depósitos eólicos. (Quadro 6)

É nas unidades Colinas e Vales Secos que os depósitos eólicos são mais representativos, com cerca de 20% e 22%, respectivamente. Os cálculos ainda demonstram que é nos Vales Secos que a dinâmica atual, típica de clima úmido, está incidindo, visto que é nesta unidade que ocorrem os maiores percentuais de processos erosivos e de *areais*. Ainda, dos 24.302 ha de depósitos eólicos, cerca de 11% estão sobre os Vales Drenados, 19% sobre Vales Secos, 13% sobre Espaços Intermediários e 54% estão sobre Topos de Colina. De 677 ha de *areais*, cerca de 16% estão sobre os Vales Drenados, 29% sobre os Vales Secos, 12% sobre os Espaços Intermediários e 42% estão sobre as Colinas. Dos processos erosivos, cerca de 24% está sobre os Vales Drenados, cerca de 37% sobre os Vales Secos, 14% sobre os Espaços Intermediários e 23% está sobre os topos de Colinas. (Figura 49)

A distribuição das feições geomorfológicas, associada às unidades de relevo (Figura 48), mostra que os depósitos eólicos ocorrem substancialmente sobre os topos de colina, seguido dos vales secos, refletindo sobre o percentual de ocorrência de processos erosivos, os quais também ocorrem em maior número sobre esses compartimentos (cerca de 37% em topos de colina e de 23% nos vales secos). Da mesma forma, a feição do tipo *areal* ocorre em maior percentual sobre os topos de colinas, seguido dos vales secos, confirmando a dinâmica de ativação e de formação de *areais*, que ocorre em depósitos eólicos, comumente sobre as colinas, desencadeada por processos erosivos, sobretudo pela ação de processos hídricos (ravinamento e voçorocamento), típicos do clima úmido atual.

Sobre os perfis foram associadas as litologias da Formação Guará, da Formação Botucatu, da Formação Serra Geral (Fácies Alegrete e Gramado) e dos Depósitos Aluvionares, além de feições geomorfológicas, como as dos depósitos eólicos, as dos *areais*, as dos processos erosivos, as dos afloramentos rochosos, as da drenagem e as das falhas/fraturas estruturais. Ao sobrepor os planos de informação, é observável a presença de depósitos eólicos e/ou de *areais* ativos sobre todas as litologias, não sendo possível inferir uma relação direta entre as litologias, bem como não é possível estabelecer um padrão de espacialização dos depósitos eólicos sobre a topografia, havendo depósitos tanto na face de barlavento quanto na de sotavento. (Figura 46)

Foram plotados os afloramentos rochosos observados em campos e, portanto, próximos aos depósitos eólicos. Os afloramentos indicam pontos de ancoragem dos sedimentos transportados, visto que há afloramentos em todos os pontos de coleta, comprovando o papel dessa feição no ancoramento dos depósitos sedimentares transportados pelos paleoventos e na formação dos *areais*.

Os depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis representam uma herança de clima mais seco do que o atual e fornecem importantes dados paleoclimáticos para a compreensão da paisagem do Pampa Brasileiro. De acordo com os resultados obtidos e a partir das novas datações, realizadas em sedimentos eólicos coletados, é possível estabelecer três fases de ressecamento climático e de reativação eólica, com mobilização e com deposição de sedimentos, durante o Holoceno.

O primeiro episódio, 8.200 ± 700 AP, coincide com o fim do Holoceno inferior (Estágio *Greenlandian* – 11.700 a 8.326 AP); o segundo episódio, 5.650 ± 1.120 AP, corresponde ao Holoceno médio (Estágio *Northgrippian* – 8.326 a 4.200 AP); e o último episódio, 1.910 ± 275 AP, correspondendo ao Holoceno superior (Estágio *Meghalayan* – iniciado há 4.200 AP)

(Quadro 14). Esses máximos de ressecamento podem ser, também, associados e evidenciados a partir da morfologia dos depósitos eólicos e de características granulométricas dos sedimentos eólicos analisados. Igualmente, a morfologia dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis reflete as características dos sedimentos e a variabilidade do sentido do vento.

A partir da relação entre a distribuição dos pontos de coleta, do sentido de deslocamento das areias (inferido pelo sentido de paleoventos e pelo aspecto granulométrico) e das diferentes temporalidades dos depósitos eólicos, pode-se supor que a dinâmica de mobilização de material e de deposição tenha ocorrido ao longo do Holoceno, durante os três episódios de ressecamento climático (8.200 ± 700 , 5.650 ± 1.120 e 1.910 ± 275), mobilizando material de SE para NO.

As areias de P1 (situado no quadrante NO da área de estudo) são mais bem classificadas: são partículas mais jovens e finas, compostas por cerca de 64% de Areia Fina. As areias de P2 (54% de areia fina, no quadrante SO) e de P3 e P4 (respectivamente, 57% e 54% de areia fina, no quadrante SE) são mais antigas e há um ordenamento na seleção de partículas no sentido SE/NO, ou seja, quanto mais situados à NO, mais bem classificadas são as partículas.

Em coleta de campo, a escavação dos perfis tocou em fragmentos de rochas ao atingir uma profundidade média de 1,50 cm, sem exceção. Supõem-se que os depósitos se conformem como um manto de areia de pouca espessura, caracterizando a camada mais externa sobre a superfície, a última a ser depositada. Ainda, ao classificar a morfologia dos depósitos estudados como campos de dunas (*dune fields*), atribuindo-se a mesma classificação dos depósitos eólicos existentes na Argentina e no Uruguai, pode-se inferir que os campos de dunas do Pampa Brasileiro estão associados a contextos dinâmicos regionais mais amplos, relacionados às dimensões do Pampa Argentino e Uruguai.

Por fim, aborda-se o contexto das dinâmicas climáticas atuais e as mudanças de uso da terra do Pampa, a partir da produção agrícola contemporânea, que possui como aptidão primária a pecuária e na qual se instalaram, *a posteriori*, as monoculturas de grãos e arbóreas. Assim, abordam-se, inicialmente, as relações entre as dinâmicas climáticas e as meteorológicas e, posteriormente, as dinâmicas agrícolas do passado recente (década de 1970) e as atuais, dinâmicas estas que potencializam a degradação das feições eólicas identificadas na área de estudo.

De maneira geral, os tipos climáticos estabelecidos para a região Sul do Brasil são controlados por sistemas tropicais e polares (Massa Tropical Atlântica (Ta), Massa Polar Atlântica (Pa), Massa Equatorial Continental (Ec) e Massa Tropical Continental (Tc)). No entanto, interessa-nos sobretudo explicitar o comportamento habitual do clima para a zona que abrange o objeto de estudo, o Sudoeste do Estado.

Para a área de ocorrência dos depósitos eólicos continentais e para os *areais*, Rossato (2012, p. 397) individualiza o tipo clima **Subtropical Ib - Pouco Úmido, com Inverno Frio e Verão Quente** (Figura 60), caracterizado como de maior influência dos sistemas polares, mas com maior participação dos sistemas tropicais continentais, associados aos efeitos da continentalidade e do relevo (Cuesta do Haedo), sendo os sistemas frontais os responsáveis pela maior parte das precipitações [5].

Embora considere-se alta a precipitação média anual (de 1.400mm/ano a 1.700mm/ano), esta ocorre em 70 a 90 dias de chuva, concentrando-se em poucos dias ao mês (entre 6 e 9 dias), nos meses de outono e de primavera. Já a temperatura média anual varia entre 20°C e 23°C,

com temperaturas médias mensais oscilando entre 11°C e 14°C (no mês mais frio) e entre 23°C e 29°C (no mês mais quente). Estes dados evidenciam a má distribuição da precipitação para esta tipologia climática, contrapondo-se à classificação anterior, que descrevia a região como de chuvas bem distribuídas.

Os dados sobre a distribuição mensal de chuvas confirmam a má distribuição das precipitações, quando se constata que a concentração pode ocorrer de maneira reduzida, em 3 a 6 dias, nos meses de maio, de agosto e de dezembro. No mês de agosto, além da redução de dias, registra-se a diminuição do volume da precipitação (entre 75mm e 115mm). Os meses do outono e da primavera registram maiores volumes de chuva mensal, entre 115 e 155mm [5].

Um dos fatores que contribui com essa dinâmica de redução da precipitação nesta zona climática é a trajetória dos sistemas frontais em contato com as formas de relevo, pois a orientação do *front* da Cuesta do Haedo (reverso na direção NO) e a posição do Escudo Sul-Rio-Grandense formam um corredor, permitindo a entrada dos sistemas frontais na região do vale do rio Santa Maria. Estes sistemas frontais, ao se depararem com as altas topografias do *front* de cuesta, colocam o ar em movimento de ascendência, favorecendo a formação de nuvens e de precipitação em maior quantidade, distribuídas em mais dias. Por essa razão, as chuvas são mais frequentes no *front* da cuesta, restringindo-se em direção ao reverso [5].

Os ventos apresentam maior frequência na direção Sudeste, ao longo do ano, porém, no outono e no inverno, a direção Noroeste se mostrou mais frequente. No entanto, observa-se que a direção Sudeste (SE) é claramente predominante na primavera e no verão, entretanto o mesmo não ocorre durante o outono e o inverno. Nestes, há duas direções predominantes, com frequências muito próximas, Nordeste (NE) e Sudeste (SE) [6].

Para a análise dos processos erosivos, sob a ótica da geomorfologia dinâmica, é relevante observar os dados de precipitações diárias e mensais. A região de ocorrência dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis pode acumular precipitações diárias de até 110mm, não importando o mês. Podem ocorrer fortes precipitações diárias na primavera (em setembro, em outubro e em novembro), no outono (em março, em abril, em maio e em junho) e no mês de julho, no inverno, sendo que os meses de abril e de novembro apresentaram as mais fortes precipitações diárias, no período analisado. Os meses de dezembro, de janeiro, de fevereiro e de agosto apresentaram uma considerável redução nas precipitações. Este comportamento pluviométrico apresenta distintas consequências, sendo a principal delas o desencadeamento das fases de saturação do solo e de escoamento superficial concentrado, principal agente erosivo do tipo ravina, francamente ligado à gênese dos *areais* [7][8].

As precipitações mensais no período entre 2000 e 2017, no município de Alegrete/RS, foram elevadas (acima de 200mm) e podem ter ocorrido chuvas diárias de 20mm (de alto potencial erosivo) nos meses de setembro, de outubro e de novembro, em especial. O volume de chuva também foi significativo em março, em abril e em maio. Os meses de abril e de novembro apresentaram os maiores volumes, chegando a 661mm no mês de novembro e ratificando a premissa de ocorrência de maior volume de precipitação nesses meses. Os meses que apresentaram menor precipitação (abaixo de 100mm) nos quais podem ter ocorrido chuvas diárias de 3mm (de baixo potencial erosivo), foram junho, julho e agosto (Figura 64).

A estreita relação entre as condições climáticas e os processos erosivos/deposicionais da arenização mostra como a intensidade da ocorrência de meses secos ou de episódios chuvosos conduz à dinâmica erosiva nos depósitos eólicos, revelando as fases do escoamento

concentrado, bruscas e potentes, e, também, as fases nas quais prevalece a ação eólica em períodos de seca, promovendo processos morfogenéticos sobre as superfícies frágeis do ponto de vista litopedológico, sendo observados, especialmente, em processos do tipo ravinas e voçorocas, associados a depósitos eólicos quaternários estáveis ou instáveis.

Este é o panorama geral das condições climáticas atuais no Sudoeste do Rio Grande do Sul, região que guarda amplos campos de coxilhas, cobertos por vegetação rasteira ou de pequeno porte, com exceção das áreas de mata ciliar, ao longo da rede de drenagem, e nas vertentes junto aos relevos testemunhos. Como já mencionado, esta paisagem guarda, como relictos do passado, os depósitos eólicos continentais estáveis, que, em condições climáticas contemporâneas, estão sujeitos aos processos erosivos superficiais. A partir do escoamento concentrado, inicia-se a ocorrência de degraus de abatimento, que, na sequência, evoluem em ravinas e em voçorocas, dando início ao processo de arenização, com a formação de *areais*. Estes, sujeitos à ação eólica, remobilizam, transportam e depositam as areias, conforme a sua capacidade aerodinâmica e de ancoragem.

Práticas agrícolas inadequadas e incompatíveis com a aptidão primária do Pampa, a pecuária, potencializam os processos erosivo-deposicionais sobre os depósitos eólicos estudados e revelam a relação entre sociedade/natureza sob novas variáveis, especialmente as relacionadas às atividades econômicas ligadas à agropecuária (pecuária extensiva e cultivo de monoculturas, como arroz, milho, trigo, soja e, recentemente, o plantio de eucalipto), fundamentais para o setor do agronegócio, em expansão em todo território nacional e, mais especificamente, para a área de estudo e para o seu entorno.

O Sul do Rio Grande do Sul é a região que tradicionalmente desenvolve a pecuária extensiva. No entanto, os agricultores vêm transformando suas fazendas, através da produção do arroz (nas várzeas), de pastagens artificiais, de milho, de trigo e de soja (nas colinas) e, por último, vêm favorecendo o plantio de novas monoculturas arbóreas exóticas, como o eucalipto. Neste espaço subtropical, a intensificação desses cultivos é acompanhada por pressões sobre os recursos hídricos e sobre os solos, que são particularmente sensíveis à erosão, sobretudo na área de estudo [9].

Para avaliar a degradação da terra, as limitações e fragilidades do meio e a pressão dos padrões agrícolas exercidos sobre o meio, é necessário analisar as fases de ocupação do território, ao lado de dados estatísticos. A análise destes dados permite compreender a diferenciação das formas de pressão, com base na diversidade de processos históricos, na persistência das práticas agrícolas e no estudo da intensificação da pecuária extensiva e da agricultura mecanizada especulativa [7].

Das primeiras formas de apropriação às formas contemporâneas de exploração dos recursos naturais, a partir da pecuária e da produção agrícola, pode-se dizer que os índios pouco transformaram a paisagem original, pois as pequenas populações nativas utilizavam apenas instrumentos rudimentares, como, por exemplo, o machado de pedra polida. Do mesmo modo, no século XIX, não se pode falar de um território organizado, em uma base econômica que possa representar identidade regional, pois os conflitos e a indefinição da fronteira política entre as coroas portuguesas e espanholas não permitiram a organização de uma área agrícola no Rio Grande do Sul. No entanto, pode-se falar de uma pressão agrícola real sobre os Campos Limpos, a partir da década de 1970, com o estabelecimento de culturas mecanizadas, facilitadas pelo relevo suave das colinas cobertas pela vegetação herbácea e pelo fácil manejo dos solos [7].

As pastagens naturais, em colinas cobertas de herbáceas, sempre foram utilizadas para a criação de gado, cuja tradição foi introduzida pelos missionários jesuítas, desde o século XVII. A pecuária predomina até os dias atuais, entretanto a introdução de cultivos alimentares, sobretudo o desenvolvimento de culturas agroindustriais, desde o século XIX, mudou a forma de ocupação sobre os campos nativos. Os criadores de gado dos Campos Limpos passaram a dividir o espaço com os agricultores do Planalto Meridional (Planalto Basáltico), situado ao Norte do Estado, ou optaram pelo cultivo de grãos. Os agricultores migrantes introduziram práticas mecanizadas na região, o que acentuou a pressão sobre os solos arenosos, friáveis aos processos erosivos e à vegetação herbácea, já sujeitos ao manejo de corte e à queima, praticada pela pecuária extensiva [7].

Foram mapeados os usos e a cobertura da terra entre os anos de 1982 e de 2016, com a finalidade de conferir o crescente avanço das atividades agrícolas sobre os campos nativos do Pampa. Os usos mapeados foram: Campo, Mata Ciliar, Lavoura, Solo Exposto, Corpo d'água, Cultivo Irrigado e Areais (Figura 70 e Figura 71). Dos distintos usos, houve aumento significativo da superfície destinada à Lavoura, em detrimento das áreas de Campo. A Silvicultura é observada somente no ano de 2016, pois o incentivo ao plantio de exóticas teve início ao final da década de 1970. Os cálculos de uso entre 1982 e 2016 demonstraram que houve uma redução nas áreas de Mata Ciliar, visto que, em 1982, este uso representava cerca de 12% da área total, reduzindo para cerca de 4% em 2016. O Campo também sofreu uma redução de cerca de 14%, pois correspondia a cerca de 64% da área total em 1982 e, em 2016, teve sua área reduzida em cerca de 50% (Quadro 18).

A superfície destinada ao cultivo irrigado reduziu de 13%, em 1982, para cerca de 7%, em 2016. No entanto, houve um aumento significativo nas áreas de Corpos de água (de 7% para 12%). Neste caso, o dado pode não ser real, pois o classificador pode ter confundido corpos de água com as áreas destinadas a irrigação ou, ainda, pode estar sob influência de meses mais ou menos chuvosos do ano. Já as relações de conversão campo/lavoura e, em menor proporção, de campo/cultivo irrigado são visualmente evidentes nos mapas. A superfície de Lavoura teve um aumento de cerca de 20% no período observado. Em 1982, este uso correspondia a cerca de 2,5% do total da área, passando para 22% em 2016 (Quadro 18).

O resultado quanto aos diferentes usos pode ser corroborado por dados estatísticos para o município de Alegrete, disponíveis no Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Os dados também mostram um crescimento da área ocupada por lavouras (de 26 mil ha, em 1970, para 107 mil ha, em 2017) e uma diminuição das áreas de pastagens (de 680 mil ha, em 1970, para 575 mil ha, em 2017) (Figura 66).

Em relação à produção de soja, esta não existia em 1960, mas, em 2017, é o segundo maior cultivo produzido, passando de apenas 162 toneladas, em 1970, para cerca de 124 mil toneladas, em 2017. Analisando a produtividade de outros cultivos temporários, identifica-se que o arroz, no município de Alegrete, é produzido desde 1960, aumentando a cada década. Foram produzidas cerca de 20 mil toneladas, em 1960, e cerca de 480 mil toneladas, em 2017 (Quadro 17).

A relação entre *arenização* e concentração fundiária, principalmente no que diz respeito à sojicultura, afeta em maior proporção os pequenos e médios produtores (com menos de 500 ha) se comparados aos grandes produtores (com mais de 500 ha), pois a presença de *areais* causa menor impacto na produção dos grandes produtores, se levada em consideração a relação entre a superfície dos *areais* e a área disponível à produção agrícola [10].

Os demais cultivos, milho e trigo, possivelmente devem contemplar o mercado local, pela baixa produção, além das restrições naturais, especificamente em relação ao trigo. Alegrete apresenta perfil diferente dos municípios vizinhos, nos quais a soja vem substituindo, inclusive, as lavouras de arroz e as pastagens próximas, como demonstram os números referentes à produção do arroz no município, que é o cultivo temporário que mais cresceu, possivelmente pela localização próxima ao rio Ibicuí e a seus tributários, cujas planícies aluviais são favoráveis ao cultivo de arroz irrigado.

Ainda, observa-se uma evidente diminuição da área ocupada por pastagem entre 1970 e 1985. A partir de meados de 1980, a atividade de cultivos ganha área até 1996, ponto em que volta a perder área até 2006, ano de retomada do ganho de área destinada à pastagem, o que ocorre até os dias atuais (2017). A produção de gado se mantém constante, discreta, mas crescente (Figura 68). Apresenta declínio entre os anos de 1985 e de 2006, mas há a retomada na produção até 2017. A questão global é a de que a produção de cabeças aumentou, ao longo dos anos, e a área ocupada por pastagem diminuiu, causando pressão sobre a cobertura vegetal herbácea e sobre o solo, respondendo a um comportamento padrão na região, pois os municípios vizinhos apresentam situações semelhantes.

Outro dado interessante diz respeito à aquisição de maquinário, utilizado na agricultura mecanizada (Figura 67). Em 1960, início da Revolução Verde, os agricultores de Alegrete cultivavam a terra com 382 tratores e, em 2017, o número de tratores ultrapassa as duas mil unidades. Os demais tipos de maquinários utilizados no plantio e na colheita também se mantêm em constante aquisição pelos agricultores.

Relacionado às áreas ocupadas por proprietários e às áreas arrendadas (Figura 69), é possível observar que, desde a década de 1970, as terras destinadas ao arrendamento aumentaram gradativamente, sem declínio até os dias atuais (2017). Desde 1970, a prática de arrendamento comum declinou na metade da década de 1990, registrando a mais baixa área em 2006 (68.384 ha). Por alguma razão, no período entre 2006 e 2017, a área ocupada por arrendatários chega a 181.935 ha, contra uma área de 126.073 ha, registrada na década de 1970. Os dados aqui apresentados não nos mostram se as terras arrendadas foram usadas para a agricultura ou para pecuária, mas, provavelmente, o uso acompanha o aumento dos cultivos, em detrimento da pecuária extensiva, a principal atividade historicamente desenvolvida no município e na região do Pampa, até então.

Por fim, pode-se dizer que os distintos usos sobre as colinas, associados aos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, determinam as dinâmicas ambiental e econômica no Pampa brasileiro. Como já mencionado, o Pampa possui, como aptidão primária, a pecuária, e a conversão de uso, sobretudo de campo de pastoreio para lavoura, destinada a cultivos agrícolas, intensificou a pressão sobre os recursos hídricos, sobre a vegetação herbácea e sobre os solos, que são particularmente sensíveis à erosão.

Cabe ressaltar que, atualmente, estudos incipientes vêm focando esforços em outros usos, sobretudo os que podem propiciar novas resoluções, para minimizar problemas causados pelo processo da *arenização*, como, por exemplo, as investigações geotécnicas, que buscam contribuir com a estabilização das areias e com sua utilização como material alternativo na implantação de pavimentação de estradas rurais ou, ainda, em estudos de viabilidade técnica para a confecção de tijolos, visando o aproveitamento em construções rurais [11]. No entanto,

as propostas apresentadas podem ser consideradas inviáveis, uma vez que poderão agravar ainda mais o processo de *arenização*.

Além disso, estudos de revalorização da atividade de pecuária vêm comprovando a sua viabilidade, considerando a aptidão primária dos campos herbáceos sulinos. Iniciativas de conservação das pastagens do Cone Sul, promovidas pela *Alianza del Pastizal*, vêm se tornando cada vez mais importantes e ganhando apoio, inclusive por parte dos pecuaristas, que veem nesta adesão uma forma de preservação e de conservação dos campos, de valorização da paisagem, da cultura e, sobretudo, da atividade da pecuária, lucrativa para os produtores brasileiros, uruguaios, argentinos e paraguaios que fazem parte do grupo e que seguem uma série de orientações sobre manejo de pastagens e sobre produção animal.

REFERÊNCIAS

- [1] TRIPALDI, Alfonsina; ZÁRATE, Marcelo A. *A review of Late Quaternary inland dune systems of South America east of the Andes*. Elsevier; *Quaternary International*; 410; Part B; p. 96-110, 2014.
- [2] SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes & VERDUM, Roberto. *Desertification in the Tropics. Encyclopedia of Life Support Systems*. Paris: UNESCO Publishing, p. 1-17, 2008.
- [3] GUASSELLI, Laurindo Antonio. O mapeamento de areias a partir de sensoriamento remoto. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: ComPasso Lugar-cultura/Imprensa Livre, p. 97-123, 2012.
- [4] GOUDIE, Andrew S. *Encyclopedia of geomorphology* (Volume 1). Londres: Routledge, 1156 p., 2004.
- [5] ROSSATO, Maira Suertegaray; SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. O clima no Sudoeste do Rio Grande do Sul. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Orgs.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: ComPasso Lugar-cultura/Imprensa Livre, p. 385-411, 2012
- [6] FAVERA, Alexandre Ceretta Dalla; LUIZ, Eduardo Weide; SCHUCH, Nelson Jorge; MARTINS, Fernando Ramos, PEREIRA, Enio Bueno. Potencial eólico no Rio Grande do Sul – distribuição estatística dos ventos na região Central do Estado. **Rev. Geográfica Acadêmica**, v. 6, n. 1, p. 38-51, 2012.
- [7] VERDUM, Roberto. *Approche géographique des "déserts" dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana, État du Rio Grande do Sul, Brésil*. 1997. 211 f. Tese (Doutorado) - UFR de Géographie et Aménagement, Université de Toulouse Le Mirail, Toulouse, 1997.
- [8] SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes; VERDUM, Roberto; GUASSELLI, Laurindo Antonio (Orgs.). **Atlas da Arenização, Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento e Secretaria de Ciência e Tecnologia, Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 85 p. 2001.
- [9] CORBONNOIS, Jeannine; LAURENT, François; ANDREU-BOUSSUT, Vincent; MESSNER, François; VIEIRA, Rosa Medeiros; SOGUE, Makhtar. *L'intensification des pratiques agricoles et la mobilisation des ressources naturelles dans La Pampa du Sud du Brésil*. **Vertigo**. Volume 14. Numero 1, mai. 2014. Disponível em: <https://vertigo.revues.org/14590>. Acesso em: 15 mai. 2018.
- [10] VERDUM, Roberto. Falta controle sobre a poluição por agrotóxicos das águas do Pampa. Entrevista com Roberto Verdum. Revista online **Instituto Humanitas Unisinos – ADITAL**, por Vitor Necchi – 08 de fevereiro de 2017. Disponível em: <http://www.ihu.unisinos.br/?id=564647>. Acesso em: 04 nov. 2018.
- [11] ALMEIDA, Felipe; TAPAHUASCO, Wilber Feliciano Chambi; ODY, Lissara Polano; CAMPAGNOLO, Luciele Bilhalva. Estudos de correlação granulométrica de distintos solos de origem eólica. **Anais – 9º SIEPE – Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Disponível em: <http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/29653> Acesso em: 26 dez. 2018.

DÉPÔTS ÉOLIENS QUATERNAIRES ET VULNÉRABILITÉ CONCERNANT LES
ACTIVITÉS AGRICOLES EN ZONES D'ARENIZAÇÃO DANS LA PAMPA
BRÉSILIENNE⁶

Auteure: Tania Cristina Gomes

Directeur thèse au Brésil: Prof. Roberto Verdum

Directeur thèse en France: François Laurent

Co-encadrante en France en France: Jeannine Corbonnois

Lieu et date de la soutenance: Porto Alegre, 4 de juillet de 2019.

La traduction en français des figures se trouve en annexe (apêndice), à la fin de l'ouvrage

RÉSUMÉ ÉTENDU

Conception de la problématique, justificative et proposition de recherche

L'Amérique du Sud présente des systèmes de dunes associés à des dépôts éoliens continentaux qui proviennent d'une multiplicité de contextes paléoenvironnementaux, dans des conditions climatiques variables, allant de l'humide-subhumide au semi-aride-aride. L'évolution des systèmes éoliens du Quaternaire, en particulier de l'Holocène, a été déduite d'études, concentrées dans des zones restreintes, tandis que de nombreuses régions restent inexplorées. En outre, les hétérogénéités environnementales et géomorphologiques continentales soulèvent des questions sur la représentativité des archives étudiées, ainsi que sur la possibilité de comprendre les résultats et les interprétations à l'échelle régionale, les champs de dunes de l'intérieur de l'Amérique du Sud ayant été peu explorés et étant moins connus que les séquences de *loess* sur le continent [1].

Cependant, au cours de la dernière décennie, les études sur les systèmes éoliens à l'intérieur du continent en Amérique du Sud ont repris, notamment avec des informations paléoenvironnementales et paléoclimatiques au Quaternaire. Des études récentes fournissent des descriptions et interprétations plus détaillées de la genèse, de la composition, de l'âge absolu et de la géomorphologie des systèmes éoliens, ainsi que le catalogage de nouveaux champs de dunes, encore inconnus, rapportés avec une estimation quantitative de leur âge, communément inférée par la luminescence stimulée optiquement, il s'agit d'une connaissance fondamentale pour corréliser les systèmes éoliens avec d'autres registres de *proxy* et pour comprendre les réponses de ces morphologies aux changements climatiques [1].

L'état actuel des connaissances en matière des systèmes de dunes à l'intérieur du continent, qui sont présents dans le nord tropical (~ 10°N à 10°S) couvre les champs de dunes des Llanos del Orinoco et du bassin amazonien, composés principalement de dunes paraboliques, blowout (de déflation) et linéaires, développées dans les plaines inondables du fleuve. Le Sud tropical (~ 10° ~ 22°S) comprend les systèmes éoliens situés le long des vastes plaines du Gran Chaco et ceux situés dans les bassins fluviaux, associés au bouclier cratonique brésilien (São Francisco, Pantanal et Mato Grosso). Il n'existe pas de données chronologiques disponibles pour les dunes linéaires et pour les lunettes décrites dans le Pantanal, même s'il est admis que ces crêtes linéaires ont été distinguées dans la partie supérieure de la rivière Parana (Mato Grosso), associées à une accumulation de sable à différentes phases de l'Holocène. Le Piémont andin et la pampa occidentale, dans l'est subtropical de l'Amérique du Sud, présente

⁶ Thèse de Doctorat en Cotutelle Programme de Pos Graduation en Géographie – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brésil. École Doctorale Sociétés, Temps, Territoires – Le Mans Université, France. Mai, 2019.

une grande variété de morphologies d'origine éolienne, telles que les dunes de type Barchan-barchanoid, linéaire, parabolique, transversale et lunettes, bassins de déflation, champs de dunes, sachant que les datations par luminescence suggèrent une activité éolienne à la fin des périodes glaciaires et à l'Holocène [1].

À l'extrême sud du Brésil, le sud-ouest de l'État de Rio Grande do Sul présente, de manière frappante, des taches de sable (*areais*) dans le paysage de la pampa brésilienne, un biome qui représente 63% du territoire de l'État (**Carte 1**). Les dépôts éoliens stables et/ou instables sont l'héritage d'un climat plus sec que le climat actuel et fournissent des preuves paléoclimatiques importantes pour la compréhension du paysage de la pampa. Dans les conditions climatiques contemporaines, la région possède de vastes champs de collines (*coxilhas*, dans la dénomination régionale) recouverts d'une végétation arbustive herbacée et de parcelles sablonneuses, sur les versants de reliefs témoins (*cerros*) et sur le fond des vallées, en désaccord avec le paysage typique du climat pluvieux actuel. Ces dépôts de sable sont en même temps sous l'action des vents pendant la saison sèche et soumis à une érosion superficielle et souterraine pendant la saison des pluies, ce qui remobilise les sédiments éoliens non consolidés. Ces dépôts de sable sont, en même temps, sous action éolienne, surtout dans les saisons sèches, et soumis à l'érosion superficielle et sous-superficielle à l'occasion des saisons pluvieuses, ce qui réactive les dépôts et met en marche le processus d'*arenização*⁷ [2] et la formation des *areais* (taches de sable) à travers la remobilisation des sédiments éoliens non consolidés.

Les taches de sable (*areais*) se trouvent dans deux compartiments géomorphologiques différents, indépendamment de la Cuesta en tant que compartiment géomorphologique: dans l'escarpement érosif du plateau méridional, caractérisant des zones de relief accidenté et la présence de reliefs témoins; et dans la Dépression périphérique, dans laquelle prédominent les paysages de la pampa brésilienne, avec la présence de reliefs montagneux et de type collines (*coxilhas*), avec des altitudes pouvant atteindre 200 m. Ainsi, les taches de sable sont présentes principalement dans les collines à substrat gréseux et proviennent principalement du vent, admettant la fragilité de la morphologie des collines, en raison de la présence de sols squelettiques et de formations superficielles quaternaires inconsolidées [3].

De plus, les données associées à la lithologie montrent que 98,52% des taches de sables (*areais*) sont situées sur les formations de Botucatu et Guará ou sur des dépôts alluviaux en contact avec ces formations, et que 38,45% des taches de sables (*areais*) sont situées sur la formation de Botucatu (désert de Botucatu - grès d'origine jurassico-crétacée) et 52,92%, sur la formation de Guará, définie comme Neojurassique, résultant de changements climatiques successifs, entrecoupés de périodes humides avec des périodes d'aridité, présentant des faciès parfois constitués de dépôts fluviaux, parfois de dunes [3] – (**Carte 2**).

La zone d'étude est d'environ 144 000 ha et est située le long de la route RS-377, entre les municipalités d'Alegrete et de Manoel Viana. L'aire d'étude présente des caractéristiques importantes pour l'étude des morphologies éoliennes en tant qu'objet de thèse. Parmi les

⁷ [2] *Arenização* (érosion des sols sableux) est le processus de formation des *areais* (taches de sable) qui, en synthèse, dérivent du retravaillage de dépôts sablonneux, dans le cas de formations superficielles quaternaires, résultant de la dynamique morphogénétique où les processus hydriques superficiels, en particulier l'écoulement concentré du type ravin ou *voçoroca*, associés aux pluies torrentielles, exposent, transportent et déposent sable, en donnant origine à la formation d'*areais*, qui, en contact avec le vent, tendent à un constant transport (SUERTEGARAY; VERDUM, 2008).

éléments mis en évidence dans la zone sélectionnée, on observe la présence de sable, de morphologies typiquement associées à des dépôts éoliens stables et/ou instables; affleurements de blocs de grès; étangs dans le bassin de déflation, paléodrainages/goulots d'étranglement valons de dépôts éoliens; processus érosifs linéaires, tels que ravins et voçorocas entre autres caractéristiques.

Considérant que les caractéristiques géomorphologiques continentales, telles que les dépôts éoliens anciens et stables, témoignent également des conditions climatiques passées et, bien que peu étudiées, elles sont difficiles à identifier et à classer, alors qu'elles sont, dans les régions intérieures au continent, des indicateurs géomorphologiques et sédimentologiques des changements paléoclimatiques pendant le Quaternaire, et peut certainement aussi composer d'importants enregistrements de vents dans le sud-ouest de l'État de Rio Grande do Sul.

Considérant que les dépôts éoliens stables et/ou instables étudiés il représentent des preuves notables de changements climatiques régionaux qui ont influencé la formation et la transformation du paysage actuel, les hypothèses suivantes sont inférées: 1) que les taches de sable (*areais*), qui sont associés à la dynamique érosive dans les formations superficielles du Quaternaire, ont leur genèse liée à la dynamique naturelle; 2) que l'origine des dépôts éoliens de la zone d'étude peut être datée d'une période géologique récente, environ 2 000 A.P., puisque les dépôts laissent des traces et des caractéristiques nettes composant les formations de surface les plus récentes du cycle de dépôt; 3) les morphologies des *coxilhas* et des rampes actuelles présentent des preuves d'association avec les formations de surface quaternaires typiques d'altération/dépôts hydriques et éoliens, c'est-à-dire qu'elles associent la forme à la genèse.

Cette étude cherche également à dévoiler la relation entre la société et la nature, en considérant de nouvelles variables, en particulier celles liées aux activités économiques liées à l'agriculture (élevage extensif et cultures, telles que le riz, le maïs, le blé, le soja et récemment des plantations d'eucalyptus), fondamentales pour le secteur agroalimentaire, s'étendant sur l'ensemble du territoire national et plus particulièrement dans la zone étudiée et ses alentours.

Pour ce faire, le contexte de la dynamique climatique actuelle et les changements d'occupation du sol dans la zone d'étude, qui a pour principale aptitude l'élevage du bétail et qui connaît plus récemment l'installation de monocultures de céréales et d'arbres. Ainsi, les relations entre la dynamique climatique et météorologique et, enfin, la dynamique agricole du passé récent (1970) et du présent sont discutées, dynamiques qui potentialisent la dégradation des caractéristiques du vent identifiées dans la zone d'étude.

C'est dans le cadre des premières réflexions et de l'étude des principales hypothèses que l'objectif général de la thèse est élaboré, dont le but est d'identifier, dans le domaine d'étude, l'association entre les caractéristiques géomorphologiques actuelles et les formations superficielles du quaternaire, typiques du climat sec, ainsi que la dynamique érosive/sédimentaire agissant dans ces dépôts, dans le contexte de cette région, historiquement soumise à la pression agricole. Les principaux objectifs de ce travail sont les suivants: 1) Identifier, classer et cartographier les paléodépôts éoliens existants dans la zone d'étude; 2) Caractériser les processus géomorphologiques anciens qui ont généré ces dépôts, pour comprendre la dynamique érosive et sédimentaire des dépôts éoliens; 3) Caractériser le contexte d'évolution et de la pression agricole, associé aux systèmes de pâturage et aux monocultures.

Matériel et Méthode

Les recherches ont eu pour point de départ, outre le recensement des connaissances scientifiques accumulées sur le sujet, des observations de terrain sur la formation de dépôts éoliens stables et/ou instables, composés de sédiments quaternaires, principalement les formations superficielles de l'Holocène. À partir de cela, une enquête bibliographique spécifique (théorique, méthodologique et pratique) et une cartographie documentaire ont été réalisées.

Le cadre théorique et conceptuel et les procédures méthodologiques, ainsi que les techniques opérationnelles appliquées dans les travaux de recherche, ont guidé le cheminement méthodologique suivi, dans lequel le cadre théorique et conceptuel adopté était basé sur la proposition de thèse, à savoir que les procédures méthodologiques ont conduit aux techniques qui ont été appliquées.

Ainsi, les procédures techniques ont été adoptées conformément aux objectifs spécifiques proposés et combinées aux étapes sur le terrain, en laboratoire et au bureau. La phase d'observation sur le terrain ont conduit aux premières interprétations de l'évolution morphologique des dépôts éoliens stables et / ou instables, ainsi que des points de collecte des matériaux sédimentaires éoliens, pour l'analyse granulométrique et morphoscopique, ainsi que pour la datation absolue, selon la méthode de Luminescence Stimulée Optiquement (Protocole SAR).

Quatre points de collecte ont été échantillonnés dans des tranchées (P1, P2, P3 et P4) situées dans des zones considérées comme des dépôts éoliens, en tenant compte des aspects morphologiques du relief, avec l'arenização, des chenaux réactivés, des chenaux souterrains, et des affleurements rocheux, c'est-à-dire prenant en compte le modèle morphologique adopté pour l'identification et la classification des dépôts continentaux stables et/ou instables (**Table 1**). Il convient également de noter que des échantillons individuels de chaque profil ont été prélevés, en raison de l'homogénéité du matériau sédimentaire, et que les données recueillies se trouvaient toutes dans des collines (*coxilhas*) supposées provenir de sédiments éoliens, dont la profondeur ne dépassait pas 160 cm.

Après la collecte des échantillons de sable, la phase de laboratoire a conduit à l'analyse de la datation morphologique, morphoscopique et absolue par Luminescence Stimulée Optiquement - OSL, pour la détermination de la géochronologie et la reconstruction des fluctuations paléoclimatiques. Les analyses granulométriques et morphologiques ont été effectuées au laboratoire de sédimentologie du Centre d'études côtières et océaniques, sous la direction méthodologique du technicien en géologie Gilberto Silveira do Santos.

L'étude granulométrique comprend des analyses physiques pour la détermination granulométrique des éléments grossiers et fins de l'échelle de Wentworth (1922) et des propriétés morphoscopiques (rotondité (Krumbein (1941)), de la sphéricité (Rittenhouse (1943)) et de la texture de surface (Bigarella (1946)). La morphoscopie a été réalisée à partir de l'individualisation de la classe modale (0,125 mm - sable fin) à l'aide d'une loupe binoculaire. La classification des grains de la classe modale a été réalisée par classification visuelle, sous individualisation de 100 grains, en observant l'absence d'échantillonnage de chaque échantillon afin de déterminer la proportion directe du pourcentage d'analyse de la rotondité, de la sphéricité et de l'état de surface. Il convient de noter que les fines (limon/argile), extraites au cours du processus de pipetage, ont été attaquées avec une solution d'acide chlorhydrique à 10% (HCl) et chauffées jusqu'à ce que l'effervescence se produise afin d'enlever la pellicule colorant les grains, redonnant aux grains leur coloration d'origine.

Les analyses pour la détermination de la géochronologie par luminescence ont été effectuées dans deux laboratoires. Au Brésil, les sondages P1 et P2 ont été datés au laboratoire Datação Comércio & Prestação de Serviços LTDA, à São Paulo (SP), avec le projet QUALPROSUL: Qualités de la production agricole dans le Rio Grande do Sul - CAPES / COFECUB. En France, les sédiments de P3 et de P4 ont été datés au Laboratoire IRAMAT - Institut de Recherche sur les Archéologues de l'Université Bordeaux Montaigne - France, sous la responsabilité de la chercheuse Christelle Lahaye, spécialiste en chronologie. Ces résultats ont été obtenus gratuitement en tant que matériel d'intérêt scientifique et en tant que future proposition de recherche commune.

Pour la cartographie des dépôts stables et/ou instables et de leurs attributs (dépôts éoliens stables, taches de sable (*areais*), affleurements rocheux, reliefs abrupts ou tabulaires, bassins de déflation et processus érosifs, tels que ravins et *voçorocas*), une clé d'interprétation a été développée à partir des observations de terrain et de la photo-interprétation numérique. Cette clé définit les éléments et caractéristiques d'intérêt qui caractérisent les dépôts éoliens dans leur morphogenèse, donnant lieu à la cartographie détaillée de la zone étudiée (**Table 2**).

Le prétraitement pour la photo-interprétation numérique a été réalisé par la transformation de photographies aériennes en photographies numériques, formées par paires stéréoscopiques selon la méthode des anaglyphes, dont les résultats peuvent être manipulés directement sur un support 3D numérique, dans tout logiciel de géotraitement. Les premières photographies aériennes analogiques analysées pour la prévisualisation proviennent de la 1^{re} Division des levés de l'armée brésilienne et datent de 1990, à l'échelle 1/60 000. Après la délimitation de la zone d'étude, des photographies aériennes (au 1/60 000 des années 1964/65), obtenues à la Bibliothèque des géosciences de l'UFRGS, ont été utilisées.

Après le prétraitement cartographique, les dépôts éoliens stables et instables, sous forme de taches de sables (*areais*), ont été identifiés et vectorisés à partir de l'extraction d'informations qualitatives sur l'objet étudié par interprétation visuelle par photointerprétation numérique 3D dans des anaglyphes. Après avoir posé les premières considérations sur l'emplacement et le schéma morphologique des dépôts éoliens, l'analyse est réalisée ensuite afin de cartographier leurs caractéristiques.

La cartographie des unités de relief a été réalisée sur la base du reclassement des données disponibles dans le projet TOPODATA - Forme de terrain associé au réseau de drainage, disponible auprès de l'Agence nationale de l'eau (ANA). Le reclassement final a établi les unités suivantes: Vallées (vallées sèches et vallées drainées), collines et espaces intermédiaires ou versants (**Table 2**).

Des profils topographiques schématiques ont également été développés pour chaque point de collecte. Les profils ont été générés à partir d'images SRTM, à l'aide du programme ArcGis 10.5. Ensuite, les profils topographiques et les unités lithologiques ont été superposés, ainsi que les autres attributs interprétés: dépôts éoliens, taches de sable (*areais*), drainage, processus érosifs, affleurements rocheux et failles. Il est à noter que la cartographie géologique fournie par la Société de recherche en ressources minérales - CPRM - est à l'échelle 1: 750 000 et que l'absence d'enquêtes rend difficile l'élaboration de profils plus précis. Par conséquent, les profils organisés se composent de profils schématiques, interprétés à partir de documents cartographiques et de bases de données disponibles.

La cartographie de l'occupation du sol a été élaborée à partir des traitements d'images satellites Landsat 2 (1982) et Landsat 8 (2016), mis à disposition par l'Institut de recherche spatiale (INPE). Tous les traitements appliqués à la cartographie de l'occupation du sol ont été effectués dans le logiciel Arcgis10.5. Les images ont été sélectionnées en tenant compte de la qualité au niveau de l'identification des dépôts et des types d'utilisations, à l'aide de la fonction Indice de végétation par différence normalisée - NDVI - pour l'identification des zones irriguées, avec classification automatique dans les deux plages spectrales, respectivement, 4 et infrarouge = 5, à partir de la fonction « sortie scientifique ».

La définition de l'occupation du sol découle de la classification proposée par l'Institut brésilien de géographie et de statistique (IBGE) (système de classification de la couverture et de l'utilisation des terres). Ainsi, la clé de cette interprétation a classé les espaces de la manière suivante: cultures annuelles, cultures irriguées, foresterie, terres indigènes, forêts rivulaires, plans d'eau, sable, sol exposé (**Table 3**).

Résultats

La morphologie des dépôts éoliens reflète les caractéristiques des sédiments (principalement la taille des grains et le volume disponible) et la variabilité directionnelle du vent observé à long terme, à partir du régime des vents. De cette manière, les dépôts éoliens se présentent selon des schémas auto-organisés qui se développent avec le temps, tels que la réponse de la surface du sable au régime du vent (notamment sa variabilité directionnelle) et à la fourniture de sable. La végétation et les obstacles topographiques sont des facteurs importants qui influencent sa morphologie, tant dans les champs de dunes côtières que dans les zones semi-arides et subhumides [4].

La région d'occurrence des taches de sable (*areais*), dans toute son étendue, comprend des dépôts alluviaux et éoliens, dont beaucoup bordent les rivières. Les dépôts éoliens stables observés et cartographiés dans la zone d'étude présentent des formes originales, remodelées par l'érosion pluviale et fluviale, et présentent différents degrés de préservation de la morphologie éolienne. Le système de vents, dans la zone étudiée, n'a pas de schéma morphologique ni d'orientation nécessairement précise du dépôt (**Carte 6**).

Cependant, si nous analysons les dépôts instables (taches de sable réactivées par la dynamique climatique actuelle), il est possible d'inférer qu'il existe une orientation régionale de ces sables. De plus, les collines associées aux champs de dunes (*dune fields*) du Quaternaire, en particulier l'Holocène, sont situées régionalement dans la direction SE (face au vent) vers NW (face sous le vent), ce qui montre la direction préférentielle de paléovents, formant un couloir de dépôt (**Figure 1**).

Les dépôts de vent peuvent être stables, avec une couverture herbacée et des affleurements rocheux apparents, mettant en évidence l'abrasion dans la face au vent (SE) et le dépôt de vent au vent (NO). Ils peuvent également présenter de petits lacs en déflation (lunettes ou PAN), qui consistent essentiellement en une zone formée par l'érosion (abrasion par le vent) causée par le vent. De plus, les dépôts de vent peuvent être associés à des chenaux fluviaux enfouis sous leurs sables. Dans la zone étudiée, il est possible d'observer ces dépôts de vent bloquant/étranglant la continuité du drainage, visiblement noyés en zone humide, actuellement (**Figure 1**).

Les données géomorphologiques et sédimentaires sur la forme des dépôts éoliens peuvent être discutées dans deux contextes: le premier concerne un environnement capable de fournir suffisamment de caractéristiques climatiques de climats semi-arides / arides pour générer des dépôts de sable et des dunes; la seconde concerne le milieu humide actuel, qui a hérité des morphologies typiques du climat sec, attaqué et remodelé par l'action érosive du climat humide contemporain.

Les courbes granulométriques des sables des dépôts éoliens de la zone d'étude présentent une granulométrie et un comportement des courbes granulométriques très similaires à ceux des dépôts typiques de l'érosion et du dépôt éolien, ainsi que des environnements désertiques, arides ou semi-arides définis comme du sable fin.

La distribution granulométrique des points échantillonnés (P1, P2, P3 et P4) indique une classification texturale de sable pour environ 92% des échantillons (**Figure 2**). Il est à noter que, lors de la collecte des échantillons, à environ 1,5 m de la surface, l'excavation du profil touche des fragments de roches, appartenant à la formation Botucatu ou à la formation Guará. Le matériau exposé dans les profils est très homogène, assez sableux, friable et non consolidé, ce qui prouve que ce sont des sédiments bien triés et issus du transport du vent.

Les échantillons présentaient toujours des valeurs réduites pour les fractions limon/argile, avec des valeurs ne dépassant pas 4% pour le limon et 5,3% pour les argiles. La valeur la plus élevée enregistrée pour le limon appartient à P2 (3,7149%) et la plus faible correspond à P3 (1,9366%). Pour les argiles, P1 présentait la valeur la plus élevée (5,3589%) et le pourcentage le plus faible était concentré dans P3 - 2,0281%. La fraction de gravier est inexistante pour tous les profils.

Pour la fraction de sable, la classe modale a été attribuée à la fraction de sable fin, trouvée en pourcentages supérieurs à 54% dans tous les échantillons (64,808% dans P1, 54,296% dans P2, 56,996% dans P3 et 54,389% dans P4), suivies des valeurs de sable moyen (16,317% en P1, 29,7187% en P2, 28,548% en P3 et 29,710% en P4) et des valeurs pour le sable très fin (10,901% en P1, 7,567% en P2, 9,332 % en P3 et 8,049% en P4) – (**Figure 3**).

Les résultats obtenus à partir de la distribution granulométrique, associés à la spatialisation des points échantillonnés (**Carte 6**), montrent une diminution de la taille des grains de P2 à P1, dans la direction SE/NO, avec une augmentation croissante du niveau de sélection de ces grains de sable moyen en sable fin. De même, la fraction de sable très fin confirme cette distribution décroissante de la taille dans la direction nord: P2 = 7,57%, P4 = 8,05%, P3 = 9,33% et P1 = 10,90. %. Les résultats indiquent une meilleure compétence des agents éoliens.

L'analyse de la morphoscopie sur la base du critère de la classe de sable - 0,125 mm (64,808% en P1, 54,296% en P2, 56,996% en P3 et 54,389% en P4), les tests de morphoscopie ont été établis sur la base des critères d'arrondi (**Figure 4**), de sphéricité (**Figure 5**) et de texture de surface des particules de grains de quartz (**Figure 6**). Dans l'aspect arrondi, les particules du type angulaire sont inexistantes et seul P4 (4%) garde des grains bien arrondis.

Dans le critère de sphéricité, tous les échantillons présentaient une bonne sphéricité (71% en P1, 82% en P2, 73% en P3 et 35% en P4), à l'exception du profil P4 qui affichait de

faibles valeurs de sphéricité, ce qui peut être justifié par le fait que ce profil est situé plus près de la zone source ou parce qu'il est associé à la formation de Botucatu, qui présente des sédiments moins sphériques. Pour la sphéricité moyenne, les profils P1 à 10%, P2 à 7% et P3 à 13% sont mieux organisés, alors que le profil P4 enregistrait 48% des particules de sphéricité moyenne. Par contre, les grains de très bonne sphéricité existent dans tous les profils et de la même manière (19% en P1, 11% en P2, 14% en P3 et 17% en P4).

L'aspect sphérique sous la texture superficielle des grains - saccharoïde, mameloné ou lisse, associé aux étapes de polissage des particules (poli, poli / mat et mat), montre une prédominance des grains mamelonés dans tous les échantillons (80% en P1; P2, 80% dans P3 et 71% dans P4), suivies des particules de type saccharoïde (P1 avec 13%, P2 avec 15%, P3 avec 18% et P4 avec 26%). La présence de grains lisses ne dépassait pas 10% (avec 7% en P1, 2% en P2, 4% en P3 et 3% en P4).

En ce qui concerne le degré de polissage des différents grains, ceux-ci sont présentés de manière très hétérogène, comme le montre le graphique de la texture de surface. Le pourcentage le plus élevé de poli a été enregistré dans les profils P2 et P1 (50% et 45%, respectivement) dans P3 et P4 (27% et 24%, respectivement). Pour les grains Foscos, P1 et P3 ont indiqué les pourcentages les plus élevés (avec 38% en P1 et 34% en P3), suivis de 18% en P4 et 13% en P2. Les grains en transition - poli / mat - ont également présenté des valeurs variées (17% en P1, 37% en P2, 39% en P3 et 58% en P4).

La sédimentologie de l'environnement des dépôts éoliens étudiés montre une certaine variabilité dans ses caractéristiques. Les sédiments sont composés principalement de sables de quartz et de la classe modale dans la fraction de sable fin, variant dans une moindre mesure dans les fractions de sable moyen et de sable très fin. Les caractéristiques morphologiques et optiques des sédiments clarifient une partie de l'énergie éolienne sur les particules et leur transport, montrant un degré de sélectivité, mis en évidence par la diminution de la taille des grains au sens SE/NO, en raison du remaniement et de l'évolution du sable moyen en sable fin dans le linéament des points échantillonnés. Les grains subarrondis et arrondis totalisent plus de 70%, ce qui peut indiquer un temps de reprise plus court de ces types en milieu hydrique.

Avec l'association des caractéristiques de rotondité, de sphéricité et de texture de surface, on suppose que les grains de sable moyen et de sable fin pourraient avoir été emportés par les vents, déplacés du secteur SE-S vers N-NO et déposés sur la région selon la direction du paléovent, mesurée dans le travail sur le terrain (SE-165°). Cependant, ils peuvent avoir été contaminés par des grains provenant de dépôts alluviaux, c'est-à-dire par des grains de caractéristiques typiques de l'action de l'eau, comme dans le cas de sédiments provenant de la formation de *Guará* ou de sédiments d'environnements fluviaux plus récents.

Sur les 144 000 hectares, environ 38 hectares sont des vallées drainées, 21 hectares, des vallées sèches, 18 hectares d'espaces intermédiaires/versant et 65 hectares sont composés de collines. Les superficies et les pourcentages équivalents à chaque caractéristique géomorphologique ont également été calculés dans chaque unité de relief (**Table 4**).

De cette façon, nous avons, dans l'unité drainée des vallées, 0,28% de sable (*areais*), 0,017% de processus érosifs et 7,47% de dépôts éoliens. Pour les vallées sèches, il y a 0,9% de sable (*areais*), 0,04% de processus érosifs et 22,25% de dépôts éoliens. Les pentes / espaces intermédiaires contiennent 0,43% de sable, 0,02% de processus érosifs et 17,82% de dépôts

éoliens. Enfin, dans l'unité de colline, ils représentent environ 0,44% de sable, 0,0098% de processus érosifs et environ 20% de dépôts éoliens.

C'est dans les unités des collines et des vallées sèches que les dépôts éoliens sont les plus représentatifs, avec environ 20% et 22%, respectivement. Les calculs montrent toujours que c'est dans les vallées sèches que la dynamique actuelle, typique du climat humide, a le plus d'impact, puisque c'est dans cette unité que se produisent les pourcentages les plus élevés de processus érosifs et sableux. Néanmoins, sur les 24 302 ha de parcs éoliens, environ 11% sont situés dans des vallées drainées, 19% dans des vallées sèches, 13% sur les espaces intermédiaires et 54% sont sur les sommets de colline. Sur les 677 ha de sable, environ 16% sont situés dans les vallées drainées, 29% dans les vallées sèches, 12% dans les espaces intermédiaires et 42% au sommet des collines. Environ 24% des processus d'érosion se situent dans les vallées drainées, environ 37% dans les vallées sèches, 14% dans les espaces intermédiaires et 23% au sommet des collines (Figure 7).

La distribution des caractéristiques géomorphologiques, associée aux unités de relief (**Carte 7**), montre que les dépôts de vent se produisent essentiellement sur les sommets des collines (37%), suivis des vallées (23%). De même, les taches de sable (*areais*) sont plus nombreux au sommet des collines, suivis des vallées sèches, ce qui confirme l'activation et la dynamique de la formation du sable, qui se produit dans les dépôts éoliens, généralement sur les collines, déclenchés par des processus érosifs, principalement en raison de l'action des processus hydriques (ravinamento et voçorocamento), caractéristiques du climat humide actuel.

Les profils de la formation de *Guará*, de *Botucatu*, de *Serra Geral* (faciès de *Alegrete* et *Gramado*) et de dépôt alluvial ont été associés à des profils ainsi qu'à des caractéristiques géomorphologiques telles que dépôts éoliens, taches de sable (*areais*), processus d'érosion, affleurements rocheux, drainage et failles. En croisant les plans d'information, il est possible d'observer la présence de dépôts éoliens et/ou de taches de sable sur toutes les lithologies (**Profil 1**).

Les affleurements rocheux observés dans les prairies et, par conséquent, près des dépôts éoliens ont été identifiés. Les affleurements indiquent les points d'ancrage des sédiments transportés, car il existe des affleurements à tous les points de collecte, ce qui prouve le rôle de cette caractéristique dans l'ancrage des dépôts sédimentaires transportés par les paléovents et dans la formation de dépôts éoliens stables et/ou instables.

Les dépôts éoliens stables et/ou instables étudiés représentent un héritage climatique plus sec que celui actuel et fournissent des données paléoclimatiques importantes pour la compréhension du paysage de la *Pampa* brésilienne. Selon les résultats obtenus et à partir des nouvelles datations effectuées dans les sédiments éoliens collectés dans la zone d'étude, il est possible d'établir trois phases d'assèchement climatique et de réactivation éolienne, avec mobilisation et dépôt de sédiments, pendant l'Holocène.

La première épisode, $8\,200 \pm 700$ AP, coïncide avec la fin de l'Holocène inférieur (stade groenlandais - $11\,700$ à $8\,326$ AP); La deuxième épisode, $5\,650 \pm 1\,120$ AP, correspond à l'Holocène moyen (Stade Northgrippian - 8.326 à 4.200 AP); et la dernière épisode, $1\,910 \pm 275$ AP, correspondant à l'Holocène supérieur (Stade de Meghalayan - a démarré à $4\,200$ AP) (**Table 5**). Ces maximums de sécheresse peuvent également être associés et mis en évidence par la morphologie des dépôts éoliens et les caractéristiques granulométriques des sédiments

éoliens analysés. De même, la morphologie des dépôts éoliens stables et / ou instables reflète les caractéristiques des sédiments et la variabilité de la direction du vent.

La relation entre la distribution des points de collecte, la direction du déplacement du sable (déduite des paléo-événements et de l'aspect granulométrique) et les différentes temporalités des dépôts éoliens permet de supposer 3 pics d'assèchement ($8\,200 \pm 700$, $5\,650 \pm 1\,120$ et $1\,910 \pm 275$), mobilisant le matériel du SE au NO.

Les sables de P1 (situés dans le quart NO de la zone d'étude) sont mieux classés: ce sont des particules plus jeunes et plus minces, composées d'environ 64% de sable fin. Les sables de P2 (54% de sable fin dans le quadrant SO) et P3 et P4 (respectivement 57% et 54% de sable fin dans le quadrant SE) sont plus anciens et il existe un ordre dans la sélection des particules dans la direction SE/NO, plus au NO, les particules sont mieux classées.

Lors de la collecte sur le terrain, l'excavation des profils a atteint des fragments de roches atteignant une profondeur moyenne de 1,50 cm. En outre, considérant la classification des dépôts éoliens en Argentine et en Uruguay, on peut en déduire que les dunes de la Pampa Brasileiro sont associées à des contextes régionaux plus vastes et dynamiques. Encore, classifiant la morphologie des dépôts étudiés comme champs de dunes (*dune fields*), attribuant la même classification des dépôts éoliens existants en Argentine et à l'Uruguay, on peut inférer que les champs de dunes de la Pampa Brésilienne sont associés à des contextes dynamiques régionaux plus vastes, rapportés aux dimensions de la Pampa Argentine et Uruguayenne.

Enfin, le contexte de la dynamique climatique actuelle et les changements d'utilisation des sols de la Pampa, ont eu pour principale orientation l'élevage bovin extensif et dans lequel ont été installées des monocultures de céréales et d'arbres, plus récemment. Ainsi, les relations entre la dynamique climatique et météorologique et la dynamique agricole récente (depuis 1970) induisent la dégradation des dépôts de vent identifiés dans la zone d'étude.

En général, les types de climat établis pour le sud du Brésil sont contrôlés par des systèmes tropicaux et polaires (masse tropicale atlantique (Ta), masse polaire atlantique (Pa), masse équatoriale continentale (Ec) et masse tropicale continentale (Tc)). Nous nous sommes intéressés à expliquer le comportement du climat pour la zone d'étude, le sud-ouest de l'État.

Le type de climat subtropical Ib – Peu Humide (**Carte 3**), avec hiver froid et été chaud, caractérisé comme subissant une plus grande influence des systèmes polaires, associés à la continentalité et aux effets de relief (*Cuesta do Haedo*), avec des systèmes frontaux représentant la majeure partie des précipitations [5].

Bien que les précipitations annuelles moyennes (de 1 400 mm/an à 1 700 mm/an) soient considérées comme élevées, elles surviennent après 70 à 90 jours de pluie, se concentrant sur quelques jours par mois (entre 6 et 9 jours), à l'automne et au printemps. La température moyenne annuelle varie entre 20°C et 23°C, avec des températures mensuelles moyennes oscillant entre 11°C et 14°C (le mois le plus froid) et entre 23°C et 29°C (le mois le plus chaud). Ces données montrent la mauvaise répartition des précipitations.

Les données sur la répartition mensuelle des précipitations confirment la mauvaise répartition des précipitations, alors que l'on peut observer que la réduction des pluies a lieu aux mois de mai, août et décembre. Au mois d'août, en plus de la réduction du nombre de jours, il y a une diminution du volume des précipitations (entre 75 mm et 115 mm). Les mois d'automne

et de printemps enregistrent des volumes de pluie mensuels plus élevés, entre 115 et 155 mm [5].

Un des facteurs qui contribue à cette dynamique de réduction des précipitations dans cette zone climatique est la trajectoire des systèmes frontaux en contact avec les formes en relief, puisque l'orientation du *front* de la *Cuesta do Haedo* (inverse dans la direction NO) et la position du Bouclier *Sud-Rio-Grandense* forme un couloir, permettant l'entrée des systèmes frontaux dans la région de la vallée de la rivière Santa Maria. Ces systèmes frontaux, confrontés aux hautes topographies de la face de *cuesta*, provoquent un mouvement d'ascendance, favorisant la formation de nuages et de précipitations en plus grande quantité, réparties en plusieurs jours. Pour cette raison, les précipitations sont plus fréquentes à l'avant de la *cuesta* [5]. Les vents sont plus fréquents venant du sud-est, toute l'année, mais en automne et en hiver, la direction nord-ouest est plus fréquente [6].

Pour l'analyse des processus érosifs, du point de vue de la géomorphologie dynamique, il est pertinent d'observer les données des précipitations journalières et mensuelles. La région d'occurrence de dépôts éoliens stables et / ou instables peut montrer des cumuls de précipitations journalières allant jusqu'à 110 mm chaque année, quel que soit le mois. Le mois de novembre a présenté les plus fortes précipitations quotidiennes de la période analysée. Les mois de décembre, janvier, février et août ont entraîné une réduction considérable des précipitations. Ce comportement des précipitations a différentes conséquences, la principale étant le déclenchement de la saturation du sol et des phases de ruissellement concentré, principal agent érosif de type ravin, franchement lié à la genèse des taches de sable (*areais*) [7] [8].

Les précipitations mensuelles élevées (supérieures à 200 mm) (entre 2000 et 2017 dans la municipalité d'Alegrete/RS) et les précipitations journalières de plus de 20 mm (potentiel érosif élevé) ont eu lieu en septembre, octobre et novembre spécial. Le volume des précipitations a également été important en mars, en avril et en mai. Les mois d'avril et de novembre ont présenté les volumes les plus élevés, atteignant 661 mm au mois de novembre, ce qui a permis de confirmer l'hypothèse de la survenue d'un volume de précipitations plus important au cours de ce mois. Les mois ayant présenté des précipitations plus faibles (moins de 100 mm) au cours desquels des précipitations quotidiennes de 3 mm (faible potentiel d'érosion) se produisent sont juin, juillet et août (**Figure 8**).

La relation étroite entre les conditions climatiques et les processus érosifs/de sédimentation de l'*arenização* montre comment l'intensité de la survenue de mois secs ou d'épisodes pluvieux explique la dynamique érosive des dépôts éoliens, révélant les phases concentrées et soudaines de l'écoulement, ainsi que des phases durant lesquelles l'action du vent règne en période de sécheresse, favorisant des processus morphogénétiques sur les surfaces fragiles du point de vue lithopédologique, observé, en particulier, dans des processus du type ravins et *voçorocas*, associés à des dépôts éoliens quaternaires stables ou instables.

C'est le panorama général des conditions climatiques actuelles dans le sud-ouest du Rio Grande do Sul, une région abritant de vastes champs de *coxilhas*, recouverts d'une petite végétation, à l'exception des zones de forêt riveraine, le long du réseau de drainage, et dans les pentes à côté des reliefs témoins. Comme déjà mentionné, ce paysage conserve, en tant que vestiges du passé, des gisements éoliens continentaux stables qui, dans les conditions climatiques actuelles, sont sujets à des processus érosifs superficiels. À partir du flux concentré, commence l'apparition d'étapes de réduction, qui, dans la séquence, se développent avec des ravins et *voçorocas*, commençant le processus d'*arenização*, avec la formation de *areais* (tache

de sable). Ceux-ci, soumis à l'action du vent, remobilisent, transportent et déposent les sables, en fonction de la capacité aérodynamique et de l'ancrage.

Le sud du Rio Grande do Sul est la région qui développe traditionnellement l'élevage extensif. Cependant, les agriculteurs ont transformé leurs exploitations en produisant du riz (dans les plaines inondables), des pâturages artificiels, du maïs, du blé et du soja (sur les collines) et, enfin, ils ont favorisé la plantation de nouvelles monocultures d'arbres exotiques comme l'eucalyptus. Dans cette zone subtropicale, l'intensification de ces cultures s'accompagne de pressions sur les ressources en eau et sur les sols particulièrement sensibles à l'érosion, notamment dans la région d'étude [9].

Afin d'évaluer la dégradation des sols, les contraintes et les faiblesses de l'environnement et la pression exercée par les modèles agricoles sur l'environnement, il est nécessaire d'analyser les phases de l'occupation des sols par des données statistiques. L'analyse de ces données permet de comprendre les différentes formes de pression, basées sur la diversité des processus historiques, la persistance des pratiques agricoles et l'étude de l'intensification de l'élevage et de l'agriculture mécanisée spéculative [7].

Des premières formes d'appropriation aux formes contemporaines d'exploitation des ressources naturelles issues de l'élevage et de la production agricole, on peut dire que les Indiens n'ont guère contribué à transformer le paysage initial, les petites populations autochtones n'utilisant que des instruments rudimentaires, la hache en pierre polie. De même, au XVIII^e siècle, on ne peut pas parler de territoire organisé, sur une base économique, car les conflits et l'absence de définition de la frontière politique entre les couronnes portugaise et espagnole ne permettaient pas l'organisation d'une zone agricole. Cependant, on peut parler d'une réelle pression agricole sur les Campos Limpos, à partir des années 1970, avec la mise en place de cultures mécanisées, facilitées par le faible relief des collines couvertes de végétation herbacée et la gestion facile des sols [7].

Les pâturages naturels, situés dans les collines herbacées, ont toujours été utilisés pour l'élevage du bétail, dont la tradition a été introduite par les missionnaires jésuites à partir du XVII^e siècle. L'élevage de bétail a prévalu jusqu'à nos jours, mais l'introduction de cultures vivrières, en particulier le développement de cultures agro-industrielles à partir du 19^e siècle, a modifié la manière d'occuper les zones rurales. Les éleveurs de Campos Limpos ont commencé à partager l'espace avec les agriculteurs du Planalto de la Serra Geral (Plateau Basaltique), situés au nord de l'État, ou ont opté pour la culture de céréales. Les agriculteurs migrants ont introduit dans la région des pratiques mécanisées qui accentuent la pression exercée sur les sols sableux et friables par les processus érosifs et sur la végétation herbacée, déjà soumise à la gestion de la coupe et du brûlage, pratiquée par l'élevage extensif [7].

L'occupation du sol a été cartographiée dans la zone d'étude entre 1982 et 2016, afin de vérifier les progrès croissants des activités agricoles sur les prairies naturelles de la Pampa : les prairies, les forêts de rive, les terres cultivées, les sols exposés, les masses d'eau, les cultures irriguées et les taches de sable (*areais*) – (**Carte 4** et **Carte 5**). Parmi les différentes utilisations, il y a une augmentation significative de la superficie destinée à la plantation d'arbres, au détriment des zones de prairie. La foresterie n'est observée qu'en 2016, depuis que l'incitation à planter des espèces exotiques a commencé à la fin des années 1970. Les calculs d'utilisation entre 1982 et 2016 ont montré qu'il y avait eu une réduction des superficies de forêt de rive depuis 1982, cette utilisation représentait environ 12% de la superficie totale, soit environ 4% en 2016. Les prairies ont également subi une réduction d'environ 14%, représentant

environ 64% de la superficie totale en 1982 et, en 2016, avait sa superficie réduite d'environ 50% (**Table 6**).

Les terres cultivées irriguées ont été ramenées de 13% en 1982 à environ 7% en 2016. Cependant, les superficies en masses d'eau ont considérablement augmenté (de 7% à 12%). Dans ce cas, les données peuvent ne pas être réalistes, car le classificateur peut avoir confondu des masses d'eau avec les zones destinées à l'irrigation ou, de plus, peut être sous l'influence de mois plus ou moins pluvieux de l'année. Inversement, la conversion de prairie / cultures et, dans une moindre mesure, de relations de conversion de prairies / cultures irriguées est évidente sur les cartes. Les cultures annuelles ont connu une augmentation d'environ 20% au cours de la période observée. En 1982, cette utilisation correspondait à environ 2,5% de la superficie totale et à 22% en 2016 (**Table 6**).

Les résultats concernant les différentes utilisations peuvent être corroborés par les données statistiques de la municipalité d'Alegrete, disponibles dans le recensement agricole de l'Institut brésilien de géographie et de statistique (IBGE). Les données montrent également une croissance de la superficie occupée par les cultures (de 26 000 ha en 1970 à 107 000 ha en 2017) et une réduction des surfaces en pâturages (de 680 000 ha en 1970 à 575 000 ha en 2017) – (**Figure 9**).

La relation entre la concentration de dépôts éoliens et la concentration des terres, en particulier celle du soja, affecte davantage les petits et moyens producteurs (avec moins de 500 ha de superficie) par rapport aux gros producteurs (avec plus de 500 ha de superficie), car la présence de zones sableuses a moins d'impact sur la production des grands producteurs, compte tenu de la relation entre la surface de taches de sable et la surface disponible pour la production agricole [10].

Les autres cultures, le maïs et le blé, concernent le marché local, en raison de la faible production, outre les restrictions naturelles, notamment en ce qui concerne le blé. Alegrete présente un profil différent des municipalités voisines dans lesquelles le soja a remplacé les cultures de riz et les pâturages, comme le montrent les chiffres de la production de riz dans la municipalité, la culture dont la croissance est la plus rapide, probablement en raison de son emplacement avec la rivière Ibicuí et ses affluents, dont les plaines alluviales sont favorables à la culture du riz irrigué.

En outre, la superficie occupée par les pâturages a nettement diminué entre 1970 et 1985. À partir du milieu des années 1980, les cultures ont progressé jusqu'en 1996, moment où elles ont de nouveau perdu de la superficie jusqu'en 2006, année de reprise de pâturage, qui se produit jusqu'à nos jours (2017). La production animale reste constante, discrète mais en croissance (**Figure 10**). Il y a une baisse entre 1985 et 2006, mais la production reprend ensuite jusqu'en 2017. Le problème général est que la production de têtes a augmenté au fil des ans et que la superficie de pâturage a diminué, ce qui a exercé une pression sur la couverture végétale herbacée et le sol, les municipalités voisines présentent des situations similaires.

Un autre fait intéressant concerne l'acquisition de machines utilisées dans l'agriculture mécanisée (**Figure 11**). En 1960, au début de la révolution verte, les agriculteurs d'Alegrete cultivaient la terre avec 382 tracteurs et en 2017, le nombre de tracteurs dépassait les 2 000 unités. Les autres types de machines utilisées pour la plantation et la récolte sont également progressivement acquis par les agriculteurs.

En ce qui concerne les zones occupées par les propriétaires fonciers et les zones louées (**Figure 12**), il est possible de constater que, depuis les années 1970, les terres louées ont augmenté progressivement, sans diminuer jusqu'à ce jour (2017). Depuis 1970, la pratique de la location commune a diminué au milieu des années 90, enregistrant la superficie la plus basse en 2006 (68 384 ha). Pour une raison quelconque, entre 2006 et 2017, la superficie occupée par les locataires est de 181 935 ha, contre une superficie de 126 073 ha, enregistrée dans les années 1970. Les données présentées ici ne nous indiquent pas si les terres louées étaient utilisées à des fins agricoles ou pour le bétail, mais l'utilisation accompagne probablement l'augmentation des cultures, au détriment de l'élevage extensif, activité principale développée jusque-là dans la municipalité et dans la région de Pampa.

Enfin, on peut dire que les différentes occupations du sol sur les collines, associées à des dépôts éoliens stables et/ou instables, déterminent la dynamique environnementale et économique de la Pampa brésilienne.

Il convient de noter qu'à l'heure actuelle, des études sont consacrées à des techniques susceptibles de fournir de nouvelles solutions visent soit à contribuer à la stabilisation du sable soit à son utilisation comme matériau alternatif dans l'implantation de revêtement de routes rurales ou pour la construction de briques pour les constructions rurales [11]. Toutefois, ces propositions sont considérées comme non viables, car elles peuvent aggraver encore le processus d'arenização.

En outre, des études sur la réévaluation de l'élevage ont prouvé leur viabilité, en tenant compte de la principale aptitude des prairies herbacées du sud. Les initiatives de conservation des pâturages du Cône Sud, promues par Alianza del Pastizal, sont un soutien de plus en plus important, y compris de la part des éleveurs de bétail, qui y voient un moyen de préserver et de conserver les pâturages, de valoriser le paysage, la culture et, surtout, l'activité d'élevage, rentable pour les producteurs brésiliens, uruguayens, argentins et paraguayens adhérant au groupe Alianza del Pastizal et qui suivent une série de directives sur la gestion des pâturages et la production animale.

REFERÊNCIAS

- [1] TRIPALDI, Alfonsina; ZÁRATE, Marcelo A. *A review of Late Quaternary inland dune systems of South America east of the Andes*. Elsevier; *Quaternary International*; 410; Part B; p. 96-110, 2014.
- [2] SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes & VERDUM, Roberto. *Desertification in the Tropics*. *Encyclopedia of Life Support Systems*. Paris: UNESCO Publishing, p. 1-17, 2008.
- [3] GUASSELLI, Laurindo Antonio. O mapeamento de areias a partir de sensoriamento remoto. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: ComPasso Lugar-cultura/Imprensa Livre, p. 97-123, 2012.
- [4] GOUDIE, Andrew S. *Encyclopedia of geomorphology* (Volume 1). Londres: Routledge, 1156 p., 2004.
- [5] ROSSATO, Maira Suertegaray; SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. O clima no Sudoeste do Rio Grande do Sul. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da;

GUASSELLI, L. A. (Orgs.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: ComPasso Lugar-cultura/Imprensa Livre, p. 385-411, 2012

[6] FAVERA, Alexandre Ceretta Dalla; LUIZ, Eduardo Weide; SCHUCH, Nelson Jorge; MARTINS, Fernando Ramos, PEREIRA, Enio Bueno. Potencial eólico no Rio Grande do Sul – distribuição estatística dos ventos na região Central do Estado. **Rev. Geográfica Acadêmica**, v. 6, n. 1, p. 38-51, 2012.

[7] VERDUM, Roberto. *Approche géographique des "déserts" dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana, État du Rio Grande do Sul, Brésil*. 1997. 211 f. Tese (Doutorado) - UFR de Géographie et Aménagement, Université de Toulouse Le Mirail, Toulouse, 1997.

[8] SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes; VERDUM, Roberto; GUASSELLI, Laurindo Antonio (Orgs.). **Atlas da Arenização, Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento e Secretaria de Ciência e Tecnologia, Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 85 p. 2001.

[9] CORBONNOIS, Jeannine; LAURENT, François; ANDREU-BOUSSUT, Vincent; MESSNER, François; VIEIRA, Rosa Medeiros; SOGUE, Makhtar. *L'intensification des pratiques agricoles et la mobilisation des ressources naturelles dans La Pampa du Sud du Brésil*. **Vertigo**. Volume 14. Numero 1, mai. 2014. Disponível em: <https://vertigo.revues.org/14590>. Acesso em: 15 mai. 2018.

[10] VERDUM, Roberto. Falta controle sobre a poluição por agrotóxicos das águas do Pampa. Entrevista com Roberto Verdum. Revista online **Instituto Humanitas Unisinos – ADITAL**, por Vitor Necchi – 08 de fevereiro de 2017. Disponível em: <http://www.ihu.unisinos.br/?id=564647>. Acesso em: 04 nov. 2018.

[11] ALMEIDA, Felipe; TAPAHUASCO, Wilber Feliciano Chambi; ODY, Lissara Polano; CAMPAGNOLO, Lucíele Bilhalva. Estudos de correlação granulométrica de distintos solos de origem eólica. **Anais – 9º SIEPE – Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Disponível em: <http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/29653> Acesso em: 26 dez. 2018.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1: Localização dos sistemas de dunas da América do Sul - Leste dos Andes	52
Figura 2: Mapa dos Biomas do Estado do Rio Grande do Sul - Mata Atlântica e Pampa Brasileiro	54
Figura 3: Mapa de localização dos municípios sob processos da Arenização	59
Figura 4: Unidades Morfoesculturais do Rio Grande do Sul – Brasil	60
Figura 5: Etapas do Método Hipotético-dedutivo	63
Figura 6: Organograma da Pesquisa.....	65
Figura 7: Pré-processamento de fotografias aéreas analógicas para anaglifos	70
Figura 8: Organograma do processamento das amostras em laboratório – Granulometria e Morfoscopia.....	75
Figura 9: Classificação Climática de acordo com o Índice de Aridez e mapa da distribuição dos desertos no mundo	83
Figura 10: Precipitação orográfica causando efeito “ <i>rain shadow</i> ” ou sombra de chuva.....	84
Figura 11: Diâmetro máximo de partículas movimentadas pelo vento.....	86
Figura 12: Processo de suspensão eólica, saltação e arrasto	88
Figura 13: Processo de deflação e registros de abrasão eólica.....	89
Figura 14: Abrasão eólica na forma de yardangs	90
Figura 15: Curvas granulométricas e seus respectivos tipos de sedimentos e ambientes	92
Figura 16: Curva Granulométrica – Material eólico (República do Chade – 1967).....	93
Figura 17: Distribuição Granulométrica – Dhahran, Arábia Saudita.....	94
Figura 18: Histograma da Distribuição Granulométrica - Frequência Simples (Alegrete/RS)	95
Figura 19: Histograma da Distribuição Granulométrica – Areia (Alegrete/RS).....	96
Figura 20: Curva Granulométrica P1, P2, P3 e P4 (Alegrete/RS)	98
Figura 21: Histograma de Arredondamento - Fração Areia Fina (0.125mm) – (Alegrete/RS)....	99
Figura 22: Histograma de Esfericidade - Fração Areia Fina (0.125mm) – (Alegrete/RS) ...	100
Figura 23: Textura Superficial - Fração Areia Fina (0.125mm) – (Alegrete/RS).....	101
Figura 24: Perfil de duna – Sessão transversal da duna	103
Figura 25: Principais morfologias de dunas propostas por Christopherson (2012)	106
Figura 26: Principais morfologias de dunas propostas por Suguio (2003)	107
Figura 27: Principais morfologias de dunas propostas por Goudie (2004).....	108
Figura 28: Mapa das Feições Geomorfológicas	110
Figura 29: Colinas associadas a campos de dunas (dune fields) do Quaternário.....	111
Figura 30: Fotografia da paisagem no entorno de P2 – Alegrete/RS.....	112
Figura 31: Ponto de coleta P2 em escala de detalhe	113
Figura 32: Exemplo de rio intermitente – Campo de dunas <i>Stovepipe Wells</i> , Vale da Morte (Califórnia)	114
Figura 33: Leque aluvial e bacia árida na paisagem desértica montanhosa.....	115
Figura 34: Cenas de imagens Landsat 7 (NASA Zulu) com lagos deflacionados (PANs)....	117
Figura 35: Colina associada a campo de dunas (<i>dune fields</i>) no Quaternário e deflação do tipo PAN	119
Figura 36: Rampa de evacuação de sedimento eólico na área de estudo.....	121
Figura 37: Ponto de coleta P1 em escala de detalhe – Alegrete/RS.....	123
Figura 38: Unidades A e B – Formações Superficiais	126
Figura 39: Croqui – Areal de Rampa e de Colina	131
Figura 40: Mapa Litológico – Área de ocorrência de arenização e área de estudo.....	132
Figura 41: Formação Guará no sudoeste do Rio Grande do Sul – Brasil	134

Figura 42: Formação Guará, Jurássico - Sistema Fluvial.....	134
Figura 43: Contato da Formação Guará com arenitos eólicos da Formação Botucatu	135
Figura 44: Vista do Areal Cerro da Esquina – São Francisco de Assis	139
Figura 45: Sistema de Falhas Jaguari-Mata.....	140
Figura 46: Perfil Topográfico Esquemático – P1 P2 P3 e P4	141
Figura 47: Esboço do processo de formação da paisagem – Areal/Sítio Cerro da Figueira (Quaraí, RS).....	144
Figura 48: Mapa - Unidades de Relevos e Depósitos Eólicos.....	146
Figura 49: Distribuição das Feies Geomorfológicas sobre as Unidades de Relevos.....	148
Figura 50: Recorte de interesse sobre a tabela Cronoestratigráfica	152
Figura 51: Fases do Holoceno de acordo com Bombin (1976).....	152
Figura 52: Subdivisão atual do Holoceno, acrescida do Antropoceno	153
Figura 53: Datação por OSL em sedimento eólico – Oeste da Argentina	174
Figura 54: Sistema de ventos para a América do Sul durante o último Máximo Glacial e indicadores de paleoventos	175
Figura 55: Reconstituo da evolução de um perfil idealizado dos solos argilosos escuros com horizonte <i>ca</i>	178
Figura 56: Taxa de alteração na composição de pólen e taxa de pólen com base no perfil de sedimento em São Francisco de Assis/RS - Brasil	182
Figura 57: Mosaico de fotografias - Formação de depósitos eólicos do Quaternário, rea de estudo.....	188
Figura 58: Mosaico de fotografias – colinas associadas a campo de dunas do Quaternário.....	190
Figura 59: Principais massas de ar que atuam sobre o Brasil Meridional.....	193
Figura 60: Tipologia Climática – Rio Grande do Sul	194
Figura 61: Distribuição estatística Sazonal dos ventos a 50m de altura	197
Figura 62: Climograma 2000 a 2017 (Alegrete/RS – Brasil).....	198
Figura 63: Precipitação x Estações do Ano (Alegrete/RS – Brasil).....	199
Figura 64: Volume da precipitação - Mensal (2000 a 2017) – Alegrete/RS – Brasil	200
Figura 65: Feies erosivas sobre depósitos eólicos quaternários (Alegrete/RS – Brasil) ...	201
Figura 66: rea ocupada por lavoura temporária e pastagem (Alegrete/RS – Brasil).....	212
Figura 67: Maquinria (Alegrete/RS – Brasil).....	214
Figura 68: Relação rea ocupada com pastagem e cabeças de gado (Alegrete/RS – Brasil).....	215
Figura 69: rea ocupada por proprietários e arrendatários (ha) - (Alegrete/RS – Brasil)	216
Figura 70: Mapa de uso e cobertura da Terra – 1982 (Alegrete/RS – Brasil).....	219
Figura 71: Mapa de uso e cobertura da Terra – 2016 - (Alegrete/RS – Brasil)	220
Figura 72: Mosaico de fotografias - Tipos de uso da terra sobre colinas associadas à depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis	222

QUADROS

Quadro 1: Pontos de coletas de sedimento – Alegrete/RS – Brasil	67
Quadro 2: Chave de interpretação para o mapeamento das feies geomorfológicas.....	69
Quadro 3: Classificação das Unidades de Relevos para a área de estudo – Alegrete/RS – Brasil	71
Quadro 4: Chave de interpretação da Cobertura e Uso da Terra	73
Quadro 5: Esquema simplificado para Análise Granulométrica e Morfoscópica.....	78
Quadro 6: Demonstrativo de área e percentual de cada feição geomorfológica em relação as Unidades de Relevos	147
Quadro 7: Estado da arte sobre flutuações climáticas para o Sul da América do Sul	149
Quadro 8: Flutuações Paleoclimáticas do Holoceno no Sudoeste do Rio Grande do Sul	155
Quadro 9: Influncia das correntes atmosféricas no Sul do Brasil	162

Quadro 10: Representação da variação climática, velocidade do aumento do nível do mar e evolução sedimentar da costa Sul Brasileira nos últimos 17.500 BP	163
Quadro 11: Modelo evolutivo dos estágios transgressivos/regressivo para o Holoceno,	165
Quadro 12: Evolução paleogeográfica da zona de ocorrência dos <i>areais</i> – São Francisco de Assis/RS	166
Quadro 13: Evolução climática do Pleistoceno tardio e do Holoceno para o Estado do Paraná – Brasil.....	171
Quadro 14: Datações por Luminescência Oticamente Estimulada (LOE) – Alegrete/RS, Brasil.....	184
Quadro 15: Distribuição das diferentes formas vegetacionais e a transformação dos Campos limpos durante as fases de ocupação do território.....	203
Quadro 16: Políticas voltadas à Arenização no âmbito Regional.....	210
Quadro 17: Produção – cultivo temporário (Alegrete/RS – Brasil).....	214
Quadro 18: Demonstração de cálculo de área por Uso da Terra	221

SUMÁRIO

1	ASPECTOS INTRODUTÓRIOS E CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	51
1.1	Concepção da problemática, justificativa e objetivo.....	51
1.2	Apresentação e relevância da área de estudo	58
2	O CAMINHO DA INVESTIGAÇÃO: O MÉTODO E OS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, TÉCNICOS E OPERACIONAIS.....	62
2.1	Do Método e da concepção Teórico-conceitual.....	62
2.2	Dos Procedimentos Metodológicos e Operacionais.....	66
2.2.1	<i>O caminho metodológico aplicado ao mapeamento das Formações superficiais – depósitos eólicos estáveis e instáveis do Holoceno.....</i>	<i>67</i>
2.2.2	<i>O caminho metodológico aplicado ao mapeamento do Uso e cobertura da Terra.....</i>	<i>72</i>
2.2.3	<i>O caminho metodológico aplicado às classificações granulométrica e morfoscópica..</i>	<i>74</i>
2.2.4	<i>O caminho metodológico aplicado na determinação da datação por Luminescência Ópticamente Estimulada – LOE (Protocolo SAR)</i>	<i>79</i>
3	PROCESSOS E FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS EÓLICAS ASSOCIADAS A AMBIENTES SEMIÁRIDOS E DESÉRTICOS.....	81
3.1	Distribuição espacial dos ambientes desérticos da Terra.....	81
3.2	Ventos, erosão, transporte, deposição e processos eólicos em ambientes semiáridos e desérticos	85
3.3	Feições eólicas, classificação e tipologia de dunas.....	103
3.4	Processos flúvio-eólicos em ambientes semiáridos e desérticos.....	114
4	FORMAÇÕES SUPERFICIAIS QUATERNÁRIAS ASSOCIADAS AO PROCESSO DE ARENIZAÇÃO – JANELAS NO PRESENTE, DE UM PASSADO RECENTE....	124
4.1	Formações superficiais – testemunhos da evolução da paisagem no Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul	124
4.2	Compartimentos geomorfológicos e a presença dos areais.....	128
4.3	Processo de Arenização no Sudoeste do Rio Grande do Sul	142
4.4	Compartimentação do relevo na área de estudo e feições geomorfológicas associadas	145
5	RECONSTRUÇÃO DAS FLUTUAÇÕES PALEOCLIMÁTICAS DO HOLOCENO PARA O SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL	149
5.1	Primeiro Estágio do Holoceno – 11.700 a 8.326 A.P.	156
5.1.1	<i>Dados globais</i>	<i>156</i>
5.1.2	<i>Dados para o Brasil.....</i>	<i>156</i>
5.1.3	<i>Dados para as áreas limítrofes à área de estudo: Argentina, Chile e Uruguai.....</i>	<i>156</i>
5.1.4	<i>Dados para as áreas limítrofes à área de estudo no Rio Grande do Sul</i>	<i>157</i>
5.2	Segundo Estágio do Holoceno – 8.326 a 4.200 A.P.	167
5.2.1	<i>Dados globais</i>	<i>167</i>
5.2.2	<i>Dados para o Brasil.....</i>	<i>168</i>
5.2.3	<i>Dados para as áreas limítrofes às áreas de estudo: Argentina, Chile e Uruguai.....</i>	<i>168</i>
5.2.4	<i>Dados para as áreas limítrofes à área de estudo no Rio Grande do Sul</i>	<i>168</i>
5.3	Terceiro Estágio do Holoceno – 4.200 AP aos dias atuais	170
5.3.1	<i>Dados globais</i>	<i>170</i>
5.3.2	<i>Dados para o Brasil.....</i>	<i>170</i>

5.3.3	<i>Dados para as áreas limítrofes à área de estudo: Argentina, Chile e Uruguai</i>	172
5.3.4	<i>Dados para as áreas limítrofes à área de estudo no Rio Grande do Sul</i>	176
5.4	Evidências das flutuações paleoclimáticas na área de estudo.....	184
6	DINÂMICAS CLIMÁTICAS E AGRÍCOLAS QUE POTENCIALIZAM OS PROCESSOS EROSIVOS-DEPOSICIONAIS NAS FEIÇÕES EÓLICAS EM ÁREA DE ARENIZAÇÃO	192
6.1	Dinâmicas climáticas e meteorológicas que potencializam os processos erosivos-deposicionais nas feições eólicas.....	192
6.2	Práticas agrícolas que potencializam os processos erosivos-deposicionais nas feições eólicas	202
6.3	Avanço da agricultura mecanizada sobre os campos do Sudoeste a partir de 1970, as culturas temporárias e a silvicultura em foco.	205
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	225
8	INSTITUIÇÕES, LABORATÓRIOS E GRUPOS DE PESQUISA DE APOIO	232
8.1	Brasil	232
8.2	França.....	232
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	233
	APENDICE	244

1

ASPECTOS INTRODUTÓRIOS E CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Concepção da problemática, justificativa e objetivo

A América do Sul possui sistemas de dunas e depósitos eólicos continentais associados, que sobrevivem de uma multiplicidade de conformações ambientais, sob distintas condições climáticas, que variam de úmidas-subúmidas a semiáridas-áridas. A evolução dos sistemas eólicos do Quaternário, sobretudo do Holoceno, foi inferida a partir de poucos estudos, concentrados em áreas limitadas, enquanto muitas regiões conservam-se inexploradas. Para além, as heterogeneidades ambiental e geomorfológica continentais geram questionamentos sobre a representatividade dos registros estudados, bem como sobre se os resultados e interpretações podem ser compreendidos em escala regional, visto que os campos de dunas interiores da América do Sul têm sido pouco explorados com foco de interesse científico, sendo estes menos conhecidos do que as sucessões de *loess* no continente (TRIPALDI & ZÁRATE, 2014).

No entanto, na década passada, houve uma retomada dos estudos sobre sistemas eólicos interiores na América do Sul, sobretudo com o registro de informações paleoambientais e paleoclimáticas, ocorridas durante o Quaternário. Os estudos recentes trazem descrições e interpretações mais detalhadas sobre a gênese, a composição, a idade absoluta e a geomorfologia dos sistemas eólicos, além de catalogar novos campos de dunas, ainda desconhecidos, inclusive relatados a partir de estimativas quantitativas de idade, comumente inferidas por luminescência opticamente estimulada, sendo este um conhecimento fundamental para correlacionar sistemas eólicos com outros registros de *proxy* e para compreender as respostas dessas morfologias às mudanças climáticas (TRIPALDI & ZÁRATE, 2014).

Estes mesmos autores ainda apresentam uma importante contribuição sobre a espacialização de sistemas paleodunares situados em zonas continentais tropicais e subtropicais da América do Sul, a leste dos Andes, desconsiderando os sistemas do Deserto do Atacama (oeste dos Andes) e os extensos sistemas de dunas costeiras da costa leste da América do Sul (Figura 1).

Figura 1: Localização dos sistemas de dunas da América do Sul - Leste dos Andes



Localização dos sistemas de dunas da América do Sul a leste dos Andes em relação aos principais elementos topográfico morfoestruturais e principais Bacias Hidrográficas 1) Llanos del Orinoco, 2) Rio Branco e afluentes, 3) Rio Negro e afluentes, 4) Rio São Francisco, 5) Pantanal, 6) Mato Grosso, 7) Grande Chaco, 8) Piemonte extratropical Andino, 9) Pampas centro-ocidentais. Linha pontilhada: diagonal árida (Bruniard, 1982). Dados de elevação digital SRTM (Shuttle Radar Topography Mission - USGS).

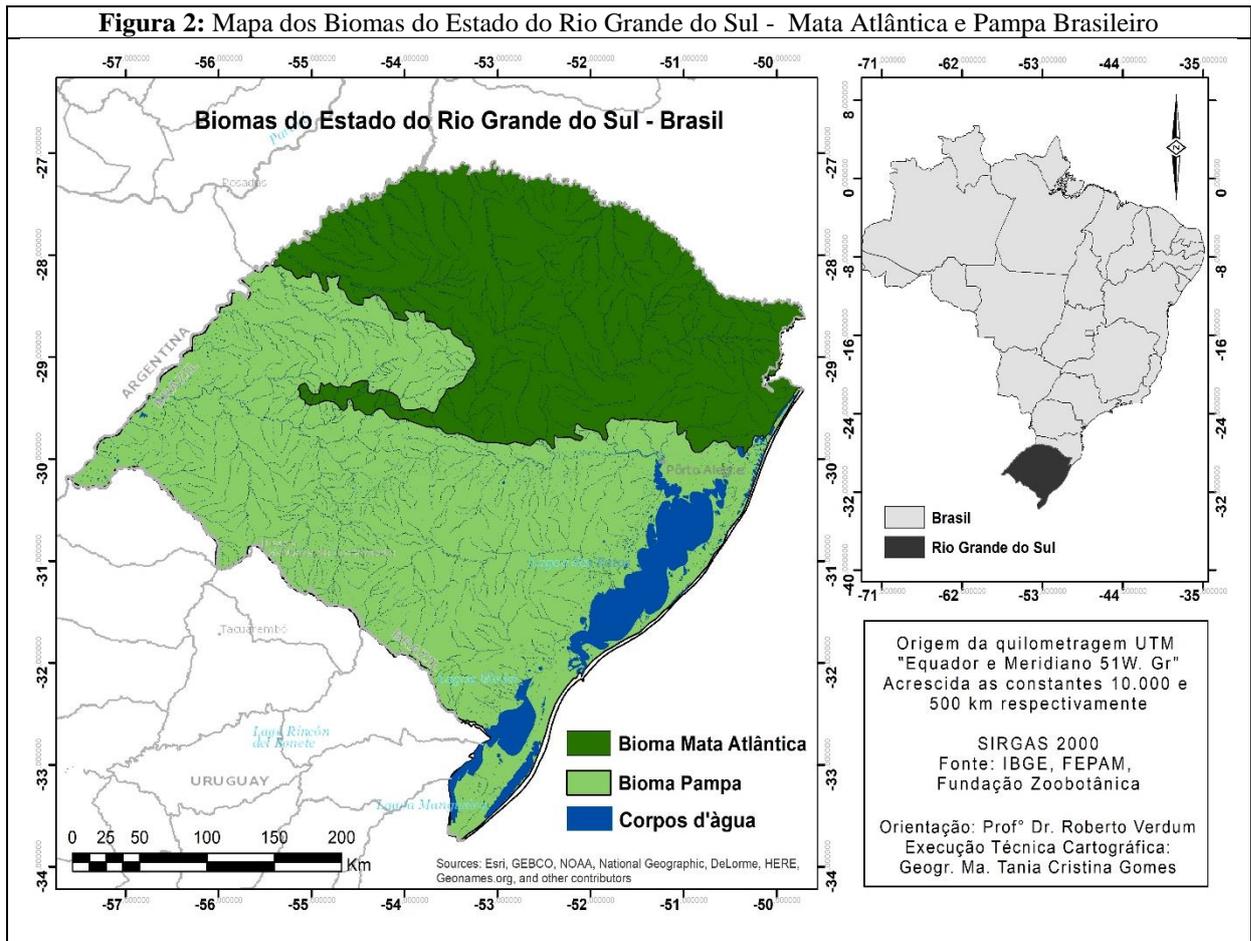
Fonte: Tripaldi & Zárate (2014)

A contribuição de Tripaldi & Zárate (2014) abastece o estado da arte pertinente à pesquisa de sistemas eólicos interiores, na qual o Norte tropical (~10°N ~10°S) abrange os campos de dunas de *Llanos del Orinoco* e da bacia amazônica, compostos principalmente por dunas parabólicas, *blowouts* (ou deflação) e lineares, desenvolvidas nas várzeas do rio. O Sul tropical (~10°S ~22°S) compreende sistemas eólicos situados ao longo das extensas planícies do *Gran Chaco* e aqueles localizados em bacias fluviais associadas ao escudo cratônico

brasileiro (São Francisco, Pantanal e Mato Grosso), não havendo dados cronológicos disponíveis para as dunas lineares e para as *lunettes* descritas no Pantanal, mesmo que admita-se que estas cristas lineares foram distinguidas no alto rio Paraná (Mato Grosso), com acúmulo de areia associada em diferentes fases do Holoceno. Já o *Piemonte* andino e os Pampas ocidentais, no Leste subtropical da América do Sul, compreendem uma grande variedade de morfologias de origem eólica, como, por exemplo, dunas do tipo *Barchan-barchanoid*, lineares, parabólicas, transversais e *lunettes*, bacias de deflação e lençóis de areia, sendo que as datações por luminescência sugerem atividade eólica durante tempos glaciais tardios e no Holoceno.

Apresentado o estado da arte sobre sistemas eólicos interiores no conjunto da América do Sul, partiu-se à correlação de um sistema eólico correspondente no Sudoeste do Rio Grande do Sul, o qual pode integrar o sistema eólico transfronteiriço do Pampa – Brasil, Uruguai e Argentina (Províncias de Buenos Aires, La Pampa, Santa Fé, Córdoba, Entre Ríos e Corrientes).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Estado do Rio Grande do Sul é formado por dois grandes domínios ambientais: o do Pampa e o da Mata Atlântica (Figura 2). O Pampa representa 63% do território do Estado e é formado predominantemente por coxilhas alongadas, por campos abertos na fronteira Oeste, por terrenos dobrados na Serra do Sudeste, cobertos por um mosaico de campos e de florestas e, por fim, por terrenos planos e arenosos no litoral, cobertos por campos úmidos e por banhados. Já na metade Norte do território predominam os Campos de Cima da Serra, em meio a formações florestais robustas, ambos ambientes associados a terrenos elevados e de constituição basáltica (SILVA, 2012). Além disso, os campos herbáceos que abrangem Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai abrigam 540 espécies de aves, 12 das quais estão globalmente ameaçadas. Entre elas, há espécies de aves migratórias, que fazem sua jornada anual desde as pradarias norte-americanas até o inverno nos pampas da América do Sul (*Alianza del Pastizal*, 2006).



O sudoeste do Rio Grande do Sul expõe, como uma de suas características marcantes, a ocorrência de *areais* e de focos de *arenização*. Inúmeros são os esforços de pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, especialmente do Grupo de Pesquisa Arenização/desertificação: questões ambientais, na investigação da origem e da gênese dessas morfologias arenosas. Estudos sistemáticos têm comprovado que a gênese dos areais naquela região é natural, visto que sua formação procede do processo de arenização de depósitos arenosos não consolidados, retrabalhados pela dinâmica hídrica e eólica, ao longo do tempo geológico.

Em síntese, os areais derivam do retrabalhamento de depósitos arenosos de formações superficiais quaternárias, sendo resultado de dinâmicas morfogenéticas, nas quais os processos hídricos superficiais, particularmente o escoamento concentrado do tipo ravina ou voçoroca, associados às chuvas torrenciais, expõem, transportam e depositam areia, dando origem à

formação de areais, que, em contato com o vento, tendem a uma constante remoção (SUERTEGARAY & VERDUM, 2008).

Os processos morfogenéticos ocorridos no Quaternário recente parecem revelar, de maneira evidente, a atual dinâmica do relevo. Dentre os diversos fatores que influenciaram na transformação do modelado terrestre da região de ocorrências dos areais, coloca-se em evidência o ressecamento climático ocorrido no Holoceno tardio e os processos e as morfologias atribuídas a esta fase de ressecamento, os quais contribuíram para a evolução da atual conformação das morfologias de relevo em depósitos eólicos antigos identificados na região.

Além disso, o conhecimento sobre formações superficiais, especialmente aquele relacionado a depósitos eólicos antigos continentais, é incipiente ou ainda insuficiente para explicar com maior precisão a complexa interpretação associativa a propósito da morfologia, da gênese e dos processos erosivos/deposicionais, sobretudo no Brasil. No entanto, é sabido que estudos paleogeográficos já realizados na região vêm evidenciando a grande variabilidade climática ocorrida ao longo do tempo geológico, nos quais o entendimento das oscilações climáticas, especialmente as ocorridas no Quaternário, possuem relação com a morfodinâmica do relevo e com os agentes erosivos-deposicionais, que apresentam comportamento desigual em condições distintas de temperatura e umidade.

Destaca-se, ao mesmo tempo, que a região atualmente conjuga fatores que favorecem à formação de depósitos eólicos, como, por exemplo, a topografia de terras baixas, o regime de ventos apropriado (em velocidade e em direção) e a disponibilidade de sedimentos arenosos (areia quartzosa), expostos à ação dos ventos para transporte e para posterior deposição. Estes fatores caracterizam elementos fundamentais na composição da paisagem atual.

Em presença do exposto, surgem alguns questionamentos, os quais se pretendem esclarecer, no decorrer do trabalho. Dentre tantas inquietações que passaram a existir, a partir de inúmeras leituras de estudos consolidados referentes à temática e aos trabalhos de campo, pode-se expor as seguintes questões:

- Qual a proveniência e a localização dos sedimentos eólicos?
- As dinâmicas sedimentares são oriundas, em parte, dos processos geomorfológicos do passado e, de outra parte, das ações eólicas recentes, em conjunção com as transformações históricas pela ocupação e pelo uso da terra?

- Como estão ocorrendo a construção e a exumação de novas morfologias e de sedimentos antigos?

Dessa maneira, feições geomorfológicas continentais, como depósitos eólicos antigos, estáveis e/ou instáveis, também testemunham condições climáticas passadas. Elas ainda são pouco estudadas, por constituírem feições de difícil identificação e classificação, quando em regiões continentais, e também podem ser consideradas como indicadores geomorfológicos e sedimentológicos de mudanças paleoclimáticas, durante o Quaternário.

Por conseguinte, estas podem compor significativos e extensos registros eólicos do Período Quaternário, no Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, isto é, do interior do continente. Sua existência guarda respeitáveis evidências e informações sobre mudanças climáticas ocorridas regionalmente, que influenciaram na formação e na transformação da paisagem atual, especialmente por abrigar características específicas do Pampa Brasileiro.

Portanto, estamos diante de hipóteses como:

- Os areais, que se encontram associados às dinâmicas erosivas nas formações superficiais eólicas do Quaternário, caracterizam sua gênese relacionada às dinâmicas naturais;
- A origem dos depósitos eólicos pode ser datada de um período geológico recente, cerca de 2.000 A.P., visto que as feições deixam registros e características evidentes de comporem as formações superficiais mais recentes, no ciclo deposicional;
- As morfologias de coxilhas e das rampas atuais apresentam evidências de associação com as formações superficiais quaternárias típicas de intemperismo/deposição hídrico e eólico, ou seja, são passivas de associação da forma com a gênese.

Neste contexto, são elaboradas as reflexões iniciais, referentes à problemática abordada e às hipóteses levantadas para esta tese, as quais darão suporte ao esclarecimento quanto ao objetivo da pesquisa: revelar a associação entre as feições geomorfológicas atuais e as formações superficiais quaternárias, típicas de clima seco, assim como as dinâmicas erosivas/depositivas atuantes nessas feições, atualmente.

Na magnitude da relação genética entre relevo, formações superficiais, depósito eólicos e clima, fazem-se pertinentes os estudos relacionados a flutuações climáticas, sobretudo as ocorridas durante o Quaternário, de maneira especial, no decorrer do Holoceno. Tais

esclarecimentos são de fundamental importância para a compreensão da evolução do relevo, contribuindo para o aperfeiçoamento de estudos relacionados à identificação e à espacialização das formações superficiais quaternárias, devendo-se observar, sobretudo, a associação entre os depósitos eólicos antigos continentais e tais flutuações, visto que estes depósitos possuem íntima relação com a morfodinâmica do relevo, com a topografia e com os agentes erosivos/depositivos, em diferentes condições climáticas (temperatura, umidade e ventos).

Além disso, os estudos sobre flutuações climáticas regionais vêm ganhando cada vez mais importância, sendo que estudos paleoclimáticos evidenciam que o sistema terrestre, composto pelos subsistemas hidrosfera-atmosfera-biosfera interagem entre si de maneira complexa e tendem a reajustar-se a cada vez que um subsistema sofre algum tipo de alteração. A multiplicidade de interações e de reações entre os distintos componentes do sistema climático e as variações que esses processos podem sofrer, ao longo do tempo, são evidenciadas em registros de sedimentos marinhos, estuários e lacustres, no gelo acumulado em calotas glaciais e nas montanhas.

Como já mencionado, as feições geomorfológicas continentais, como depósitos eólicos antigos e estáveis, também são testemunhos de que as condições climáticas no passado eram bem diferentes das atuais. Pouco estudados, por constituírem feições de difícil identificação e classificação, quando em regiões continentais, os depósitos eólicos continentais (inativos/fixos e/ou paleodunas inativas/fixas) igualmente podem guardar evidências e indicadores geomorfológicos e sedimentológicos de flutuações climáticas durante o Quaternário. De acordo com Giannini et al. (2005), campos de dunas e lençóis de areia de idade quaternária⁸ são registrados em diferentes setores do interior continental brasileiro, e a origem destas feições geomorfológicas comumente tem sido associada a períodos de ressecamento climático, ocorridos no final do Pleistoceno e do Holoceno.

Por conseguinte, os depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis identificados no Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul também guardam respeitáveis evidências e informações sobre mudanças climáticas ocorridas regionalmente, que influenciaram na formação e na transformação da paisagem atual, especialmente por torná-la única no mundo, abrigando características específicas da região do Pampa.

⁸ A exemplo das Dunas do Jalapão, dunas do Paleodeserto de Xique-Xique, depósitos eólicos no Oeste de Salvador, paleodunas no Sudoeste de Roraima, planície do Rio Negro.

Assim, a tese tem como objetivo geral o de identificar a associação entre as feições geomorfológicas atuais e as formações superficiais quaternárias, típicas de clima seco, assim como as dinâmicas erosivas/deposicionais atuantes nessas feições, no contexto dessa área, submetida historicamente à pressão agrícola.

Como objetivos específicos, pretende-se:

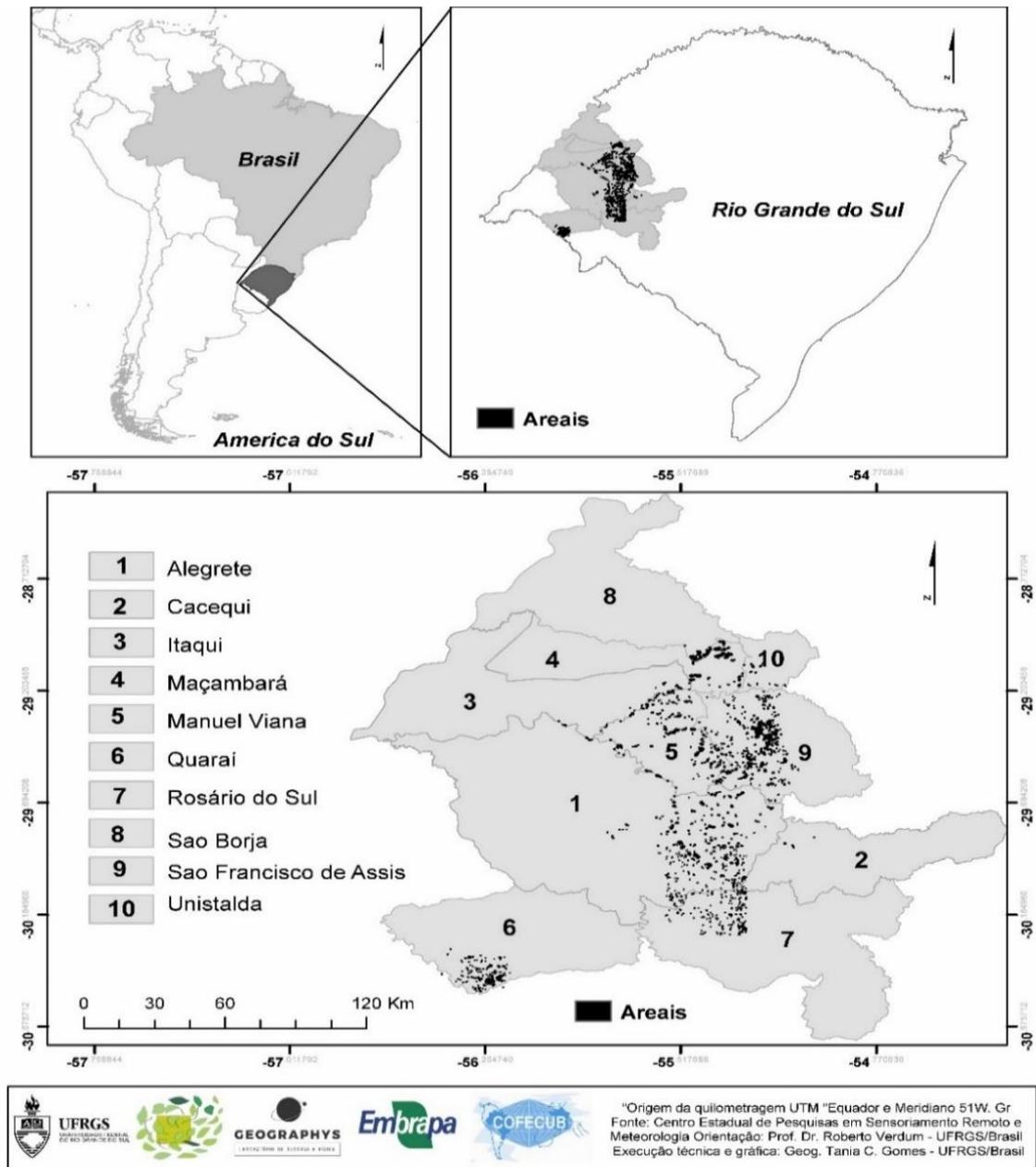
- Identificar, classificar e mapear as paleofeições geomorfológicas eólicas existentes na área de estudo;
- Caracterizar os processos geomorfológicos pretéritos que geraram estas feições, para compreender as dinâmicas erosiva e deposicional presentes nos depósitos eólicos;
- Caracterizar o contexto da evolução e da pressão agrícolas, associadas aos sistemas de pastoreio e de monoculturas.

1.2 Apresentação e relevância da área de estudo

Conforme Suertegaray et al. (2001) e Guasselli (2012), a região de ocorrência dos areais limita-se, a partir do meridiano de 54°, em direção Oeste, até a fronteira com a Argentina e com a República Oriental do Uruguai. Os municípios brasileiros afetados pela degradação dos solos sob a forma de areais, no Estado do Rio Grande do Sul, são: Alegrete, Cacequi, Itaqui, Maçambará, Manuel Viana, Quaraí, Rosário do Sul, São Borja, São Francisco de Assis e Unistalda (Figura 3).

De acordo com Guasselli (2012), a área atingida pelo processo da arenização no Estado do Rio Grande do Sul soma a totalidade de 4.948,19 ha para o ano de 2010, quando da realização do novo mapeamento, a fim de quantificar os areais. Cabe destacar que, com exceção dos areais que ocorrem no município de Quaraí, os demais núcleos arenosos ocorrem na área de abrangência da bacia hidrográfica do Rio Ibicuí, a qual pertence à Região Hidrográfica do Uruguai (U050) e compreende uma área de 36.397,69 km². Esta bacia hidrográfica limita-se ao Norte pela bacia do Ijuí-Piratinim-Icamaquã; ao Sul, pelas bacias do Quaraí e do Santa Maria; a Leste, pelas bacias do Alto Jacuí e Vacacaí-Vacacaí Mirim; e a Oeste, com o Rio Uruguai, na divisa com a Argentina.

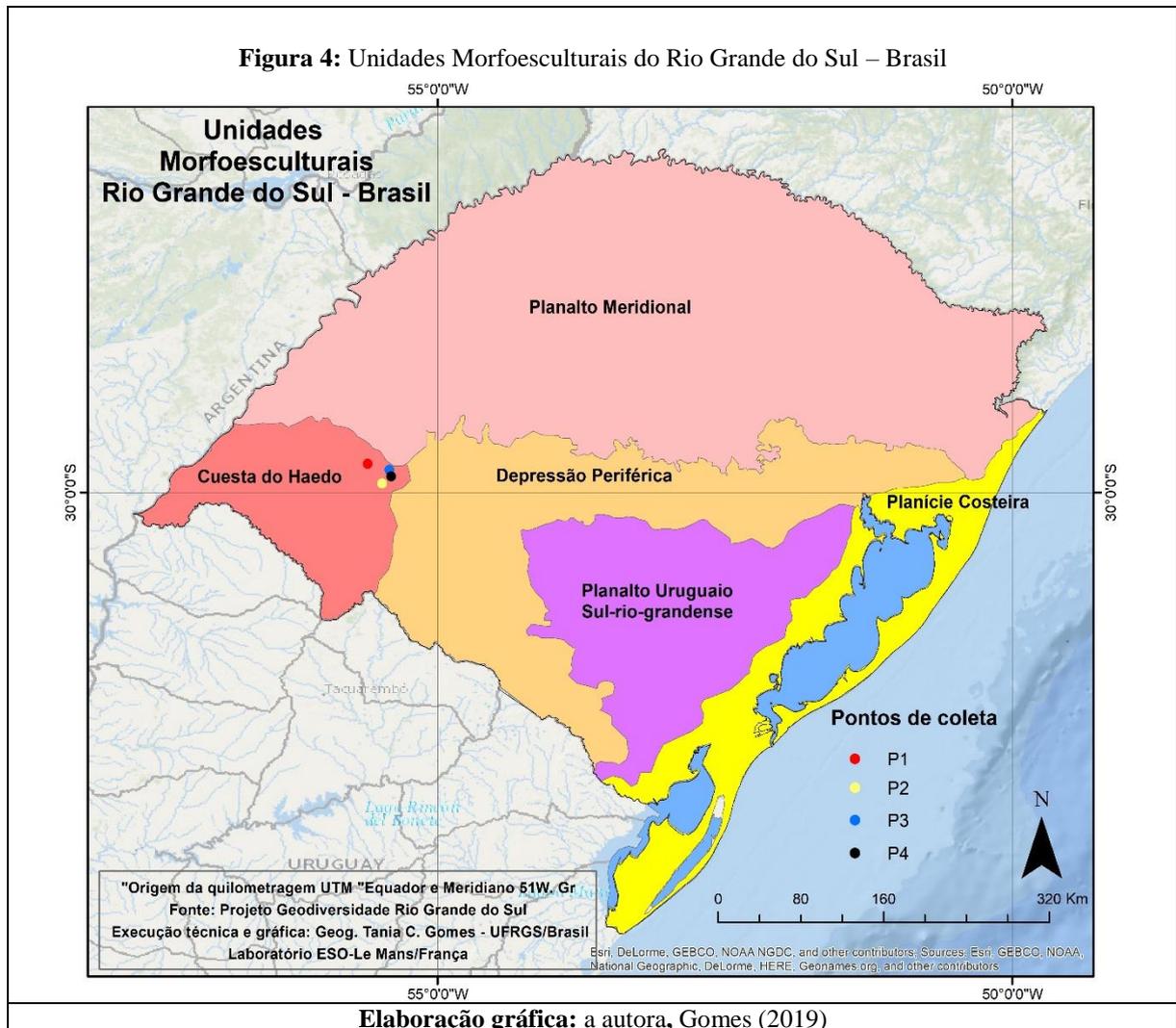
Figura 3: Mapa de localização dos municípios sob processos da Arenização



Elaboração: a autora, Gomes (2019)

No âmbito da compartimentação geomorfológica, o Estado do Rio Grande do Sul está inserido em cinco Unidades Morfoesculturais: Planalto Meridional, Cuesta de Haedo, Depressão Periférica, Escudo Sul-rio-grandense e Planície Costeira (Figura 4). Os pontos

coloridos na mesma figura representam os pontos de coleta de sedimento eólico, para a realização de datação absoluta, análise granulométrica e morfooscópica.



Regionalmente, a área experimental de estudo⁹ está inserida na morfoescultura denominada Cuesta de Haedo. Esta unidade morfoescultural, enquanto processo morfogenético, formou-se por basculamento pós-cretáceo e por entalhamento por erosão fluvial, a partir da ação dos rios Ibicuí e Santa Maria. Caracteriza-se por uma cuesta seccionada do Planalto Meridional pelo *percée* formado pelo rio Ibicuí, apresentando altitudes entre 300

⁹ Como área experimental de estudo, entende-se o recorte espacial definido como área piloto para a elaboração do mapeamento das morfologias eólicas e de seus atributos, bem como para a coleta de sedimentos, para posterior análises em laboratório.

m, na parte oriental, e 80 m, na calha do rio Uruguai (Suertegaray & Moura, 2012 p. 24). De acordo com Ab'Saber (1964) este compartimento está associado à superfície de aplainamento denominada **Superfície do Cerro da Cadeia**¹⁰.

Os *areais* ocorrem sobre dois distintos compartimentos geomorfológicos, desconsiderando a *Cuesta* enquanto compartimento geomorfológico: na escarpa erosiva do Planalto Meridional, caracterizando áreas de relevo acidentado e com presença de relevos testemunhos; e na Depressão Periférica, na qual predominam as paisagens do Pampa brasileiro, com presença de relevos do tipo colinas (coxilhas) e morros testemunhos (cerros), com cotas altimétricas de até 200 m. Dessa forma, os *areais* ocorrem predominantemente nos compartimentos de colinas com substrato arenítico e são, em sua maioria, originários de deposição eólica, admitindo-se a fragilidade das morfologias de colinas, em virtude da presença de solos incipientes e de formações superficiais quaternárias inconsolidadas.

A área experimental de estudo, com cerca de 144 mil ha, situa-se entre os municípios de Alegrete e de Manoel Viana, ao longo da BR 377 (municípios 1 e 5, na Figura 3). Optou-se por este recorte espacial por representar a complexidade dos processos geomorfológicos analisados no desenvolvimento desta pesquisa. O recorte abrange características substanciais para o estudo das morfologias eólicas, enquanto objeto de tese. Dentre os elementos evidenciados na área escolhida, observa-se a presença de *areais*, morfologias tipicamente associadas a depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis; de afloramento de blocos areníticos, condicionante estrutural de ancoragem de depósitos eólicos; de lagos em bacia de deflação; de estrangulamento de paleodrenagem/valão por depósitos eólicos; de processos erosivos lineares do tipo ravina e voçoroca, entre outras características.

Diante do exposto e, também, devido ao pouco conhecimento a respeito das morfologias tipicamente associadas a depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis continentais, os quais abrigam importantes registros sobre a evolução da paisagem, é que se partiu em busca da especialização do conhecimento sobre tais fenômenos. Pesquisadores (ver capítulos 4 e 5), através da interpretação de outros *proxys*, estimam uma cronologia para explicar a morfodinâmica do relevo, sobretudo por meio de estudos relacionados às formações superficiais, atribuindo a idade destas ao *Optimum* pós-glacial, fase úmida do final do Pleistoceno e início do Holoceno, seco. No entanto, os dados ainda são insuficientes para estimar a idade absoluta dos depósitos eólicos e eluviais existentes na região.

¹⁰ Constitui o paleoespaço da atual Depressão Periférica, sendo, conseqüentemente, o plano a partir do qual foi elaborado o relevo da região Sudoeste. (SUERTEGARAY, 1987 p. 71).

2 O CAMINHO DA INVESTIGAÇÃO: O MÉTODO E OS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS, TÉCNICOS E OPERACIONAIS

"O método da ciência é o método de conjeturas audazes e engenhosas seguidas de tentativas rigorosas de falseá-las"... Nunca se pode dizer licitamente que uma teoria é verdadeira, pode-se dizer com otimismo que é a melhor disponível, que é melhor que qualquer das que existiam antes."
Karl Popper (1975)

"...o tratamento metodológico em uma pesquisa é subproduto direto da teoria".
Ross (2010)

2.1 Do Método e da concepção Teórico-conceitual

É relevante preceder, em qualquer encaminhamento dado a uma pesquisa, à distinção entre método, metodologia e procedimentos técnicos operacionais. Para Ross (2010, p. 29), "o tratamento metodológico em uma pesquisa é subproduto direto da teoria". É a metodologia que norteia o trabalho, enquanto que a instrumentalização e as técnicas operacionais funcionam como apoio, isto é, a metodologia deve simular a "espinha dorsal" de qualquer pesquisa. Dessa forma, é necessário dominar o conteúdo teórico e conceitual, assim como ter habilidade para a manipulação dos instrumentos técnicos de apoio (GOMES, 2013).

Destarte, o método adotado para esta pesquisa passa pela compreensão do método hipotético-dedutivo, que consiste, de maneira simplificada, na investigação científica sobre um determinado problema, visando construir e testar uma possível resposta ou uma solução para o problema posto em evidência. Pereira et al. (2013), ao realizar estudos, no intuito de compreender o método hipotético-dedutivo, idealizado por Karl Popper (1902-1994), elucida a fórmula que conduz este método: " $P1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P2$ ", uma vez que qualquer discussão científica deve iniciar do principal Problema (P1), para o qual haverá a busca de uma solução, para, então, contemplar uma teoria provisória (TT) e esta deve ser criticada, para a eliminação dos erros (EE), o que levará a novos Problemas (P2), constatando-se, então, que a ciência começa com problemas e termina com problemas. Por conseguinte, busca-se avaliar as generalizações pertinentes ao objeto estudado, para, depois, direcionar-se ao caso concreto e específico, ou seja, o método hipotético-dedutivo parte do geral para o específico.

A Figura 5 representa de maneira simplificada as principais etapas do método hipotético-dedutivo, no qual a *primeira fase* deriva da observação, concebendo o problema a

partir de um interesse. Em seguida, a *segunda fase* consiste da formulação de hipóteses, enquanto explicações provisórias sobre o problema/objeto; é a fase criativa no processo de elaboração de conjunturas. A *terceira fase* concentra-se na dedução das consequências, a partir das hipóteses. A *quarta fase* incide sobre a etapa de testes e de experimentações para, finalmente, confrontar com a realidade, resultando na confirmação ou na invalidação das hipóteses.

Figura 5: Etapas do Método Hipotético-dedutivo



Cabe ainda salientar que, do ponto de vista do método, porém em relação a estudos de estrutura superficial, Casseti (2005) elucida que, enquanto subsídio à evolução do relevo, utiliza-se da teoria do **atualismo** ou do **uniformitarismo**, atribuída a Hutton (1788), que parte do princípio de que “o presente é a chave do passado”, no qual as relações processuais e os depósitos correlativos constituem a “chave” para o entendimento dos paleodepósitos ou dos paleopavimentos detríticos, encontrados sob a forma de estrutura superficial.

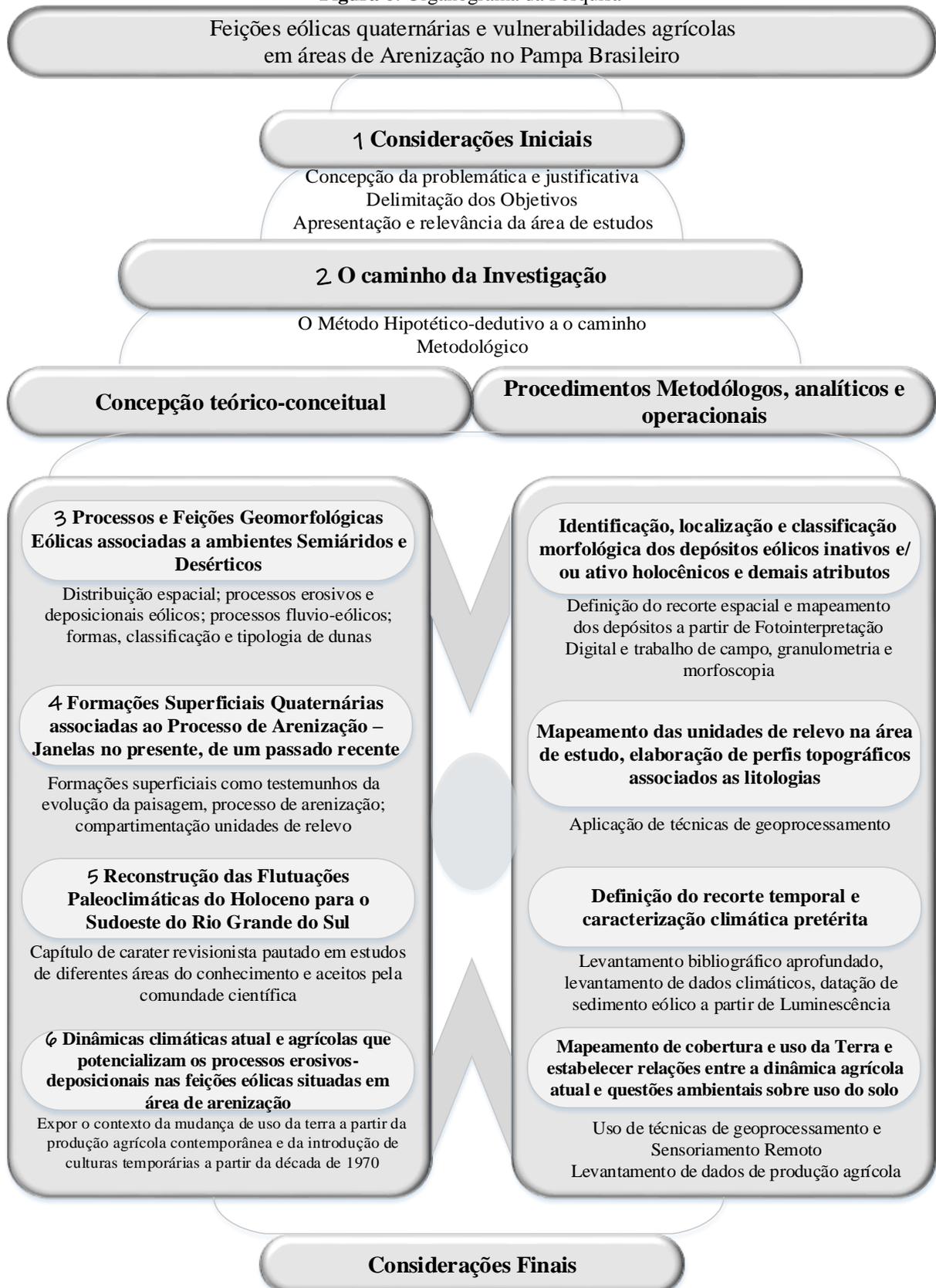
Deste modo, este trabalho teve como ponto de partida, além de considerar o conhecimento científico acumulado referente à temática abordada, as observações de campo sobre a formação de depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, compostos por sedimentos do Quaternário, sobretudo formações superficiais do Holoceno. Em face dessas morfologias, surgem os questionamentos levantados anteriormente, na concepção da problemática. A partir daí, seguiram-se o levantamento bibliográfico específico (teórico, metodológico e prático), o documental-cartográfico e a definição dos recortes temporal e espacial da área experimental.

A concepção do referencial teórico-conceitual e dos procedimentos metodológicos, bem como das técnicas operacionais aplicadas, observou duas linhas gerais, as quais orientaram o caminho metodológico percorrido (Figura 6). O referencial teórico-conceitual adotado fundamenta a proposta de tese e os procedimentos metodológicos conduzem as técnicas que operacionalizaram a pesquisa. Salienta-se que essas duas grandes linhas não estão postas de maneira hierárquica, pois sua construção não se submete a níveis de importância, visto que ambas podem ser orientadas de maneira conjunta.

A *primeira linha* diz respeito à construção do referencial-teórico conceitual, sendo composta de 4 capítulos, com cada um deles respondendo ao um papel dentro da pesquisa, e, também, apresentando os resultados parciais atribuídos a essas referências. Assim, o **capítulo 3** dispõe sobre processos e sobre as feições eólicas associados a ambientes desérticos e semiáridos; o **capítulo 4** aborda as formações superficiais quaternárias e o processo de arenização no Sudoeste do Rio Grande do Sul; o **capítulo 5** discorre sobre as flutuações climáticas ocorridas no Holoceno, em escala regional; e o **capítulo 6** versa sobre as dinâmicas climáticas e agrícolas que potencializam os processos erosivos-deposicionais nas feições eólicas situadas em área de arenização.

O **capítulo 7** sai do terreno da construção científica e apresenta o fechamento da tese, na forma de considerações finais.

A *segunda linha geral*, que conduz os procedimentos técnicos e operacionais, representa o fazer na identificação, na interpretação, na espacialização e na classificação dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis do Holoceno e apresenta os demais atributos, a partir da aplicação de técnicas de fotointerpretação digital, de geoprocessamento, de datação absoluta e de análises granulométrica e morfoscópica. Estas etapas serão descritas de forma detalhada a seguir, neste mesmo capítulo.

Figura 6: Organograma da Pesquisa

2.2 Dos Procedimentos Metodológicos e Operacionais

Os procedimentos técnicos e analíticos foram adotados em concordância com os objetivos específicos propostos e combinados com as etapas de campo, de laboratório e de gabinete. A etapa de observação de campo conduziu as primeiras interpretações sobre a evolução morfológica dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis e o levantamento dos pontos de coleta de material sedimentar, para as análises granulométrica e morfoscópica, bem como para a realização de datação absoluta, através do método de Luminescência (LOE – Protocolo SAR).

Este conjunto de dados sistematizados, associado ao referencial teórico-conceitual e ao mapeamento de detalhes, permitiu a caracterização morfogenética e geocronológica precisa dos depósitos eólicos, assim como serviu para produzir inferências sobre as flutuações climáticas ocorridas durante o Quaternário, sobretudo, no Holoceno.

Foram amostrados quatro pontos de coleta em trincheira, situados em áreas identificadas como de ocorrência de depósitos eólicos, considerando aspectos morfológicos do relevo, ocorrência de processos de arenização, canais reativados, canais soterrados, feições abrasivas e afloramentos rochosos, ou seja, levando em consideração o modelo morfológico adotado para a identificação e para a classificação dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis continentais interiores do Sudoeste do Rio Grande do Sul. Destaca-se, ainda, que foram amostradas porções únicas de cada perfil, devido à homogeneidade do material sedimentar, sendo que todos os testemunhos coletados situavam-se em colinas (coxilhas, na denominação regional), supostamente originárias de sedimentos eólicos, e estas não ultrapassaram a medida de 160 cm de profundidade, como pode ser observado no Quadro 1.

Para a determinação do recorte temporal, foi considerado que somente um clima mais seco, com rajadas de vento intensas e com longos períodos de estiagem poderia ter propiciado e originado a paisagem atual. Uma das hipóteses que norteia este trabalho reside na existência de depósitos eólicos naquela região há pelo menos 2.000 A.P. e, assim, foi definido o recorte temporal: a Época do Holoceno.

Quadro 1: Pontos de coletas de sedimento – Alegrete/RS – Brasil				
	P1T1-Fazenda Palma	P2T1-Fazenda Santa Luzia	P3T2-Fazenda Costa Silveira	P4T2-Boi-Bumbá
Coordenadas Altimetria Profundidade do perfil	Latitude:29°45'318" Longitude:55°36'411" Cota: 144 Profundidade: 1,53	Latitude: 29°55,265' Longitude:55°28,984' Cota: 162 Profundidade: 1,30	Latitude:29°48,380' Longitude:55°25,274' Cota: 150 Profundidade: 1,47	Latitude:29°51,679' Longitude:55°24,18' Cota: 174 Profundidade: 1,15
Unidade Morfoescultural	<i>Cuesta Haedo</i> (Reverso)	<i>Cuesta Haedo</i> (Reverso)	<i>Cuesta Haedo</i> (Reverso)	<i>Cuesta Haedo</i>
Feição	Colina com depósito eólico (coxilha-denominação regional)	Colina com depósito eólico (coxilha-denominação regional)	Colina com depósito eólico (coxilha-denominação regional)	Colina com depósito eólico (coxilha-denominação regional)
Cobertura Vegetal	Herbácea	Herbácea e Arbustiva – Butiá-anão (<i>Butiá lallemantii</i>)	Herbácea	Herbácea
Litologia	Formação Botucatu Afloramentos Fr. Botucatu	Transição Formação Guará/Botucatu Afloramentos Fr. Botucatu	Formação Botucatu	Formação Botucatu
REGISTRO FOTOGRÁFICO				
				
	P1	P2	P3	P4

2.2.1 O caminho metodológico aplicado ao mapeamento das Formações superficiais – depósitos eólicos estáveis e instáveis do Holoceno

Para fins de espacialização das formações superficiais, Pfaltzgraff (2003) destaca que o produto final de um mapeamento deve conter informações detalhadas referentes às unidades residuais e transportadas, informações sobre a origem do material (química ou orgânica por processos naturais ou antrópicos), sobre o substrato aflorante, com indicação do tipo litológico, sobre os elementos de neotectônica, sobre feições erosivas com significado regional (campo de voçorocas, falésias), sobre cronologia relativa, sobre recursos minerais, sobre feições relevantes do modelado (bordas de chapada; escarpas; leques aluviais, cristas, taludes artificiais, etc.), sobre características físicas dos materiais, sendo estes alguns dos elementos a serem mapeamentos em estudos relacionados a formações superficiais.

Igualmente, é fundamental a caracterização dos materiais que compõem as unidades, como cor, granulometria, morfometria, grau de consolidação, composição mineralógica, estruturas sedimentares, processos de alteração, natureza da matriz, espessura, extensão, forma do depósito, relações de contato, feições de relevo (topografia, forma da encosta), características hidrológicas e hidrogeológicas das unidades, considerando permeabilidade, porosidade, saturação, transmissividade (PFALTZGRAFF, 2003).

Isto posto, elaborou-se a chave de interpretação para o mapeamento de detalhe (Quadro 2). No entanto, antes foi necessário realizar um amplo levantamento referente às metodologias aplicadas ao mapeamento de formações superficiais, sobretudo quanto aos depósitos eólicos estáveis interiores continentais, incluindo revisão bibliográfica sobre estudos de geologia, geomorfologia e sedimentologia, especialmente os relativos à região que abrange a área de estudos. Com as bases definidas e com a realização de, no mínimo, um trabalho de campo por ano, partiu-se para a definição da área de estudo (área experimental).

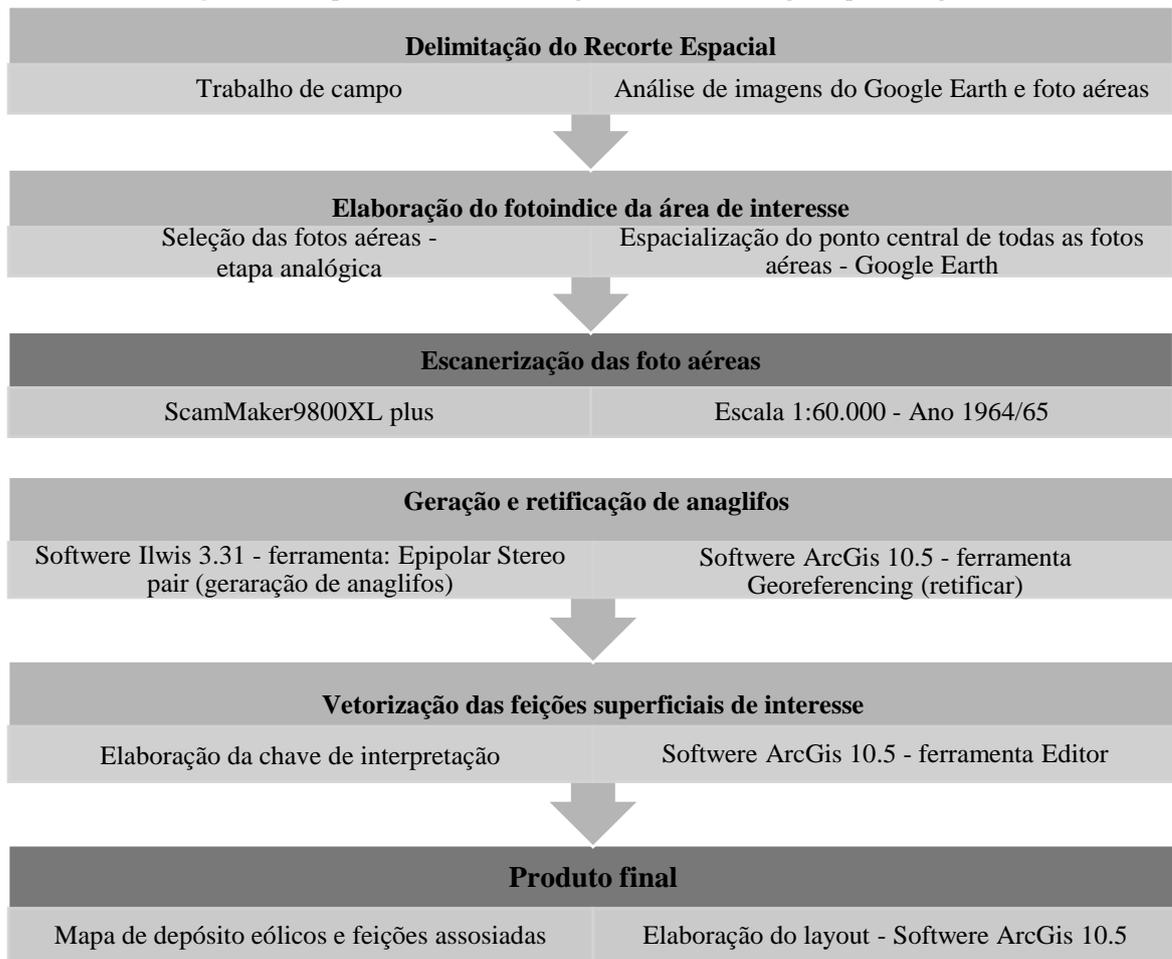
Logo, no recorte espacial adotado, observou-se o agrupamento do maior número de atributos relevantes ao cumprimento dos objetivos específicos elencados na pesquisa, ou seja, delimitou-se a área de estudo (área experimental) que representasse a presença de depósitos eólicos, areaais, afloramento de blocos areníticos, lagos em bacia de deflação, soterramento e/ou reativação de paleodrenagem/valão por depósitos eólicos, falhas geológicas, enquanto condicionante estrutural de ancoragem, depósitos de origem hipoteticamente eólica, típicos de clima seco, dentre outras características postas em evidência. Tais aspectos deram subsídio à elaboração da chave de interpretação para o mapeamento, Quadro 2, a partir de técnicas de fotointerpretação digital, de classificação visual de imagens de alta resolução, disponibilizadas pelo Google Earth Pro e de imagens SRTM e posterior validação em trabalho de campo.

Quadro 2: Chave de interpretação para o mapeamento das feições geomorfológicas			
Atributos	Característica do atributo		Materiais e técnicas aplicadas
Classificação das Unidades de Relevo	Os vales	<i>Vales secos</i> : canais sem fluxo herdados, onde três fases levam a forma atual: modelagem anterior em vale, preenchimento de areais soprados pelo vento, às vezes, remodelados em concavidades (cabeça de vale seco)	Classificadas a partir da Forma do Terreno do Projeto TOPODATA – INPE (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) Rede de drenagem atual ANA – Agência Nacional de Águas Imagem SRTM – TIN (INPE) (Resolução 30m) (Software ArcGis 10.5)
	Espaços intermediários ou vertentes	<i>Vales Drenados</i> : caracteriza a atual Rede hidrográfica. Incluem um canal ou leito. O fluxo que os empresta pode ser intermitente ou perene.	
	Colinas de topo agudo e topo plano	São os pontos altos do relevo. Sua cartografia torna possível localizar sua forma e sua altitude. Os topos foram interpretados a partir de imagem SRTM - TIN	
Depósitos eólicos estáveis	São depósitos de areia estáveis identificados a partir de fotointerpretação. Classificados pela textura, cor, forma e altimetria.		Fotointerpretação digital em anaglifos (Interpretação visual e vetorização) (Software ILWIS 3.3 Academic; ArcGis10.5)
Depósitos eólicos instáveis (Areais)	São depósitos de areia ativos identificados a partir de fotointerpretação e validados em imagens de alta resolução. Classificados pela textura, cor e principalmente pela ausência de vegetação.		Fotointerpretação digital em anaglifos Imagens de alta resolução do Google Earth Pro (Interpretação visual e vetorização) (Software ILWIS 3.3 Academic; ArcGis 10.5)
Afloramento rochoso	Passíveis de interpretação em imagens de alta resolução		Fotointerpretação digital em anaglifos Imagens de alta resolução do Google Earth Pro (Interpretação visual e vetorização) (Software ArcGis 10.5)
Relevo abrupto ou tabular	Passíveis de interpretação fotografia aéreas		Fotointerpretação digital em anaglifos Imagens de alta resolução do Google Earth Pro (Interpretação visual e vetorização) (Software ArcGis 10.5)
Bacia de deflação	Passíveis de interpretação por fotografias aéreas e imagem de alta resolução		Fotointerpretação digital em anaglifos Imagens de alta resolução do Google Earth Pro (Interpretação visual e vetorização) (Software ArcGis 10.5)
Processos erosivos do tipo ravinas e voçorocas	Passíveis de interpretação por fotografias aéreas e imagem de alta resolução		Fotointerpretação digital em anaglifos Imagens de alta resolução do Google Earth Pro (Interpretação visual e vetorização) (Software ArcGis 10.5)
Organização: a autora, Gomes (2019)			

O pré-processamento da base para a fotointerpretação digital deu-se conforme detalhamento da Figura 7 e consistiu na transformação de fotos áreas analógicas em digitais, formadas por par estereoscópico pelo método *anaglifos*, as quais são passíveis de serem manipulados diretamente em meio digital 3D, em qualquer *software* de geoprocessamento.

As primeiras fotografias aéreas analógicas analisadas, para pré-visualização, foram obtidas junto à 1ª Divisão de Levantamento do Exército Brasileiro e são do ano de 1990, estando na escala de 1:60.000. Após a delimitação da área experimental, foram usadas fotografias aéreas (com escala de 1:60.000, obtidas nos anos de 1964/65), constantes do acervo da biblioteca da faculdade de Geociências da UFRGS.

Figura 7: Pré-processamento de fotografias aéreas analógicas para anaglifos

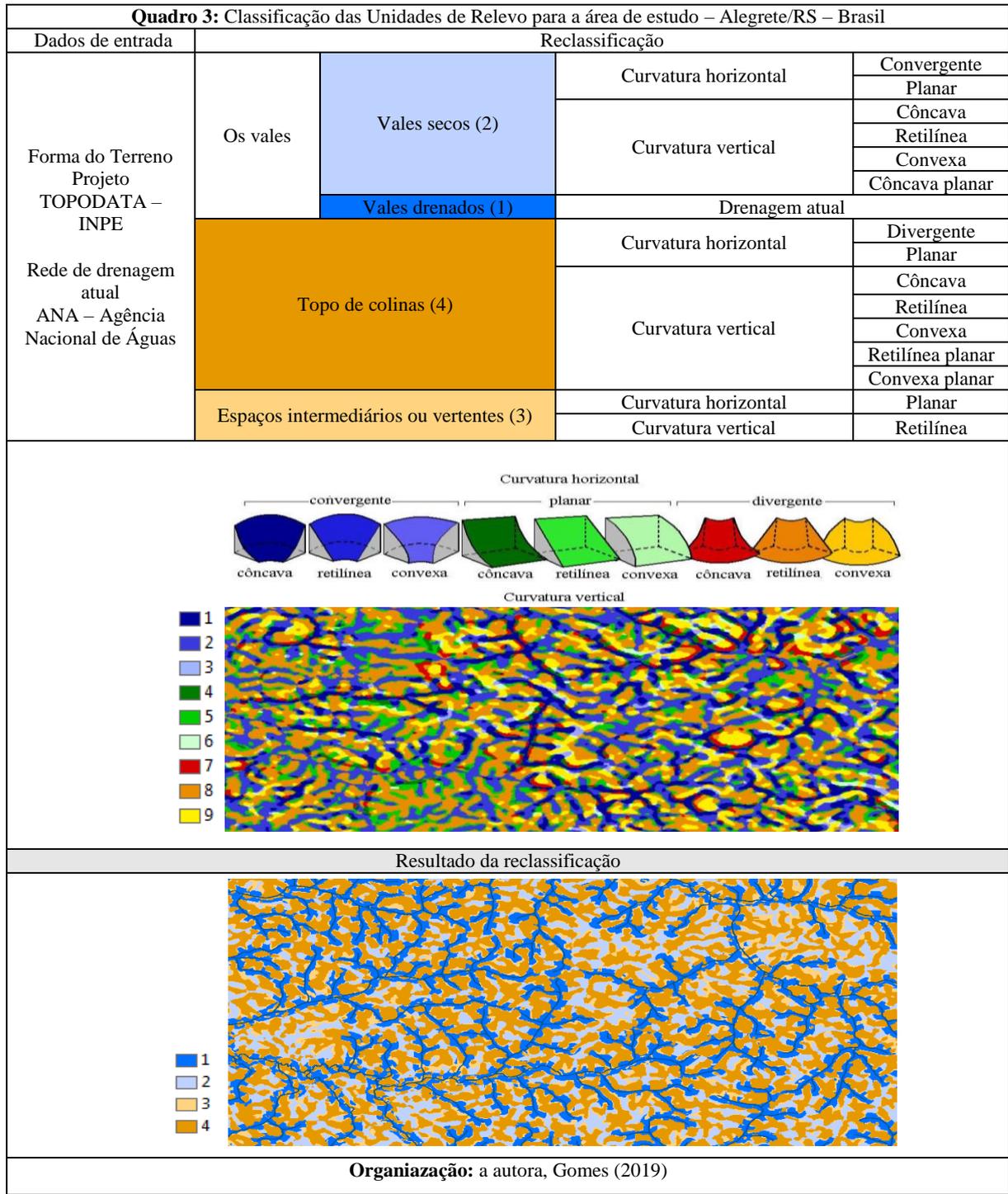


Organização: a autora, Gomes (2019)

A seguir, partiu-se para a identificação e para a vetorização dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, a partir da extração de informação qualitativa do objeto estudado por interpretação visual, através da fotointerpretação digital 3D em anaglifos. Feitas as primeiras considerações sobre a localização e sobre o padrão morfológico dos depósitos eólicos, abre-se

a análise, a fim de realizar o mapeamento de todos os atributos/feições a serem qualificados e/ou quantificados.

O atributo *Classificação das Unidades de Relevo*, Quadro 2, está melhor detalhado na Figura 3, a qual explica como efetivamente foi realizado o mapeamento das unidades, para posterior sobreposição das feições geomorfológicas interpretadas.



Ainda, foram elaborados perfis topográficos esquemáticos para cada ponto de coleta. Os perfis foram gerados a partir de imagens SRTM (resolução 30 m) em ambiente do ArcGis 10.5 (*Imagem SRTM - Formato Raster → 3D Analyst → Interpolate Line → Profile Graph → Export*). Em seguida, os perfis topográficos e as unidades litológicas foram sobrepostas, juntamente com os demais atributos interpretados: depósitos eólicos, areais, drenagem, processos erosivos, afloramentos rochosos e falhas.

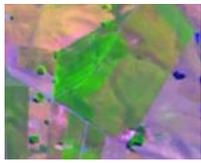
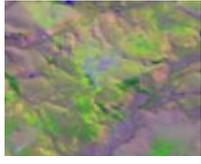
Vale salientar que o mapeamento geológico disponibilizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM – está na escala 1:750.000 e que a ausência de sondagem torna difícil a elaboração de perfis mais precisos. Portanto, os perfis organizados consistem em perfis esquemáticos, interpretados a partir de materiais e das bases cartográficas disponíveis.

2.2.2 O caminho metodológico aplicado ao mapeamento do Uso e cobertura da Terra

O mapeamento do uso e cobertura da terra deu-se por processamento digital de duas imagens de satélite, *TM-Landsat 2* (resolução 80m – passagem em 16/01/1982) e *TM-Landsat 8* (resolução 30m – passagem em 28/09/2016), disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE. Todos os processamentos aplicados ao mapeamento de uso foram realizados no *software Arcgis 10.5*. Foi utilizado, ainda, a ferramenta *Basemap*, com imagens de alta resolução, também dentro do ambiente do *ArcGis 10.5*, para auxiliar na identificação, vetorização e quantificação de focos de arenização e/ou areais ativos por interpretação visual.

A classificação e definição dos tipos de usos ocorreu a partir da classificação proposta pelo Sistema de classificação para a cobertura e o uso da terra, sugerida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. O método do IBGE aborda um sistema multinível de classificação em três níveis de abstração, que deu origem a um sistema básico de classificação da cobertura e do uso da terra, sendo possível interpretar vários usos de áreas: antrópicas e não agrícolas; antrópicas agrícolas; de vegetação natural; águas e outras áreas (incluindo unidades de conservação, de proteção, de uso sustentável, terras indígenas, etc.).

Dessa maneira, com base na classificação do IBGE, elaborou-se nova chave de interpretação para área de estudo, conforme Quadro 4.

Quadro 4: Chave de interpretação da Cobertura e Uso da Terra							
			Composição Colorida 1982		Composição Colorida 2016		
Classes		Descrição do uso	Textura	1982 - R2G1B3	Tonalidade	2016 - R6G5B4	Tonalidade
Áreas Antrópicas Agrícolas	Lavoura temporárias	Áreas de culturas anuais ou perenes	Lisa		Vermelho Claro		Verde, Verde Claro
	Cultivo Irrigado	Lavoura de arroz	Lisa		Marrom		Roxo
	Silvicultura	Áreas de reflorestamento de Eucalipto.	Rugosa	---	---		Verde Claro
Áreas de Vegetação Natural	Campo Nativo	Cobertura de vegetação natural	Média		Vermelho Claro		Verde Médio
	Mata ciliar	Mata próximo aos cursos de água	Rugosa		Vermelho Médio		Verde Escuro
Água	Corpos de água	Rios e afluentes	Lisa		Vermelho Escuro		Azul
Outros	Areais	Processo de arenização - ativo	Média	---	---		Branco
	Solo exposto	Solo arado/revolvido	Média		Marrom		Lilás

Fonte: IBGE (2013) – **Elaboração,** Gomes (2019)

Para o mapeamento de uso recente (*TM-Landsat 8* - 2016) a classificação das áreas ocorreu através do método de classificação supervisionada, onde foram retiradas cerca de 80 amostras por tipo de uso. Para a composição da imagem foram utilizadas as bandas de 1 a 6 (R5G3B1). Na coleta das amostras do tipo de uso Campo e/ou pastagem, foram realizadas maior número de amostras com menor tamanho, considerando a maior diferença nos pontos que se fazia perceptível na imagem aérea.

Para a classificação das áreas irrigadas (cultivo de arroz), mesmo considerando a dificuldade de distinguir essas áreas das com corpo d'água de menor profundidade, foi utilizado o índice NDVI *Normalized Difference vegetation Index*. Para isso foi realizada a composição de bandas R6G5B4 e para gerar o NDVI no *Image Analysis* foi alterado a definição da imagem espectral para (Real) Red = 4/Near IR (Infravermelho) = 5.

A partir deste procedimento foi gerado a imagem *raster* com uma única banda aplicando-se também uma falsa coloração. Com a ferramenta de identificação foram consultados os valores dos pixels do NDVI e, sendo possível realizar a reclassificação do *raster*, a partir do intervalo equivalente para as áreas irrigadas, atribuindo-se intervalo até o valor de 2 e para os demais atribui-se como *NoData*.

Para o mapeamento dos usos de 1982, tendo em vista que o mesmo foi realizado com imagens do satélite *Landsat 2*, com menor resolução e quantidade de bandas, o procedimento não foi realizado da mesma forma que o mapeamento anterior, referente a 2016, sendo este realizado apenas a partir da classificação supervisionada interativa, porém, sua execução ocorreu com uma maior quantidade de coleta de amostras, em média 100 por uso. A composição de bandas para a classificação foi feita em R2G1B3.

2.2.3 O caminho metodológico aplicado às classificações granulométrica e morfooscópica

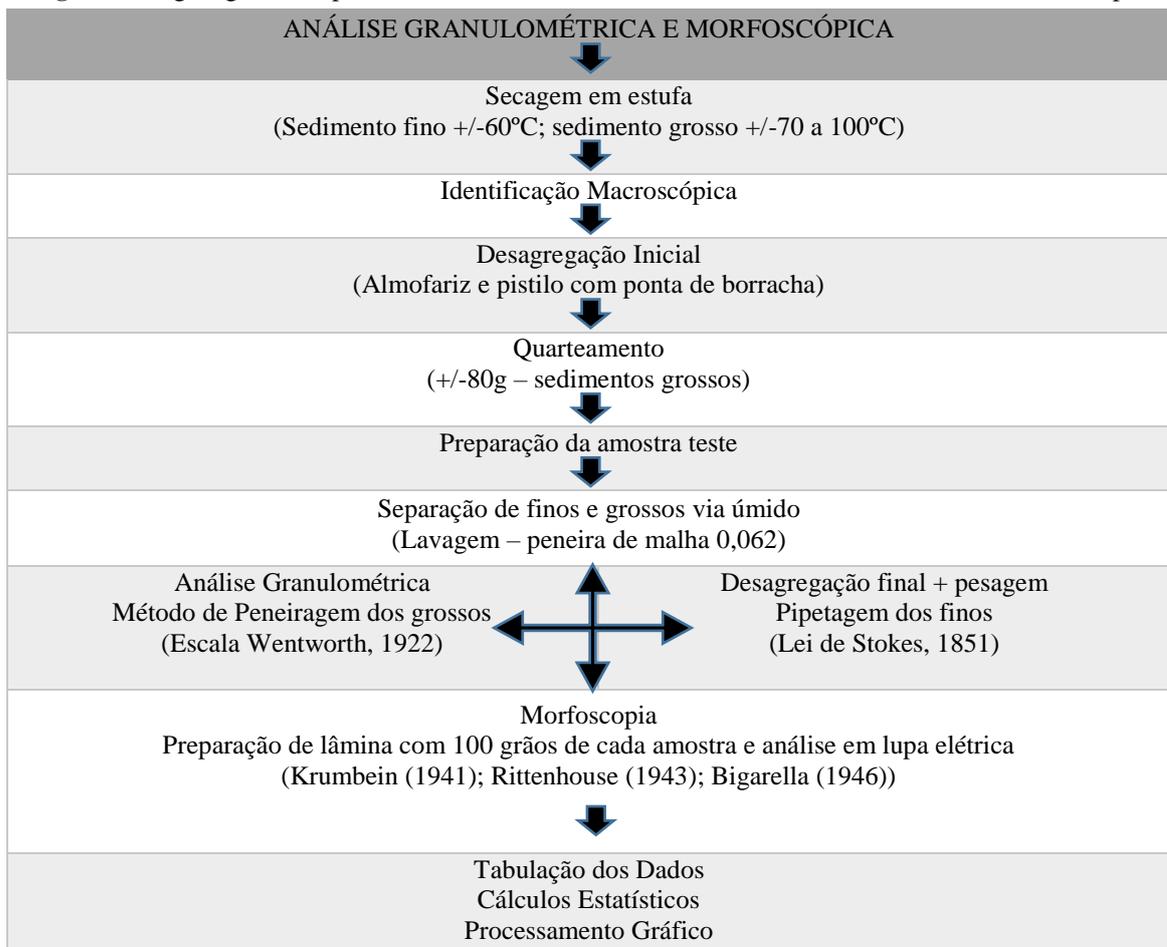
A etapa de laboratório consistiu na realização das análises granulométrica e mineralógica dos sedimentos eólicos, bem como na aplicação de técnicas e do teste de luminescência (OSL – Luminescência Ópticamente Estimulada), para determinar a datação absoluta e a reconstrução geocronológica.

De acordo com Suguio (2003) a morfometria compreende a medida da forma (ou esfericidade) e o arredondamento das partículas sedimentares detríticas, que fornecem

informações sobre os agentes e/ou sobre os ambientes deposicionais. A granulometria define o tamanho das partículas, expresso pelo seu diâmetro. As análises granulométricas constituem as bases para uma descrição mais precisa dos sedimentos, na qual a distribuição granulométrica pode evidenciar os distintos ambientes deposicionais; abastecer de informações sobre os processos físicos atuantes durante a deposição; e pode, também, relacionar estas características a outras propriedades, como, por exemplo, porosidade e permeabilidade.

De maneira geral, após a coleta de sedimentos, deu-se início à fase de processamento das amostras (Figura 8), junto ao Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos Costeiros e Oceânicos, sob orientação metodológica do técnico em geologia Gilberto Silveira do Santos. As análises em laboratório incluíram análises físicas, para a determinação granulométrica (grossos e finos) e das propriedades morfoscópicas (arredondamento, esfericidade e textura superficial).

Figura 8: Organograma do processamento das amostras em laboratório – Granulometria e Morfoscopia



Organização: Gomes (2019)

Esta etapa inicial deu-se pela abertura, pela separação, pela pesagem, em balança eletrônica de precisão, e pela identificação das amostras P1, P2, P3 e P4 (a partir de cerca de 1,200 kg de cada amostra). Armazenadas em bacias de alumínio, as amostras foram colocadas para secagem e, posteriormente, em estufa, para a remoção da umidade, na qual permaneceram, nas primeiras 24 horas, à temperatura de 65°C, e por mais 72 horas, à 40°C. Antes da secagem, ainda foram individualizadas pequenas porções de cada amostra e colocadas em solução (de água), para a determinação de finos em suspensão. Nesse processo simples, observou-se a presença de finos em todas as amostras.

Também antes da secagem, foram individualizadas pequenas porções de cada amostra, para futuras análises mineralógicas. O material foi identificado e armazenado adequadamente, em bobina plástica, tomando-se o devido cuidado para não contaminar o material com o alumínio da bacia, bem como para evitar a mistura de sedimentos entre as amostras. Assim, o processo de separação foi feito com espátula plástica, limpa a cada separação.

Após a secagem, as amostras foram destorroadas com almofariz de porcelana e de pistilo com ponta revestida de borracha, para desagregação leve do material. Posteriormente, as amostras foram preparadas para o quarteamento, para cobrir reserva técnica e eventuais imprevistos. Após o quarteamento de cada amostra, o material sedimentar foi novamente pesado em balança eletrônica de precisão. Na sequência, cerca de 90g de cada amostra foi destinado para a análise granulométrica, procedendo-se com a separação de finos e de grossos, em seus distintos intervalos de classes.

A separação dos tamanhos finos (<0,062mm) e grosso (>0,062mm) foi feita por meio da lavagem dos sedimentos com água destilada sobre peneira de malha de 0,062 mm, tamanho limítrofe para sedimentos finos e grossos. Na sequência, os sedimentos grossos foram colocados para secagem em estufa a 65°C por 48h e reservados. A porção de finos, já separada em proveta graduada em 1000ml durante o processo de lavagem, recebeu cerca de 50ml de defloculante do tipo Pirofosfato de sódio ou Pirofosfato tetrassódico ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), que inibe a floculação das frações silte/argila e facilita o método da Pipetagem.

O método da Pipetagem, fundamentado na Lei de Stokes (1851), consiste na determinação da concentração de finos em meio líquido. Dessa maneira, após o processo de decantação (2h03min de repouso) das partículas em suspensão (frações silte/argila) realizou-se a pipetagem a uma profundidade 10cm, extraído-se um volume de 20ml de cada proveta,

seguida de secagem em estufa a 65°C por 24h, acondicionadas em copos de Becker. Após a secagem dos finos pipetados, obtêm-se os totais de argila contidos na amostra, dado pela diferença entre peso inicial e final destes finos (CV- Copo Vazio e CM - Copo Material).

A porção de sedimentos tidos como grossos, apurados no processo de lavagem, foi submetida ao Método de Peneiração, para distribuição das classes granulométricas, bem como para a determinação da classe modal. Assim, os grossos foram passados em um jogo de peneiras de malhas com intervalos de 2,0mm, de 1,0mm, de 0,5mm, de 0,250mm, de 0,125mm e de 0,062mm (Figura 9), os quais correspondem aos intervalos granulométricos de Wentworth (1922) e Krumbein (1941).

Distribuídas as classes granulométricas dos grossos e determinada a classe modal, apontada pelos sedimentos de granulometria 0.125mm (areia fina), por ser o intervalo mais representativo dentro do universo amostral, preparou-se apenas a classe modal, para análise dos aspectos morfoscópicos em lupa binocular. Dessa maneira, analisou-se o grau de arredondamento do grão, a partir da tabela de comparação de Krumbein (1941), o grau de esfericidade de Rittenhouse (1943) e foi efetuada a análise da textura superficial, através da categorização de Bigarella (1946). Todos os aspectos estão dispostos e especificados em uma tabela-síntese (Figura 9).

A partir do Método de Peneiração, foram calculados os valores percentuais das classes granulométricas, de acordo com a Escala Wentworth (1922), através dos sedimentos retidos nas respectivas malhas. Por fim, foi realizada a análise dos aspectos morfoscópicos da classe modal (0.125mm – areia fina), utilizando lupa binocular e metodologia descrita no quadro-síntese (Quadro 5). A categorização dos grãos da classe modal foi feita por classificação visual, com individualização de 100 grãos, observando ausência de vício amostral, de cada amostra, para determinação da proporção direta do percentual de arredondamento e de esfericidade, e para a análise da textura superficial.

Quadro 5: Esquema simplificado para Análise Granulométrica e Morfoscópica					
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA					
Sedimentos		Escala Wentworth (1922)		Diâmetro(mm)	Escala(phi)
Grossos	Grânulo/cascalho		2		-1
	Areia Muito Grossa		1		0
	Areia Grossa		0.5		1
	Areia Média		0.250		2
	Areia Fina		0.125		3
	Areia Muito Fina		0.062		4
Finos	Silte		0.0039		8
	Argila		0.00049		12
ANÁLISE DOS ASPECTOS MORFOSCÓPICOS					
Arredondamento do grão Krumbein (1941)		Esfericidade do grão Rittenhouse (1943)		Textura Superficial do grão Bigarella (1946)	
Nomenclatura	Intervalo	Nomenclatura	Intervalo	Nomenclatura	
Angular	0.0 – 0.1	Ruim	0.1 – 0.3	Sacaróide	Polido
					Polido/fosco
					Fosco
Subangular	0.1 – 0.3	Média	0.3 – 0.5	Mamelonado	Polido
					Polido/fosco
					Fosco
Subarredondado	0.3 – 0.5	Boa	0.5 – 0.7	Liso	Polido
					Polido/fosco
					Fosco
Arredondado	0.5 – 0.7	Muito Boa	0.7 – 0.9		
Bem arredondado	0.7 – 0.9				
Fonte: Wentworth (1922); Krumbein (1941); Rittenhouse (1943); Bigarella (1946)					
Síntese e organização: Gomes (2019)					

Ressalta-se que os finos (silte/argila), extraídos durante o processo de Pipetagem, foram atacados com solução de ácido clorídrico (HCl), a 10%, e aquecidos, até cessar a efervescência. Este procedimento retira a película que dá cor aos grãos, restando grãos na sua coloração original. Vale destacar que, para a realização deste procedimento, é necessário o cuidado com a preparação e com o manuseio dos materiais, especialmente do ácido clorídrico. A amostra, em copo de Becker, deve ser acomodada na capela e o ácido deve ser adicionado lentamente, com o auxílio de uma pipeta, de modo que toda a amostra seja atacada, seguido por agitação, com bastão de vidro. Esta etapa deve ser reproduzida até que não ocorra mais efervescência. Por fim, os resultados granulométricos foram dispostos em tabelas, em gráficos e em histogramas, para posterior interpretação e discussão dos resultados.

2.2.4 *O caminho metodológico aplicado na determinação da datação por Luminescência Opticamente Estimulada – LOE (Protocolo SAR)*

A datação por luminescência é um dos métodos de geocronologia absoluta, que, juntamente com o ^{14}C , vem sendo aplicado em estudos do Quaternário, especialmente na determinação de depósitos eólicos, praias e fluviais. Com base na luminescência de minerais presentes em sedimentos detríticos, como quartzo e feldspato, a técnica pode ser aplicada principalmente em materiais arenosos, incluindo sedimentos, nos quais não se encontra matéria orgânica. Dessa maneira, datações por luminescência fundamentam a técnica de precisar a idade de registros estratigráficos e assinalam a compreensão do espaço de tempo transcorrido desde o seu estabelecimento, afirmando a cronoestratigrafia dos eventos de erosão/deposição dos sedimentos (PEREIRA, 2017).

De acordo com Guedes et al. (2011), a luminescência é o fenômeno de emissão de luz por certos materiais, que foram previamente expostos à radiação ionizante e que, posteriormente, foram submetidos a um agente excitante. O agente excitante é a luz, na LOE (luminescência opticamente estimulada), e o calor, na termoluminescência (TL). A idade estimada pela técnica de luminescência provém da data em que o sedimento em análise foi exposto à luz solar pela última vez, uma vez que estes sedimentos, ao serem transportados, sofrem fotoesvaziamento pela luz solar, restando apenas o coeficiente de luz residual. Uma vez soterrado, o sedimento fica protegido da exposição solar e a energia da radiação ionizante ambiental passa a se acumular nos minerais, podendo-se, assim, determinar a idade de sedimentação dividindo-se a dose acumulada, desde o soterramento do sedimento, pela dose anual (taxa de dose) de radiação natural (GUEDES et al., 2011).

Para este estudo, foram coletados quatro testemunhos para datação por luminescência opticamente estimulada (LOE), método que mensura o tempo transcorrido desde a última exposição de grãos de quartzo à luz solar. Os sedimentos foram coletados em canos de PVC marrom opacos, de cerca de 30 cm de comprimento e de 5 cm de diâmetro, para proteger o material da luz solar. Após a retirada do perfil, os materiais foram cuidadosamente lacrados e reservados em sacos plásticos (pretos) e armazenados para transporte.

Em seguida, o material coletado de P1 e P2 foi enviado ao Laboratório de Datação Comércio & Prestação de Serviços LTDA, em São Paulo (SP), para a realização da datação com financiamento do Projeto *QUALPROSUL: Qualités de produits territorialisés au Rio*

Grande do Sul - CAPES/COFECUB. Já o material sedimentar coletado em P3 e P4 foi enviado ao laboratório IRAMAT – *Institut de Recherche sur les ArchéoMATériaux*, da Université Bordeaux Montaigne, na França, sob responsabilidade da professora pesquisadora Christelle Lahaye, especialista em cronologia através de LOE.

Dessa forma, as quatro amostras (P1, P2, P3 e P4), as mesmas usadas para as análises granulométrica e morfoscóptica, foram datadas por LOE. As amostras dos testemunhos P1 e P2 foram processadas em laboratório brasileiro e as amostras P3 e P4, em laboratório francês. Salienta-se que a amostra referente ao testemunho P3 não obteve luminescência, não sendo possível determinar a sua datação. Dessa maneira, na França, obtivemos resultados apenas para a amostra P4. Ressalte-se que, mesmo que as amostras tenham sido processadas em laboratórios distintos, aplicou-se o mesmo método e procedimentos semelhantes para LOE nas quatro amostras, não interferindo no resultado final de obtenção e na inferência de datações absolutas.

3

PROCESSOS E FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS EÓLICAS ASSOCIADAS A AMBIENTES SEMIÁRIDOS E DESÉRTICOS

'The answer is blowing in the wind...'
(Bob Dylan)

Com o intuito de compreender a dinâmica eólico-geomorfológica do recorte espacial estudado, faz-se pertinente o estudo da classificação e das tipologias de feições em ambientes semiáridos e desérticos, propostos na literatura global. Dessa maneira, este capítulo busca caracterizar os mecanismos que envolvem a atividade eólica associada as suas feições erosivas e deposicionais. Tal caracterização legou suporte para a elaboração da chave de interpretação necessária à identificação e à classificação dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, que compõe a paisagem atual estudada. Assim, o capítulo está subdividido em quatro seções: a primeira abordará a distribuição espacial dos ambientes desérticos no globo terrestre; a segunda, traz a noção dos agentes que atuam na esculturação das feições típicas desses ambientes secos; a terceira, elenca as diferentes feições eólicas, trazendo suas classificações e tipologias; e a última seção esclarece quanto à ocorrência de processos flúvio-eólicos em ambientes semiáridos e desérticos.

3.1 Distribuição espacial dos ambientes desérticos da Terra

As regiões desérticas são possuidoras de paisagens ímpares, sujeitas à influência mútua de eventos intermitentes de precipitação, de processos de intemperismo e de vento. De maneira geral, pode-se considerar que as regiões desérticas ocorrem nas baixas latitudes, entre 30° de latitude Norte e 30° de latitude Sul, e estão espacialmente delimitadas pelo índice de aridez, o qual as classifica em desérticas e em áridas. As regiões áridas abrangem a totalidade dos desertos e das áreas de entorno, denominadas de franjas, limitadas frequentemente pela isoietas de 100 mm/ano. No entanto, na porção Norte do deserto do Saara (*Magreb*), essa isoietas não engloba as regiões estépicas, consideradas áridas ou semiáridas, mesmo que a precipitação nestes locais ocorra entre 200 e 300 mm/ano. Na porção Sul do Saara (*Sahel*), classificada como árida, a precipitação oscila entre 400 e 500 mm/ano (CHRISTOPHERSON, 2012).

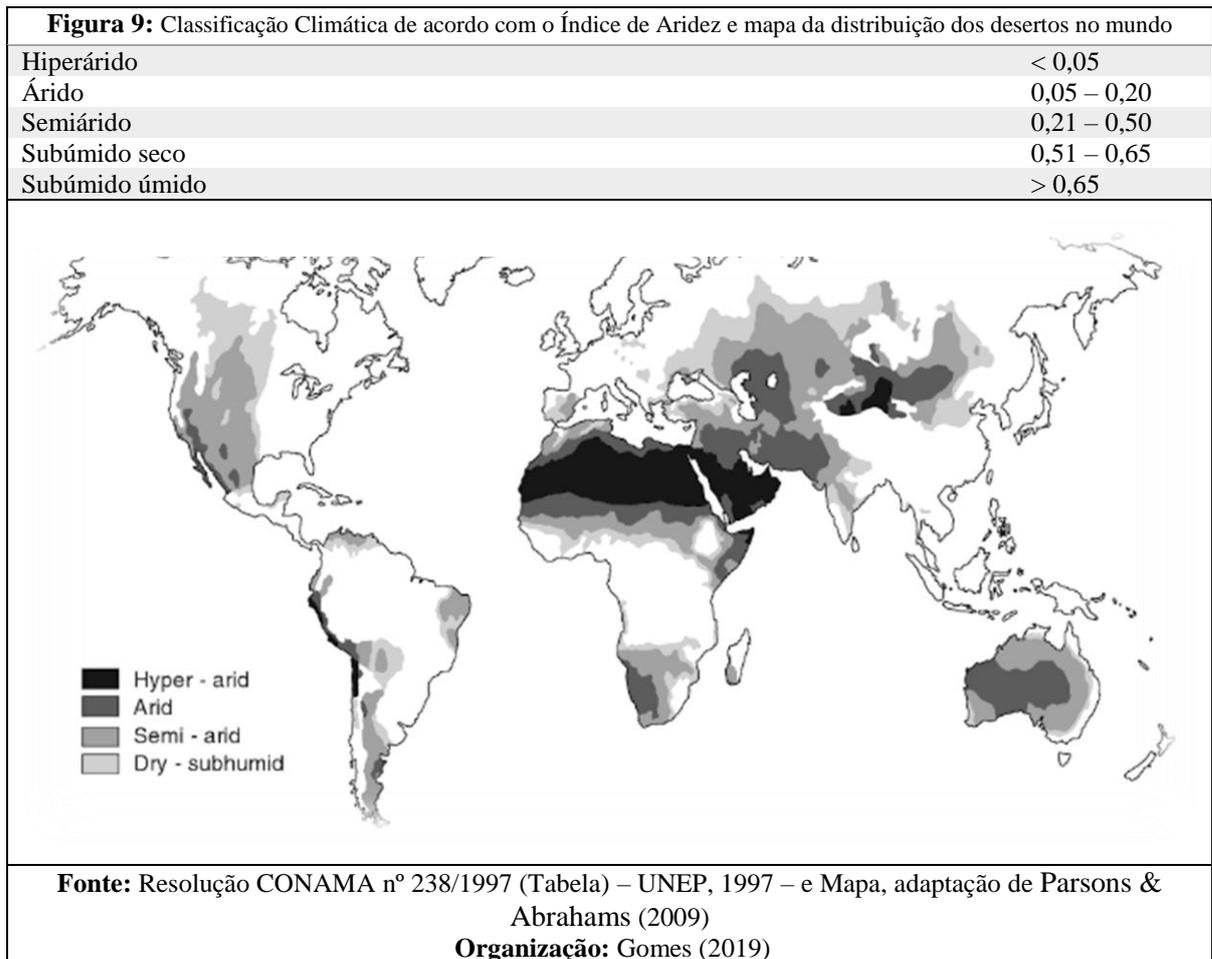
Christopherson (2012) destaca que a distribuição espacial de terras secas está relacionada a três contextos climatológicos: 1) células subtropicais de alta pressão entre 15° e 35°, nas latitudes N e S; 2) sombra de chuva a sotavento de obstáculos orográficos, como, por exemplo, cordilheiras; 3) áreas situadas a grandes distâncias de massas de ar carregadas de umidade, como na Ásia Central.

Dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA – apontam que os desertos representam um quinto da superfície terrestre (19,6%) e que abrangem cerca de 33,7 milhões de km². No entanto, de acordo com Christopherson (2012), os climas secos englobam cerca de 26% da superfície terrestre e, considerando os climas semiáridos, é provável que 35% das áreas continentais apresentem características típicas de ambientes áridos.

O Índice de Aridez¹¹, definido por Thornthwaite (1948), calcula a razão entre a quantidade de água proveniente da chuva (P) e a perda máxima possível de água, através das variáveis evaporação e transpiração (EVT – Evapotranspiração e ETP – Evapotranspiração Potencial), atribuindo classes de aridez, conforme a Figura 9.

A definição deste critério significa a adoção do mesmo em estudos e em documentos oficiais de combate à desertificação no mundo e no Brasil, como, por exemplo, no Atlas Mundial da Desertificação, publicado pelo PNUMA, em 2006, e na Resolução CONAMA n° 238, de 22 de dezembro de 1997, que dispõe sobre a Política Nacional de Controle da Desertificação no Brasil.

¹¹ É a razão entre a precipitação média (P) e a evapotranspiração potencial média anual (PET), a quantidade de água que seria perdida do solo saturado de água pela transpiração da planta e pela evaporação direta do chão (THORNTHWAITE, 1948). As regiões áridas e hiperáridas têm uma razão P/PET inferior a 0, isto é, a precipitação fornece menos do que 0% da quantidade de água necessária para suportar o crescimento ideal das plantas (UNEP-FAO, 1997). A aridez é mais alta nos desertos do Saara, do Peru e do Chile, seguidos pelos desertos da Arábia, da África Oriental, do Gobi, da Austrália e da África do Sul, e é mais baixa nos desertos de Thar e nos norte-americanos. Embora os índices de aridez variem nos diferentes desertos do mundo, todos eles se enquadram nas categorias áridas e hiperáridas (PNUMA, 2006)

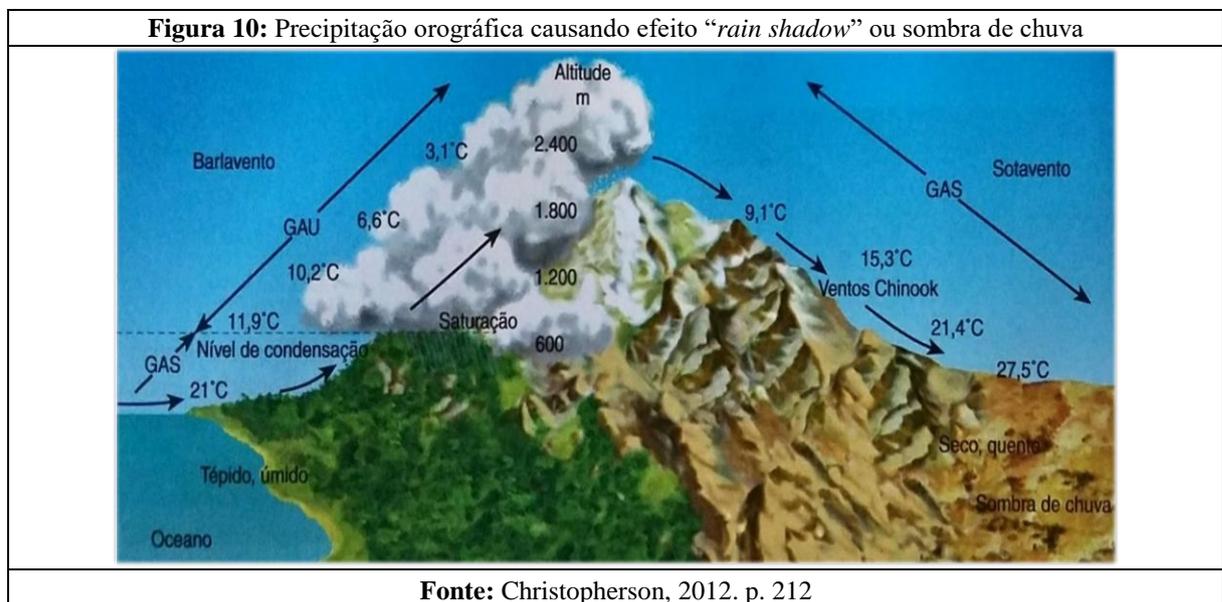


Os desertos ocorrem em todos os continentes e constituem, de maneira resumida, regiões que possuem solos desnudos, com pouca cobertura vegetal, com índice de aridez inferior a 20%, com temperaturas diurnas de até 80°C, no verão, e diurnas chegando a -20°C, com alternância entre períodos breves de precipitações abundantes e períodos longos de secas intensas – fenômeno denominado de **pulsos de chuvas** ou *rainfall pulses*, que fortificam a estrutura dos ecossistemas desérticos, os quais são compostos por fauna e por flora com capacidades visivelmente adaptadas a condições extremas. Os pulsos de chuvas, por terem um comportamento heterogêneo, favorecem a biodiversidade dos ambientes desérticos e são dependentes das condições atmosféricas globais e dos fenômenos oceânicos (PNUMA, 2006).

Dessa maneira, dois significativos sistemas trazem chuvas aos desertos: o transporte horizontal do ar úmido do mar para os continentes pelos ventos, causando condensação e precipitação sobre as massas continentais – precipitações de inverno; e a ascensão vertical do

ar quente sobre os continentes, denominado processo de convecção – precipitação de verão ou de monções. Esta ocorre em regiões tropicais, ao passo que as precipitações de inverno se situam em latitudes mais altas (PNUMA, 2006).

Ainda segundo o documento, existem três grandes tipos de desertos: desertos continentais, desertos costeiros e desertos tropicais. Essa classificação baseia-se em critérios de latitude (exposição solar), de condições meteorológicas e climáticas, definidas pela circulação de massas de ar e dos oceanos, e de topografia – efeito de *rain shadow* ou *efeito Föhn*, ou, ainda, **sombra de chuva** (Figura 10), que consiste em uma área cercada por montanhas, que apresenta baixos índices pluviométricos, se comparados aos das áreas de entorno.



O efeito *rain shadow*, ou **sombra de chuva**, ocorre pela presença da barreira orográfica e dos ventos predominantes, que forçam o ar quente e úmido contra a encosta, produzindo resfriamento adiabático e, por fim, fazendo ocorrer a saturação e a condensação líquida, formando nuvens e precipitação. Na face de sotavento, à medida que o ar “enxugado” desce, o aquecimento compressional o aquece e a evaporação líquida predomina, criando a sombra de chuva quente e relativamente seca da montanha (CHRISTOPHERSON, 2012).

3.2 Ventos, erosão, transporte, deposição e processos eólicos em ambientes semiáridos e desérticos

Os processos de erosão, de transporte e de sedimentação de materiais em ambientes desérticos absolutos (Classificação Hiperárido) são comandados pela ação dos ventos, que desloca (processo de transporte) e deposita (processo de acumulação) grandes quantidades de areia nas direções de ventos predominantes. Dessa maneira, a dinâmica eólica caracteriza-se por um conjunto de fenômenos ocasionado pela ação dos ventos, através da erosão, do transporte e da deposição de sedimentos eólicos (SÍGOLO, 2009).

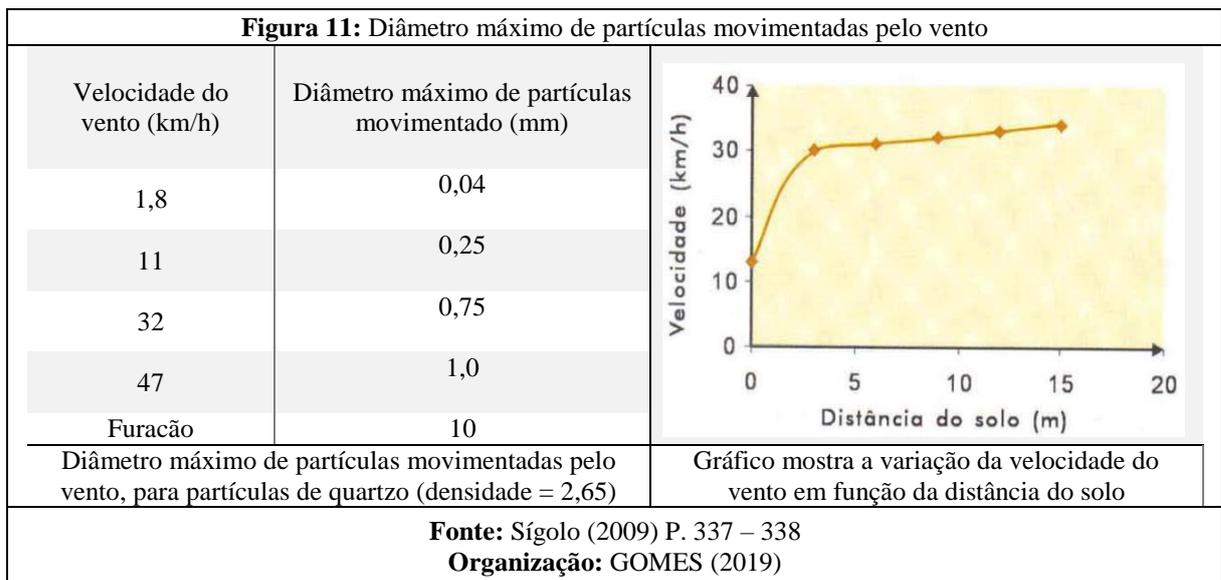
Os ventos que sopram sobre a superfície sólida do terreno compõem mais um agente que influencia no modelado do relevo, mesmo que estes não sejam suficientemente fortes para arrancar materiais de rochas mais duras ou, ainda, de solos protegidos por densa cobertura vegetal. A ação dos ventos, a erosão e o transporte de sedimentos limita-se às superfícies nas quais os minerais pequenos e as partículas orgânicas estão soltos. Assim, as áreas mais sujeitas a estas condições estão presentes fundamentalmente nos desertos e nas terras semiáridas, exceto em ambientes costeiros, nos quais as praias fornecem grande quantidade de areia (STRAHLER; STRAHLER, 1997, p. 348).

Christopherson (2012) anota que o vento, assim como a água e o gelo, é um agente geomorfológico, mas a capacidade do vento de mover materiais é pequena, em comparação com a água e com o gelo, porque o ar é menos denso do que esses outros meios. No entanto, ao longo do tempo, o vento realiza um enorme trabalho, concluindo que “[...] um vento constante de 50km/h pode mover aproximadamente meia tonelada de areia por dia, por uma seção transversal de um metro da duna” (CHRISTOPHERSON, 2012, p. 468).

Sígolo (2009) refere um exemplo curioso, ocorrido em 1901, quando fortes ventos do Saara transportaram mais de quatro milhões de toneladas de areia e de poeira (com 0,125 mm de diâmetro, compreendendo as frações de areia fina, de *silte* e de argila, na escala granulométrica de Wentworth) para o Norte, depositando esse material sobre 1,5 milhão de quilômetros quadrados da Europa. Outro exemplo mencionado é o da precipitação de areia observada nos conveses de navios, cujo trajeto passa próximo à região de Cabo Verde, no Oeste da África, fenômeno no qual estes recebem **chuvas** de areia e de poeira, provenientes do Saara, situado há mais de 1.500 km de distância.

Para este mesmo autor, quanto maior for a velocidade de deslocamento da massa de ar, maior será a sua capacidade de transporte. No entanto, anteparos naturais, como vegetação, e

elementos artificiais, como edificações, podem reduzir a velocidade dos ventos e, conseqüentemente, a capacidade de transporte de areia e de poeira. Os ventos deslocam-se através de fluxo turbulento ou laminar. Quanto mais distante da superfície terrestre ou de barreiras naturais ou artificiais, mais laminar é o movimento das massas de ar e mais turbulento será, quanto mais próximo de superfícies ou de barreiras. Na Figura 11 exibe-se o gráfico da variação da velocidade das massas de ar, com relação à altura, e, no quadro, mostra-se a classificação dos ventos, de acordo com sua velocidade.

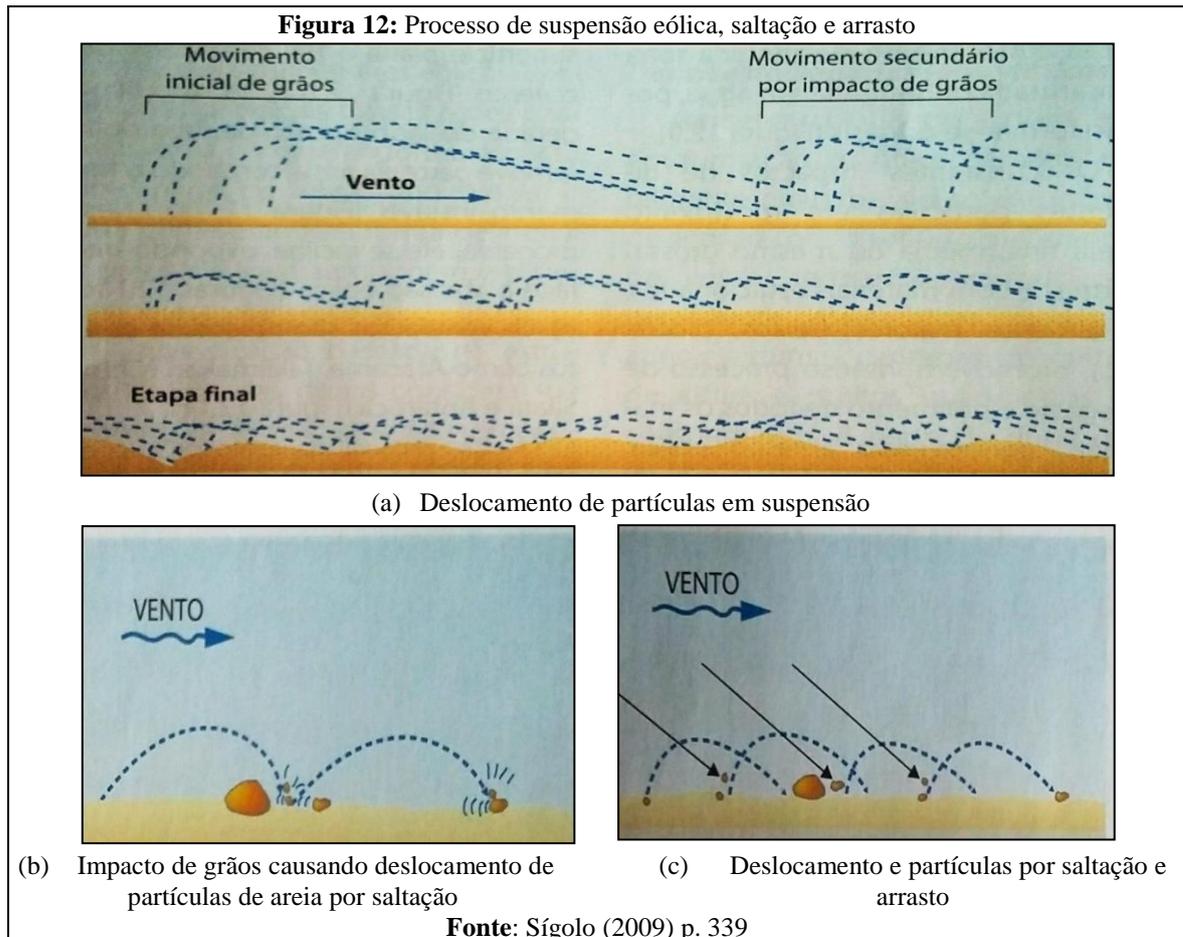


Para Christopherson (2012), o tamanho do grão é importante para definir a capacidade erosiva dos ventos, uma vez que grãos de tamanho intermediário se movem com maior facilidade, pois eles ricocheteiam. São as partículas maiores e as menores que exigem ventos mais fortes para se moverem, pois as maiores são pesadas e as menores apresentam coesão mútua e, normalmente, possuem superfície suave (aerodinâmica) ao vento. Igualmente, o vento pode podar e modelar a vegetação, especialmente quando os ventos são mais fortes em uma dada direção.

As partículas de poeira compreendem as menores frações trabalhadas pelos agentes de transporte e representam o maior volume de materiais transportados e depositados. Após a remoção desse tipo de partícula de seu local de origem, algumas podem permanecer em **suspensão** (Figura 12a), em função do fluxo turbulento e da velocidade da massa de ar, por longos períodos e por longas distâncias (SÍGOLO, 2009).

Segundo o mesmo autor, as partículas de areia (entre 0,125 e 2mm) se movimentam de maneira limitada, devido ao tamanho das frações e à velocidade dos ventos. A colisão de partículas em deslocamento com grãos na superfície promove o deslocamento em pequenos saltos, processo denominado **saltação** (Figura 12b). Destaca-se que partículas do tamanho de areia são especialmente importantes por constituírem diferentes feições morfológicas, das quais as dunas são as mais importantes acumulações, em ambientes desérticos e costeiros. Este processo condiciona a organização dos grãos de areia em estruturas sedimentares, conhecidas como marcas onduladas e estratigrafia cruzada, que, quando preservadas no registro geológico, representam evidências da atividade eólica do passado, permitindo a reconstrução do cenário paleogeográfico local.

Ainda para Sígolo (2009) as partículas maiores, areia grossa, areia muito grossa e seixo (superiores a 0,5mm), se deslocam por um processo chamado **arrasto** (Figura 12c), sendo pouco significativo em volume de material transportado. No entanto, partículas maiores em deslocamento colidem e causam fragmentação e desgastes, induzindo o movimento de outras partículas encontradas na superfície.

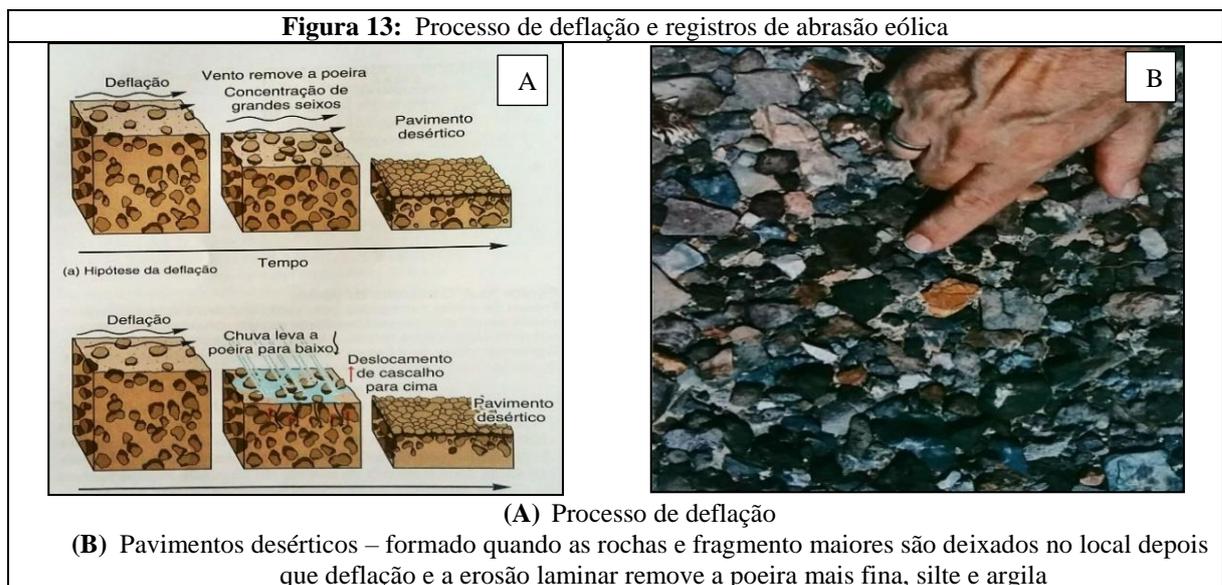


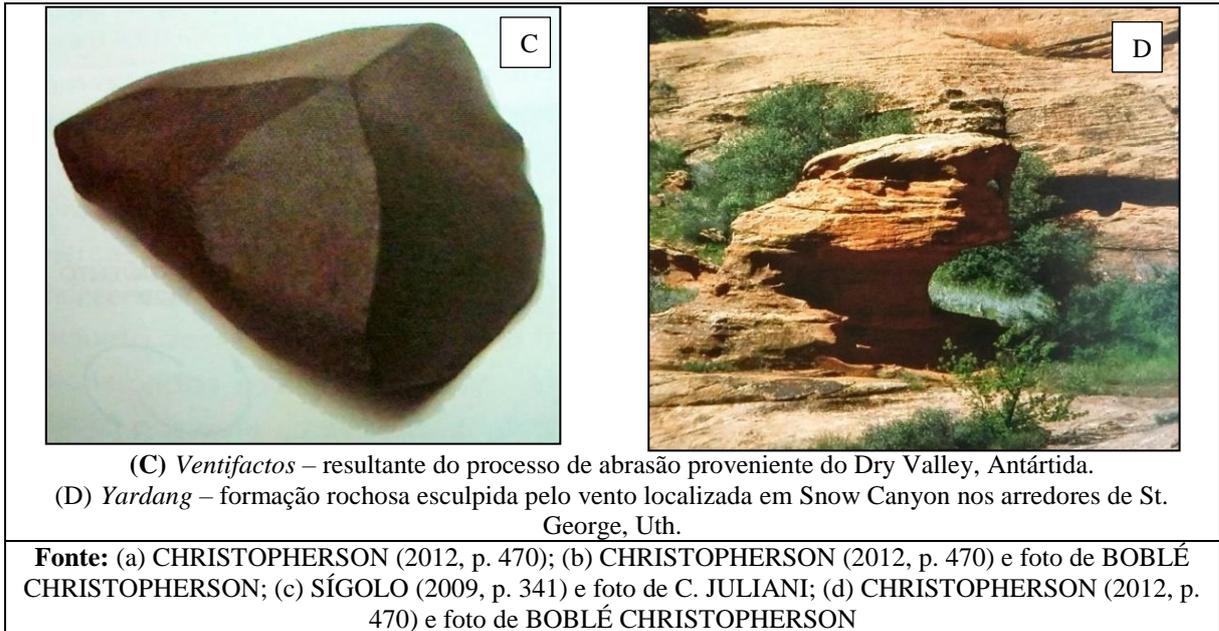
De acordo com Christopherson (2012), dois processos fundamentais participam da erosão eólica, produzindo uma variedade de paisagens e de feições deposicionais ou, ainda, de geoformas, como classifica Sígolo (2009): **deflação**, que consiste basicamente na remoção e na suspensão das partículas individuais soltas; e **abrasão**, que desgasta as superfícies das rochas por **jateamento de areia**, a partir das partículas capturadas no ar.

A ação eólica deixa registros, tanto nas morfologias do relevo quanto nos depósitos sedimentares, formados pela sua destrutiva (erosão) ou pela sua construtiva (deposição e sedimentação) ação. Conforme Sígolo (2009), a deflação e a abrasão eólicas definem os dois principais processos erosivos da atividade eólica. Na deflação, há a remoção seletiva de areia e de poeira, podendo esta ação produzir depressões nas superfícies erodidas, denominadas **bacias de deflação** (*blow-outs*), chegando também a níveis mais baixos do que o nível do mar ou a atingir o lençol freático. Este processo também pode produzir os chamados **pavimentos**

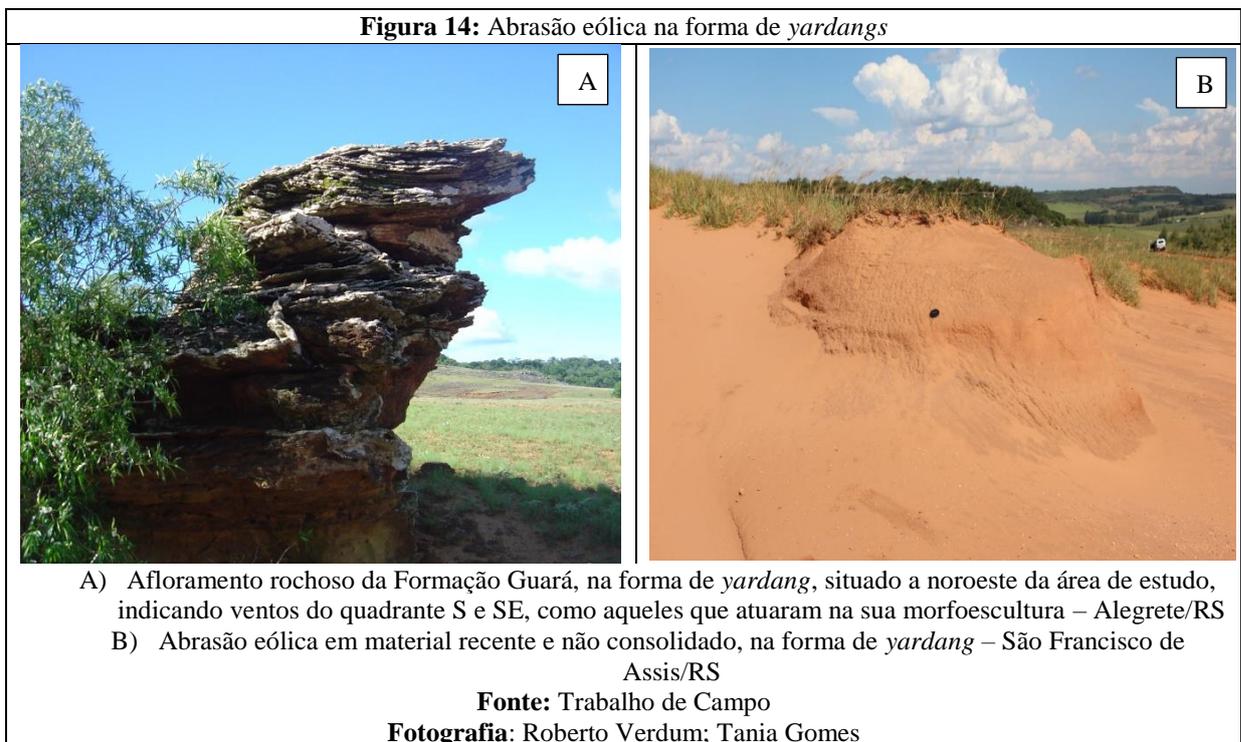
desérticos, caracterizados por extensas superfícies de cascalho, conhecidos como *reg*, expostos pela remoção dos sedimentos finos.

Já a abrasão, para este mesmo autor, consiste no constante impacto de diferentes partículas entre si e com materiais estacionados de partículas maiores, promovendo desgaste e polimento de todos os materiais, a exemplo dos **ventifactos**, que são fragmentos de rochas que apresentam duas ou mais faces planas, desenvolvidas pela ação da abrasão eólica. A ação erosiva do vento também produz registros como os **yardangs**, que são semelhantes a cascos de barcos virados, formados pela ação abrasiva eólica sobre materiais frágeis, como sedimentos pouco consolidados. A Figura 13A ilustra o processo de deflação, no qual o vento remove a poeira, levando-a ao processo de suspensão, deixando os seixos e produzindo pavimentos desérticos (Figura 13B). O segundo esquema ilustra o processo de deflação associado às chuvas, o qual leva a poeira para baixo e desloca os seixos para cima. As demais imagens, das Figuras 13C e Figura 13D, representam, respectivamente, **ventifactos** e **yardangs**, em exemplos resultantes do processo de abrasão eólica.





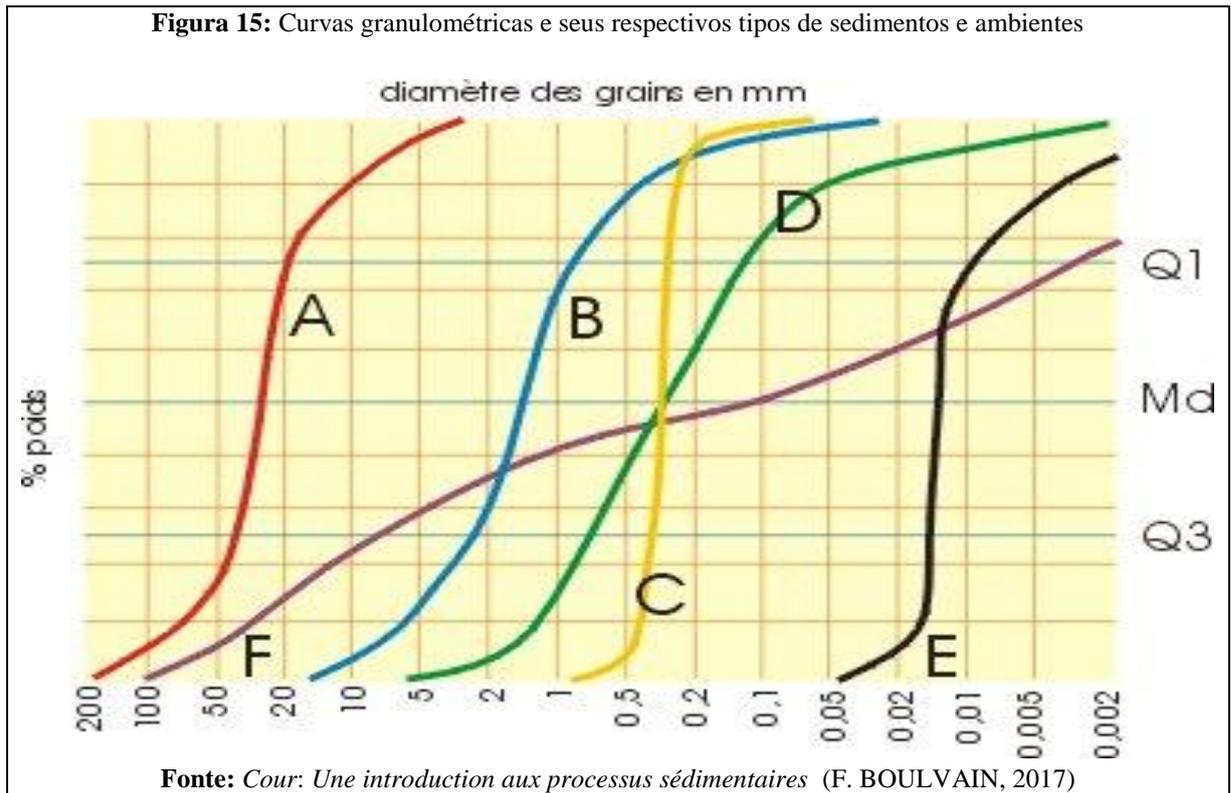
A Figura 14 exemplifica feições do tipo *yardangs*, resultantes de processo de abrasão eólica identificado na área estudada.



Além do estudo dos processos que envolvem a erosão, o transporte e a acumulação de sedimento eólico e de seus diferentes tamanhos de partículas, é relevante aprofundar os estudos sobre a granulometria e sobre a morfoscopia de grãos. Os registros geomorfológicos e sedimentar sobre a forma de depósitos eólicos podem ser discutidos em dois contextos: o primeiro diz respeito a um ambiente em condições de fornecer suprimento e características climáticas de semiaridez/aridez suficientes para originar depósitos eólicos e campos de dunas; o segundo diz respeito ao ambiente úmido, atual, que herdou morfologias típicas de climas secos, atacadas e remodeladas pela ação erosiva do clima úmido contemporâneo.

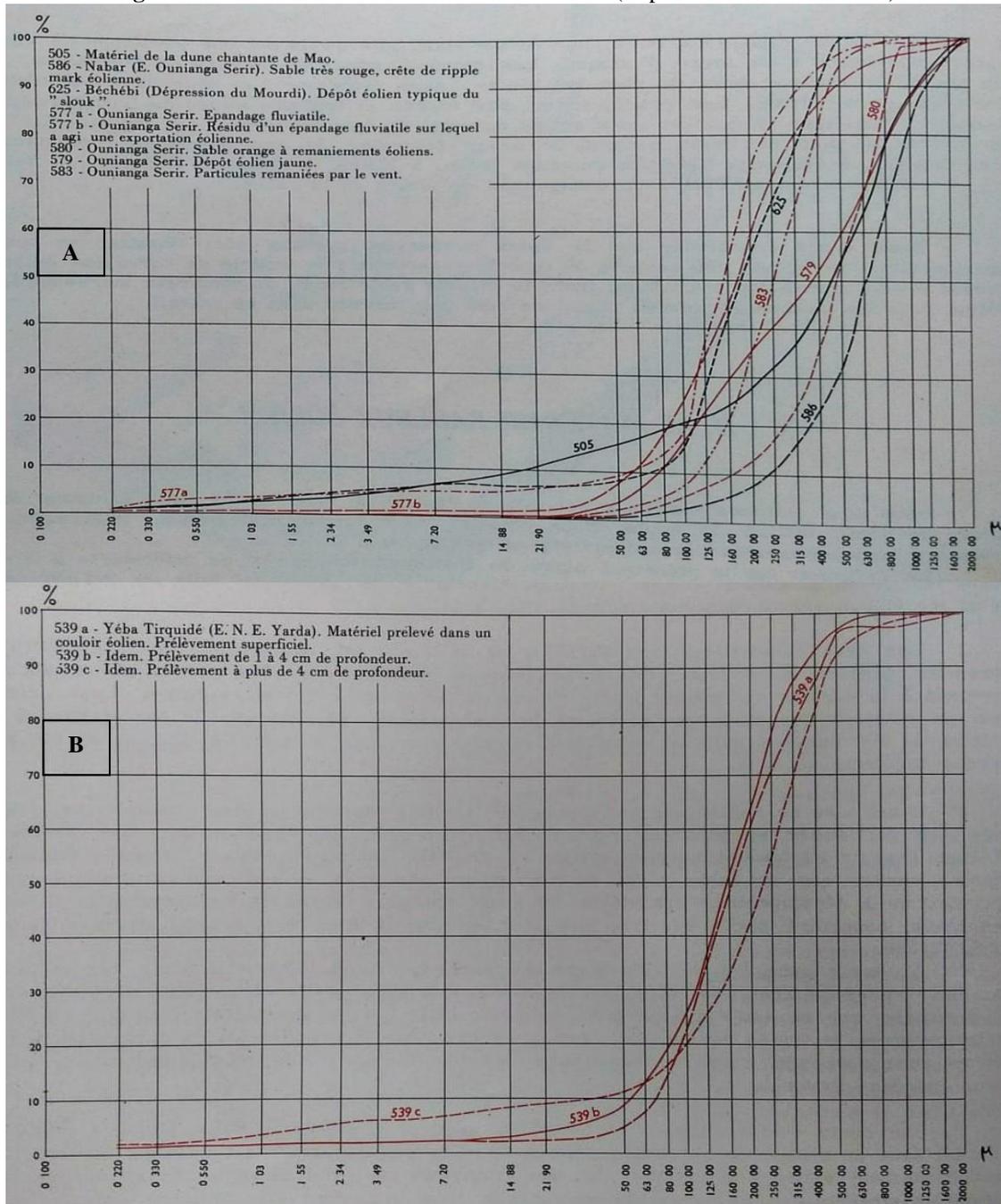
Dessa maneira, para compreender e para reconstruir o ambiente em que se formaram os depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis do Pampa brasileiro, é necessário esclarecer quanto às características do material eólico que compõe estes depósitos e comparar estes dados com os resultantes das demais pesquisas já realizadas. Do mesmo modo, para reconstruir o ambiente paleogeográfico, é necessário conferir resultados de datações sobre depósitos eólicos ou, ainda, sobre outros *proxy*, inferidos para o entorno da área estudada, para outras regiões do Brasil e para a América do Sul, o que será apresentado no capítulo sobre flutuações paleoclimáticas.

A Figura 15 expõe um gráfico contendo uma série de curvas, inferidas a partir da distribuição granulométrica, no qual cada curva corresponde a um tipo de sedimento e ao seu respectivo ambiente, sendo: A: cascalho fluvial; B: cascalho; C: areias costeiras; D: areia fluvial; E: *loess*; e F: bloco de argila. É interessante observar o comportamento das curvas C (areias costeiras) e E (depósitos de *loess*), pelo comportamento semelhante da curva e, conseqüentemente, pelo tamanho dos grãos das areias dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis identificados na área de estudo (observar a Figura 20 e a Figura 29).



Os próximos dois gráficos (Figuras 16A e 16B) mostram curvas granulométricas específicas de sedimentos eólicos proveniente de regiões secas, situadas na República do Chade. Estes dados também serão úteis na comparação com a curva granulométrica encontrada nos depósitos eólicos estudados, através da conferência do padrão de distribuição granulométrica, com destaque para as curvas 579 (depósito eólico jovem) e 539a (areais superficiais).

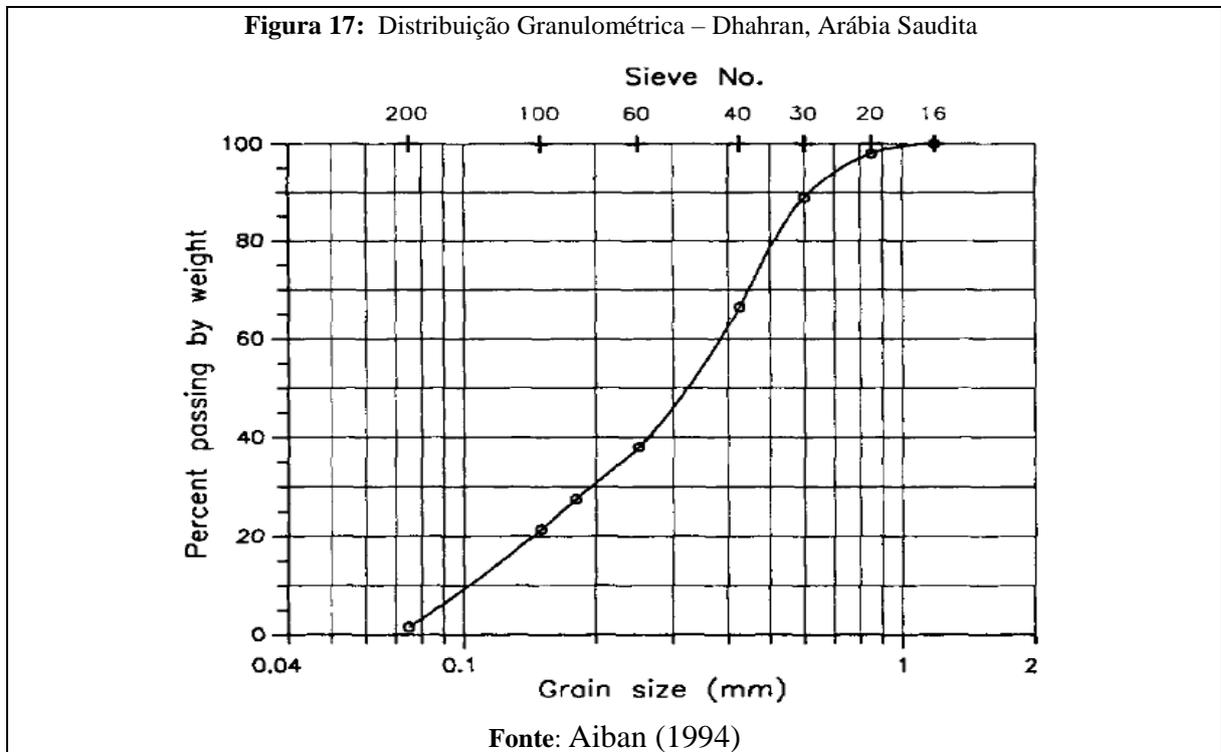
Figura 16: Curva Granulométrica – Material eólico (República do Chade – 1967)



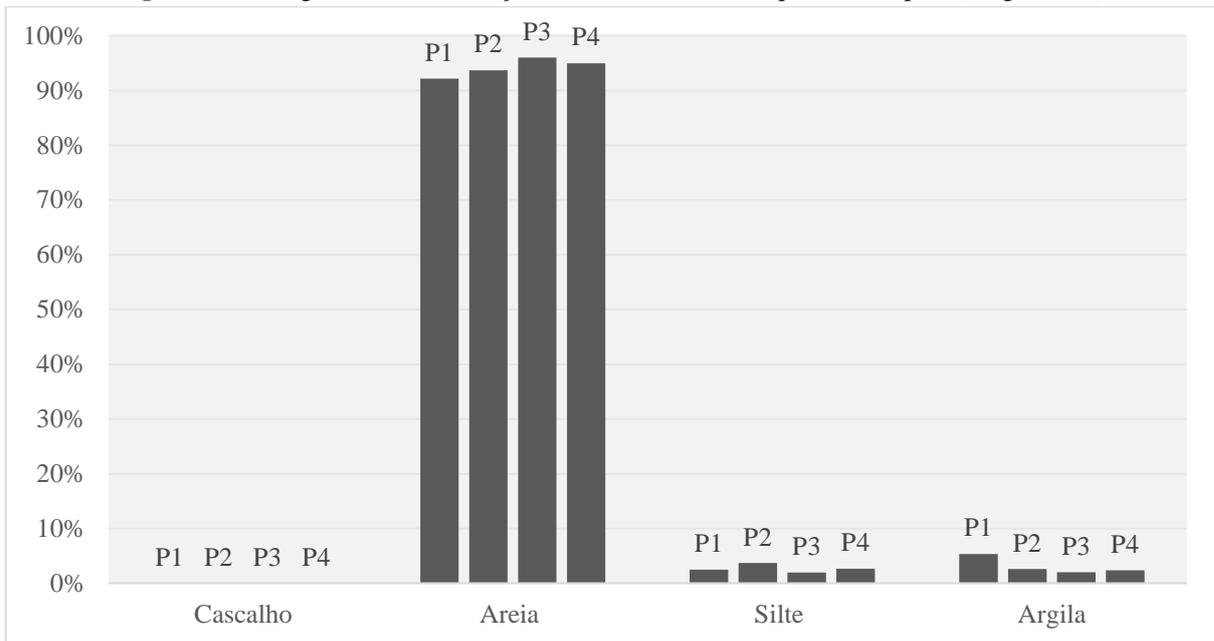
Fonte: Mainguet (1972)

A Figura 17 indica a distribuição granulométrica de areias próximas ao litoral da Arábia Saudita, as quais são definidas como areia fina (AIBAN, 1994). Mesmo que as areias analisadas tenham sido coletadas no litoral de Dhahran, a comparação pode ser válida, visto que foram

coletadas em *coastal sabkhas* e que sua composição granulométrica carrega grânulos de origem eólica, devido à proximidade com as imensas áreas desérticas.



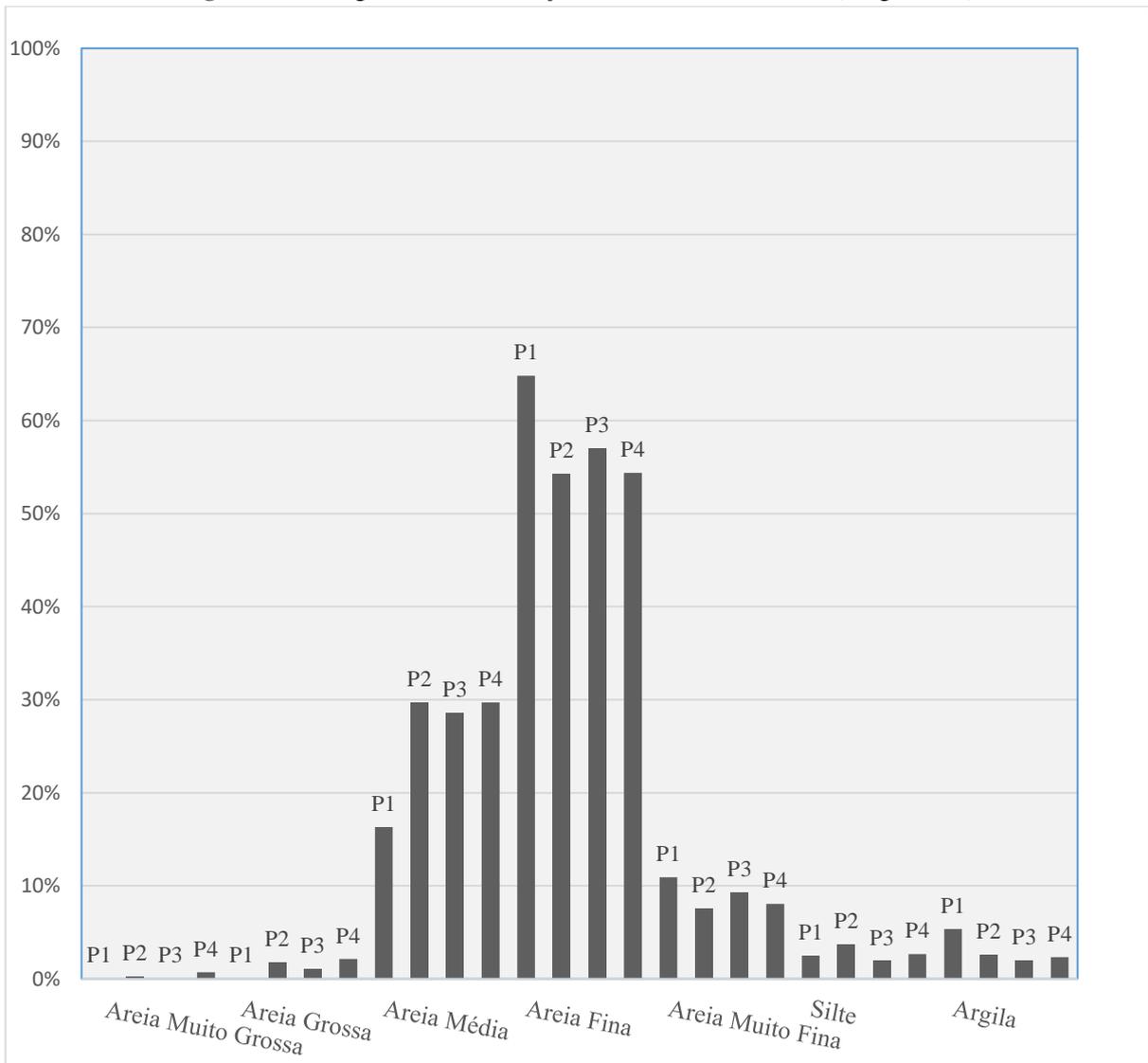
A partir da distribuição granulométrica, realizada em depósitos de origem eólica e coletada em trabalho de campo, é possível analisar que todas as amostras (P1, P2, P3 e P4) possuem classificação textural **Areia**, uma vez que todos os perfis apresentaram percentuais expressivos de areias, com níveis acima de 92% (Figura 18). Vale salientar que, durante a coleta dos testemunhos, a cerca de 1,5 m da superfície, a escavação do perfil toca em fragmentos de rochas (em todos os pontos de coleta), possivelmente pertencentes à Formação Botucatu ou à Formação Guará. O material exposto nos perfis é bastante homogêneo, francamente arenoso, friável e inconsolidado, evidenciando que se tratam de sedimentos bem selecionados e oriundos do transporte eólico.

Figura 18: Histograma da Distribuição Granulométrica - Frequência Simples (Alegrete/RS)

Fonte: a autora, Gomes (2019)

Conforme exposto anteriormente, os sedimentos tidos como **Grossos** englobam as frações areia muito grossa (>1mm); areia grossa (0,50mm); areia média (0,250mm); areia fina (0,125mm) e areia muito fina (0,062mm), ao passo que os sedimentos tidos como **Finos** compreendem as partículas de tamanho correspondente às frações silte (0,0039mm) e argila (0,00049mm).

Ao enquadrar o universo amostral dentro desses parâmetros, observa-se que os perfis apresentaram valores reduzidos para as frações silte e argila, não ultrapassando valores superiores a 4% para silte e a 5,3% para argilas. O maior valor registrado para **silte** pertence ao perfil 2 (P2), com cerca de 3,7149%, e o valor mais baixo, ao perfil 3 (P3), de cerca de 1,9366%. Para as **Argilas**, o perfil 1 (P1), com cerca de 5,3589%, apresentou o maior valor, e o menor percentual concentrou-se no perfil 3 (P3), com cerca de 2,0281%, como demonstra o histograma da distribuição granulométrica da **fração areia**, na Figura 19.

Figura 19: Histograma da Distribuição Granulométrica – Areia (Alegrete/RS)

Fonte: a autora, Gomes (2019)

As frações **Areia Muito Grossa** e **Areia Grossa** apresentam os menores valores encontrados para o universo amostral de cada perfil, registrando, respectivamente, em P1, 0,062% e 0,064%; em P2, 0,298% e 1,827%; em P3, 0,053% e 1,107%; e, em P4, 0,714% e 2,127%. Os percentuais das partículas com tamanhos acima de 1mm foram desprezados, pois não compuseram valores representativos no escopo da análise granulométrica.

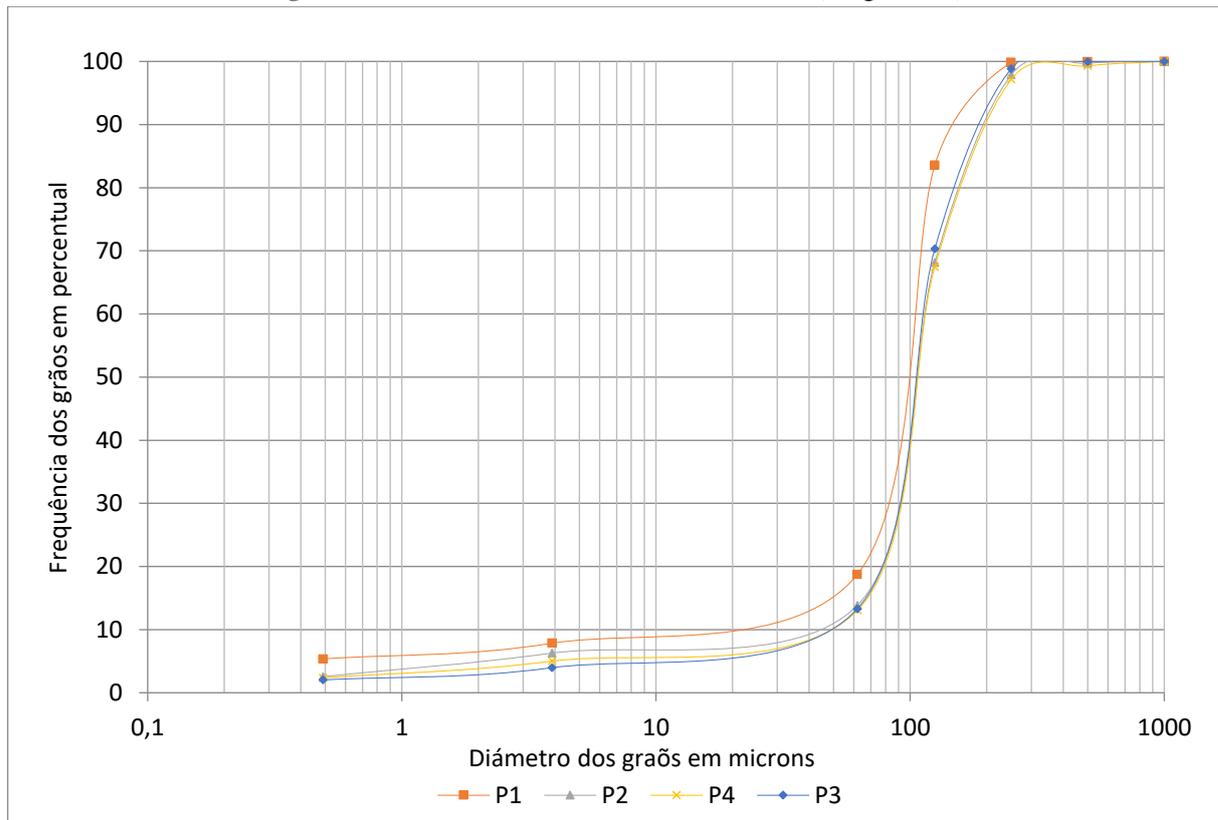
A partir da classificação **Areia Média** (16,317% em P1; 29,7187% em P2; 28,548% em P3; e 29,710% em P4), os percentuais principiam elevação nos valores, demonstrando um aumento significativo para a fração **Areia Fina** (64,808% em P1; 54,296% em P2; 56,996% em P3; e 54,389% em P4) e determinando a classe modal do universo amostral de cada perfil.

Os percentuais iniciam uma redução expressiva em **Areia Muito Fina** (P1 com 10,901%; P2 com 7,567%; P3 com 9,332%; e P4 com 8,049%).

A maior discrepância de percentuais entre as classes tidas como representativas (areia média, areia fina e areia muito fina) se destaca na fração areia média, na qual P1 (com 16,317%) apresenta cerca de 45% a menos dessa fração, em relação aos demais perfis (29,7187% para P2; 28,548% para P3; e 29,710% para P4). Observa-se, também, uma diferença na fração areia fina em P1 (64,808%) em relação aos demais perfis, que apresentam valores muito próximos (54,296% em P2; 56,996% em P3; e 54,389% em P4).

Ao mesmo tempo, os resultados demonstrados no histograma da Figura 17, associados à espacialização dos pontos amostrados (Figura 28), mostram uma diminuição no tamanho dos grãos no sentido Norte, ocorrendo um aumento crescente no nível de seleção dos grãos, sobretudo entre os perfis mais extremos (P1 e P2), os quais apresentam, ainda, as frações de Areia Média à Areia Fina bem classificadas. Do mesmo modo, a fração Areia Muito Fina ratifica a crescente distribuição e seleção do tamanho das partículas, no sentido Norte, apresentando os valores: P2=7,57%, P4=8,05%, P3=9,33% e P1=10,90%. Os resultados apontam a melhor competência de seleção do agente eólico.

A Figura 20 revela as curvas granulométricas das areias dos pontos amostrados. Estas curvas, se comparadas às da Figura 15, que expressam diferentes tipos de sedimentos, demonstram semelhança com as curvas C e E (areias costeiras e *loess*, respectivamente), as quais caracterizam depósitos eólicos. Ainda, comparando as curvas com as de sedimentos eólicos de regiões secas, há uma nítida aproximação com os sedimentos analisados nas Figuras 16A e 16B, sobretudo em relação aos depósitos eólicos jovens (da curva 579).

Figura 20: Curva Granulométrica P1, P2, P3 e P4 (Alegrete/RS)

Fonte: a autora, Gomes (2019)

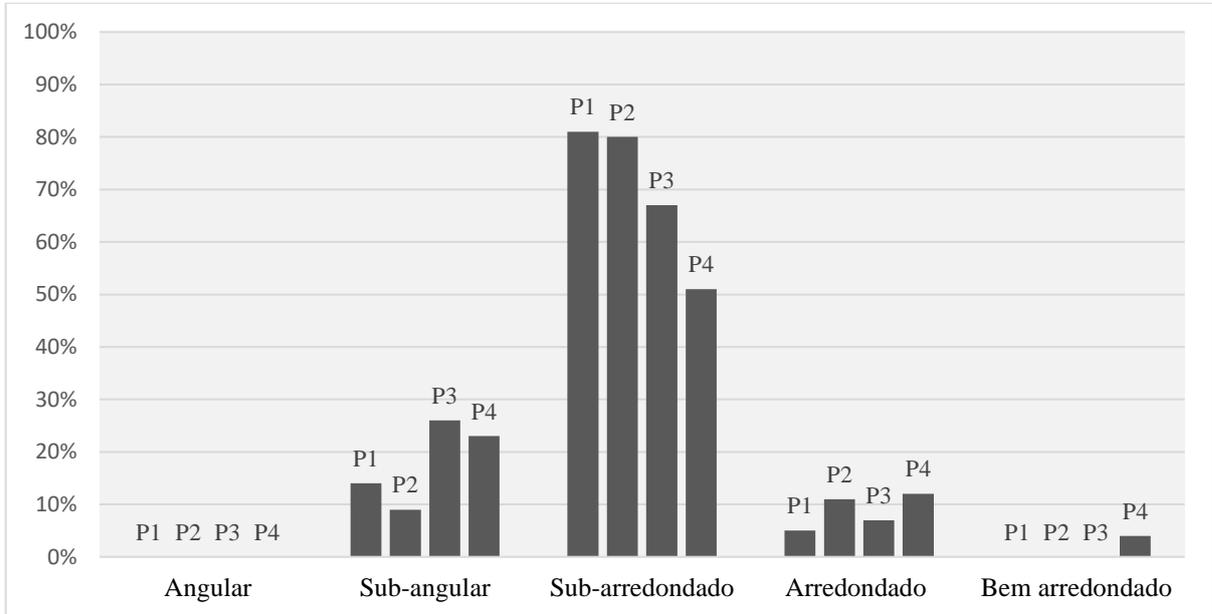
De acordo com Suguio (2003), a distribuição granulométrica pode auxiliar na identificação de ambientes deposicionais, contudo deve-se tomar o cuidado de realizar a interpretação fundamentada no contexto amplo. Os resultados dessas análises devem ser conferidos sob outros parâmetros, obtidos em laboratório e em campo, para proceder com a reconstituição da evolução geológica da área em estudo.

Assim, pode-se dizer que somente a análise granulométrica para reconstruir a natureza dos agentes de transporte e deposição, ou ainda a fonte do material, não são suficientes. Tais inferências podem resultar em falhas de interpretação dos ambientes, pois existem outros fatores que influenciam no transporte e na deposição dos grãos, como, por exemplo, densidade e forma (arredondamento e esfericidade) e, também, os grãos podem ser reciclados por muitas vezes.

A partir do estabelecimento da classe modal de cada amostra (areia fina, de espessura 0.125mm, com 64,808% de presença em P1; 54,296% em P2; 56,996% em P3; e 54,389% de presença em P4), foram realizadas as análises morfoscópicas, através de critérios de

arredondamento, de esfericidade e de textura superficial das partículas/grãos de quartzo. O histograma referente ao arredondamento da fração areia fina (Figura 21) registra inexistência de partículas da fração **Angular** e apenas o perfil P4 guarda grãos bem arredondados (4%).

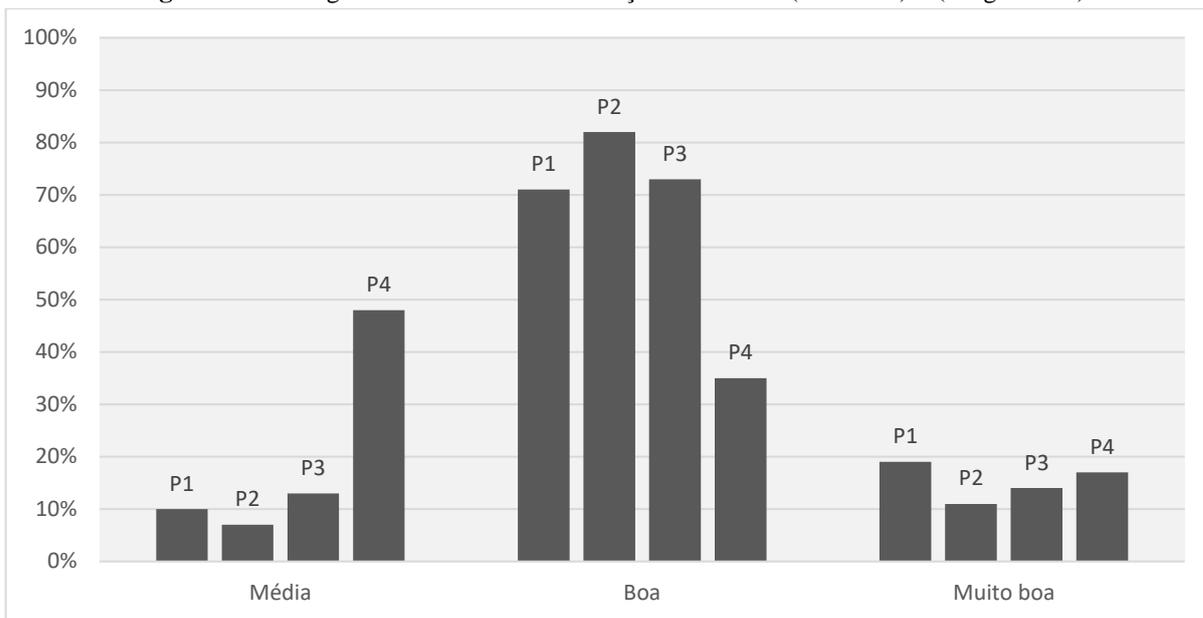
Figura 21: Histograma de Arredondamento - Fração Areia Fina (0.125mm) – (Alegrete/RS)



Fonte: a autora, Gomes (2019)

A maior concentração para a classificação Arredondamento ocorre na classe **Subarredondados**, com 81% em P1; 80% em P2; 67% em P3; e 51% em P4, seguida da **Subangulares**, com 14% em P1; 9% em P2; 26% em P3; e 23% em P4) e, por fim, da classe **Arredondados**, com proporções de 5% em P1; 11% em P2; 7% em P3; e de 12% em P4).

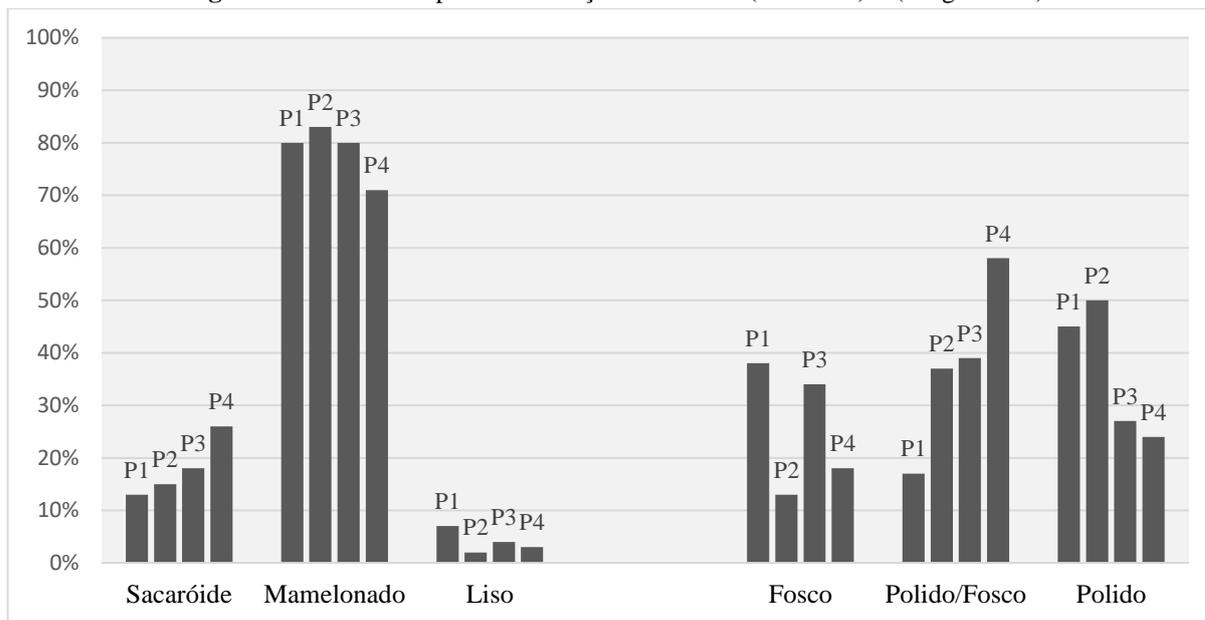
No critério esfericidade, todas as amostras apresentaram esfericidade **Boa**, sendo P1 com 71%; P2 com 82%; P3 com 73% e P4 com 35%). O perfil P4 registrou baixos valores para a esfericidade **Boa**, o que pode ser justificado pelo fato deste perfil estar situado mais próximo da área-fonte ou por estar associado à Formação Botucatu, que apresenta sedimentos menos esféricos. Para a esfericidade **Média**, os perfis P1, com 10%; P2, com 7%; e P3, com 13%, se dispõem de maneira mais uniforme, ao passo que o perfil P4 registrou 48% de partículas de esfericidade **Média**. Os grãos de esfericidade **Muito Boa** ocorrem em todos os perfis e, também, de maneira similar (P1 com 19%; P2 com 11%; P3 com 14%; e P4 com 17%), conforme ilustrado na Figura 22.

Figura 22: Histograma de Esfericidade - Fração Areia Fina (0.125mm) – (Alegrete/RS)

Fonte: a autora, Gomes (2019)

Na análise morfoscópica da fração areia fina (0.125mm) realizaram-se estudos pertinentes à determinação da textura superficial dos grãos (Figura 23), nos quais se avaliou a classificação dos distintos tipos de partículas (sacaroide, mamelonados ou lisos), bem como os estágios de polimento dessas partículas (polido, polido/fosco e fosco).

Deste modo, o gráfico da textura superficial revela a predominância de grãos **Mamelonados** em todas as amostras, sendo 80% em P1; 83% em P2; 80% em P3; e 71% em P4), seguido de partículas do tipo **Sacaroide** (P1 com 13%; P2 com 15%; P3 com 18%; e P4 com 26%). A ocorrência de grãos do tipo **Liso** não ultrapassou o percentual de 10% (com 7% em P1; 2% em P2; 4% em P3; e 3% em P4).

Figura 23: Textura Superficial - Fração Areia Fina (0.125mm) – (Alegrete/RS)

Fonte: a autora, Gomes (2019)

Referente ao grau de polimentos dos distintos grãos, estes se apresentam de maneira bastante heterogênea, como pode ser notado no gráfico de textura superficial (Figura 23). O maior percentual de **Polidos** foi registrado nos perfis P2 e P1 (50% e 45%, respectivamente), decaindo em P3 e P4 (para 27% e para 24%, respectivamente). Para os grãos **Fosc**os, P1 e P3 indicaram os maiores percentuais, sendo de 38% em P1 e de 34% em P3), seguidos de 18% em P4 e de 13% em P2. Os grãos em transição – **Polido/fosco** – também apresentaram valores variados (de 17% para P1; de 37% para P2; de 39% para P3; e de 58% para P4).

Para a identificação de ambientes, pode-se classificar os grãos, basicamente, em três tipos:

Os Grãos não desgastados (NU – *Non-Usés*) têm contornos angulosos e arestas cortantes; faces côncavas e convexas, resultantes da fraturação conchoidal; brilho gorduroso e hialino. Introduzidos recentemente no ciclo sedimentar, estes se originam de degradação mecânica ou química das rochas. Ou seja, são grãos cujas formas e superfícies ainda não foram arredondadas e marcadas pelas ações de transporte e de choque entre as partículas (CAILLEUX, 1943 *apud* DIAS, 2004).

Os Grãos boleados brilhantes (EL – *Emoussés-Luisants*) são variados, mas de contornos mais ou menos arredondados. O transporte provoca choques pouco violentos entre as partículas, acarretando em um polimento suave e brilhante da superfície do grão. Os choques produzem a

fraturação e a remoção das partes mais salientes, levando ao estado de rolamento, testemunhando intenso e longo transporte em meio hídrico.

Já os Grãos arredondados baços (RM – *Ronds-Mats*), no geral, possuem contornos mais arredondados do que os EL e superfície fosca/despolida, com aspecto mate/pálido/sem brilho. A superfície é submetida a violentos choques, durante o transporte, causando ranhuras, a partir da liberação de lascas microscópicas, e deixando a superfície do grão com feições irregulares, o que acaba inibindo a reflexão da luz; é o aspecto baço característico, testemunhando intenso e longo transporte eólico (CAILLEUX, 1943; DIAS, 2004).

Pelo grau de arredondamento, pode-se dizer que os grãos do tipo NU (não desgastados) praticamente não existem no universo amostral, pois não há ocorrência de angulosos, mas, de certa forma, os não desgastados podem ser representados pelos subangulados. Os subarredondados e arredondados, juntos, representam a maior parte dos grãos (cerca de 80%).

Os grãos demonstram maior maturidade, se olharmos o percentual dos subarredondados e dos arredondados, associado aos percentuais dos de esfericidade Boa. No entanto, no aspecto polimento, os percentuais demonstraram certa heterogeneidade, não sendo possível inferir definições claras sobre o ambiente de origem somente pelo grau de polimento, pois estes podem estar passando pela fase de transição de ambientes.

A sedimentologia do ambiente deposicional eólico estudado mostra certa variabilidade em suas características. Os sedimentos são compostos predominantemente por Areias quartzosas e pela classe modal na fração Areia Fina, variando em menor proporção nas frações de Areia média a Areia muito fina. As características morfológicas e ópticas dos sedimentos esclarecem certa competência eólica sobre as partículas e sobre o seu transporte, demonstrando um grau de selecionamento, o que fica evidenciado pela diminuição do tamanho dos grãos no sentido SE-NO, devido ao retrabalhamento e à evolução de Areia média a Areia fina, no lineamento dos pontos amostrados. Os grãos subarredondados e arredondados somam percentuais acima de 70%, o que pode demonstrar um menor tempo de retrabalhamento destes em meio aquoso.

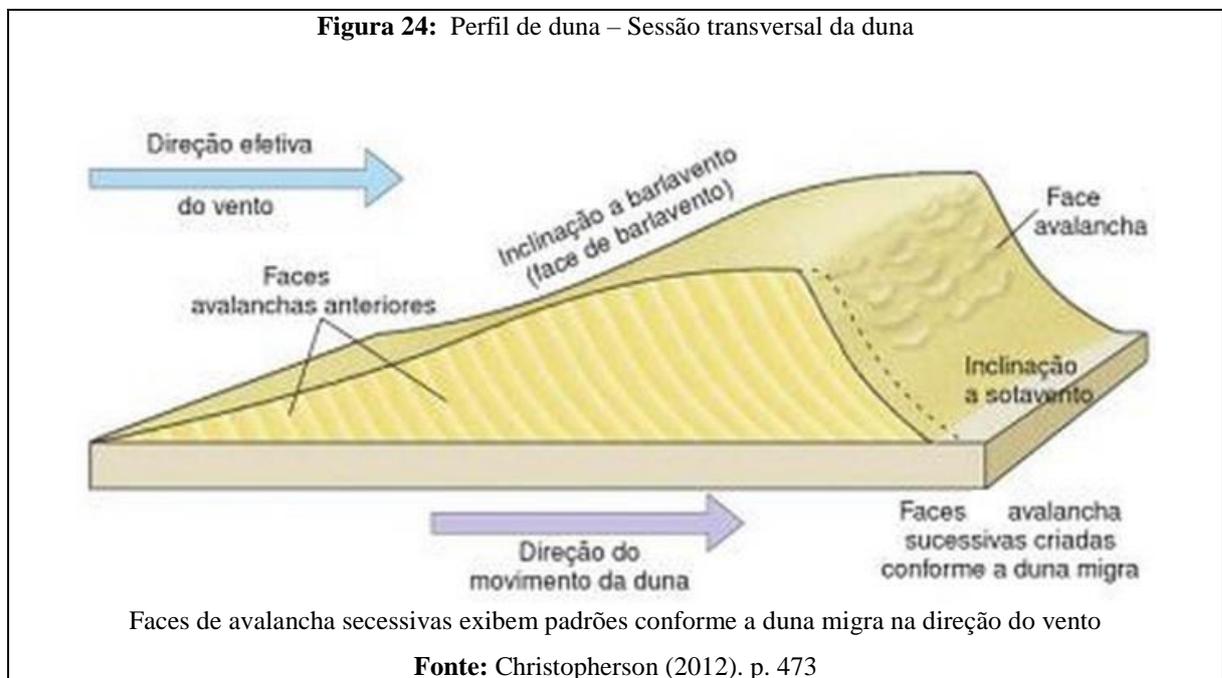
Com a associação entre as características de arredondamento, de esfericidade e de textura superficial, imagina-se que os grãos de Areia média e de Areia fina podem ter sido transportados pelos ventos, deslocados do setor SE-S para o N-NO, tendo sido depositados sobre a região, conforme a direção do paleovento, medida em trabalho de campo (SE-165°). No

entanto, as amostras podem ter sido contaminadas com grãos provenientes de depósitos aluviais, ou seja, em meio aos grãos com características eólicas podem existir grãos com características típicas da ação hídrica, como no caso dos sedimentos oriundos da Formação Guará ou de sedimentos de ambientes fluviais mais recentes.

3.3 Feições eólicas, classificação e tipologia de dunas

Duna, também chamada de crista ou de colina transitória, é o acúmulo de areia esculpida pelo vento, sendo que uma área de extensão de dunas caracteriza um deserto de areia (*erg*). A Figura 24 ilustra o perfil de uma duna idealizado por Christopherson (2012), no qual os ventos criam um lado a barlavento, com leve inclinação, denominado face de barlavento, com uma face de avalanche mais acentuada, no lado sotavento. Christopherson (2012), ainda afirma:

Uma duna geralmente é assimétrica em uma ou mais direções. O ângulo de uma face de avalanche é o ângulo mais acentuado no qual o material solto permanece estável – *seu ângulo se repouso*. Desta forma, o fluxo constante de novos materiais torna uma face de avalanche um tipo de *vertente de avalanche*. A areia se acumula conforme se move sobre a crista da duna até a extremidade; então uma avalanche é criada, e a areia cai como uma cascata conforme a face de avalanche continuamente se ajustando, procurando seu ângulo de repouso (normalmente 30° a 34°) - (CHRISTOPHERSON, 2012, p. 473).



Duna também pode ser entendida como um corpo subaéreo de areia, que possui entre cerca de 30 cm e 400 metros de altura e entre cerca de 1 m e 1 km de largura, cuja forma vai se ajustando às condições de vento do ambiente, pela deflação fragmentária do tamanho das partículas de areia. As dunas são formadas de areia mineral ou de areia de tamanhos agregados de argilas, de sais ou de gelo. Areia de quartzo (o material mais comum) geralmente permanece solta. Dunas de areia solta podem ser ancoradas a obstáculos topográficos ou a plantas, ou podem mover-se livremente (COOKE; WARREN; GOUDIE, 1993).

Para Goudie (2004), a morfologia das dunas responde às características dos sedimentos e à variabilidade direcional do vento, sendo que estas ocorrem em padrões auto-organizados, que se desenvolvem ao longo do tempo, de acordo com o regime de ventos e com o fornecimento de areia. A vegetação e os obstáculos topográficos são fatores que influenciam na morfologia das dunas, em regiões costeiras, em regiões semiáridas e em regiões subsumidas. Portanto, a diversidade de dunas surge da variação da intensidade e da combinação dos processos de formação de dunas: os padrões de vento diários e anuais, a estabilidade atmosférica e a estratificação, a força do vento, o tamanho do sedimento, o fornecimento de sedimentos, a cobertura vegetal e a forma da planta, a topografia de rochas duras, as chuvas, e a história geológica recente.

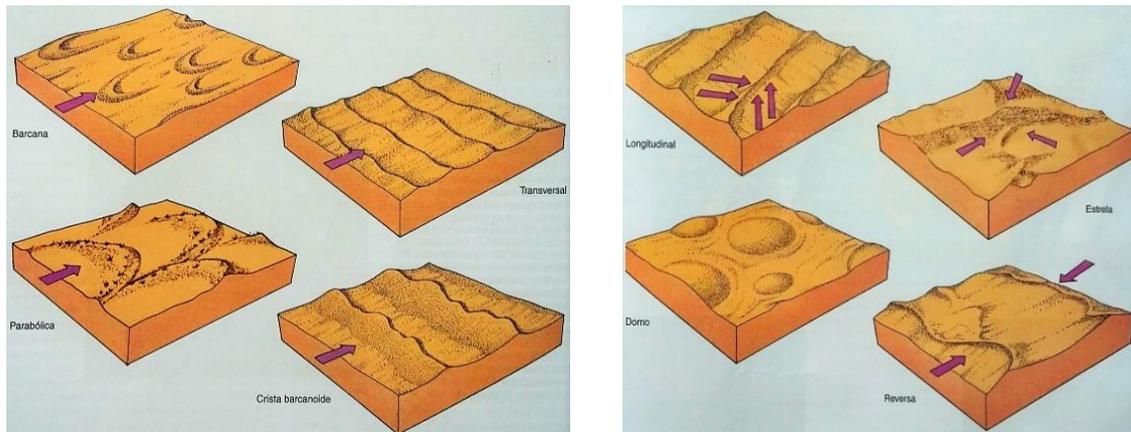
De acordo com Sígolo (2009), os principais registros eólicos deposicionais deixados pelo transporte e pela posterior deposição das partículas pelo vento podem ser, de maneira geral, classificados em dunas, em mares de areia, em depósitos de *loess* e em dunas fósseis, sendo que, das formas de deposição sedimentar atuais, destacam-se as dunas. As dunas possuem, como características principais, estratigrafia cruzada e marcas de ondulações, existindo duas fundamentais classificações para dunas: uma, considerando seu aspecto morfológico; e outra, o aspecto da estrutura interna (a forma pela qual os grãos de areia se dispõem em seu interior). Dessa maneira, a classificação fundamentada na estrutura interna de dunas considera sua dinâmica de formação, reconhecendo dois tipos principais: dunas estacionárias (estáticas) e migratórias. Já as dunas classificadas conforme as morfologias podem ser: transversais, barcanas, parabólicas, estrelas e longitudinais.

A classificação de dunas sugerida por Sígolo (2009) revela que a morfologia abarca grande variedade de terminologias descritivas, as quais definem a diversidade de formas identificadas em ambientes desérticos e costeiros. Entretanto, três parâmetros específicos

podem definir a morfologia de uma duna: a) a velocidade e a variação do rumo do vento predominante; b) as características da superfície percorrida pelas areias transportadas pelo vento; e c) a quantidade de material disponível para a formação das dunas (SÍGOLO, 2009).

Sígolo (2009) descreve, também, dunas fósseis, dunas antigas ou paleodunas. Elas constituem feições dunárias que sofreram o processo de consolidação de suas areias, ao longo do tempo. São feições características da ação eólica, que podem ser reconhecidas em rochas sedimentares de diferentes idades, permitindo, ainda, a reconstituição de ambientes eólicos do passado, ou seja, podem testemunhar ambientes desérticos da Era Mesozoica, a exemplo dos registros encontrados na Bacia Sedimentar do Paraná, os quais abrangem vários estados brasileiros (Mato Grosso, São Paulo, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul) e no Uruguai, no Paraguai e na Argentina. A identificação, em rochas sedimentares antigas, de estruturas interna e externas típicas de dunas atuais (estratigrafia cruzada e marcas onduladas), permite também o reconhecimento de uma duna fóssil, visto que, pela análise da orientação das faces em dunas fósseis, é possível identificar o sentido preferencial do vento na época de sua formação, bem como reconhecer as faces de barlavento e de sotavento pretéritas.

Para Christopherson (2012), as dunas aparentam muitos estilos modelados pelo vento, o que dificulta sua classificação. O autor coloca que as principais geoformas por deposição eólica podem ser divididas em três classes: crescente (formas curvas), lineares (formas retas) e em estrela. Cada uma dessas classes pode ser subdividida em tipos distintos de dunas: 1) crescente: barcana, transversal, parabólica e cadeias barcanoides; 2) lineares: longitudinal, *seif*; 3) apenas duna em estrela; 4) outros: dunas em domo; dunas reversas. Alguns subtipos podem ser vistos na Figura 25.

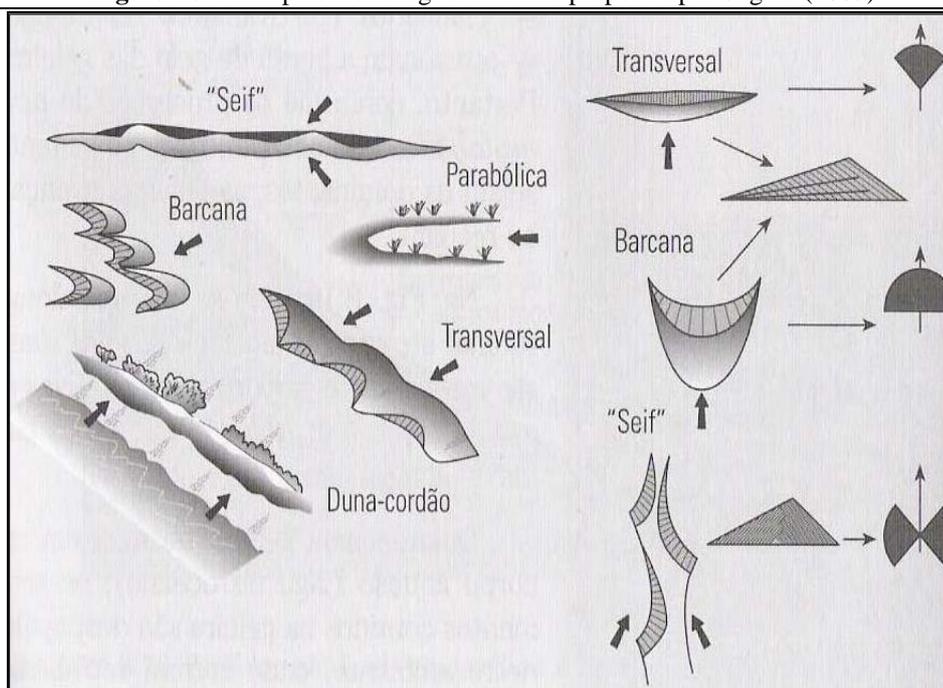
Figura 25: Principais morfologias de dunas propostas por Christopherson (2012)

As setas mostram a direção preferencial dos ventos

(Modelos adaptados por Christopherson (2012) de E. D. Mckee, A Study of Global Sand Seas, USGS Professional PAPER 1052 (Washington, DC: US. Government Printing Office, 1979)

Fonte: Christopherson (2012) p. 480 – 481

Para Suguio (2003), existem vários tipos de depósitos eólicos, sendo que os mais significativos são os lençóis eólicos (*eolian sheets*) e as dunas eólicas (*eolian dunes*). De acordo com o autor, os lençóis eólicos correspondem a extensos depósitos arenosos, de superfícies mais ou menos planas, os quais resultam da sedimentação por ventos de alta velocidade, transportando areia de granulometria heterogênea. As dunas eólicas constituem feições distintas entre os depósitos arenosos de ambientes desérticos, ainda que não sejam uma exclusividade deste tipo de ambiente. Suguio (2003) sugere a classificação de dunas proposta por diferentes autores (Melton, 1940; Mckee, 1966; e Cooper, 1967), que as distinguem em: barcanas, transversais, parabólicas, *seif*, estreladas, dômicas e reversas, considerando as formas barcanas e *seif* como as mais frequentes (Figura 26).

Figura 26: Principais morfologias de dunas propostas por Suguio (2003)

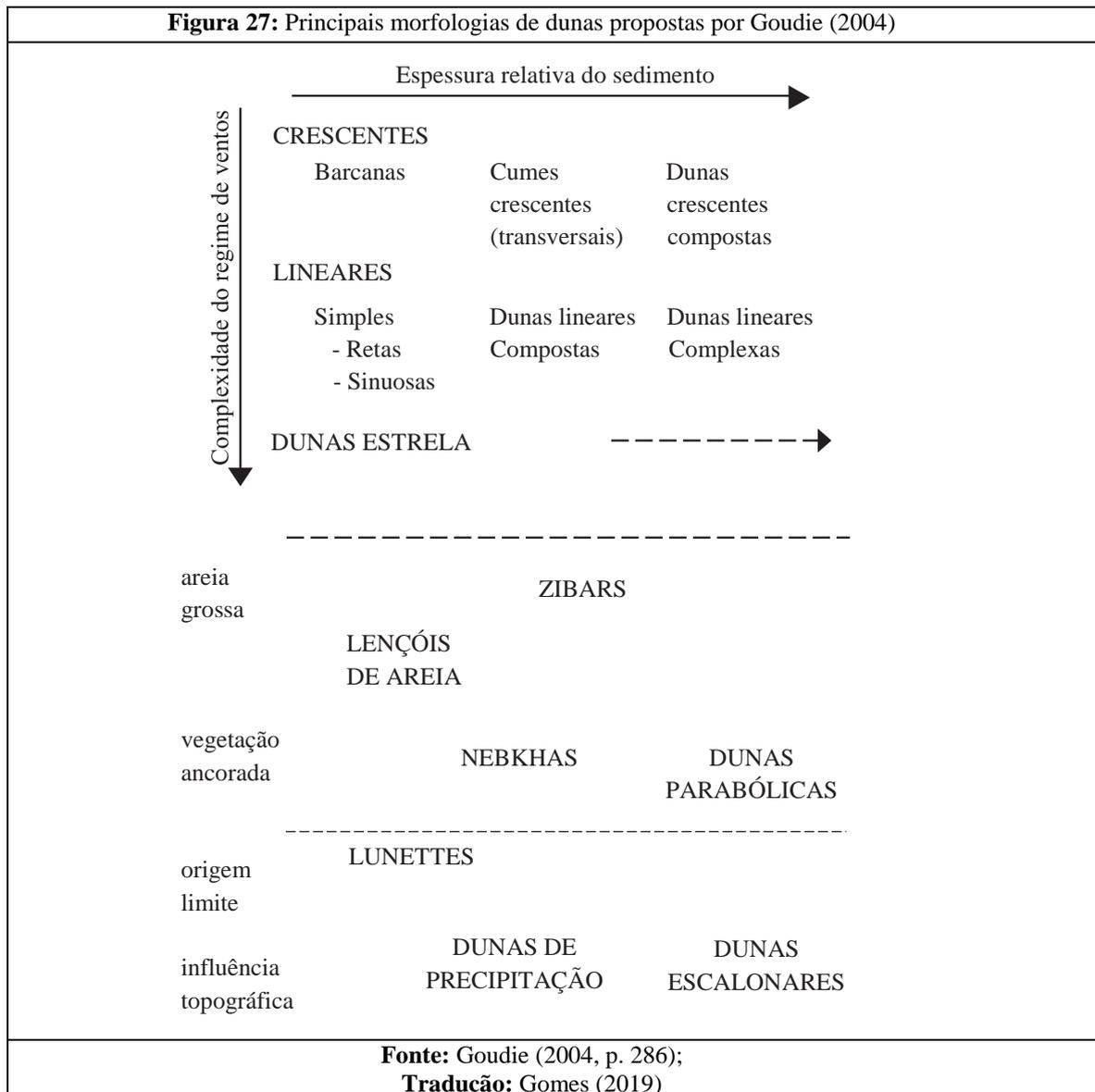
Morfologias assumidas pelos principais tipos de dunas e orientação de ventos predominantes. À direita, configurações em planta, de alguns tipos de dunas e as relações entre as estruturas sedimentares internas e os sentidos dos ventos (segundo Spearing, 1974, adaptada por Suguio, 2003)

Fonte: Suguio 2003, p.211

Ainda de acordo com Suguio (2003), quando há acumulação de lençóis eólicos em superfícies mais ou menos planas, na dimensão de 1.000 a 10.000 km² observam-se os mares de areia (*sand seas*) ou *ergs*. Já os chamados campos de dunas (*dunefields*) se aplicam a acumulações menos extensas, de algumas centenas de quilômetros quadrados. Os depósitos de *loess* compõem os sedimentos maciços não estratificados de granulometria selecionada, comumente inconsolidados, constituídos de silte e de quantidades menores de areia e de argila. Os *loess* podem possuir procedências distintas de sedimentos, razão pela qual alguns autores têm proposto a nomenclatura de *loess* frio para aqueles depósitos ligados a extensas planícies de lavagem glacial (*glacial outwash plains*) e de *loess* quente para depósitos formados por sedimentação de poeiras de desertos, nas zonas de estepes, provenientes de extensas planícies aluviais, com presença de *sabkhas* e de *wadis*.

A tipologia de dunas proposta por Goudie (2004), na Figura 27, representa o estado estacionário do sistema de transporte eólico, o qual evolui a partir de uma gama de condições iniciais. Para este autor, o regime de ventos orienta e fundamenta sua proposta de classificação

de dunas, pois o regime de ventos regula a auto-organização do sistema, visto que as dunas são orientadas para maximizar o transporte de areia grossa normal à crista. As características dos padrões de dunas abarcam correlações entre a altura e o espessamento das dunas, bem como a sua orientação e o volume de sedimentos.



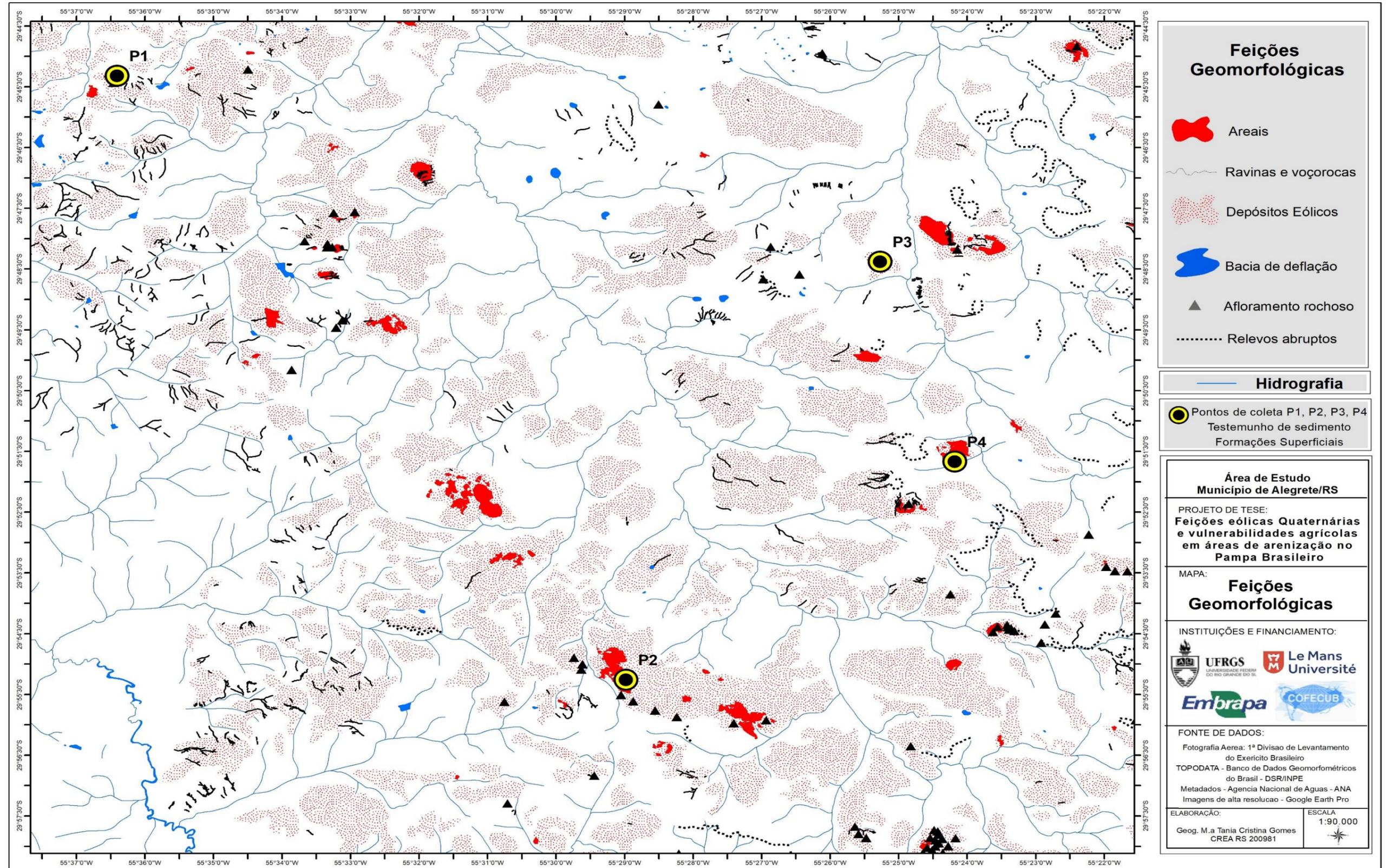
Goudie (2004) destaca cinco principais morfologias de dunas, as quais ocorrem de maneira similar em áreas muito distantes e salienta que o único tipo de duna restrito a áreas costeiras é a frontal, porque integra o sistema de praia arenosa. Os cinco tipos de dunas individualizadas por este autor são: *crescentic*, *linear*, *star dunes*, *sand sheets* e *lunettes*. O

autor, além disso, descreve três variações possíveis para cada um desses tipos: **simples** (a forma básica), **composta** (sobreposição de pequenas dunas do mesmo tipo em dunas maiores), e **complexa** (superimposição de diferentes tipos de dunas na forma primária, como, por exemplo, dunas em crescente em dunas lineares).

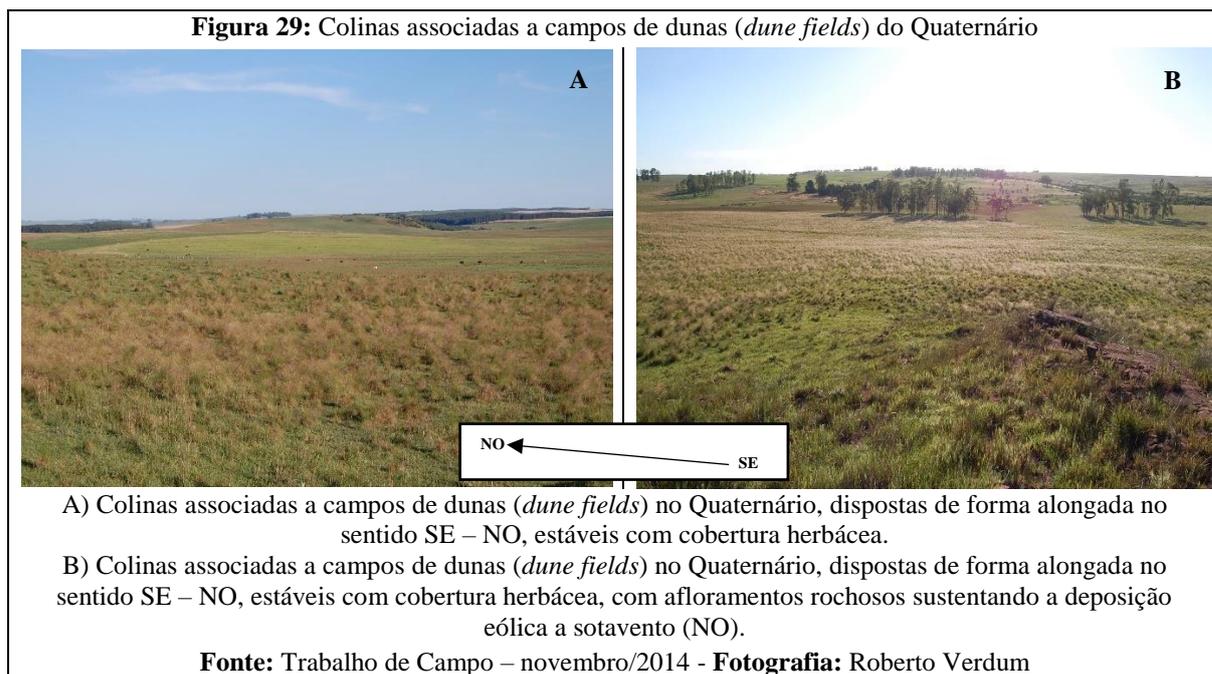
A região de ocorrência dos areais, em toda a sua extensão, comporta depósitos aluviais e eólicos, sendo que muitos deles margeiam o Rio Ibicuí, rio da maior bacia hidrográfica do Oeste do Estado. Os depósitos eólicos estáveis observados e mapeados na área de estudo exibem formas originais remodeladas e desfiguradas pela erosão pluvial e fluvial, ou seja, apresentam diferentes graus de preservação de morfologia eólica.

O sistema eólico, no quadrante estudado, não possui um padrão morfológico ou uma orientação necessariamente precisa (Figura 28). No entanto, se analisarmos os depósitos instáveis (*areais* reativados pela dinâmica climática atual), é possível inferir que há uma orientação regional nesses *areais*.

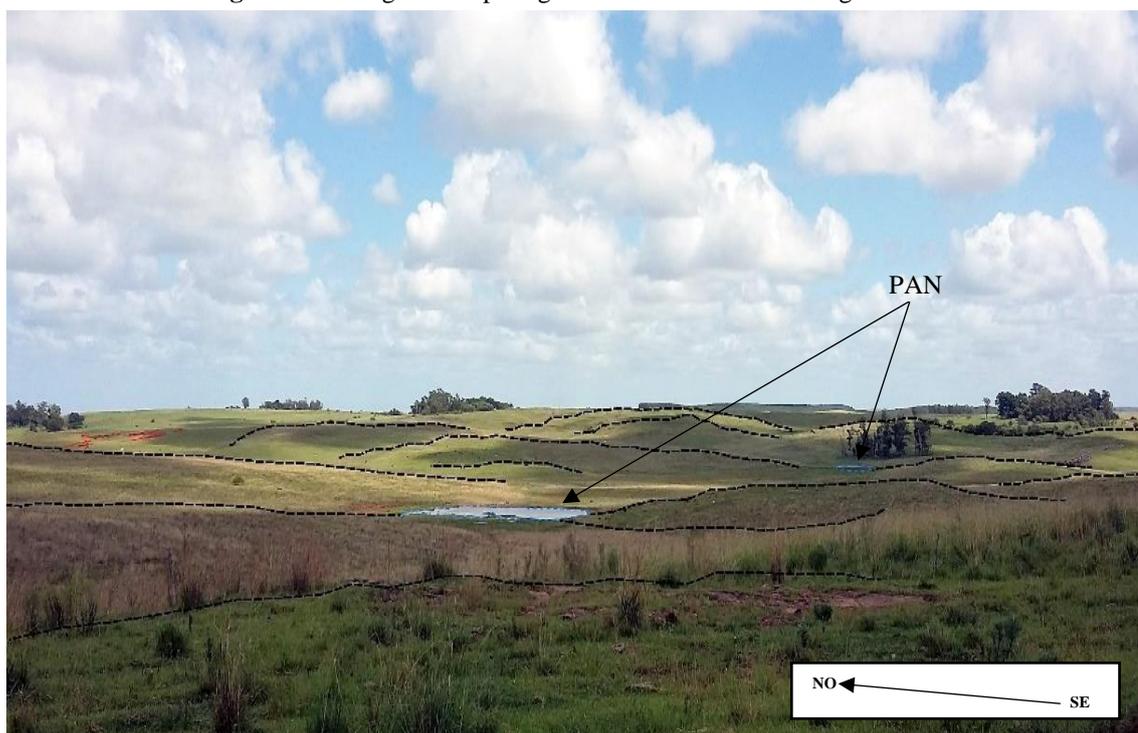
Figura 28: Mapa das Feições Geomorfológicas



Igualmente, são observadas colinas associadas a campos de dunas (*dunefields*) (Figuras 29A e 29B) do Quaternário, sobretudo do Holoceno, dispostas de forma alongada, do sentido SE (face de barlavento) para o NO (face de sotavento), demonstrando o sentido preferencial de paleoventos e formando um corredor de deposição. Os depósitos eólicos ainda podem ser estáveis com cobertura herbácea e com afloramentos rochosos aparentes, evidenciando a abrasão na face a barlavento (SE) e sustentando a deposição eólica a sotavento (NO).



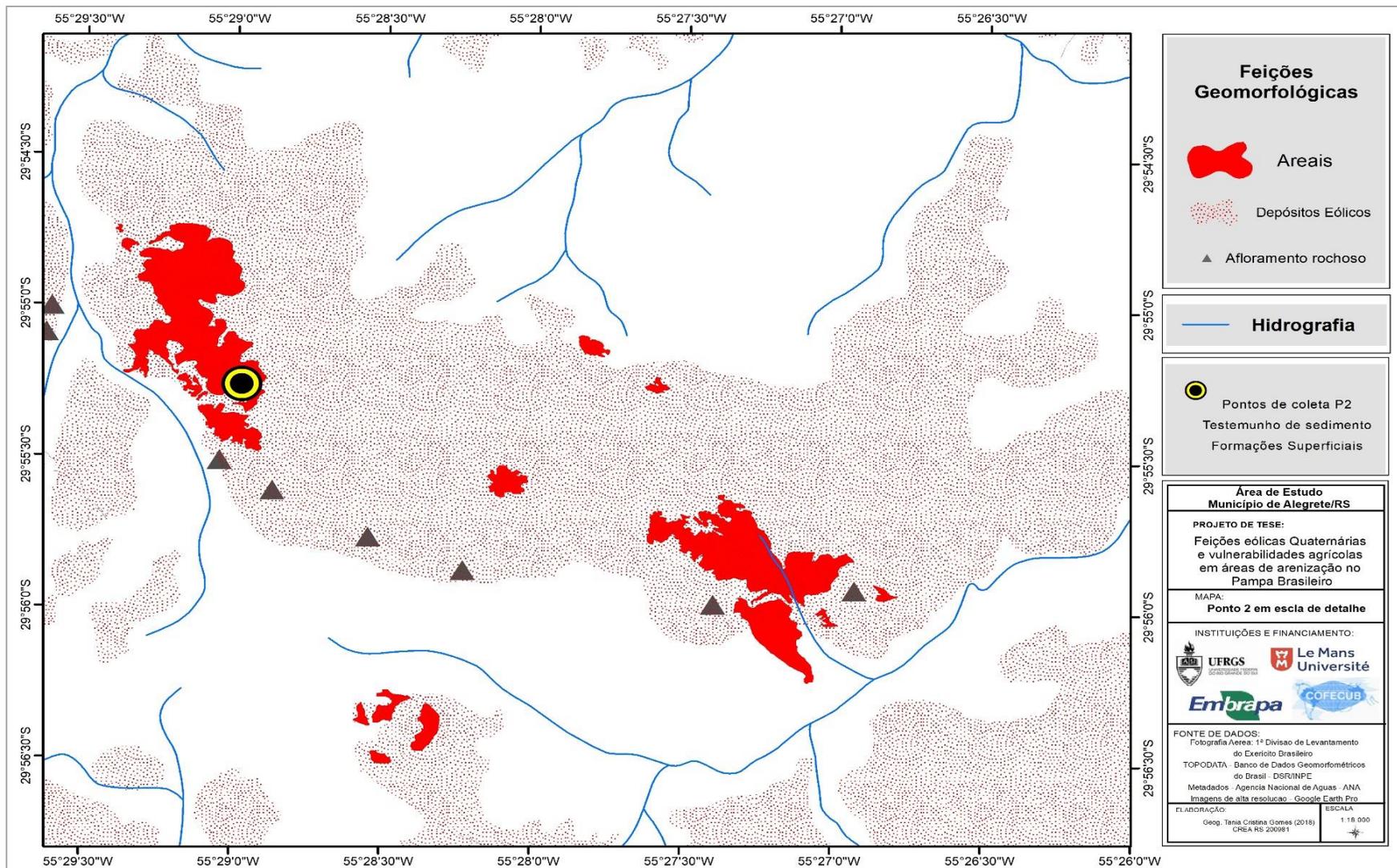
A Figura 30 ilustra a paisagem nas proximidades de P2 e caracteriza os depósitos eólicos estáveis, os quais, em uma aproximação de classificação, podem ser definidos como campo de dunas (*dunefield*). São morfologias ainda em bom estado de preservação, mas que já demonstram sinais de erosão, como aqueles visíveis no quadrante superior esquerdo da imagem. Na fotografia, é possível observar dois pequenos lagos (no centro e no quadrante superior direito), os denominados lagos em deflação (*lunettes*) ou PAN, que consistem, basicamente, em uma área rebaixada pela erosão, pela abrasão eólica, causada pelo vento, originando pequenos lagos deflacionados, em área de baixa precipitação. Estas feições geomorfológicas serão mais bem explicadas no próximo subitem deste capítulo.

Figura 30: Fotografia da paisagem no entorno de P2 – Alegrete/RS

Fonte: Trabalho de campo – Jan/2017

O depósito eólico P2, com areal, possui cerca de 4.000 m de comprimento e 2.000 m de largura e reflete a combinação entre a alta energia de ventos e o abundante fornecimento de areia, apresentando resistência aerodinâmica favorecida por afloramentos rochosos (Figura31).

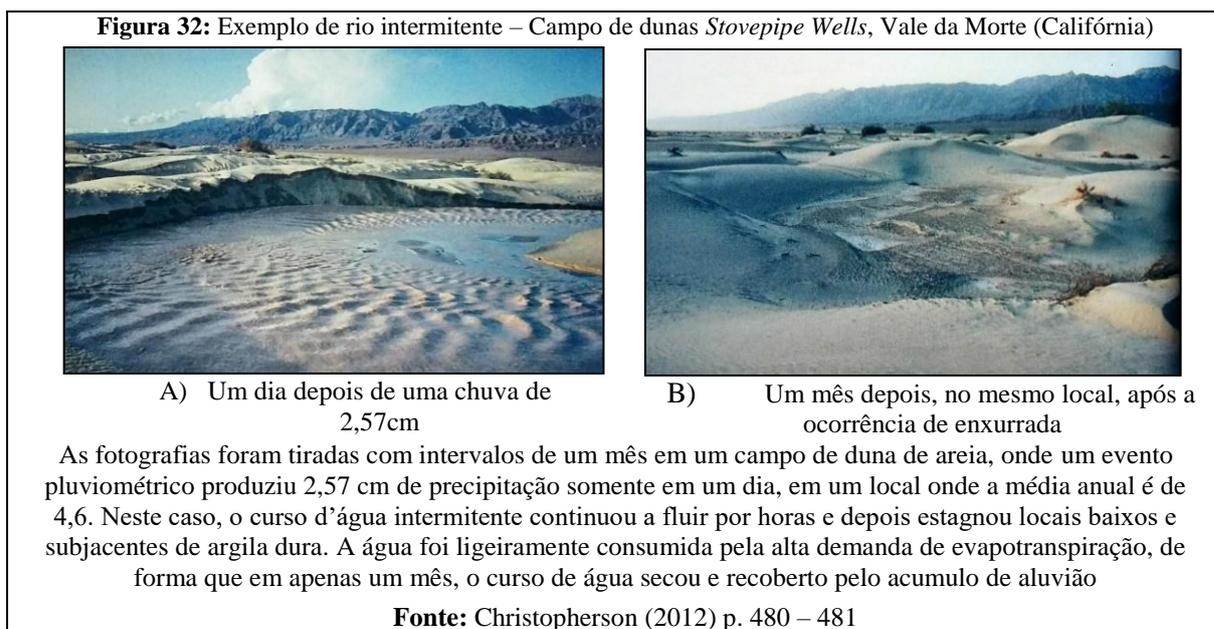
Figura 31: Ponto de coleta P2 em escala de detalhe



3.4 Processos flúvio-eólicos em ambientes semiáridos e desérticos

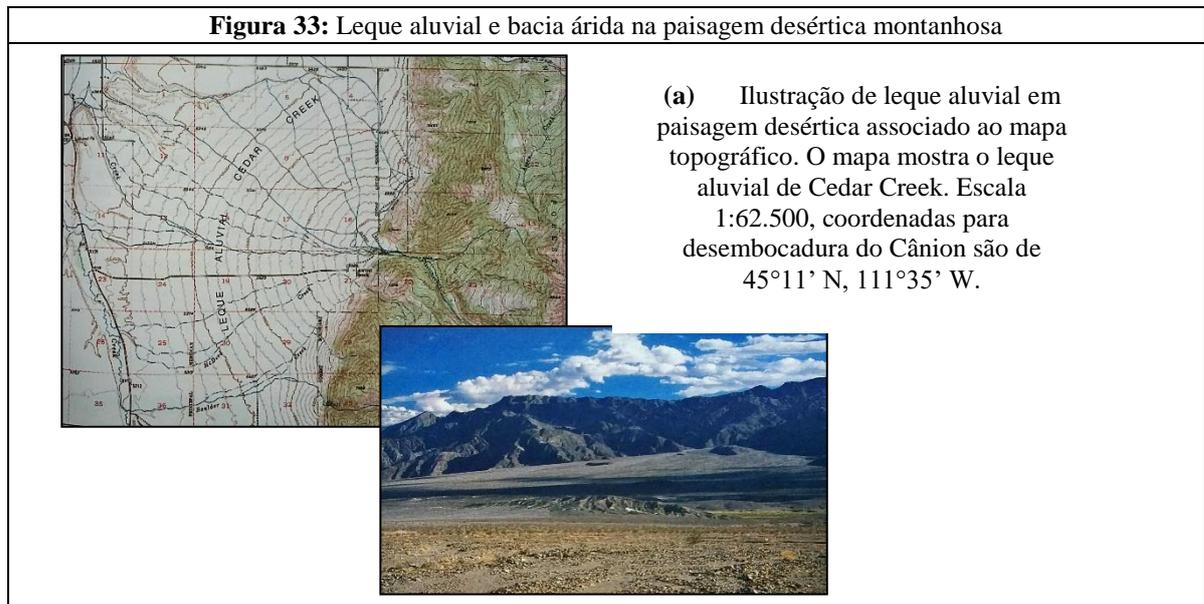
A água, apesar de não ser abundante em ambientes desérticos, apresenta grande potencial erosivo e, em geral, participa largamente da morfogênese dos espaços. Lagos permanentes e rios de fluxo contínuo são incomuns, com exceção dos Rios Nilo e Colorado, que atravessam desertos, pois suas cabeceiras situam-se em regiões mais úmida e somente as partes principais de seus cursos percorrem regiões áridas. Em geral, eventos de precipitação são raros nesses espaços, ocorrendo em intervalos de um ou de dois anos. Entretanto, quando acontecem, um leito fluvial seco (leito intermitente, *arroyo* – espanhol, *wadi* – árabe) pode ser preenchido rapidamente, causando enxurrada. Muitas vezes, tais canais fluviais (Figuras 32A e 32B) são preenchidos em alguns minutos e transbordam imediatamente, durante e após uma tempestade (CHRISTOPHERSON, 2012).

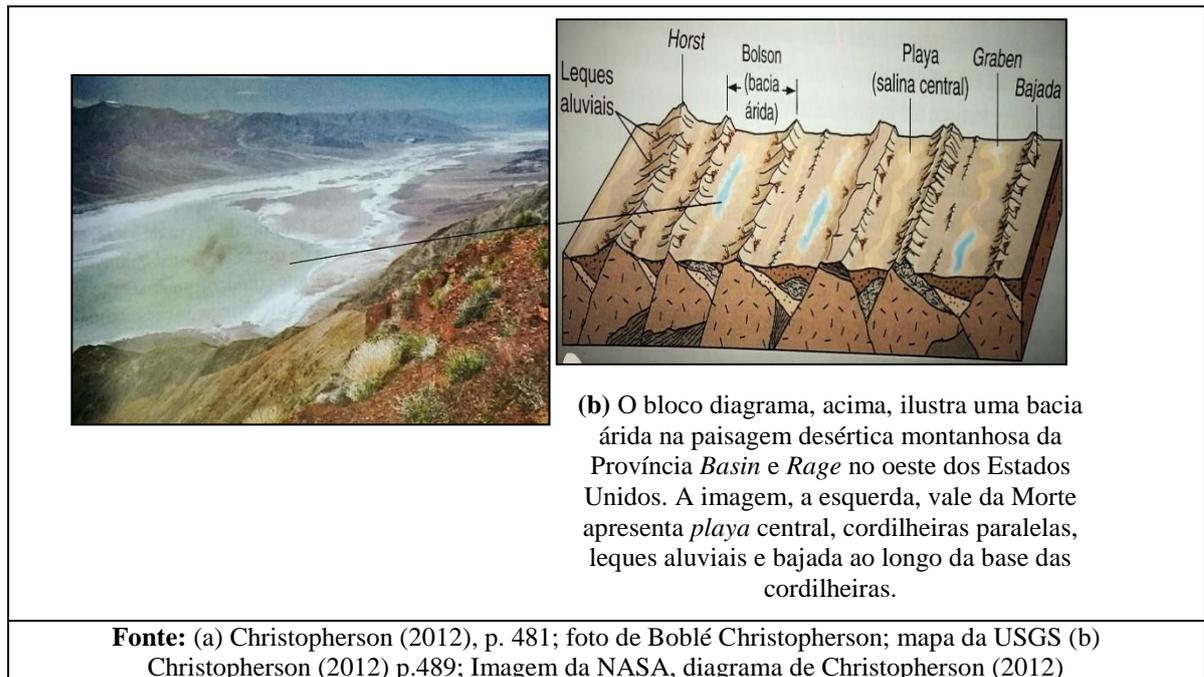
Suguio (2003) destaca que depósitos de *wadi* são compostos de sedimentos de rios efêmeros (temporários), que se caracterizam pela baixa razão água/sedimento e por regime torrencial associado a chuvas esporádicas. Seus canais fluviais são normalmente entrelaçados e recebem, ao lado de sedimentos fluviais, contribuições eólicas. As formas de leito características desse tipo de depósito são micro e micro-ondulações, com estratigrafia cruzada, do tipo torrencial (com camadas frontais, definidas por seixos), podendo-se alternar sedimentos eólicos e subaquoso.



Ainda de acordo com Christopherson (2012), quando os leitos intermitentes se enchem, uma singularidade de relações ecológicas se desenvolve ligeiramente. A “explosão” de relações ecológicas acontece quando rochas e penedos colidem, quebrando sementes, que reagem à umidade oportuna e germinam, fazendo com que plantas e animais de ciclos de vida breve nasçam, conforme a água irriga seus habitats restritos.

À medida que a água de escoamento superficial evapora, crostas de sal podem ser depositadas, formando uma *playa* (Figura 33B), que corresponde a uma área baixa, com as intermitências úmida e seca de uma bacia de drenagem, abrigando lagos efêmeros, quando há água suficiente acumulada. Já os leques aluviais (Figura 33A), produzidos pelo fluxo de água, que, abruptamente, perde velocidade, ao fluir por canais estreitos, ocorrem em desembocaduras de cânions, depositando camadas sobre camadas de sedimentos, ao longo da base do bloco de montanhas, formando, ainda, canais de drenagem anastomosados. *Bajada* ou cobertura contínua (Figura 33B) ocorre quando leques aluviais individuais formam coalescência em uma superfície inclinada (CHRISTOPHERSON, 2012).





A Figura 33B, ilustra em detalhes o que Goudie (2004) chama de PAN, também denominado de *playas*, *Pfannen*, *sabkhas*, *chotts*, *kavirs*, etc. São depressões topográficas fechadas, característica de superfícies de baixo ângulo, situadas em terras secas do mundo (JAEGER, 1939 *apud* GOUDIE, 2004, p. 758), especialmente bem desenvolvidas nas *High Plains* dos EUA, nos Pampas argentinos, na Manchúria, nas estepes ocidentais siberianas e cazaques, na Austrália ocidental e meridional e no interior do sul da África.

Os chamados *Bolsos*, também ilustrados na Figura 33B, são depressões de drenagem centrípeta, cercadas por colinas e por montanhas (TIGHT, 1905 *apud* GOUDIE, 2004, p.89). No seu centro há, normalmente, uma solução salina ou *playa* (PAN), mas, se a área de baixa altitude é drenada por um curso d'água efêmero, a bacia pode ser considerada um 'semi-bolson' (TOLMAN, 1909 *apud* GOUDIE, 2004, p.89). Bolsos são uma característica do semiárido e de terrenos *basin-and-range*, podendo conter feições típicas, como leques aluviais e bajadas (GOUDIE, 2004).

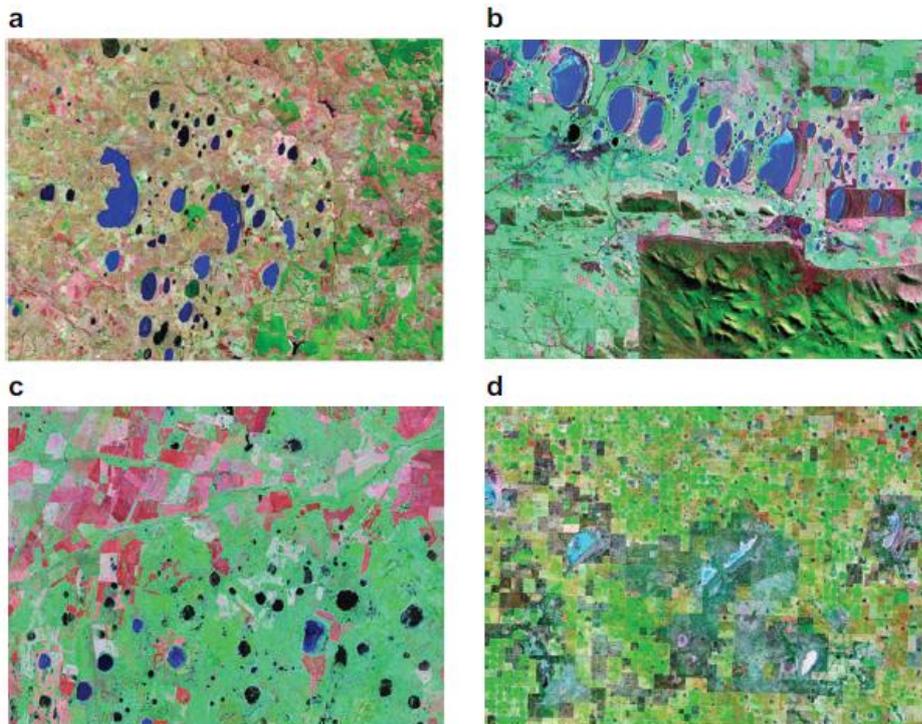
De acordo com Goudie (2004), o PAN se desenvolve em superfícies susceptíveis. No sul da África, por exemplo, eles são melhor desenvolvidos nas areias do *Kalahari Bed* e em xistos de granulação fina. Também ocorrem em situações topográficas particulares – em pisos de lagos deflacionados, em antigas linhas de drenagem, nas valas entre dunas, nos narizes de dunas parabólicas e nas planícies costeiras (por exemplo, em Carolina Bays, na Costa Leste dos

EUA). São orientados em relação às tendências regionais de vento e, em muitos casos, tendem a ter lados bulbosos protegidos do vento. Em áreas como a do Pampa, na América do Sul, nas *High Plain*, nos EUA, e no interior da África do Sul, existem literalmente dezenas de milhares de depressões e elas podem cobrir extensas áreas da superfície da Terra (GOUDIE, 2004).

O mesmo autor coloca, ainda, que a origem dos PAN tem intrigado geomorfologistas há mais de um século. Hipóteses incluíram deflação, escavação por animais, cárstica (*dayas*) e solução de pseudocárstica. O que está claro é que uma série de processos tem sido envolvida na iniciação e na manutenção do PAN e que nenhuma hipótese pode explicar todas as facetas de suas próprias histórias, de seus tamanhos variados e de suas morfologias (GOUDIE, 2004).

A Figura 34 traz imagens do satélite Landsat 7 (NASA Zulu), contendo PANs: (a) área de *Lake Chrissie*, na África do Sul (cuja maior PAN apresenta, aproximadamente, 5,5 km de comprimento); (b) *Stirling Range*, na Austrália Ocidental (com, aproximadamente, 3,5 km de comprimento); (c) Planície da Sibéria Ocidental, no Cazaquistão (com, aproximadamente, 2 km de comprimento); (d) PAN *Llano Estacado*, *High Plains*, nos Estados Unidos, com 5 km de comprimento, aproximadamente (GOUDIE, 2008).

Figura 34: Cenas de imagens Landsat 7 (NASA Zulu) com lagos deflacionados (PANs)



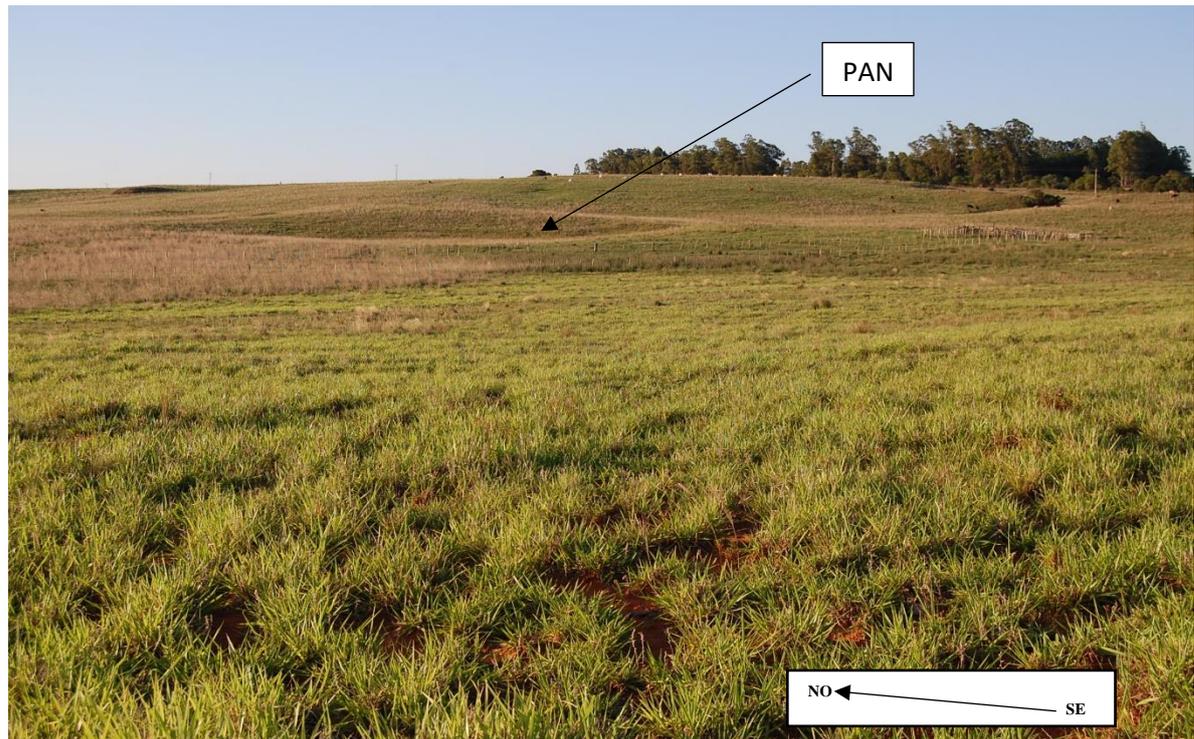
Fonte: Goudie (2008)

Goudie (1999) descreve um modelo integrado de PAN. Primeiro, estas depressões ocorrem preferencialmente em áreas de relativamente baixa precipitação efetiva. Esta condição predisponente de baixa precipitação significa que a cobertura vegetal é escassa e que a atividade deflacional pode ocorrer. Além disso, uma vez que uma pequena depressão inicial é formada e que a água se tenha evaporado, para se obter um ambiente fisiológico, o crescimento de vegetação é ainda mais retardado, o que incentiva ainda mais a deflação. O papel da deflação na remoção de material, a partir de uma depressão, pode ser aumentado por animais, que tendem a se concentrar ali, devido à disponibilidade de água. Também é importante que qualquer depressão inicial, uma vez formada e por qualquer meio, não seja destruída pela ação dos sistemas fluviais integrados ou eficazes.

Os fatores que podem causar a falta de integração fluvial são: encostas de ângulo baixo, dessecação episódica e duna invasão, presença de intrusões de dolerite e perturbações tectônicas. Além de sua ocorrência em desertos, vários tipos de lagos também são uma característica de algumas áreas de tundra (GOUDIE, 2004).

Vale ainda destacar as feições do tipo *lunette*, que, de acordo com Goudie (2004), são acumulações eólicas concêntricas, que ocorrem nas margens de sotavento (na direção dos ventos) de PAN (Figura 35). Tendem a ocorrer em áreas nas quais os níveis de precipitação atuais variam entre 100 e 700 milímetros e sua estratigrafia pode indicar mudanças passadas nas condições hidrológicas e climáticas. Algumas bacias podem ter dois ou mais *lunettes* em seus lados protegidos do vento e podem ter diferentes características de tamanho de grãos e mineralógicas. As *lunettes* podem ter dimensões de alguns quilômetros de extensão e, em circunstâncias excepcionais, podem atingir alturas superiores a 60m (GOUDIE, 2004).

Figura 35: Colina associada a campo de dunas (*dune fields*) no Quaternário e deflação do tipo PAN



No primeiro plano da foto, colina associada a campo de dunas (*dune fields*) no Quaternário, disposta de forma alongada no sentido SE – NO, com cobertura de pastagem artificial (*Brachiaria decumbens*); no segundo plano da foto, lago associado à deflação do tipo PAN, situado na depressão entre as colinas (intraduna).

Fonte: Trabalho de Campo – Novembro/2014

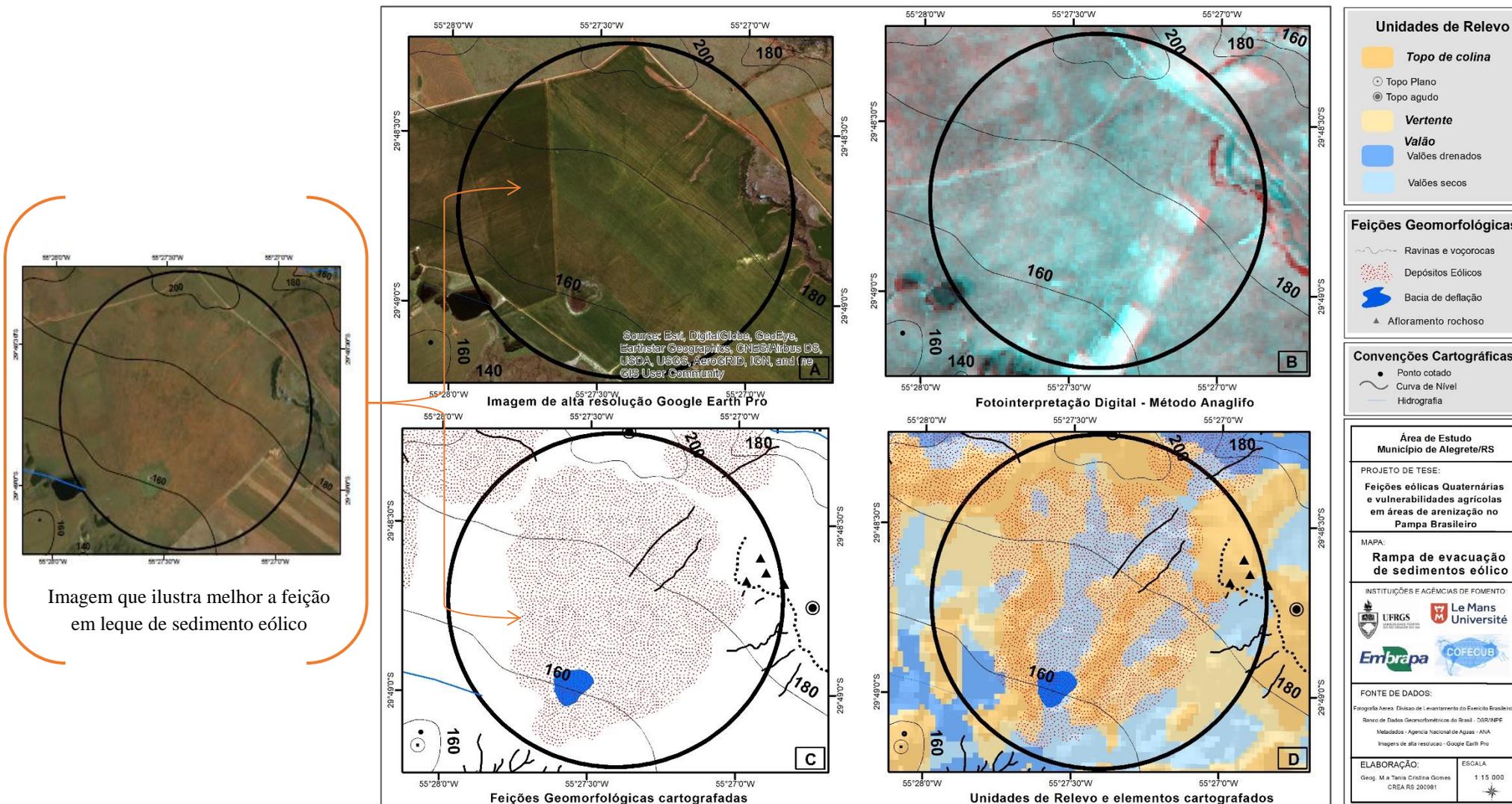
Fotografia: Roberto Verдум

Os materiais que compõem estas feições podem variar, de acordo com seu material e com os tamanhos das areias e das argilas (no caso de dunas de argila, podem conter de 30% a 70% de sua composição total). Igualmente, algumas *lunettes* são ricas em carbonato de quartzo, enquanto que outras o são em sua quase totalidade. Conforme o mesmo autor, várias são as hipóteses formuladas para explicar a composição das *lunettes*. Hills (1939) acreditava que elas foram construídas quando as depressões continham água e que elas eram compostas de pó atmosférico capturado por gotas de pulverização, provenientes do corpo de água. Stephens e Cocker (1946) sugeriram que muitas das *Lunettes* foram construídas de agregados transportados a partir dos pisos das depressões. Campbell (1968) acreditava que essa hipótese, da ação da deflação, poderia realmente representar muitas características das *lunettes*, ao observar que o seu material era oriundo do leito do lago. No entanto, a mesma autora reconheceu que alguns materiais poderiam ter origem nas praias, gerados pelas ondas e, por isso, poderiam ser análogos às dunas costeiras primárias, do tipo frontais. De acordo com Goudie (2004), esta é uma visão

desenvolvida por Bowler (1973), que observou fácies arenosas associadas às praias, enquanto fácies ricas em argila, que também podem ter um alto teor de grãos evaporíticos, foram formadas durante as fases mais secas, quando a deflação do fundo do lago dessecado era possível. As *lunettes* podem, portanto, fornecer evidências para compreender as mudanças hidrológicas no tempo (GOUDIE, 2004).

A Figura 36 mostra quatro imagens que ilustram a evolução do processo de evacuação de sedimentos de rampa. A primeira imagem (A) compõe uma simples imagem do *Google Earth*, com sobreposição de curvas de nível. Na curva de 160m é possível observar pequenos lagos de deflação e a acumulação de material eólico a montante da rampa, como um leque de deposição eólica, perceptível pela cor e pela textura na imagem sobre as curvas, a níveis mais altos, 180/200m, contendo ainda visíveis processos erosivos do tipo concentrado (ravinas e voçorocas).

Figura 36: Rampa de evacuação de sedimento eólico na área de estudo



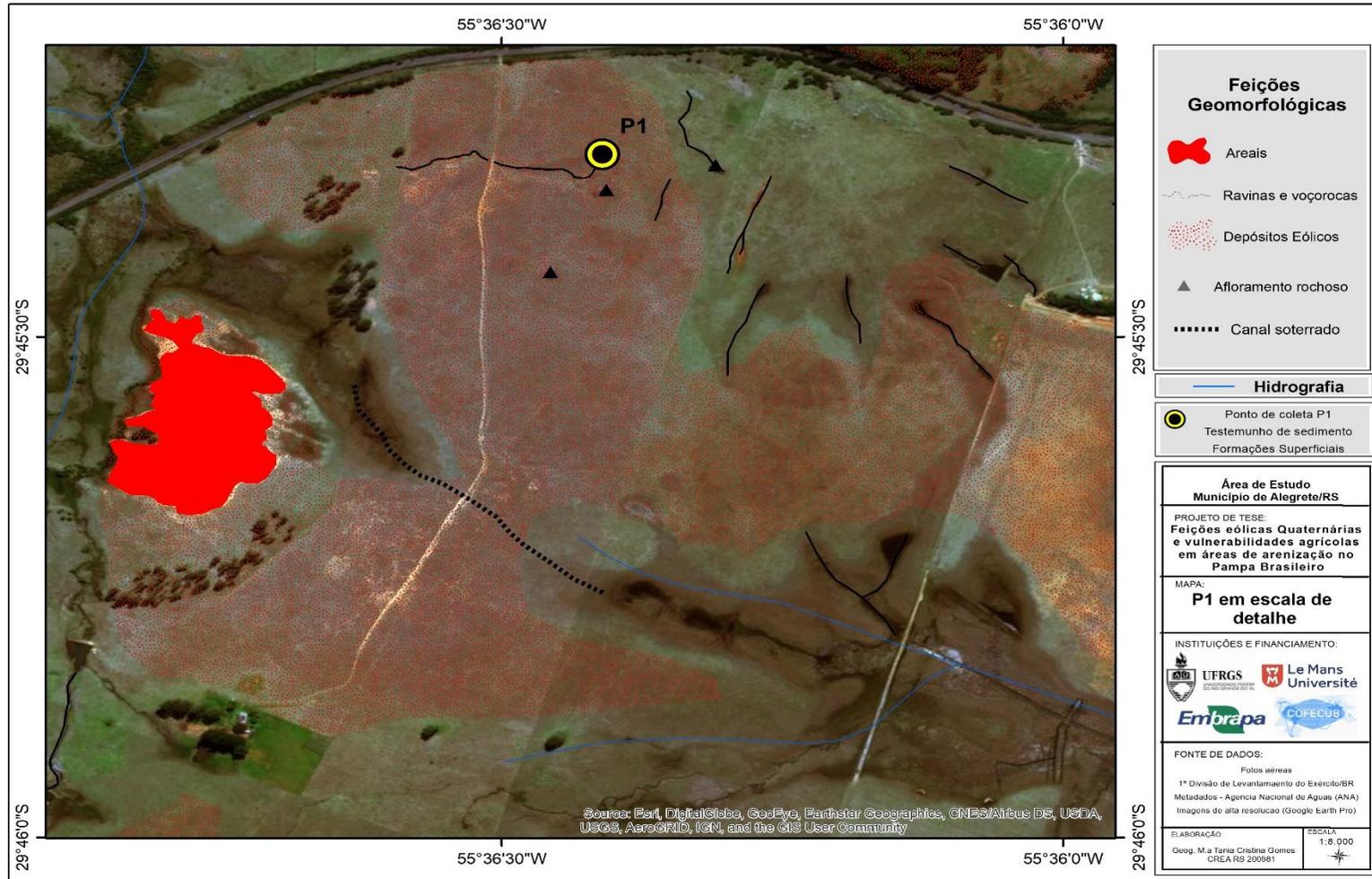
A segunda imagem (B) compõe um produto pós-processado, a partir de fotografias aéreas, para fins de fotointerpretação digital, através da geração de *anaglifos* em par estereoscópico. A técnica permitiu individualizar com maior precisão os depósitos eólicos, assim como obter melhor visualização do relevo abrupto, à esquerda do quadrante. A terceira imagem (C) é o resultado da fotointerpretação digital, com vetorização do depósito, do relevo abrupto, dos afloramentos e do lago em deflação.

A última imagem (D) é a sobreposição das feições geomorfológicas interpretadas sobre as unidades de relevo. O leque de deposição eólica está substancialmente sobre as unidades topo de colina, vertente e vales secos. Os vales secos, neste caso, foram soterrados pelas areias, ao longo do tempo, pela ação eólica em clima mais seco e, atualmente, estão sendo erodidos pela ação hídrica em clima úmido.

A Figura 37 ilustra o processo de soterramento de canal fluvial por depósito arenoso. Pela imagem é possível observar o depósito eólico barrando/estrangulando a continuidade da drenagem, visivelmente encaixada em áreas úmidas, atualmente. O canal soterrado está representado pelo segmento pontilhado em preto. A mancha na cor vermelha ilustra um depósito eólico instável (areal ativo) e os segmentos em preto representam processos erosivos, atuando sobre os depósitos eólicos que compõe a paisagem.

Para concluir, vale ressaltar a importância deste capítulo para o estudo em desenvolvimento. Entende-se que a interpretação e a reconstituição das morfologias eólicas observadas no Sudoeste do RS, atualmente vistas como relictos do passado, perpassam pela compreensão das morfologias e dos processos morfogênicos típicos de ambientes semiáridos e desérticos. De fato, estabelecer parâmetros comparativos é fundamental para a compreensão da origem das morfologias eólicas identificadas na atualidade.

Figura 37: Ponto de coleta P1 em escala de detalhe – Alegrete/RS



4 **FORMAÇÕES SUPERFICIAIS QUATERNÁRIAS ASSOCIADAS AO PROCESSO DE ARENIZAÇÃO – JANELAS NO PRESENTE, DE UM PASSADO RECENTE**

*“C’est le temps que tu as perdu pour ta rose qui fait ta rose si importante”
Antoine de Saint-Exupéry*

Neste capítulo, o objetivo é estabelecer relações conceituais entre as formações superficiais existentes na área estudada, os processos de arenização e os depósitos eólicos do Quaternário. Inicialmente, trata-se das formações superficiais, ressaltando a evolução do conceito nas bibliografias global e brasileira. Em seguida, faz-se a explanação referente à adoção do termo arenização, trazendo sua evolução, a aplicação e a ampliação do conceito de arenização para a região Sudoeste do Rio Grande do Sul, bem como para todos os processos envolvidos na origem e na formação dos areais que ocorrem naquela região. Apresentam-se, ainda, alguns resultados alcançados.

4.1 **Formações superficiais – testemunhos da evolução da paisagem no Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul**

De acordo com Casseti (2005), o termo “formação superficial”, comumente empregado como sinônimo de “estrutura superficial”, foi definido em 1965 pela autora francesa Yvette Dewolf (1965) como sendo aquelas formações superficiais às formações continentais, friáveis ou secundariamente consolidadas, provenientes da desagregação mecânica e da alteração química das rochas, que tenham ou não sofrido remanejamento e transporte, qualquer que tenha sido a sua gênese e evolução.

A referida autora também entende que o substrato é a rocha subjacente friável ou coerente que suporta as formações superficiais, resultante diretamente do substrato ou que resulte de seu remanejamento. Dessa forma, Casseti (2005) infere que o conceito definido por Dewolf em 1965 admite maior abrangência por agregar materiais resultantes da alteração *in situ*, distinto da perspectiva do conceito de estrutura superficial, que tem por princípio oferecer subsídios à reconstrução evolutiva do modelado.

Queiroz Neto (2001, p.65), ao interpretar igualmente o trabalho de Yvette Dewolf, porém o do ano de 1983, conclui que as formações superficiais são testemunhos dos processos pedogenéticos e morfogenéticos responsáveis pela evolução e pela dinâmica da superfície terrestre, pois se caracterizam por materiais que recobrem a parte emersa da crosta, provenientes da alteração das rochas por intemperismo físico, químico e biológico e que podem ter sido retrabalhados e transportados sobre vertentes, sobre superfícies de erosão, sobre planícies aluviais, etc.. Barros, Saito e Noffis (2000) simplificam o conceito de formações superficiais, ressaltando que estas, na escala do tempo geológico, representam um período muito curto e importam uma sequência dinâmica, sendo testemunhos da evolução crescente e conservando parte da natureza da região na qual estão inseridas.

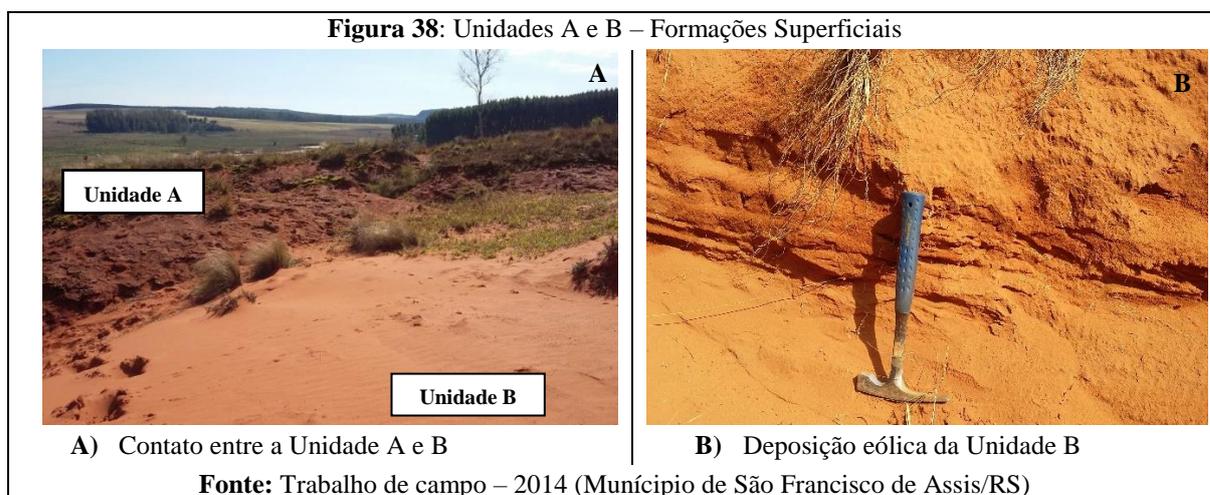
No Brasil, os estudos relacionados às formações superficiais iniciaram a partir da década de 1950, através da pedologia e do mapeamento de solos. Na década seguinte, geomorfólogos e geólogos passam a estudar depósitos sedimentares correlativos de processos superficiais de erosão e de deposição, sobretudo quaternários e, na década de 1980, surgem os mapeamentos geomorfológicos de maior detalhe, com a representação espacial das formações superficiais. Ambas as abordagens buscam reconhecer a autoctonia ou a aloctonia das formações superficiais em relação ao substrato geológico, visto que, para as ciências dos solos, as formações superficiais podem revelar a origem dos materiais e, para a geomorfologia, elas podem testemunhar os processos responsáveis pela gênese, pela evolução e pela compartimentação do relevo terrestre. Os critérios que guiavam as interpretações para reconhecer a autoctonia ou a aloctonia das formações superficiais podem ser resumidamente elencados com: 1) presença de cascalheira e/ou de couraças ferruginosas e/ou de camadas de concreções ferruginosas; 2) presença de linhas de pedra (*stonelines*); 3) horizontes enterrados, escurecidos por matéria orgânica (QUEIROZ NETO, 2001).

Do ponto de vista da investigação e da interpretação das formações superficiais, aplicou-se, naquela ocasião, além dos critérios de reconhecimento de autoctonia ou de aloctonia, a teoria da biorexistasia, assinalando períodos de climas secos (reexistasia) e úmidos (biostasia), havendo oposição entre pedogênese e morfogênese, ou seja, entre formação dos solos e de erosão, na qual apenas a erosão seria responsável pela elaboração do relevo. Entretanto, é preciso atentar para um detalhe de difícil resolução dentro desse modelo de interpretação, cuja dificuldade paira na explicação de uma fase de erosão fluvial extremamente ativa, que entalha aquelas

superfícies aplainadas formando vertentes, e que não parecem se enquadrar nem na fase resistásica nem na biostásica; assim, atribui-se o entalhamento à passagem de uma fase para a outra (QUEIROZ NETO, 2001).

Ainda do ponto de vista investigativo, Pfaltzgraff (2003) ressalta que as formações superficiais, enquanto produtos resultantes de processos geológicos e geomorfológicos, ligados ao intemperismo superficial, à deposição e à diagênese incipiente, podem ser classificadas em quatro tipos: *residuais* (solos, depósitos de origem química, lateritos, silicificações); *depósitos transportados* (sedimentos fluviais, aluviões, terraços fluviais, depósitos de várzea, leques aluviais, sedimentos lacustrinos, sedimentos litorâneos, sedimentos eólicos, colúvios, depósitos de talus); *orgânicos* (turfeiras, recifes coralinos e algálicos); e *depósitos antropogênicos* (sambaquis, aterros, lixões, depósito de rejeitos). De acordo com o mesmo autor, para a definição e para a espacialização das formações superficiais são necessários conhecimentos amplos da geologia, dos processos geomorfológicos (especialmente da morfogênese e da geomorfologia estrutural), do controle tectônico da evolução do relevo (neotectônica), da hidrologia e da geotecnia.

Em relação à área selecionada para o desenvolvimento do estudo, no município de Alegrete/RS observam-se possíveis associações de duas formações superficiais distintas, inicialmente identificadas, classificadas e descritas por Suertegaray em 1987, denominadas de *unidades A e B*, em estudo feito no município de Quaraí/RS. A *unidade A* é de idade Pleistocênica, ocorre em um ambiente úmido e apresenta material de origem flúvio-lacustre; e a *unidade B* é de idade Holocênica, ocorrendo em ambiente seco e apresentando material de origem eólica (Figura 38A e 38B).



A *unidade A* tem sua formação estimada no período de *Optimum* pós-glacial, fase úmida ocorrida, provavelmente, entre o final do Pleistoceno e o início do Holoceno, favorecendo a deposição fluvial, estando esta unidade vinculada aos horizontes mais profundos dos solos regionais. A descrição realizada em 1987 pela autora sobre uma sequência deposicional indica uma variação ambiental, sugerindo “a passagem de um depósito tipicamente fluvial para um depósito de águas calmas”. Esta evidência fluvial foi também registrada na existência de canais que cortam a Formação Botucatu¹², evidenciando o retrabalhamento por rebaixamento do nível de base local ou devido a uma umidificação do clima (SUERTEGARAY, 1987 p. 102).

Além disso, Suertegaray observa que “a tendência à erosão nestes sedimentos promove a formação de ravinas, que seguem linhas de fraturas, sendo estas mais intensas nos depósitos mais superficiais” e, pela posição estratigráfica, estimou a datação desta unidade como sendo, provavelmente, de idade pleistocênica (SUERTEGARAY, 1987 p. 105).

Já a *unidade B* tem sua formação estimada no período de ressecamento climático, durante o Holoceno (fase recente), favorecendo a deposição eólica, composta de arenitos finos a médios, com estruturas acanaladas cruzadas e planas, desprovidas de argilas e altamente friáveis, o que facilita a desintegração. De modo inclusivo, “a presença desses depósitos em diferentes altitudes, seja a 120 m ou 180 m, e a observação de formas semicirculares, que lembram dunas barcanas, fortalece a ideia de depósitos eólicos”. O depósito descrito pela autora indicou “que se constituem de depósitos dunários, mais recentes do que a unidade anterior (de depósito fluvial)”, sugerindo que a *unidade B* possui idade holocênica, tendo sido constituída sob clima seco. No entanto, a existência “de concreções ferruginosas delineando a superfície da duna indica, provavelmente, atenuação recente da aridez” (SUERTEGARAY, 1987 p. 105).

Importante referir-se aqui ao mapeamento geomorfológico, elaborado por Suertegaray (1987), em Quaraí/RS, associado às formações superficiais individualizadas, à ocorrência de manchas de areia e aos depósitos de aluviões. A partir do mapeamento elaborado pela autora,

¹² Trata-se de um grande e contínuo lençol de antigas dunas de ambiente desértico, que se estendeu por quase toda a Bacia do Paraná e que representa a máxima expansão da sedimentação da bacia, durante o Mesozóico. O posicionamento estratigráfico é imediatamente abaixo das sequências vulcânicas que determinaram o “fechamento” da Bacia do Paraná, com as quais encontram-se em contato não discordante (temporal), caracterizado pela recorrência de dunas (*intertrapp*) por sobre as sequências vulcânicas, especialmente sobre os primeiros derrames. Litologicamente, é constituída por arenitos amarelo-avermelhados, finos a médios, com seleção de regular a boa, com pouca matriz, estratificação cruzada verdadeira (em cunha), de porte médio a grande, com inclinações que atingem até 32° de mergulho. Raramente ultrapassa os 100 metros de espessura (MEDEIROS, 2005).

concluiu-se que os arenitos da Formação Botucatu ocupam, de um lado, as áreas mais rebaixadas (cotas entre 100 m e 120 m), margeando as várzeas; de outro, áreas mais elevadas (acima de 160 m), sustentando rupturas de relevo. A Formação Serra Geral encontra-se em altitudes superiores a 100 m ou mantendo topos de morros de formações arenosas, inclusive relevos residuais. As *unidades A e B* foram identificadas recobrando a formação Botucatu, sendo que a *unidade A* (depósitos fluviais) ocorre em cotas altimétricas entre 120 m e 140 m, sobrepondo-se diretamente ao Botucatu. A *unidade B* (arenitos eólicos) situa-se em áreas topograficamente mais elevadas (140 m a 180 m). Os depósitos de aluviões foram registrados em cotas inferiores a 100 m.

Destarte, a autora conclui que a distribuição topográfica indica uma fase erosiva mais recente, que, a retirada da camada da *unidade B* (holocênica) gerou aporte de material para a formação de aluviões, permitindo que, pelo rebaixamento, os sedimentos da *unidade A* (pleistocênicos) ocupassem as vertentes e os atuais topos de colinas. Assim, devido às características litológicas e altimétricas, os sedimentos da *unidade B* apresentam mais suscetibilidade ao retrabalhamento recente, possibilitando o aparecimento de manchas de areia (areais), colonizadas por vegetação herbácea, sem ter sofrido, apesar disso, diagênese (SUERTEGARAY, 1987 p. 111).

4.2 Compartimentos geomorfológicos e a presença dos areais

No âmbito de uma proposta de compartimentação geomorfológica, a área de estudo está inserida na morfoescultura denominada Cuesta de Haedo¹³. Medeiros (2012) destaca que o termo Cuesta de Haedo foi proposto por Chebataroff (1954) e, na década de 1970, foi consagrado por Müller (1970). Para este autor, Cuesta de Haedo compõe:

...um relevo de homoclinal com o front (frente) voltado para leste e cujo o reverso decai suavemente em direção ao Rio Uruguai. O front alcança cotas de 200 a 300 metros, como em Santana do Livramento e o reverso, como na jusante do Rio Quaraí junto à calha do Rio Uruguai, não alcança os 100 metros. É uma estrutura entalhada por drenagens consequentes, tanto do lado brasileiro quanto do uruguaio e que confluem para o Rio Uruguai. Assim, temos os rios Ibicuí e Quaraí do lado brasileiro

¹³ Considera-se Cuesta a forma dissimétrica de relevo, constituída por uma sucessão alternada de camadas com diferentes resistências ao desgaste e que se inclinam em uma direção, formando um declive suave no reverso e um corte abrupto ou íngreme na chamada “frente de cuesta”. Trata-se de um relevo comum em bacias sedimentares. O relevo de cuesta expressa o resultado do trabalho da erosão diferencial (GUERRA, 1989).

e os rios Taquarembó e Negro do lado uruguaio. Torna-se mister salientar, que quando não é considerada a existência da Cuesta de Haedo como uma província geológica-geomorfológica, esta grande área pode ser considerada como fazendo parte da Depressão Periférica e do Planalto Meridional, ambas, como a primeira, províncias geológicas-geomorfológicas de nosso Estado. Fazem parte deste espaço, se não todo, parte dos municípios de São Vicente do Sul, Cacequi, São Francisco de Assis, Manoel Viana, Maçambará, Unistalda, Itaqui, Alegrete, Quaraí, Santana do Livramento e Rosário do Sul (MEDEIROS, 2012, p. 15).

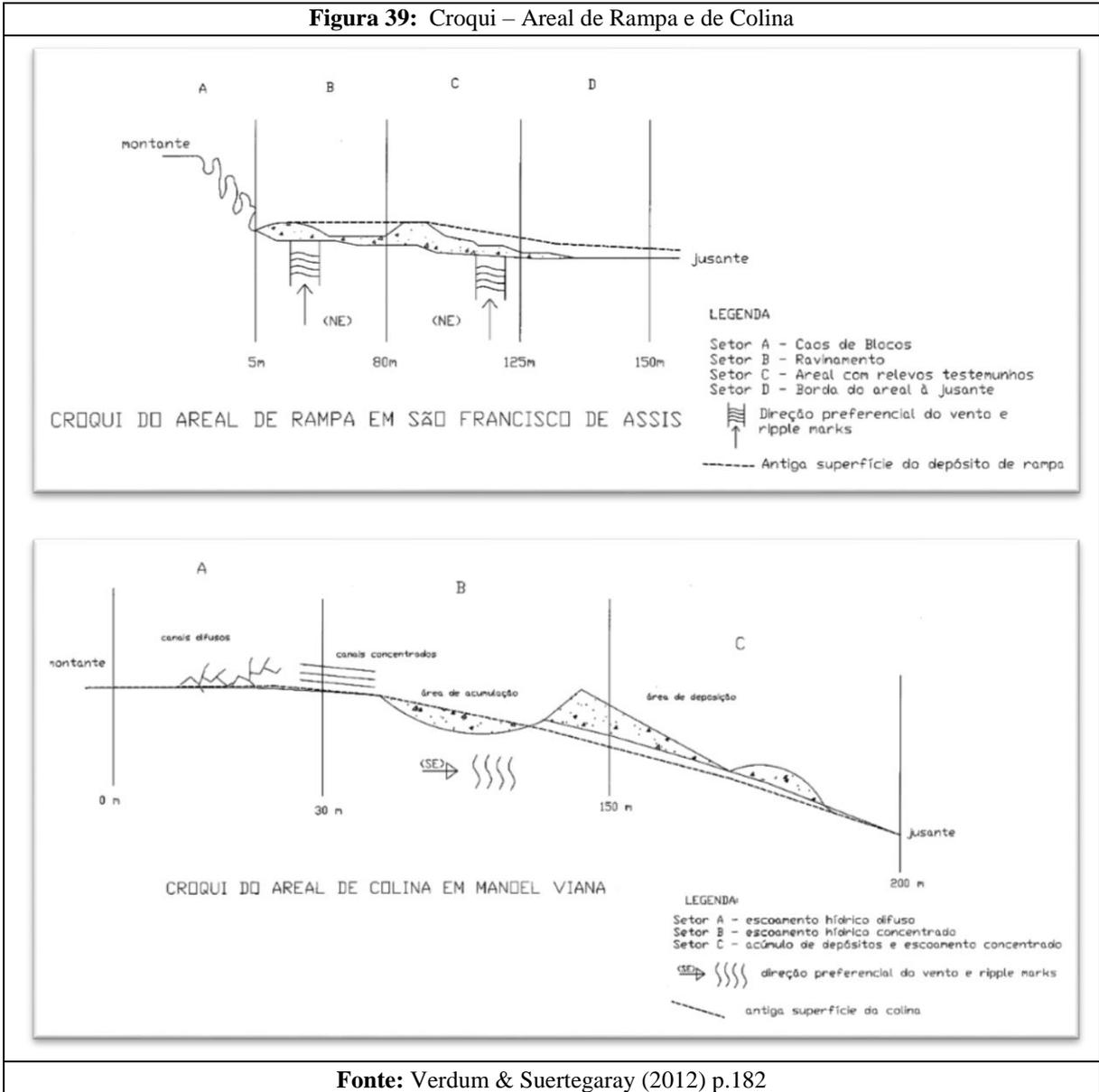
Para Ab'Saber (1969), este compartimento está associado a uma grande superfície de aplainamento denominada “Superfície do Cerro da Cadeia”, sujeita a altitudes de 300 m a 320 m. Esta superfície de aplainamento compõe o paleoespaço da atual Depressão periférica e, por conseguinte, caracteriza o plano a partir do qual originou-se o relevo da região em estudo. Ainda conforme o autor, é a partir desta mesma superfície que se estabeleceu o entalhamento do rio Ibicuí, na direção Oeste, “iniciando o entalhamento de seu notável *percée* consequente e obrigando seus afluentes, em especial o rio Santa Maria, a se expandir subsequentemente, durante a fase epirogênica, que soergueu o conjunto” (AB'SABER, 1969, p. 9 apud SUERTEGARAY, 1987, p.71).

Suertegaray e Moura (2012) compartilham da interpretação de Ab'Saber (1969) e ressaltam que esta unidade morfoescultural, enquanto processo morfogenético, formou-se por basculamento pós-cretáceo e por entalhamento por erosão fluvial, a partir da ação erosiva dos rios Ibicuí e Santa Maria. Caracteriza-se tal cuesta (Cuesta do Haedo) como uma unidade geomorfológica do Rio Grande do Sul – em sua região Sudoeste – como uma cuesta seccionada do Planalto Meridional pelo *percée* formado pelo rio Ibicuí, apresentando altitudes em torno de 300 m (na região oriental) e de 80 m na calha do rio Uruguai. Apresenta, como morfologias dominantes, os vales fluviais, as colinas e os morros tabulares isolados (cerros). Para as autoras, suas formações litológicas, arenítica (Formação Botucatu) e vulcânica (Formação Serra Geral), identificadas em mapeamentos geológicos, datam do Mesozoico.

Guasselli (2012) enfatiza, posteriormente, que os areais ocorrem sobre a escarpa erosiva do Planalto Meridional, no qual prevalecem os relevo acidentado e testemunho, e sobre a Depressão Central, na qual dominam os relevos do tipo colinas (coxilhas) e morros testemunhos (cerros), com cotas altimétricas de até 200 m. Igualmente, os areais ocorrem predominantemente nos compartimentos de colinas, com substrato arenítico, e são, em sua maioria, originários de deposição eólica, admitindo-se a fragilidade das morfologias de colinas, em virtude da presença de solos incipientes e das formações superficiais quaternárias

inconsolidadas, dificultando, também, a fixação da vegetação herbácea nessas áreas (GUASSELLI, 2012).

A Figura 39, proposta por Verdum e Suertegaray (2012), mostra *croquis* que representam, respectivamente, um areal de rampa (em São Francisco de Assis/RS) e outro de colina (em Manoel Viana/RS), destacando os principais processos e as formas associadas, ao longo de cada perfil. O perfil de rampa, em seus setores B e C, revela onde os processos hídricos e eólicos são mais atuantes, gerando microformas e deixando, na configuração superficial dos areais, registros de relevos que testemunham a antiga superfície da vertente. O perfil de colina apresenta, em seus setores mais elevados, uma característica distinta dos processos superficiais, visto que, enquanto no perfil de rampa, há o caos de blocos, ao longo da vertente, derivados da queda de material da escarpa em contato com a rampa de arenização, no perfil de colina ocorrem processos de escoamento hídrico difuso (setor A), evoluindo no setor B para escoamento concentrado. Destaca-se que, em ambos os perfis, as microformas de processos hídricos e eólicos demonstram a atuação destes na dinâmica da arenização, em tempos presentes (VERDUM; SUERTEGARAY, 2012, p. 182).

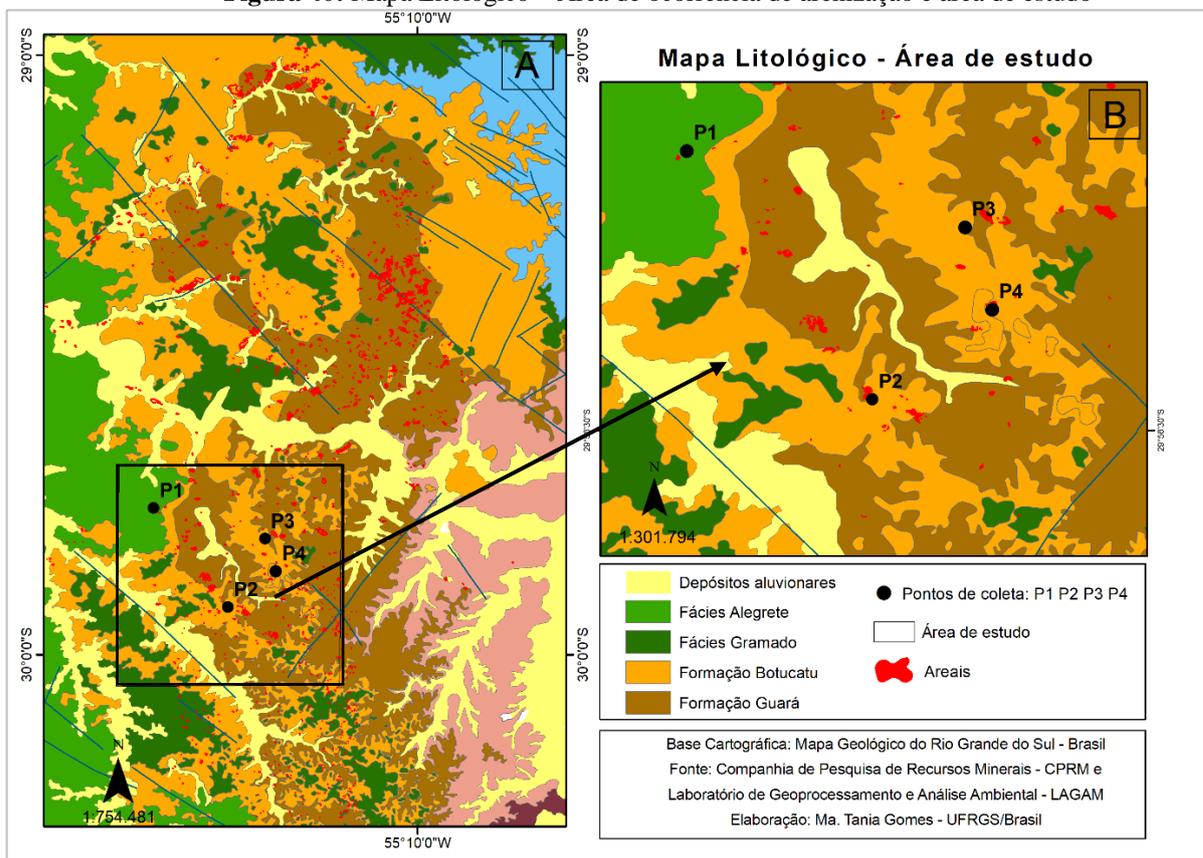
Figura 39: Croqui – Areal de Rampa e de Colina

Conforme o mapa geológico do Rio Grande do Sul (elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e Serviço Geológico do Brasil – CPRM, em 2006), a atual distinção litológica da área de ocorrência dos areais, sobretudo no município de Alegrete, compõe-se das Formações Guará¹⁴, Botucatu e Serra Geral (Fácies Alegrete e Fácies Gramado).

¹⁴ Esta Formação teve seu reconhecimento formal em 2005 e sua ocorrência está restrita ao Oeste/Sudoeste do Estado. Estratigraficamente, está assentada sobre a Formação Sanga do Cabral e, eventualmente, sobre a Formação Caturrita. No entanto, encontra-se sotoposta à Formação Botucatu ou sobre as vulcânicas da Serra Geral. Possui espessura entre 60 e 100 metros e distribui-se de maneira quase contínua dentro da área. Litologicamente, constitui-se de arenitos finos a grossos, de cor creme, de mineralogia quartzo-feldspática, com geometria lenticular e com laminação cruzada acanalada, de médio porte, com níveis ricos em intraclastos; os arenitos finos apresentam as

Estas recobrem o *front* e o reverso da cuesta. As Figuras 40A e 40B ilustram a litologia: em A, a área de abrangência da arenização; e em B, a área de estudo e os pontos de coleta, no município de Alegrete/RS.

Figura 40: Mapa Litológico – Área de ocorrência de arenização e área de estudo



Nesse município, o processo de arenização está associado às formações Botucatu e Guará, sobre as quais se assentam formações Quaternárias e solos suscetíveis à erosão, pois a constituição desses solos apresenta reduzido teor de silte-argila e de matéria orgânica, comprometendo a fertilidade e a existência de agregados no solo. Estudos recentes, desenvolvidos por Guasselli (2012) e baseados na cartografia das formações litológicas identificadas no mesmo mapa geológico, demonstram que 98,52% das manchas arenosas estão

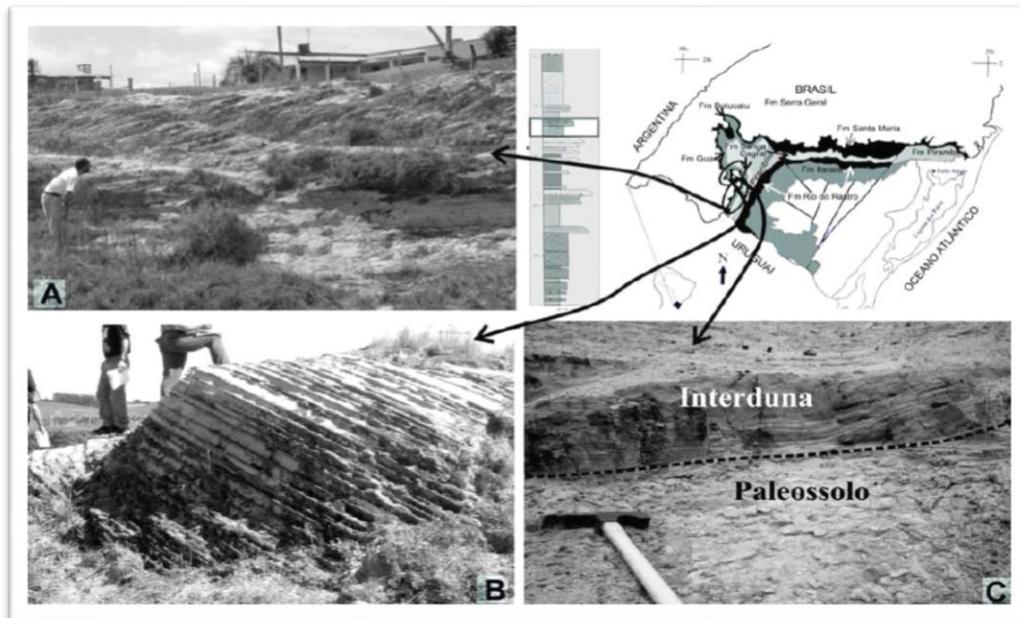
mesmas características, porém a laminação é constituída por marcas onduladas eólicas. Importante destacar que as estruturas cruzadas acanaladas, de médio porte e de baixo ângulo, associadas à presença de camadas e de intraclastos de lutitos, indicam um ambiente deposicional subaquoso, embora sejam também encontradas disposições subaéreas, representadas por arenitos com grandes estratificações verdadeiras, indicando um ambiente eólico (SCHERER, 2005; SCHERER & LAVINA, 2006, 2005; MEDEIROS, 2012).

assentadas sobre as Formações Botucatu e Guará ou sobre depósitos aluviais em contato com essas formações, sendo que 38,45% destes areais ocorre sobre a Formação Botucatu e 52,92%, sobre a Formação Guará (GUASSELLI, 2012).

Vale aqui destacar não somente a caracterização, mas, também, a constituição da Formação Guará, visto que esta está intimamente relacionada a registros de deposição eólica e a mudanças paleoclimáticas, pois esta formação, descrita por Scherer; Lavina (2005; 2006), fora definida como neojurássica, resultante de sucessivas mudanças climáticas, intercaladas de períodos úmidos e de períodos de aridez, apresentando fácies ora constituídas por depósitos fluviais, ora por depósitos dunários.

De acordo com Soares, Soares e Holz (2008), na porção Sul da área de ocorrência da Formação Guará predominam arenitos finos, bem selecionados, de cor bege, de grãos arredondados, com estratigrafia cruzada tangencial na base (espessura de até 3 metros), intercalando-se com arenitos finos, de estratificação plano-paralela à sub-horizontal, maciço, e com níveis centimétricos de pelito avermelhado, como mostra a Figura 41. Os referidos autores ainda distinguem essa unidade como depósito de um sistema eólico úmido, com dunas e com lençóis de areia.

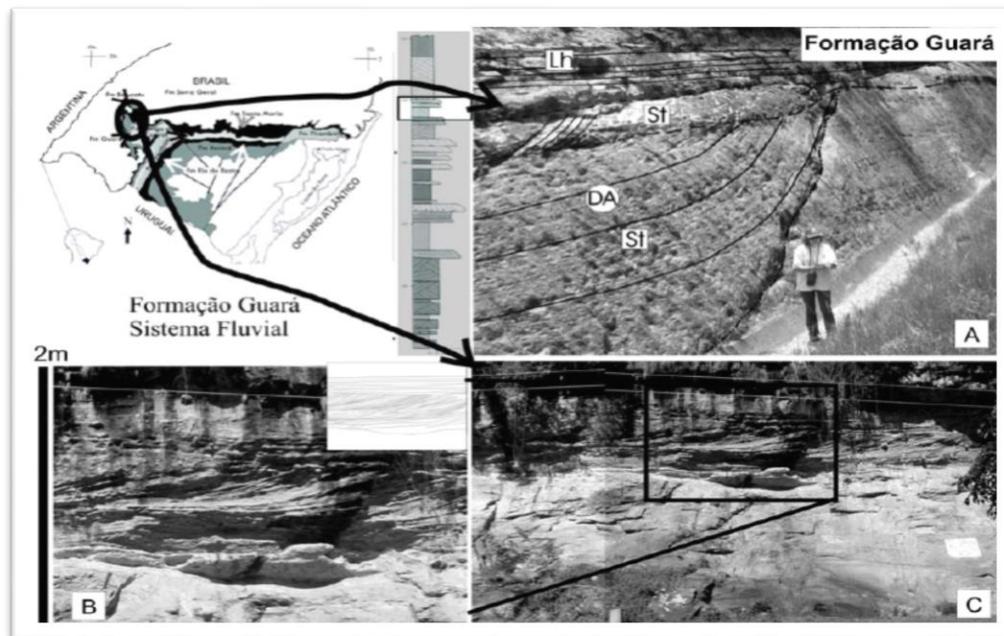
Já na porção Norte, predominam arenitos beges e esbranquiçados, de granulometria grossa a média, por vezes fina, com matriz argilosa, constituídos de quartzo e de feldspatos, subangulosos e mal selecionados. Possuem, também, estratificação cruzada acanalada, plano-paralela e maciça, intercalando-se com pacotes centimétricos de pelitos e de arenitos finos, com *climbing ripples*. Constituem depósitos fluviais atribuídos a rios entrelaçados, com direção de fluxo para Sudoeste, como ilustra a Figura 42.

Figura 41: Formação Guará no sudoeste do Rio Grande do Sul – Brasil

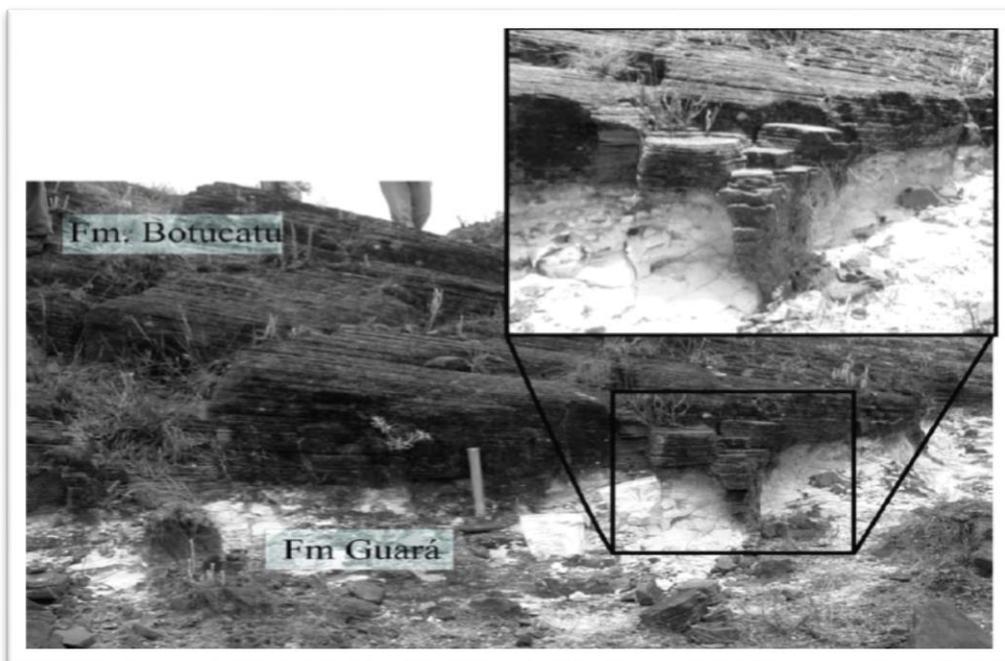
Predomina o Sistema Eólico mido.

(A) Afloramento no Município de Santana do Livramento. Arenito esbranquiçado com estratificação cruzada, sub-horizonta e maciço, fácies de duna e interduna e fluvial. (B) Arenito bem selecionado com estratificação cruzada de grande porte. Presença de estruturas internas de fluxo de grão, laminações cavalgantes e queda de grão, depósito de duna (C) fácies de interduna com paleossolo.

Fonte: Soares, Soares & Holz (2008)

Figura 42: Formação Guará, Jurássico - Sistema Fluvial

(A) Arenito com feição de canal, fácies internas (St) e externas (Lh) ao canal – afloramento próximo ao município de São Francisco de Assis / noroeste do Rio Grande do Sul-; (B e C) arenito com estratificação cruzada tangencial, fácies interna ao canal; Elemento arquitetural: acresço lateral (LA) - afloramento próximo ao município de Santiago / noroeste do Rio Grande do Sul.

Figura 43: Contato da Formação Guará com arenitos eólicos da Formação Botucatu

Contato da Formação Guará com arenitos eólicos da Formação Botucatu, dado por fraturas poligonais (“fentes em coin”) As fendas são observadas no arenito maciço fluvial da Formação Guará (arenito de cor clara na parte inferior da foto) sendo sobrepostos pelo arenito avermelhado com estratificação cruzada (formação Botucatu), este preenchendo as fendas.

Fonte: Soares, Soares & Holz (2008)

Os autores destacam também que o contato superior entre os arenitos das Formações Guará e Botucatu é abrupto, sendo localmente encontradas grandes fraturas poligonais (Figura 43), nas quais o arenito superior preenche o espaço gerado pela contração do arenito inferior. A presença das cunhas de areia revela que a exposição dos arenitos desérticos do topo da Formação Guará, são formadas pela contração termal em desertos frios, típicos de médias latitudes, gerando aberturas preenchidas por areia. Esta estrutura permite inferir que o tempo de não deposição entre as fácies não é muito prolongado, por não haver feições erosivas, tendo ocorrido apenas parada na deposição, permitindo concluir, também, que a associação de fácies indica maior aridez (SOARES, SOARES e HOLZ, 2008).

Medeiros (2012), ao investigar a relação pedológica com o substrato rochoso-arenoso, no Sudoeste do Rio Grande do Sul, trabalha com a hipótese de que solos com acréscimo de argila no horizonte B, formados sobre os arenitos das Formações Botucatu e Guará, apresentam contribuição alóctone oriunda da alteração de rochas do entorno. A partir de análises físicas,

mineralógica/petrográficas e químicas, de dois perfis sobre os arenitos da Formação Botucatu e de três perfis sobre os arenitos da Formação Guará, o autor destaca que:

Nos cinco perfis, o substrato rochoso por ser quase que totalmente quartzoso foi classificado como quartzo-arenito. Um, por apresentar raros feldspatos alterados, mostrou-se no limite para sub-arcósio. Todos os horizontes pedogênicos sobrepostos mostraram relação de filiação variável com o substrato rochoso subjacente, contudo foi a participação alóctone, em quatro dos cinco perfis, a responsável pelo produto pedogênico final. Assim, substratos rochosos quartzo arenosos, petrograficamente similares, pelos menos teoricamente deveriam gerar solos similares como neossolos quartzarênicos, mas a influência do contexto geológico do entorno foi fundamental e decisiva para que tal não ocorresse, impondo características argilosas ao horizonte B em quatro dos cinco perfis, agindo então como uma sexta variável na geração pedológica (MEDEIROS, 2012, p.5).

Medeiros (2012) ainda destaca que, em trabalho de campo nos municípios de Alegrete e de São Francisco de Assis, as grandes extensões de sedimentação arenosa cenozoica, semelhantes às que ocorrem no oeste paranaense, denominada de Formação Paranaíba, são motivo de discussão, pois ora são interpretadas como neossolos quartzarênicos, como uma sequência sedimentar pouco consolidada, cuja origem vincula-se a processos deposicionais colúvio-aluvionares, ora associa-se a um substrato arenoso, não compatível com as características da Formação Botucatu, sendo esta, até então, considerada como a sequência arenosa dominante em toda a área da Cuesta de Haedo. Constatação que, embora significativa no contexto geológico, não descartou e, sim, restringiu a ocorrência dos arenitos eólicos da Formação Botucatu.

Para além da ocorrência efetiva dos areais, a região de estudo pode apresentar determinados focos de arenização, que são áreas nas quais a cobertura vegetal (campos) é rarefeita, apresentando ravinas e voçorocas, que, em alguns setores, evoluem a partir de degraus de abatimento. Dessa maneira, a dinâmica de formação de areais pode ser simplificada em três fases: a primeira corresponde à formação de degraus de abatimento; a segunda, à formação de ravinas e de voçorocas; e a terceira, à formação do areal propriamente dito. O processo de ravinamento está associado à dinâmica hídrica superficial, cuja intensificação, por ocasião de chuvas torrenciais, evolui, em muitos casos, para a voçoroca (erosão lateral e remontante), ocasionando o escoamento de água em subsuperfície e subterrânea (*piping*). Os leques arenosos, formados pela dinâmica hídrica, são atingidos pela dinâmica eólica, através do processo de

deflação, ampliando a formação dos areais e encobrendo a vegetação campestre (SUERTEGARAY, 2011).

Para Verdum (2012), há uma relação entre a dinâmica pluviométrica e a ultrapassagem de um patamar hidrológico gerador de processos geomorfológicos, sobretudo em relação ao escoamento superficial difuso e concentrado, como desestabilizadores da cobertura vegetal dos solos e das formações superficiais. O mesmo autor destaca, ainda, que os eventos atmosféricos de forte intensidade e as cheias ocorrem em qualquer período do ano (especialmente na primavera e no outono), sendo que as chuvas que precipitam sobre os reservatórios subterrâneos já saturados geram escoamentos superficiais de cheia e de vazante brutais e que são capazes de provocar processos erosivos eficazes.

Segundo Suertegaray (2011), os processos hídricos superficiais, sobretudo o do tipo concentrado em feições de ravinas e voçorocas, expõem, transportam e depositam sedimentos arenosos, dando início à formação de areais, que, em contato com o vento, tendem à remobilização, contribuindo para a sua expansão constante. Ainda de acordo com a mesma autora, há a dinâmica do escoamento subsuperficial como componente significativo no processo de arenização, através da formação de dutos e de fluxos mais profundos, sendo estes os responsáveis pela evolução de feições do tipo ravinas para as do tipo voçorocas, processo este associado à origem dos areais. O escoamento subsuperficial favorece o desenvolvimento da erosão interna (*piping*), condicionando o carreamento de elementos agregadores, argila e silte, favorecendo a abertura de dutos, através dos caminhos preferencias das águas em subsuperfície, aumentando a erodibilidade do terreno.

Guasselli (2012), ao investigar, em escala regional, as possíveis relações entre ocorrência de areais, padrão de drenagem e orientação das vertentes, pressupondo que estes ocorrem sobre unidades litológicas frágeis e em áreas de baixa altitude e declividades, destaca que os areais são comuns nas colinas médias ou nas rampas, em contato com as escarpas de morros testemunhos. Estas são, predominantemente, voltadas para Sudeste, seguidas da orientação Sudoeste, seguindo a direção preferencial dos cursos de água principais.

A partir das inferências de Guasselli (2012) pode-se supor que há a influência dos paleoventos, que, pelo processo de abrasão eólica, geram vertentes abruptas, voltadas para Sudeste, e vertentes menos abruptas, voltadas para Noroeste, nas quais os sedimentos

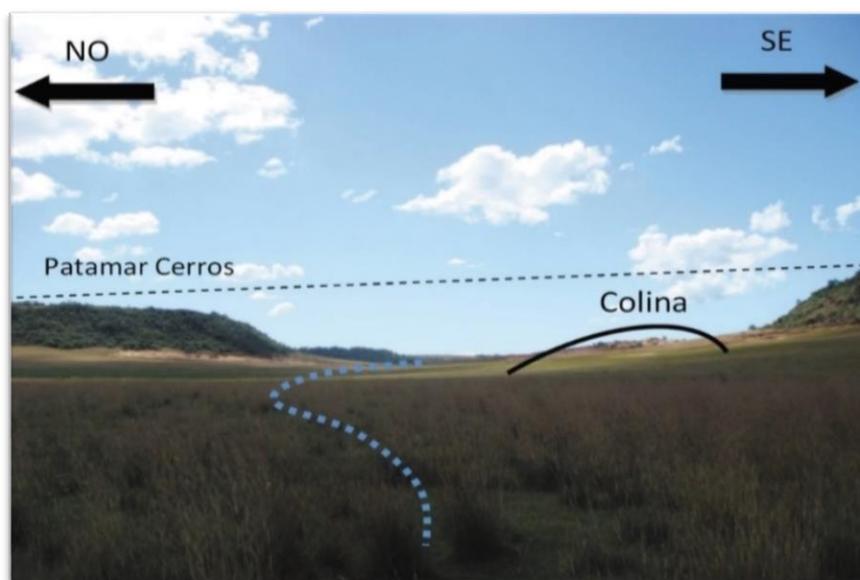
transportados se depositam. Ainda, as vertentes abruptas voltadas para Sudeste são orientadas no mesmo sentido dos paleoventos, demonstrando a assimetria do relevo.

O referido autor infere que a formação dos areais está relacionada, especialmente, com drenagens secundárias em cabeceiras de drenagem e está associada, de maneira indireta, aos lineamentos estruturais de menor extensão, confirmando a predominância de orientação SE-SW. Outra constatação importante, resultante de trabalhos de campo, refere-se aos diaclasamentos do substrato (na Formação Botucatu) e à direção de ravinas e de voçorocas, os quais permitem considerar a “hipótese do entalhamento fluvial por reativação da drenagem como elemento fundante desse processo, em escala regional”.

Estes entalhamentos fluviais por reativação da drenagem e de paleodrenagem/valão¹⁵ “resultam do entulhamento de um vale, representam locais de relevo suave, rebaixados e nos quais o escoamento se concentra. Tanto a infiltração quanto os fluxos subsuperficiais ocorrem com mais velocidade nesses locais, aliados à pouca consolidação dos sedimentos que os constituem” (GUASSELLI & EVERS, 2012, p. 229). De maneira genérica, uma paleodrenagem/valão pode ser entendida como um remanescente de curso d’água inativo ou, ainda, um canal que teve seu fluxo interrompido por preenchimento/soterramento por sedimentos mais jovens.

A Figura 44 ilustra um modelo de interpretação de valão entalhado na paisagem do Cerro da Esquina, realizado por Guasselli e Evers (2012). A imagem, capturada a partir da voçoroca existente a Oeste, em direção à voçoroca oposta, no outro lado da colina, destaca o patamar dos cerros e o trajeto do valão mapeado. O valão estaria entre dois cerros, presentes atualmente, havendo um curso de água percorrendo o mesmo trajeto e identificado como conexão entre duas voçorocas, com a possibilidade da colina (no topo da qual, atualmente, está estabelecido um areal) ter sido parte do cerro situado mais ao Sul, estreitando o que seria este antigo vale. Observa-se, além disso, a concavidade suave do terreno entre a colina e o cerro Norte, aqui considerada como paleodrenagem/valão e, também, a presença de areais nas vertentes de ambos os cerros e no topo da colina.

¹⁵ Importante destacar que as áreas identificadas como valão não necessariamente representam paleodrenagens. Dessa maneira, propõe-se o termo paleodrenagem/valão, ficando implícito que, ao se analisar as formas denominadas valões, levar-se-á em consideração o modelo de reativação de paleodrenagens (GUASSELLI, 2012).

Figura 44: Vista do Areal Cerro da Esquina – São Francisco de Assis

Vista da região do Areal Cerro da Esquina, destacando-se o valão existente entre dois cerros, a colina como divisor de águas e o patamar dos cerros

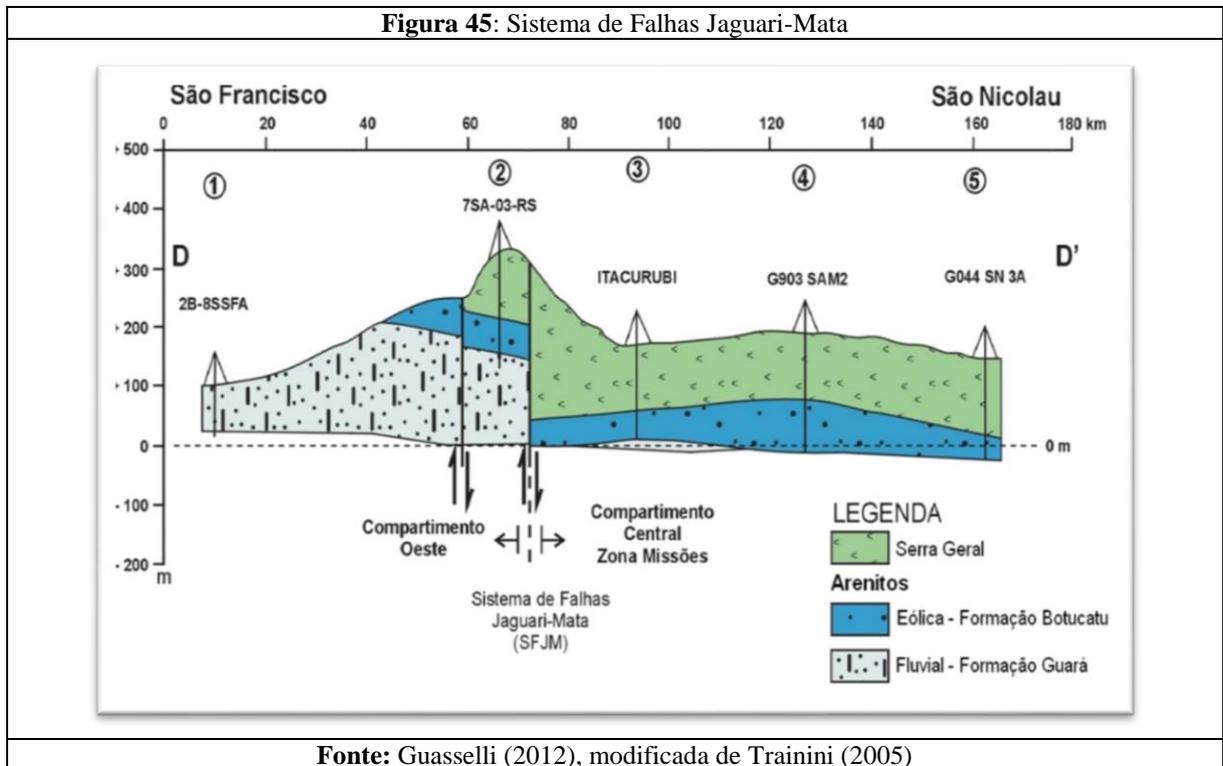
Fonte: Guasselli (2012), p.238

Referente à influência da neotectônica¹⁶, enquanto condicionante estrutural na conformação topográfica e geomorfológica regional, Andrade Filho, Guasselli e Suertegaray (2012) destacam que o soerguimento e/ou rebaixamento por falhas, a exposição do arenito e a consequente busca do nível de base de erosão existente antes do soerguimento estimulam o processo de arenização, visto que os areais, além de ter sua formação associada aos depósitos eólicos quaternários ancorados em proeminências no relevo regional, têm sua origem associada à formação de fluxos concentrados em canais do tipo ravinas e voçorocas, como ilustra a Figura 45, ao detalhar o sistema de Falhas Jaguari-Mata, modificado de Trainini (2005) por Guasselli (2012).

Para Guasselli (2012, p. 123), o entendimento do sistema de falha é importante para compreender o soerguimento de camadas, das quais passam a aflorar os arenitos da Formação Guará. O mesmo autor ainda destaca que o soerguimento regional ocasionou nova estruturação

¹⁶ Introduzido na literatura geológica por Obruchev em 1948, o termo Neotectônica surgiu para elucidar a compreensão dos movimentos tectônicos ocorridos no fim do Terciário e no Quaternário, os quais são fundamentais na configuração topográfica contemporânea da superfície terrestre (SUGUIO, 1999, p. 113).

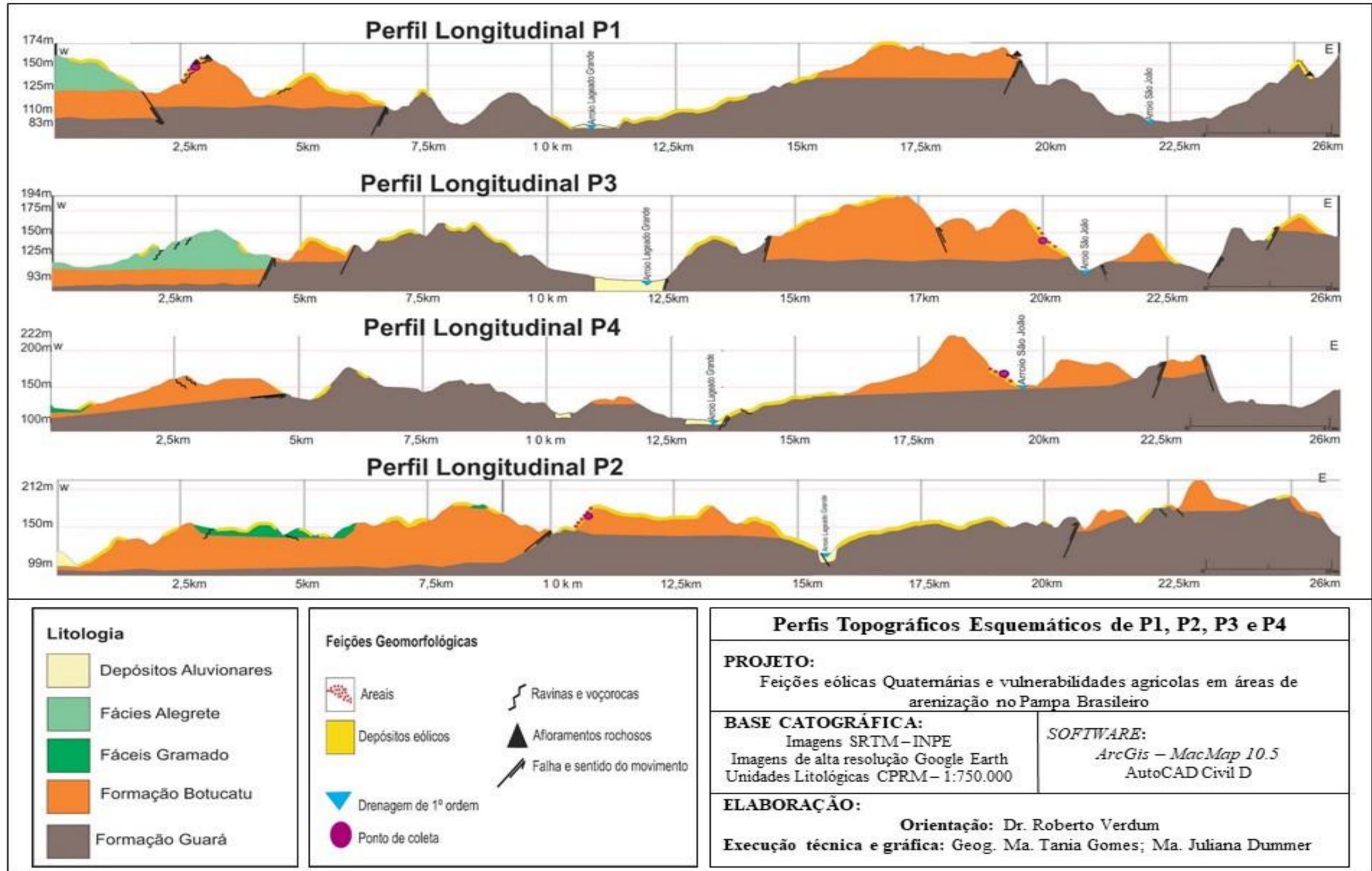
no padrão de drenagem, na qual a ação hídrica passa a retrabalhar os sedimentos erodidos da Formação Guará, e não os da Formao Botucatu, como observado anteriormente.



A rea de estudo destacada para a realizao desta pesquisa situa-se na porão sul da Bacia Hidrográfica do Ibicui, sendo importante salientar, ainda, que a porão sul do rio Ibicui apresenta números reduzidos de afloramentos da Formao Guará e que os processos erosivos ali vigentes se associam  circundesnudao a partir da morfoescultura da Cuesta do Haedo, descritos por Ab’Saber, em 1949, e evidenciados por Guasselli (2012).

A Figura 46 ilustra quatro perfis topográficos esquemáticos traçados na área de estudo e associados à litologia local. Salienta-se que a escala geológica disponível é de 1:750.000, o que deprecia a exatidão de uma análise mais detalhada.

Figura 46: Perfil Topográfico Esquemático – P1 P2 P3 e P4



Os perfis foram traçados de Oeste para Leste, sendo que são apresentados conforme os pontos de coleta, localizados de Sul para Norte, na ordem P2, P4, P3 e P1. Sobre os perfis, foram plotados os areais, os depósitos eólicos, os processos erosivos, os afloramentos rochosos, as drenagem, as falhas/fraturas e as litologias Formação Guará, Formação Botucatu, Formação Serra Geral (Fácies Alegrete e Gramado) e Depósitos Aluvionares. Ao sobrepor os planos de informação, é observável a presença de depósitos eólicos e/ou de areais ativos sobre todas as litologias, não sendo possível inferir se há uma relação direta com aquela ou com esta litologia.

Também não há um padrão de espacialização dos depósitos eólicos sobre a topografia, havendo depósitos tanto na face de barlavento quanto na de sotavento. Foram plotados apenas os afloramentos rochosos observados em campos e, portanto, próximos aos depósitos eólicos. Os afloramentos indicam pontos de ancoragem de sedimentos transportados, visto que há afloramentos em todos os pontos de coleta, comprovando o papel dessa feição no ancoramento dos depósitos sedimentares transportados pelos paleoventos e na formação dos areais.

4.3 Processo de Arenização no Sudoeste do Rio Grande do Sul

A lua um pouco velada, deitava um clarão turvo sobre a região. Subitamente, em torno de nós tudo parecia branco. Crer-se-ia viajar num campo de neve. Em volta, a areia pura, limpa sem nenhuma vegetação, verdadeiro deserto africano de pouca extensão. Dava-me uma impressão particularmente melancólica. Viajamos juntos em silêncio (AVÉ-LALLEMENT, 1980 p. 322).

O relato histórico do viajante Avé-Lallement, que percorreu o Sul do País em 1858, incluindo o município de Alegrete, confirma a ocorrência de areais, desde a época da colonização luso-espanhola, tempo remoto no qual a apropriação da natureza se fazia por razões políticas, mais do que econômicas. Tal reconhecimento evidencia o fenômeno de areais naquela região como dinâmica da natureza (SUERTEGARAY, 1995).

O conceito de arenização foi introduzido na literatura acadêmica por Suertegaray em 1987, quando da defesa da sua Tese de doutorado, intitulada: *A trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí/RS*. A autora, ao analisar conceitos sobre desertificação já consolidados e aplicar estes na interpretação do fenômeno de formação dos areais, considerou o uso do conceito de desertificação inadequado para explicar os processos lá observados, visto que a região em estudo não se caracteriza como zona árida ou semiárida e porque não há evidências seguras de que a expansão desse processo estaria mudando o clima

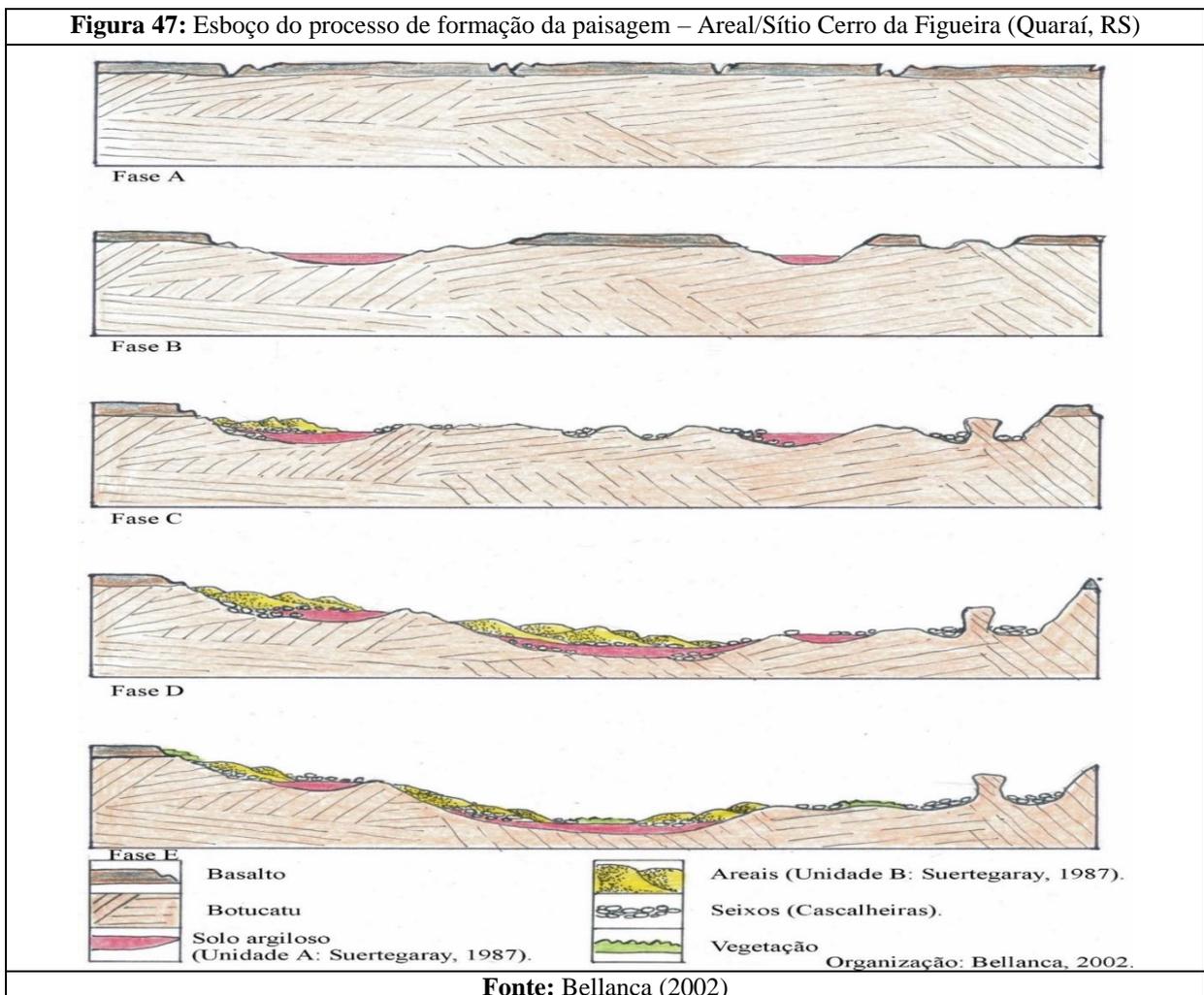
regional, classificado como úmido, para um clima semiárido ou árido, como sugere o conceito de desertificação (SUERTEGARAY, 2011).

Verdum (2012), ao relatar a trajetória teórico-metodológica sobre a arenização, ressalta que o clima da região de ocorrência dos areais passa a ser estudado em termos de estresse climático, visto que estudos preliminares sobre o potencial climático revelam uma média pluviométrica anual de 1.400 mm, conformando a inexistência de um estado desértico ou semiárido, dissociando a arenização dos conceitos de deserto e desertificação. Ressalta-se, também, que o referencial de desertificação está associado aos processos de degradação dos ecossistemas, característicos de regimes áridos, semiáridos e subúmidos secos. Outra interpretação inadequada para explicar as manchas arenosas lá existentes.

Suertegaray (1987) adota o termo arenização para explicar a existência dos areais na região estudada. *A priori*, a autora define a formação de areais no Sudoeste do Rio Grande do Sul como um fenômeno resultante do processo de arenização, ou seja, decorrente do “retrabalhamento de depósitos areníticos pouco consolidados ou nada consolidados e que promovem, nessas áreas, uma dificuldade de fixação da vegetação, devido à constante mobilidade dos sedimentos” (SUERTEGARAY, 1987, p. 112). Em síntese, “indica grandes extensões de areia retrabalhadas sob condições morfogenéticas atuais. Chamam a atenção pela vulnerabilidade à erosão os areais propriamente ditos, como as áreas próximas, onde é possível verificar presença significativa de voçorocas” (SUERTEGARAY, 1987, p. 87).

A posteriori, este conceito ganha nova acepção, ao incorporar novos elementos à interpretação do processo. Suertegaray e Verdum (2008) ampliam o conceito anterior, referente ao processo de arenização, inferindo que a arenização naquela região deriva do retrabalhamento de depósitos arenosos, no caso de formações superficiais, provavelmente Quaternárias, resultantes da dinâmica morfogenética na qual os processos hídricos superficiais, particularmente os de escoamento concentrado do tipo ravina ou voçoroca, associados às chuvas torrenciais, expõem, transportam e depositam areia, dando origem à formação de areais, que, em contato com o vento, tendem a uma constante remobilização. Assim, compreendem-se por areais as manchas de areia de pequeno, de médio e de grande porte, que se individualizam, ao longo de uma área, sem a presença de cobertura vegetal, sendo caracterizados por depósitos arenosos ou areno-argilosos recentes, não consolidados, do Quaternário, em constante remobilização por processos hídricos e eólicos (SUERTEGARAY, 2011).

A Figura 47 permite a visualização da estratigrafia local e esboça a interpretação da paisagem da região de ocorrência de areias, tomando como área-exemplo o município de Quaraí/RS. O modelo, organizado por Bellanca (2002), ilustra nas fases A e B a estratigrafia estrutural, Formação Botucatu coberta por basalto, porém sem a presença dos arenitos da Formação Guará, visto que esta formação foi descrita somente em 2005 e que não se encontra identificada nesse município. As fases seguintes, C, D e E, evidenciam a presença significativa das unidades A e B, bem como a presença de seixos (cascalhos).



Ainda conforme o mesmo modelo de evolução da paisagem, na concepção de Suertegaray, o pacote sedimentar de solo argiloso (pacote areno-argiloso ou paleopedon), se equivale à unidade A, já descrita pela mesma autora em 1987. Além disso, a autora ressalta que,

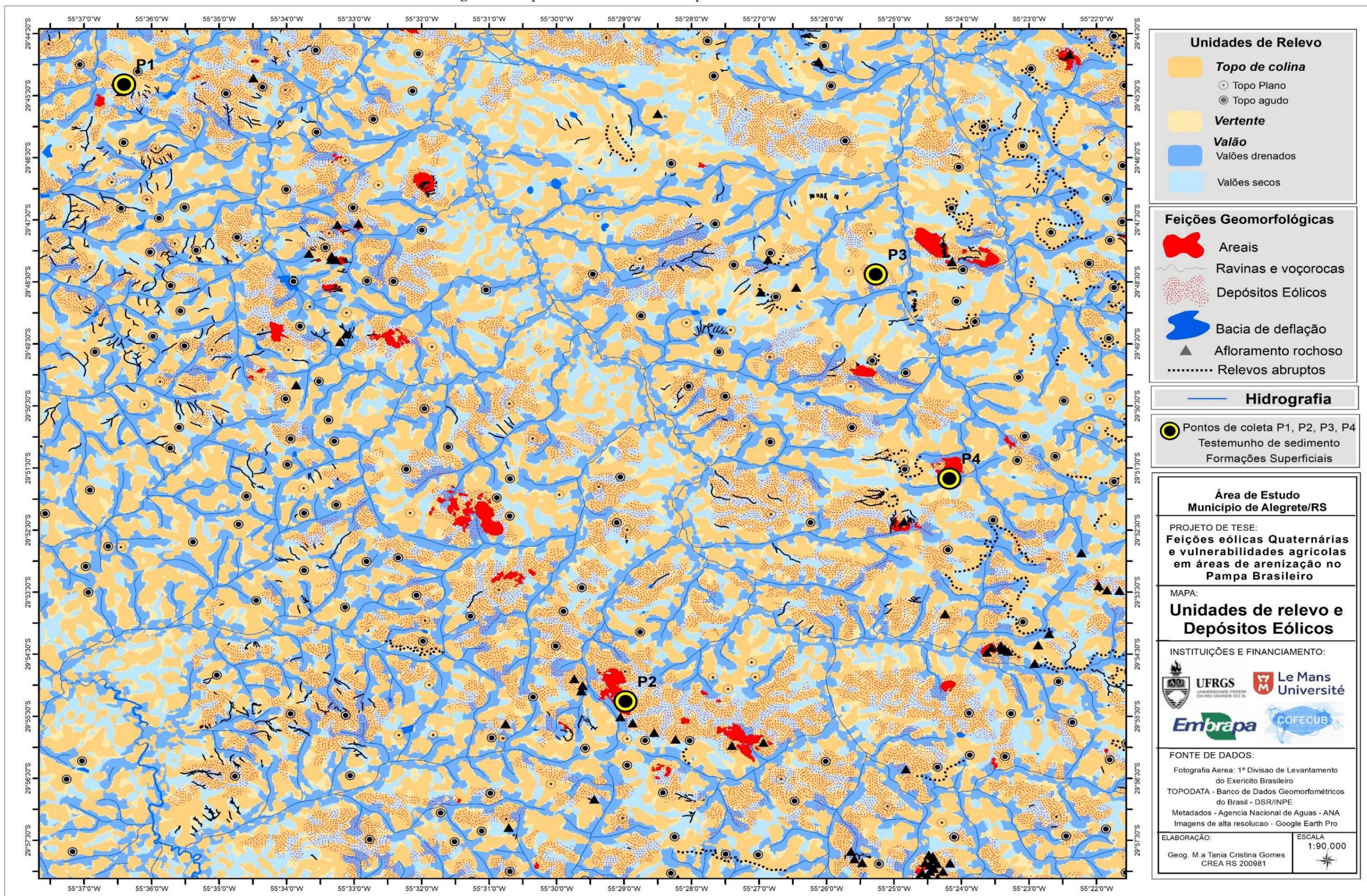
como a unidade A se caracteriza pela presença de cascalhos intercalados com camadas arenóvilas, em diferentes horizontes, e, como um dos sítios arqueológicos estudados por Bellanca (2002) situa-se sobre esse tipo de material, pode-se inferir que a camada de cascalho assinala um paleopavimento detrítico utilizado *in loco* pelos povos indígenas deste período. Destaca-se que a cascalheira pode ser observada recobrimdo a Formação Botucatu, a exemplo do sítio dos Petróglifos, indicando que estes paleopavimentos foram recobertos pela areia que originou as dunas descritas como *unidade B* por Suertegaray (1987). Esta *unidade B*, no presente, se associa aos areais pela ação de processos hídricos e eólicos (BELLANCA, 2012).

4.4 Compartimentação do relevo na área de estudo e feições geomorfológicas associadas

A identificação dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis continentais, sendo os instáveis aqueles ativados pelo processo de arenização, fez-se pelo uso de critério geomorfológico, litoestratigráfico, distribuição granulométrica e morfoscópica, com datação por luminescência opticamente estimulada em sedimentos coletados nos depósitos eólicos, resultando na espacialização, no reconhecimento da forma, da gênese e na indicação da idade desses depósitos continentais localizados no Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul.

A Figura 48 compõe o mapa das Unidades de Relevo da área de estudo, as quais são individualizadas em: Vales (Vales secos e Vales drenados); Colinas; Espaços intermediários ou vertentes, associadas a feições geomorfológicas do tipo afloramentos rochosos, bacias de deflação, depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis (*areais*) e processos erosivos do tipo ravinas e voçorocas. Os pontos na cor amarela indicam os locais nos quais foram realizadas as coletas de sedimentos arenosos de origem eólica.

Figura 48: Mapa - Unidades de Relevo e Depósitos Eólicos

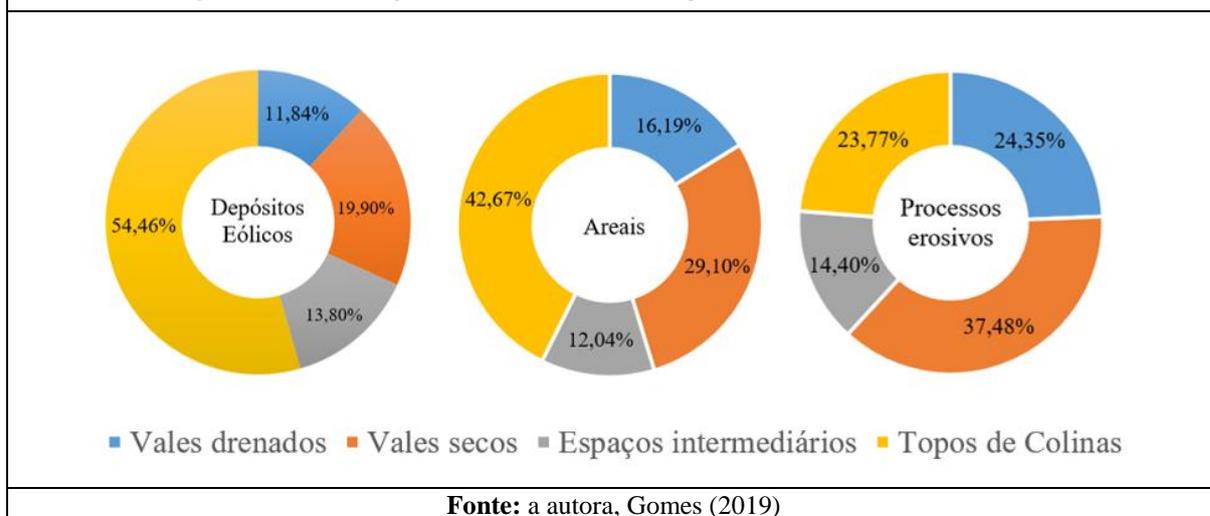


Tese de Doutorado – Tania Cristina Gomes
 Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRGS - Brasil
 Le Mans Université - France

A área de estudo possui cerca de 144 mil ha, dos quais cerca de 38 ha são de Vales Drenados, 21 ha são de Vales Secos, 18 ha são de Vertente/Espaços Intermediários e 65 ha são de Topo de Colinas (Topo Agudo ou Plano). Também foram calculadas as áreas e os percentuais equivalentes a cada feição geomorfológica em cada unidade de relevo. Dessa maneira, tem-se na unidade **Vales drenados** 0,28 % de areais, 0,017% de processos erosivos e 7,47% de depósitos eólicos. Os **Vales Secos** têm 0,9% de areais, 0,04% de processos erosivos e 22,25% de depósitos eólicos. As **Vertentes/Espaços Intermediários** possuem 0,43% de areais, 0,02% de processos erosivos e 17,82% de depósitos eólicos. E, por fim, na unidade **Topo de Colinas**, são cerca de 0,44% de areais, 0,0098% de processos erosivos e cerca de 20% de depósitos eólicos (Quadro 6).

Quadro 6: Demonstrativo de área e percentual de cada feição geomorfológica em relação as Unidades de Relevo					
Unidades de Relevo (ha)	Depósitos eólicos	Areais	Processos erosivos		
Vales drenados	38.495	2.878	110	65.663	
Vales secos	21.729	4.836	197	101.050	
Espaços intermediários	18.807	3.353	81	38.829	
Topos de colinas	65.422	13.235	289	64.081	
Total	144.453	24.302	677	269.624 (m ²) – 27 (ha) *calculados a partir de um buffer 0.5m	
Percentual proporcional sobre cada unidade (%)			Areal	Processos erosivos	Depósitos eólicos
	Vales drenados		0,2849	0,0171	7,4754
	Vales secos		0,9070	0,0465	22,2571
	Espaços intermediários		0,4333	0,0206	17,8281
Topos de Colinas		0,4416	0,0098	20,2297	
Fonte: a autora, Gomes (2019)					

É nas unidades Colina e Vales secos que os depósitos eólicos são mais representativos, cerca de 20% e 22% respectivamente, muito provavelmente por serem camadas superficiais mais jovens, isto é, por serem as últimas a ser depositadas, em fase de ressecamento climático. Os cálculos ainda demonstram que é nos Vales Secos que a dinâmica atual, típica de clima úmido, está incidindo, visto que é nesta unidade que ocorrem os maiores percentuais de Processos Erosivos e de Areais, possivelmente pela composição sedimentológica frágil – material arenoso, friável e inconsolidado, como pode ser observado na Figura 49, que quantifica a distribuição das feições geomorfológicas sobre as unidades de relevo.

Figura 49: Distribuição das Feições Geomorfológicas sobre as Unidades de Relevô

De 24.302 ha de depósitos eólicos, cerca de 11% está sobre os Vales Drenados, 19% sobre os Vales Secos, 13% se encontra sobre Espaços Intermediários e 54% recai sobre Topos de Colina. Dos 677 ha de areais, cerca de 16% está sobre os Vales Drenados, 29% está sobre os Vales Secos, 12% está sobre os Espaços Intermediários e 42% está sobre Topos de Colinas. Quanto aos Processos erosivos, cerca de 24% deles ocorre sobre os Vales Drenados, por compor o compartimento dos canais fluviais, cerca de 37% está instalado sobre os Vales Secos, 14% está sobre os Espaços Intermediários e 23% ocorre sobre os Topos de Colinas.

A distribuição das feições geomorfológicas associadas às unidades de relevo mostra que os depósitos eólicos ocorrem substancialmente sobre os topos de colina, seguido de vales secos, refletindo sobre o percentual de ocorrência de processos erosivos, os quais também ocorrem em maior número sobre esses compartimentos, com cerca de 37% acontecendo em topos de colina e 23% existindo nos vales secos.

Apresentadas as principais referências teóricas e conceituais relacionadas à gênese dos areais, descritas nos capítulos anteriores, as quais fundamentam esta tese, outro aspecto significativo a ser destacado se refere à abordagem cronológica sobre os depósitos eólicos estáveis, sobretudo para estabelecer o recorte preciso, espacial e temporal, do objeto estudado. Deste modo, devido à importância da abordagem cronológica, esta ganhará um capítulo específico, o qual será elaborado a partir de estudos já consolidados por diversos pesquisadores, os quais serão confrontados com os resultados produzidos para esta tese.

5

RECONSTRUÇÃO DAS FLUTUAÇÕES PALEOCLIMÁTICAS DO HOLOCENO PARA O SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL

‘O presente é a chave do passado’
(J. Hutton, 1788)

Neste capítulo, o objetivo é contribuir para a compreensão da dinâmica paleoclimática da região Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul e, conseqüentemente, para a região de ocorrência dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis do Quaternário, os quais fundam o objeto de pesquisa desta tese. Portanto, este capítulo possui uma prática revisionista, por meio de estudos publicados e aceitos pela comunidade científica e, também, através dos resultados obtidos nas datações de sedimentos eólicos realizadas para esta tese.

A escala adotada para a reconstrução do modelo paleoclimático em questão foi a mesoclimática, pois esta circunscreve o recorte espacial definido como área de estudo desta tese. Importante ainda é ressaltar que as flutuações climáticas podem não coexistir em todas as regiões, por dissimilitude de relevo, por altimetrias, por latitude ou ainda, em função de condições meteorológicas particulares.

Igualmente, consideraram-se estudos, especulando as diferentes áreas do conhecimento e suas distintas classificações/categorias de análise, como, por exemplo: biológicas (evidências fósseis e de pólenes), litogenéticas (evidências estratigráficas), morfológicas (formas residuais do relevo), etc. Além disso, os trabalhos consultados abrangem estudos desenvolvidos no Brasil, na Argentina, no Uruguai e no Chile, sobretudo aqueles produzidos próximos à área de ocorrência dos depósitos eólicos estudados. A partir deste levantamento, foram selecionados os trabalhos mais relevantes e, por fim, estes foram ordenados, de acordo com o Quadro 7.

Quadro 7: Estado da arte sobre flutuações climáticas para o Sul da América do Sul	
Ano	Autor e Publicação
1974	BOMBIN, Miguel; KLA MT, Egon. Evidências Paleoclimáticas em Solos do Rio Grande do Sul.
1976	BOMBIN, Miguel. Modelo Paleocológico Evolutivo para o Neokuaternário da Região da Campanha-Oeste do Rio Grande do Sul (Brasil). A Formação Touro Passo, seu conteúdo Fossilífero e a Pedogênese Pós-deposicional.
1977	AB’SÁBER, Aziz Nacib. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários.
1982	KERN, Arno Alvares. Paleo-Paisagens e Povoamento Pré-histórico do Rio Grande do Sul.
1987	MILLER, Eurico TH. Pesquisas arqueológicas paleoindígenas no Brasil ocidental.

1987	SURTEGARAY, Dirce Maria Antunes. A trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí – RS.
1990	CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere. Analyse morphostructurale et evolution paléogéographifque de la plate-forme continentale atlantique Sud-Brasilienne. Rio Grande do Sul – Brasil.
1993	IRIONDO, Martín. Geomorphology and late Quaternary of the Chaco (South America).
1993	IRIONDO, Martín H.; GARCÍA, Norberto O. 1993. Climatic variations in the Argentine plains during the last 18,000 years.
1994	KERN, Arno Alvarez. Antecedentes indígenas.
1994	MILDER, Saul Eduardo Seiguer. A “fase Ibicuí”: Uma Revisão Arqueológica, Cronológica e Estratigráfica.
1996	CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil.
1997	IRIONDO, Martín H. Models of deposit of loess and loessoids in upper quaternary of South America.
1999	KRÖHLING, Daniela. Upper Quaternary geology of the lower Carcarañá Basin, North Pampa, Argentina.
1999	IRIONDO, Martín. Climatic changes in the South American plains: Records of a continent-scale oscillation.
1999	KRÖHLING, Daniela M.; IRIONDO, Martín. Upper Quaternary Paleoclimates of the Mar Chiquita área, North Pampa, Argentina.
2000	MILDER, Saul Eduardo Seiguer. Arqueologia do Sudoeste do Rio Grande do Sul, uma perspectiva Geoarqueológica.
2000	STEVAUX, José C. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil.
2002	BELLANCA, Eri Tonietti. Uma contribuição para a explicação da gênese dos areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul.
2004	PRIETO, Aldo R. <i>et al.</i> Environmental history since 11,000 14C yr B.P. of the northeastern Pampas, Argentina, from alluvial sequences of the Luján River.
2004	MAYEWSKY, Paul Andrew <i>et al.</i> Holocene climate variability. Quaternary Research.
2005	BEHLING, Hermann <i>et al.</i> Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (Southern Brazil).
2006	IRIARTE, José. Vegetation and climate change since 14,810 C-14 yr BP in southeastern Uruguay and implications for the rise of early Formative societies.
2007	TRIPALDI, Alfonsina.; FORMAN, Steven L.; Geomorphology and chronology of Late Quaternary dune fields of western Argentina.
2008	QUATTROCCHIOA, Mirta E. <i>et al.</i> Landscape evolution and climate changes in the Late Pleistocene–Holocene, southern Pampa (Argentina): Evidence from palynology, mammals and sedimentology.
2011	ROSSATO, Maira Suertegaray. Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia.
2012	BELLANCA, Eri Tonietti. Os caminhos que identificam os areais.
2012	ROSSATO, Maira Suertegaray; SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. O clima no sudoeste do Rio Grande do Sul.
2012	OLIVEIRA, Mateus; SURTEGARAY, Dirce Maria Antunes. Páleo Geografia da área de ocorrência de areais: São Francisco de Assis – RS.

2012	FAVERA, Alexandre Ceretta Dalla <i>et al.</i> Potencial eólico no rio grande do Sul – distribuição estatística dos ventos na região Central do Estado.
2012	LIMA, Leonardo Gonçalves de. Estratigrafia e Evolução Hologênica de Uma Barreira Costeira Transgressiva/Regressiva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil.
2013	EVALDT, Andréia Cardoso Pacheco. Reconstituição Paleoambiental em remanescente de Savana Estépica Parque no extremo oeste do Rio Grande do Sul (Barra Do Quaraí), com base em palinóforos holocênicos.
2013	SANCHES, Fabio de Oliveira. Os areais do sudoeste do Rio Grande do Sul: estudo sobre as chuvas no século XX e um possível cenário para o século XXI.
2014	EVALDT, Andréia Cardoso Pacheco; BAUERMANN, Soraia Girardi; SOUZA, Paulo Alves de. Registros polínicos para o Holoceno Tardio da Região da Campanha (Rio Grande do Sul, Brasil) e seu significado na história dos Paleoambientes da Savana Estépica Parque.
2014	CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere et al. Turfa na plataforma continental do Sul do Brasil.
2015	RIBEIRO, Veridiana. Evidência de incêndio em turfeira costeira do Rio Grande do Sul – Brasil e relação com flutuações climáticas no Quaternário.
2016	IRIONDO, Martin H. & BRUNETTO, Ernesto. Cuaternario de Brasil, Paraguay y Uruguay.
2018	International Commission on Stratigraphy Chart, January 2015. http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2018-08.jpg
2018	Reportage by VOOSEN, Paul . SCIENCE – Massive drought or myth? Scientists spar over an ancient climate event behind our new geological age – Aug. 8, 2018.
2018	SILVA, Cleyton M. da.; ARBILLA, Graciela; SOARES, Ricardo; MACHADO, Wilson. A Nova Idade Meghalayan: O que isso Significa para a Época do Antropoceno?
Organização: a autora, Gomes (20119)	

Para fins de sistematização, elaborou-se uma linha de tempo, quadro 8, substancialmente fundamentada nas flutuações paleoclimáticas ocorridas ao longo do Quaternário, sobretudo no Holoceno, acrescida dos resultados das datações realizadas nos testemunhos dos depósitos eólicos estáveis coletados no Município de Alegrete/RS.

A leitura da linha de tempo, Quadro 8, deve ser feita do canto inferior esquerdo ao canto superior direito. Além disso, a linha demonstra a evolução dos estudos, ao longo dos anos. Do canto inferior direito ao canto superior direito, na vertical, pode ser feita a leitura dessa evolução, a partir da década de 1960. Por conseguinte, quanto mais a referência estiver localizada sobre o quadrante inferior, à esquerda, mais antiga ela será, e quanto mais sobre o quadrante superior direito, mais recente ela será.

Desse modo, a linha de tempo está planejada da seguinte forma: sobre a linha inferior, da esquerda para a direita, o Holoceno está subdividido em três fases, idealizadas por Bombin (1976) para a região sudoeste do Rio Grande do Sul: 12.000 a 5.000 (Fase Atlântica); 5.000 a 2.500 (Fase Sub-Austral); 2.500 aos dias atuais (Fase Sub-Atlântica). Na linha superior, também da esquerda para a direita, o Holoceno está subdividido em três idades/estágios, porém

tal divisão está fundamentada na recente publicação da *International Chronostratigraphic Chart v.*, de agosto de 2018.

Portanto, a linha de tempo expõe duas referências principais para subdividir o Holoceno. A primeira foi elaborada a partir de estudos que tiveram como referência uma divisão temporal anterior a esta, considerada oficial, a partir de 2018. Neste sentido, pelo caráter global da nova referência temporal para o Holoceno, adota-se para esta pesquisa a subdivisão oficial, destacando que até 2018 não havia oficialmente uma subdivisão em idades/estágios para a Época do Holoceno.

Em julho de 2018, o Holoceno finalmente recebeu uma nova definição em sua classificação, Figura 50. Anunciada pela Comissão Internacional de Estratigrafia e aprovada pelo Comitê Executivo da União Internacional de Ciências Geológicas, a proposta de subdivisão da Época apresenta três Idades/Estágios: *Greenlandian* - 11.700 anos b2k (11.700 anos antes de 2000 d.C.); *Northgrippian* - 8.326 anos b2k (8.326 anos antes de 2.000 d.C.); e *Meghalayan* - 4.200 anos antes de 1950.

Figura 50: Recorte de interesse sobre a tabela Cronoestratigráfica

EON	Era	Período	Época	Idade/Estágio	Idade (Ma)	Idade AP
FANEROZOICO	CENOZOICO	QUATERNÁRIO	Holoceno	Meghalaiiano Inferior	0,0042	4.200
				Norte-Gripiano Médio	0,0082	8.326
				Gronelandês Superior	0,0117	11.700
			Pleistoceno	Superior	0,126	
				Médio	0,781	
				Calabriano	1,80	
				Gelasioano	2,58	

Fonte: Traduzida e modificada de International Chronostratigraphic Chart v. agosto/2018 – IUGS.

A Figura 51 consiste na adaptação sobre o recorte na escala de tempo geológica original, para demonstrar as fases do Holoceno idealizadas por Bombin (1976).

Figura 51: Fases do Holoceno de acordo com Bombin (1976)

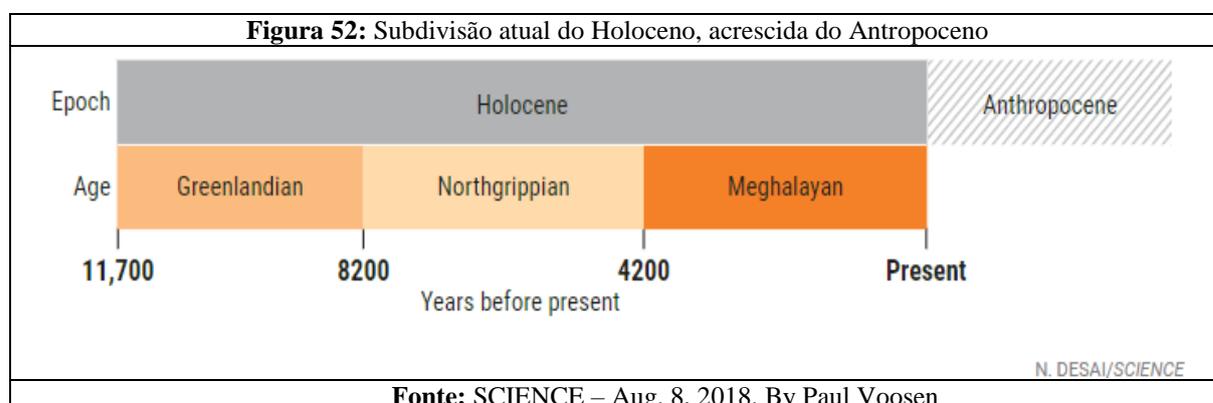
EON	Era	Período	Época	Idade/Estágio	Idade AP
FANEROZOICO	CENOZOICO	QUATERNÁRIO	Holoceno	Fase Sub-Atlântica	2.500 – dias atuais - Holoceno superior
				Fase Sub-Austral	5.000 – 2.500 - Holoceno Médio
				Fase Atlântida	12.000 – 5.000 - Holoceno Inferior
			Pleistoceno	Idade/Estágio	Idade (Ma)
				Superior	0,126
				Médio	0,781
				Calabriano	1,80
Gelasioano	2,58				

Fonte: Organização, a autora Gomes (2019) a partir de Bombin (1976)

A partir do exposto, o capítulo está organizado em subtítulos, marcados pelas idades/estágios propostos pela *International Chronostratigraphic Chart* para o Holoceno em 2018, englobando todas as demais referências selecionadas para fundamentar o caráter revisionista do trabalho. Entretanto, antes de entrarmos propriamente nas idades/estágios, cabe destacar como e em que circunstâncias o Holoceno foi subdividido, sobretudo para esclarecer sobre as controvérsias levantadas por outros grupos de pesquisadores, mesmo que a proposta tenha sido aprovada pelo Comitê Executivo da União Internacional de Ciências Geológicas, tendo passado a vigorar desde então e que esta não poderá ser modificada por um período mínimo de 10 anos.

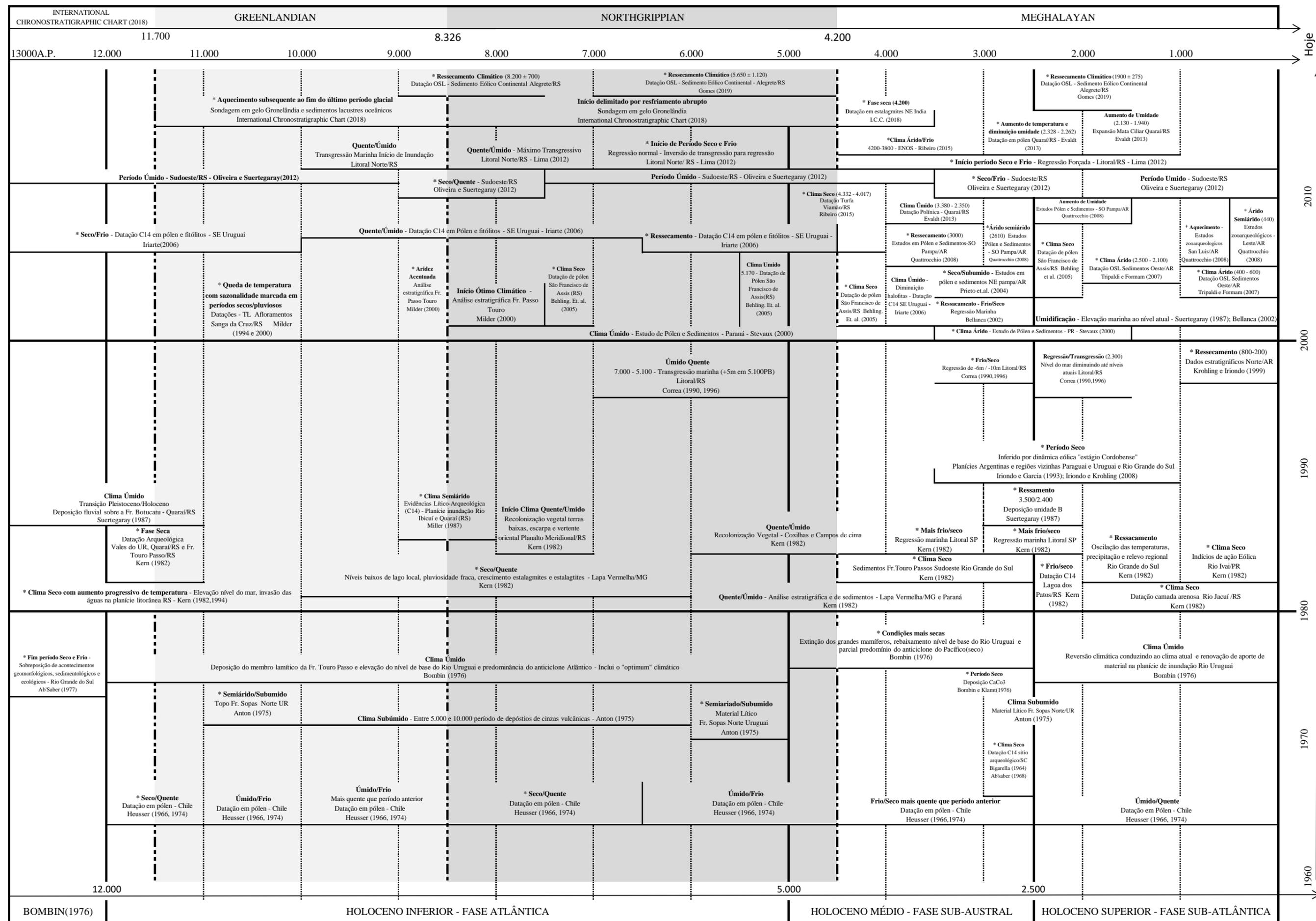
A maior controvérsia passa pela delimitação do Megalaiano, que, de maneira sucinta, levou em consideração perturbações em tipos de átomos, isótopos de oxigênio, presentes nas camadas de uma estalagmite que cresce do chão da caverna Mawmluh, formada pelo enfraquecimento das condições das monções. De acordo com Mike Walker, da Universidade de Gales, no Reino Unido, que liderou a equipe de cientistas que propôs a subdivisão do Holoceno, a mudança isotópica reflete uma redução de 20 a 30% nas chuvas de monções.

No entanto, a subdivisão proposta pela equipe de Mike Walker, e ratificada pela Comissão Internacional sobre Estratigrafia (ICS), recebeu críticas por parte de outros pesquisadores. Estes enfatizam que a mudança é prematura e questionam se as mudanças climáticas usadas para justificar as novas ideias trouxeram impactos globais. Os mesmos ainda salientam que as divisões foram aprovadas quando ainda havia um debate ativo sobre a atribuição de uma nova fase de tempo geológico para refletir sobre a influência da ação do Homem sobre o planeta, o Período Antropoceno, Figura 52.



A seguir, o capítulo está organizado a partir da periodização oficial para o Holoceno (Groenlandiano (11.700), Nortegripiano (8.326) e Megalaiano (4.200) e subseções), contendo dados sobre as flutuações climáticas para o globo, para o Brasil, para as áreas limítrofes à área de estudo (Argentina, Chile e Uruguai) e para as áreas limítrofes à área de estudo no Rio Grande do Sul. Por fim, há uma síntese, incluindo dados produzidos para este estudo e o estabelecimento de uma possível geocronologia para o Sudoeste do Rio Grande do Sul.

Quadro 8: Flutuações Paleoclimáticas do Holoceno no Sudoeste do Rio Grande do Sul



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1 Primeiro Estágio do Holoceno – 11.700 a 8.326 A.P.

5.1.1 Dados globais

A fase inicial do Holoceno (**Holoceno precoce – Groenlandiano – 11.700 anos A.P.**) corresponde ao aquecimento subsequente ao fim do último período glacial, tendo sido estabelecida por parâmetros geoquímicos, obtidos em sondagens de gelo na Groenlândia e complementada com dados geoquímicos e micropaleontológicos, obtidos em sondagens de sedimentos lacustres e oceânicos.

5.1.2 Dados para o Brasil

Ab'Saber (1977) identifica os paleoespaços ocupados pelos climas secos no continente sul-americano por ocasião do último período glacial e dos glacioeustáticos quaternários, visando compreender os caminhos de penetração dos climas secos e a atuação das correntes frias que levaram a aridez para o Norte, ao longo das costas argentinas, uruguaias e sul-orientais do Brasil, situando este período (seco/frio) há cerca de 12.000 A.P., ocorrido entre 12.000 e 18.000 A.P. (Wurm-Wisconsin).

5.1.3 Dados para as áreas limítrofes à área de estudo: Argentina, Chile e Uruguai

Trabalhos em nível de Hemisfério Sul, analisados por Bombin (1976), demonstram equivalência com as flutuações climáticas inferidas pelo mesmo autor para a Formação Touro Passo, na Região da Campanha-Oeste do Rio Grande do Sul (Brasil), como, por exemplo, o estudo realizado por Heusser (1966; 1974) para o sul do Chile, que estabeleceu uma série de episódios climáticos, através de estudo de pólen. Em resumo, teriam ocorrido as seguintes flutuações climáticas:

- 16.000 a 12.000 A.P. - frio/úmido;
- 12.000 a 11.000 A.P. - mais quente/mais seco;
- 11.000 a 10.000 A.P. - frio/úmido;
- 10.000 a 8.500 A.P. - úmido/frio, mas mais quente, em relação ao período anterior;
- 8.500 a 6.500 A.P. - mais quente/mais seco;
- 6.500 a 4.500 A.P. - mais frio/mais úmido;
- 4.500 a 2.500 A.P. - frio, mas mais quente, em relação ao período anterior/seco;
- 2.500 a dias atuais - mais quente/úmido.

Iriarte (2006), através de registro de pólen e de fitólito de um núcleo de sedimento de 1,70m de zona úmida na região costeira do Pampa uruguaio (Sudeste), assinalou quatro

períodos climáticos entre 14.850 14C ano B.P. até o presente. O período do Pleistoceno tardio (14.810 a 10.000 14C ano B.P.) foi caracterizado por condições mais secas e mais frias. Essas condições prevaleceram até o início do clima mais quente e mais úmido do Holoceno (9.450 14C ano B.P.). O início do Holoceno (10.000 a 6.620 14C ano B.P.) caracterizou-se pelo estabelecimento de zonas úmidas na região, evidenciado pela formação de turfa negra, pelo aumento de zonas úmidas e pela substituição de *Pooideae* por gramíneas *Panicoideae*.

5.1.4 Dados para as áreas limítrofes à área de estudo no Rio Grande do Sul

A Fase Atlântida (12.000 - 5.000 A.P. /Holoceno Inferior), inferida por Bombin (1976), inicia 300 anos antes da Idade estabelecida pela comissão oficial e vai além do limite de 8.326, chegando a 5.000 A.P. A fase é marcada pela deposição do membro lamítico da Formação Touro Passo, sob controle do nível de base do Rio Uruguai, guardando os últimos representantes da megafauna. Esta fase corresponde ao período de máxima deposição sedimentar na bacia, com clima úmido e conseqüente elevação do nível de base do Rio Uruguai, dando condições para a sedimentação dos lamitos. O período inclui o *Optimum* Climático e a predominância de anticiclones do Atlântico.

Apoiado na sobreposição de acontecimentos geomorfológicos, sedimentológicos, ecológicos e sob conhecimento da bibliografia acumulada, ligada às feições geomórficas (pedimentos, terraços fluviais, *bolsones* residuais), aos depósitos correlativos (formações detríticas, depósitos piemonte, linhas de pedra, paleossolos), às crostas ferruginosas e aos minienclaves significativos (campos locais de cactáceas, refúgios de flora e fauna), Ab'Saber (1977) coloca o Rio Grande do Sul como pertencente à metade centro-sul do Planalto Brasileiro, com tempo mais seco e ligeiramente mais frio há pelo menos 12.000 A.P., fatores que, combinados, além de possibilitar a expansão das araucárias no norte do Rio Grande do Sul, permitiram que a maior parte das coxilhas do Uruguai e do Rio Grande do Sul estivessem sob a ação de climas secos, sendo parcialmente invadida por formações xerófilas, com cactáceas, não havendo, nessa época e na área atual, nas pradarias mistas do Rio Grande do Sul, florestas galerias subtropicais.

De acordo com Kern (1982), na transição do Pleistoceno para o Holoceno, no Rio Grande do Sul presenciavam-se níveis marinhos muito baixos (regressão), forte atividade das correntes frias, baixas temperaturas continentais, correspondendo a uma fase climática mais

seca e árida, com precipitações atmosféricas inferiores às atuais e com zonas climáticas sofrendo diversas modificações de uma região a outra, levando a fauna e a flora a migrar ou a permanecer isoladas em refúgios, conforme as condições locais.

Kern (1994) ressalta que o clima predominantemente glacial (13.000 A.P. a 10.000 A.P.) se modifica e as temperaturas começam a subir gradativamente, causando o derretimento das geleiras (processo de transgressão). Este processo elevou os níveis marinhos e as águas invadiram a planície litorânea. No entanto, persistiam climas secos e com pluviosidades restritas, mas cada vez mais quentes, sendo que apenas por volta de 7.000 A.P. o clima temperado e seco torna-se úmido, com a progressiva chegada das chuvas intensas e das massas de ar tropical do Norte. A paisagem predominante até então, aberta, entremeada por raros bosques, será alterada pelas modificações climáticas posteriores a 8.000 A.P., mas, mesmo assim, continuarão a existir planícies e coxilhas com cobertura vegetal rasa, como testemunhos do período glacial, sobretudo em algumas áreas do planalto e nos pampas.

Kern (1982), se referindo à dinâmica vegetacional, infere que, no início do Holoceno, a cobertura vegetal predominante no Rio Grande do Sul é a das paisagens abertas, pois o clima ainda era seco, devendo dominar as espécies vegetacionais xerófilas. Com a umidificação, ocorrida a partir de 8.000 A.P., a floresta de pinheiros (araucária) teve condições de se adensar no alto da zona serrana, reduzindo as áreas de campos e ampliando a quantidade de capões de mato em torno das nascentes. Nas terras baixas do planalto, houve adensamento da floresta subtropical e, na encosta da serra, as espécies florestais recolonizaram os interflúvios, surgindo a faixa contínua de vegetação verde e úmida que acompanha a extensa escarpa do Planalto Meridional. A vertente oriental do planalto, voltada para o mar, foi pouco a pouco recolonizada pela floresta tropical atlântica, que se reinstalou em toda a escarpa e desceu em direção à planície costeira, sendo, porém mais estreita, devido à subida dos níveis marinhos.

Bombin (1976), ao estudar a bacia hidrográfica do Arroio Touro Passo, no município de Uruguaiana, extremo Noroeste do Rio Grande do Sul, entre os Rios Ibicuí e Quaraí, considerou duas unidades litológicas: Grupo São Bento (lavas da Formação Serra Geral) e Formação Touro Passo (formada por sedimentos de membro rudáceo, depositado em discordância erosiva sobre basaltos, da Formação Serra Geral (deposição ocorrida entre 13.000 A.P. e 12.000 A.P.) e de membro lamítico, depositado sobre o membro rudáceo, formado por silte argiloso ou areia (disposição ocorrida entre 12.000 A.P. e 3.500 A.P.). Ainda de acordo

com o mesmo autor, a Formação Touro Passo é de idade pleistocênica terminal-holocênica e está correlacionada a outros depósitos similares da região da campanha do Rio Grande do Sul, à Formação Sopas, do Uruguai, e à Formação Luján, da Argentina.

Bombin (1976, pp. 32 e 117) também destaca que “o aporte eólico tem sido expressivo, durante o Pós-Glacial, notadamente de finos *loéssicos* e piroclásticos, vindos de fontes a Sudoeste”. O autor menciona que a contribuição eólica ao membro lamítico da Formação Touro Passo pode ter três diferentes origens: “a) Areias derivadas da erosão do Arenito Botucatu, trazidas pelos ventos SE e NE dos campos de dunas da Campanha. Esses campos de dunas existem ainda hoje e devem ter sido ativados durante período secos do Quaternário; naquela ocasião chamados de “pequenos desertos”; b) Poeiras sílticas derivadas das zonas deglaciadas da Cordilheira do Andes meridional, bem como dos *loessoides* da planície pampiana, trazidas pelos ventos frios e secos de SW”; e “c) Cinza derivada da atividade vulcânica na Cordilheira dos Andes”.

Também na base dos lamitos da Formação Touro Passo e próximo ao diastema com o membro rudáceo foram encontrados troncos carbonizados. De acordo com Bombin (1976), esta situação estratigráfica de troncos carbonizados tem sido encontrada repetidamente em outras sequências fluviais no Sul do Brasil, como em afluentes do rio Ibicuí/RS. A riqueza de restos orgânicos no sentido da base rudácea corrobora com o início do ciclo sedimentar por uma proeminente denudação da área-fonte e, logo, combina com o clima tendente à semiaridez e de chuvas concentradas intermitentes (BIGARELLA, 1971; BOMBIN, 1976).

Miller (1987), ao estudar os complexos arqueológicos das fases Ibicuí e Uruguay¹⁷ observa evidências lítico-arqueológicas de carvão vegetal (com datação por C14), de paleocanais (soterrados e reativados), da biota fóssil e da transição sedimentológica climática, e infere que “estas particularidades parecem testemunhar um período de clima semiárido, cerca de 9.000 A.P., quando o rio Uruguai teria se contraído ao talvegue” (MILLER, 1987, p. 41), atribuindo, ainda, a esta fase semiárida “extinção e atulho de leitos de canais de drenagem (arroios) com restos vegetais carbonizados da unidade III, pela unidade II, e a reabertura dos

¹⁷ **Fase Ibicuí:** três sítios a céu aberto – dois no dique marginal e na planície de inundação da margem esquerda do rio Ibicuí, e o terceiro, junto à margem direita do rio Quaraí; **Fase Uruguay:** abrange desde o baixo rio Quaraí, ao Sul, até o baixo rio Ijuí, ao Norte, e o rio Uruguay, entre estes extremos latitudinais, por ambas as margens (MILLER, 1987; MILDNER, 1994).

canais de drenagem noutros lugares próximos, através da unidade I, atingindo às vezes o embasamento rochoso.” (MILLER, 1987, p. 41).

Milder (2000), a partir de uma perspectiva geoarqueológica, também elaborou um modelo paleoclimático regional (também para o período entre 30.000 A.P. e 8.500 A.P.), a partir de escavações nos sítios da Fase Uruguai (11.555 A.P. a 8.500 A.P.). Milder (2000) adverte que os trabalhos por ele acessados, que tratam das datações absolutas, foram, na sua maioria, obtidas por C14, datando elementos dentro da estratigrafia e, não, os estratos sedimentológicos, sugerindo a necessidade de realização de novas datações, mas, dessa vez, em sedimentos, bem como o uso de outros métodos, como a Termo Luminescência (TL).

Milder (2000) considera o modelo estratigráfico regional realizado para a Formação Touro Passo, elaborado por Bombin (1976), o mais completo, dos pontos de vista evolutivo, sedimentológico e paleontológico. No entanto, há nesse modelo deficiências de ordem cronológica e, para sanar tais deficiências, foram datadas amostras do Pontal do Quaraí (Formação Guterrez e Formação Touro Passo), traçando a seguinte sequência:

“...o quadro geocronológico do Quaternário do Sudoeste do Rio Grande do Sul alterou-se consideravelmente. Para a Formação Touro Passo temos agora a seguinte sequência: 6.400 A.P. para os solos negros, 42.600 A.P. para a base da Facie Lamítica, 15.400 (associada a moluscos e gastrópodes), e 16.327 (associada a glyptodonte e preguiça indeterminada) para a porção média da Fácies Lamítica. Para a Formação Guterrez os níveis quaternários são os seguintes: Matapi 1 (82.800 A.P.), Matapi 2 (4.430 A.P.), Quaraí Chico (68.500 A.P.), Felicio (46.350 A.P.), Itaqui 2 (14.600), Itaqui 1 (8.200 A.P.). Com essa cronologia, o modelo cronológico de Bombin, no qual o mundo Quaternário no Sudoeste começara em 12.000 definitivamente está sepultado” (MILDER, 2000 p. 108).

Milder (2000) ainda realizou, no escopo da paleontologia e da arqueologia, uma série de datações por TL para afloramentos conhecidos do Sudoeste. Dos novos dados, produzidos a partir de datações em sedimentos, chama a atenção a cronologia obtida para os solos negros-lamíticos (da Sanga da Cruz). Miller (1987) atribui a idade de 6.000 A.P. para solos negros associados à Formação Touro Passo. Contudo, Milder (2000) datou estes mesmo solos da Sanga da Cruz, conferindo a eles a idade de 18.340 A.P. +/- 1.790 A.P. No presente, a base destes solos exhibe uma linha de concreções de CaCo₃ em dissolução, devido à umidificação climática,

podendo remeter a eventos secos do MUG e de sedimentos finos, com predominância de silte e argila, podendo denotar os depósitos eólicos propostos por Iriondo (1996)¹⁸.

Milder (1994, 2000) correlaciona a curva paleoclimática estabelecida para Alerce, no Sudeste do Chile, e, em latitude correspondente, ao Sudoeste do Rio Grande do Sul, destacando, entre 11.000 A.P. e 10.000 A.P., “o último relapso das condições glaciais (*Younger Dryas*), no qual as temperaturas baixariam, com marcada sazonalidade de períodos secos e pluviosos”. Apontou, também, para o período entre 9.000 A.P. e 8.500 A.P., condições de aridez acentuada, “com curvas de temperatura instáveis e sedimentação de camadas de CaCO₃, marcadamente na estratigrafia da Formação Touro Passo” e, após 8.500 A.P., “teríamos as condições climáticas referentes ao ótimo climático” (MILDER, 2000, p. 127-128).

Importante destacar, também, o modelo hipotético sumarizado por Milder (1994; 2000), associado às correntes atmosféricas e aos eventos paleoclimáticos. Apesar de o autor idealizar o cenário para os últimos 30.000 A.P., aqui serão priorizados os dados pertinentes aos últimos 11.000 A.P.:

“...**11.000 - 10.000**: predomínio de massas frias, MPA (conjugada com MPP) e CPS, alternando-se no seu potencial de umidade, ou atuação sazonal discreta da MTA e MTC, trazendo temperaturas baixas e períodos de uma marcada sazonalidade, com momentos áridos e pluviosos, é o último refluxo da glaciação, sendo o momento em

¹⁸Milder (2000), descreve, no rio Uruguai, uma série de terraços que foram estudados por Iriondo (1996) e que mencionam uma série de formações para o Nordeste argentino, as quais não possuem ainda a devida confirmação no Brasil, admitindo lacunas a serem preenchidas no território brasileiro. Em território brasileiro, Iriondo (1996) chama a atenção para os terraços do rio Uruguai, fato esse que passa despercebido para a maioria dos pesquisadores da geomorfologia do Quaternário. De acordo com Milder (2000), os terraços do rio Uruguai e seus afluentes são elementos geomorfológicos e estratigráficos importantes para o estudo do Quaternário Superior. Existem uns terraços altos e bem desenvolvidos na província de Entre Rios, que podem também ser observados ao Norte na Província de Corrientes e no Brasil. Os corpos destes terraços são constituídos pela Formação Palmar e cobertos, em partes, por areias eólicas do Holoceno Superior. Destaca-se um terraço à margem esquerda no rio Uruguai, no município de São Borja/Brasil, o qual está bem conservado e desenvolvido, com cerca de 500 metros de largura e 4 metros de altura, por sobre os terraços baixos. A montante do Mondai, no Brasil, os terraços baixos aparecem de forma descontínua e, por terem sido erodidos parcialmente, geralmente estão cobertos pela Formação Oberá. Medem entre 200 metros e 300 metros de largura, neste trecho, e 3 metros de altura sobre terraços baixos. Nos afluentes da margem esquerda, foi seguramente desenvolvida em toda a rede hidrográfica; na atualidade, se encontra erodida completamente, em alguns canais; em outros, se encontra coberta pela Formação Oberá, e, em outros casos (articuladamente entre Uruguaiana e Quaraf), estão preservados e afloram restos da Formação Palmar, constituída por areias avermelhadas, com lentes de seixos de quartzo. A idade destes terraços é Pleistoceno Superior. Estão cobertos pela Oberá e pela Yapeyú, no Norte, e por depósitos Holocênicos, no Sul. Suas morfologia e sedimentologia correspondem a fácies de canal, o que indica que se formou durante uma época muito úmida e cálida. Tentativamente, pode supor-se de que se trata de último interglacial. No rio Ibicuí, os terraços são planos, arenosos e comparativamente muito largos, com 200 metros a 300 metros de amplitude, até nos tributários menores. Nos afluentes uruguaios, esta unidade geológica foi denominada Formação Sopas (Antón, 1975). Em ambos os países, é portadora de abundante fauna Lujanense (Ubilla, 1985). O depósito mais antigo dos terraços formou-se durante o Pleistoceno Final e princípios do Holoceno, durante uma fase climática semiárida, com canais pequenos e com grandes inundações esporádicas, adicionando sedimentos finos e mal selecionados nos vales.

que o homem chega à região, podendo ser considerada a entrada do Holoceno; **9.000 - 8.500**: neste período ocorre uma retração das massas úmidas e um predomínio das correntes continentais representadas pela MTC, trazendo aridez e instabilidade na temperatura...” (MILDER, 2000, p. 132, grifo nosso)

Milder (1994; 2000) discorre sobre a influência das correntes atmosféricas (Quadro 9) embasado em estudos realizados por Oliveira e Ribeiro (1986), os quais relacionaram as principais massas de ar que atuam sobre a folha SH-21 – Uruguaiana/RS, e Iriondo (1997), ao trabalhar com a movimentação de depósitos eólicos (*loess*) na Argentina e em outros locais da Região Platina, também apresenta um quadro sobre a atuação de massas e de correntes de ar (Figura 54).

Quadro 9: Influência das correntes atmosféricas no Sul do Brasil	
Fase 30.000 - 28.000	Clima muito similar ao atual, interestadial com atuações dominantes da MTC ¹⁹ e presença da MPA com CPN e pluviosidade acentuada.
Fase 28.000 - 18.000	Predomínio da MPA (ocasionalmente pacífica) com atuação das CPS com baixa captação de umidade e temperaturas mais baixas, aridez no vale do rio Uruguai e muito frio (Oldest Dryas) certamente se registrariam a ocorrência de "geadas negras "que causam as chamadas queimaduras na cobertura vegetal através do congelamento dos líquidos interiores (NIMER,1989), segue-se no final do corte cronológico uma amenização das condições impostas pela MPA e o predomínio da MTA e MTC (início da Transgressão Flandriana).
Fase 18.000 - 14.500	É representado por um período de transição para o interestadial com predomínio da MTA e atuação da MTC e MPA.
Fase 14.500- 13.500	Novamente predominam as massas de origem polar, MPA (reforçada pela atuação da massa Polar Pacífica) e CPS com menos umidade e temperaturas mais baixas e a ocorrência de geadas negras, trazendo um retrocesso nas condições de otimização do clima (Older Dryas).
Fase 13.500- 11.000	As condições de umidade e temperaturas amenas retornam com a MTA, MTC e CPN, é novamente a presença de um interestadial.
Fase	Predomínio de massas frias, MPA (conjugada com MPP) e CPS, alternando-se no seu potencial de umidade, ou atuação sazonal discreta da MTA e MTC, trazendo temperaturas baixas e períodos de uma marcada sazonalidade, com momentos áridos e

¹⁹**Massa Tropical Atlântica (MTA):** possui atividade o ano inteiro. Por sua origem oceânica, é uma massa de ar quente e úmida, mas, ao atravessar o continente, torna-se menos úmida; **Massa Polar Atlântica (MPA):** atua o ano inteiro, com maior incidência no inverno. É uma massa de ar fria originada no Círculo Polar e invade a Patagônia, onde, ocasionalmente, recebe reforços de massas originadas nos Andes. Independente do rumo que toma, ao chegar à região traz violentas quedas de temperatura e tem forte atuação no inverno; **Massa Tropical Continental (MTC):** individualiza-se principalmente no verão, quando o aquecimento da Depressão do Chaco é dinamizada pela Frente Polar Atlântica, sua atuação provoca forte aquecimento e aguaceiros concentrados principalmente no vale do rio Uruguai; **Correntes Perturbadas de Noroeste (CPN):** são geradas no interior da América do Sul, por setores depressionários com o máximo de atividade no verão, trazendo tempo instável e aguaceiros para o vale do rio Uruguai, área deprimida e mais quente; **Correntes Perturbadas do Sul (CPS):** inicialmente é uma massa seca e muito fria, originada nos gelos fixos e flutuantes do polo. A atuação das correntes perturbadas se faz com tal intensidade, no Rio Grande do Sul, que não se verifica nenhum mês do ano com menos de 60 mm de precipitações. Durante o outono, o inverno e a primavera, o seu avanço determina o ritmo pluvial no Planalto das Araucárias e no Planalto Sul Rio-grandense (MILDER, 2000, p. 130 – 131).

11.000 - 10.000	pluviosos, é o último refluxo da glaciação (<i>Younger Dryas</i>), sendo o momento em que o homem chega a região, podendo ser considerada a entrada do Holoceno.
Fase 9.000 - 8.500	Neste período ocorre uma retração das massas úmidas e um predomínio das correntes continentais representadas pela MTC, trazendo aridez e instabilidade na temperatura.
Fonte: Milder (1994), modificado em Milder (2000 p. 131 – 132)	

Em relação à dinâmica de transgressão/regressão marinha, dinâmica esta que incide na variação climática e na evolução sedimentar da costa Sul-Brasileira, Corrêa (1990; 1996) estabelece os seguintes períodos, para o litoral Sul do Rio Grande do Sul (Quadro 10):

Quadro 10: Representação da variação climática, velocidade do aumento do nível do mar e evolução sedimentar da costa Sul Brasileira nos últimos 17.500 BP			
Anos BP	Variação climática	Velocidade do aumento do nível do mar/1000 anos	
17.500 ²⁰	Frio	17.500 a 16.000	20,0 m
16.000 a 11.000	Úmido à temperado seco		
11.000 a 10.000	Frio	16.000 a 11.000	6,6 m
10.000 a 9.000	Mais quente à frio		
9.000 a 8.000	Frio	11.000 a 6.500	16,6 m
8.000 a 5.000	Úmido à úmido mais quente		
5.000 a 3.500	Úmido mais quente à frio	6.500 – Atual	-
3.500	Mudança para temperado quente		
Cronologia de eventos sedimentares durante as transgressões Holocênicas			
1ª Fase 17.500 a 16.000	De 17.500 a 16.000 anos BP, o aumento do nível do mar é relativamente rápido (20m/1000 anos), estabilizando em torno de 16.000 anos BP. Durante este período um novo sistema costeiro se estabeleceu, marcado pela presença de níveis de areia fina sobre plataforma interna intercalados com zonas de areia média de origem deltaica ou de estuário, na foz dos rios Plata, Jaguarão, Piratini, Camaquã e Jacuí com a velocidade rápida de aumento do nível do mar.		
2ª Fase 16.000 a 11.000	A partir de 16.000 anos BP o nível do mar está de acordo com a curva eustática, aumentando lentamente até 11.000 anos BP. O aumento decai de 200/1000 a 6,6m/1000 anos. Esta fase corresponde, na sucessão litológica, às areias lamacentas em ambiente litoral, situadas normalmente, na base da sequência transgressiva, sobre a plataforma média/externa atual. Esta fase é marcada por superfícies erosivas superando depósitos pré-existent, traduzindo assim, uma fase de retrabalho de sedimentos mais antigos para um domínio da plataforma interna, durante os períodos de cessantes de transgressão.		
3ª Fase 11.000 a 6.500	Durante esta fase, o nível do mar subiu para uma velocidade de 16,2 m/1000 anos, movimentando a linha de costa para o oeste. Os canais de drenagem começaram a se mover para o continente, porém, mantendo conexão com a plataforma. Foi nesse momento que o principal canal de drenagem do rio da Plata foi submerso. Os sedimentos finos, anteriormente transportados pelos sistemas de drenagem fluvial		

²⁰ Une nouvelle période froide, entre 11.000 et 10.000 ans BP, occasionne une nouvelle stabilisation du niveau marin. Entre 10.000 et 9.000 ans BP, le climat est plus chaud et le niveau de la mer remonte mais il est accompagné par d'une période courte de climat froid, qui occasionne une petite régression avec un deuxième stationnement du niveau marin. Entre 9.000 et 8.000 ans BP, le climat devient de nouveau froid, avec un troisième stationnement du niveau de la mer, puis il commence à devenir humide. De 8.000 à 5.000 ans BP le climat passe de humide à humide plus chaud. De 5.000 à 3.500 ans BP le climat passe de humide plus chaud à froid (CORREA, 1996, p. 169).

	para a zona costeira da época, são depositados nas zonas mais profundas, enquanto os depósitos costeiros são formados pela remobilização das areias transgressivas e não mais pelos depósitos arenosos do Pleistoceno. Com a continuação do aumento da transgressão, o litoral está cada vez mais longe da borda externa da plataforma continental, causando a deposição de sedimentos finos sobre a plataforma média e externa, recobrando as areias transgressivas. Nos sedimentos desses níveis, observa-se a presença de camadas de areia grossa e até mesmo cascalho bioclástico, que caracterizam as linhas de paleocosta.
4ª Fase ²¹ 6.500 – Atual	Esta fase final da transgressão do Holoceno é caracterizada pela continuidade do depósito da manta arenosa transgressiva. A contribuição de sedimentos fluviais para o oceano diminui consideravelmente, devido à formação da barreira arenosa. Neste período, o nível do mar excedeu, pelo menos, o dobro do nível atual. Na primeira vez, a 7000 anos de BP, ultrapassou o atual e chegou a + 5m em torno de 5.100 anos BP, seguido por uma regressão que levou seu ponto mais baixo (-6 / -10m) a 3.500 anos BP. Na segunda vez, em 3.000 BP, atingiu mais 4m acima do atual, seguido por uma pequena regressão/transgressão, da qual (2.300 anos BP) o nível do mar começou a descer até no nível atual. A costa submersa é caracterizada pela existência de sistemas de ilhas e lagos, enquanto as costas de emersão têm terraços arenosos cobertos pelo cordão litorâneo. Com a estabilização do nível do mar em torno do nível atual, a última barreira arenosa formou e fechou as lagoas costeiras. Os rios que anteriormente depositaram seus sedimentos diretamente na plataforma começaram a depositar os sedimentos nos corpos da lagoa.
Fonte: CORRÊA (1990; 1996)	

Em estudos recentes, Corrêa et al. (2014) reafirmam seus estudos realizados em 1990 e em 1996, a partir da publicação dos resultados quantitativos e qualitativos da análise palinofaciológica em testemunho de turfa, na plataforma continental do Rio Grande do Sul. Foram feitas análises sedimentológicas e palinológicas, em amostras de camadas de turfa, e ensaio de datação para C-14. A datação da turfa indicou:

...que o depósito parece ter sido acumulado há pelo menos 10.460±40 anos B.P., em uma antiga depressão, pertencente a uma planície de inundação, presente na planície costeira da época, ocasionada pelo rebaixamento do nível do mar, sendo transformada em uma região pantanosa com exuberante vegetação. Segundo Corrêa (1996), neste período, o nível do mar encontrava-se entre 60/65 m mais baixo que o atual. (CORRÊA, 2014 p. 722).

[...]

A presença deste depósito turfáceo na profundidade de 60 m de lâmina d'água vem caracterizar a estabilização do nível do mar, durante a última transgressão Holocênica, por um período mais longo neste nível, possibilitando assim a formação deste depósito. Esta profundidade é compatível com a curva eustática do nível do mar

²¹ Dans cette période le niveau de la mer a dépassé, au minimum, deux fois le niveau actuel. La première fois, à 7000 ans BP, il a dépassé l'actuel et il est arrivé à +5m aux environs de 5.100 ans BP, suivi d'une régression qui a pris son point plus bas (-6/-10m) à 3.500 ans BP. La deuxième fois, à 3.000 ans BP il est arrivé à +4m au-dessus de l'actuel, suivi d'une petite régression/transgression, à partir de laquelle (2.300 ans BP) le niveau de la mer a commencé à descendre jusqu'au niveau actuel (CORREA, 1990 p. 273).

proposta por Corrêa (1990, 1996), para a plataforma continental do sul do Brasil. (CORRÊA, 2014 p. 724).

Em estudos mais recentes, Lima (2012) propõe, a partir de três transectos estratiográficos situados no litoral Norte do Rio Grande do Sul, um modelo evolutivo para a transição entre as fases transgressivas e regressivas da barreira costeira holocênica, nos setores Torres-Curumim, caracterizados em 5 estágios, cujos estágios de 1 a 3 desenvolveram-se na fase transgressiva da barreira costeira e os estágios 4 e 5, na fase regressiva, conforme o Quadro 11:

Quadro 11: Modelo evolutivo dos estágios transgressivos/regressivo para o Holoceno, Litoral Norte do Rio Grande do Sul	
Estágio 1 Pré-Transgressão 10.000 anos AP	Com melhoramento climático do Holoceno, cerca de 9.985 +/- 205 cal. anos AP dá-se o início da ocupação das comunidades vegetacionais costeiras sobre o substrato pleistocênico, com enriquecimento superficial de matéria orgânica, gerando um horizonte de paleossolos. Durante a Transgressão marinha Pós-Glacial o substrato pleistocênico foi inundado pelo lençol freático que acompanhava o nível do mar em elevação, transformando este horizonte de paleossolos em ambiente pantanoso.
Estágio 2 Início da inundação 10.000 a 8.500 anos AP	Este estágio corresponde à inundação marinha da retrobarreira, quando ambientes lagunares/estuários recobrem os pântanos basais por volta de 8.450 +/- 110 cal. anos AP. Este período se desenvolveu sob uma alta taxa de migração da barreira transgressiva em direção ao continente, resultando em pequena espessura dos depósitos de leques lagunares/estuários. Também nessa fase a barreira transgressiva apresenta-se segmentada por canais de ligação que promoviam intensa mistura entre as águas oceânicas e fluviais e as posições avançadas, continente adentro destes canais de ligação, eram ocupadas por deltas de maré de enchente.
Estágio 3 Máximo Transgressivo 8.500 a 7.200 anos AP	Os ambientes estuários/lagunares desenvolveram amplas espessuras, por agradacão lagunar, colmatando a retrobarreira, e indicando o estabelecimento da barreira transgressiva na sua atual. O limite de acomodação lagunar foi o responsável pela interrupção da transferência dos sedimentos na componente transversal à costa, via canais de ligação e leques de sobrelavagem (7.175 +/- cal. anos AP). O término desse período representa o fim da migração da barreira costeira em direção ao continente equivalendo ao máximo transgressivo, assim como o último evento de deposição de leques de sobrelavagem datado em 7.265 +/- 45 cal. anos AP. Estas posições indicam uma aproximação para a largura da porção emersa da barreira transgressiva como de 460m, ao final de sua migração em direção ao continente.
Estágio 4 Pré Regressão Normal 7.200 a 5.100 anos a AP	Com o nível do mar ainda elevado a barreira regressiva começou a progradar em direção ao oceano, ocasionando uma regressão normal da linha de costa. Esta elevação atingiu a cota máxima de +2,1 m acima do nível normal do mar, indicando a posição relativa ao nível do mar mais alto da Transgressão Pós-Glacial (máximo eustático). O início da progradação, base da antepraia média, é datada em 7.205 +/- 55 cal. anos AP e o momento da inversão da transgressão para regressão registra-se em 7.265 +/- 45 cal. anos AP e 7.175 +/- 55 cal. anos AP. Sem canais de ligação na fase regressiva, o lençol freático facilitou a reocupação vegetacional e a formação do ambiente eólico na barreira.

<p>Estágio 5 Regressão Forçada 5.100 até o presente</p>	<p>O início da fase de regressão forçada foi conexo ao início de deposição da antepraia inferior, quando o perfil sedimentar da antepraia torna-se essencialmente deposicional passando a preservar siltosos entre 5.125 +/- 115 cal anos AP e 4.475 +/-75 cal. anos AP. Conforme as dunas se afastam da praia devido à progradação da barreira, estas tem sua morfologia retrabalhada por dunas transgressivas que avançam barreira adentro em reposta aos ventos que sopram no sentido do continente (NE, E e SE), assim o conjunto praia/duna frontal está relacionado a progradação da barreira e o conjunto interduna/duna transgressiva está relacionado a agração da barreira.</p>
<p>Fonte: Lima (2012 p. 104 - 108)</p>	

Oliveira e Suertegaray (2012) elaboram o quadro evolutivo paleoambiental pampiano, a partir de trabalhos já reconhecidos, associados a datações em C-14 e a análises sedimentológicas realizadas em São Francisco de Assis/RS. Os resultados apontaram um quadro (Quadro 12) evolutivo em 8 fases, nos interessando os dados inferidos a partir da 4ª fase.

<p>Quadro 12: Evolução paleogeográfica da zona de ocorrência dos <i>areais</i> – São Francisco de Assis/RS</p>	
<p>1ª Fase 42.000 AP Subúmida</p>	<p>As turfas datadas nos dois testemunhos estão inseridas no último período glacial, onde em condições frias auxiliadas por solo arenoso no limite do pedimento e a <i>bajada</i> poderiam, eventualmente, estar encharcados e mal drenados sob condições subúmidas no contexto de um período maior, mais seco e frio.</p>
<p>2ª Fase 33.000 AP Seca</p>	<p>Período seco com lenta variação das condições climáticas regionais para o estabelecimento desta época seca.</p>
<p>3ª Fase 20.000 AP Fria e seca</p>	<p>Clima frio e seco. Fase estabelecida por dados da palinologia, os quais confirmam um clima seco e frio a partir da abundância da espécie <i>Eryngium sp.</i> para o período de aridificação que precede o Último Máximo Glacial, anunciando a expansão máximo dos mantos de gelo do estádio glacial de Wurn e marcando as condições para o aparecimento de uma espessa camada de areia com o aumento de grãos subangulares encontrados nos testemunhos analisados em São Francisco de Assis/RS. Evers (2010) evidencia a existência de paleodrenagens para a região cerca de 20.000 AP que teriam alimentado o freático próximo à superfície nas bajadas para que as condições geradoras de turfeiras se estabelecessem, condições as quais, perduraram até cerca de 17 ou 15.000 AP, quando o derretimento dos mantos de gelo elevou o nível do mar e trouxe umidade para o interior do continente.</p>
<p>4ª Fase 17/15.000 a 9.000 AP Úmida</p>	<p>Fase úmida, marcada pela presença de argila e pelotas de argila (indicativo de ação hídrica) nos leques aluviais. Esta fase úmida condicionou a pedogenização de sedimentos expostos e interrompeu o intemperismo mecânico responsável por fragmentar as escarpas areníticas e topos silicificados da zona de contato entre a Formação Botucatu e os derrames basálticos da Formação Serra Geral, fonte dos seixos de calcedônia, arenito silicificado e quartzo observados em linha de pedra. Análise polínicas realizadas por Behling <i>et al</i> (2005) registra, para São Francisco de Assis, o aparecimento dos gêneros de plantas aquáticas a partir de 10.000 AP, seguido da elevação da taxa de esporos de musgo relacionado a solos secos e de climas quentes, até aproximadamente 7.500 AP marcando a 5ª fase.</p>
<p>5ª Fase 9.000 a 7.500 AP</p>	<p>Fase seca e quente. Período interpretado com base em análises polínicas realizada por Behling <i>et al</i> (2005) que destaca, para São Francisco de Assis, a elevação da taxa de esporos do <i>Phaeocerosus Laevis</i>, musgo que está relacionado a solos secos e quentes, até</p>

Seca e quente	aproximadamente 7.500 AP, registrando também um hiato na deposição de polens, talvez relacionado à aridificação ambiental e a não formação de cobertura vegetal significativa.
6ª Fase 7.500 a 3.500 AP Úmida	Fase úmida. Behling <i>et al</i> (2005) observa queda nas taxas do musgo de solo seco, bem como o incipiente aparecimento das primeiras espécies de mata galeria como <i>Myrsine</i> e <i>Myrtaceae</i> em São Francisco de Assis/RS. Nesta mesma fase registra-se aumento das temperaturas globais e transgressão marinha para o interior dos continentes, onde o mar esteve 5 metros acima do nível atual há 5.100 AP (CORRÊA, 1990), trazendo umidade e condições ideais de pedogenização acelerada, denominada por Ab'Saber (1980) de <i>Optimum Climático</i> . Oliveira e Suertegaray (2012) inferem que esta umidificação teria causado a deposição do leque de areia lodosa observada em testemunho e interrompeu a formação do segundo pavimento de seixos de igual composição da linha de seixo identificada na 4ª fase. Esta fase úmida também caracteriza o entalhamento fluvial e instala as condições para o desenvolvimento de mata galeria, em tamanho reduzido e confinadas às drenagens das áreas deprimidas, enquanto as áreas de pedimentação não sofre tanta influência dessas formas vegetais.
7ª Fase 3.500 a 2.000 AP Seca e fria	Frio e seco. O período úmido chega ao fim em 3.500 AP quando o mar regride -6/-10 metros em relação ao nível atual (CORRÊA, 1990), avigorando a proposição de um resfriamento e lógico ressecamento climático. Para São Francisco de Assis/RS Behling <i>et al</i> (2005) indicam aumento da taxa de pólen de <i>Eryngium</i> e esporos de <i>Phaeocerosus Laevis</i> entre 3.500 a 2.000 anos AP, também sugerindo ressecamento climático em relação a fase úmida anterior. Registra-se uma melhora climática a partir de 1.960 AP, inferida pelo registro de atividade agrícola indígena, evidenciada pelo cultivo de milho (<i>Zea Mays</i>), sugerindo assim, o retorno das condições úmidas para a região e a fixação de povoamento sedentário (KERN, 1998). Nos testemunhos analisados por Oliveira e Suertegaray (2012), o resfriamento e ressecamento é marcado pelo desaparecimento de restos de raízes e das pelotas de argila, causados pela não deposição de grãos finos, gerados pelo ataque químico típico de ambiente úmido. Também observaram a existência de areias amareladas, produtos da exposição ao ar livre e consequente oxidação de compostos de ferro na superfície dos grãos, ou dispersos no ambiente, além da colmatagem de canais efêmeros entalhados durante a fase úmida.
8ª Fase 2.000 AP aos dias atuais Úmida	Fase marcada pela mudança na composição florística, declínio de gêneros como <i>Baccharis</i> e <i>Eryngium</i> ou ainda aumento das <i>Myrtaceae</i> (BEHLING <i>et al</i> , 2004). Evidências da ocupação humana devido ao aumento de partículas carbonizadas (queimadas). Expansão das matas galerias e da vegetação arbórea nas encostas úmidas a partir de 1.500 AP. Presença de solo hidromórfico escuro nos testemunhos analisados por estes autores em São Francisco de Assis/RS. Descritos por Bombim & Clamt (1974), estes solos têm início da pedogênese em condições aridez devido a formação de concreções de CaCO ₃ e posterior lixiviação em condições úmidas recentes.
Fonte: Oliveira e Suertegaray (2012 p. 217 – 222)	

5.2 Segundo Estágio do Holoceno – 8.326 a 4.200 A.P.

5.2.1 Dados globais

A fase intermediária (**Holoceno médio – Nortegripiano – 8.326 anos A.P.**), igualmente, foi determinada a partir de sondagens no gelo da Groenlândia e teve seu início delimitado por um resfriamento abrupto, atribuído a vastos volumes de água doce, provenientes das geleiras derretidas no Canadá, correndo para o Atlântico Norte e interrompendo as correntes oceânicas.

5.2.2 *Dados para o Brasil*

No Brasil, Kern (1982) destaca que precisamente no Planalto Central o começo do período quente e úmido está datado de 7.250 ± 90 A.P. (Goiás, em 6.690 ± 60 A.P.; Minas Gerais, em 6.000 A.P.; e São Paulo, em 6.135 ± 160 A.P.). No Rio Grande do Sul, hipoteticamente, pode-se sugerir a mesma cronologia conhecida para Minas Gerais e para São Paulo, próxima de 6.000 A.P., perdurando até 4.000 A.P., pois, por volta de 3.000 A.P. existem vestígios de que o clima se tornou novamente mais seco sobre a vertente Atlântica, no entanto as oscilações jamais atingiram as condições prevalentes no Holoceno inicial.

Ainda de acordo com o mesmo autor, evidências estratigráficas indicam pluviosidade intensa entre 6.000 A.P. e 3.000 A.P. (Lapa Vermelha, MG) e, nos sedimentos da camada IV do sítio José Vieira (Paraná), datada de 6.685 ± 175 A.P., foram encontrados vestígios de grandes enchentes periódicas do rio Ivaí. No Litoral gaúcho, o mar atingiu seu nível atual já em 6.200 A.P., ultrapassando tal nível em cerca de 2 ou de 3 metros, em 5.000 A.P.

5.2.3 *Dados para as áreas limítrofes às áreas de estudo: Argentina, Chile e Uruguai*

Iriarte (2006) infere, a partir de datações (de C14) feitas em pólen e em fitólitos, em sedimentos coletados nas terras baixas do sudeste do Pampa uruguaio (pastagens), que, durante o Holoceno médio (6.620 B.P. a 4.020 14C ano B.P.) iniciou-se um período de mudança ambiental, caracterizado por condições climáticas mais secas, resultando na expansão das comunidades halófitas em áreas baixas e planas das zonas úmidas atuais. Em cerca de 4.020 14C ano B.P. um pico maciço de *Amaranthaceae/Chenopodiaceae*, juntamente com uma queda radical nas espécies de zonas úmidas, indica outro período maior e mais severo de ressecamento climático. Depois de 4000 14C ano B.P., uma diminuição das espécies halófitas indica o início de condições climáticas mais úmidas e estáveis, que caracterizaram o Holoceno tardio.

5.2.4 *Dados para as áreas limítrofes à área de estudo no Rio Grande do Sul*

A Fase Sub-Austral (5.000 – 2.500 A.P./Holoceno Médio) inferida por Bombin (1976), é marcada pela extinção dos grandes mamíferos e pelo estabelecimento da segunda tradição cultural; o clima marcha para condições mais secas e/ou para um nível de base local mais baixo do rio Uruguai, determinando menos transbordamentos e menor acréscimo de

material na várzea, marcando, ainda, o início da pedogênese, na Fase Sub-Austral (5.000-2.500 A.P.). Esta fase caracteriza-se pela recorrência parcial do predomínio do anticiclone do Pacífico (seco) e pelo estabelecimento do primeiro ciclo de pedogênese na planície de inundação do rio Uruguai.

Em seu trabalho, *Paleopaisagens e Povoamento do Rio Grande do Sul*, Kern (1982) sumariza uma caracterização para o Holoceno inicial, para o médio e para o atual. Para o início do Holoceno, Kern (1982) destaca que o máximo de frio e de baixa dos níveis marinhos fora atingido durante a última glaciação e que, a partir do final do Pleistoceno (em cerca de 12.000 A.P.), a temperatura foi gradualmente aumentando, até atingir os índices atuais. Mais tarde, com a gradual fusão dos *glaciares*, os níveis marinhos do litoral do Rio Grande do Sul subiram.

No entanto, as precipitações pluviométricas ainda deveriam ser reduzidas e pouco intensas em todo território gaúcho, pois as condições frias e secas, que atuaram durante a glaciação, também foram sendo gradualmente substituídas por condições mais quentes e úmidas. Por fim, “[...] o clima seria temperado, seco, com uma estação seca, tornando-se mais úmido nas latitudes meridionais, nas quais que se encontra o Rio Grande do Sul, apenas por volta de 6.000 A.P.”. (KERN, 1982, p. 169).

Ainda de acordo com o mesmo autor:

Na sequência geológica do sudoeste do estado, indicada nas pesquisas de campo locais (vales do Uruguai, Quarai e arroio **Touropasso**), as camadas de areia clara (V e VI) indicam **uma fase seca e quente posterior a 11.000 A.P.**, a partir da datação dos vestígios arqueológicos encontrados por Miller. Estes dados parecem confirmados, pois o Planalto Central brasileiro, um depósito cinza carbonatado do Abrigo da Lapa Vermelha (MG) está datado de 10.000 a 6.000 A.P. e sugere um nível muito baixo do lago local, uma pluviosidade muito fraca e um crescimento das estalactites e estalagmites, todos estes fatos sendo originados por um período de calor e de seca. No Abrigo Cerca Grande, situado nas proximidades de Lagoa Santa (MG), um período seco foi igualmente datado de 11.000 a 8.000 A.P., e a camada de formação de estalactites e estalagmites poderia ser também situada antes de 6.000 A.P., pois elas correspondem a uma situação seca. Em Goiás, muitas datações de 10.120 ± 80 a 7.250 ± 95 A.P. correspondem a esta época seca, com raros momentos um pouco mais úmidos e as condições de caça reduzidas para as populações pré-históricas locais, obrigando-as a comer predominantemente moluscos. Em São Paulo existe igualmente uma datação que corresponde a esta fase de clima seco, de 8.000 a 7.500 A.P., em Ribeirão da Mata” (KERN, 1982 p. 170).

A região de planícies e de paisagens abertas, de coxilhas cobertas de vegetação rasteira do Sul do Estado e dos Campos de Cima da Serra compõem testemunhos-relictos, embora uma defasagem no processo de recolonização e de adensamento da cobertura vegetal típica de

ambiente quente/úmido deva ter ocorrido entre 6.000 A.P. e 4.000 A.P., pois, apesar do clima quente, as condições de aridez e de seca impediram a vegetação de se refazer. Neste período, caçadores e coletores pré-históricos continuam a matar remanescentes da fauna pleistocênica ainda existentes nas paisagens do Holoceno. Referindo-se ao Holoceno médio e atual, Kern (1982) ressalta que este período conheceu temperaturas elevadas, que atingiram o seu máximo após 6.000 A.P., conhecido também como “*Optimum Climaticum*” (KERN, 1982).

5.3 Terceiro Estágio do Holoceno – 4.200 AP aos dias atuais

5.3.1 Dados globais

O Estágio Megalaiano (Holoceno tardio) teve seu limite inferior estabelecido através de datações em estalagmites (depósitos calcíticos), em uma caverna situada a Nordeste da Índia, no Estado de Meghalaya. O estágio corresponde, ainda, a uma fase de mudanças climáticas, desencadeada por perturbações na circulação oceânica e atmosférica. Ao mesmo tempo, o Megalaiano está sendo considerado o mais novo Estágio geológico da Terra, iniciado nos últimos 4.200 anos A.P. (a idade do *Meghalayan golden spike*), quando teria ocorrido uma catastrófica fase seca global, que perdurou por dois séculos, cujo efeito afetou civilizações humanas no Egito, na Grécia, na Síria, na Palestina, na Mesopotâmia, no Vale do Indo e no Vale do Rio Yangtze.

5.3.2 Dados para o Brasil

Bombin e Klamt (1974) destacam datações aceitas por Bigarella (1964) e por Vanzoline & Ab’Saber (1968) para o início da fase seca, aproximadamente em 3.500 A.P., e para o fim, em 2.400 A.P., para o Sul do Brasil, proposta reforçada pela datação do sítio arqueológico no município de Alfredo Wagner, no Estado de Santa Catarina, de 3.000 A.P., que atualmente é um depósito paludal, indicando condições mais secas naquela época (BOMBIN; KLAMT, 1974).

Kern (1982) também destaca que períodos mais secos, entre 4.000 A.P. e 2.000 A.P., são conhecidos para o território sul-americano e, logo, igualmente para o Rio Grande do Sul. O alcance desse ressecamento climático está relacionado às oscilações gerais das temperaturas, às variações das precipitações pluviais e às características locais dos relevos regionais. O referido autor cita algumas datações conhecidas no Brasil para este período. Na Amazônia, há vestígios

de uma fase seca datada de 4.000 A.P. a 2.000 A.P. e, há cerca de 2.000 A.P., a floresta tropical estava recolonizando os interflúvios e reocupando toda a bacia.

Para o planalto meridional brasileiro há três datações que correspondem a este período de seca e aridez relativa: 3.513 ± 56 A.P.; 3.284 ± 48 A.P. para o início, e 2.680 ± 150 A.P. para o término. Em Santa Catarina, no alto do planalto, o sítio arqueológico de Alfredo Wagner destaca a presença de uma camada de argila (a 60 cm de profundidade), pertencente a esta fase seca e datada de 3.000 ± 120 A.P. Para a planície costeira do litoral do Estado de São Paulo, pesquisas indicam níveis marinhos inferiores aos atuais, em 4.000 A.P., evidenciando um período mais frio e seco, bem como uma nova regressão marinha em 3.000 A.P. e, pouco antes de 2.000 A.P., o mar entra em regressão outra vez, descendo até atingir os níveis atuais (KERN, 1982).

Dando continuidade à sequência cronológica ressaltada por Kern (1982), no Paraná, às margens do Rio Ivaí, o Sítio José Vieira deve ter presenciado um período de seca recente, pois há indícios de ação eólica nas camadas I e II, já com cerâmica. Também houve uma pequena fase seca em Goiás, datada entre 1.000 ± 75 A.P. e 925 ± 60 A.P. Em trabalho posterior, Kern (1994) resalta os efeitos da regressão marinha ocorrida em 3.000 A.P., quando tem início um novo período de frio e de seca: “[...] o período entre 3.000 A.P. e 2.000 A.P parece ter trazido problemas para as florestas tropicais, pois grupos amazônicos de horticultores guaranis passam a migrar para o Rio da Prata.”.

Ainda para o Estado do Paraná, Stevaux (2000) estabelece a história evolutiva dos climas do Pleistoceno tardio e do Holoceno (Quadro 13), através de dados paleoclimatológicos obtidos a partir de análises sedimentológicas e de pólen, com datações por TL e por ^{14}C , estando estes resultados em conformidade com os de outros estudos focalizados no Sul do Brasil e na Argentina.

Quadro 13: Evolução climática do Pleistoceno tardio e do Holoceno para o Estado do Paraná – Brasil	
1º episódio - Seco 40.000 a 8.000 AP	Período deduzido pela baixa concentração de conteúdo de pólen orgânico e savana associada a grãos de areia em uma matriz enlameada em depósitos de PAN. Também é inferida, atividade eólica intensiva em uma área livre de floresta.
1º episódio - Úmido 8.000 a 3.500 AP	Núcleos dos lagos caracterizam aumento do material orgânico com abundância de elementos florestais e uma diminuição na atividade eólica. (menor atividade eólica aumento da cobertura vegetal). Os depósitos aluviais do rio Paraná também mostraram uma mudança em suas fácies sedimentares que poderiam ser interpretadas como paleo-hidrológicas e climáticas. As fácies de cascalho e areia

	da antiga mudança de sistema, fácies estratificadas para fácies de lama arenosa, podem ter sido depositadas em um sistema de rio anastomosado
2º episódio - Seco 3.500 a 1.500 AP	Curto período árido, mas não tão severo quanto o primeiro episódio. Deduzido pela diminuição de conteúdo orgânico e associação de pólen em núcleos de PAN.
2º episódio - Úmido 1.500 até o presente	Umificação climática até o presente
Fonte: Stevaux (2000)	

Da cronologia estabelecida por Stevaux (2000) destaca-se o período entre 3.500 A.P. e 1.500 A.P., caracterizado como um curto período de aridez não severa, estabelecido pela diminuição de conteúdo orgânico e pela associação de pólen a núcleos de PAN. De 1.500 A.P. até o presente, teve lugar uma umificação climática.

5.3.3 Dados para as áreas limítrofes à área de estudo: Argentina, Chile e Uruguai

Estudos de pólen, paleontológicos e sedimentológicos realizados por Quattrocchio (2008) para o sudoeste do Pampa Argentino, associados à revisão de quase 20 anos de pesquisa, sugerem que aproximadamente em 3.000 anos B.P. a influência marinha, que contribuía com a condição úmida para esta zona, terminou. Após 2.610 anos B.P., o acréscimo de vegetação estépica (*Psammophytic herbaceous*) infere condições de áridas para semiáridas. Um intervalo de maior umidade é inferido em 2.000 anos B.P. Com base em estudos da fauna de vertebrados (zooarqueologia) do sítio arqueológico de La Toma, ocorreu um aquecimento por volta de 995 ± 65 anos B.P., provavelmente associado ao *Medieval Climatic Optimum* dos séculos XII e XIII.

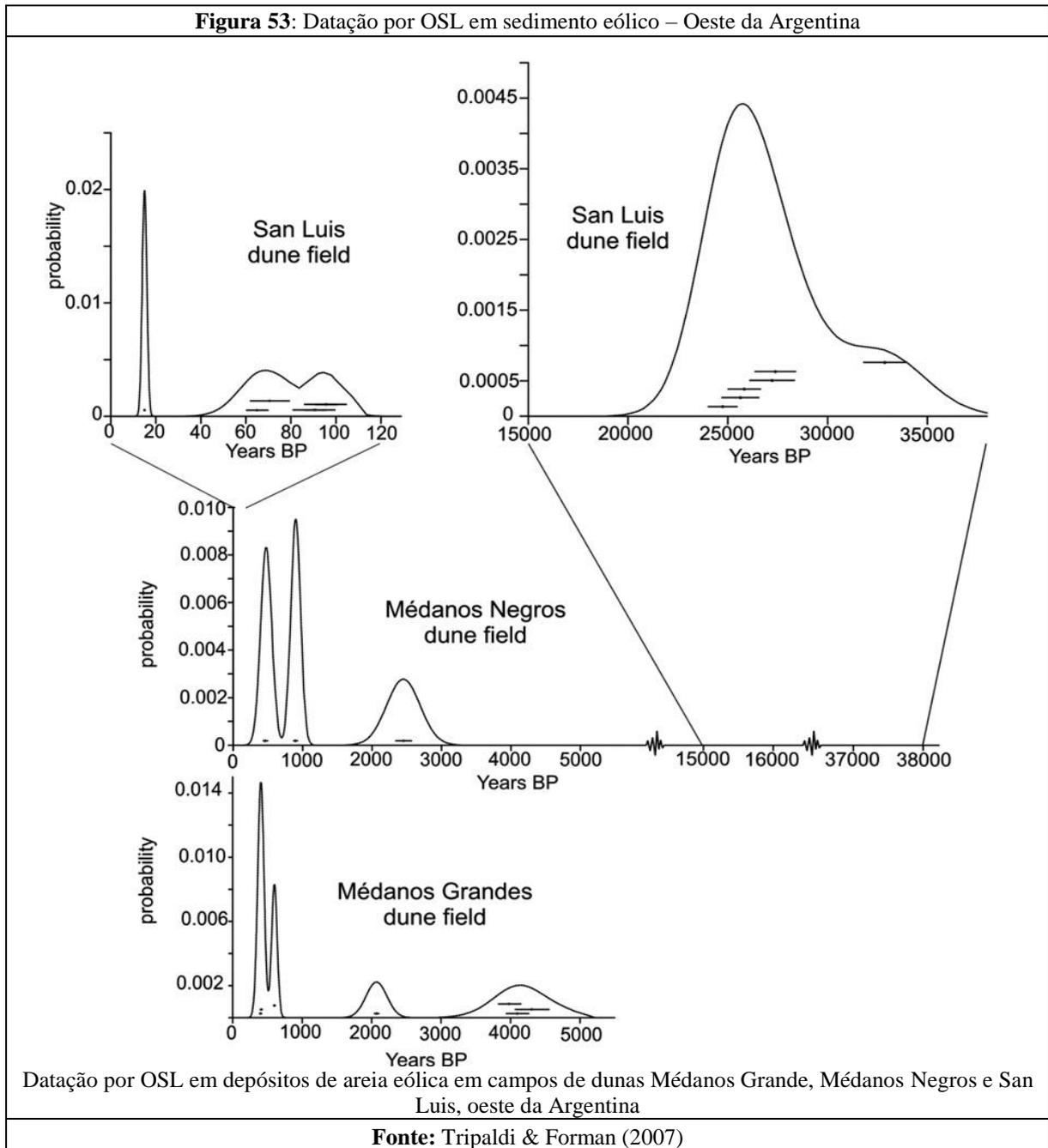
Quattrocchio (2008) ainda conclui que uma associação de mamíferos encontrada no sítio arqueológico de Lobería I (Pampa úmida), estudada por Rabassa et al. (1989), indica um ambiente de árido para semiárido, antes de 440 ± 60 anos B.P., estando esta condição possivelmente associada à Pequena Idade do Gelo, entre os séculos XVI e XIX.

Prieto et al. (2004) também sugerem que o clima se tornou mais seco, durante o Holoceno tardio (cerca de 3.000 anos B.P.), constatado a partir do aumento de sedimentos clásticos, sob condições subúmidas, da seção aluvial do Rio Luján, no Nordeste do Pampa Argentino. As análises sedimentológicas e de pólen desta mesma seção evidenciam que houve desaparecimento de *H. parchappii* em cerca de 3600-2900 14C ano B.P. e que o

desenvolvimento do solo de Puesto Berrondo alude para este período, no qual o fluxo de água se tornou efêmero, com acumulação de águas sazonais, levando a uma dessecação do pântano, em condições secas subúmidas.

Datações por luminescência em três depósitos eólicos, Médanos Grande, Médanos Negros e San Luis, a Oeste da Argentina, indicam registro de atividade nos últimos 33 Ka (Figura 53). O campo de paleodunas de San Luis (atualmente, uma zona mais chuvosa) mostra evidências de ativação repetida, durante o LGM (*Last Glacial Maximum*, 33-20 Ka), coincidindo com a deposição regional de *loess*, sendo que essas dunas foram localmente reativadas nos últimos 100 anos, como reflexo de climas mais secos, no final de século XIX, e pela intensificação das atividades agrícolas (TRIPALDI e FORMAN, 2007).

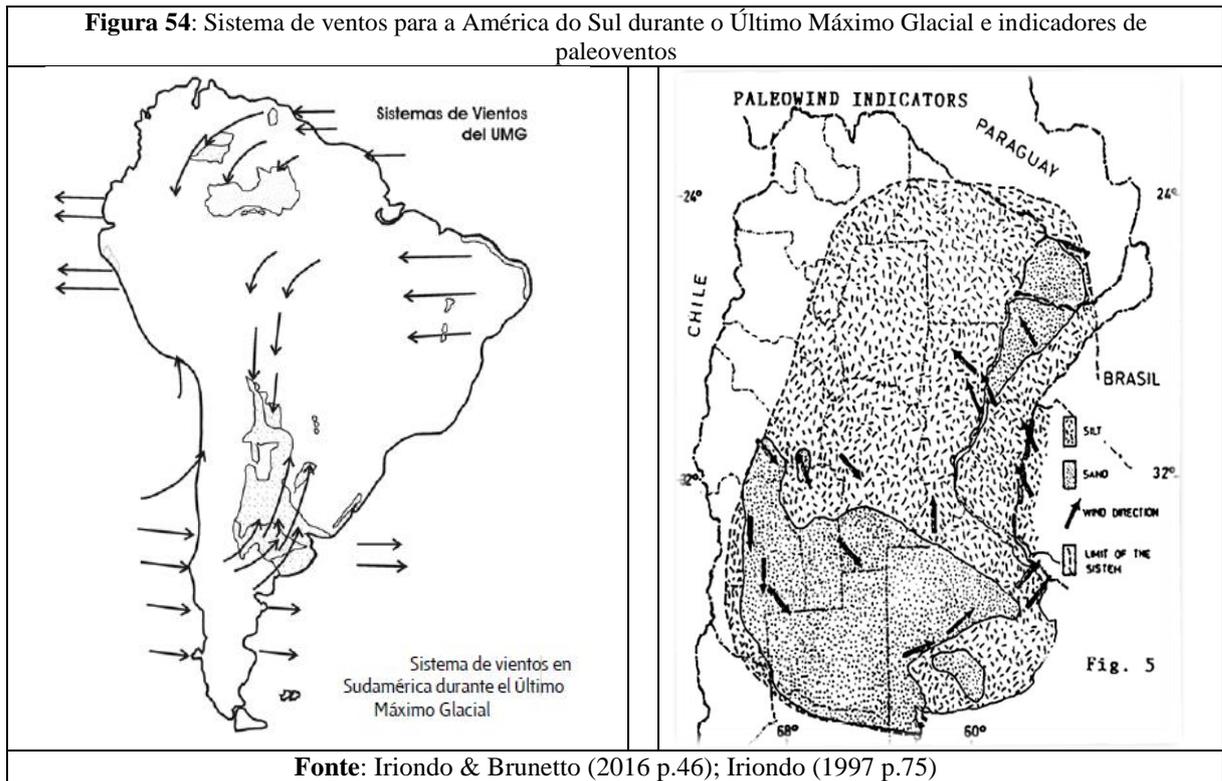
No entanto, os dois campos de dunas mais a Oeste e mais secos (Médanos Negros e Médanos Grandes) apresentam repetida reativação em 4 Ka, com possível deposição eólica de areia de 2.500 a 2.100 anos e de 400 a 600 anos, o qual, neste período inicial de aridez, pode ter-se espalhado de forma ampla pelas bacias próximas da costa brasileira, há aproximadamente 2.200 anos, no mais baixo nível de água dos últimos 5.000 anos. O último episódio de seca no campo de dunas de Médanos Negros iniciou-se há 900 anos e o mais recente evento de reativação de dunas nos campos de dunas Médanos Grandes e Médanos Negros ocorreu há 400-600 anos e pode ser coincidente ou ligeiramente posterior à última expansão neoglacial nos Andes adjacentes (TRIPALDI e FORMAN, 2007).



Iriondo (1997)²²e Iriondo e Brunetto (2016), ao estudarem os depósitos eólicos originários dos Andes, transportados para terras baixas da Argentina, em períodos de seca,

²² *“This model is based on an eolian event that occurred in the Late Holocene in the Argentine plains... The event consisted in a seasonal anticyclonic anomaly covering about 1.600.000 km² in Argentina and neighboring regions in Paraguay and Uruguay, which produced a dry, basically warm and semiarid climate. Measurements of paleowind indicators... and estimations based on dune fields, sand sheets, and pollen associations in 20 different*

formando vastos campos de dunas e mantos de *loess*, reconstituem as direções predominante de paleoventos para o Último Máximo Glacial (Figura 53). De acordo com os autores, a mobilização de material sedimentar desses campos de areias na América do Sul permitiu a reconstrução do sistema de ventos desse período, visto que as dunas, em sua maioria do tipo parabólica, evidenciam a direção preferencial dos ventos.



Iriondo e Garcia (1993), ao reconstruírem as variações climáticas dos últimos 18.000 anos para a planície argentina e para as regiões vizinhas do Paraguai e do Uruguai, evidenciam um período seco, com dinâmica eólica entre 3500 A.P. e 1000 A.P. Este intervalo seco é conhecido, na literatura argentina, como o **estágio Cordobense**.

De acordo com os autores, os ventos gerados pelo anticiclone estacionário abrangiam uma área de cerca de 1.600.000 km² e deflacionavam os solos do Holoceno, depositando uma fina camada de areia, que cobria toda a região. A areia, de texturas fina e muito fina, ocorre na

areas of the region indicate an anti-clockwise circulation, typical for anticyclones in the Southern Hemisphere...". (IRIONDO, 1997, p. 75).

maior parte da região, sob a forma de um manto de 1-2 m de espessura, sem estrutura interna e, em inúmeras áreas de Corrientes, de Buenos Aires e de outras províncias, formou campos de dunas, com alguns atingindo milhares de quilômetros quadrados de área e compreendendo morfologias parabólicas e outras formas de relevo menores, como *lunettes* e bacias de deflação. As direções de paleoventos refletidas por tais morfologias de dunas indicam a circulação anti-horária típica dos anticiclones no Hemisfério Sul, apresentando, para o Sul do Brasil, ventos do quadrante SO, conforme aponta a Figura 54.

Outros dados estratigráficos associados a esse período de ressecamento climático são revelados e admitidos por Iriondo (1993; 1999), por Kröhling (1999) e por Kröhling e Iriondo (1999), para além do período já referido (3500-1400 A.P., no Holoceno Superior), ressaltando, de modo inclusivo, outro período de ressecamento climático, durante a Pequena Idade do Gelo (*Little Ice Age*, 800 - 200 yr B.P.). Assim, para Kröhling e Iriondo (1999), durante a chamada Pequena Idade do Gelo, estudos paleoclimáticos realizados ao Norte da Argentina evidenciam um período seco, com base na perda notável de descargas em afluentes, na redução do lago em estudo e pelas grandes quantidades de sais (gesso, em especial) que se acumularam na bacia. Ainda, a remobilização eólica dos depósitos dos canais formou o campo de dunas, ao longo da margem Sudoeste do lago (*Campo Maare Eolian Sands*)²³.

5.3.4 Dados para as áreas limítrofes à área de estudo no Rio Grande do Sul

A Fase Sub-Atlântica (2.500 – dias atuais/Holoceno superior), inferida por Bombin (1976), destaca que, desde que se iniciou a última flutuação climática ou Fase Sub-Atlântica (2.500 A.P.), sempre há renovação nos aportes de material para as planícies de inundação. Um pouco antes, já haviam se assentado na área os ancestrais daqueles que viriam a ser os indígenas dominantes da Campanha gaúcha. Esta fase caracteriza-se pela reversão climática, conduzindo ao clima atual.

²³ “*Upper Holocene Dry Period (3500 - 1400 yr. BP): During this semi-arid episode the surface sediments underwent generalized deflation, and were redeposited as a mantle, with associated dunefields. The deflation of the A-horizon of the Hypsithermal soil and the subsequent deposition of materials over the truncated soil profile, generated the San Guillermo Formation... “Little Ice Age (800 - 200 yr. BP): This was a dry period, and the tributaries suffered a remarkable loss in discharge. The lake was consequently reduced, and large quantities of salts (gypsum in particular) accumulated in the basin. The eolian remobilization of the channel deposits formed the dunefield along the south-western margin of the lake (Campo Maare Aeolian Sands).”* (KRÖHLING; IRIONDO, 1999, p. 162, grifo nosso).

Bombin & Klamt (1974), ao considerarem trabalhos realizados anteriormente, por outros autores²⁴, confirmam a ocorrência, na região da Campanha (nos municípios de Uruguaiana e de Bagé) e na Planície Costeira (no município de Santa Vitória do Palmar), de solos argilosos escuros, hidromórficos, apresentando características comuns, como, por exemplo, horizonte B textural, saturação de bases altas, argilas predominantemente do tipo 2:1 e horizontes com concreções de carbonato de cálcio (CaCO₃), os quais indicam que as condições ambientais reinantes em épocas passadas eram caracterizadas por um clima mais seco, pois, em condições ambientais atuais, não deve haver formação de horizontes com precipitação de carbonato de cálcio, uma vez que a precipitação de CaCO₃ ocorre em ambientes que não ultrapassem em muito os 500mm anuais.

Ainda de acordo com os mesmos autores, outra evidência da ocorrência de clima mais seco, durante uma fase pretérita da pedogênese, não necessariamente mais frio, pode ser legitimada pelos vestígios de que:

...no presente as concreções estão em fase de dissolução e em muitos casos, em solos semelhantes sem horizonte *Ca*, talvez já tenham sido dissolvidos, bem como pelo aumento de argilas do tipo 1:1 nos horizontes superficiais, devido provavelmente ao aumento de umidade atual e ao conseqüente abaixamento do pH nestes horizontes (lixiviação das bases) - (Bombin & Klamt, 1974, p. 5 - 6).

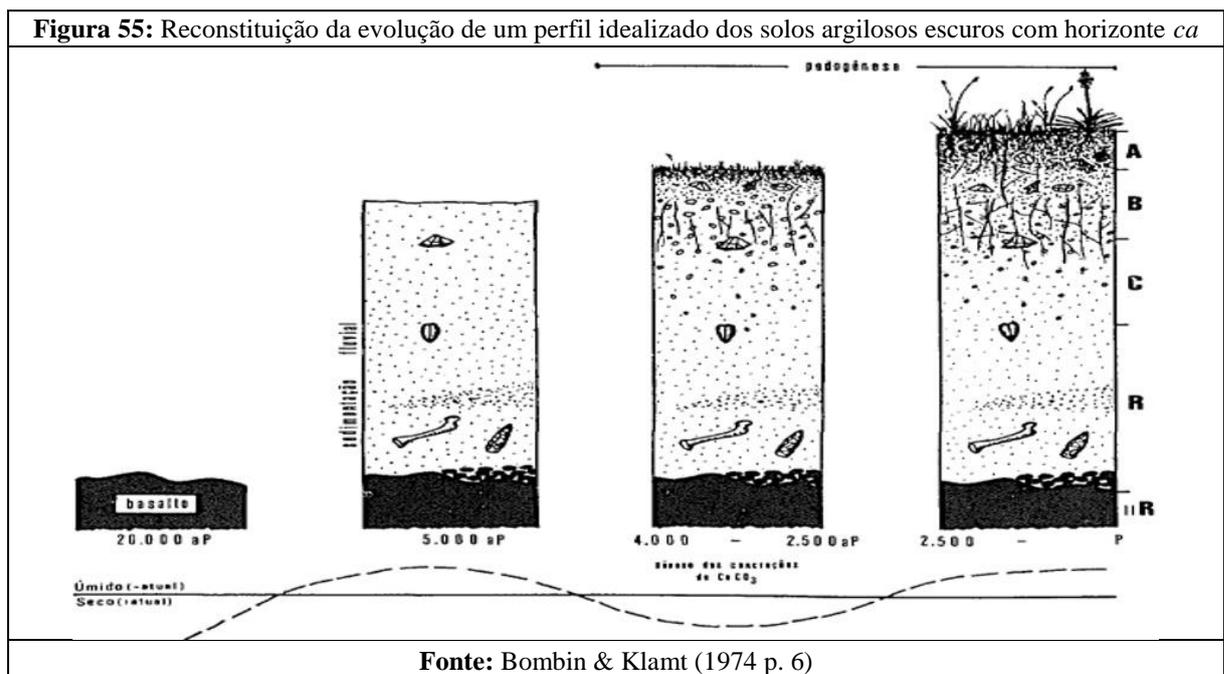
Bombin & Klamt (1974) anunciam, ainda, uma aproximação da evolução até os pedons atuais destes solos, os quais teriam se desenvolvido durante o período correspondente ao último período glacial (Glaciação Wisconsin). O predomínio de processos erosivos em clima mais seco, que foi gradualmente umidificando e ocasionando, na Campanha, depósitos nas planícies de inundação das bacias locais, correspondendo ao *Optimum* pós-glacial. Após tal episódio, as condições flutuaram novamente para um clima mais seco, dando-se, então, a pedogênese desses depósitos sedimentares, sendo este o período que possibilitou a precipitação das concreções de carbonato de cálcio. Com a retomada de climas mais úmidos, até os dias atuais, tem-se a continuidade dos processos pedogenéticos, incluindo maior lixiviação, adição dos horizontes superficiais e início da transformação das argilas 2:1 em 1:1 e, conseqüentemente, o início da

²⁴ Setzer (1951), Delaney (1965), Goedert (1968), Goedert; Beatty (1971; 1971a), Cogo (1972), Soliani Jr. (1973) e Lemos et al, (1973).

dissolução das concreções. Essas condições de evolução levam à conclusão de que estes solos são policíclicos e, não, paleossolos.

Por fim, Bombin & Klamt (1974), ao considerarem os solos argilosos escuros (Figura 55), com presença de carbonato de cálcio, medições radiométricas do C14 em fósseis de mamíferos e de evidências arqueológicas, bem como extrapolações de outras datações obtidas para o Sul do Brasil (para a fase seca), ilustram a seguinte cronologia:

...entre 20.000 A.P. e 4.000 A.P., deposições fluviais, lacustres, lagunares e até marinhas rasas (estas duas últimas na Planície Costeira) - entre 4.000 A.P. (ou um pouco antes) e o presente, efetua-se a pedogênese, o que dá uma idade bastante jovem para os solos em questão - **entre 3.500 A.P. e 2.400 A.P. se daria a fase seca responsável pela deposição de CaCO_3** , que inclusive deu-se sobre material arqueológico e fósseis, o que permitiria afirmar que pelo menos na região estudada, a extinção da megafauna foi anterior à deposição de CaCO_3 , não podendo ser explicada por este período seco tão recente (BOMBIN; KLAMT, 1974, p. 11, **grifo nosso**).



Kern (1982) também destaca uma fase seca para o Rio Grande do Sul, inferida a partir de sedimentos da Formação da Touro Passo, no Sudoeste do Estado, sugerindo período de seca entre 4.500 e 2.500 A.P. A datação da camada arenosa, em sítio da “boca da serra” do rio Jacuí, sobreposta às argilas da fase quente e úmida anterior, alude a uma retomada das condições secas de aproximadamente 2.000 A.P.

Ainda para o Rio Grande do Sul, pesquisas arqueológicas realizadas na Lagoa dos Patos, próximo à barra de Rio Grande, no município de Rio Grande, apontam a seguinte cronologia:

...Antes de 3.000 A.P., o nível das águas está muito alto, tocando a base de uma costa “fóssil” a pouco mais de 3m de altitude em relação ao nível do mar. Duas datações de radiocarbono comprovam o gradual recuo das águas e a formação de uma paleocosta “antiga” por volta de 2.160 ± 80 A.P. (SI-1194) e 2.000 ± 120 A.P. (SI-1193), com a ocupação de grupos pré-cerâmicos (Cerrito 4, Fase Lagoa). Esta paleo-costa se encontra a 3m de altitude e 887m de distância das águas da Lagoa dos Patos. Uma outra paleo-costa “recente” (a 260m de distância e 1m33 acima do nível atual) data de aproximadamente 1.000 A.P. Finalmente, o sítio C5, datado de 200 ± 80 A.P. (SI-1191) se encontra a apenas 35cm de altitude e a 3,5 cm da costa atual. A existência destas paleo-costas indica momentos distintos neste contínuo, mas aparentemente irregular recuo dos níveis marinhos após Ótimo Climático (Altitermal)... (KERN, 1982, p. 81).

Milder (1994), em sua dissertação de mestrado, traz detalhamento da Fase Arqueológica Ibicuí, de cronologia estabelecida entre 12.770 e 12.690 anos, no Vale do Rio Ibicuí, afluente da margem esquerda do rio Uruguai. O estudo apresentado por Milder, naquela ocasião, limita-se ao período de 30.000 a 8.500, no entanto podem-se verificar importantes registros apontados por este autor, interessando-nos especialmente as informações deduzidas ao Holoceno.

Milder (1994), ao relatar as interpretações cronológica e paleoambiental dos sedimentos da Formação Sopas (Arroio Sopas, ao Norte do Uruguai, correspondente à Formação Touro Passo, no Brasil), datada por Antón (1975), destaca que esta formação tem início deposicional entre 14.000 e 15.000 A.P. e término entre 6.000 e 4.000 A.P., apresentando as principais fases deposicionais e as características climáticas que seguem:

Segundo ANTÓN (1975) em **2.000** teríamos uma cobertura sedimentar atual, com argilas e areias do rio Uruguai com fósseis de espécies atuais e instrumental lítico e cerâmico abundante com **clima subsumido**; em **5.000** os sedimentos ainda seriam atuais com fósseis apenas de espécies atuais sendo o material arqueológico dominante, núcleos da cultura Quaraiense e o **clima seria semiárido a subsumido**; após **5.000** anos teríamos um período de acumulação com depósitos de cinzas vulcânicas em **clima subsumido**; em **10.000** teríamos o topo da Formação Sopas com argilas pardas e ricas em concreções de carbonato de cálcio, os fósseis de mamíferos abundantes, sendo material arqueológico predominantemente de lascas e núcleos apropriados para a caça à megafauna em um **clima semiárido a subsumido**... (MILDER, 1994, p. 25-26, **grifo nosso**)

A partir de dados levantados e de trabalhos de campo, Suertegaray (1987) estabelece, em síntese, uma reconstituição paleoclimática para a região Sudoeste do Estado, quando da

identificação das unidades recentes A e B²⁵ no município de Quaraí. Distinguido em três fases, o cenário paleoclimático estabelecido pela autora apresenta a seguinte sequência:

Uma **fase úmida** que caracterizaria a área, ocorrida provavelmente no **final do Pleistoceno, início do Holoceno**, cujos indicadores são os depósitos fluviais encontrados sobre as formações areníticas mesozoicas (formação Botucatu). Esta unidade poderia estar, no nosso entender, vinculada aos horizontes mais profundos dos solos hidromórficos escuros, estudados na Região da Campanha do Rio do Rio Grande do Sul por BOMBIM E KLAMT (1974) e decorrentes de uma deposição fluvial e/ou lacustre em clima mais úmido, relativo ao *optimum* pós-glacial.

Uma **fase de ressecamento climático**, durante o Holoceno, não necessariamente mais fria que as fases Glaciais datada através de estudos elaborados por MULLER, em perfis estratigráficos na Campanha Gaúcha em **4.000 A.P.** e por BIGARELLA (1964) e VANZOLINE e AB'SABER (1968) em aproximadamente **3.500 A.P. com término em torno de 2.400 A.P.** Durante esta fase teriam sido depositados os sedimentos eólicos... Unidade B, e poderiam ter ocorrido, ao longo das vertentes, processos areolares áridos ou semiáridos, que favoreceram a formação dos depósitos de Talus... e os pavimentos detríticos...

Uma **fase de umidificação, fase atual**, representada segundo a sequência de análise de BOMBIM e KLAMT (1974) para os solos hidromórficos pela continuidade da pedogênese *“agora traduzindo-se numa maior lixiviação, acidificação dos horizontes superficiais e início de transformação das argilas 2:1 em 1:1. Ao que parece, iniciou a dissolução das concreções”* (BOMBIM E BLAMT, 1974 p. 190). Esta fase compreenderia a nível da paisagem regional e efetiva colonização vegetal, passando a dominar na região (SUERTEGARAY, 1987, p. 122 - 123).

Bellanca (2002) descreve as transformações da paisagem regional do Sudoeste do Rio Grande do Sul, sobretudo pelas pesquisas efetuadas em sítio arqueológico nos areais do município de Quaraí. Fundamentado em fatos geológicos, geomorfológicos, arqueológicos, transgressões marinhas e em variações climáticas, o autor infere o cenário das modificações na paisagem da referida região e a reconstitui em 13.000, fragmentando-a em quatro períodos distintos:

“...13.000 (início do Holoceno) até 6.500 A.P.: período de ocorrência de transgressão e regressão marinhas tendendo ao nível atual; 6.500 anos até 3.500 anos A.P.; ênfase 5.100 A.P., quando o nível do mar transgride a +5m em relação ao nível atual. (Corrêa, 1990); 3.500 até 2.400 A.P.: início de um período seco, regressão marinha entre 6 e 10 m em relação ao nível atual. Período que vai até 2.400 A.P., quando finda o período seco e as transformações que originariam os areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul. (Suertegaray, 1987); 2.400 A.P. até os dias de hoje: início da umidificação com mar tendendo ao nível atual...” (BELLANCA, 2002, p. 60, grifo nosso)

²⁵ Estas formações recentes estão descritas no capítulo “Formações Superficiais Quaternárias associadas ao processo de arenização – janelas no presente de um passado recente”.

Bellanca (2002) reafirma o período de ressecamento climático (frio/seco), compreendido entre 3.500 a 2.400 A.P., apoiado em dados consensuais estabelecidos pela Geografia, pela Geomorfologia, pela Geologia e pela Arqueologia. O mesmo autor reafirma os dados inferidos por Corrêa (1990), “...em 3.500 A.P. o mar regride a -6/-10m em relação ao nível atual, é reforçada a hipótese de um resfriamento climático e conseqüente ressecamento”. “Há 3.000 A.P., o mar sobe +4 m em relação ao nível atual e, entre 3.000 e 2.300 A.P., sofre uma pequena regressão/transgressão em seu nível, caracterizando um período a parte do que vinha ocorrendo no Holoceno”. (BELLANCA, 2002, p. 71-72).

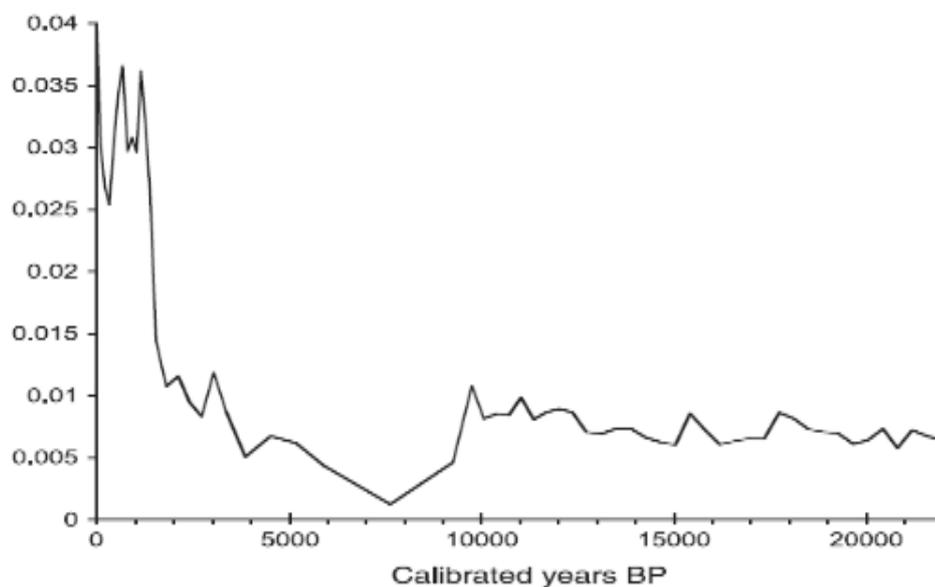
Os dados levantados por Bellanca (2002): variações do nível do mar, formação de concreções de CaCo₃, evidências de rarefação da ocupação humana e da vegetação, além da formação de depósitos eólicos conseqüentes do ressecamento climático (dunas), reforçam a hipótese de que, no período de 3.500 a 2.400 A.P., houve ressecamento climático.

O último período destacado por Bellanca (2002) estende-se de 2.400 A.P. até o presente, o qual apresenta uma fase de reaquecimento, encaminhando-se para um novo período úmido. Igualmente, esta fase compreende novas regressões marinhas até o nível atual, processos de modelagem da paisagem regional e efetiva colonização vegetal, passando a dominar a região.

Datações em turfa também foram realizadas no interior do continente e em locais próximos à área de estudos. Em São Francisco de Assis, no Oeste do Estado do Rio Grande do Sul, 40km a Leste da área de estudo, registros de pólen e de carvão revelaram que as terras baixas do Sul eram cobertas por vegetação natural de Campos, sob um clima relativamente seco e frio, durante os tempos glaciais, e quente e seco, durante os tempos pós-glaciais. As florestas de galeria não existiram, durante os tempos glaciais, e uma mudança para condições mais úmidas teria iniciado o desenvolvimento deste tipo de vegetação, há cerca de 5.170 anos B.P., sendo expandido após 1.550 anos B.P. (BEHLING; PILLAR; BAUERMAN, 2005).

No entanto, se observarmos o gráfico a seguir, vê-se que houve três picos de redução de pólen, em relacionado à floresta, no período estabelecido por Behling, Pillar e Bauermann (2005) para desenvolvimento e para expansão de floresta de galeria (5.170 a 1.550 anos B.P.): o primeiro ocorreu há cerca de 7.500 anos B.P.; o segundo, há 4.000 anos B.P.; e o último, aproximadamente em 2.000 anos B.P., o que pode ser interpretado como uma variação eventual de condições climáticas secas, em um curto espaço de tempo (Figura 56).

Figura 56: Taxa de alteração na composição de pólen e taxa de pólen com base no perfil de sedimento em São Francisco de Assis/RS - Brasil



Fonte: Behling, Pillar & Bauermann (2005) p. 244 – 245

Evaldt, Bauermann & Souza (2014) e Evaldt (2013), através de datações radiocarbônicas e de análises granulométricas, identificaram, ao Sul do município de Barra do Quaraí/RS (no Parque do Espinilho), o espectro polínico atual e reconstruíram a história paleovegetacional da Savana Estépica Parque no Holoceno tardio e indicaram os seguintes resultados:

... (entre) 3.380 ± 25 e 2.350 ± 25 anos A.P. a área era composta por uma planície de inundação recoberta por gramíneas que formava corpos d'água de pequena profundidade, possibilitando o desenvolvimento de colônias de algas. Entre **2.328 e 2.262 anos A.P.** observa-se **diminuição da umidade e aumento de temperatura**, evidenciado pelo desaparecimento das algas e maior frequência de briófitos. Entre **2.130 e 1.940 \pm 20 anos A.P.** é registrado **aumento de umidade** refletido na maior diversidade de táxons arbóreos, com expansão da Mata Ciliar. (EVALDT, 2013, p. 70-71, **grifo nosso**)

De acordo com esses mesmos autores:

A origem da **Savana Estépica Parque** ainda não está bem estabelecida. Sabe-se que as espécies características desta formação ocorrem em zonas intermediariamente **secas no Uruguai, Brasil (RS) e Argentina**: no Domínio Chaquenho, nas províncias do Espinal e Chaquenha (Parodi, 2002; Galvani & Baptista, 2003; Alves & Marchiori, 2011), **associada diretamente a disponibilidade de água**, pois no verão ocorre **redução de chuva** e conseqüentemente, **umidade relativa do ar**, que juntamente com o **aumento de incidência solar e calor**, causam **aridez**. Os dados aqui apresentados mostram que esta vegetação já estava estabelecida no Rio Grande do Sul desde 3.380 ± 25 anos A.P. (3.635 cal anos A.P.) na sua configuração atual; entretanto esta vegetação teve sua área diminuída por estressores naturais e antrópicos. Há $1.940 \pm$

20 anos A.P. (1.847 cal. anos A.P. idade), observa-se uma expansão da Mata Ciliar, os elementos de Savana Estépica Parque não apresentaram maior expressividade, o que indica que esta formação vegetacional se manteve estável enquanto a mata ciliar avançou sobre a sua área de ocorrência pressionando-a. (EVALDT, 2013, p. 86-87, **grifo nosso**)

Ribeiro (2015) registra uma fase seca, entre 4.017 e 4.232 A.P., a partir da análise de carvão vegetal macroscópico, em testemunho de turfeira de ambiente lagunar, na planície costeira do Sul do Brasil, situado no distrito de Águas Claras, no município de Viamão, RS. O registro da ocorrência deste pico de incêndio, mesmo sucedido durante a vigência do Ótimo Climático Atlântico, concorda com os intervalos de início de ressecamento detectados para a mesma turfeira em estudos anteriores, bem como para alagados de altitudes no planalto Sul-Rio-Grandense, sugerindo relação com flutuações climáticas locais e a vigência de condições oscilantes de temperatura neste intervalo.

Ribeiro (2015) salienta, também, que este evento de incêndio pode estar relacionado à ocorrência do fenômeno El Niño/La Niña (ENOS – El Niño Oscilação Sul)²⁶ entre 4.200 e 3.800²⁷ A.P., o qual trouxe oscilações climáticas bruscas ao Hemisfério Sul, assinaladas por resfriamento polar, aridez nas faixas tropicais e respeitáveis alterações na circulação atmosférica.

²⁶ Sanches (2013, p. 44-46) considera o ENOS um importante fenômeno acoplado (oceano-atmosfera) “responsável pela variabilidade climática global em escalas de tempo interanuais”, possuindo duas fases distintas: “El Niño (fase quente) e La Niña (fase fria)”. A fase **El Niño (quente)** consiste no aquecimento anômalo “das águas superficiais das porções central e leste do Oceano Pacífico tropical, próximo à costa peruana”, no qual “o aquecimento das águas nessa região se dá pelo enfraquecimento da circulação dos ventos alísios, os quais promovem o aumento da temperatura das águas na costa oeste da América do Sul e no Pacífico central”. Em resumo, o El Niño traz ao continente sul-americano secas para o Norte, Leste da Amazônia e para a porção setentrional do Nordeste e chuvas excessivas para o Sul e para parte do Sudeste do Brasil (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998; SANCHES, 2013). A fase **La Niña (fria)**, é o fenômeno oposto, caracterizando o resfriamento das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial, “devido ao aumento da pressão no setor Leste (alta pressão) ... intensifica a atuação dos ventos alísios... acumulando ...as águas superficiais aquecidas na porção Oeste do Oceano Pacífico, modificando a circulação da Célula de Walker e intensificando as precipitações sobre a Oceania”. Dessa forma, a fase fria do ENOS se torna “responsável pela diminuição nas precipitações no Uruguai, pelas secas intensas no Sul do Brasil, na porção Centro-Oeste e nos pampas Argentinos e no Norte do Peru” (SANCHES, 2013; ROSSATO, 2011).

²⁷ *Examination of 50 globally distributed paleoclimate records reveals as many as six periods of significant rapid climate change during the time periods 9000-8000, 6000-5000, 4200-3800, 3500-2500, 1200-1000, and 600-150 cal yr. B.P. Most of the climate change events in these globally distributed records are characterized by polar cooling, tropical aridity, and major atmospheric circulation changes, although in the most recent interval (600-150 cal yr. B.P.), polar cooling was accompanied by increased moisture in some parts of the tropics. Estes são os períodos denominados, RCCs (Major periods of Holocene rapid climate change RCC - Coolpoles, dry tropics RCCs (6000-5000, 4200-3800, 3500-2500, 1200-1000 cal yr B.P.). During ENSO events, the Earth is subjected to massive redistributions of moisture and heat. Although this is speculative, persistent shifts in ENSO frequency may provide a modern, shorter-term analogue for Holocene RCC events* (MAYEWSKY et al., 2004, pp. 243, 249 e 252).

5.4 Evidências das flutuações paleoclimáticas na área de estudo

Os depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, estes últimos na forma de *areais* ativos, representam uma herança de clima mais seco do que o atual e fornecem importantes dados paleoclimáticos para a compreensão da paisagem do Pampa Brasileiro. De acordo com os resultados obtidos a partir das novas datações, realizadas em sedimentos eólicos coletados na área de estudo, é possível estabelecer três episódios de ressecamento climático e de reativação eólica, com mobilização e com deposição de sedimentos, durante o Holoceno (Quadro 14).

O primeiro episódio, 8.200 ± 700 A.P., quase coincidindo com o fim do Holoceno inferior (Estágio *Greenlandian* – 11.700 a 8.326 A.P.); o segundo, 5.650 ± 1.120 A.P., corresponde ao Holoceno médio (Estágio *Northgrippian* – 8.326 a 4.200 A.P.) e o terceiro e último episódio, 1.910 ± 275 A.P., correspondendo ao Holoceno superior (Estágio *Meghalayan* – iniciado há 4.200 A.P.).

Quadro 14: Datações por Luminescência Oticamente Estimulada (LOE) – Alegrete/RS ²⁸ , Brasil				
Amostra	Dose Anual (μ Gy/ano)	P (Gy) Paleodose média	Idade (anos)	Laboratório
Palma – P1T1 – 153 cm	1.550 ± 195	3,9	1.910 ± 275	Datações Comercio e Serviços – LTDA (Brasil)
Santa Luzia – P2T1 – 155 cm	1.130 ± 190	6,4	5.650 ± 1.120	
Costa Silveira – P3T2 – 147 cm	-	-	-	Institut de Recherche sur les ArchéoMATériaux – Université Bordeaux (França)
Boi-Bumbá – P4T2 – 115 cm	-	3,57	8.200 ± 700	
Fonte: Gomes (2019)				

Igualmente, os resultados obtidos corroboram com inferências de ressecamento climático, de secas acentuadas, de aridez, de semiaridez, de diminuição da umidade, etc., já propostos em outros trabalhos, realizados próximos à área de estudo ou, ainda, em zonas mais distantes, no Brasil, no Uruguai e na Argentina.

Assim, para o Holoceno inferior (11.700 a 8.326 A.P.) e próximo da área de estudo, pode-se destacar uma fase seca, árida e ligeiramente fria na transição do Pleistoceno para o Holoceno, quando o Rio Grande do Sul presenciava baixos níveis marinhos (regressão), forte atividade das correntes frias e baixas temperaturas continentais, devido ao clima predominantemente

²⁸ Como exposto na metodologia, capítulo 2, as datações por LOE foram realizadas em diferentes laboratórios (Brasil e França) a partir do mesmo método e procedimentos semelhantes, não interferindo no resultado final sobre as datações.

glacial, pelo menos até 10.000 A.P. Esta aridez deve ter persistido até cerca de 7.000 A.P. quando o clima temperado e seco tornou-se mais úmido, como reflexo da elevação dos níveis do mar, que invadiram a planície litorânea, quando da ativação do processo de transgressão marinha (Ab'Saber, 1977; Kern, 1982).

Ainda para o Holoceno inferior, Miller (1987), ao estudar os complexos arqueológicos, nas fases Ibicuí e Uruguay, observa evidências de um período semiárido, em cerca de 9.000 A.P. Milder (1994; 2000) apontou, para o período entre 9.000 e 8.500 A.P., condições de aridez acentuada no Rio Grande do Sul, a partir da correlação de curvas de temperatura instável e da sedimentação de camadas de CaCO₃ na estratigrafia da Formação Touro Passo.

Outro dado interessante é a influência das correntes atmosféricas, estudadas por Oliveira e Ribeiro (1986) e analisadas por Milder (2000), que relacionou as principais massas de ar que atuam sobre a folha SH-21 - Uruguaiana/RS e os depósitos eólicos (*loess*) na Argentina e na Região Platina, estudados por Iriondo (1997). O período analisado é amplo, mas o que vale destacar neste momento é a fase na qual ocorrem a retração das massas úmidas e o predomínio das correntes continentais representadas pela MTC, trazendo aridez e instabilidade na temperatura, entre 9.000 a 8.500 A.P., confirmando as condições de ressecamento climático inferidas até o momento, porém a partir de outro *proxy*.

Oliveira e Suertegaray (2012) inferem fase seca e quente ocorrida em São Francisco de Assis/RS, entre 9.000 e 7.500 A.P. O período foi interpretado com base em análises polínicas realizada por Behling et al. (2005), que destaca a elevação da taxa de esporos do *Phaeoceros Laevis*, musgo que está relacionado a solos secos e quentes.

O Holoceno médio (8.326 a 4.200 A.P.) compreende a segunda fase de ressecamento climático, associada à reativação eólica na área de estudo e ocorrida mais para o final do Holoceno médio, em 5.650 ± 1.120 A.P. Deste período, destaca-se a mudança ambiental, caracterizada por condições climáticas mais secas, no Sudeste do Uruguai, entre 6.620 e 4.020 B.P., sendo esta última datação determinada pela presença de um pico maciço de *Amaranthaceae/Chenopodiaceae*, juntamente com uma queda radical nas espécies de zonas úmidas, indicando período maior e mais severo de ressecamento climático (IRIARTE, 2006).

De acordo com Bombin (1976), no período entre 5.000 e 2.500 A.P., o clima marcha para condições mais secas, sendo marcado pela extinção de grandes mamíferos e pelo rebaixamento do nível de base local do Rio Uruguai, determinando menos transbordamentos e menor

acréscimo de material na várzea e marcando, ainda, o início da pedogênese. Esta fase caracteriza-se pela recorrência parcial do predomínio do anticiclone do Pacífico (seco) e pelo estabelecimento do primeiro ciclo de pedogênese na planície de inundação do Rio Uruguai.

Kern (1982) afirma que as planícies e as paisagens abertas de coxilhas cobertas de vegetação rasteira do Sul do Estado e dos Campos de Cima da Serra, embora tenham sofrido uma defasagem durante o processo de recolonização e de adensamento da cobertura vegetal típica de ambiente quente/úmido, devem ter experimentado, entre 6.000 e 4.000 A.P. um ressecamento climático, pois, apesar do clima quente, as condições de aridez e de seca impediram a vegetação de se refazer.

Lima (2012), ao estudar a linha de costa brasileira no Rio Grande do Sul, infere o início de uma fase de regressão marinha forçada, em 5.100 A.P. De acordo com o autor, as dunas se afastam da praia devido à progradação da barreira, momento no qual estas têm sua morfologia retrabalhada por dunas transgressivas, que avançam barreira adentro, em resposta aos ventos que sopram no sentido do continente (NE, E e SE). Assim, o conjunto praia/duna frontal está relacionado à progradação da barreira e o conjunto interduna/duna transgressiva está relacionado à agradação da barreira.

Para o Holoceno superior (4.200 A.P. até o presente), os dados produzidos para este estudo indicam uma fase de ressecamento climático, associada à atividade eólica, em 1.910 ± 275 A.P., demonstrando o quão recente podem ser os depósitos eólicos identificados na área de estudo. Esta evidência de ressecamento também pode ser corroborada a partir de estudos com resultados semelhantes, incluindo aquele que marcou o estabelecimento do Holoceno superior em 4.200 A.P., que corresponde a uma fase de mudanças climáticas, desencadeada por perturbações na circulação oceânica e atmosférica, ocasionando uma fase seca catastrófica global, que perdurou por dois séculos.

Bigarella (1964), Ab'Saber (1968) e Bombin e Klamt (1974) datam o início da fase seca aproximadamente em 3.500 A.P. e o fim em 2.400 A.P. para o Sul do Brasil, teoria reforçada pela datação do sítio arqueológico no município de Alfredo Wagner, no Estado de Santa Catarina, em 3.000 A.P. (BOMBIN; KLAMT, 1974). Estes últimos autores, ao considerarem solos dos municípios de Uruguaiana e de Bagé, argilosos escuros e com presença de carbonato de cálcio, medições radiométricas de C14 em fósseis de mamíferos e evidências arqueológicas,

inferem uma fase seca, ocorrida entre 3.500 e 2.400 A.P. a qual seria a responsável pela deposição de CaCO₃.

Bellanca (2002) reafirma o período de ressecamento climático, porém frio e seco, compreendido entre 3.500 a 2.400 A.P., período inferido a partir dos estudos de Corrêa (1990) sobre regressões e transgressões marinhas, ocorridas no litoral do Rio Grande do Sul, no qual o teórico sustenta que: “em 3.500 A.P., o mar regride a -6/-10m, em relação ao nível atual, reforçando a hipótese de um resfriamento climático e do consequente ressecamento”.

Os estudos realizados por Pillar e Bauermann (2005), no município de São Francisco de Assis/RS, demonstram três picos de redução de pólen relacionados à floresta, podendo-se inferir as condições secas que impediram a expansão de florestas galerias: o primeiro período ocorre em cerca de 7.500 B.P.; o segundo, em 4.000 B.P.; e o último, aproximadamente em 2.000 anos B.P., o que pode ser interpretado como uma variação eventual de condições climáticas secas, em um curto espaço de tempo.

Evaldt, Bauermann e Souza (2014) e Evaldt (2013) realizaram estudos no município de Barra do Quaraí/RS (Parque Espinilho) e identificaram a diminuição da umidade e o aumento da temperatura entre os anos de 2.328 e 2.262 A.P., dado trazido a partir da reconstrução paleovegetacional do remanescente da Savana Estépica Parque. Ribeiro (2015) registra uma fase seca, entre 4.017 e 4.232 A.P., a partir da análise de carvão vegetal em turfeira de ambiente lagunar, na planície costeira do Sul do Brasil.

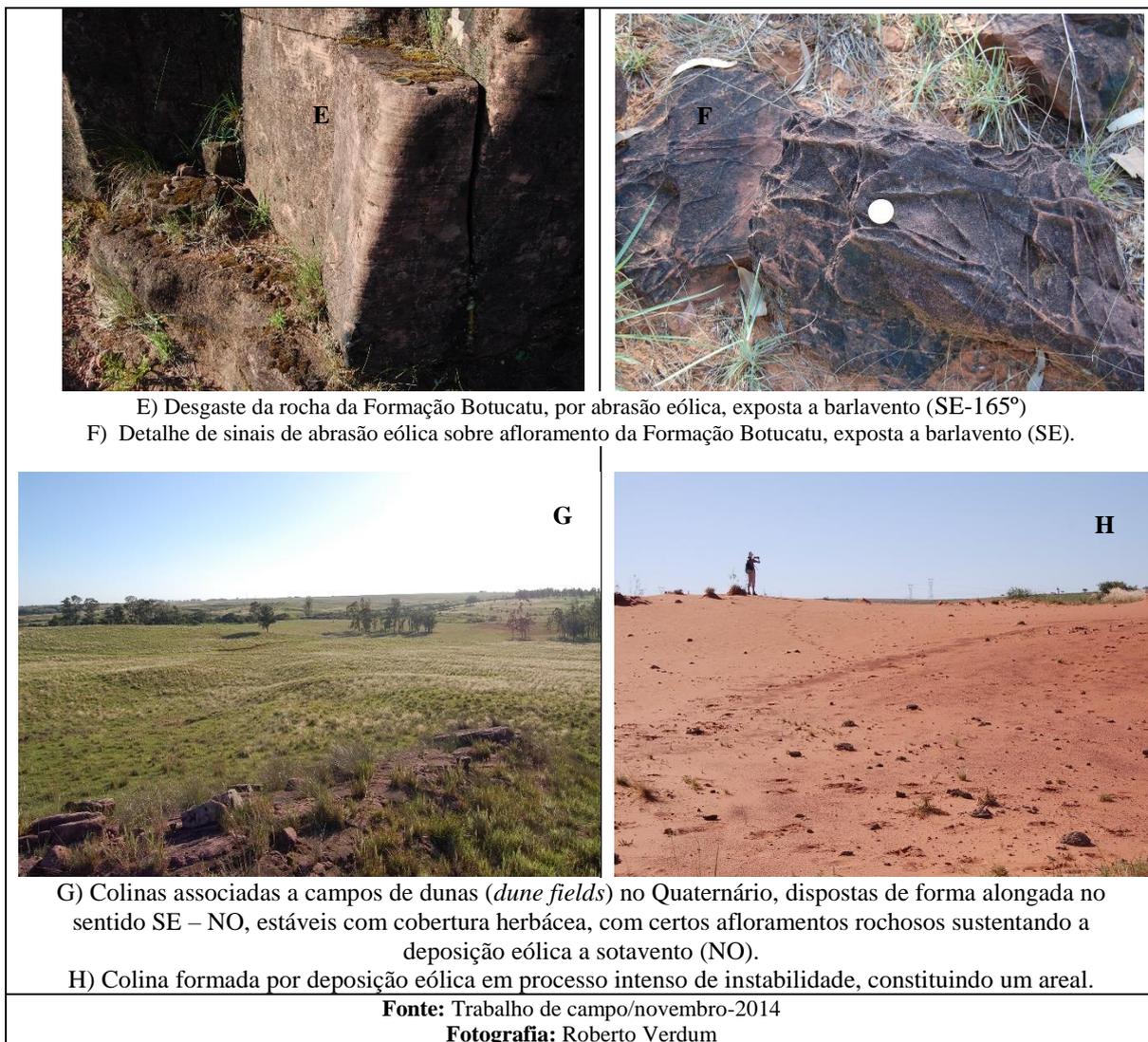
Todo o levantamento sobre as flutuações climáticas ocorridas na região que abrange a área de estudo, durante o Holoceno, e especialmente as evidências de ressecamento climático, corroboram com os resultados obtidos a partir das novas datações, visto que foram identificados três picos de ressecamento, um para cada estágio do Holoceno. Esses máximos de ressecamento podem ser, também, associados e evidenciados a partir da morfologia dos depósitos eólicos e pelas características granulométricas dos sedimentos eólicos analisados. Igualmente, a morfologia dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis reflete as características dos sedimentos e do sentido dos ventos.

O sistema eólico estudado representa um respeitável registro de flutuações climáticas ocorridas regionalmente, durante o Holoceno. Corresponde à acumulação de areais supridas, talvez, do rio Ibicuí ou associadas ao contexto geológico/litológico ou, ainda, associadas ao material eólico da Unidade B, também de idade Holocênica e ambiente seco, as quais foram transportadas por ventos de SE. Ainda que o estabelecimento dos depósitos possua forte

influência climática, o domínio topográfico e estrutural deve ter favorecido a acumulação das areias eólicas, como, por exemplo, os depósitos identificados, ancorados em afloramentos rochosos do Botucatu ou do Guará.

A Figura 57 compõe um mosaico de imagens que ilustra os processos de formação dos depósitos eólicos, sobretudo ilustra a ação eólica, enquanto agente pretérito. Também ilustra os depósitos eólicos instáveis, reativados por processos morfodinâmicos contemporâneos, de clima úmido, como, por exemplo, na fotografia A. As fotografias revelam ventos oriundos do quadrante SE, conforme levantamento dos depósitos/feições eólicas, ancoradas em proeminências do relevo (afloramentos) ou na forma de colinas alongadas.





A partir da relação entre a distribuição dos pontos de coleta, do sentido de deslocamento das areias (inferido pelo sentido de paleoventos e pelo aspecto granulométrico) e das diferentes temporalidades dos depósitos eólicos, pode-se supor que a dinâmica de mobilização de material e de deposição tenha ocorrido ao longo do Holoceno, durante os três picos de ressecamento (8.200 ± 700 ; 5.650 ± 1.120 ; e 1.910 ± 275), pela mobilização de material de SE para NO.

As areias de P1 (situado no quadrante NO da área de estudo) são mais bem classificadas, sendo partículas mais jovens e finas e composta por cerca de 64% de Areia Fina. As areias de P2 (54% de areia fina, do quadrante SO) e de P3 e de P4 (57% e 54% de areia fina, respectivamente, do quadrante SE) são mais antigas, sendo que há um ordenamento na seleção

de partículas no sentido SE/NO, ou seja, quanto mais situadas à NO, mais bem classificadas são as partículas.

Em coleta de campo, a escavação dos perfis tocou em fragmentos de rochas, ao atingir uma profundidade média de 1,50 m, sem exceção. Supõem-se que os depósitos se conformam como um manto de areia de pouca espessura, caracterizando a camada mais externa sobre a superfície como a última a ser depositada. Ainda, ao classificar a morfologia dos depósitos estudados como campos de dunas (*dunefields*) e atribuindo-se a mesma classificação aos depósitos eólicos existentes na Argentina e no Uruguai, pode-se inferir que os campos de dunas do Pampa Brasileiro estão associados a contextos dinâmicos regionais mais amplos, relacionados às dimensões dos Pampas Argentino e Uruguaio.

A Figura 58 compõe um mosaico de fotografias que ilustra colinas associadas a campos de dunas do Quaternário, dispostas de maneira alongada, estáveis e com cobertura herbácea, com ravinamentos e com alguns afloramentos rochosos sustentando a deposição eólica. Também é possível observar espaços interdunas (vales secos).





O próximo capítulo abordará a questão climática atual, a mudança de uso da terra e, ainda, como essas duas variáveis associadas afetam a dinâmica morfogenética dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, estes últimos na forma de *areais* ativos. O capítulo apontará as características principais do clima atual, o que é importante para a compreensão da dinâmica erosiva hídrica, em estações mais chuvosas, e a dinâmica erosiva eólica, em estações secas.

A mudança de uso da terra na região estudada vem crescendo desde a década de 1970, principalmente pela conversão de campos nativos (utilizados para a pecuária, aptidão primária do Pampa) em solos agricultáveis (destinados ao cultivo de monoculturas, como arroz, milho, trigo, soja e, recentemente, ao plantio de eucalipto).

A questão global é que a região de ocorrência dos depósitos eólicos historicamente desenvolve atividades relacionadas à pecuária extensiva e a mudança do uso da terra para solos agricultáveis, com características arenosas, agrava os processos de degradação da terra. Assim, faz-se necessário avaliar as limitações e as fragilidades do meio, bem como a pressão dos padrões agrícolas exercidos sobre os recursos, analisados a partir das fases de ocupação do território e suas variáveis (VERDUM, 1997).

6

DINÂMICAS CLIMÁTICAS E AGRÍCOLAS QUE POTENCIALIZAM OS PROCESSOS EROSIVOS-DEPOSICIONAIS NAS FEIÇÕES EÓLICAS EM ÁREA DE ARENIZAÇÃO

Este capítulo visa expor o contexto das dinâmicas climáticas atuais e das mudanças de uso da Terra na área de estudo, que possui como aptidão primária a pecuária e que, *a posteriori*, experimentou a instalação das monoculturas de grãos e arbóreas. Assim, abordam-se, inicialmente, as relações entre as dinâmicas climáticas e meteorológicas e, posteriormente, as dinâmicas agrícolas do passado recente (da década de 1970) e as atuais, sendo que tais dinâmicas potencializam a degradação das feições eólicas identificadas na área de estudo.

6.1 Dinâmicas climáticas e meteorológicas que potencializam os processos erosivos-deposicionais nas feições eólicas

Inicialmente, faz-se necessário situar o leitor quanto aos sistemas atmosféricos (massas de ar) que atuam na região Sul do Brasil, os quais definem a gênese e determinam os diferentes tipos de tempo. A Figura 59 ilustra o campo de ação das quatro principais massas de ar que atuam sobre o Brasil Meridional.

De acordo com Rossato (2012), este contexto de massas de ar, ordenadas pelos sistemas de circulação do Hemisfério Sul, associado à estruturação do relevo, determina as três grandes correntes de perturbação (zonas depressionárias) que cruzam a região Sul. Rossato (2012) também ressalta que o Estado se situa em zona climática de transição, pois suas características climáticas refletem a participação de Sistemas Extratropicais (massas e frentes polares) e de Sistemas Intertropicais (massas tropicais e correntes perturbadas pelas decorrentes), observando, ainda, que a posição subtropical faz com que o Estado esteja em área de confronto entre forças opostas, sumarizado pelo avanço dos sistemas atmosféricos de origem polar em direção aos polares tropicalizados (Massa Polar Velha) ou ao sistemas de origem tropical (Ta e Tc), trazendo chuvas distribuídas durante o ano todo, sem ocorrência de estações secas (SARTORI, 2003; ROSSATO, 2012).

Figura 59: Principais massas de ar que atuam sobre o Brasil Meridional

Massa Tropical Atlântica (Ta)	Massa formada no Atlântico Sul, quente, úmida e com tendências à estabilidade pela subsidência superior da Alta Subtropical do Atlântico Sul
Massa Polar Atlântica (Pa)	Massa formada de ar polar marítimo sobre o oceano Austral ao norte de 65°S, mais pronunciada no inverno, porém com forte atuação durante o ano todo.
Massa Equatorial Continental (Ec)	Massa formada na planície amazônica sobre o continente aquecido; quente e úmida, afeta a Região Sul durante o verão
Massa Tropical Continental (Tc)	Massa de ar associada à Baixa do Chaco, é caracterizada por baixa umidade aliada à forte subsidência da Alta da Bolívia (circulação superior), o que dificulta a formação de nuvens (NIMER, 1989)

Fonte: Rossato (2012 p. 386)

De maneira geral, os tipos climáticos estabelecidos para a região Sul (Figura 60) são controlados por sistemas tropicais e polares. No entanto, de pronto nos interessa expor a classificação climática, sobretudo no sentido de explicitar o comportamento habitual do clima para a zona que abrange o objeto de estudo dessa tese, o Sudoeste do Estado.

relevo (Cuesta do Haedo), sendo os sistemas frontais os responsáveis pela maior parte das precipitações.

Embora considere-se alta a precipitação média anual (de 1.400 a 1.700mm/ano), estas ocorrem em 70-90 dias de chuva, concentrando-se em poucos dias ao mês (6 a 9 dias), nos meses de outono e de primavera. Já a temperatura média anual varia entre 20 e 23°C, com temperaturas médias mensais oscilando entre 11 e 14°C (no mês mais frio) e entre 23 e 29°C (no mês mais quente). Estes dados evidenciam a má distribuição da precipitação para esta tipologia climática, contrapondo-se à classificação anterior, dita de chuvas bem distribuídas.

Os dados sobre a distribuição mensal de chuvas confirmam a má distribuição da precipitação, quando se constata que a concentração pode ocorrer de maneira reduzida em 3 a 6 dias, nos meses de maio, de agosto e de dezembro. No mês de agosto, além da redução de dias, registra-se a diminuição do volume da precipitação (entre 75 e 115mm). Meses de outono e de primavera registram maior volume de chuva mensal, entre 115 e 155mm (ROSSATO, 2012).

Um dos fatores que contribui para essa dinâmica de redução da precipitação nesta zona climática é a trajetória dos sistemas frontais em contato com as formas de relevo, pois a orientação do *front* da Cuesta do Haedo (reverso, na direção NO) e a posição do Escudo Sul-rio-grandense formam um corredor, permitindo a entrada dos sistemas frontais na região do vale do rio Santa Maria. Estes sistemas frontais, ao se confrontarem com as altas topografias do *front* de cuesta, colocam o ar em movimento de ascendência, favorecendo a formação de nuvens e de precipitação em maior quantidade, distribuídas em mais dias. Por tal razão, as chuvas são mais frequentes no *front* da cuesta, restringindo-se em direção ao reverso (ROSSATO, 2012).

Outro fator que caracteriza a tipologia climática em questão é a orientação de entrada desses sistemas frontais, durante o verão. Rossato (2012) afirma que, devido ao maior aquecimento do continente, a Frente Polar Atlântica (FPA) transpõe a cordilheira dos Andes pelo extremo Sul, com orientação NNW-SSE e, ao transpor os Andes, a Frente Polar (FP) toma orientação NW-SE, avançando para NE. Ao atingir a região do Chaco, um centro de baixa pressão impede sua progressão pelo interior. Assim, a Frente Polar (PF), ao entrar em contato com a convergência dessa baixa, entra em dissipação, reduzindo a quantidade de dias de chuvas (MONTERIRO, 1968; ROSSATO, 2012)

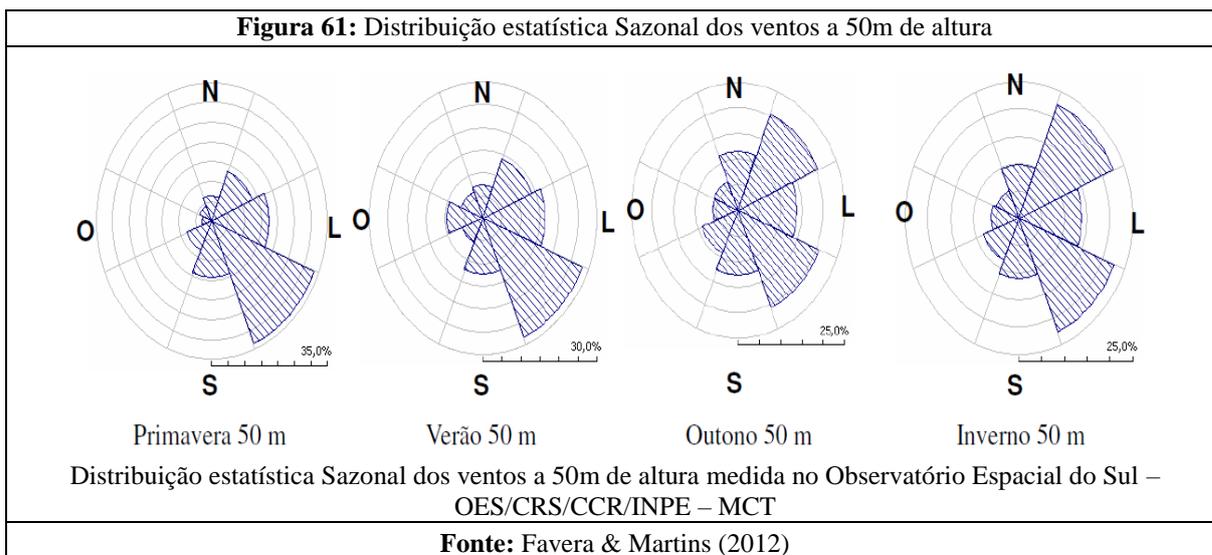
No entanto, quando há a entrada da Frente Polar Atlântica pelo Oeste, pela região do município de Uruguaiana, o afronte térmico entre o ar quente continental, que cobre a região, e o polar, que chega, favorece a formação de grandes nuvens e de precipitações intensas e de curta duração. Destaca-se que o afronte térmico entre as massas de ar conduz o deslocamento rápido da frente, implicando a redução dos dias de chuvas. Além disso, a continentalidade causa uma baixa significativa na temperatura média, durante o inverno, reduzindo os valores médios anuais. No verão, os sistemas associados à massa Tropical Continental (Tc) transportam ventos quentes de Oeste, elevando a temperatura da região e ocasionando chuvas convectivas rápidas e isoladas (ROSSATO, 2012).

Favera e Martins (2012) afirmam que, no escoamento atmosférico sobre o Rio Grande do Sul, prevalecem os efeitos da dinâmica entre o anticiclone subtropical Atlântico, os intermitentes deslocamentos de massas polares e a depressão barométrica do Nordeste da Argentina. Os mesmos autores ainda descrevem que o anticiclone subtropical Atlântico é um centro de alta pressão, de posição média anual de 30°S e 25°O e que, em razão desse centro, os ventos predominantes circulam de Leste-Nordeste, sobre toda a área do Brasil situada abaixo da latitude 10°S.

Considera-se, para o Rio Grande do Sul, a depressão barométrica do Nordeste da Argentina um importante fenômeno, pois trata-se de uma zona praticamente permanente de baixas pressões, comumente estacionária, a Leste dos Andes, cuja posição anual média é de aproximadamente 29°S e 66°O. Dessa maneira, o gradiente de pressão atmosférica entre a depressão do Nordeste da Argentina e o anticiclone subtropical Atlântico força um escoamento constante de Leste-Nordeste, ao longo de todo o Sul do Brasil (FAVERA; MARTINS, 2012).

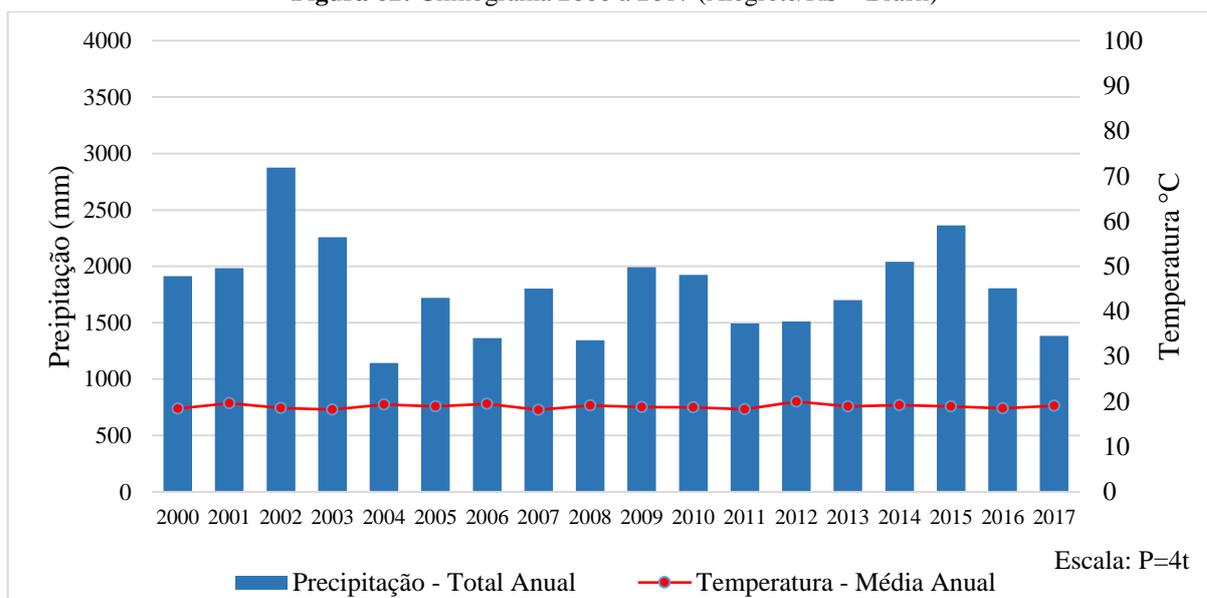
Além disso, estes mesmos autores avaliam que, para além dos regimes dominantes de ventos, é importante ponderar sobre o efeito da dinâmica das circulações sobre o Rio Grande do Sul, sobretudo as intermitentes passagens de frentes frias, que se intensificam no inverno e na primavera. O Minuano apresenta como características ser um vento forte, frio e cortante, que sopra de SW sobre a Campanha, com duração aproximada de três dias a cada passagem de massa polar.

A Figura 61 indica as direções de ventos para a região central do Estado, distante cerca de 160 Km da área de estudo, sendo observadas as diferentes estações do ano.



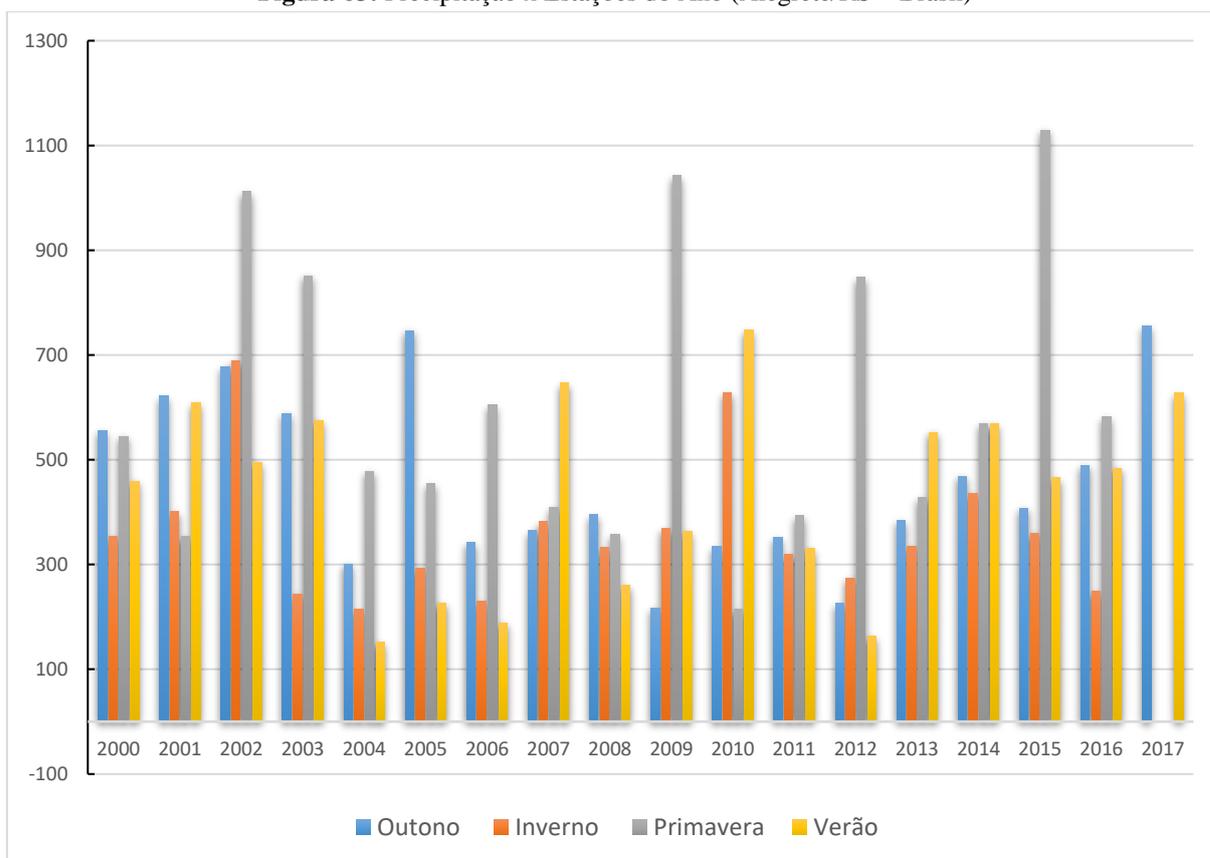
De acordo com Favera e Martins (2012), os ventos apresentam maior frequência na direção Sudeste (SE), ao longo do ano, porém, durante o outono e o inverno, a direção Nordeste também apresenta alta frequência de ventos. No entanto, observa-se que a direção Sudeste (SE) é claramente predominante na primavera e no verão, entretanto o mesmo não ocorre quando analisados o outono e o inverno. Nestes, há duas direções predominantes e com frequências muito próximas, Nordeste (NE) e Sudeste (SE).

A Figura 62 e a Figura 63 expõem, respectivamente, o climograma da temperatura e da precipitação total anual e o gráfico da precipitação para as estações do ano, sendo que ambos os gráficos expressam dados colhidos entre 2000 e 2017, registrados para a área de estudo, no município de Alegrete.

Figura 62: Climograma 2000 a 2017 (Alegrete/RS – Brasil)

Fonte: Séries temporais de dados *The Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM*, disponíveis em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/series/informacoes.php>
Elaboração: a autora, Gomes (2019)

A média anual de chuvas é de cerca de 1.700 mm/ano e o volume de chuva para o período analisado varia de 1.143 a 2.874 mm/ano. Os anos mais chuvosos foram registrados em 2002, 2003, 2009, 2010, 2014 e 2015. Os mais secos, em 2004, 2006 e 2008. O trabalho de Rossato (2011) demonstrou que há uma má distribuição da precipitação no Sudoeste do Estado, sobretudo nos valores das chuvas mensais. Já o gráfico da precipitação em relação às estações do ano, Figura 63, apresenta as estações de inverno e de verão como sendo as menos chuvosas e as de outono e de primavera, as mais chuvosas.

Figura 63: Precipitação x Estações do Ano (Alegrete/RS – Brasil)

Fonte: Séries temporais de dados *The Tropical Rainfall Measuring Mission* - TRMM, disponíveis em:

<http://www.dsr.inpe.br/laf/series/informacoes.php>

Elaboração: a autora, Gomes (2019)

Para análise dos processos erosivos, sob a ótica da geomorfologia dinâmica, é relevante observar os dados de precipitações diárias e mensais, por esses parâmetros serem significativos para a compreensão efetiva dos processos. Verdum (1997), com o propósito de aprofundar a relação entre condição climática e processos erosivos, estabelece a variabilidade de dados pluviométricos de média diárias e mensais na estação Ponte do Miracatu (município de São Francisco de Assis), no período entre 1971 e 1992, verificando a intensidade da ocorrência de meses secos e de episódios pluviosos (ATLAS DA ARENIZAÇÃO, 2001).

Os resultados mostraram que podem haver precipitações diárias de até 110mm em cada ano, não importando o mês. Podem ocorrer fortes precipitações diárias na primavera (em setembro, em outubro e em novembro), no outono (em março, em abril, em maio e em junho) e no mês de julho, no inverno, sendo que os meses de abril e de novembro apresentaram as mais fortes precipitações diárias, no período analisado. Os meses de dezembro, de janeiro, de fevereiro e de agosto apresentaram uma considerável redução nas precipitações. Este

comportamento pluviométrico apresenta distintas consequências, sendo a principal delas o desencadeamento das fases de saturação do solo e de escoamento superficial concentrado, principal agente erosivo do tipo ravina, francamente ligado à gênese dos areais (ATLAS DA ARENIZAÇÃO, 2001).

A Figura 64 aponta as precipitações mensais no período entre 2000 e 2017, no município de Alegrete/RS. Os meses que registraram elevada precipitação (acima de 200mm), e nos quais podem ter ocorrido chuvas diárias de 20mm (de forte potencial erosivo), foram os meses de setembro, de outubro e de novembro, em especial. O volume de chuva também foi significativo em março, em abril e em maio. Os meses de abril e de novembro apresentaram os maiores volumes, chegando a 661 mm no mês de novembro, ratificando a premissa de ocorrência de maior volume de precipitação nesses meses. Os meses que apresentaram menor precipitação (abaixo de 100mm) e nos quais podem ter ocorrido chuvas diárias de 3mm (de baixo potencial erosivo), foram os meses de junho, de julho e de agosto.

Figura 64: Volume da precipitação - Mensal (2000 a 2017) – Alegrete/RS – Brasil

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2000	106,4	95,5	257,2	118	240,6	197,6	76,53	64,15	213,2	187,4	233,5	123,6
2001	313,3	114,5	180,7	412,4	74,23	134,7	97,13	73,33	230,2	142,6	156,7	53,73
2002	54,18	119,6	321,3	319,3	200,9	157,4	229	183,4	277,3	463,3	242,5	306,6
2003	127,5	252,4	194,8	323,7	108,2	156,5	96,95	85,58	61	277	269,3	305,2
2004	53,8	68,4	28,88	160,3	48,28	91,85	62,15	40,63	111	197,6	177,1	103,1
2005	124,7	28,5	73,35	304,4	282,2	159,6	34,58	109,3	149,6	228,4	114,5	111,7
2006	80,33	17,1	91,33	127,6	92,23	122,3	68,18	43,08	118,1	184	221,3	199,2
2007	124,5	245,9	276,2	165,8	84,5	114,7	70,55	121,2	189,7	265,5	75,7	67,28
2008	84,38	129,8	46,23	148,6	98,88	147,9	150,8	91,95	89,83	291,6	46,4	18,7
2009	94,75	186,4	81,43	37,83	146,6	33,03	54,95	103,7	209,6	156,7	661,8	224,1
2010	484,5	212	51,33	147,4	143,3	43,68	362,9	28,3	237	51,33	45,95	116,5
2011	130,8	134,8	64,93	207,8	111,7	132,2	130,6	86,68	101,5	180,1	97,05	116,5
2012	26,95	103,2	32,6	140,5	24,05	61,4	56,65	102,3	114,2	434,3	46,78	367
2013	112,3	247,9	192,2	170,9	147,3	66,78	160,2	90,5	84,08	117,4	268,5	41,68
2014	195,8	165,8	206,6	86,6	222,4	159,3	196,2	24,5	213,9	207,8	134,9	226,3
2015	244	108,8	112,8	77,58	197,5	132,9	106,7	146,1	107,5	430,4	222,7	476,4
2016	118,9	152,8	212,3	300,1	101,4	88,28	127,3	97,8	23,13	266,4	189,6	126,1
2017	216,1	250,8	160,1	291,2	347,9	116,2						

Fonte: Séries temporais de dados *The Tropical Rainfall Measuring Mission* - TRMM, disponíveis em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/series/informacoes.php>

Verdum (1997), ao estreitar conexões entre as condições climáticas e os processos erosivos/depositivos da arenização, verificou a intensidade da ocorrência de meses secos e de episódios chuvosos, além de indicar a relação entre a variabilidade pluviométrica e os períodos de diminuição no nível dos cursos d'água e nos de recarga dos reservatórios subterrâneos, o que facilitou a compreensão do hidrossistema e que se mostrou importante para o entendimento dos eventos atmosféricos de grande intensidade e as cheias, que revelam as fases do escoamento concentrado, bruscas e potentes (VERDUM; SUERTEGARAY, 2012).

As Figuras 65A e 65B ilustram feições erosivas que promovem processos morfogenéticos sobre as superfícies frágeis, do ponto de vista litopedológico, sendo observáveis em processos do tipo ravinas e voçorocas, associadas a depósitos eólicos quaternários estáveis ou instáveis.



Este é o panorama geral das condições climáticas atuais no sudoeste do Rio Grande do Sul, região que guarda amplos campos de coxilhas, cobertos por vegetação rasteira ou de pequeno porte, com exceção das áreas de mata ciliar, ao longo da rede de drenagem e nas vertentes, junto aos relevos testemunhos. Esta paisagem ainda guarda, como relictos do passado, os depósitos eólicos continentais estáveis, que, em condições climáticas contemporâneas, estão sujeitos aos processos erosivo superficiais e subsuperficiais. A partir do

escoamento concentrado, inicia a ocorrência de degraus de abatimento, que, na sequência, evoluem em ravinas e em voçorocas, dando início ao processo de arenização, com a formação de *areais*. Estes estão sujeitos à ação eólica, que remobiliza, transporta e deposita as areias, conforme a sua capacidade aerodinâmica e de ancoragem.

6.2 Práticas agrícolas que potencializam os processos erosivos-deposicionais nas feições eólicas

Sendo este um dos objetivos da pesquisa, este capítulo procura desvelar a relação entre sociedade e natureza, absorvendo novas variáveis, especialmente aquelas relacionadas às atividades econômicas ligadas à agropecuária (a pecuária extensiva e o cultivo de monoculturas, como arroz, milho, trigo, soja e, recentemente, o plantio de eucalipto), fundamental para o setor do agronegócio em expansão em todo o território nacional e, mais especificamente, na área de estudo e em seu entorno.

O sul do Rio Grande do Sul é a região que tradicionalmente desenvolve a pecuária extensiva, no entanto os agricultores vêm transformando suas fazendas, através da produção do arroz (nas várzeas), de pastagens artificiais, de milho, de trigo e de soja (nas colinas), e, por último, vêm favorecendo o plantio de novas monoculturas arbóreas exóticas, como a do eucalipto. Neste espaço subtropical, a intensificação desses cultivos é acompanhada por pressões sobre os recursos hídricos e sobre os solos, que são particularmente sensíveis à erosão, sobretudo na área de estudo (CORBONNOIS et al., 2014).

Para Corbonnois et al. (2014), apontar como as mudanças na produção agrícola afetam os sistemas ambientais (solo, água, vegetação, biodiversidade, etc.), a partir da quantificação da dinâmica do uso da terra, é desafiador e essencial para registrar e para entender essas mudanças, uma vez que também é preciso compreender como os atores locais (agricultores) e os atores públicos tomam consciência do fenômeno da degradação ambiental e se são capazes de modificar suas práticas, adotando outro tipo de gestão no uso dos recursos naturais, para buscar algum nível de qualidade ambiental.

Verdum (1997), ao desenvolver estudos na região de ocorrência de areais, ressalta que, para avaliar a degradação da terra, as limitações e as fragilidades do meio, bem como a pressão dos padrões agrícolas exercidos sobre o meio, é necessário analisar as fases de ocupação do território (Quadro 15), ao lado de dados estatísticos. A análise destes dados permite

compreender a diferenciação das formas de pressão, com base na diversidade de processos históricos, na persistência das práticas agrícolas e no estudo da intensificação da pecuária extensiva e da agricultura mecanizada especulativa.

Quadro 15: Distribuição das diferentes formas vegetacionais e a transformação dos Campos limpos durante as fases de ocupação do território		
Campos limpos (herbáceos)	Observados sobre o Planalto Basáltico e sobre as colinas suaves da Depressão Periférica	Origem da vegetação herbácea Corresponde a um estoque de vegetação terciária. Entre o Terciário e o Quaternário, essa vegetação aberta, sujeita a mudanças paleoclimáticas, segue fases alternadas de expansão e regressão. Forma dominante de savanas e estepes. Representam, atualmente, formações relíquias remanescentes do passado, inserida em uma paisagem típica de clima úmido.
Floresta Galeria	Observada nos vales húmidos da Depressão Periférica	
Floresta	Observada nos vales e sobre o Rebordo do Planalto Basáltico, relevos tabulares e Depressão Periférica.	
Primeiras formas de exploração dos Campos limpos Uma utilização social da natureza		
Os indígenas e a exploração biológica dos Campos limpos	A exploração biológica teve como característica uma relação muito próxima com os ambientes naturais. Os Guaianás e Caingangues (etnias Gê) situados no setor florestal no Centro e Norte do atual Estado, praticavam principalmente a agricultura de subsistência. Minuanos e Charruas (etnias Chanás) povoaram os Campos Limpos, praticavam a caça e a mudança de cultivo em corte e queima.	
A tradição agropastoril e as Missões Jesuíticas sobre os Campos limpos	A atividade agropastoril, desenvolvida e estabelecida a partir do século 17 pelas Missões Jesuíticas, constituiu uma das estratégias territoriais da coroa espanhola. Foi incentivada pelos jesuítas, a fim de apropriar-se do espaço disputado por Portugal. Teve origem no atual território do Paraguai. A partir deste núcleo, foram estabelecidas missões na região delimitada pelos rios Paraná e Paraguai, e no Oeste dos atuais estados do Paraná e do Rio Grande do Sul. Os Jesuítas fundaram, início do século 18, os Sete Povos das Missões (Santo Ângelo, São Borja, São João, São Lourenço, São Luís, São Miguel e São Nicolau). A organização dos grupos de povoamento teve no seu auge uma população considerável, em 1732, cerca de 39.343 pessoas formando 9.835 famílias. (VALVERDE, 1956). As Missões Jesuíticas combinaram sua organização econômica com os hábitos comunitários indígenas. Cultivavam milho, batata, mandioca, algodão, feijão, legumes e trigo. Praticavam rotação da terra, onde depois de alguns anos de cultivo, a terra era deixada em repouso e uma vegetação herbácea secundária ("capoeira") a cobria. Índios de algumas missões, melhor equipados, já usaram a aragem da terra. Já o gado, estes foram criados ao ar livre, sob dois sistemas: 1) "estancias", onde o gado era deixado em pastagens naturais limitada por rios, florestas, etc.... 2) "vacarias", que não eram estritamente falando um sistema de criação, mas uma caça de animais selvagens. Estes dois sistemas de exploração do gado deram seguimento a exploração do couro e depois a carne seca. Durante esse período as missões foram palco de lutas, incêndios e saques, resultante das incursões dos bandeirantes (exploradores portugueses) de São Paulo e depois de portugueses e espanhóis. Eles lutaram juntos para enfraquecer os centros de resistência contrário aos interesses e ambas as coroas, o que levou por fim, a definição das fronteiras entre Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. Durante a retirada dos jesuítas e indígenas, depois da primeira metade do século 18, os animais abandonados se reproduziram livremente no Noroeste do atual RS. Os rebanhos livres formaram a base do	

	rebanho dos Campos Limpos foram recuperados e encaminhados ao SO do Estado pelos proprietários portugueses.
Estabelecimento e organização do atual espaço rural	A origem da organização do espaço rural do RS remonta ao estabelecimento da fronteira política entre Brasil e Uruguai, início do século XIX – 1828, ratificada 1851. A apropriação e o povoamento do sudoeste do Estado deram-se pela distribuição de títulos de extensas propriedades e na exploração da vegetação herbácea para pecuária. A ocupação do território era política militar, baseada na concessão de títulos denominados "sesmarias" (cerca 13.000 ha). Esta estratégia é considerada a primeira forma concreta de divisão de propriedade do RS, determinando a tradição da prática da pecuária extensiva sobre os Campos Limpos. É desta primeira fase da divisão da terra que a economia agrícola do RS vai além da fase exclusiva de exploração da pecuária. O "Latifúndio" (<i>latifundium</i>) da pecuária extensiva representa tanto o elemento fundiário que sustenta a estrutura espacial da formação do Estado, quanto a projeção de uma economia voltada para o mercado nacional e Internacional (PESAVENTO, 1977). No entanto, mesmo naquela época, a prática da pecuária pode ser considerada tradicional, caracterizada, por propriedades que cobriam grandes áreas delimitadas por algum obstáculo natural, onde o gado vagava livremente por essas propriedades. Segundo Pebayle (1974), os latifúndios são o legado de uma tradição de criação extensiva em imensas extensões de campos. A prática pastoril implica uma relação direta entre a lucratividade e o número de hectares da fazenda.
A diversificação das atividades econômicas e a apropriação das culturas do setor tradicional da pecuária	
<p>Na segunda metade do século 19 as "fazendas" assumem a forma de uma unidade de negócios com fins lucrativos, devido à crescente demanda dos produtos do Estado (carne seca, couro e trigo) pelo mercado interno nacional. Além disso, a partir de 1870, o cercamento dos campos fortaleceu o <i>status</i> de propriedade rural. No século 18, carne e couro, produtos da atividade pastoril, já haviam conquistado o mercado do sudeste brasileiro, onde a mineração estava se desenvolvendo, havendo então, uma evolução da atividade pastoril fortalecendo a estrutura agrária baseada na grande propriedade. O aparecimento do cultivo do trigo representa uma nova fase no processo de ocupação, para a diversificação agrícola e organização do espaço agrário, levando à colonização de terras ainda não povoadas e à integração do centro-sul do Rio Grande do Sul. As fases das imigrações, alemães (1824) e italianos (1875), representam o começo de uma economia de subsistência baseada na diversificação de culturas em regime de pequena propriedade (PESAVENTO, 1977). Os alemães se beneficiaram de concessões de terras entre 48 e 77 ha e os italianos receberam concessões de 24 ha. Estas concessões correspondem a um tipo de economia que a pecuária extensiva de latifúndios, levando a uma divisão da organização da área agrícola do Estado, estabelecendo duas sociedades: 1) sociedade de criadores, que desenvolveu as suas atividades nos chamados Campos Limpos, oeste do Estado e, 2) sociedade de agricultores, que praticavam exclusivamente a agricultura em uma área originalmente formada por florestas, a "mata", caracterizando um tipo de <i>terroir</i> com encostas íngremes, a "serra" (montanha) ou "encosta" (escarpa). Essa área denominada "Colônia" é ocupada por pequenos agricultores confinados nas encostas íngremes do centro-norte do Estado (PEBAYLE, 1974). A dicotomia do espaço agrário do RS se caracteriza por estas formas distintas de exploração (pecuária e agricultura), divisão da propriedade fundiária (latifúndio e minifúndio) e relações geográficas. Desta forma, esta nova organização agrícola a partir da instalação de Colônias no setor norte do Estado destaca o início da perda da hegemonia da sociedade de criadores de gado do Sul. A perda da hegemonia e declínio se deve tanto à presença de uma nova área agrícola, a Colônia, que contribui cada vez mais para a diversificação da produção, como para sucessivas crises do setor pecuário do Rio Grande do Sul, aliado a competição com os países platinos (Uruguai e Argentina).</p>	
<p>Fonte: Verdum (1997) Tradução e organização: Gomes (2019)</p>	

Das primeiras formas de apropriação às formas contemporâneas de exploração dos recursos naturais, a partir da pecuária e da produção agrícola, pode-se dizer que os índios pouco transformaram a paisagem original, pois as pequenas populações nativas utilizavam apenas

instrumentos rudimentares, como, por exemplo, o machado de pedra polida. Do mesmo modo, no século XIX não se pode falar de um território organizado, de uma base econômica que possa representar identidade regional, pois os conflitos e a indefinição da fronteira política entre as coroas portuguesas e espanholas não permitiram a organização de uma área agrícola no Rio Grande do Sul. No entanto, pode-se falar de uma pressão agrícola real sobre os Campos Limpos, a partir da década de 1970, com o estabelecimento de culturas mecanizadas, facilitada pelo relevo suave das colinas cobertas, pela vegetação herbácea e pelo fácil manejo dos solos (VERDUM, 1997).

As pastagens naturais, em colinas cobertas de herbáceas, sempre foram utilizadas para a criação de gado, cuja tradição foi introduzida pelos missionários jesuítas, desde o século XVII. A pecuária predomina até os dias atuais, entretanto a introdução de cultivos alimentares, sobretudo o desenvolvimento de culturas agroindustriais, desde o século XIX, mudou a forma de ocupação da zona rural. Os criadores de gado dos Campos Limpos passaram a dividir o espaço com os agricultores do Planalto Meridional (Planalto Basáltico), situado ao Norte do Estado ou optaram pelo cultivo de grãos. Os agricultores migrantes introduziram práticas mecanizadas na região, o que acentuou a pressão dos processos erosivos sobre os solos arenosos friáveis e sobre a vegetação herbácea, já sujeitos ao manejo de corte e de queima, praticada pela pecuária extensiva (VERDUM, 1997).

6.3 Avanço da agricultura mecanizada sobre os campos do Sudoeste a partir de 1970, as culturas temporárias e a silvicultura em foco.

Impulsionados em países subdesenvolvidos, a partir da década de 1960, os pressupostos da “Revolução Verde” fundaram a premissa do atraso na agricultura, relacionado à baixa produtividade da terra e da mão-de-obra. Transversalmente, ainda se organizou o pensamento centrado na Investigação e na Transferência de Tecnologia, elevando o pensamento da homogeneização do setor agropecuário, absorvendo a ideia de alta produtividade, tanto para os grandes quanto para os médios e pequenos estabelecimentos agrícolas (ANDREATTA, 2009; FERREIRA, 2012).

Andreatta (2009) recorre a Belik e Paulilo (2001); a Cardoso (1994); a Fontoura (2000); a Frantz (1982); a Mielitz Netto (1994); e a Carrer et al. (2017), afirmando que, nas décadas de 1960-1970, o Brasil também passa a investir em projetos de desenvolvimento, por meio da

implementação de políticas públicas para o setor agropecuário, visando o uso intensivo da tecnologia para eliminar as diferenças regionais, incentivando a mecanização da agricultura também no Estado do Rio Grande do Sul.

Para Andreatta (2009), o período que corresponde à chamada “modernização da agricultura” ou da criação de condições de modernização do campo, transformou a agropecuária brasileira e contou com a participação ativa do Estado, enquanto articulador fundamental, criando um conjunto de medidas para alavancar a agricultura, como, por exemplo, a criação do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), do Programa de Garantia de Preços Mínimos (PGPM), do Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (PROAGRO), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e do Departamento de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), órgãos criados entre 1965 e 1979. Entre 1970 e 1980, as melhorias na produtividade da bovinocultura de corte e da ovinocultura são impulsionadas por ações coordenadas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento da Pecuária (CONDEPE) em parte do território brasileiro, sobretudo no RS e nos estados do Centro-Oeste, destinando financiamentos, principalmente, para a correção de solos e para a implementação e/ou para a recuperação de pastagens.

No entanto, para a pecuária, estas políticas não foram tão eficazes, pois, diferente da agricultura, a pecuária foi incapaz de estabelecer relações com a indústria, pois a atividade encontrava-se tecnicamente atrasada e poucos pecuaristas usufruíram dessas iniciativas. Na prática, o que se tinha eram pecuaristas não familiarizados com o funcionamento dos instrumentos de crédito, desconfiados com investimentos na agricultura e que desconheciam técnicas de melhoramento de rebanhos e de pastagens. Como resultado da crise na pecuária, observa-se a expansão da agricultura mecanizada sobre as áreas de campo, sobretudo sob a forma de arrendamentos, nas regiões da Campanha e Central do Rio Grande do Sul, com as lavouras de arroz, e na Região do Planalto, com o fortalecimento e a expansão do binômio trigo-soja, o que já vinha ocorrendo desde a década de 1950 (FONTOURA, 1995; 2000; ANDREATTA, 2009).

Ao estudar o Sudoeste do Rio Grande do Sul, Verdum (1997) percebe mudança significativa no sistema de produção, a partir da década de 1970. Houve aumento considerável da superfície cultivada, em detrimento da superfície pastoril. Para o município de São Francisco de Assis, por exemplo, a área de culturas temporárias representava, em 1950, cerca de 5%

(15.191 ha) da área agrícola total (341.869 ha). Tal cultura atingiu 16% (57 873 ha) em 1985, enquanto a área agrícola total foi de 435.892 ha. Esse aumento na área cultivada é resultado de redução de mais de 30.000 ha na área de criação. Isso representou, em 1950, 85% (290.500 ha) da área agrícola total, contra 72% (261.551 ha) em 1985, reforçando a pressão sobre os Campos Limpos, tanto pelo avanço das culturas quanto pela criação de gado, pois o número de cabeças aumentou 46% entre 1950 e 1985. A evolução das culturas representa o crescimento da superfície cultivada, mudanças nos tipos de culturas, no tamanho da unidade de produção e, também, no destino da produção (*ibid.*).

Em 1920, por exemplo, a produção de cereais e de outros cultivos alimentares e comercializáveis nas propriedades rurais de São Francisco de Assis (área que atualmente corresponde aos municípios de São Francisco de Assis e de Manoel Viana, emancipado em 1992) foi distribuída entre: milho, feijão, trigo, arroz, tabaco, mandioca, cana-de-açúcar e batata. Ao se comparar dados da área de cultivo com o número de estabelecimentos produtores, observa-se que a base do sistema de produção era de propriedade inferior a 100 ha e que a forma de exploração caracterizou uma fase de produção voltada para a subsistência e para o abastecimento do mercado regional (*ibid.*).

À época, esta produção era realizada em 4% da superfície agrícola total e desenvolvia-se nos vales do Planalto Basáltico, em concorrência com as áreas arborizadas, exceto para o cultivo de arroz, desenvolvido nas planícies de inundação da Depressão Periférica, em detrimento da mata de galeria. No entanto, a partir de 1970, tem-se a intensificação do processo produtivo, marcado pela articulação da agricultura com a indústria. É o período da consolidação internacional da economia nacional e, particularmente no Rio Grande do Sul, do fortalecimento do sistema de monoculturas e da implementação da agricultura mecanizada intensiva (*Ibid.*).

As políticas de financiamento da agricultura e de industrialização passaram pelas lavouras de arroz, na década de 1940, do trigo, nas décadas de 1950 e 1960, e da soja, na década de 1970, provocando mudanças rápidas na organização do espaço agrário do Sudoeste do Estado. Entre 1970 e 1980, a expansão da área desses cultivos temporários permitiu que a **Campanha** se tornasse uma importante área para a produção de plantas alimentares e industriais (*Ibid.*).

Neste sentido, destaca-se a iniciativa do governo local referente à realização de estudos para subsidiar a elaboração de medidas e de alternativas, na perspectiva de solucionar o

problema da degradação ambiental, decorrente do processo de arenização, tida e compreendida, no início da década de 1960, como desertificação, sendo considerado o principal problema ambiental da região. De acordo com Ribeiro (2015), com base na hipotética existência do processo de desertificação no Sudoeste do Rio Grande do Sul, exposta durante a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação (CONUD - 1977), o Estado declara-se afetado pelo fenômeno e dá início a estudos e à elaboração das primeiras políticas de ações práticas de combate à “desertificação” no sul do Brasil.

No âmbito regional, Ribeiro (2015) entende que, no contexto político, o cenário que deu base ao desenvolvimento de políticas públicas e privadas de intervenção no processo de arenização pode ser dividido em quatro fases:

Fase 1, entre 1975 e 1987, caracterizada pelo fatalismo e pela percepção exagerada em relação ao processo de arenização; a fase 2, entre 1987 e 1992, caracterizada pelo protagonismo da iniciativa privada nas políticas voltadas à arenização; a fase 3, entre 1992 e 2003, caracterizada pela busca do conhecimento acerca dos areais e a quase ausência de intervenções no processo; a fase 4, entre 2003 e 2012, caracterizada pela consolidação de bases florestais na região de ocorrência dos areais”. (RIBEIRO, 2015, p. 120)

Entre 1975 e 1984, a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Rio Grande do Sul instalou uma unidade experimental (Plano Piloto do Alegrete – PPA) que incidia sobre a instalação de barreiras físicas e o plantio de espécies arbóreas, que funcionavam como “quebra vento” e/ou de forrageiras, para o controle/combate à erosão dos solos arenosos. A partir desse experimento, conclui-se que a espécie que melhor se desenvolveu sobre os areais foi o eucalipto (*Eucalyptus sp.*). Do mesmo modo, no final da década de 1980 e início da de 1990, por iniciativa privada (da RIOCELL S/A e da TANAC S/A), intermediada pelo Governo do Estado, sugere-se o plantio do eucalipto e da acácia-negra (*Acácia Mearnsii*) como prática alternativa no combate à “desertificação” e, também, como modernização e implantação da industrialização na Região. Em meados dos anos 2000, há mais de três décadas da tão divulgada “desertificação” e do Plano Piloto do Alegrete, a empresa sueco-finlandesa *Stora Enso*, do setor de celulose, investe em bases florestais de grande escala na região de ocorrência dos areais; não, com o claro propósito de recuperá-los, mas, de inseri-los em uma nova matriz econômica, a partir da introdução da silvicultura com fins industriais, sendo que para Ribeiro (2015):

...a arenização e a silvicultura são temas fortemente associados, em relação às políticas ambientais voltadas para a região sudoeste do Estado. Enquanto a primeira é apontada como principal processo de degradação ambiental da região sudoeste do RS, a segunda é, correntemente, privilegiada como solução técnica ideal, no âmbito das políticas para intervenção nesse processo (RIBEIRO, 2015, p. 15).

O contexto dos acordos internacionais e nacionais sobre desertificação, não abordados diretamente por este trabalho, mas indiretamente contextualizados, a partir da análise das políticas voltadas à arenização no âmbito regional, são amplamente discutidos por Ribeiro (2015)²⁹ como ações ou políticas que podem, de alguma forma, ser relacionadas com o fenômeno da arenização.

Verdum (1997) alude que as ações do governo estão vinculadas a instituições que estão diretamente interessadas em estudos sobre os recursos naturais do País. Essas ações foram reforçadas pela legislação específica, promulgada em 1975, cuja principal ideia era a de estudar a erosão do solo em todo o território nacional. No Rio Grande do Sul, o estudo de Meller et al. (1975) identificou a presença de degradação do solo em dois municípios, apenas: Alegrete e Quaraí. O relatório técnico de Cordeiro & Soares (1977) relata a existência de acumulações arenosas e de barrancos nos municípios de: Alegrete, Cacequi, São Francisco de Assis, São Vicente e Quaraí, no Rio Grande do Sul. Finalmente, em outro estudo, Souto (1985) destaca a degradação do solo no município de Alegrete a partir duas principais atividades econômicas praticadas na região: criação extensiva e cultivo de trigo e soja.

O Quadro 16 sistematiza as políticas no âmbito regional, nem sempre voltadas inteiramente à questão da arenização, mas que, por terem sido pensadas para a região de ocorrência, tiveram impactos também sobre os areais. Ainda, destaca-se o estudo realizado pela Embrapa, visto que esta instituição também apoia a presente pesquisa. As demais políticas serão apenas citadas, por entendermos não haver necessidade de estudá-las de maneira detalhada, no contexto desta pesquisa.

²⁹ Principais acordos estudados por Ribeiro (2015): Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação, CONUD (1977), Agenda 21 Global, Conferência Rio 92 (1992), Convenção Internacional de Combate à Desertificação, CCD (1994), Resolução CONAMA 238 (1997), Programa das Nações Unidas, PAN-Brasil (2004). Estes documentos, de acordo com Ribeiro (2015, p. 48), “filiam-se, não só do ponto vista conceitual, mas em termos de ações preconizadas.”

Quadro 16: Políticas voltadas à Arenização no âmbito Regional
Plano Piloto do Alegrete: 1ª Fase (1976-1984)
Plano Piloto do Alegrete: 2ª Fase (1990)
Plano de Manejo Integrado da Microbacia Hidrográfica Sanga do Cabral (1992)
Projeto de Pesquisa por Demanda/INCRA (2001)
Recuperação do Areal Costa Leite (2002/2004)
Plano de Gerenciamento da Arenização do Sudoeste Gaúcho (2003)
Projeto Fronteira Oeste/Sistemas Silvopastoris, EMBRAPA (2002/2009)
STORA Enso: Sistema Silvopastoril, SSP (2007)
FEPAGRO: Unidades Experimental em Alegrete (2006/2007)
Comissão Especial da Assembleia Legislativa do RS sobre a Arenização (2008)
Plano de Recuperação de Áreas Degradadas, PRAD/INCRA (2009/2012)
Fonte: Ribeiro (2015)

O *Projeto Fronteira Oeste/Sistemas Silvopastoris, EMBRAPA (2002-2009)*, elaborado pela Embrapa Clima Temperado, de Pelotas, consistiu no desenvolvimento de tecnologias de regeneração de áreas degradadas e sua inserção na cadeia produtiva, mas não tinha como objetivo explícito o combate à arenização. No projeto, trabalhou-se com a revegetação de áreas atingidas pela arenização, a partir da introdução de espécies comerciais (*Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*). Denominado de “Projeto Fronteira Oeste”, foi idealizado por Rogério Coelho (da Embrapa), em parceria com técnicos da Universidade Federal de Santa Maria e da Fundação Maronna (CASSOL, 2004; RIBEIRO, 2015).

Segundo Ribeiro (2015), os idealizadores do projeto não objetivavam o combate à arenização, no entanto usavam como justificativa a fragilidade natural dos solos da região Sudoeste para desenvolver sistemas silvipastoris sustentáveis, os quais promoveriam a melhoria do bem-estar e da qualidade de vida do produtor, por meio da exploração da madeira, do melhor desempenho produtivo e reprodutivo dos animais e da conservação dos recursos naturais desse ecossistema (RIBASKI et al., 2005; RIBEIRO, 2015).

Outra observação importante feita por Ribeiro (2015), a partir do trabalho de Ribalski et al. (2005), reside no entendimento sobre o processo de arenização. O fenômeno, quando citado no projeto, é concebido como sendo composto de “áreas com vegetação rarefeita” e de “campos arenizados”, sendo claramente classificados como “núcleos de desertificação”.

Vale aqui elucidar também quanto à criação do Zoneamento Ambiental da Silvicultura (ZAS). O zoneamento permitiu a elaboração de políticas de gestão e de ferramentas voltadas à conciliação entre as atividades econômicas já desenvolvidas e a adaptação da nova proposta de desenvolvimento, o que traria mudanças para a matriz econômica. Em 2004, a Secretaria

Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (SEMA) lançou a Portaria nº 048, de 21 de setembro de 2004, estabelecendo as regras que levariam à criação do Zoneamento Ambiental da Silvicultura para Rio Grande do Sul (ZAS). Assim, o ZAS passa a orientar a expansão da silvicultura no Estado, servindo como instrumento no processo de licenciamento ambiental junto aos órgãos licenciadores competentes (a Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul – SEMA, por meio da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM – e do Departamento de Floresta e Áreas protegidas – DEFAP).

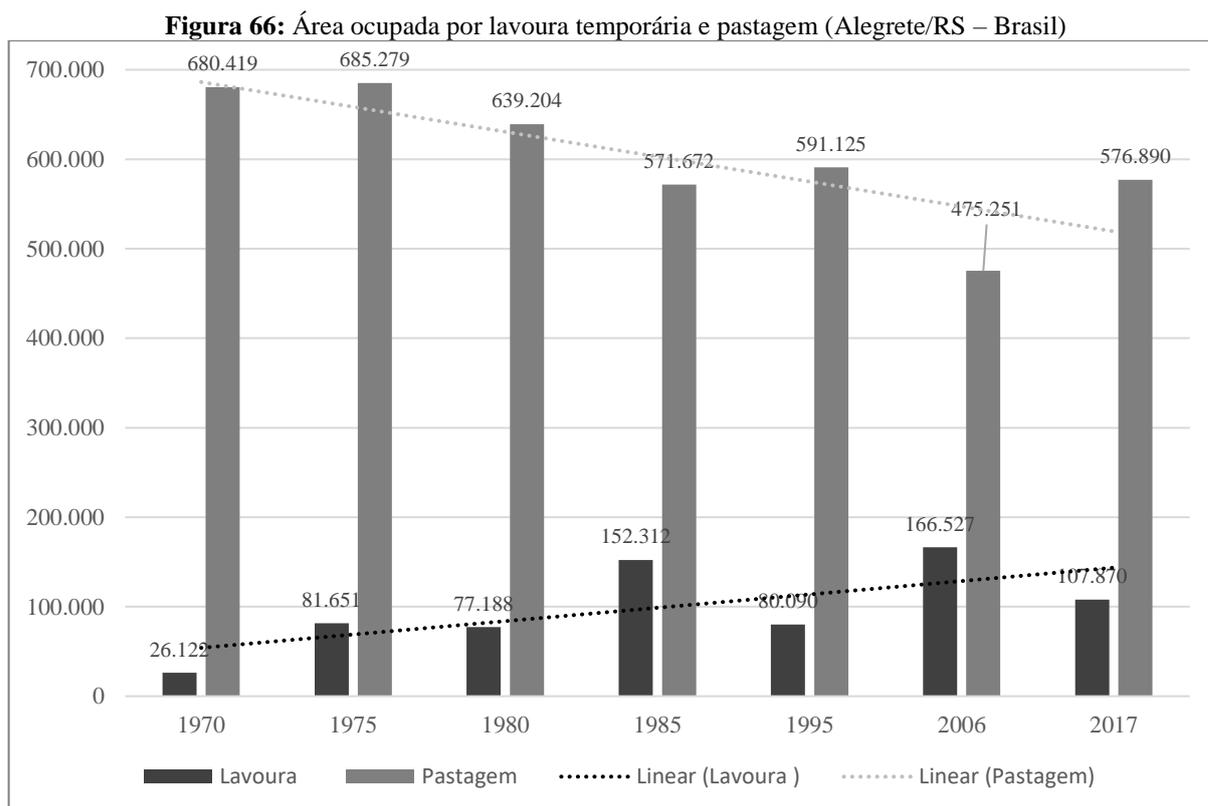
Segundo Silva (2012), inicialmente os empreendedores do setor apoiaram a elaboração do zoneamento, mas, cientes das restrições que seriam impostas pelo documento, criaram impedimentos para a sua aprovação e pressionaram a revisão da proposta apresentada pela SEMA, como posto a seguir:

...durante o processo de negociação do ZAS, formou-se uma espécie de conflito entre os técnicos da área ambiental e os empresários da silvicultura. Os técnicos, cientes dos riscos ambientais e sociais, saíram em defesa do ZAS, como uma forma de gerenciar os efeitos da silvicultura no espaço. Enquanto os empresários do setor florestal, percebendo que o ZAS poderia se tornar um obstáculo, uniram-se para modificá-lo, de acordo com seus próprios interesses. A experiência do ZAS no Rio Grande do Sul compreende a primeira tentativa de estabelecer regras e limites para a atividade florestal. Uma proposta criativa e inovadora, particularmente em comparação com outras regiões e países. O ZAS surge como um instrumento social, de perfil absolutamente técnico, construído para garantir a proteção e a conservação dos recursos. No entanto, preparado apenas para atender a demanda florestal, mas que poderia ter sido validado para um número maior de atividades, também potencialmente transformadoras da paisagem e da qualidade ambiental. Essa, talvez, seja a sua maior limitação, enquanto instrumento de apoio ao planejamento e gestão do território gaúcho. Em parte, o ZAS pode ser definido como uma resposta da sociedade frente às mudanças na forma de ocupar o espaço. Construído com o propósito de gerenciar a perda de áreas naturais campestres, permitiu a construção de conhecimentos específicos e o envolvimento de diferentes atores sociais, como: estudantes, técnicos, políticos, empresários e a comunidade rural. Além disso, estabelecer zonas adequadas ao uso, com regras e limites bem definidos, deve ser visto como algo bom, que vem para ajudar na tomada de decisões, objetivo maior do planejamento ambiental. E, obviamente, o estabelecimento de regras e limites não pode se tornar um espaço ideológico e nem mesmo servir aos interesses políticos e econômicos (SILVA, 2012, p. 2017).

A partir deste ponto, passaremos a analisar os dados do município que contém a área de estudo proposto para a tese, o município de Alegrete, e esta análise se inicia pela questão do uso da terra, a partir das variáveis lavoura e pastagem (naturais e/ou cultivadas). O primeiro ponto a ser observado, Figura 66, refere-se às linhas que correspondem a uma tendência constante e crescente (linha de lavoura) e de uma constante e decrescente (linha de pastagem).

Mesmo que o gráfico mostre variações entre as décadas, as linhas crescente (lavoura) e decrescente (pecuária) mostram uma tendência, desde o início dos anos 1970.

Ainda, há uma visível continuidade na conversão do uso do solo de pastagem em cultivos. Em 1970, a área total ocupada por lavouras correspondia a 26.122 ha, chegando a 107.870 ha em 2017, ou seja, a área quadruplicou. Já a área destinada à pastagem diminuiu, em menor proporção, de 680.419 ha para 576.890 ha, durante o mesmo período.



Fonte: Censos agropecuários do IBGE

Elaboração: a autora, Gomes (2019)

No período entre 1970 e 1985, está bem marcado no gráfico, eram cerca de 26 mil ha ocupados por lavoura, em 1970, atingindo uma área de cerca de 152 mil ha, em 1985. Observa-se um aumento significativo na área ocupada por cultivos temporários, possivelmente resultante da associação entre mecanização das práticas agrícolas e a implementação de políticas governamentais para a exportação, estabelecidas pelo conjunto de medidas aplicadas para fomentar a agricultura. Programas como o Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), o Programa de Garantia de Preços Mínimos (PGPM), o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (PROAGRO), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e o

Departamento de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), todos criados entre 1965 e 1979, foram amplamente estudados por Andreatta (2009).

Verdum (1997) analisou, ainda, dados referentes à superfície agrícola do município de São Francisco de Assis e conclui que, para o mesmo período de 1970 a 1985, também houve aumento da superfície agrícola, devido ao aumento de terras destinadas aos cultivos temporários, em detrimento da superfície pastoril.

Há um declínio de área ocupada por lavoura em 1995 de cerca de 80 mil ha, se comparada com a área ocupada em 1985 (de 152.312 ha), podendo ser justificável pela redução do cultivo de soja entre os anos de 1985 (cerca de 13.500 toneladas) e de 1996 (cerca de 2.500 toneladas), contudo há uma retomada, provavelmente a partir de 2000, visto que a maior área já registrada, em todo o período estudado (de 1970 a 2017) ocorre em 2006, de cerca de 166.527 ha, atingindo uma produção de 124.513 toneladas (Quadro 17).

Quanto à produtividade de outros cultivos temporários, os dados dos Censos Agropecuários do IBGE nos mostram que, no município de Alegrete, o arroz é produzido desde 1960, aumentando a cada década. Foram produzidas, em 1960, cerca de 20 mil toneladas e, em 2017, cerca de 480 mil toneladas do grão. Em relação à produção de soja, esta não existia, em 1960, mas, em 2017, é o segundo maior cultivo produzido, com cerca de 124 mil toneladas.

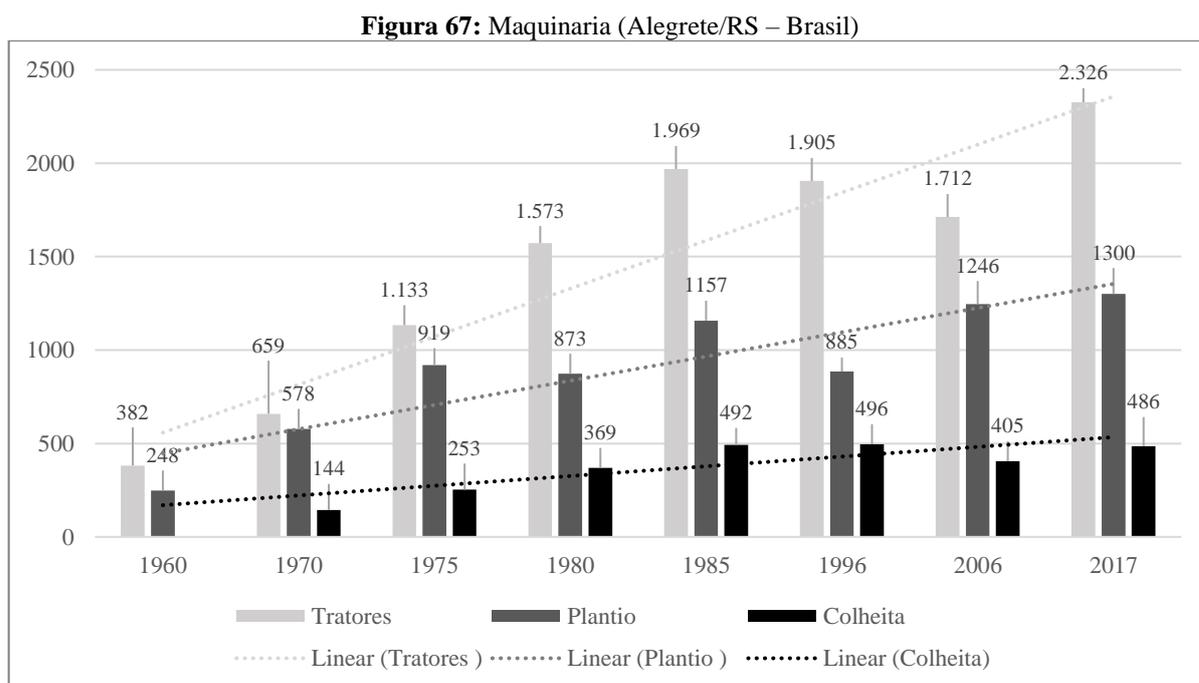
Os demais cultivos, milho e trigo, possivelmente devem contemplar o mercado local, pela baixa produção (Quadro 17), além das restrições naturais, especificamente em relação ao trigo. Alegrete apresenta perfil diferente dos municípios vizinhos, nos quais a soja vem substituindo, inclusive, as lavouras de arroz e as pastagens próximas. No entanto, os números referentes à produção do arroz em Alegrete dão conta de que esse é o cultivo temporário que mais cresceu no município, possivelmente, pela localização próxima ao rio Ibicuí e seus tributários, cujas planícies aluviais favorecem o cultivo de arroz irrigado.

Nas áreas de cultivo do cereal há abundante disponibilidade de água, em conexão com as chuvas abundantes e especialmente localizadas nas várzeas de um rio que mantém seu fluxo de água variável, mas contínuo, conforme as variações pluviométricas sazonais. Porém, em anos secos, os baixos níveis de água podem ser muito severos, ameaçando o sistema de irrigação (Corbonnois et al., 2014).

Quadro 17: Produção – cultivo temporário (Alegrete/RS – Brasil)								
Arroz	20.213t.	47.687t.	69.639	86.824t.	162.695t.	246.648t.	284.789t.	483.574t.
Milho	5.806t.	5.589t.	6.473	6.168t.	5.404t.	5.415t.	9.595t.	11.483t.
Soja	0	162t.	16.176	24.684t.	13.832t.	2.493t.	39.608t.	124.531t.
Trigo	2.853t.	5.376t.	10.102	5.417t.	1.783t.	649t.	1.553t.	4.903t.
	1960	1970	1975	1980	1985	1996	2006	2017

Fonte: Censos agropecuários do IBGE

Outro dado importante a ser analisado é o relativo à aquisição de maquinário utilizado na agricultura mecanizada (Figura 67). As linhas também se mostram numa constante crescente, desde 1960. Em 1960, início da “Revolução Verde”, os agricultores de Alegrete cultivavam a terra com 382 tratores e, em 2017, o número de tratores ultrapassa duas mil unidades. Os demais tipos de maquinários utilizados no plantio e na colheita também se mantêm em curva constante de aquisição pelos agricultores.



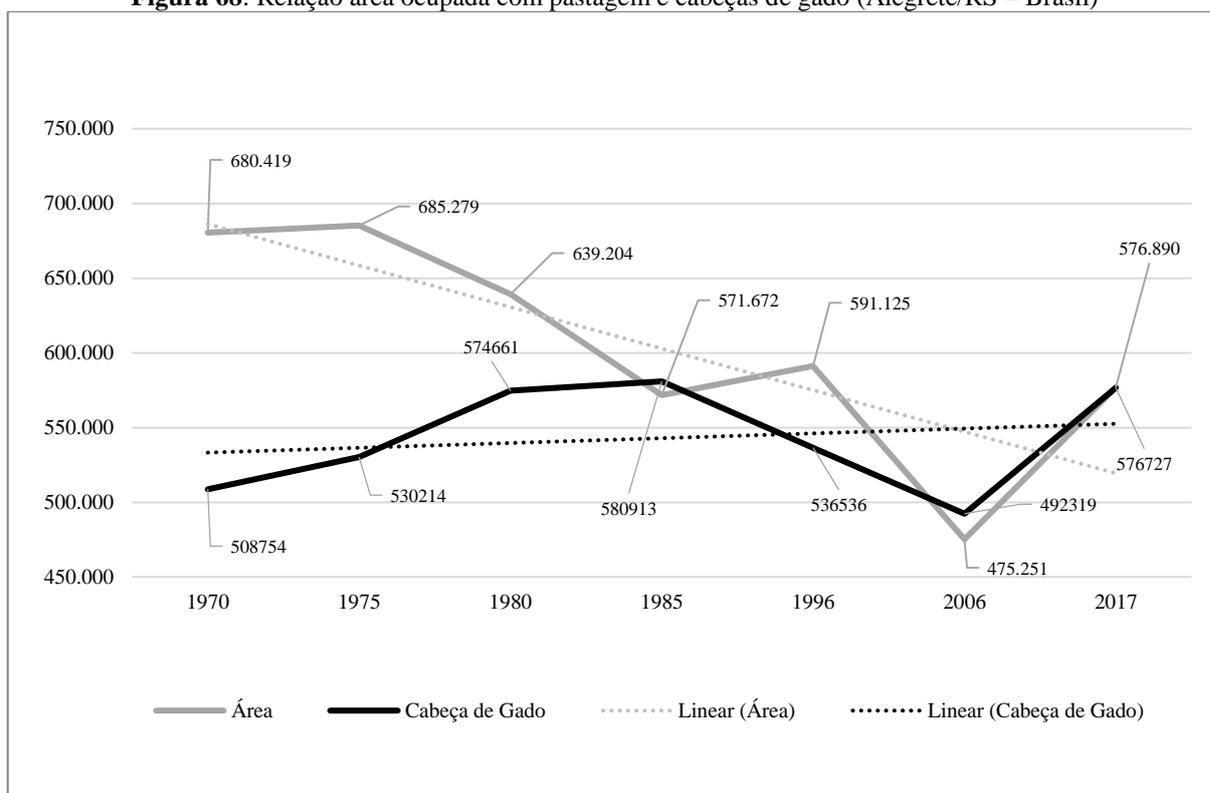
Fonte: Censos agropecuários do IBGE

Elaboração: a autora, Gomes (2019)

A Figura 68 demonstra a relação entre a área ocupada por pastagem e a produção de cabeças de gado. Observa-se uma evidente diminuição da área ocupada por pastagem, entre 1970 e 1985. A partir de meados de 1980, a atividade de cultivos ganha área até 1996, com perda de espaço até 2006, quando ocorre a retomada do ganho de área, o que persiste até os dias

atuais (2017). A produção de gado se mantém constante, discreta, mas crescente, com declínio entre os anos de 1985 e 2006, e retomada na produção até 2017. A questão global é que a produção de cabeças aumentou, ao longo dos anos, e a área ocupada por pastagem diminuiu, causando pressão sobre a cobertura vegetal herbácea e sobre o solo, respondendo a um comportamento padrão na região, pois os municípios vizinhos apresentam situações semelhantes.

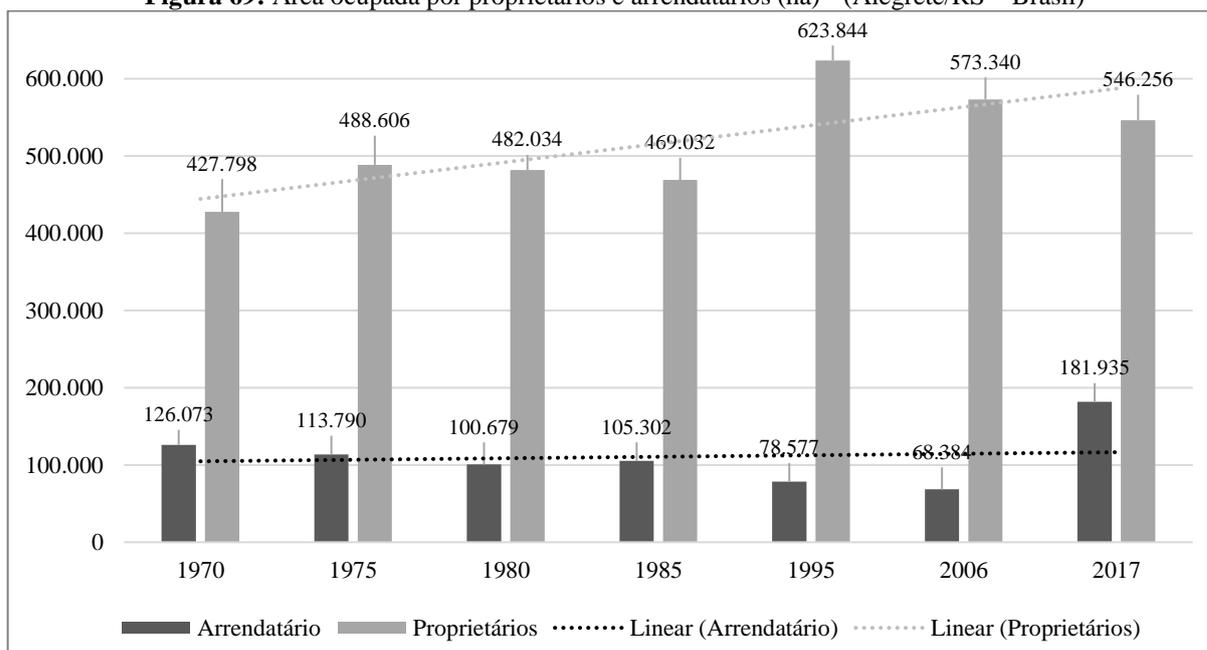
Figura 68: Relação área ocupada com pastagem e cabeças de gado (Alegrete/RS – Brasil)



Fonte: Censos agropecuários do IBGE

Elaboração: a autora, (2019)

Outro dado que merece atenção é o relacionado às áreas ocupadas por proprietários e a áreas arrendadas (Figura 69). É possível observar que, desde a década de 1970, as terras destinadas ao arrendamento aumentaram gradativamente, sem declínio até os dias atuais (2017).

Figura 69: Área ocupada por proprietários e arrendatários (ha) - (Alegrete/RS – Brasil)

Fonte: Censos agropecuários do IBGE

Elaboração: a autora, Gomes (2019)

De acordo com o gráfico, a prática de arrendamento é comum e constante, desde 1970, mesmo que tenha declinado, na metade da década de 1990, registrando a área mais baixa em 2006 (de 68.384 ha). Por alguma razão, no período entre 2006 e 2017 (talvez pela retomada do mercado global de *commodities* agrícolas, nos últimos 10 anos), a área ocupada por arrendatários chega a 181.935 ha, contra os 126.073 ha registrados na década de 1970. Os dados aqui apresentados não mostram se as terras arrendadas foram usadas para a agricultura ou para a pecuária, mas seu uso provavelmente acompanha o aumento dos cultivos, em detrimento da pecuária extensiva, até então a principal atividade historicamente desenvolvida no município e na região do Pampa.

A prática do arrendamento na região cresce no momento em que a atividade da pecuária se encontra tecnicamente atrasada, em função desta ter sido incapaz de estabelecer vínculo com a indústria e, também, pelo receio dos pecuaristas de investir na agricultura. É nesse cenário que ocorre a expansão da agricultura sobre as áreas de pecuária, na forma de arrendamento (ANDREATA, 2009; FONTOURA, 2000). Boa parte dos arrendatários são agricultores oriundos do Norte do Estado, pioneiros na implementação da agricultura mecanizada, que transformaram os campos em lavouras de cultivo.

Andreatta (2009) expõe que, na dimensão da “Estrutura Fundiária e Uso da Terra”, a terra cumpre múltiplas funções e que o arrendamento para terceiros pode ser considerado como renda de fonte externa, contribuindo para a composição da renda total dos estabelecimentos. A mesma autora ainda coloca que as mudanças econômicas ocorridas a partir dos anos 1990 reforçam o papel da terra enquanto recurso produtivo, o que tem induzido os produtores a buscar alternativas de remuneração, por meio de sua utilização produtiva, sobretudo após os anos 2000, momento favorável para a atividade agrícola, que, inclusive, contribuiu para o aumento da pressão sobre a utilização da terra para esses fins.

É neste complexo contexto de dados e de informações que emergem questões recorrentes. Dentre elas, destacam-se: como ocorre a conversão de campos herbáceos em lavouras de cultivo temporário, sobretudo em áreas com ocorrência de arenização? Qual a intensidade do impacto ambiental decorrente das transformações pela conversão de campos herbáceos em lavoura no Pampa, visto que este possui como aptidão primária a pecuária?

Verdum (2017) destaca que, na safra de 2015/2016, o Rio Grande do Sul produziu 16 milhões de toneladas de soja, atingindo a marca de terceiro maior produtor do Brasil, e que, nos últimos 10 anos, com a retomada do mercado global de *commodities* agrícolas, grandes produtores voltaram a comprar e a arrendar áreas para lavoura, no Sudoeste gaúcho. Verdum (2017) ainda correlaciona a arenização e a concentração fundiária, principalmente no que diz respeito à sojicultura, visto que o problema da arenização afetaria mais os pequenos e médios produtores (aqueles com menos de 500 ha) do que os grandes produtores (com mais de 500 ha), se levada em consideração a relação: superfície dos *areais* x área disponível à produção agrícola.

Silva (2017) afirma que, há pouco tempo, dizia-se que a expansão do eucalipto colocaria em risco o Pampa, mas, diante da atual conjuntura econômica, a maior ameaça é o cultivo de soja, bastando olhar a paisagem para se perceber que os antigos campos de coxilhas, tradicionalmente utilizados para o desenvolvimento da pecuária, revelam um remanescente de um modelo econômico em extinção, pois os campos estão sendo convertidos em lavouras crescentes de soja. Segundo esse autor, o impacto imediato desta conversão (campo/lavoura de soja) é a perda de *habitats* e a expulsão das espécies, associado à contaminação do solo, da água (superficial e subterrânea) e dos alimentos, resultante da utilização de insumos agroquímicos.

A Figura 70 e a Figura 71 mostram os mapas de uso e cobertura da terra, na área de estudo. O mapeamento foi realizado a partir da classificação de imagens dos satélites Landsat 2, do ano de 1982, e Landsat 8, do ano de 2016. Foram amostrados diferentes usos: Campo, Mata Ciliar, Lavoura, Silvicultura, Solo Exposto, Cultivos Irrigados e Areais. Salienta-se que os areais possuem a mesma área (677 ha) em ambos os mapas, por terem sido mapeados a partir da imagem mais recente, uma vez que a imagem do ano de 1982 apresentou confusão e problema na classificação da feição Solo exposto e Areais. Portanto, não foi possível, a partir da quantificação das áreas, verificar se houve evolução ou regressão das manchas de areia, no período estudado.

Dos distintos usos, o que visualmente chama a atenção é o aumento da superfície destinada à Lavoura, em detrimento do uso classificado como Campo e de algumas áreas destinadas ao Cultivo irrigado. A Silvicultura é observada somente no mapa de uso de 2016, pois o incentivo ao plantio de exóticas teve início ao final da década de 1970, quando foram realizados os primeiros estudos, na 1ª fase do Plano Piloto de Alegrete, sendo que o plantio efetivo de eucaliptos ocorreu posteriormente (rever Quadro 16).

Figura 70: Mapa de uso e cobertura da Terra – 1982 (Alegrete/RS – Brasil)

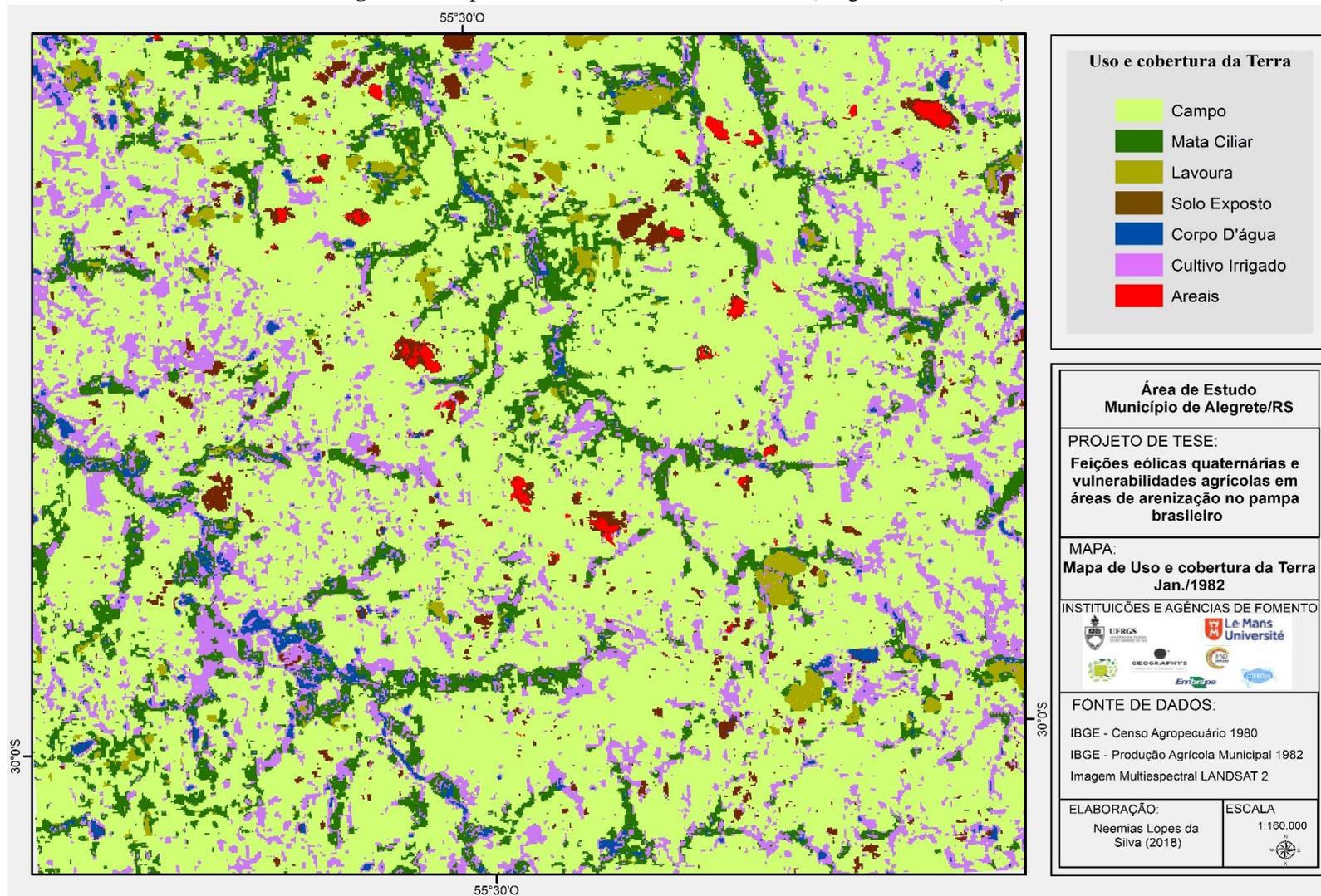
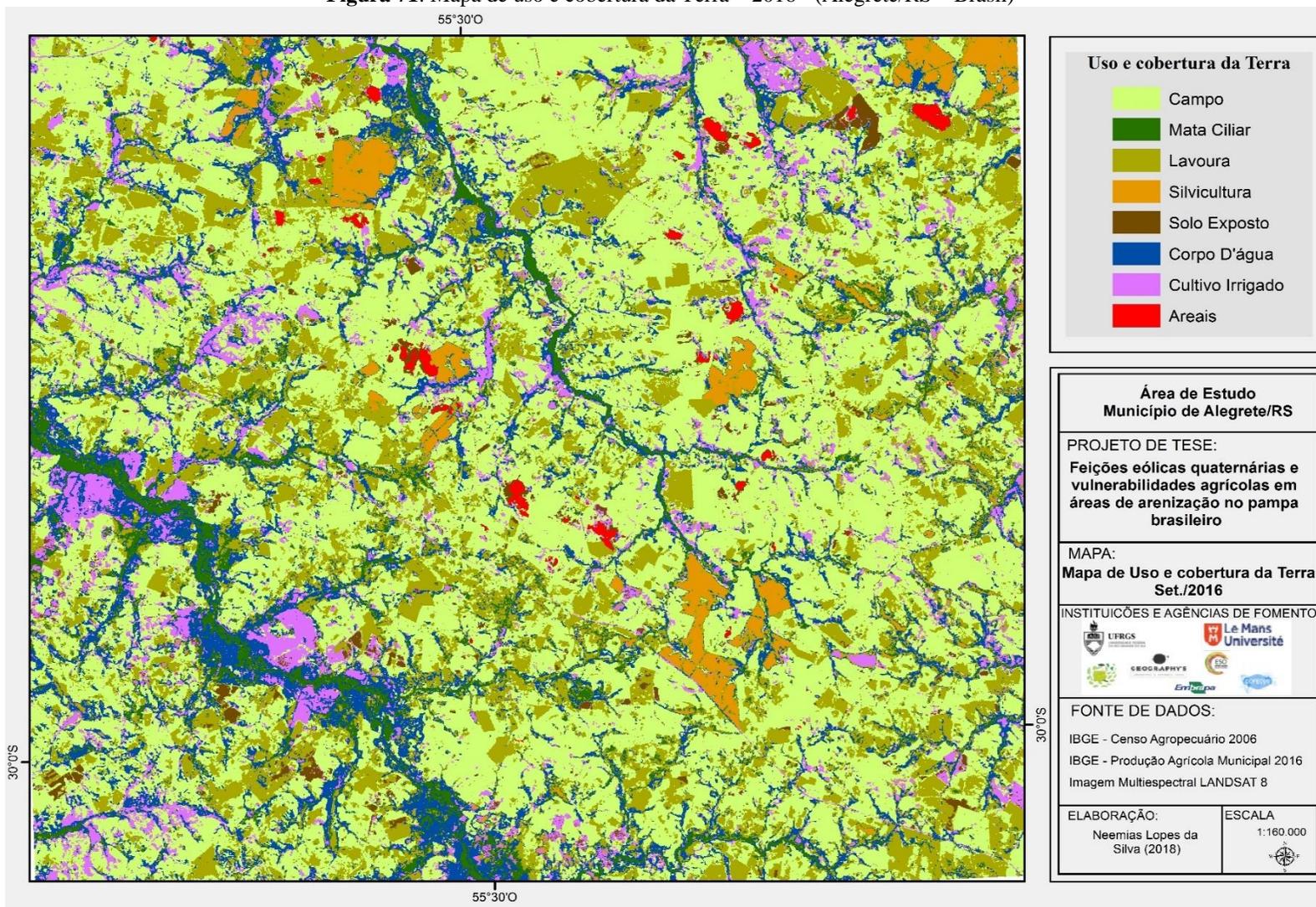


Figura 71: Mapa de uso e cobertura da Terra – 2016 - (Alegrete/RS – Brasil)



O Quadro 18 compõe o demonstrativo de cálculo de área ocupada por cada classe de uso, entre os anos de 1982 e de 2016. Houve uma redução da classe Mata ciliar, que, em 1982, representava cerca de 12% da área total, apresenta cerca de 4% da área total, em 2016. O Campo também sofreu uma redução de cerca de 14%, pois, em 1982, correspondia a cerca de 64% da área total e, em 2016, teve sua área reduzida em cerca de 50%.

O mesmo aconteceu com a superfície destinada ao cultivo irrigado, que reduziu de 13%, em 1982, para cerca de 7%, em 2016. No entanto, há um aumento significativo nos corpos de água (de 7% para 12%). Neste caso, o dado pode não ser real, pois o classificador pode ter confundido corpos de água com áreas destinadas à irrigação ou, ainda, a classificação pode estar sob influência de meses mais ou menos chuvosos do ano.

Já a relação de conversão campo/lavoura e, em menor proporção, de conversão campo/cultivo irrigado, é visualmente evidente nos mapas. A superfície de lavoura teve um aumento de cerca de 20%, no período observado. Em 1982, este uso correspondia a cerca de 2,5% do total da área, passando para 22%, em 2016.

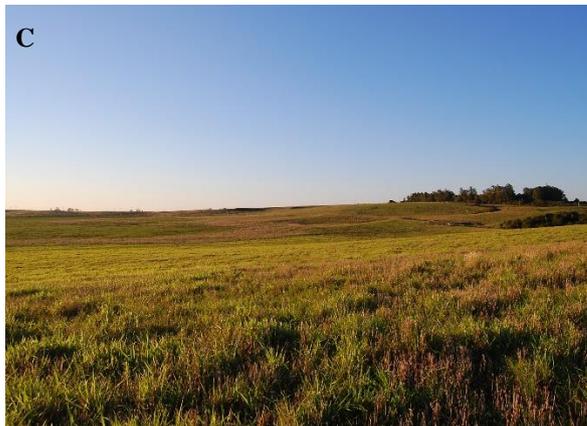
Quadro 18: Demonstração de cálculo de área por Uso da Terra				
	Janeiro/1982		Setembro/2016	
	Hectare	%	Hectare	%
Mata Ciliar	18.617	12,67%	6.180	4,21%
Corpo de água	7.036	4,79%	17.640	12,01%
Campo	94.711	64,45%	73.860	50,27%
Lavoura	4.031	2,74%	32.610	22,19%
Cultivo Irrigado – Arroz	19.533	13,29%	11.200	7,62%
Silvicultura	0	0,00%	2.890	1,97%
Solo Exposto	2.344	1,60%	1.870	1,27%
Áreas	677	0,46%	677	0,46%
Total	146.947	100,00%	146.927	100,00%

Como já mencionado, os campos nativos têm, historicamente falando, a aptidão natural para o desenvolvimento da pecuária, no entanto esta atividade vem decaindo, tanto em área quanto em produção, exceto pelos últimos 11 anos, nos quais ocorreu uma retomada da atividade. Contudo, a pecuária vem perdendo espaço para as monoculturas, ao longo das décadas. Além disso, outras atividades não voltadas à agricultura vêm sendo estudadas como alternativas de revalorização da pecuária. O mosaico, figura 72, ilustra distintos tipos de uso da terra sobre colinas, associadas a depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, bem como as atividades que determinam a dinâmica ambiental e econômica no Pampa brasileiro.

Figura 72: Mosaico de fotografias - Tipos de uso da terra sobre colinas associadas à depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis



- A) Primeiro plano da foto, colina coberta com vegetação herbácea de campo nativo com presença de butiá anão (*Butia lallemantii*); segundo plano da foto, relevo tabular (cerro) – Município de Manoel Viana/RS
- B) Propriedade rural com usos para a pecuária extensiva em colina coberta com vegetação herbácea nativa e presença de ravinamentos na meia vertente; propriedade rural com resteva oriunda do plantio direto, em topo de colina – Município de Manoel Viana/RS



- C) Colinas associadas a campos de dunas (*dune fields*) no Quaternário, dispostas de forma alongada no sentido SE – NO, com cobertura de pastagem artificial (*Brachiaria decumbens*), como forma de estabilização da erosão difusa em sulcos e para uso na atividade de pecuária extensiva.
- D) Topo de colina, constituída de deposição eólica quaternária instável, com cultivo de monocultura de milho (Município de Manoel Viana/RS)



- E) Primeiro plano da foto, colina coberta com vegetação herbácea de campo nativo com presença de butiá anão (*Butia lallemantii*) e parcela com cobertura de pastagem artificial (*Brachiaria decumbens*);

segundo plano da foto, mata ciliar situada na planície aluvial do rio Ibicuí; terceiro plano da foto, relevo tabular (cerro).

- F) Depósito eólico quaternário ancorado em torno de relevo tabular, com vertente suavizada a NO, devido a esta deposição a sotavento, com tentativa de estabilização a partir do uso de cobertura com pastagem artificial (*Brachiaria decumbens*), em curvas de nível.



- G) Detalhe da deposição eólica em trilha de pisoteio de gado bovino, situada no topo de uma colina, com cobertura de pastagem artificial (*Brachiaria decumbens*).
- H) Primeiro plano da foto, colina com cultivo de soja; segundo plano da foto, depósito eólico instável e em franco processo de ravinamento; terceiro plano da foto, cultivo de eucaliptos (Município de São Francisco de Assis/RS).

Fonte: Trabalho de campo/novembro-2014

Fotografia: Roberto Verdum; Tania Gomes

O cultivo de eucalipto, seja enquanto perspectiva econômica ou enquanto forma de minimizar os impactos da arenização, mostrou-se ineficiente, sobretudo em relação ao combate dos processos erosivos, conforme ressalta Caneppele (2017). Para o estudioso, o cultivo do eucalipto em área em processo de *arenização* não é capaz de controlar o retrabalhamento dos sedimentos, especialmente nas feições associadas aos agentes hídricos, como as ravinas. O plantio sobre *areais* não impede o processo de escoamento concentrado e a mobilização de sedimentos. O plantio de espécies arbóreas seria aconselhável, apenas para o controle da erosão eólica, em áreas nas quais o processo ainda não se encontra em um estágio avançado, uma vez que estas funcionariam como anteparo ou proteção ao impacto das gotas de chuva.

Cabe ressaltar que, atualmente, estudos incipientes vêm focando em outros usos da terra, sobretudo nos que podem propiciar novas soluções, no sentido de minimizar os problemas causados pelo processo da *arenização*, como, por exemplo, investigações geotécnicas que busquem contribuir com a estabilização das areias e com sua utilização como material alternativo na pavimentação de estradas rurais ou, ainda, em estudos de viabilidade técnica quanto à utilização dos sedimentos provenientes de areais na confecção de tijolos, visando o aproveitamento em construções rurais (ALMEIDA et al, 2017). Contudo, as propostas

apresentadas podem ser consideradas inviáveis, uma vez que poderão agravar ainda mais o processo de arenização.

Além disso, outros estudos de revalorização da atividade de pecuária vêm comprovando a sua viabilidade, considerando a aptidão primária dos campos herbáceos sulinos. Iniciativas de conservação das pastagens do Cone Sul, promovidas pela *Alianza del Pastizal*, vêm se tornando cada vez mais importantes e ganhando apoio, inclusive por parte dos pecuaristas, que veem, a adesão a essa iniciativa como uma forma lucrativa de promover a preservação e a conservação dos campos, de valorizar a paisagem, a cultura e, sobretudo, a atividade da pecuária.

A aliança, lançada em 2006, é uma iniciativa da *BirdLife International* e é executada por meio de parceiros locais, como, por exemplo, Aves Argentina, Guyra Paraguay, SAVE Brasil e Aves Uruguay, pela qual pecuaristas podem aderir a ideia, fazendo parte da iniciativa. Os produtores brasileiros, uruguaios, argentinos e paraguaios que fazem parte do grupo seguem uma série de orientações sobre manejo de pastagens e sobre produção animal. A aliança possui selo de certificação de qualidade³⁰ sobre a carne comercializada no Brasil e no exterior.

O selo, além de garantir qualidade, estabelece uma espécie de “*terroir*”, dando à carne produzida nos campos herbáceos do Pampa uma especificidade única no mundo. No entanto, a *Alianza del Pastizal* estima-se que, anualmente, um milhão de hectares sejam convertidos da pecuária para outra forma de produção mais intensiva, em detrimento dos campos naturais do Cone Sul (composto por Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai).

³⁰ Objetivos da certificação: 1) Conservação dos campos nativos da região, sob sistemas de produção associado com a conservação da biodiversidade. 2) Fortalecer a atividade pecuária, baseada em campos nativos manejados responsavelmente, aceitando um percentual de modificação ambiental que torne eficiente o sistema de produção e que o fortaleça como alternativa frente a sistemas produtivos baseados principalmente na conversão dos campos nativos. 3) O reconhecimento e valorização dos benefícios ambientais e sociais da atividade pecuária pastoril, promovida através do selo. 4) A mitigação da “Mudança Climática Global”, uma vez que os animais produzidos sob este selo garantem uma superfície territorial que funciona como “sumidouro” de carbono, um sistema de produção de uma cabeça por hectare e que não depende da suplementação de grãos produzidos mediante sistemas agrícolas de altas emissões. Fonte: SAVE Brasil, em <http://www.savebrasil.org.br/pampa/>

7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tese teve como objetivo principal identificar, na área de estudo, a associação entre as feições geomorfológicas atuais e as formações superficiais quaternárias, típicas de clima seco, assim como as dinâmicas erosivas/deposicionais atuantes nessas feições, no contexto de uma área submetida historicamente à pressão agrícola.

Para responder a esta questão e para compreender a dinâmica do fenômeno e dos processos morfogenéticos associados aos depósitos eólicos estudados, o método hipotético-dedutivo, que consiste basicamente na investigação científica sobre um determinado problema, visando construir e testar uma possível resposta para o problema posto em evidência, respondeu bem ao encaminhamento dos procedimentos analíticos aplicados aos objetivos específicos, servindo ao método adotado como suporte no tratamento e na instrumentalização metodológica da pesquisa, enquanto subproduto da teoria.

Resumidamente, para os mapeamentos realizados, foram aplicadas técnicas de fotointerpretação e de geoprocessamento digital, para a definição das unidades de relevo e das feições geomorfológicas estudadas, sendo que o sensoriamento remoto também foi fundamental para o mapeamento de Uso e Cobertura da Terra. Já para a análise de sedimentos eólicos amostrados, foram aplicados testes de laboratório para análise granulométrica e morfoscópica, e Luminescência Opticamente Estimulada – LOE (Protocolo SAR) para a determinação da geocronologia absoluta dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis estudados.

Para responder às hipóteses levantadas e aos objetivos específicos, a preocupação inicial foi a de refletir sobre como interpretar e sobre como mapear as morfologias de depósitos eólicos estáveis ou instáveis observados em campo, em suas distintas unidades de relevo. Assim, foi elaborado o mapa das unidades de relevo da área estudada e definiu-se a chave de interpretação e seus atributos, para compor novo plano de informação sobre tais unidades de relevo. Desse modo, individualizou-se o relevo em Vales (Vales secos e Vales drenados); Colinas; e Espaços intermediários ou vertentes, associadas às feições geomorfológicas do tipo afloramentos rochosos, depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis (*areais*) e processos erosivos, do tipo ravinas e voçorocas.

A sobreposição dos planos de informação, associado ao trabalho de campo e à análise granulométrica e morfoscópica, levou à identificação do modelo de transporte e de deposição dos sedimentos que compõe as morfologias eólicas estudadas. A luminescência estabeleceu a geocronologia e, conseqüentemente, caracterizou as fases de ressecamento climático que propiciaram o ambiente favorável ao transporte e à deposição das areais que originaram as morfologias estudadas.

Como resultado, inferiu-se que o sistema eólico estudado compõe Colinas, associadas a campos de dunas (*dunefields*), no Quaternário, dispostas de forma alongada, no sentido SE-NO, estáveis ou instáveis, com *areais*. Estes ainda podem se encontrar ancorados em afloramentos rochosos ou exibir bacias de deflação. O estudo da quantificação e da distribuição de depósitos eólicos, de *areais* e de processos erosivos, associadas às unidades de relevo, mostrou que os depósitos eólicos ocorrem substancialmente sobre os topos de colina, seguido de vales secos, refletindo sobre o percentual de ocorrência de processos erosivos, os quais também ocorrem em maior percentual sobre esses compartimentos (cerca de 37% em topos de colina e de 23% nos vales secos). Da mesma forma, a feição do tipo *areal* ocorre, em maior percentual, sobre os topos de colinas, seguido dos vales secos, confirmando a dinâmica de ativação e de formação de *areais*, que ocorrem em depósitos eólicos, comumente sobre as colinas, desencadeados por processos erosivos, sobretudo pela ação de processos hídricos (ravinamentos e voçorocamentos), típicos de clima úmido atual.

Ainda, é nas unidades de Colina e de Vales secos que os depósitos eólicos são mais representativos, cerca de 20% e 22%, respectivamente, muito provavelmente por ser a camada superficial mais jovem, a última a ser depositada, em fase de ressecamento climático. Os cálculos ainda demonstram que é sobre os Vales Secos que a dinâmica atual, típica de clima úmido, está incidindo, visto que é nesta unidade que ocorrem os maiores percentuais de Processos Erosivos e de Areais, possivelmente pela composição sedimentologia frágil – material arenoso, friável e inconsolidado.

A distribuição granulométrica mostrou que os sedimentos podem ser oriundos do transporte e da deposição eólica. Todos os perfis amostrados possuem classificação textural **Areia**, com números acima de 92%, sendo cada perfil francamente arenoso, homogêneo, friável e inconsolidado, evidenciando de que se tratam de sedimentos bem selecionados e oriundos do transporte eólico.

Pelo grau de arredondamento, pode-se dizer que praticamente não existem grãos não desgastados no universo amostral, pois não há ocorrência de angulosos, mas, de certa forma, os não desgastados podem ser representados pelos subangulados. Os subarredondados e arredondados, juntos, representam a maior parte dos grãos (cerca de 80%).

Os grãos demonstram maior maturidade se olharmos o percentual dos subarredondados e arredondados, associado ao percentual dos com esfericidade boa. No entanto, no aspecto polimento, os percentuais demonstraram certa heterogeneidade, não sendo possível inferir definições claras sobre o ambiente de origem somente pelo grau de polimento, pois estes podem estar passando pela fase de transição de ambientes.

A sedimentologia do ambiente deposicional eólico estudado mostra certa variabilidade em suas características. Os sedimentos são compostos predominantemente por areias quartzosas e por classe modal na fração Areia Fina, variando em menor proporção nas frações de Areia média a Areia muito fina. As características morfológicas e ópticas dos sedimentos esclarecem certa competência eólica sobre as partículas e sobre seu transporte, demonstrando um grau de selecionamento evidenciado pela diminuição do tamanho dos grãos, no sentido SE-NO, devido ao retrabalhamento e à evolução de Areia média a Areia fina, no lineamento dos pontos amostrados. Os grãos subarredondados e arredondados somam percentuais acima de 70%, o que pode demonstrar um menor tempo de retrabalhamento desses em meio aquoso.

Com a associação das características de arredondamento, de esfericidade e de textura superficial, imagina-se que os grãos de Areia média e de Areia fina podem ter sido transportados pelos ventos, sendo deslocados do setor SE-S para o N-NO, sendo depositados sobre a região, conforme a direção do paleovento, medida em trabalho de campo (SE-165°). No entanto, as amostragens podem ter sido contaminadas com grãos provenientes de depósitos aluviais, ou seja, em meio aos grãos com características eólicas podem existir grãos com características típicas da ação hídrica, como no caso dos sedimentos oriundos da Formação Guará ou de sedimentos de ambientes fluviais mais recentes.

O sistema eólico estudado representa um respeitável registro das flutuações climáticas ocorridas regionalmente, durante o Holoceno. Corresponde à acumulação de areais supridas, talvez, do rio Ibicuí ou associadas ao contexto geológico/litológico ou, ainda, relacionadas ao material eólico da Unidade B, também de idade Holocênica e de ambiente seco, as quais foram transportadas pelos ventos de SE. Ainda que o estabelecimento dos depósitos possua forte

influência climática, os domínios topográfico e estrutural devem ter favorecido a acumulação das areias eólicas, como ocorreu, por exemplo, nos depósitos identificados ancorados em afloramentos rochosos do Botucatu ou Guará.

Os depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, estes últimos na forma de *areais* ativos, representam, ainda, uma herança de clima mais seco do que o atual e fornecem importantes dados paleoclimáticos para a compreensão da paisagem do Pampa Brasileiro. De acordo com os resultados obtidos, a partir das novas datações, é possível estabelecer três fases de ressecamento climático e de reativação eólica, com mobilização e com deposição de sedimentos, durante o Holoceno. A primeira fase, 8.200 ± 700 A.P., coincide com o fim do Holoceno inferior (Estágio *Greenlandian* – 11.700 a 8.326 A.P.); a segunda fase, 5.650 ± 1.120 A.P., corresponde ao Holoceno médio (Estágio *Northgrippian* – 8.326 a 4.200 A.P.); e a última fase, 1.910 ± 275 A.P., corresponde ao Holoceno superior (Estágio *Meghalayan* – iniciado em 4.200 A.P.).

O levantamento sobre as flutuações climáticas ocorridas na região que abrange a área de estudo, durante o Holoceno, especialmente, e as evidências de ressecamento climático corroboram com os resultados obtidos a partir das novas datações, visto que foram identificados três picos de ressecamento: um para cada estágio do Holoceno. Esses máximos de ressecamento podem ser, também, associados e evidenciados a partir da morfologia dos depósitos eólicos e das características granulométricas dos sedimentos eólicos analisados. Igualmente, a morfologia dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis reflete as características dos sedimentos e o sentido dos ventos.

Destaca-se que os dados geocronológicos produzidos neste estudo, além de terem importância de caráter regional, também podem contribuir com novos dados para outros dois grandes grupos de pesquisa. O primeiro é o banco de dados cronológicos do INQUA *Dunes Atlas*, que já conta com 3.613 idades de luminescência e com 526 idades de radiocarbono. O banco de dados é continuamente atualizado, à medida que novos dados são disponibilizados, por meio da publicação de resultados de pesquisas. Atualmente, o banco guarda dados cronológicos, que estão disponíveis, sobre todas as principais áreas de dunas interiores de baixa e de média latitude, exceto sobre a Europa, cuja compilação de dados está em andamento. Os dados sobre campos de dunas de alta latitude (Ártico, Canadá, Alasca e Antártica) também estão

incluídos, e os planos futuros incluem a adição de campos de dunas costeiras a um banco de dados paralelo (<https://www.dri.edu/inquadunesatlas/database>).

O segundo grupo de pesquisa é a comissão *International Chronostratigraphic* – IUGS, que estabeleceu recentemente os Estágios do Holoceno, destacando-se o mais novo Estágio – *Meghalayan*, baseado em uma seca severa que teria ocorrido há 4.200 AP e que afetou civilizações humanas no Egito, na Grécia, na Síria, na Palestina, na Mesopotâmia, no Vale do Indo e no Vale do Rio Yangtze. Assim, os dados produzidos para este estudo também podem servir de registro sobre a ocorrência de ressecamentos climáticos na América do Sul – no Extremo Sul do Brasil, mais especificamente, corroborando com os resultados obtidos pela referida comissão.

A tese abordou, também, o contexto das dinâmicas climáticas atuais e as mudanças de uso da terra no Pampa, a partir da produção agrícola contemporânea. Este espaço, que possuía como aptidão primária a pecuária, vem experimentando, atualmente, a instalação das monoculturas de grãos e arbóreas. Assim, abordam-se inicialmente as relações entre as dinâmicas climáticas e meteorológicas e, posteriormente, as dinâmicas agrícolas do passado recente (década de 1970) e as atuais, dinâmicas as quais potencializam a degradação das feições eólicas identificadas na área de estudo.

A estreita relação entre as condições climáticas e os processos erosivos/deposicionais da arenização mostra como a intensidade da ocorrência de meses secos ou de episódios chuvosos conduz a dinâmica erosiva nos depósitos eólicos, revelando as fases do escoamento concentrado, bruscas e potentes, e, também, as fases nas quais prevalece a ação eólica, em períodos de seca, promovendo processos morfogênicos sobre superfícies frágeis, do ponto de vista litopedológico, sendo tais fenômenos observáveis, especialmente, em processos do tipo ravinas e voçorocas, associados a depósitos eólicos quaternários estáveis ou instáveis.

Práticas agrícolas inadequadas e incompatíveis com a aptidão primária do Pampa, a pecuária, potencializam os processos erosivo/deposicionais sobre os depósitos eólicos estudados e revelam a relação entre sociedade/natureza sob novas variáveis, especialmente aquelas relacionadas às atividades econômicas ligadas à agropecuária (a pecuária extensiva e o cultivo de monoculturas, como arroz, milho, trigo, soja e, recentemente, o plantio de eucalipto), fundamental para o setor do agronegócio, em expansão em todo território nacional e mais especificamente na área de estudo e em seu entorno.

Foram mapeados os usos e a cobertura da terra, na área de estudo, para os anos de 1982 a 2016, com a finalidade de conferir o crescente avanço das atividades agrícolas sobre os campos nativos do Pampa. Os usos mapeados foram: Campo, Mata ciliar, Lavoura, Solo Exposto, Corpo d'água, Cultivo Irrigado e *areais*. O mapeamento confirmou o aumento da superfície destinada à Lavoura, em detrimento à área consagrada ao Campo. A Silvicultura é observada somente no ano de 2016, pois o incentivo ao plantio de exóticas teve início ao final da década de 1970. Igualmente, entre 1982 e 2016 houve redução da mata ciliar e do Campo. A relação de conversão campo/lavoura e, em menor proporção, a conversão campo/cultivo irrigado, é visualmente evidente nos mapas. A superfície de lavoura teve um aumento de cerca de 20%, no período observado. Em 1982, este uso correspondia a cerca de 2,5% do total da área, passando para 22% em 2016.

Pode-se dizer que os distintos usos feitos das colinas, associados aos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, determinam as dinâmicas ambiental e econômica no Pampa brasileiro. Como já mencionado, o Pampa possui como aptidão primária a pecuária e a conversão de uso, sobretudo de campo de pastoreio em lavoura destinada a cultivos agrícolas, intensifica a pressão sobre os recursos hídricos, sobre a vegetação herbácea e sobre os solos, que são particularmente sensíveis à erosão.

Dos dados estatísticos ligados à produção agrícola, vale destacar a relação entre a área ocupada por proprietários e as áreas arrendadas. Desde a década de 1970, as terras destinadas ao arrendamento aumentaram gradativamente, sem declínio até os dias atuais (2017). De acordo com dados dos censos agropecuários do IBGE, a prática de arrendamento de terras na região estudada é comum e constante desde 1970, tendo declinado na metade da década de 1990, registrando a menor área em 2006 (68.384 ha).

Os dados não mostram, contudo, se as terras arrendadas foram usadas para a agricultura ou para a pecuária, mas, provavelmente, tal mudança acompanha o aumento dos cultivos, em detrimento da pecuária extensiva. No entanto, nos últimos 10 anos, com a retomada do mercado global de *commodities*, os produtores intensificaram a prática do arrendamento de áreas para lavoura no Sudoeste do Estado, no período entre 2006 e 2017, e, hoje, a área ocupada por arrendatários chega a 181.935 ha, contra 126.073 ha de área registrada na década de 1970.

Sobre esta questão, talvez seja interessante estudar, no futuro, se há fluxo migratório de agricultores do Norte, especialmente sojicultores, para o Sudoeste do Estado, para produzir em

terras arrendadas e, sobretudo, estudar os impactos da prática de conversão de uso do solo (campo/lavoura) sobre os depósitos eólicos estudados, levando em consideração que o problema da *arenização* afeta em muito os pequenos e os médios produtores (os que têm menos do que 500 ha de área produtiva), desvelando, também, um problema de concentração fundiária.

Ainda, a partir dos resultados obtidos, outras perspectivas de pesquisas surgem, como a necessidade de se mapear os depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis em toda a área de ocorrência do processo de *arenização*. Porém, de maneira automatizada, a partir de Sensoriamento Remoto, enquanto proposta metodológica para a identificação de depósitos eólicos continentais estáveis, os quais são de difícil classificação. Também se observa a necessidade de explorar e de ampliar o conhecimento sobre as inferências de fases de ressecamento climático, a partir da realização de novas datações em sedimentos eólicos, utilizando-se o mesmo método (Luminescência Opticamente Estimulada - OSL), para estabelecer geocronologias dos depósitos eólicos estudados.

Ainda como proposição para estudos futuros, além de se concentrarem na intergeração da morfologia dos depósitos eólicos estáveis, no mapeamento geomórfico, na sedimentologia, na estratigrafia e na geocronologia, deve-se refletir sobre as relações dos sistemas eólicos estudados com os terraços dos rios e com as superfícies de terras altas, incluindo os terraços do Rio Uruguai, mencionados no capítulo 5.

Finalmente, pode-se destacar, como estudo importante a ser realizado, o da identificação dos processos erosivos hídricos atuantes na rede de drenagem, os quais procuram reestabelecer suas dinâmicas antes da deposição de sedimentos, em períodos de seca, que entulham os fundos dos vales e que, muitas vezes, estão sendo retomadas pela intervenção dos produtores rurais. Neste sentido, a geração e o agravamento dos processos erosivos, na forma de ravinas e de voçorocas, podem ser desencadeados e/ou agravados, se não houver um monitoramento técnico.

8

INSTITUIÇÕES, LABORATÓRIOS E GRUPOS DE PESQUISA DE APOIO

8.1 Brasil

- Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS
- Instituto de Geociências – UFRGS
- Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS
- Laboratório de Geografia Física – Instituto de Geociências – Departamento de Geografia/UFRGS
- Laboratório de Fotogrametria – Instituto de Geociências – Departamento de Geodésia e Engenharia Cartográfica/UFRGS
- Grupo de Pesquisa: Arenização/desertificação – questões ambientais
- Coordenação de Aproveitamento de Pessoal de Nível Superior/CAPES e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Pecuária Sul (Edital CAPES/EMBRAPA 15/2014)
Coordenação de Aproveitamento de Pessoal de Nível Superior/CAPES, no âmbito do Acordo CAPES-COFECUB 2017-2020 - EDITAL nº 16/2015
- Laboratório – Datação, Comércio e Prestação de Serviços LTDA – Brasil/SP (Laboratório privado)

8.2 França

- Le Mans Université – France
- École doctorale Sociétés, Temps, Territoires – STT - France
- Laboratoire Espaces et Sociétés – ESO/Le Mans – France
- IRAMAT – Institut de Recherche sur les ArchéoMATériaux – Université Bordeaux Montaigne – France

O projeto de tese faz parte de outros dois grandes projetos, os quais subsidiaram duas bolsas de pesquisa ao longo do doutorado. No Brasil, bolsa CAPES/Embrapa através do projeto “*A avaliação e controle de erosão hídrica em áreas de ocorrência de processos de arenização, Sudoeste do Rio Grande do Sul/Brasil, com o emprego de parcelas erosivas e o sistema Vetiver (vetiver system -vs)*” e na França por meio do projeto CAPES/Cofecub “*Qualidades dos Produtos da Territorialização no Rio Grande do Sul – QUALPROSUL*” (*QUALPROSUL – Qualités de Produits Territorialisés au Rio Grande do Sul*). Ainda através do convênio estabelecido entre as universidades UFRGS – Brasil e Le Mans Université – France a tese foi desenvolvida em acordo de cotutela, conduzida conforme convenção e normas preestabelecidas entre as instituições envolvidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, Aziz Nacib. Da participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro, 1969. In: MODENESI-GAUTTIERI, May Christine; BARTORELLI, Andrea; MANTESSO-NETO, Virginio; CARNEIRO, Celso dal Ré; LISBOA, Matias Barbosa de Andrade Lima. **A obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca, 2010. (O artigo encontra-se no CD anexo à obra).
- AB'SÁBER, Aziz Nacib. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários, 1977. In: MODENESI-GAUTTIERI, May Christine; BARTORELLI, Andrea; MANTESSO-NETO, Virginio; CARNEIRO, Celso dal Ré; LISBOA, Matias Barbosa de Andrade Lima. **A obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca, 2010. (O artigo encontra-se no CD anexo à obra).
- AB'SÁBER, Aziz Nacib; BIGARELLA, João José. Paläogeographische und Paläoklimatische Aspekte des Känozoikums in Südbrasilien. SEIT. Für Geomorph., Berlin, 8 (3):286-312, 1964. In: MODENESI-GAUTTIERI, May Christine; BARTORELLI, Andrea; MANTESSO-NETO, Virginio; CARNEIRO, Celso dal Ré; LISBOA, Matias Barbosa de Andrade Lima. **A obra de Aziz Nacib Ab'Sáber**. São Paulo: Beca, 2010. (O artigo encontra-se no CD anexo à obra).
- ALMEIDA, Felipe; TAPAHUASCO, Wilber Feliciano Chambi; ODY, Lissara Polano; CAMPAGNOLO, Luciele Bilhalva. Estudos de correlação granulométrica de distintos solos de origem eólica. **Anais – 9º SIEPE – Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Disponível em: <http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/29653>. Acesso em: 26 dez. 2018.
- ANDREATTA, Tanice. **Bovinocultura de corte no Rio Grande do Sul: um estudo do perfil dos pecuaristas e organização dos estabelecimentos agrícolas**. 2009. 241 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural da Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.
- AVÉ-LALLEMENT, Robert. **Viagem pela Província do Rio Grande do Sul: 1858**. Belo Horizonte: Itatiaia/Ed da USP, 417 p., 1980.
- BARROS, Omar Neto Fernandes; SAITO, Luiza; NOFFIS, Paulo. Conceito de tempo: Relações entre graus de alteração e cronosequência e as superfícies geomorfológicas. **Revista Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**. Londrina, v. 21, n. 4, p. 67-76, dez. 2000.
- BEHLING, Hermann; PILLAR, Valerio DePatta. & BAUERMAN, Soraia Girardi. Late Quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics, studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in western Rio Grande do Sul (Southern Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 133, p. 235-248, 2005.

BELLANCA, Eri Tonietti. **Uma contribuição para a explicação da gênese dos areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul**. 2002. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

BELLANCA, Eri Tonietti. Os caminhos que identificam os areais. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, p. 282-306, 2012.

BIGARELLA, João José. Contribuição ao estudo da planície litorânea do estado do Paraná. **International Journal: Brazilian Archives of Biology and Technology**. Jubilee Volume (1946-2001), p. 65-110, Dec. 2001. ISSN 1516-8913. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/babt/vjubilee/a05vjub.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2015.

BOMBIN, Miguel. **Modelo Paleocológico Evolutivo para o Neokuaternário da Região da Campanha-Oeste do Rio Grande do Sul (Brasil)**. 1976. 133 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 1976.

BOMBIN, Miguel; KLAMT, Egon. Evidências paleoclimáticas em solos do Rio Grande do Sul. **Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS**, v. 13, p. 1-12, 1974.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **RESOLUÇÃO CONAMA nº 238, de 22 de dezembro de 1997**. Publicada no DOU no 248, de 23 de dezembro de 1997, Seção 1, página 30930. Dispõe sobre a aprovação da Política Nacional de Controle da Desertificação. 12p.

BRITISH BROADCASTING CORPORATION - BBC News, Science & Environment. **Welcome to the Meghalayan Age - a new phase in history – July. 18, 2018**. By Jonathan, AMOS - BBC Science Correspondent. Disponível em: <https://www.bbc.co.uk/news/science-environment-44868527>. Acesso em: 13 ago. 2018

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.1], 2005. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia>. Acesso em: 19 dez. 2015.

CASSOL, Daniel. Areia ameaça o Pampa. **Revista Panorama Brasil**, n. 362, São Paulo: SESC/SENAC, mar./abr., 2004. Disponível em: https://www.sescsp.org.br/online/artigo/2430_AREIA+AMEACA+O+PAMPA. Acesso em: 30 out. 2018.

CANEPPELE, Jean Carlo Gessi. **Espacialização da arenização a partir da Ecodinâmica e da Cartografia Ambiental**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

CHRISTOPHERSON, Robert W. Geossistemas – **Uma introdução à geografia física**. Tradução: Francisco Eliseu Aquino ... (et al.). Porto Alegre: Bookman, 7ª edição, 727p, 2012.

COOKE, Ron; WARREN, Andrew; GOUDIE, Andrew. **Desert Geomorphology**. Londres: UCL Press, 526 p, 1993.

CORBONNOIS, Jeannine; VERDUM, Roberto; MESSNER, François; LAURENT, François; SOARES, Vagner Garcez. L'érosion des sols sableux dans les campos du sud du Brésil (bassin de l'Ibicuí, Rio Grande do Sul). **Géomorphologie: relief, processus, environnement**, v. 17, N. 1, p. 53-64, 2011. Disponível em: <https://geomorphologie.revues.org/9213>. Acesso em: 15 maio 2018.

CORBONNOIS, Jeannine; LAURENT, François; ANDREU-BOUSSUT, Vincent; MESSNER, François; VIEIRA, Rosa Medeiros; SOGUE, Makhtar. L'intensification des pratiques agricoles et la mobilisation des ressources naturelles dans La Pampa du Sud du Brésil. **Vertigo**, v. 14. N. 1, mai. 2014. Disponível em: <https://vertigo.revues.org/14590>. Acesso em: 15 maio 2018.

CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere. **Analyse morphostructurale et evolution paléogéographifque de la plate-forme continentale atlantique Sud-Brasilienne** (Rio Grande do Sul-Brésil. 1990. 314 f. Tese – Université de Bordeaux I, France, 314p, 1990.

CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere. Les variations du niveau de la mer durant les derniers 17.500 ans BP: l'exemple de la plate-forme continentale du Rio Grande do Sul-Brésil. **Marine Geology**, v. 130, p. 163-178, 1996. Disponível em: <http://rvq.sbgq.org.br/imagebank/pdf/Arbilla2NoPrelo.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2018

CORRÊA, Iran Carlos Stalliviere; WESCHENFELDER, Jair; TOLDO JR, Elirio Ernestino; BAITELLI, Ricardo; SANTOS-FISCHER, Cristiane Bahi dos. Turfa na plataforma continental do Sul do Brasil. **Comunicações Geológicas**, v. 101, p. 721-724, 2014.

DIAS, João M. Alverino. **A análise sedimentar e o conhecimento marinho: Uma introdução à Oceanografia Geológica**. 2004. *E-book*. Disponível em: http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html. Acesso em: 10 maio 2017.

EVALDT, Andréia Cardoso Pacheco. **Reconstituição Paleoambiental em remanescente de Savana Estépica Parque no extremo oeste do Rio Grande do Sul (Barra Do Quaraí), com base em palinomorfos holocênicos**. 2013. 128 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

EVALDT, Andréia Cardoso Pacheco; BAUERMANN, Soraia Girardi; SOUZA, Paulo Alves de. Registros polínicos para o Holoceno Tardio da Região da Campanha (Rio Grande do Sul, Brasil) e seu significado na história dos Paleoambientes da Savana Estépica Parque. **Revista Sociedade Brasileira de Paleontologia**, v. 17(2), p. 183-194, 2014.

FAVERA, Alexandre Ceretta Dalla; LUIZ, Eduardo Weide; SCHUCH, Nelson Jorge; MARTINS, Fernando Ramos, PEREIRA, Enio Bueno. Potencial eólico no Rio Grande do Sul – distribuição estatística dos ventos na região Central do Estado. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 6, n. 1, p. 38-51, 2012.

FERREIRA, Gustavo. **Enfoque Evolucionista del Proceso de Toma de Decisiones**. Editorial Académica Española, 1 ed., 340 p, 2012.

FILHO, Clódis de Oliveira Andrade; GUASSELLI, Laurindo Antonio; SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. Identificação de possíveis deformações tectônicas a partir de dados SRTM e sua relação com a gênese dos areais – Sudoeste do Rio Grande do Sul. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, p. 245-264, 2012.

FONTOURA, Luiz Fernando Mazzini. **Macanudo Taurino: Uma Espécie em Extinção? Um Estudo sobre o Processo de Modernização na Pecuária da Campanha Gaúcha**. 2000. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2000.

GIANNINI, Paulo César Fonseca; ASSINE, M. L.; BARBOSA, L.; BARRETO, A. M. F.; CLAUDINO-SALES, V.; MAIA, L. P.; MARTINHO, C. T.; PEULVAST, J.; SAWAKUCHI, A. O.; TOMAZELLI, L. J. Dunas e paleodunas eólicas costeiras e interiores. In: SOUZA, Celia Regina de Gouveia; SUGUIO, Kinitiro; OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; OLIVEIRA, Paulo Eduardo de. (org.). **Quaternário do Brasil**. São Paulo: Holos Editora, p. 235 – 257, 2005.

GOMES, Tania Cristina. **Crescimento urbano sobre os compartimentos de relevo no município de Santa Maria – RS**. 2013. 157 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências/IGEO, Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/83296>. Acesso em: 11 ago. 2017.

GOUDIE, ANDREW S. **Encyclopedia of geomorphology**. v. 1. Londres: Routledge, 1156p., 2004.

GOUDIE, ANDREW S. The History and Nature of Wind Erosion in Deserts. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**. v. 36, p. 97-119. (Volume publication date 30 May 2008 First published online as a Review in Advance on November 28, 2007). Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.36.031207.124353>. Acesso em: 12 nov. 2018.

GUASSELLI, Laurindo Antonio. O mapeamento de areias a partir de sensoriamento remoto. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, p. 97123, 2012.

GUASSELLI, Laurindo Antonio; EVERS, Henrique. Relação entre paleodrenagens/valões e a ocorrência de areais no sudoeste do RS. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, p. 227-243, 2012.

GUEDES, Carlos Conforti Ferreira; SAWAKUCHI, André Oliveira; GIANNINI, Paulo César Fonseca; DEWITT, Regina; AGUIAR, Vitor Ângelo Paulino de. Datação por luminescência opticamente estimulada: princípios e aplicabilidade nos depósitos sedimentares brasileiros. In: **Anais do XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, 2011, Búzios.

GUERRA, Antônio Teixeira. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 7ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY CHART. **Chronostrat Chart 2015**. JANUARY 2015. Disponível em: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2015-01.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2016.

INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY CHART. **ICS Chart Timescale**. JANUARY 2015. Disponível em: <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale>. Acesso em: 13 ago. 2018.

INTERNATIONAL COMMISSION ON STRATIGRAPHY CHART. **Chronostrat Chart 2018**. JANUARY 2015. Disponível em: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2018-08.jpg>. Acesso em: 13 ago. 2018.

INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES – IUGS. **E-Bulletin n° 143 – June 2018**. Disponível em: <http://iugs.org/uploads/E-Bulletin/IUGS-E-bulletin-June-143.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos Agropecuários 1970; 1975; 1980; 1985; 1995/96; 2006; 2017**. Rio de Janeiro, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manuais técnicos em Geociências - **Manual técnico de Uso da Terra**. N° 7, 3ª ed. 2013. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/manual_usodaterra.shtm. Acesso em: 03 nov. 2017.

IRIARTE, José. Vegetation and climate change since 14,810 C-14 yr. BP in southeastern Uruguay and implications for the rise of early Formative societies. **Quaternary Research**, v. 65, p. 20-32, 2006.

IRIONDO, Martín. Geomorphology and late Quaternary of the Chaco (South America). **Geomorphology**, v. 7, p. 289-303, 1993.

IRIONDO, Martín H. Models of deposit of loess and loessoids in upper quaternary of South America. **Journal of South America Earth Sciences**, v. 10, n. 1, p. 71-79, 1997.

IRIONDO, Martín. Climatic changes in the South American plains: Records of a continent-scale oscillation. **Quaternary International**, v. 57/58, n. 1, p. 93-112, 1999.

IRIONDO, Martin H.; BRUNETTO, Ernesto. **Cuaternario de Brasil, Paraguay y Uruguay**. 1 ed. ilustrada. Córdoba, 494p, 2016.

IRIONDO, Martín H.; GARCÍA, Norberto O. 1993. Climatic variations in the Argentine plains during the last 18,000 years. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. v. 201; p. 209-220, 1993.

KERN, Arno Alvares. Paleo-Paisagens e Povoamento Pré-histórico do Rio Grande do Sul. **Estudos Ibero-Americanos**, v. VIII, N. 2, p. 153-208, 1982.

KERN, Arno Alvarez. **Antecedentes indígenas**. 1 ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 132p, 1994.

KRÖHLING, Daniela M. Upper Quaternary geology of the lower Carcarañá Basin, North Pampa, Argentina. **Quaternary International**, v. 57/58, n. 1, p. 135-148, 1999.

KRÖHLING, Daniela M.; IRIONDO, Martín. Upper Quaternary Paleoclimates of the Mar Chiquita area, North Pampa, Argentina. **Quaternary International**, v. 57/58, n. 1, p. 149-163, 1999.

KRUMBEIN, William Christian. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 11, p. 64-72, 1941.

LIMA, Leonardo Gonçalves de. **Estratigrafia e Evolução Hologênica de Uma Barreira Costeira Transgressiva/Regressiva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MAINGUET, Monique. Le modelé des grès. Problèmes généraux. Institut Géographique National – Paris. **Études de photo-interprétation** (2 tomes), 657 pages, 1972.

MAYEWSKY, Paul Andrew; ROHLING, Eelco E.; STAGR, J. Curt; KARLÉN, Wibjorn; MAASCH, Kirk A.; MEERKER, L. David; MEYERSON, Eric A.; GASSE, Françoise; KREVELD, Shirley Van; HOLMGREN, Kerin; LEE-THORP, Julia; ROSQVIST, Gunhild; RACK, Frank; STAUBWASSER, Michael; SCHNEIDER, Ralph R.; STEIG, Eric j. Holocene climate variability. **Quaternary Research**, v. 62, n. 3, p. 243-255, 2004.

MEDEIROS, Edgardo Ramos. **Relação entre o capeamento pedológico e o substrato rochoso-arenoso no oeste do Estado do Rio Grande do Sul**. 2012. 147 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2012.

MILDER, Saul Eduardo Seiguer. **A “fase Ibicuí”**: Uma Revisão Arqueológica, Cronológica e Estratigráfica. 1994. Dissertação (Mestrado em História - Arqueologia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

MILDER, Saul Eduardo Seiguer. **Arqueologia do Sudoeste do Rio Grande do Sul, uma perspectiva Geoarqueológica**. 2000. 180 f. Tese (Doutorado em Arqueologia e Etnologia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MILLER, Eurico T. Pesquisas arqueológicas paleoindígenas no Brasil ocidental. **Estudios Atacameños. Arqueología y antropología surandinas**, N° 8, p. 39-64, 1987.

OLIVEIRA, Mateus; SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. Páleo Geografia da área de ocorrência de areais: São Francisco de Assis – RS. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, p. 201-226, 2012.

PARSONS, Anthony J., ABRAHAMS, Athol D. Chapter 1 - Geomorphology of Desert Environments. In: _____. **Geomorphology of Desert Environments**. 2ª ed., 2009.

PEREIRA, Aliger dos Santos; COSTA, Sheila; FILHO, Vicente Lopes; SANTOS, Leandro; GOMES, Ana. A compreensão do método hipotético dedutivo. **Revista Acadêmico Mundo**. Salvador, BA, Ano I, N° 1, julho, 2013. ISSN eletrônico 2318.1494. Disponível em: <http://www.academicomundo.com.br/revista.html> Acesso em: 05 mar. 2016

PEREIRA, Josielle Samara. **Pedogênese e Morfogênese na Superfície de São José dos Ausentes (RS) no Quaternário Tardio**: Evidências em paleofundo de vale de segunda ordem hierárquica. 2017. 133 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Geografia, UNIOESTE, Francisco Beltrão, 2017.

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos. Cartografia das Formações Superficiais na Região Metropolitana do Recife. In: **IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, Recife, 2003.

PRIETO, Aldo R.; BLASI, Adriana M.; FRANCESCO, Claudio G. De.; FERNÁNDEZ, Celina. Environmental history since 11,000 14C yr. B.P. of the northeastern Pampas, Argentina, from alluvial sequences of the Luján River. **Quaternary Research**, v. 62, p. 146-161, 2004.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE – PNUMA. **Global Deserts Outlook**, 167p, 2006. ISBN 92-807-2722-2

QUATTROCCHIOA, Mirta E., BORROMEIA, Ana M.; DESCHAMPSC, Cecilia M. GRILL, Silvia C.; ZAVALA, Carlos A. Landscape evolution and climate changes in the Late Pleistocene–Holocene, southern Pampa (Argentina): Evidence from palynology, mammals and sedimentology. **Quaternary International**, v. 181, p. 123-138, 2008.

QUEIROZ NETO, José Pereira de. O estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, v. 22, p. 65-78, 2001.

RIBASKI Jorge; DEDECEK, Renato Antonio; MATTEI, Vilmar L.; FLORES, Carlos Alberto; VARGAS, Adriana F. C.; RIBASKI, Sonia A. G. Sistemas Silvopastoris: Estratégias para o Desenvolvimento Rural Sustentável para a Metade Sul do Estado do Rio Grande do Sul. **EMBRAPA - Comunicado técnico 150**. Colombo: EMBRAPA, dez. 2005.

RIBEIRO, José Carlos Corrêa. **Discurso e construção do imaginário acerca dos areais nas políticas voltadas à arenização no sudoeste gaúcho**. 2015. 223 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RIBEIRO, Veridiana. **Evidência de incêndio em turfeira costeira do Rio Grande do Sul – Brasil e relação com flutuações climáticas no Quaternário**. 2015. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

RITTENHOUSE, Gordon. A visual method of estimating Two-Dimensional Sphericity. **Journal of Sedimentary Petrology**. v. 13(2), p. 79-81, 1943.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. 8a ed. São Paulo: Contexto, 2010. 85p.

ROSSATO, Maira Suertegaray. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ROSSATO, Maira Suertegaray; SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. O clima no sudoeste do Rio Grande do Sul. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar--Cultura: Imprensa Livre, p. 385-411, 2012.

SANCHES, Fabio de Oliveira. **Os areais do sudoeste do Rio Grande do Sul: estudo sobre as chuvas no século XX e um possível cenário para o século XXI**. 2013. 159 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SARTORI, Maria da Graça Barros. Dinâmica do Clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. *São Paulo. Terra Livre*, Ano 19, v. I, n. 20, p. 27-49, jan./jul. 2003.

SCHERER, Claiton Marlon dos Santos; LAVINA, Ernesto Luiz Correa. Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian-fluvial strata of the Upper Jurassic Guará Formation, Southern Brazil. *Sedimentology*, v. 52, p. 1323-1341, 2005.

SCHERER, Claiton Marlon dos Santos; LAVINA, Ernesto Luiz Correa. Stratigraphic evolution of a fluvial-eolian succession: The example of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Guará and Botucatu formations, Paraná Basin, Southernmost Brazil, *Gondwana Research*, v. 9, p. 475-484, 2006.

SCIENCE. **Massive drought or myth? Scientists spar over an ancient climate event behind our new geological age – Aug. 8, 2018.** By Paul VOOSSEN. Disponível em: <https://www.sciencemag.org/news/2018/08/massive-drought-or-myth-scientists-spar-over-ancient-climate-event-behind-our-new>. Acesso em: 14 ago. 2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. Porto Alegre, julho de 2006.

SÍGOLO, Joel Barbujianni. Processos eólicos e produtos sedimentares. In: TEIXEIRA, Wilson; FAIRCHILD, Thomas Rich; TOLEDO, Maria Cristina Motta de.; TAIOLI, Fabio (org.). **Decifrando a Terra**. 2 ed, São Paulo: Companhia Editora Nacional, p. 334-347, 2009.

SILVA, Cleyton M. da.; ARBILLA, Graciela; SOARES, Ricardo; MACHADO, Wilson. A Nova Idade Meghalayan: O que isso Significa para a Época do Antropoceno? *Rev. Virtual Química*, v. 10 (4), 2018, no prelo. Data de publicação na *web*: 7 de agosto de 2018.

SILVA, Marcelo Dutra da. Os Cultivos Florestais do Pampa, no Sul do Rio Grande do Sul: Desafios, Perdas e Perspectivas frente ao avanço de novas Fronteiras Agrícolas. Curitiba. *Revista Floresta*, v. 42, n. 1, p. 215-226, jan./mar. 2012.

SILVA, Marcelo Dutra da. **Pampa. O cultivo de soja é a maior ameaça**. Instituto Humanitas Unisinos – ADITAL, João Vitor Santos. Edição: Vitor Necchi – 19 de março de 2017. Disponível em: <http://www.ihu.unisinos.br/159-noticias/entrevistas/565901-pampa-o-cultivo-de-soja-e-a-maior-ameaca-entrevista-especial-com-marcelo-dutra-da-silva>. Acesso em: 04 nov. 2018.

SOARES, Ana Paula; SOARES, Paulo César; HOLZ, Michael. Correlações estratigráficas conflitantes no limite Permo-Triássico no Sul da Bacia do Paraná: O contato entre duas seqüências e implicações na configuração espacial do Aquífero Guarani. *Revista Pesquisas em Geociências*, v. 35 (2), p. 115-133, 2008. ISSN 1807-9806.

STEVAUX, José C. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Parana River: Correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. **Quaternary International**, v. 72, n. 1, p. 73-85, 2000.

STRAHLER, Arthur N.; STRAHLER, Alan H. **Geografia Física**. Barcelona: Ediciones Ômega, 3a ed., 550p, 1997.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. **A trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí - RS**. 1987. 243 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. Natureza, produção e sustentabilidade: e o Rio Grande do Sul descobre seus desertos. **Revista Ciência & Ambiente**, Santa Maria: Editora da UFSM, v. 11, nº 2, p. 33-52, 1995.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes; VERDUM, Roberto; GUASSELLI, Laurindo Antonio (org.). **Atlas da Arenização, Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento e Secretaria de Ciência e Tecnologia, Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 85p, 2001.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. Erosão nos Campos Sulinos: Arenização no Sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, nº 3, p. 61-74, 2011.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes & VERDUM, Roberto. Desertification in the Tropics. **Encyclopedia of Life Support Systems**. Paris: UNESCO Publishing, p. 1-17, 2008.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes, GUASSELLI, Laurindo Antonio; VERDUM, Roberto; BASSO, Luís Alberto; MEDEIROS, Rosa Maria Vieira; BELLANCA, Eri Tonietti; BERTÊ, Ana Maria de Aveline. Projeto Arenização no Sudoeste do Rio Grande do Sul, Brasil: gênese, dinâmica e espacialização. **Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales**, Univ. de Barcelona Espanha, Nº 287, mar. 2001. ISSN 1138-9796. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-287.htm>. Acesso em: 06 ago. 2014.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. Desertificação: Recuperação e Desenvolvimento Sustentável. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 10ª ed. p. 249-287, 2011.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes; MOURA, Nina Simone Vilaverde Morfogênese do Relevo do Estado do Rio Grande do Sul. In: VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (Org.). **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2ª ed., p. 11-26, 2012.

SUGUIO, Kenitiro. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Edgard Blucher, 400p, 2003.

TRIPALDI, Alfonsina; FORMAN, Steven L.; Geomorphology and chronology of Late Quaternary dune fields of western Argentina. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. v. 251; p. 300-320, 2007.

TRIPALDI, Alfonsina; ZÁRATE, Marcelo A. A review of Late Quaternary inland dune systems of South America east of the Andes. **Quaternary International**, v. 410, p. 96-110, 2014.

F. BOULVAIN. **Cour: Une introduction aux processus sédimentaires**. Faculté des Sciences - Département de Géologie, UNIVERSITÉ DE LIÈGE, 2017. Disponível em: <http://www.geolsed.ulg.ac.be/processus/processus.htm> Acesso em: 16 jan. 2018

VERDUM, Roberto. *Approche géographique des deserts dans lês communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana – Etat do Rio Grande do Sul – Brésil*. 1997. 211 f. Tese (Doutorado)– Université de Toulouse II, Le Mirai, França, 1997.

VERDUM, Roberto. Descoberta permanente: das areias aos areais. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, p. 73-84, 2012.

VERDUM, Roberto. Repercussões da Paisagem: da arenização à monocultura arbórea na depressão periférica. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, p. 451-463, 2012.

VERDUM, Roberto; SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. A morfodinâmica nos areais: os processos e as formas no presente. O tempo que faz (weathering). In: SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (Org.). **Arenização Natureza Socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura: Imprensa Livre, p. 173-198, 2012.

VIERO, Ana Cláudia. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. In: (Org.) VIERO, Ana Cláudia; SILVA, Diogo Rodrigues Andrade da. Porto Alegre: CPRM, 250p, 2010.

WENTWORTH, Chester K. C. 1922. A scale of grade and glass terms for clastic sediments. **The Journal of Geology**, v. 30, No. 5 (Jul. - Aug. 1922), p. 377-392. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/30063207>. Acesso em: 06 abr. 2015.

FIGURE

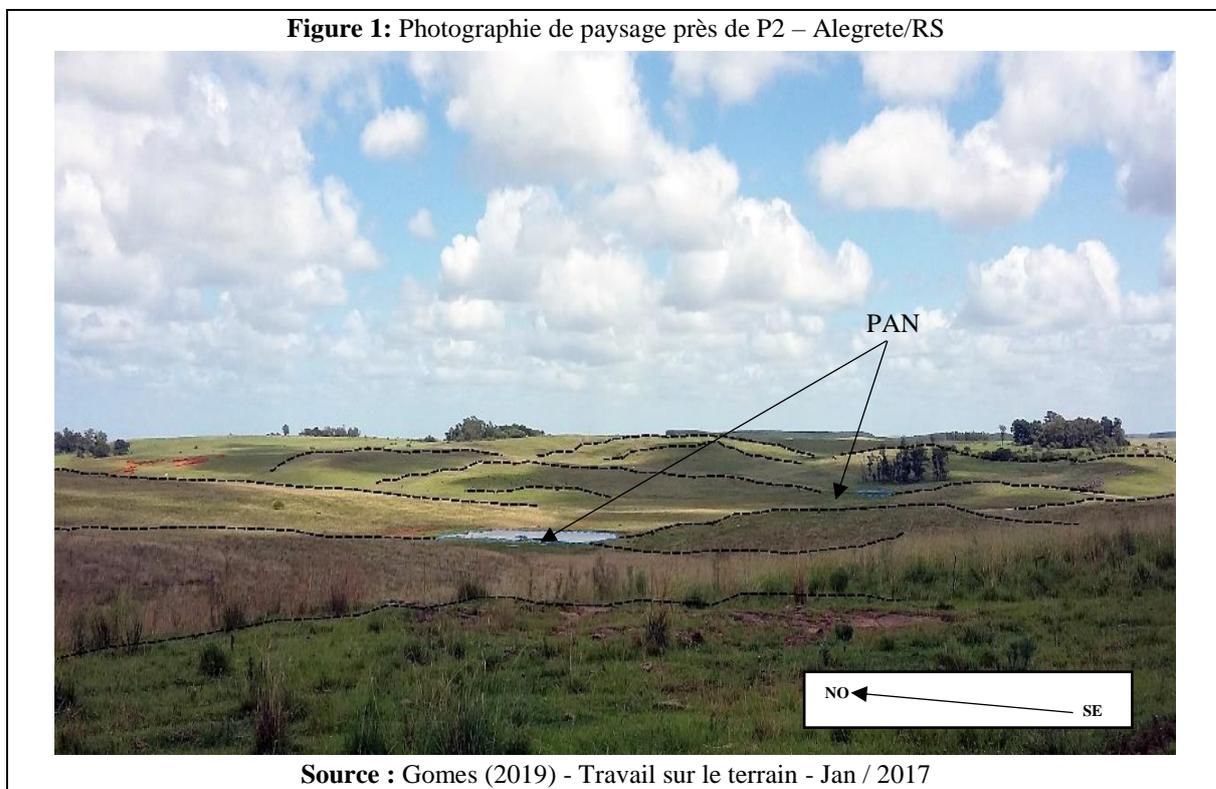
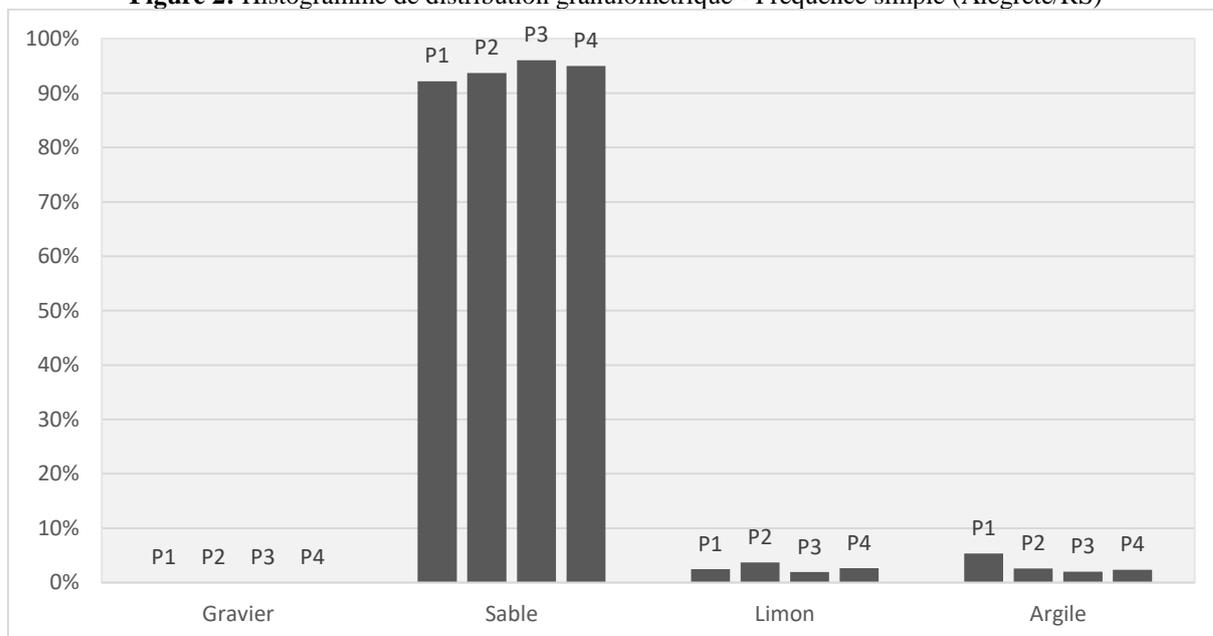
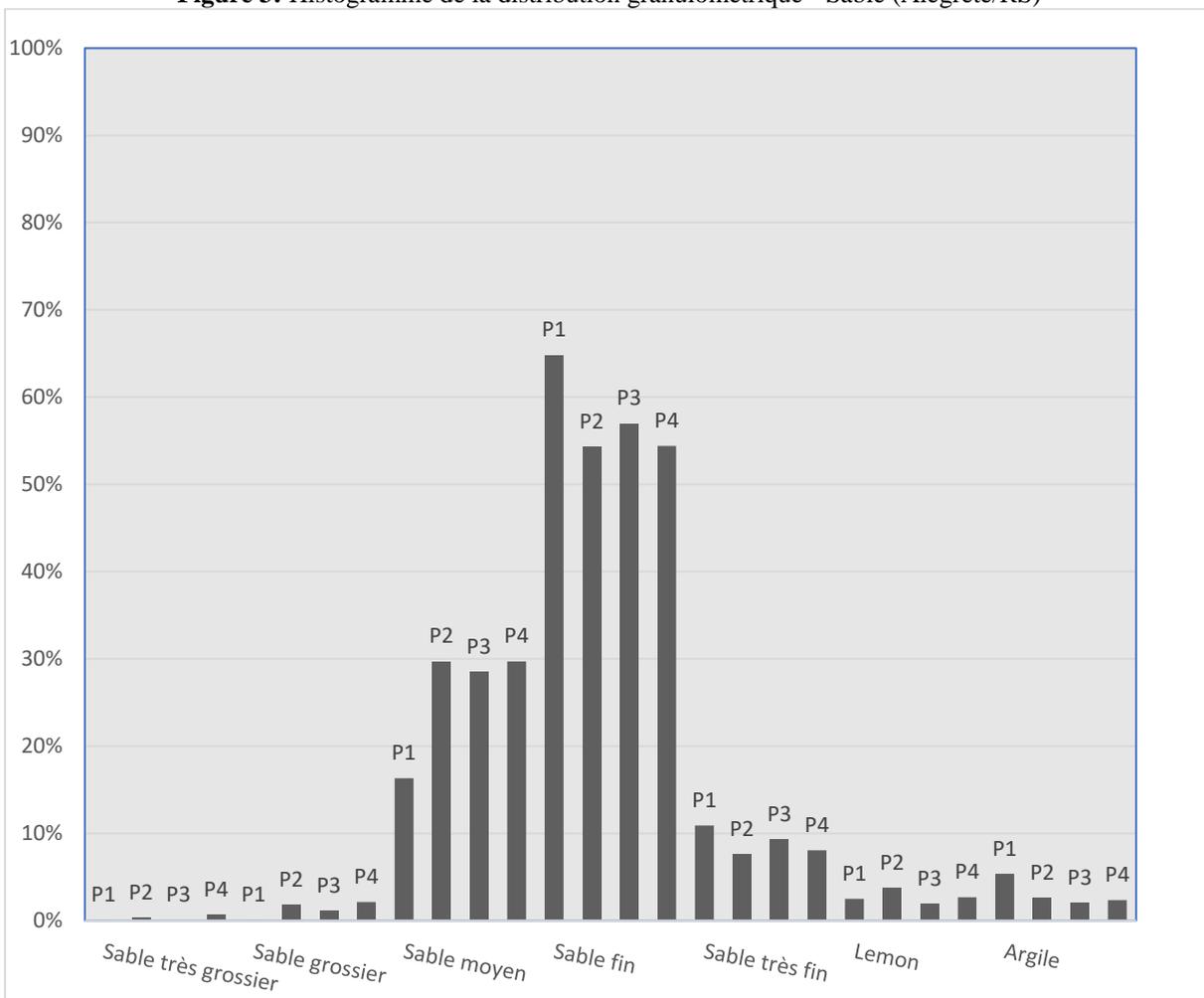


Figure 2: Histogramme de distribution granulométrique - Fréquence simple (Alegrete/RS)



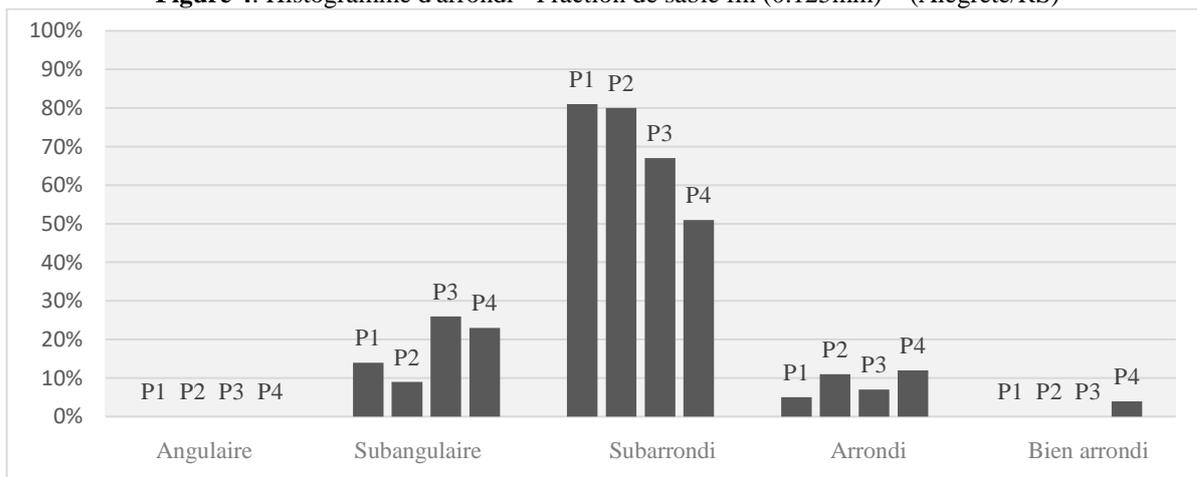
Source: Gomes (2019)

Figure 3: Histogramme de la distribution granulométrique - Sable (Alegrete/RS)



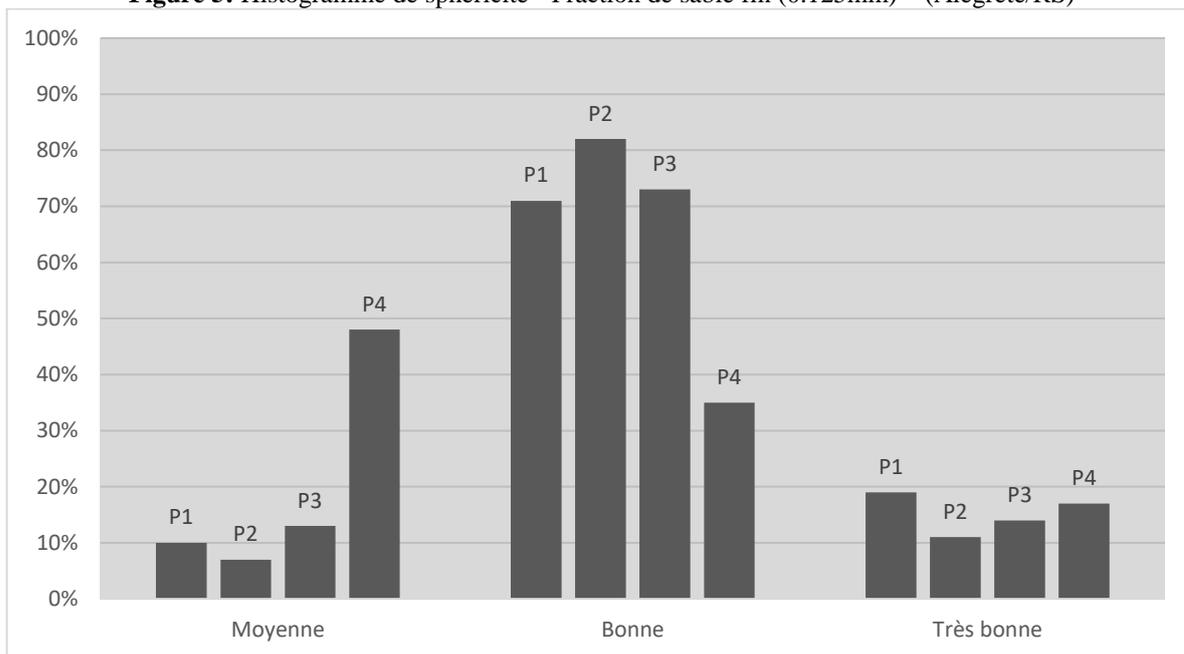
Source: Gomes (2019)

Figure 4: Histogramme d'arrondi - Fraction de sable fin (0.125mm) – (Alegrete/RS)



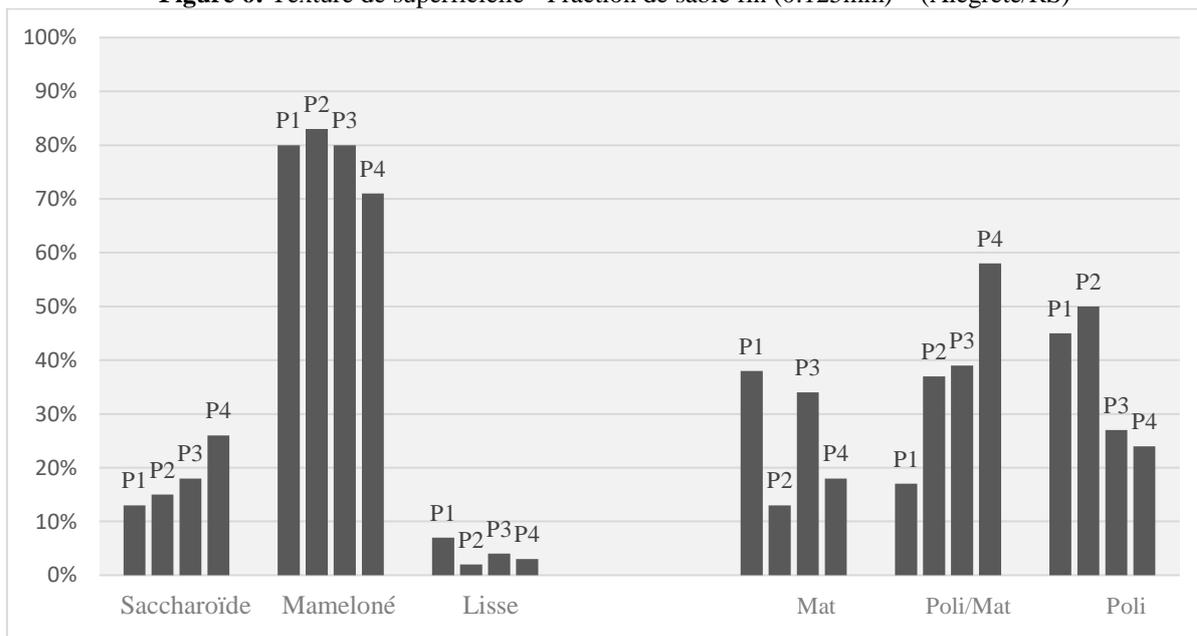
Source: Gomes (2019)

Figure 5: Histogramme de sphéricité - Fraction de sable fin (0.125mm) – (Alegrete/RS)



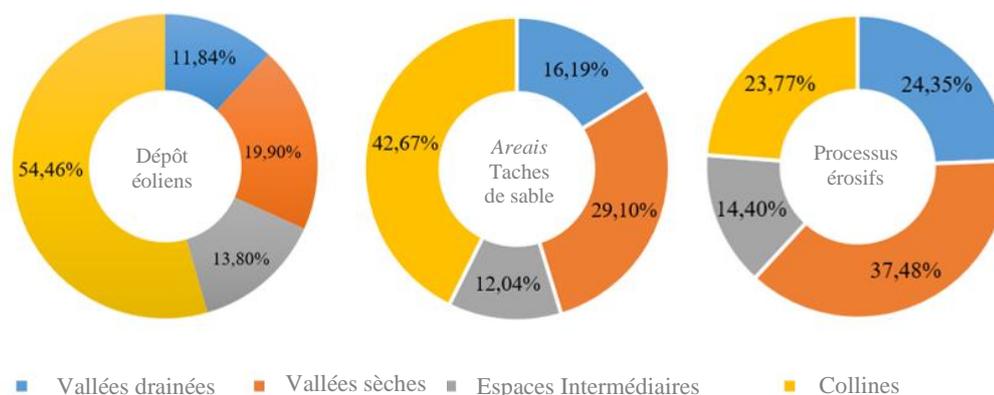
Source: Gomes (2019)

Figure 6: Texture de superficielle - Fraction de sable fin (0.125mm) – (Alegrete/RS)



Source: Gomes (2019)

Figure 7: Distribution des caractéristiques géomorphologiques sur les Unités de Relief



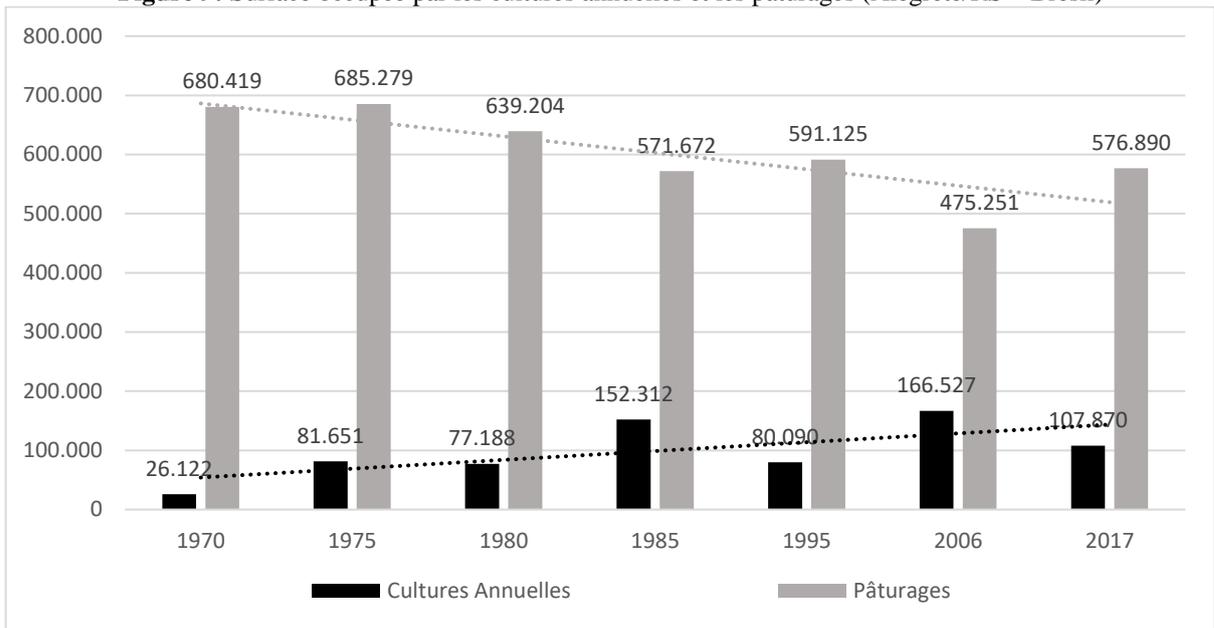
Source: Gomes (2019)

Figure 8: Volume des précipitations mensuelles (2000 à 2017) – Alegrete/RS – Brésil

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2000	106,4	95,5	257,2	118	240,6	197,6	76,53	64,15	213,2	187,4	233,5	123,6
2001	313,3	114,5	180,7	412,4	74,23	134,7	97,13	73,33	230,2	142,6	156,7	53,73
2002	54,18	119,6	321,3	319,3	200,9	157,4	229	183,4	277,3	463,3	242,5	306,6
2003	127,5	252,4	194,8	323,7	108,2	156,5	96,95	85,58	61	277	269,3	305,2
2004	53,8	68,4	28,88	160,3	48,28	91,85	62,15	40,63	111	197,6	177,1	103,1
2005	124,7	28,5	73,35	304,4	282,2	159,6	34,58	109,3	149,6	228,4	114,5	111,7
2006	80,33	17,1	91,33	127,6	92,23	122,3	68,18	43,08	118,1	184	221,3	199,2
2007	124,5	245,9	276,2	165,8	84,5	114,7	70,55	121,2	189,7	265,5	75,7	67,28
2008	84,38	129,8	46,23	148,6	98,88	147,9	150,8	91,95	89,83	291,6	46,4	18,7
2009	94,75	186,4	81,43	37,83	146,6	33,03	54,95	103,7	209,6	156,7	661,8	224,1
2010	484,5	212	51,33	147,4	143,3	43,68	362,9	28,3	237	51,33	45,95	116,5
2011	130,8	134,8	64,93	207,8	111,7	132,2	130,6	86,68	101,5	180,1	97,05	116,5
2012	26,95	103,2	32,6	140,5	24,05	61,4	56,65	102,3	114,2	434,3	46,78	367
2013	112,3	247,9	192,2	170,9	147,3	66,78	160,2	90,5	84,08	117,4	268,5	41,68
2014	195,8	165,8	206,6	86,6	222,4	159,3	196,2	24,5	213,9	207,8	134,9	226,3
2015	244	108,8	112,8	77,58	197,5	132,9	106,7	146,1	107,5	430,4	222,7	476,4
2016	118,9	152,8	212,3	300,1	101,4	88,28	127,3	97,8	23,13	266,4	189,6	126,1
2017	216,1	250,8	160,1	291,2	347,9	116,2						

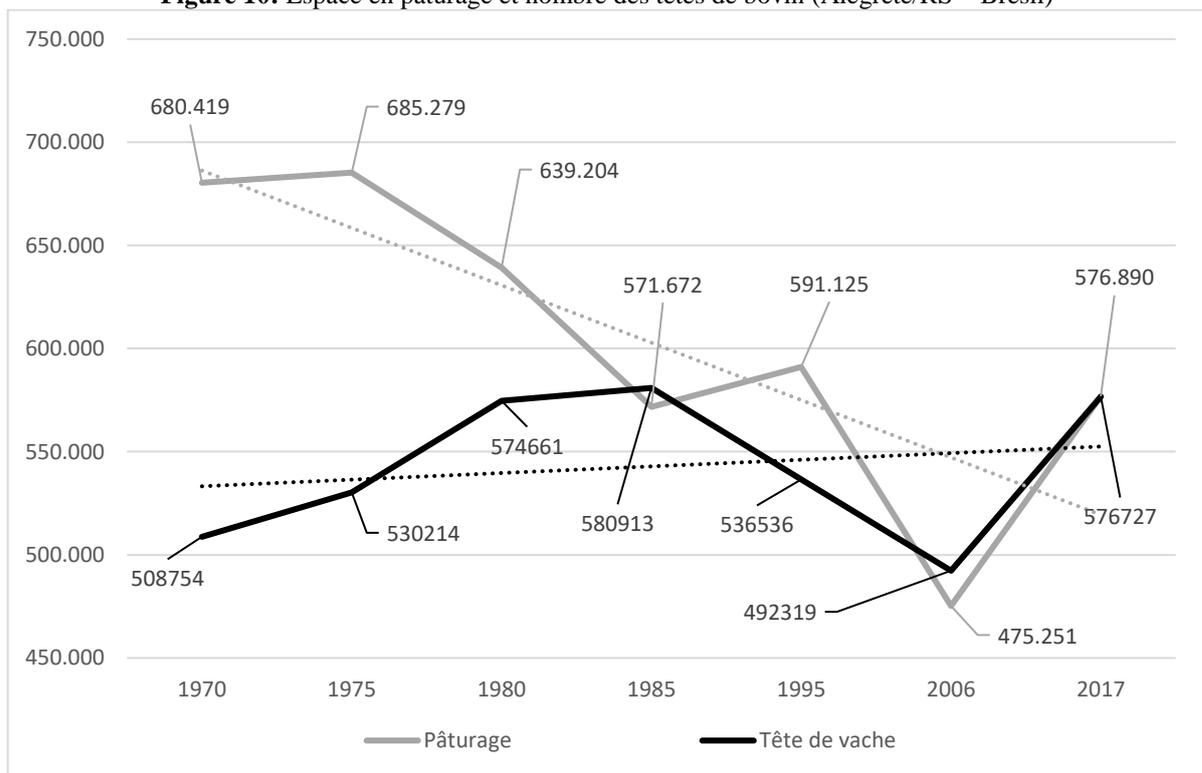
Source: Série chronologique de données *The Tropical Rainfall Measuring Mission* - TRMM, disponible à: <http://www.dsr.inpe.br/laf/series/informacoes.php>

Figure 9: Surface occupée par les cultures annuelles et les pâturages (Alegrete/RS – Brésil)



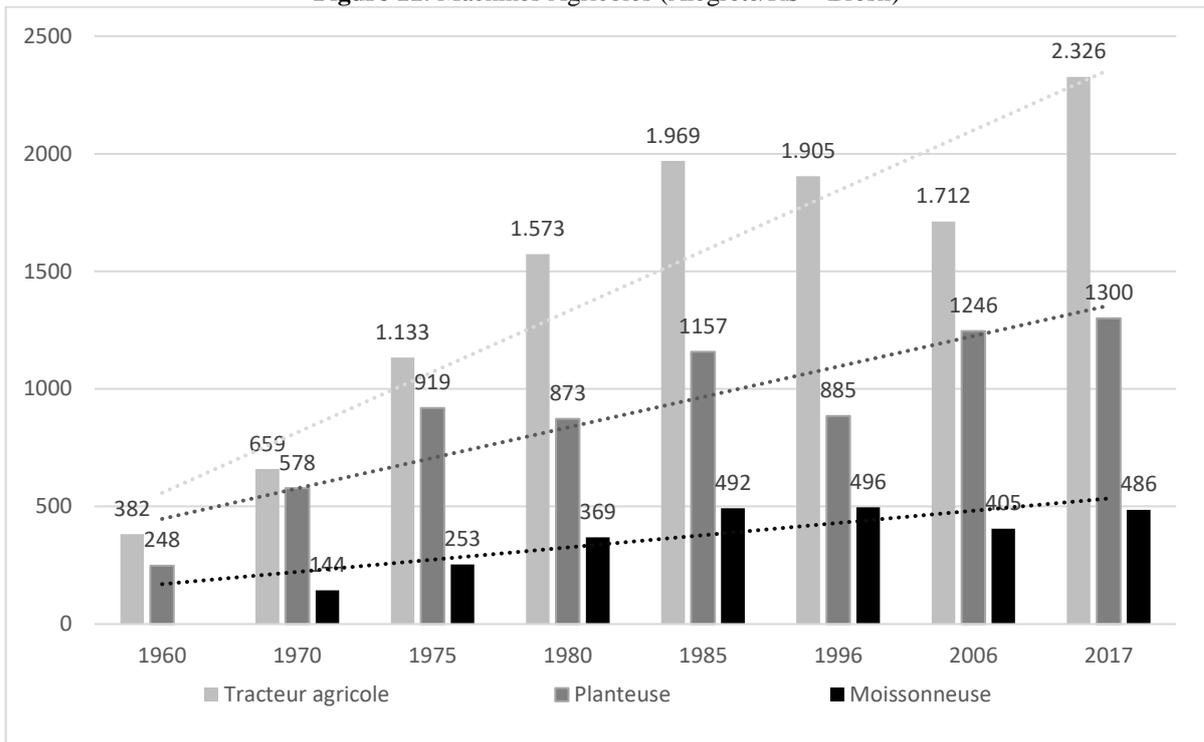
Source: Censos agropecuários do IBGE
Organisation: Gomes (2019)

Figure 10: Espace en pâturage et nombre des têtes de bovin (Alegrete/RS – Brésil)



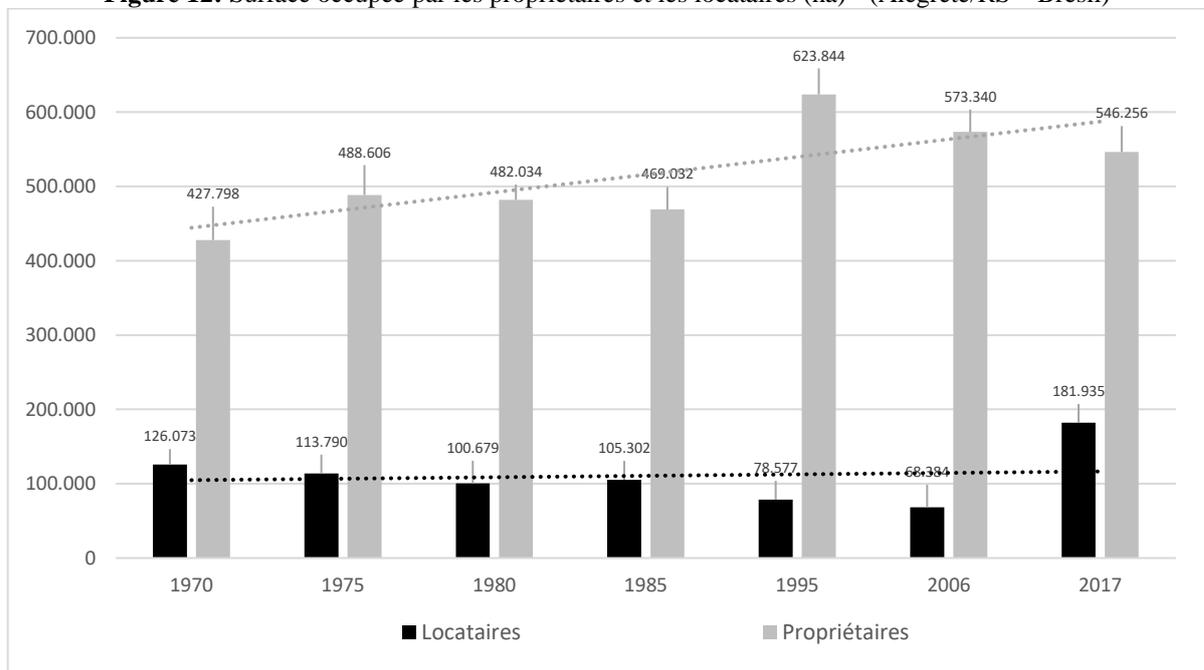
Source: Censos agropecuários do IBGE
Organisation: Gomes (2019)

Figure 11: Machines Agricoles (Alegrete/RS – Brésil)



Source: Censos agropecuários do IBGE
Organisation: Gomes (2019)

Figure 12: Surface occupée par les propriétaires et les locataires (ha) - (Alegrete/RS – Brésil)



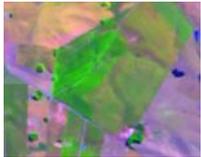
Source: Censos agropecuários do IBGE
Organisation: Gomes (2019)

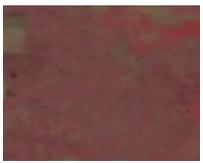
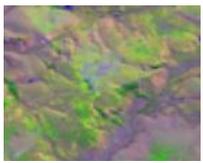
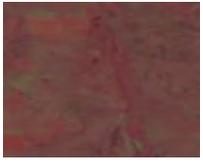
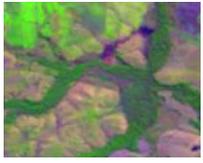
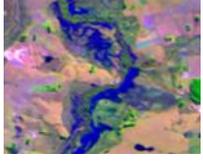
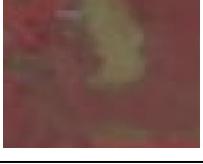
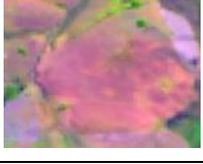
TABLE

Table 1: Points de collecte des sédiments - Alegrete/RS - Brésil				
	P1T1- Hacienda Palma	P2T1- Hacienda Santa Luzia	P3T2- Hacienda Costa Silveira	P4T2-Boi-Bumbá
Coordonnées	Latitude:29°45'318" Longitude:55°36'41 1"	Latitude: 29°55,265' Longitude:55°28,984'	Latitude:29°48,380' Longitude:55°25,274'	Latitude:29°51,679' Longitude:55°24,18'
Altimétrie Profondeur du profil	Cote: 144 Profondeur: 1,53	Cote: 162 Profondeur: 1,30	Cote: 150 Profondeur: 1,47	Cote: 174 Profondeur: 1,15
Unité Morfo-Structurale	<i>Cuesta Haedo</i> (Reverso)	<i>Cuesta Haedo</i> (Reverso)	<i>Cuesta Haedo</i> (Reverso)	<i>Cuesta Haedo</i>
Forme	Colline avec Dépôts éoliens (coxilha- dans la dénomination régionale)	Colline avec Dépôts éoliens (coxilha- dans la dénomination régionale)	Colline avec Dépôts éoliens (coxilha- dans la dénomination régionale)	Colline avec Dépôts éoliens (coxilha- dans la dénomination régionale)
Couverture végétale	Herbacée	Herbacées et Arbustes – Butiá-anão (<i>Butiá lallemantii</i>)	Herbacée	Herbacée
Lithologie	Formation Botucatu Affleurements Fr. Botucatu	Transition Formation Guará/Botucatu Affleurements Fr. Botucatu	Formation Botucatu	Formation Botucatu
REGISTRES PHOTOGRAPHIQUES				
				
	P1	P2	P3	P4

Table 2: Clé d'interprétation pour la cartographie des caractéristiques géomorphologiques			
Atributos	Característica do atributo		Materiais e técnicas aplicadas
Classification des unités de Relief	Les vallées	Vallées sèches: chenaux sans flux hérités, où trois phases prennent la forme actuelle: modelage préalable en vallée, remplissage de sable soufflé par le vent, parfois remodelé en concavités (tête de vallée sèche)	Classification de Forme du terrain des données TOPODATA – INPE (Base de données géomorphométriques du Brésil rendue disponible par Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) Réseau de drainage actuel ANA – Agência Nacional de Águas Image SRTM – TIN (INPE) (Résolution 30m) (Software ArcGis 10.5)
		Vallées drainées: caractérise le réseau hydrographique actuel. Inclus un canal ou un lit. Le flux qui les emprunte peut être intermittent ou pérenne.	
	Espaces Intermédiaires ou versants	Ce sont des secteurs plats ou tabulaires situés entre le sommet des pentes des vallées et les contreforts. Classification par données géomorphométriques.	
	Collines	Ce sont les points les plus hauts du relief. Classé à partir de	

		données géomorphométriques. Les sommets (aigus et plats) ont été interprétés à partir de l'image SRTM - TIN	
Dépôts éoliens stables	Ce sont des dépôts de sables stables identifiés par photointerprétation et validés par des images haute résolution et des travaux sur le terrain. Classés par texture, couleur, forme et altimétrie.		Photointerprétation numérique par anaglyphes (Interprétation visuelle et vectorisation) (Software ILWIS 3.3 Academic; ArcGis10.5)
Dépôts éoliens instables (Areais)	Ce sont des dépôts de sables actifs identifiés par photointerprétation et validés par des images haute résolution et des travaux sur le terrain. Classés par texture, couleur et principalement par absence de végétation.		Photointerprétation numérique avec anaglyphes Images haute résolution de Google Earth Pro (Interprétation visuelle et vectorisation) (Software ILWIS 3.3 Academic; ArcGis 10.5)
Affleurement rocheux	Peut être interprété par des photographies aériennes et travail de terrain		Photointerprétation numérique par anaglyphes Images haute résolution de Google Earth Pro (Interprétation visuelle et vectorisation) (Software ArcGis 10.5)
Relief brusque ou tabulaire	Peut être interprété par des photographies aériennes		Photointerprétation numérique par anaglyphes Images haute résolution de Google Earth Pro (Interprétation visuelle et vectorisation) (Software ArcGis 10.5)
Bassin de déflation	Peut être interprété par des photographies aériennes et des images haute résolution		Photointerprétation numérique par anaglyphes Images haute résolution de Google Earth Pro (Interprétation visuelle et vectorisation) (Software ArcGis 10.5)
Processus érosifs du type ravinas et voçorocas	Peut être interprété par des photographies aériennes et des images haute résolution		Photointerprétation numérique par anaglyphes Images haute résolution de Google Earth Pro (Interprétation visuelle et vectorisation) (Software ArcGis 10.5)
Organisation: Gomes (2019)			

Table 3: Clé d'interprétation de l'occupation du sol							
			Composition colorée 1982		Composition colorée 2016		
Classes		Description de l'utilisation	Texture	1982 - R2G1B3	Tonalité	2016 - R6G5B4	Tonalité
Zones anthropiques agricoles	Cultures Annuelles	Zones de cultures annuelles ou pérennes	Lisse		Rouge Clair		Vert, Vert Clair
	Cultures Irriguées – Riz	Rizière	Lisse		Brun		Violet
	Foresterie	Zones de reforestation d'eucalyptus	Rugueuse	---	---		Vert Clair

Zones de végétation naturelle	Pâturages	Végétation naturelle	Moyenne		Rouge clair		Vert Moyen
	Forêts Rivulaires	Forêt près des cours d'eau	Rugueuse		Rouge moyen		Vert foncé
Eau	Plans d'eau	Rivières	Lisse		Rouge sombre		Bleu
Autres	<i>Areais</i> (Tache de sable)	Processus d' <i>Arenização</i>	Moyenne	---	---		Blanc
	Sol Exposé	Solo arado/revolvido	Moyenne		Brun		Violet

Source: IBGE (2013) – Organisation: Gomes (2019)

Table 4: Démonstration de la superficie et du pourcentage de chaque caractéristique géomorphologique par rapport aux unités de relief

Unité de relief (ha)	Dépôts éoliens	<i>Areais</i>	Processus érosifs	
Vallées drainées	38.495	2.878	110	
Vallées sèches	21.729	4.836	197	
Espaces intermédiaires	18.807	3.353	81	
Collines	65.422	13.235	289	
Total	144.453	24.302	677	
			269.624 (m ²) – 27 (ha) * calculé à partir d'un <i>buffer</i> 0.5m	
Pourcentage sur chaque unité (%)		<i>Areal</i>	Processus érosifs	Dépôts éoliens
	Vallées drainées	0,2849	0,0171	7,4754
	Vallées sèches	0,9070	0,0465	22,2571
	D'espaces intermédiaires	0,4333	0,0206	17,8281
	Collines	0,4416	0,0098	20,2297

Source: Gomes (2019)

Table 5: Datations par Luminescence Optiquement Stimulée (LOS) – Alegrete/RS, Brésil

Échantillon	Dose annuelle (μGy/ans)	P (Gy) Paléodose Moyenne	l'âge (ans)	Laboratoire
Palma – P1T1 – 153 cm	1.550 ± 195	3,9	1.910 ± 275	

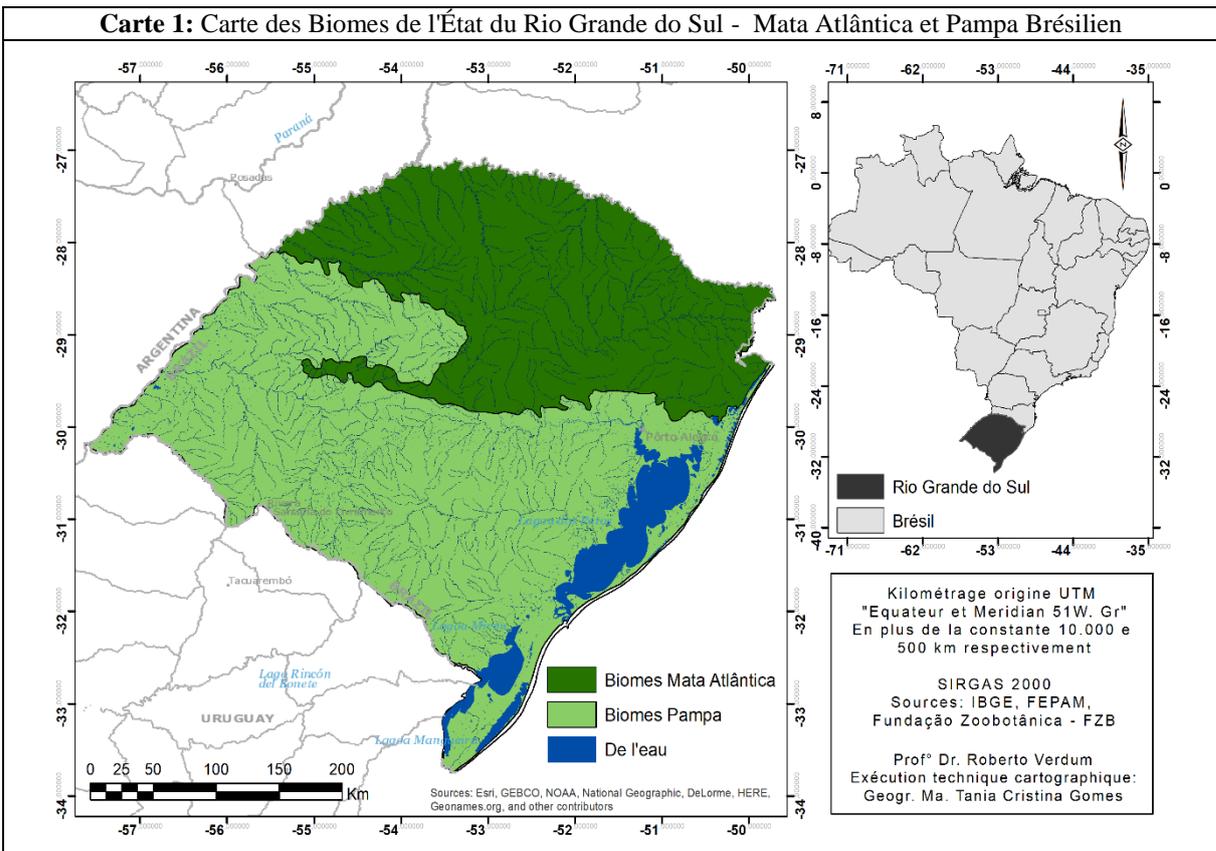
Santa Luzia – P2T1 – 155 cm	1.130 ± 190	6,4	5.650 ± 1.120	Datações Comercio e Serviços – LTDA (Brésil)
Costa Silveira – P3T2 – 147 cm	-	-	-	Institut de Recherche sur les ArchéoMATériaux – Université Bordeaux (France)
Boi-Bumbá – P4T2 – 115 cm	-	3,57	8.200 ± 700	
Source: Gomes (2019)				

Table 6: Démonstration du calcul de l'occupation du sol

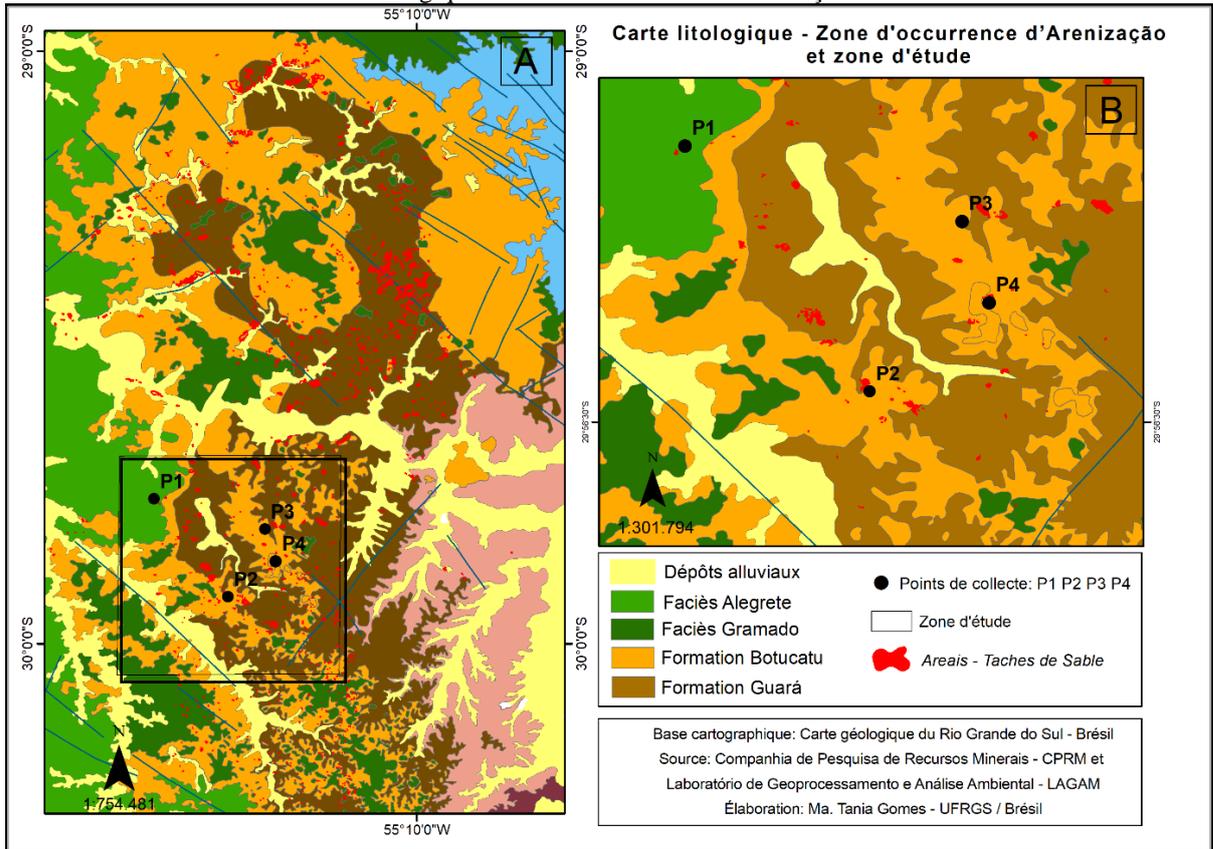
	Janvier/1982		Septembre/2016	
	Hectare	%	Hectare	%
Forêts Rivulaires	18.617	12,67%	6.180	4,21%
Plans d'eau	7.036	4,79%	17.640	12,01%
Pâturages	94.711	64,45%	73.860	50,27%
Cultures Annuelles	4.031	2,74%	32.610	22,19%
Cultures Irriguées – Riz	19.533	13,29%	11.200	7,62%
Foresterie	0	0,00%	2.890	1,97%
Sol Exposé	2.344	1,60%	1.870	1,27%
Areais - Taches de sable	677	0,46%	677	0,46%
Totale	146.947	100,00%	146.927	100,00%

Source : Gomes (2019)

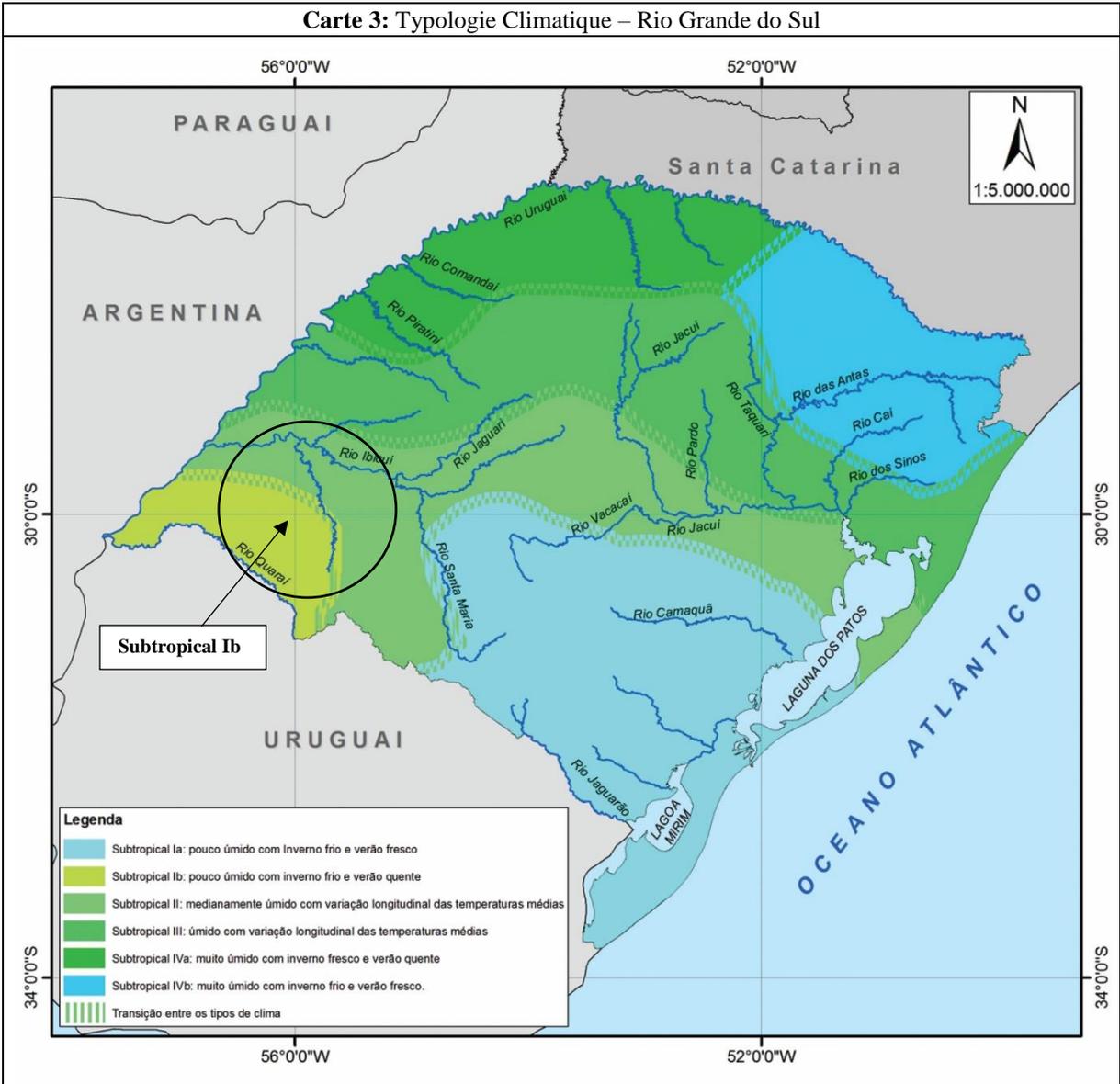
CARTES



Carte 2: Carte litologique - Zone d'occurrence d'Arenização et zone d'étude3



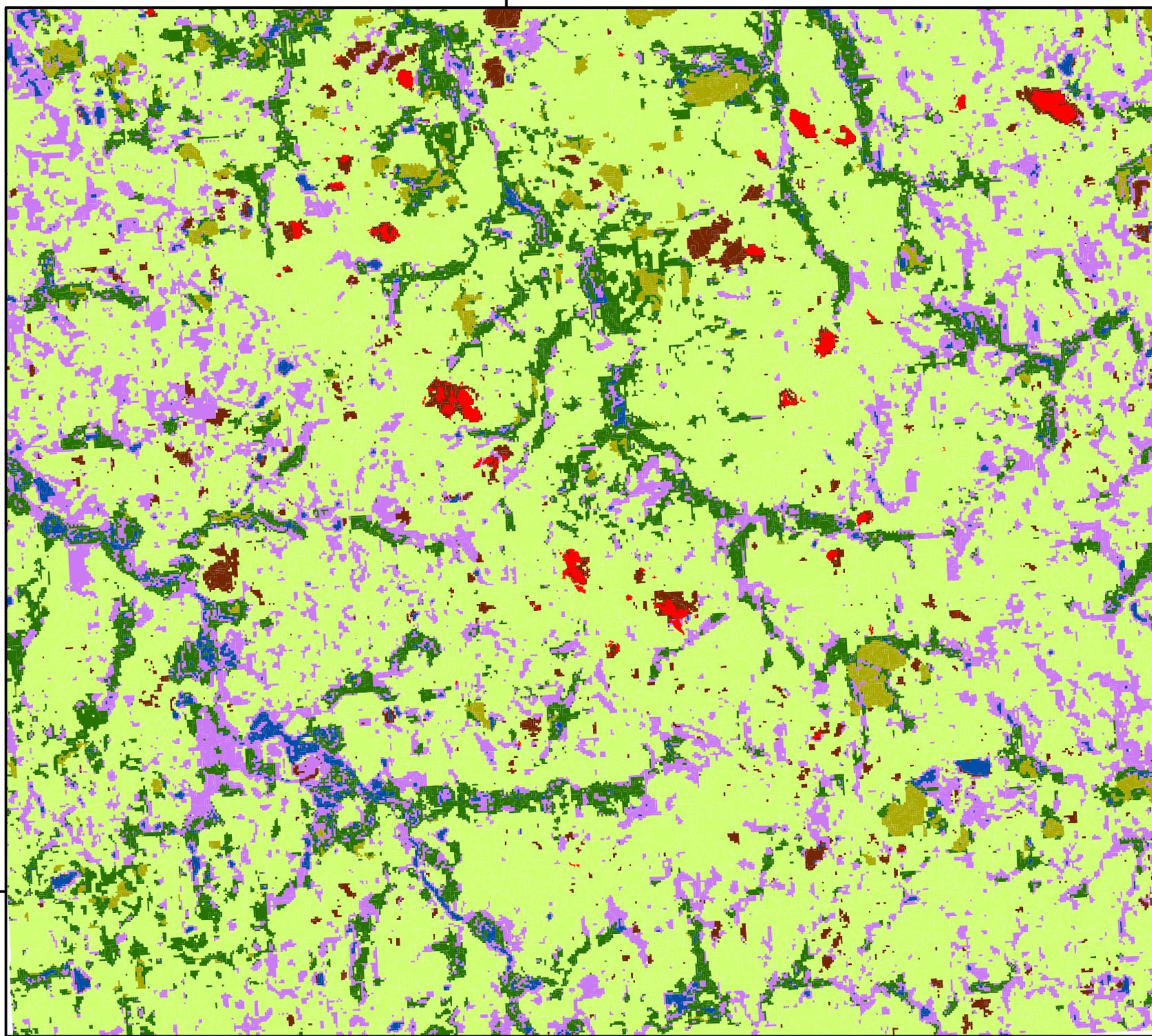
Carte 3: Typologie Climatique – Rio Grande do Sul



Subtropical I	Légèrement Humide	Subtropical Ia – Légèrement humide avec hiver froid et été frais Subtropical Ib - Légèrement humide avec hiver froid et été chaud
Subtropical II	Moyennement humide avec variation longitudinale des températures moyennes	
Subtropical III	Humide avec variation longitudinale des températures moyennes	
Subtropical IV	Très humide	Subtropical IVa – Très humide avec hiver frais et été chaud
		Subtropical IVb - Très humide avec hiver froid et été frais

Source: Rossato (2011; 2012)

Adaptation: Gomes (2019)



Carte d'occupation du sol

- Pâturages
- Forêts Rivulaires
- Cultures Annuelles
- Sol Exposé
- Eau libre
- Cultures Irriguées
- Areais*-Tache de sable

Zone d'étude Municipalité d'Alegrete/RS

RECHERCHE DE THÈSE:
**Dépôts éoliens Quaternaires et
vulnérabilité concernant les
activités agricoles en zones
d'arenização dans la Pampa
Brésilienne**

CARTE:
**Carte d'occupation du sol
Jan./1982**

INSTITUTIONS ET FINANCEMENT



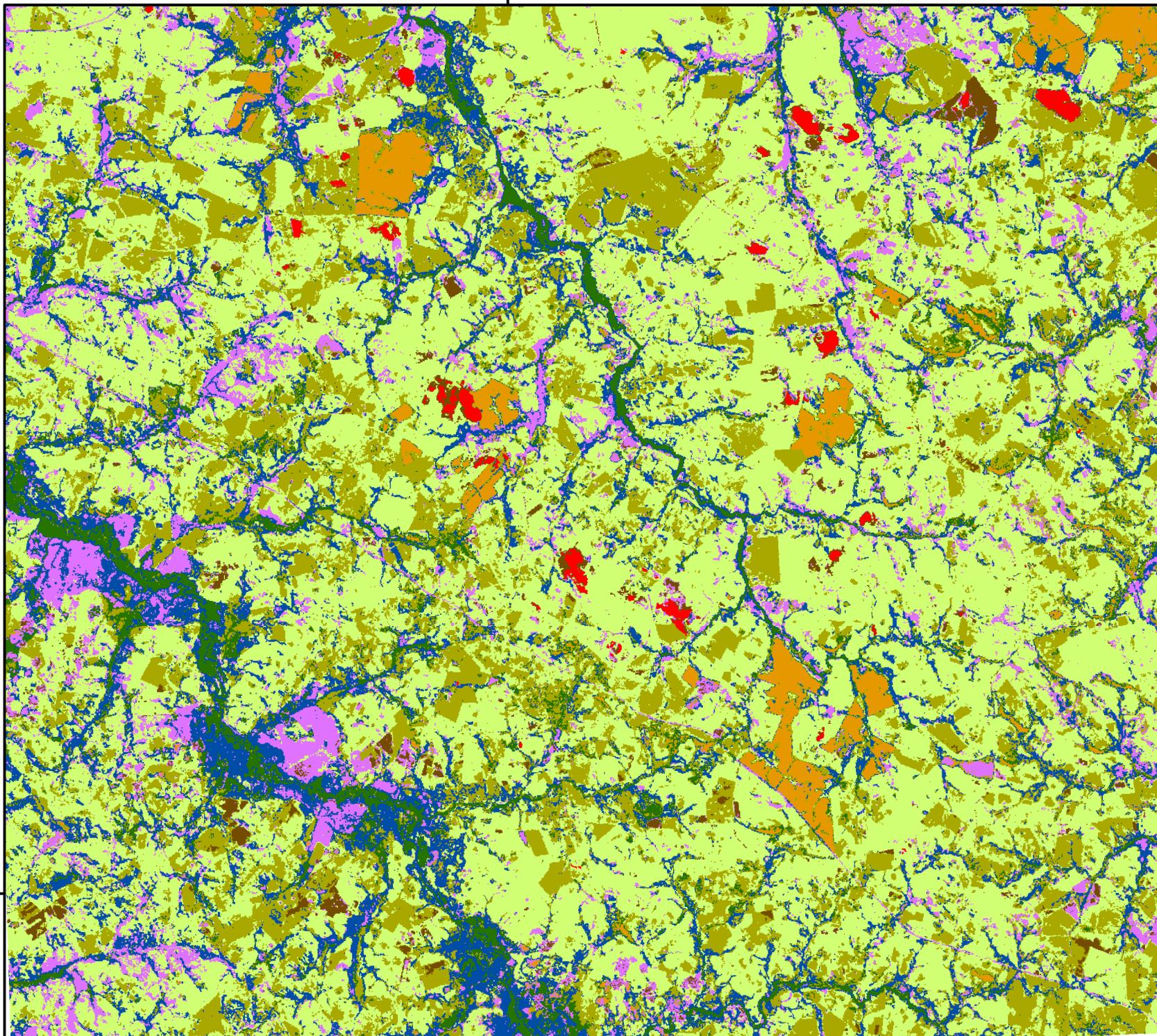
SOURCE DE DONNEES:

IBGE - Censo Agropecuário 1980
IBGE - Produção Agrícola Municipal 1982
Image multispectrale LANDSAT 2

ÉLABORATION:
IC. Neemias L. da Silva
Geog. M.a Tania C Gomes

ÉCHELLE
1:160.000





Carte d'occupation du sol

- Pâturages
- Forêts Rivulaires
- Cultures Annuelles
- Foresterie
- Sol Exposé
- Eau libre
- Cultures Irriguées
- Areais-Tache de sable

Zone d'étude Municipalité d'Alegrete/RS

RECHERCHE DE THÈSE:
**Dépôts éoliens Quaternaires et
vulnérabilité concernant les
activités agricoles en zones
d'arenização dans la Pampa
Brésilienne**

CARTE:
**Carte d'occupation du sol
Set./2016**

INSTITUTIONS ET FINANCEMENT



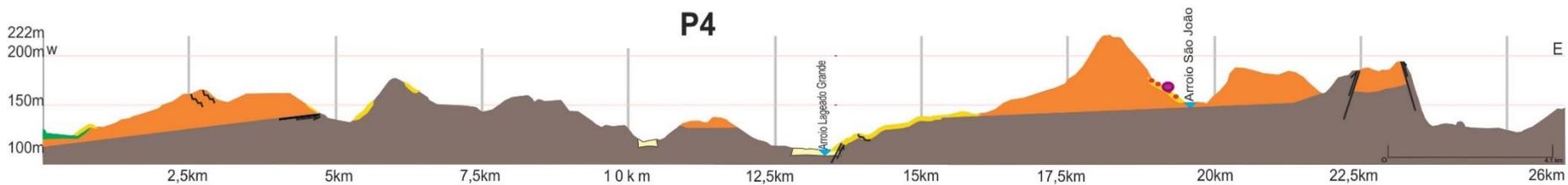
SOURCE DE DONNEES:

IBGE - Censo Agropecuário 2006
IBGE - Produção Agrícola Municipal 2016
Image multispectrale LANDSAT 8

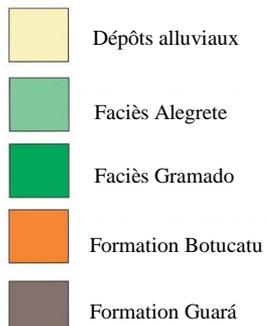
ÉLABORATION::
IC. Neemias L. da Silva
Geog. M.a Tania C Gomes

ÉCHELLE
1:160.000

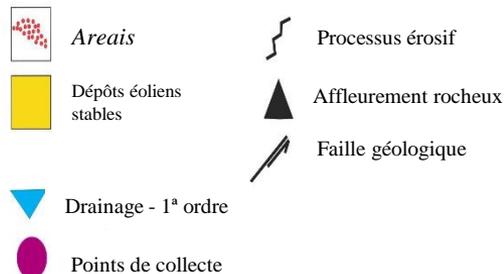




Lithologie



Caractéristiques géomorphologiques



Profils topographiques schématiques - P1, P2, P3 et P4

THÈSE:

Dépôts éoliens Quaternaires et vulnérabilité concernant les activités agricoles en zones d'arenização dans la Pampa Brésilienne

SOURCE DE DONNEES:

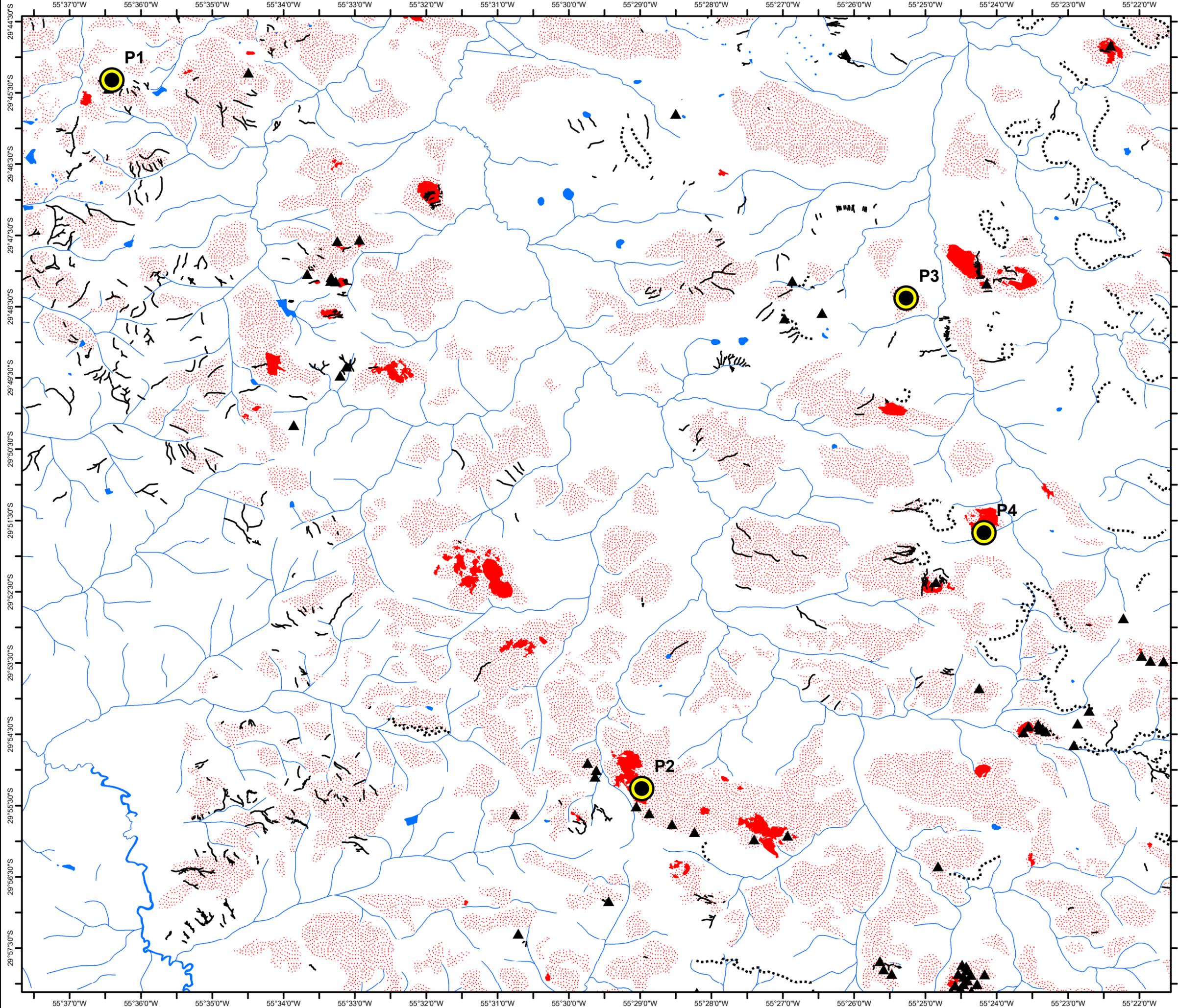
Image SRTM – INPE
Image Google Earth
Lithologie CPRM – 1:750.000

SOFTWARE:

ArcGis – MacMap 10.5
AutoCAD Civil D

ÉLABORATION:

Dr. Roberto Verdum
Geog. Ma. Tania Gomes; Ma. Juliana Dummer



Carte des caractéristiques géomorphologiques

-  Areas - Taches de sable
-  Processus érosif
-  Dépôts éoliens stables
-  Bassin de déflation
-  Affleurement rocheux
-  Relief brusque ou tabulaire

-  Hydrographie

-  Points de collecte P1, P2, P3, P4 avec échantillonnage de sédiments Formations de surface

Zone d'étude
Municipalité d'Alegrete/RS

RECHERCHE DE THÈSE
Dépôts éoliens Quaternaires et vulnérabilité concernant les activités agricoles en zones d'arenização dans la Pampa Brésilienne

CARTE
Caractéristiques géomorphologiques

INSTITUTIONS ET FINANCEMENT



UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL



Le Mans
Université





SOURCE DE DONNEES:
Photographie aérienne: 1^o Divisao de Levantamento do Exercicio Brasileiro

TOPODATA - Base de données géomorphométrique do Brésil - DSR/INPE

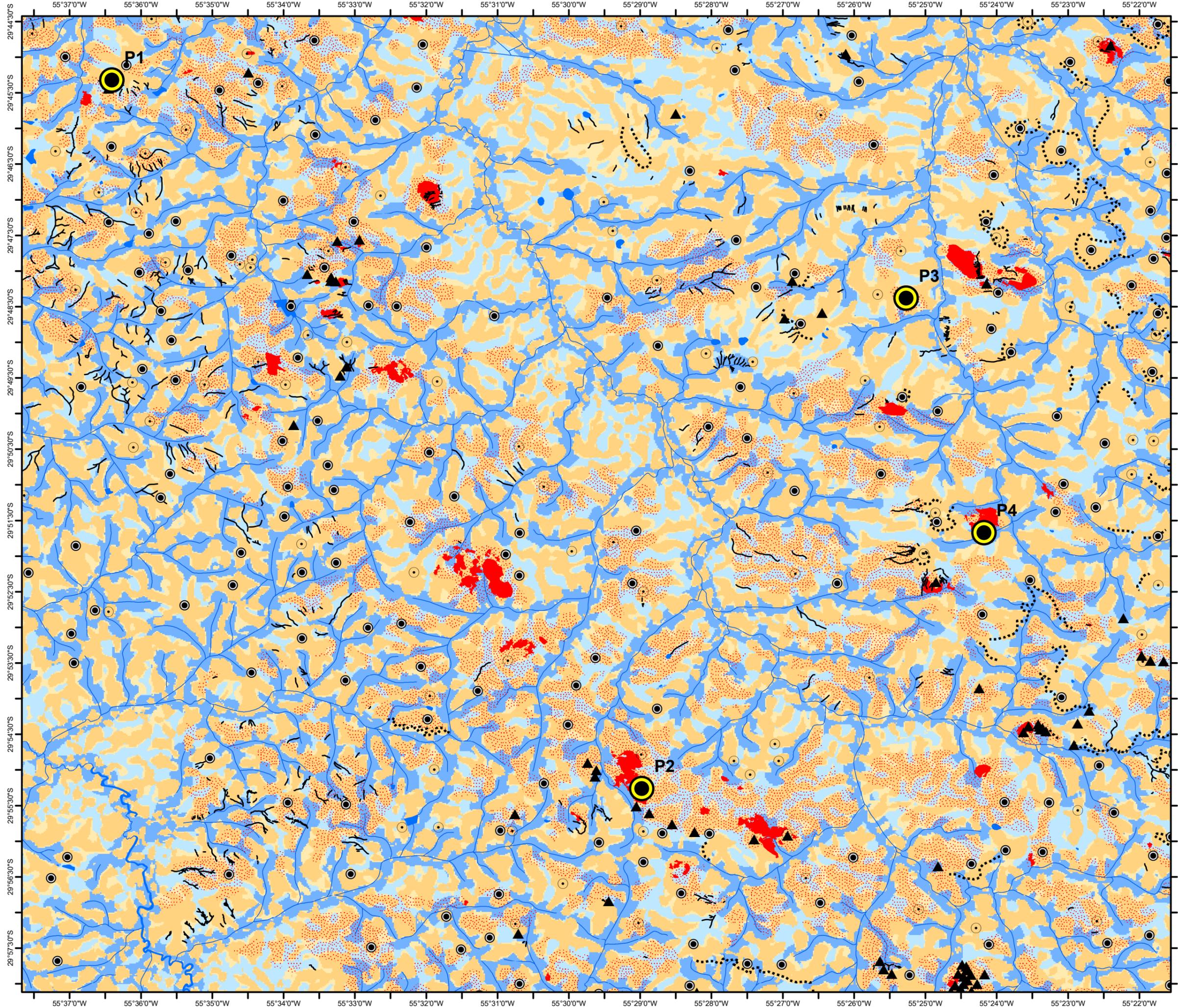
Métadonnées - Agência Nacional de Águas - ANA
Images - Google Earth Pro

ÉLABORATION | ÉCHELLE

Geog. M.a Tania Cristina Gomes
CREA RS 200981

1:90.000





Carte d'unités de relief et dépôts éoliens

- Collines**
 - Sommet Plat
 - Sommet aigu
- Espaces Intermédiaires**
- Vallées**
 - Vallées drainées
 - Vallées sèches

Caractéristiques Géomorphologiques

- Areais - Taches de sable
- ~ Processus érosif
- Dépôts éoliens stables
- Bassin de déflation
- ▲ Affleurement rocheux
- Relief brusque ou tabulaire

— Hydrographie

● Points de collecte P1, P2, P3, P4 avec échantillonnage de sédiments Formations de surface

Zone d'étude
Municipalité d'Alegrete/RS

RECHERCHE DE THÈSE
Dépôts éoliens Quaternaires et vulnérabilité concernant les activités agricoles en zones d'arenização dans la Pampa Brésilienne

CARTE
Unités de Relief et dépôts éoliens

INSTITUTIONS ET FINANCEMENT

SOURCE DE DONNEES:
Photographie aérienne: 1^o Divisao de Levantamento do Exericio Brasileiro
TOPODATA - Base de données géomorphométrique do Brésil - DSR/INPE
Métadonnées - Agência Nacional de Águas - ANA
Images - Google Earth Pro

ÉLABORATION
Geog. M.a Tania Cristina Gomes
CREA RS 200981

ÉCHELLE
1:90.000

Titre : Dépôts éoliens quaternaires et vulnérabilité concernant les activités agricoles en zones d'*areniza o* dans la pampa brésilienne

Mots clés : Dynamiques éoliennes continentales, Dynamiques agricoles, Pampa, *Areniza o*, *Areais*

Résumé : Dans le Sud-Ouest de l'état du Rio Grande do Sul (Sud du Brésil), la Pampa brésilienne qui occupe 63% du territoire, comprend des taches de sable (areal) enclavées dans le paysage. Elles sont en lien avec des dépôts éoliens stabilisés et/ou instables, hérités d'un climat plus sec que l'actuel et constituent des indicateurs importants pour la compréhension de ce paysage. L'objectif de la thèse est d'identifier, dans l'aire étudiée, la dynamique de l'érosion à partir des traits géomorphologiques principaux du milieu (forme, matériaux superficiels). Actuellement cette dynamique rest e vive, est en grande partie en lien avec la pression exercée sur le milieu par les pratiques agricoles, ce qui agit sur la mobilité des sables. Les procédures méthodologiques comprennent des travaux de terrain et en laboratoire. Les prospections de terrain ont conduit à la cartographie des formes majeures et aux premières interprétations relatives à l'évolution géomorphologiques des dépôts de sables, stabilisés et/ou instables. Elles ont permis également de déterminer des points pour le prélèvement des échantillons de sédiments en vue des analyses granulométriques et morphoscopiques et de la datation des matériaux (réalisation de datation absolue établie par la méthode de Luminescence Optiquement Stimulée - Protocole SAR). Les résultats montrent les caractéristiques tr s variées de l'environnement. Au plan

sédimentologique, les matériaux sont composés notamment par des sables quartzeux, de classe modale Sable Fin, dont la proportion varie peu, de Sable moyen et très fin. Les caractéristiques morphologiques et optiques des grains de sable renseignent sur la compétence éolienne et sur le transport ; elles montrent un certain degré de sélection, mis en évidence par la diminution de la taille des grains dans le sens SE-NO, due au remaniement des sables et à leur évolution de Sable moyen en Sable fin. La distribution des traits géomorphologiques, associée aux unités de relief, indique que les dépôts éoliens ont lieu substantiellement sur les sommets des collines (environ 37% des cas), suivis par les vallées sèches (environ 23% des cas). Ailleurs les sables ont souvent été remaniés par le ruissellement. Ces remaniements ont par ailleurs été amplifiés par les pratiques agricoles. D'après l'occupation du sol, cartographi e entre 1982 et 2016, on note une augmentation significative de la superficie destinée aux cultures annuelles au détriment de celle destinée aux prairies. La Pampa possède comme aptitude majeure l'élevage, mais la conversion des pâturages en parcelles cultivées a intensifié la pression sur les ressources hydriques, sur la végétation herbacée et sur les sols franchement sableux qui sont particulièrement sensibles à l'érosion.

Title: Fei o es eólicas quaternárias e vulnerabilidades agrícolas em áreas de areniza o no Pampa Brasileiro

Palavras-chave : Din micas eólicas continentais, Din micas agrícolas, Pampa, Areniza o, Areais

Resumo: No Sul do Brasil, o sudoeste do Rio Grande do Sul expõe *manchas de areia* enclavadas na paisagem do Pampa brasileiro, bioma que representa 63% do território do Estado. Os depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis representam a herança de um clima mais seco do que o atual e fornecem evidências paleoclimáticas importantes para a compreensão dessa paisagem. O objetivo deste estudo é identificar, na área de estudo, associa o es entre as fei o es geomorfológicas atuais e as forma o es superficiais quaternárias, assim como as dinâmicas erosivas/deposicionais atuantes nessas fei o es, no contexto de uma área submetida historicamente   pressão agrícola. Os procedimentos metodológicos incluíram etapas de trabalho de campo, de gabinete e de laboratório. A observa o de campo conduziu as primeiras interpreta o es sobre a evolu o geomorfológica dos depósitos eólicos estáveis e/ou instáveis, bem como o levantamento dos quatro pontos de coletas de material sedimentar eólico, para análises granulométrica e morfoscópica e para a realiza o de data o absoluta, estabelecida pelo método de Luminescência Opticamente Estimulada (Protocolo SAR). A sedimentologia do ambiente estudado mostra variabilidade em suas características. Os s dimentos são compostos predominantemente por areias quartzosas, de classe

modal Areia Fina, variando em menor propor o nas fra o es de Areia média a de Areia muito fina. As características morfológicas e ópticas dos sedimentos esclarecem quanto   competência eólica sobre as partículas e sobre seu transporte, demonstrando certo grau de selecionamento, evidenciado pela diminui o do tamanho dos gr os no sentido SE-NO, devido ao retrabalhamento e   evolu o de Areia média a Areia fina. A distribui o das fei o es geomorfológicas, associada às unidades de relevo mostra que os depósitos eólicos ocorrem substancialmente sobre os topos de colinas, seguido de vales secos, refletindo sobre o percentual de ocorrência de processos erosivos, que também ocorrem em maior número sobre esses compartimentos (cerca de 37% em topos de colina e de 23% em vales secos). Relativamente aos usos da terra, mapeados entre os anos de 1982 e 2016, há um aumento significativo da superfície destinada à Lavoura, em detrimento   de Campo. O Pampa possui, como aptidão primária, a pecuária, mas a conversão de uso, sobretudo de campo de pastoreio em lavoura, destinada a cultivos agrícolas, intensifica a pressão sobre os recursos hídricos, sobre a vegeta o herbácea e sobre os solos francamente arenosos, particularmente sensíveis   erosão.