

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

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Espacialização da arenização a partir da Ecodinâmica e da Cartografia Ambiental**

JEAN CARLO GESSI CANEPPELE

ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO VERDUM

PORTO ALEGRE, OUTUBRO DE 2017.

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

**Espacialização da arenização a partir da Ecodinâmica e da Cartografia Ambiental**

JEAN CARLO GESSI CANEPPELE

ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO VERDUM

**Banca Examinadora:**

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Kátia Kellem da Rosa**

**Prof. Dr. Laurindo Antônio Guasselli**

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Marlise Amália Reinehr Dal Forno**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

PORTO ALEGRE, OUTUBRO DE 2017.

### CIP - Catalogação na Publicação

CANEPELE, JEAN CARLO GESSI

Espacialização da arenização a partir da Ecodinâmica  
e da Cartografia Ambiental / JEAN CARLO GESSI  
CANEPELE. -- 2017.

129 f.

Orientador: JEAN CARLO GESSI CANEPELE ROBERTO  
VERDUM.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,  
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre,  
BR-RS, 2017.

1. Arenização. 2. Ecodinâmica. 3. Cartografia  
Ambiental. 4. Bacia Hidrográfica do Arroio  
Inhacundá. I. ROBERTO VERDUM, JEAN CARLO GESSI  
CANEPELE, orient. II. Título.

Dedico este trabalho a Dona Irene, exemplo de mulher e de pessoa, doutora (sem doutorado) da arenização, pela simpatia e acolhimento para com todos que visitam as suas terras.

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer à população brasileira que paga seus impostos e que permitiu o desenvolvimento do mestrado de forma gratuita, espero poder contribuir de alguma forma para devolver esse investimento à sociedade, que vive nos dias de hoje um ataque a sua democracia e ao seu futuro. Meus agradecimentos ao POSGEA, seus professores e sua equipe administrativa e a CAPES/EMBRAPA pela concessão da bolsa de mestrado. Ao Restaurante Universitário (RU) e aos seus funcionários que proporcionaram bons almoços e jantares, aos quais tive a honra de comer. Agradeço também a Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A Chapecoense, time zoeiro e carismático que me conquistou, assim como conquistou o Brasil, nos fazendo rir e chorar.. ficará gravado em meu coração. Vamo Vamo Chape!!

Aos meus amigos de longa data do Bom Jardim, amigos da terra onde nasci. Terra que tanto amo e que tive que me despedir para conquistar o sonho de ser mestre e doutor (quem sabe) em Geografia.

Aos meus amigos de Porto Alegre, da Geografia, em especial da barra 2010/2, além dos agregados pelo conhecimento, amizade e companhia ao longo desta jornada. Agradeço de coração a Thiago Pereira Rosa, a Felipe Dal Piva, a Mauro Otto, a Thomas Nery e a Guilherme Pinto Borges.

Ao pessoal do Geographys, Carmem, Tania, Lucimar, Aline, Rosa e Ricardo (Hiro), João. Pelo conhecimento trocado, pela companhia, chimarrão e risadas nos dias de laboratório.

Aos amigos Ibrahim Soares, Thomas Nery e Ricardo Hiroyuki Okido pelas contribuições e discussões teóricas e epistemológicas que me auxiliaram na construção da dissertação. Agradeço a todos pela amizade, que é um dos sentimentos mais bonitos que existem.

A Fabiana Rauber Sirangelo e a Matheus Gleiser Oliveira pelos arquivos *shapefile* disponibilizados.

Aos colegas e amigos da arenização Andrey Binda e Sidnei Bohn Gass pela companhia nos trabalhos de campo, doutores e profissionais com quem muito aprendi. A Felipe Dal Piva, companheiro de arenização, obrigado pelo conhecimento, futebol, viagens aos areais, cervejas e por me ajudar a lembrar coisas da nossa infância de “colono”.

Ao meu orientador e amigo, professor Roberto Verdum, pastor dos areais, exemplo de professor e de pessoa, com quem muito aprendi ao longo de minha jornada na Geografia, não

apenas conhecimento acadêmico, mas sim um conhecimento de vida e de ser humano, que levarei comigo para além da graduação. Bons exemplos sempre marcam!

As professoras Katia Kellem da Rosa e Marlise dal Forno e ao professor Laurindo Guasselli por aceitarem fazer parte da defesa. A Marlise e Laurindo meus agradecimentos pela qualificação.

A minha família, minha mãe Vera Gessi e meu pai Vanildo Caneppele, meus irmãos Bianca, Guto e Carlos e as minhas duas cunhadas Géssica e Valerie que já fazem parte desta família. Obrigado pela paciência, apoio e ajuda nessa caminhada.

Por último, a minha namorada/esposa Amanda Elizalde Martins. Obrigado pelo amor, paciência, incentivo, carinho e por ser essa incrível pessoa, agora inteiramente do meu lado, com a Nina a tira colo. Minhas duas companheiras! Meu obrigado de coração!

A todos meu muito obrigado!

## RESUMO

A arenização é um processo que possui gênese natural e pode ser intensificado ou gerado por um inadequado manejo. A arenização está ligada ao condicionante, geológico, geomorfológico, pedológico, climático, de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra, que a partir da interação com os agentes hídricos e eólicos, tem determinadas feições geradas. Em sua gênese natural, a arenização evolui em três etapas: 1) degraus de abatimento; 2) ravinas; 3) areais, além disso, as ravinas podem dar origem a voçorocas. Os mapeamentos da arenização efetuados levavam em conta apenas os areais e não as demais etapas. As propostas de manejo, em sua maioria, são implementadas de maneira uniforme, sem levar em conta que os agentes hídrico e eólico atuam de forma diferenciada ao longo do processo. Para que as técnicas de manejo e controle sejam aplicadas de acordo com a especificidade de cada área, se faz necessário o levantamento de todas as variáveis da arenização. Dentro deste contexto, o trabalho busca estruturar uma metodologia para mapear o processo de arenização, em sua evolução, utilizando a Ecodinâmica e a Cartografia Ambiental. Essa metodologia servirá de base para o cumprimento de dois objetivos do Edital Capes-Embrapa que o trabalho esteve vinculado: 1) Mapeamento do processo de arenização e 2) Criação de parâmetros para o manejo e gestão das áreas suscetíveis à arenização. O mapeamento foi efetuado na bacia do arroio Inhacundá no município de São Francisco de Assis/RS. Foram mapeadas as feições da arenização, divididas em: 1) Ravinas; 2) Coalescência de Ravinas; 3) Leques de Dejeção; 4) Voçorocas e 5) Areais. Os meios foram definidos a partir da relação morfogênese x pedogênese e as feições da arenização, obtendo-se assim os meios estáveis, *intergrades* e fortemente instáveis e suas classes de mapeamentos. Os meios estáveis estão associados às áreas suscetíveis e aos valões e foram a primeira classe a ser mapeada. Os meios *intergrades* estão associados aos degraus de abatimento, *pipping*, sulcos de maquinário e superpastoreio e foram considerados como segunda classe. Por último, os meios fortemente instáveis foram divididos em três classes. As ravinas (terceira classe); a coalescência de ravinas e os leques de dejeção (quarta classe); os areais e as voçorocas (quinta classe). Após, foi estruturada a legenda de cores, com a utilização da cor vermelha, assim como, foi atribuído um símbolo para cada relação entre os condicionantes, totalizando 14 símbolos. Os mapas finais foram elaborados em escala 1:100.000, utilizando as classes sem adição dos símbolos em função da quantidade de informações, e em escala 1:10.000. Na escala 1:10.000, todos os elementos foram adicionados, o que possibilitou uma leitura simplificada de um processo complexo. Com a estruturação da metodologia de mapeamento, definindo os meios e suas classes e relacionando todos os condicionantes, torna-se possível a criação de parâmetros para cada uma das cinco classes, de acordo com a sua localização e associação dos condicionantes.

**Palavras Chave:** Arenização – Ecodinâmica – Cartografia Ambiental – Bacia Hidrográfica do Arroio Inhacundá

## ABSTRACT

The sandinization is a process that has a natural genesis and may be intensified or even generated by an inappropriate management. The sandinization is linked to geologic, geomorphologic, soils, climatic, and botanic factors, as well as to the use and occupation of earth. The interaction of those factors with eolic and hydric dynamics generates some specific characteristics. In its natural genesis, sandinization evolves in three stages: 1) downgrades, 2) ravines and 3) sands spots. In

addition, ravines can give rise to gullies. The mappings of sandinization were made just with sand spots and do not other stages and for the most part, management proposals of areas with sandinization are implemented uniformly in the different features, without taking into account that water and wind dynamics act differently throughout the process. To that those techniques of erosion control be applied according to specificity in each area, it is necessary the survey about all variable of sandinization. This work seeks to structure a methodology to map the sandinization process, using Ecodynamic and Environmental Cartography. That methodology will serve as a basis to meet two goals of the research public notice Capes-Embrapa nº 015/2014 to which the work was is linked: 1) Mapping of sandinization process and 2) Creation of parameters to management and handling of areas susceptible to sandinization. This dissertation begins with the theoretical framework about the sandinization process, its conditioning factors and its features. Subsequently, a chapter on Ecodynamics and Environmental Cartography. The mapping was carried out in the areas susceptible to the sandinization of the Inhacundá stream basin in the city of São Francisco de Assis, Rio Grande do Sul. Were mapped the sandinization features, which consist in: 1) Ravines; 2) Accreting of ravines; 3) Fans; 4) Gullies; 5) Sand Spots. The middle were defined by relationship between morphogenesis x pedogenesis and the sandinization features, getting the classification of stable middle, intergrades and strongly unstable middle and their class of mapping. The stable middle are related to susceptibility areas and the small valley and were the first class to get mapped. The intergrades middle are related to downgrades, pipping, machinery grooves and overgrazing and were considered as second class. The strongly unstable middle was divided in three classes: The Ravines (Third Class); the accreting of ravines and fans (Fourth Class); The Sand Spots and the gullies (Fifth Class). After the middle definition, was structured the legend of colors to the five classes, as was attributed one symbol to each relationship between the conditioners, totalizing fourteen symbols. The final maps were produced in scale 1:100.000, using the classes, without an addition to symbols because would contain many information's, and in scale 1:10.000. In this scale all elements were added, making possible a simple reading of a complex process, as is the sandinization. With the structure of this methodology of sandinization mapping, defining its middle and its classes and related all conditioners, makes it possible the creation of parameters to each one of five classes, according to its location and association between the conditioners.

**Keywords:** Sandinization – Ecodynamic - Environment Cartography – Inhacundá Hydrographic Basin



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Áreas de Risco de Desertificação elaborado na Conferência sobre Desertificação das Nações Unidas (1977) Fonte: Suertegaray <i>et al.</i> (2001b). ....	21
Figura 2 - Mapa de ocorrência de Desertificação e Áreas de Atenção Especial no Brasil. Fonte: Suertegaray <i>et al.</i> (2001b).....	23
Figura 3 - Croqui do areal de rampa em São Francisco de Assis. Fonte: Verdum <i>et al.</i> (2010)...	26
Figura 4 - Croqui do areal em coxilha em Alegrete. Fonte: Verdum <i>et al.</i> (2010). ....	28
Figura 5 - Quadro do Agente hídrico e eólico e suas principais formas de atuação na arenização. Elaborado pelo autor.....	29
Figura 6 – Mapa dos municípios com focos de arenização. Mapa elaborado pelo autor. ....	31
Figura 7 - Tremoço sobre área de arenização. Fotografia: Jean Caneppele, Novembro de 2011. ....	38
Figura 8 – Área com Butiá-Anão em São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. ....	39
Figura 9 – Quadro-Síntese dos condicionantes da arenização. Elaborado pelo autor. ....	42
Figura 10 - Degrau de abatimento em São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Novembro 2011. ....	43
Figura 11 – Ravina em São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Novembro 2011... ..	44
Figura 12 - Erosão em <i>pipping</i> no município de São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Junho de 2013.....	45
Figura 13 – Na imagem de satélite é possível identificar a voçoroca conectada a rede de drenagem. Os traços amarelos indicam o ângulo de visada da foto A e B. Na fotografia A é possível a visualização do lençol freático aflorando e na fotografia B um dos “braços” da voçoroca. Foto: Jean Caneppele, Abril de 2017. Imagem de satélite: CNES/Astrium 2012. ....	46
Figura 14 - Ravinas se coalescendo na rampa arenosa em contato com um cerro e os leques de dejeção associados a deposição dos sedimentos provenientes dos ravinamentos. Mapa elaborado pelo autor. Imagem de Satélite: CNES/Astrium 2012.....	47
Figura 15 - Representação da formação de areais em rampas. Fonte: Suertegaray <i>et al.</i> (2001a). ....	48
Figura 16 - Evolução das feições da arenização. Elaborado pelo autor. ....	49
Figura 17 - Legenda básica dos dados e dinâmicas do ambiente e suas cores atreladas. Elaborado a partir de Journaux (1985).....	56

Figura 18 - Procedimentos Metodológicos estruturados a partir do referencial teórico. ....	58
Figura 19 - Formas de Terreno. Fonte: Valeriano (2008). ....	60
Figura 20 - (A) Campo, (B) Campo com reduzida biomassa, (C) Eucalipto, (D) Eucalipto por sobre areais, (E) Vegetação Arbórea, (F) Lavoura, (G) Lavoura sobre área suscetível, (H) Areal, (I) Ravina, (J) Voçorocas, (L) Estradas e (M) Corpo D'água. Ilustrações das classes de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra através de imagens de alta resolução, disponibilizadas pelo CNES/Astrium com resolução espacial de 1,5 metros. Elaborado pelo autor. ....	62
Figura 21- Legenda Geral da Bacia do Inhacundá. Elaborado pelo autor a partir de Journaux (1985).....	63
Figura 22 - Ilustrações das feições identificadas através de imagens CNES/Astrium do ano de 2013. Elaborado pelo autor. (A) Ravina com leques de dejeção associados; (B) Coalescência de Ravinas, (C) Voçoroca (D) Areal. ....	65
Figura 23 - Palheta de tons do ArcGis 10.2.2 para a cor vermelha. Elaborado pelo autor. ....	66
Figura 24 - Mapa de Localização da Área de Estudo. Elaborado pelo autor. ....	69
Figura 25 – Porcentagem da área total das formações e depósitos da Bacia do Inhacundá. Elaborado pelo autor a partir de Oliveira (2015).....	70
Figura 26 – Mapa de Litologia da Bacia do Inhacundá. Elaborado pelo autor. ....	71
Figura 27 - Porcentagem da área total dos compartimentos geomorfológicos da Bacia do Inhacundá. Elaborado pelo autor, a partir de Oliveira (2015).....	73
Figura 28 - Rampa arenosa ancorada nos morros testemunhos, com a presença de areais, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. ....	74
Figura 29 - Coxilhas em São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. ...	74
Figura 30 – Várzea do Arroio Inhacundá. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. ....	75
Figura 31 – Mapa de Compartimentação e Condicionante Geomorfológico da bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor. ....	76
Figura 32 – Mapa das áreas suscetíveis a arenização da bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor. ....	78
Figura 33 - Valão localizado entre o patamar de cerros e associado ao processo de arenização, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Layout da Figura baseado em Evers (2010).....	80

Figura 34 - Mapa de valões nas áreas suscetíveis da bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor. ....	81
Figura 35 - Porcentagem da área total das classes de solo da Bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor a partir de Oliveira (2015). ....	82
Figura 36 - Mapa pedológico e Condicionante pedológico da bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor. ....	84
Figura 37 – Área de campo em São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. ....	85
Figura 38 - Em primeiro e segundo plano áreas destinadas à pecuária com o plantio de espécies herbáceas para cobertura e pastagem. Na área em segundo plano, percebem-se canais de escoamento. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. ....	86
Figura 39 - Áreas com reduzida biomassa destinadas à pecuária. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. ....	86
Figura 40 – Na fotografia da esquerda, o cultivo de arroz próximo a RSC-377 e nas fotografias à direita áreas de plantio em minifúndios próximos ao planalto, São Francisco de Assis/RS. Na fotografia A, o cultivo de milho, na B o cultivo de mandioca e na C o cultivo de cana e capim elefante. Fotografias: Jean Caneppele, Abril de 2017. ....	88
Figura 41 – Área em São Francisco de Assis com uso de maquinário em focos de arenização. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. ....	89
Figura 42 – Maciços de Eucalipto, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Ivo Mello, Disponível em: <a href="http://www.panoramio.com/photo/55486136">http://www.panoramio.com/photo/55486136</a> , acesso em 21/03/2017. ....	90
Figura 43 - Capão de eucalipto, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. ....	90
Figura 44 - Plantio de Eucalipto em rampa arenosa com focos de arenização, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2015. ....	91
Figura 45 - Áreas de mata nas encostas dos cerros e na forma de matas de galeria, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. ....	92
Figura 46 - Classes, Área (Km <sup>2</sup> ), Porcentagem e N° de Fragmentos, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. ....	93
Figura 47 - Mapa de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra nas áreas suscetíveis a arenização na bacia do Inhacundá. Elaborado pelo autor. ....	94

Figura 48 - Areal em rampa arenosa, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Novembro de 2011.....	95
Figura 49 – Ravinamento em rampa arenosa no município de São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.....	96
Figura 50 – Coalescência de ravinas em rampa arenosa, os traços vermelhos indicam o ângulo de visada da fotografia, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. Imagem de satélite: CNES/Astrium 2017, obtida através do <i>software</i> Google Earth Pro. ....	97
Figura 51 - Voçoroca em fundo de vale, São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.....	98
Figura 52 – Leque de Dejecção (LD) a partir da deposição de sedimentos provenientes de ravinamento em rampa arenosa no município de São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.....	99
Figura 53 - Número de Feições, Área, Localização nos compartimentos geomorfológicos e porcentagem nas áreas, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor.....	99
Figura 54 - Mapa de Feições da Arenização na bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor.....	100
Figura 55 – Evolução das feições naturais do processo de arenização. Elaborado pelo autor. ...	101
Figura 56 - Quadro de Feições naturais e sociais do processo de arenização. Elaborado pelo autor. ....	102
Figura 57 - Quadro dos Meio Intergrade e Fortemente Instável, associado às feições da arenização. Elaborado pelo autor.....	102
Figura 58 - Quadro dos Meios do processo de arenização e suas feições correlatas. Elaborado pelo autor.....	103
Figura 59 - Escurecimento de tons e suas classes associadas. Elaborado pelo autor. ....	105
Figura 60 – Quadro síntese da atuação dos agentes hídrico e eólico. Elaborado pelo autor.....	107
Figura 61 – Meios, Classes, Feições correlatas, atuação dos agentes e tonalidades respectivas. Elaborado pelo autor.....	108
Figura 62 – Meios, Classes e Feições com suas legendas correlatas. Elaborado pelo autor.....	109

Figura 63 – Símbolos para a relação entre os condicionantes e a porcentagem dentro da área suscetível. Elaborado pelo autor.....	111
Figura 64 – Mapa de meios do processo de arenização, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor. ....	113
Figura 65 - Plantio de eucalipto sobre focos de arenização. Fotografia: Jean Caneppele, Abril 2017. ....	114
Figura 66 - Mapa Final em escala 1:10.000. Elaborado pelo autor.....	116

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação climática definida utilizando o índice de aridez.....	22
Tabela 2 - Quantificação dos areais no sudoeste do Rio Grande do Sul. ....	30
Tabela 3 - Agente Hídrico e Eólico, suas formas de atuação e os valores de intensidade. Elaborado pelo autor.....	67
Tabela 4 - Relação entre localização dos valões nos compartimentos geomorfológicos, bacia do arroyo Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor. ....	79
Tabela 5 - Área destinada à lavoura temporária e pecuária nos anos de 1995 e 2006, no município de São Francisco de Assis/RS. Fonte: Modificado de Okido (2016). ....	89
Tabela 6 - Atribuição dos valores de acordo com a atuação dos agentes. Elaborado pelo autor.	105
Tabela 7 -Relação entre área das classes e os símbolos correlatos. Elaborado pelo autor. ....	112

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1 Processo de arenização .....	20
2.2 Condicionantes do Processo de Arenização .....	32
2.2.1 Condicionante Litológico.....	32
2.2.2 Condicionante geomorfológico.....	34
2.2.3 Condicionante Pedológico.....	35
2.2.4 Condicionante de regime das chuvas .....	36
2.2.5 Condicionante de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra.....	37
2.3 Processo de formação dos areais e feições características.....	43
2.4 Ecodinâmica e Cartografia Ambiental.....	49
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>	<b>58</b>
3.1 Levantamento dos condicionantes na área de estudo .....	58
3.2 Levantamento das feições da área de estudo. ....	63
3.2.1 Mapeamento de Degraus de Abatimento e Sulcos.....	64
3.2.2 Mapeamento das demais feições .....	64
3.3 Definição dos meios, estruturação da legenda e mapeamento final .....	65
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>68</b>
4.1 Condicionantes da área de estudo.....	68
4.1.1 Condicionante Litológico.....	70
4.1.2 Condicionante Geomorfológico.....	72
4.1.3 Condicionante Pedológico.....	82
4.1.4 Condicionante de cobertura vegetal uso e ocupação da terra.....	85
4.2 Feições da Arenização na Bacia Hidrográfica do Inhacundá .....	95
4.3 Meios do processo de arenização.....	101
4.4 Legenda – Cores e Símbolos.....	105
4.5 Mapeamento utilizando a Cartografia Ambiental e a Ecodinâmica .....	111
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>117</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>127</b>



# 1 INTRODUÇÃO

O processo de arenização, que ocorre no Sudoeste do Rio Grande do Sul, vem sendo estudado há mais de 25 anos pelo Grupo de Pesquisa Arenização/desertificação - questões ambientais, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, dando destaque para a tese de doutorado, da professora Dirce Maria Antunes Suertegaray em 1987, que conceitua o processo de arenização, diferenciando-o de desertificação, que até então era propagado na mídia e no meio científico, com suas origens derivando da ação humana.

A arenização em sua gênese é caracterizada como sendo um processo natural, que pode ser intensificado pelo inadequado uso e manejo da terra, possuindo feições características relacionadas a sua evolução. Estas feições possuem um padrão de localização, mas com diversos condicionantes e fatores atuando simultaneamente ou evolutivamente no processo. A formação inicialmente se dá, a partir da atuação do agente hídrico, com o escoamento em lençol e concentrado, posteriormente começa a agir o agente eólico em consonância com o hídrico e assim, a atuar no retrabalhamento das áreas com processos erosivos.

Suertegaray (2012) elenca os principais condicionantes da arenização: a **vegetação campestre**, característica do bioma Pampa, que em muitos casos, não consegue se fixar sobre o **solo**, sendo característico das áreas arenizadas, principalmente o Neossolo Quartzarênico Órtico, que possui elementos que impossibilitam a fixação de uma vegetação mais densa, assim como, são solos facilmente lixiviados pelas chuvas.

Os estudos de Verdum (1997) mostram que as **chuvas** atuam como desencadeadoras do processo, pois a dinâmica climática regional tem eventos de torrencialidade, que ao atuar sobre o solo exposto dão início a ele. Este é denominado de arenização, um processo de retrabalhamento em sua gênese natural, sobre **formações superficiais** decorrentes da exposição e degradação das **formações Guará e Botucatu**, estando localizados em médias vertentes e associados a cabeceiras de drenagem nas **colinas (coxilhas)**, e também, no contato entre a **rampa arenosa e o segmento de vertente rochoso dos morros testemunhos (cerros)**.

O último fator condicionante que acaba influenciando nos processos erosivos é o inadequado **manejo e uso da terra**, através do superpastoreio e, principalmente, após a introdução dos cultivos de trigo e soja na região, assim como pela utilização de maquinário

pesado e práticas não conservacionistas do solo, nos anos de 1970. Essas técnicas podem causar a compactação do solo e a criação de caminhos preferenciais para o escoamento, além de expor o solo através da aragem ou da morte da vegetação, dando início ou agravando os processos erosivos. Outro fator que se insere na dinâmica da arenização, associado ao uso e à cobertura da terra, é o monocultivo arbóreo de eucalipto, inserido através de políticas públicas, que se utilizaram do discurso de “combate” aos processos erosivos e de reaproveitamento produtivo de áreas degradadas.

As principais feições associadas à arenização são **as ravinas**, ligadas principalmente ao escoamento hídrico difuso e concentrado em vertentes de cerros e coxilhas<sup>1</sup>, **as voçorocas**, evoluindo a partir de ravinas ou da evolução de canais de subsuperfície, até encontrarem o lençol freático e o **areal** ou as **manchas de areais**, como são chamados regionalmente, sendo o estágio mais avançado do processo.

Todos os condicionantes devem ser levados em conta durante a implantação de técnicas de controle de erosão, assim como os estudos que tratam deste tema. O presente trabalho faz parte de um edital de pesquisa, com a parceria do Grupo de Pesquisa Arenização/desertificação e a CAPES-Embrapa Pecuária Sul, intitulado: *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)*. O edital busca criar alternativas pioneiras no contexto do processo de arenização para a estabilização dos processos erosivos, controle de fluxo de drenagem superficial, estabilização de áreas instáveis e estímulo a formação de novas “ilhas de biodiversidade” em ambientes degradados.

Sendo assim, a dissertação está pautada nas questões acerca da estabilização dos processos erosivos e das áreas instáveis, buscando entender e refletir sobre os seguintes questionamentos: quando ocorre essa estabilização? Se realmente os processos de retrabalhamento deixam de acontecer? Quais os parâmetros para que o areal seja considerado estabilizado? Onde estão os areais e os focos de arenização? Como identificar em qual estágio está o processo? Quais as principais feições características dentro da evolução do processo?

Estas perguntas nortearam o trabalho, visando à estruturação de uma metodologia e de uma cartografia, que auxiliem no cumprimento de dois objetivos específicos do já referido edital, sendo o primeiro deles: 1) O mapeamento do processo de arenização para então, contemplar um

---

<sup>1</sup> Os morros testemunhos regionalmente são chamados de cerros, enquanto as colinas são chamadas de coxilhas.

segundo objetivo que é o de 2) Criar parâmetros que orientem o manejo e a gestão de áreas suscetíveis e com feições da arenização, no estado do Rio Grande do Sul. A busca de novos parâmetros é pertinente, uma vez que, as técnicas de conservação, controle e combate aos processos erosivos são aplicadas em sua maioria em todas as áreas, sem a distinção entre os processos, sendo que estes ocorrem, em uma escala espacial e temporal distintas.

A escolha da área de estudo para a aplicação dessa nova metodologia preconizou a existência, em parte, dos condicionantes da arenização, uma vez que, a cartografia ambiental é uma cartografia de síntese, que se utiliza de dados já produzidos. Além disso, tivemos por primazia que a área estivesse localizada nos municípios de São Francisco de Assis ou Manoel Viana/RS, em função da logística para o trabalho de campo, uma vez que, esses municípios, são dois dos que mais concentram trabalhos do grupo de pesquisa em arenização. Portanto, a área de estudo escolhida foi a bacia hidrográfica do Arroio Inhacundá, localizada no município de São Francisco de Assis/RS.

A estruturação desta nova metodologia advém das visualizações em campo e da dificuldade de identificação do estágio em que a arenização se encontra, ou seja, se a área tende a se expandir ou retrain, o que resultou na formulação do objetivo geral. Dessa forma, o objetivo geral consiste na estruturação de uma metodologia para realizar o mapeamento do processo de arenização, a partir dos níveis de análise da Ecodinâmica de Tricart (1977) e da Cartografia Ambiental dos trabalhos de Journaux (1985), no intuito de mapear a evolução da arenização e cartografar, assim, os seus diferentes meios: fortemente instáveis, intergrades e estáveis, permitindo a criação de um documento, que possa servir de base para o entendimento da evolução de cada área em sua especificidade e que demonstre a sua complexidade.

A presente dissertação está estruturada em quatro capítulos, iniciando com o Referencial Teórico que se divide em: 2.1) Processo de arenização e sua gênese; 2.2) Os condicionantes da arenização; 2.3) As feições características da arenização; 2.4) Ecodinâmica e Cartografia Ambiental. A partir do referencial teórico, estruturamos o terceiro capítulo de Procedimentos Metodológicos que buscaram atender aos objetivos específicos do trabalho que foram: 3.1) Identificar os condicionantes na área de estudo; 3.2) Identificar as feições da área de estudo 3.3) Definir os meios fortemente instáveis, intergrades e estáveis; 3.4) Estruturar as classes, cores e símbolos da legenda e 3.5) Mapear os meios dentro de trechos da área de estudo utilizando a Cartografia Ambiental. Por último foram apresentados os resultados e realizadas as discussões,

com a identificação dos meios e sua caracterização, além de considerações acerca da metodologia estruturada.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O referencial teórico deste trabalho está dividido em quatro capítulos, que foram divididos visando a estruturação dos procedimentos metodológicos e buscando o cumprimento dos objetivos específicos. Inicialmente foi resgatado o histórico do processo de arenização, seu conceito e sua gênese, além do levantamento dos seus condicionantes e suas feições, buscando a associação desses aspectos com a temática do estudo. Posteriormente foi efetuada uma revisão bibliográfica acerca da Ecodinâmica e da Cartografia Ambiental, com o intuito de obter o suporte teórico-metodológico para o desenvolvimento da pesquisa.

### **2.1 Processo de arenização**

A conceituação do processo de arenização provém da tese de doutorado de Suertegaray (1987), que desmistifica o mito de desertificação no Sudoeste do Rio Grande do Sul, pois os processos erosivos da região eram assim considerados. O conceito de desertificação foi propagado na mídia e até no meio científico, nessa área, como decorrente da ação humana, em áreas frágeis do ponto de vista botânico e pedológico do Bioma Pampa.

O pensamento de que os processos erosivos eram decorrentes da ação humana, provinha da inserção dos cultivos do trigo e da soja na região, fato que ocorreu nas décadas de 1960-1970 e acabou acelerando e intensificando os processos erosivos. Porém, a partir da tese de Suertegaray (1987) os areais são considerados em sua gênese como processos naturais, que podem ser intensificados pelo inadequado uso e manejo da terra.

O conceito de desertificação surge, a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação em Nairóbi, Quênia – 1977, acerca dos problemas de desertificação presentes no Sahel – África. Os principais conceitos de desertificação utilizados referem-se à redução ou perda de potencial de biodiversidade ou pela fragilidade das terras secas em geral, pela pressão humana

VASCONCELOS SOBRINHO (1978), SUERTEGARAY *et al.* (2001), SUERTEGARAY (2012).

Durante essa conferência foi elaborada a Classificação Mundial sobre as Áreas de Risco a Desertificação para todos os continentes (Figura 1). O Sudoeste do Rio Grande do Sul não aparece nesta classificação, o que contribui para refutar o conceito de desertificação. No Brasil, apenas áreas na Caatinga possuíam risco de desertificação, em função do clima semiárido.

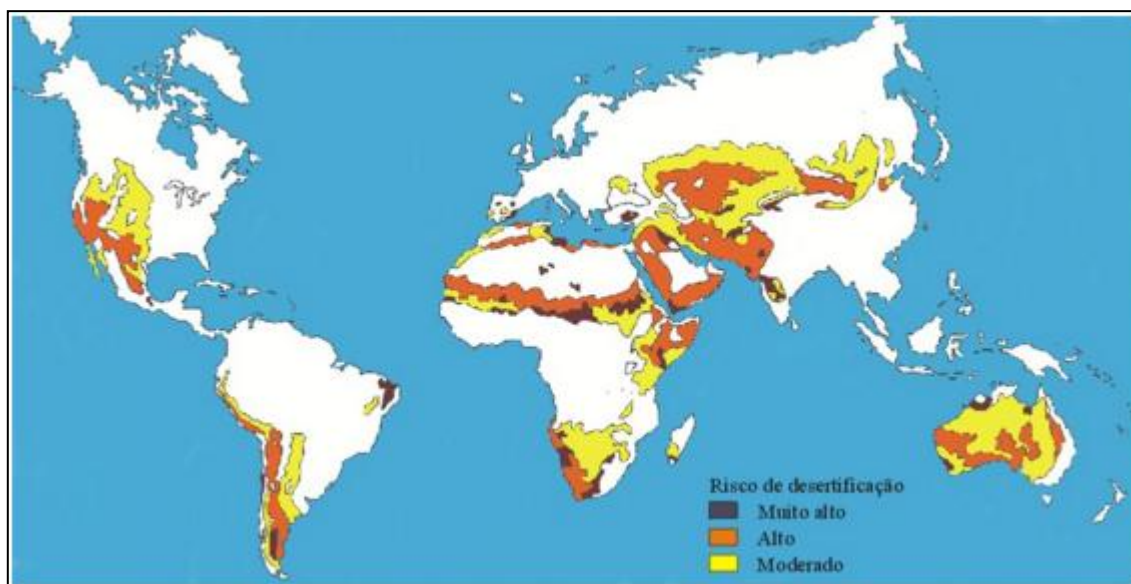


Figura 1 - Mapa de Áreas de Risco de Desertificação elaborado na Conferência sobre Desertificação das Nações Unidas (1977) Fonte: Suertegaray *et al.* (2001b).

As áreas de risco à desertificação foram mapeadas a partir do **índice de aridez**, calculado na Conferência de Nairóbi – 1977 e na Resolução do Conama 237/1997, através de metodologia de Thornwaite<sup>2</sup>. Esta metodologia estabelece quatro áreas que podem sofrer processos de desertificação, a partir da pressão exercida pela atividade humana. As quatro áreas são: hiperáridas, áridas, semiáridas e subúmidas secas, conforme Tabela 1. O fenômeno que ocorre na região Sudoeste não se encaixa na classificação sobre áreas de risco à desertificação, pois o índice de aridez da região é maior que 0,65, em função da alta pluviosidade.

<sup>2</sup> Razão entre a precipitação e a evapotranspiração, proposto pela PNUMA (1991), que delimita as áreas suscetíveis ao processo de desertificação, sendo que, para ser suscetível, o índice tem de estar entre 0,05 e 0,65.

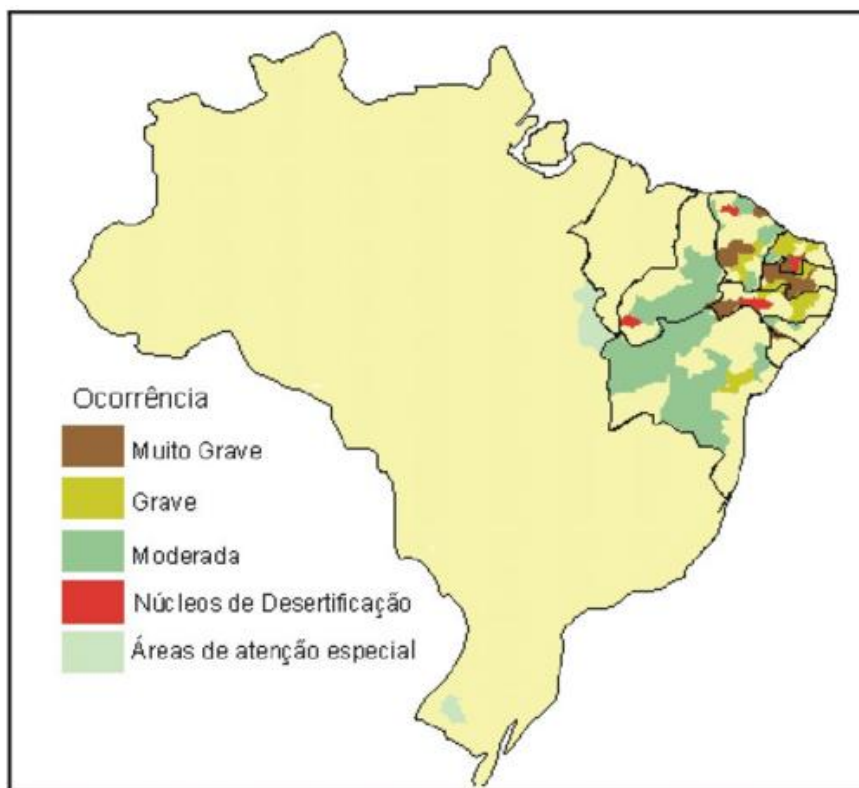
Tabela 1 - Classificação climática definida utilizando o índice de aridez.

<b>CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA</b>	<b>ÍNDICE DE ARIDEZ</b>
Hiperárido	<0,05
Árido	0,05 – 0,20
Semiárido	0,21 – 0,50
Subúmido seco	0,51 – 0,65
Subúmido e úmido	>0,65

Fonte: Modificado de (ONU, 1996).

Fonte: Modificado de ONU (1996)

No ano de 1992, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) elaborou um mapeamento acerca da Ocorrência de Desertificação e Áreas de Atenção Especial no Brasil (Figura 2) e novamente a região do sudoeste do Rio Grande do Sul não figura como área de desertificação. O que chama atenção, contudo, é que as áreas com ocorrência dos processos erosivos no Sudoeste deste estado são enquadradas como áreas de atenção especial, porém, é mapeado apenas o limite municipal de Alegrete. Isso ocorre, pois as discussões acerca dos conceitos de arenização e desertificação estavam latentes e isso acabou incidindo na inserção de políticas públicas regionais, através do discurso de combate aos processos erosivos. Segundo Ribeiro (2015) as políticas têm início com o Plano Piloto de Alegrete I – (1976-1984), antes da conceituação de arenização. Posteriormente, foi aplicado o Plano Piloto de Alegrete II com apoio da iniciativa privada, em 1990, sendo que a EMATER elabora o “Plano de Manejo Integrado da Microbacia Hidrográfica Sanga da Areia”, em 1992.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. 1992.

Figura 2 - Mapa de ocorrência de Desertificação e Áreas de Atenção Especial no Brasil. Fonte: Suertegaray *et al.* (2001b)

Em função de não se enquadrar nessas delimitações climáticas, tanto da Conferência de Nairóbi quanto do Ministério do Meio Ambiente, as áreas que possuem os processos de erosão no Sudoeste do Rio Grande do Sul, não são consideradas áreas com processos de desertificação. Segundo Suertegaray (2012, p. 129) essa região não se constitui em uma região árida ou semiárida, pois são registradas precipitações médias anuais em torno de 1400 mm, e não existem evidências de uma mudança no clima regional. Sendo assim, o processo foi denominado de *arenização*, que consiste no “retrabalhamento de depósitos arenosos pouco ou nada consolidados e que promove, nessas áreas, uma dificuldade de fixação da vegetação devido à constante mobilidade dos sedimentos” (SUERTEGARAY, 1987, p.112).

Estes depósitos foram formados em um ambiente passado, com os areais se constituindo em “registros da evolução da paisagem de um clima recente semiárido ou semiúmido, para um clima atual mais úmido” (SUERTEGARAY, 2012, p. 43), ou seja, possuem gênese natural e não ocorrem a partir da inserção dos cultivos do trigo e da soja na região. Além disso, sítios arqueológicos expostos pelas dinâmicas de retrabalhamento, foram encontrados nos areais, corroborando a ideia de que a arenização possui uma gênese natural. Bellanca (2002) afirma que

populações indígenas coabitaram com os areais e, através de líticos, indica que essas populações viveram desde 3.500 A.P., associadas às mudanças nos ambientes durante o Holoceno.

A gênese dos areais está ligada “ao processo de formação da paisagem (morfogênese), em cada período climático, e uma dinâmica característica (morfodinâmica)” Suertegaray (2012, p.44) resultando na ampliação do conceito de arenização por Suertegaray e Verdum (2008) que consiste no:

Retrabalhamento desses depósitos, no caso de formações superficiais, provavelmente quaternárias, resultou de uma dinâmica morfogenética onde os **processos hídricos superficiais**, particularmente o escoamento concentrado do tipo ravina ou voçoroca, associados as chuvas torrenciais, expõe, transporta e deposita areia, dando origem à formação de areais que, em contato com o **vento**, tendem a uma constante remoção. [grifos meus]. (SUERTEGARAY e VERDUM 2008 *apud* SUERTEGARAY, 2012, p. 130).

Os processos hídricos superficiais estão associados à gota da chuva e resistência mecânica dos agregados. Segundo Christofolletti (1980, p. 29) “o primeiro impacto erosivo é propiciado pela ação mecânica das gotas de chuva, que promove o arranchamento e deslocamento de partículas terrosas”, esse fenômeno é denominado de efeito *splash*. Esse impacto provoca a fragmentação dos agregados do solo, e essas partículas saltam e caem em diferentes direções, podendo ser carreadas para outras áreas, ou infiltradas no próprio solo.

Para Chistotofolletti (1980, p. 30) “O processo de transporte mais importante é o escoamento pluvial”, existindo o escoamento difuso, que não tem uma hierarquia e fixação e o escoamento concentrado, que possui maior competência erosiva, gerando em seu estágio avançado ravinas e voçorocas. O escoamento pluvial está vinculado à frequência e intensidade das chuvas bem como a características topográficas e de relevo, como comprimento e grau do declive, tipo de solo e susceptibilidade a erosão, cobertura vegetal e manejo do solo, práticas conservacionistas, entre outros fatores.

Os processos eólicos estão associados à ação do vento, que atua erodindo, transportando e depositando material. Os dois principais processos de erosão eólica são a deflação e a abrasão. Segundo Grotzinger *et al.* (2013) abrasão consiste quando o vento, carregado de partículas médias e finas, impacta em superfícies duras desgastando-as. Já a deflação, carrega as partículas finas e médias expandindo gradualmente a superfície do terreno. Esse processo ocorre



principalmente por áreas que estão totalmente expostas, deixando marcas como as *ripple marks*, que indicam a direção com que o vento atuou.

Em relação ao transporte, são três processos principais: Suspensão, Saltação e Arrasto. Segundo Rockett (2014) quanto maior a velocidade do vento, maior será a competência do transporte. Os grãos de pequeno diâmetro como argila, silte e areia fina são carregados principalmente por suspensão e não depositam enquanto a velocidade do vento for maior que a capacidade de depositar. A saltação é um mecanismo no qual os grãos saltam, através da suspensão temporária. O arrasto está ligado a saltação e ocorre quando um grão ao retornar a superfície após o “salto” colide com outro grão maior e não consegue saltar novamente, sendo então empurrado para frente por rastejamento. Este processo está associado a grãos de maior diâmetro como areia grossa e muito grossa.

Por último, o processo eólico de deposição associado à arenização é o de deposição por queda livre e deposição por cavalgamento. Conforme Rockett (2014) a deposição por queda livre está associada ao assentamento de grãos em zonas onde não existe movimentação de ar. Na deposição por cavalgamento os grãos se depositam após a saltação e o rastejamento, com as *ripple marks* cavalgando umas sobre as outras, gerando marcas onduladas.

Segundo Suertegaray (2012, p. 141) a formação dos areais resulta inicialmente de processos hídricos, a partir da dinâmica regional das chuvas, em regime de torrencialidade. As chuvas expõem, transportam e depositam areia, o que demonstra que o processo de arenização está associado à presença de água e não a sua escassez, como nos casos de desertificação.

Segundo Verdum (2012, p.81):

Observa-se que há uma relação provável entre essa dinâmica pluviométrica e a ultrapassagem de um patamar hidrológico gerador de processos geomorfológicos, sobretudo o escoamento superficial difuso e concentrado, como desestabilizadores da cobertura vegetal, dos solos e das formações superficiais. (VERDUM, 2012, p.81).

A relação entre a variabilidade climática e o escoamento superficial contribui para a formação de ravinas, enquanto o escoamento em subsuperfície, através do lençol freático, contribui para a formação de voçorocas, uma vez que os solos e as formações superficiais dessa região são frágeis e suscetíveis aos escoamentos.

Após a diminuição do agente hídrico, que contribui na formação de ravinas, voçorocas e areais, expondo o material inconsolidado, inicia-se a entrada do agente eólico. Segundo Tricart

(1977) “A instabilidade desse meio (ambiente) opõem severas limitações ao crescimento da vegetação, valendo por uma retroação positiva: ela tende a manter o solo desnudo, o que favorece as ações eólicas”. (Tricart, 1977, p. 26). Ocorre assim, o retrabalhamento dos sedimentos, expandindo ou retraindo as feições de acordo com a intensidade e direção do vento. Na região, segundo Suertegaray (1987) são predominantes os ventos nas direções NE, SE e SO.

Suertegaray (1987), Verdum *et al.* (2010) e Suertegaray *et al.* (2012), corroboram Tricart (1977) e indicam que a deflação eólica atua nos processos morfogenéticos. A deflação amplia a área dos areais e pode acarretar no encobrimento da vegetação, que acaba sucumbindo, gerando mais áreas expostas para serem retrabalhadas. Segundo os autores, a ação eólica ocorre principalmente no verão, quando os solos se encontram mais secos, enquanto as chuvas estão concentradas na primavera e no outono. No inverno, em função da umidade, os sedimentos ficam mais coesos, pois os grãos dos sedimentos estão mais agregados, dificultando o retrabalhamento pela ação eólica e em alguns casos favorecendo a expansão da vegetação. Segundo Verdum *et al.* (2012), os processos nos areais atuam concomitantemente, dependendo do regime das chuvas e das características dos ventos em cada estação do ano.

Verdum *et al.* (2010), estudou a relação entre as dinâmicas hídricas e eólicas e suas formas resultantes, em areais localizados em rampas em contato com cerros e coxilhas. O estudo setorizou os dois areais nos diferentes compartimentos geomorfológicos e mostrou diferenças entre os mesmos. Para o areal situado em rampa no contato entre cerro e coxilha (Figura 3), foram identificadas quatro unidades geomorfológicas, com atuação da dinâmica hídrica e eólica, gerando determinadas feições características (Legenda da Figura 3).

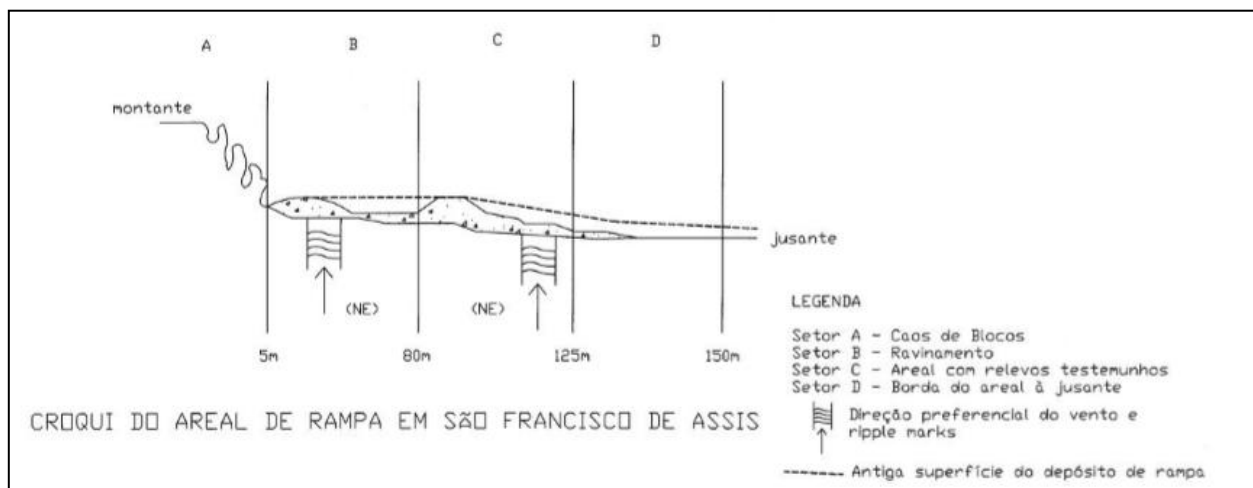


Figura 3 - Croqui do areal de rampa em São Francisco de Assis. Fonte: Verdum *et al.* (2010).

A dinâmica hídrica atua inicialmente com o escoamento difuso na unidade A, passando para laminar e concentrado na unidade B, ocorrendo a junção dos escoamentos que geram canais de escoamento; na unidade B a jusante, esses canais coalescem. Na unidade C, ainda ocorre o escoamento laminar e concentrado, com a volta do escoamento difuso e concentrado na unidade D. Dentro desse contexto, é possível afirmar que a atuação do agente hídrico ocorre com menor intensidade nas unidades A e D e com maior intensidade nas unidades B e C, que estão localizadas nas médias vertentes.

O agente eólico ocorre em áreas com exposição de areia provenientes da erosão causada pelo agente hídrico, gerando áreas de acumulação em forma de leque. Dentro desse contexto, é possível afirmar que o agente eólico predomina nas áreas expostas, e em um segundo momento dentro da dinâmica de formação e retrabalhamento dos areais.

O estudo de Verdum *et al.* (2010) mostra que na unidade A e na transição com a unidade B, o agente eólico é imperceptível. As primeiras feições características são os *ripple marks*<sup>3</sup>, provenientes do deslocamento por rastejo e da deposição em queda livre, que ocorrem na unidade B. Na unidade C, mais a jusante, ocorre a entrada da deflação e na unidade D, que corresponde a borda do areal, ocorre o deslocamento por rastejo e a deposição por cavalgamento. Dentro desse contexto, é possível afirmar que o agente eólico atua com mais intensidade na unidade C.

Para o areal situado em coxilha, Verdum *et al.* (2010) identificou três unidades geomorfológicas (Figura 4), com o agente hídrico atuando na unidade A, na forma de escoamento difuso; na unidade B na forma de escoamento concentrado, gerando ravinamento, e na unidade C, com o acúmulo dos depósitos a partir do escoamento concentrado. Em relação ao agente eólico, o estudo mostra que o mesmo já atua em todas as unidades geomorfológicas, diferentemente do areal localizado em rampa arenosa. Iniciando com a deposição por cavalgamento na unidade A; com o deslocamento por rastejo e deposição em queda livre e deflação na unidade B, o que acaba soterrando a vegetação na unidade C, gerando dunas. Para as coxilhas, ambos os agentes atuam com maior intensidade na unidade B, novamente em médias vertentes.

---

<sup>3</sup> Segundo Rossato *et al* (2003), os ripples marks constituem-se em ondulações que aparecem em superfícies sedimentares, originadas pelas ondas ou pelas águas correntes, e ventos.

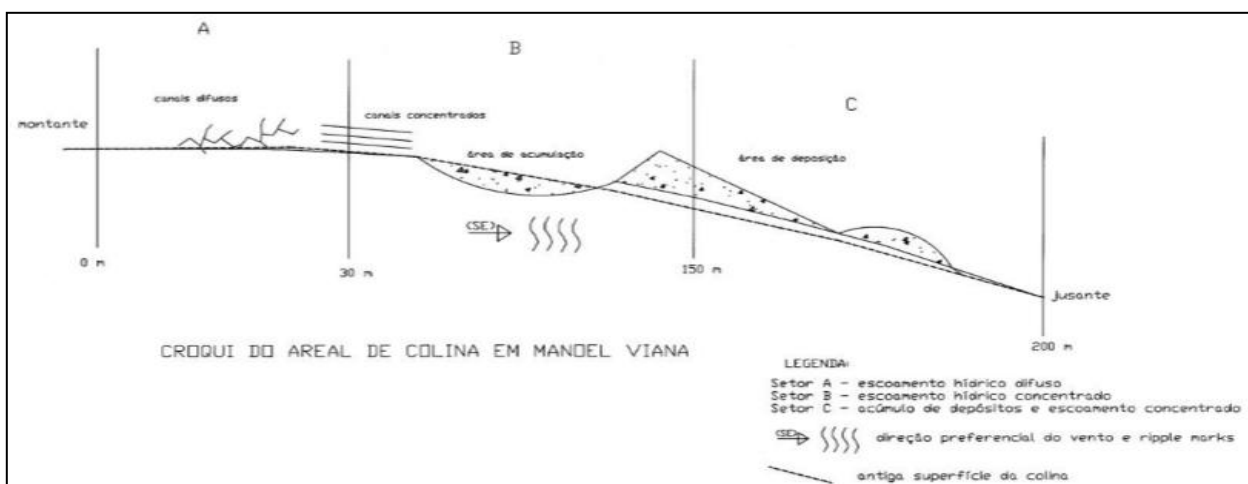


Figura 4 - Croqui do areal em coxilha em Alegrete. Fonte: Verdum *et al.* (2010).

Analisando a ação hídrica e eólica nos dois casos, é possível a identificação de que o escoamento concentrado é o principal desencadeador dos processos erosivos, localizados na média encosta de ambos os casos. A deflação eólica é a principal responsável pelo retrabalhamento do material exposto, localizando-se nas áreas mais a jusante da vertente.

O estudo de Verdum *et al.* (2010), mostrou que ambos os areais se expandem, a partir do agente hídrico ou eólico, porém, foi observado também, que ocorre recuo na expansão, mostrando que o areal é dinâmico e “pulsa” de acordo com as variações meteorológicas, ora se expandindo, ora se retraindo, segundo as variações de períodos mais úmidos e secos. Esse estudo foi realizado em Alegrete e São Francisco de Assis, porém, os experimentos de Suertegaray (1987) em Quaraí, também mostram que os areais estão em efetiva mobilidade, se expandindo ou se retraindo, favorecendo o assoreamento da várzea e na retaguarda expondo afloramentos rochosos. Cabe ressaltar que mudando o areal, mudará sua dinâmica.

Para melhor ilustrar acerca da atuação dos agentes hídrico e eólico que atuam no processo, foi elaborada uma quadro síntese, com as principais formas com que eles atuam. De montante a jusante, temos o agente hídrico atuando de forma difusa, laminar e com maior intensidade na forma de Escoamento Concentrado. Em relação ao eólico, à montante das vertentes o temos de forma imperceptível, seguido de deslocamento por rastejo, deposição em queda livre e deposição por cavalcamento, para a jusante ocorrer a Deflação como o processo de maior intensidade (Figura 5).


Montante  Jusante	<b>Agente Hídrico</b>	<b>Agente Eólico</b>
	Escoamento Difuso	Imperceptível
	Escoamento Laminar	Deslocamento por Rastejo, Deposição em Queda Livre e Deposição por Cavalgamento
	Escoamento Concentrado	Deflação

Figura 5 - Quadro do Agente hídrico e eólico e suas principais formas de atuação na arenização. Elaborado pelo autor.

Algumas áreas são mais suscetíveis ao processo de arenização, em função de possuírem determinadas características, como: 1) Áreas com reduzida biomassa e pouca cobertura vegetal, 2) Áreas de reduzida biomassa associada com a presença de areais e 3) Áreas com a presença do substrato arenoso das formações Botucatu e Guará. As áreas suscetíveis são consideradas em primeiro lugar pela possibilidade do processo acontecer em sua gênese natural, mas também, através de um inadequado manejo da terra, como acontece nas lavouras de diversos cultivos (canola, girassol, milho, soja e trigo), que nos últimos anos estão se expandindo pela região (OLIVEIRA *et al.* 2008).

Segundo Guasselli (2012) o primeiro mapeamento de identificação dos areais foi realizado por Suertegaray em (1987), mostrando em uma escala regional a área de ocorrência do processo de arenização. Posteriormente foi elaborado por Suertegaray, Guasselli e Martins (1993) um mapeamento utilizando imagens analógicas do satélite Landsat TM5 permitindo uma análise mais detalhada da distribuição espacial da arenização.

Com o advento da tecnologia e das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, mapeamentos em escalas mais detalhadas e com imagens de maior resolução foram possíveis, avançando assim na análise acerca da distribuição dos areais e da arenização. No ano de 1994 foi efetuado por Suertegaray, Guasselli e Weber o primeiro mapeamento utilizando imagens digitais do satélite Landsat TM5.

Analisando os mapeamentos através de uma escala temporal, pode-se perceber que a área do processo de arenização praticamente não mudou. A partir da Tabela 3, é possível visualizar a quantificação entre os anos de 1989 (data da imagem Landsat-5) e 2004/2005, mostrando acréscimo de 3,04 hectares na área total.

Ao analisarmos os valores por município, apenas três tiveram suas áreas de areais reduzidas: Itaqui, São Francisco de Assis e Maçambará, sendo que neste último a diminuição é

quase nula em relação a porcentagem de área por município. Cabe ressaltar, que a diminuição em São Francisco de Assis está relacionada com a inserção do monocultivo arbóreo de eucalipto, pois este mascara a identificação dos areais.

Tabela 2 - Quantificação dos areais no sudoeste do Rio Grande do Sul.

Município	Área do município (ha)	Área de areais (ha)		% de areais por município	
		1989	2004/2005	1989	2004/2005
Alegrete	772.060,00	934,67	939,87	0,1211	0,1217
Cacequi	233.307,00	9,36	18,00	0,0040	0,0077
Itaqui	329.675,00	<b>23,30</b>	<b>14,48</b>	0,0071	0,0044
Maçambará	178.857,00	<b>276,66</b>	<b>276,12</b>	0,1547	0,1544
Manoel Viana	128.738,00	551, 97	561, 78	0,4287	0,4364
Quaraí	322.466,00	230,40	234,09	0,0714	0,0726
Rosário do Sul	437.887,00	15,39	26,46	0,0035	0,0060
São Borja	380.185,00	194,94	212,40	0,0513	0,0559
São F. de Assis	259.859,00	<b>765,27</b>	<b>720, 72</b>	0,2945	0,2773
Unistalda	57.061,00	22,41	23,49	0,0389	0,0408
TOTAL	3.100.635,00	3.024, 37	3.027,41	0,0975	0,0976

Fonte: Adaptado de Guasselli (2012).

No ano de 2010, foi realizado um novo mapeamento com a utilização de outra metodologia e imagens de melhor resolução espacial<sup>4</sup>, o que possibilitou o mapeamento em uma escala de detalhe. Segundo Guasselli (2012, p.103) “a quantificação obtida a partir desse mapeamento foi de uma área total de 4.948,19 ha no Sudoeste do Rio Grande do Sul. Essa área equivale a 1.920,71 ha a mais que nos últimos mapeamentos, ou seja, 63% maior”. Esse novo total equivale a 0,32% da região.

Os mapeamentos efetuados por Suertegaray *et al.* (1993), Suertegaray *et al.* (1994) e Guasselli (2005), identificaram 3,67 km<sup>2</sup> ou 3,663 hectares de areais em dez municípios (Figura 6), representando 0,26% da área total da região Sudoeste<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Segundo Sirangelo (2011), as imagens são do Sensor QuickBird com resolução de 4 metros, do ano de 2004.

<sup>5</sup> Este cálculo considera a área de todos os municípios com focos de arenização do Sudoeste do Rio Grande do Sul.

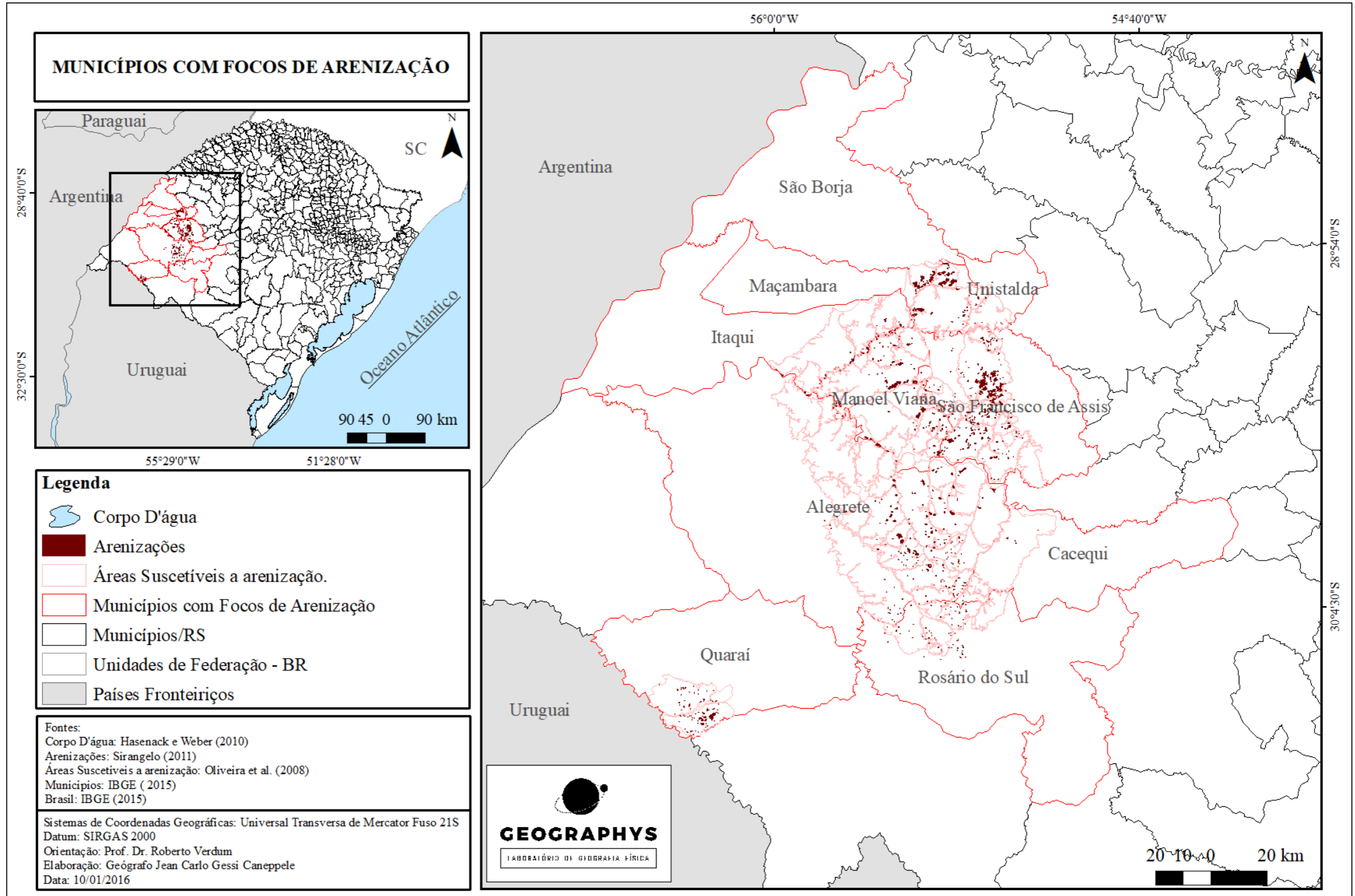


Figura 6 – Mapa dos municípios com focos de arenização. Mapa elaborado pelo autor.

## 2.2 Condicionantes do Processo de Arenização

Considera-se importante para esta pesquisa, o levantamento dos condicionantes do processo de arenização, pois este processo é complexo e varia de acordo com a presença ou não desses condicionantes. É de fundamental importância o conhecimento lito-geomorfológico, em nível dinâmico e não estático, sendo que este conhecimento deve ser relacionado com as rochas, formações superficiais e solos decorrentes, além dos fluxos climáticos e os efeitos que este impõe sobre a litosfera, o que demonstra o caráter dinâmico do processo e que deve ser levado em conta durante os mapeamentos. Verdum (1997) destaca que, além da dinâmica climática como desencadeador do processo, o pisoteio do gado e o preparo inadequado do solo para as atividades agrícolas são intensificadores do processo. Segundo Suertegaray (2012, p. 154) “têm-se como principais condicionantes da arenização os seguintes fatores: bioma de ocorrência, característica dos solos, dinâmica hídrica, o regime das chuvas, o condicionante estrutural e o uso da terra sem o manejo adequado.”.

### 2.2.1 Condicionante Litológico

Os estudos geológicos de Maciel Filho *et al.* (1971) apontaram para o município de São Francisco de Assis três formações geológicas: 1) Formação Santa Maria de origem Triássica; 2) Formação Botucatu de origem Juro-Cretácea e 3) Formação Serra Geral de origem Juro-Cretácea, com os processos de arenização associados ao arenito da formação Botucatu. Esse arenito é constituído basicamente de arenitos finos a grosseira, quartzosos e localmente feldspáticos, bem selecionados com cores em tons avermelhados (MACHADO, 2005).

No ano de 2006, Scherer *et al.* (2006) identificaram a formação Guará, uma nova sequência Neo-Jurássica caracterizada por um ambiente Fluvio-eólico, resultante de uma sucessão de mudanças climáticas intercalando períodos mais úmidos com períodos de aridez. A formação é caracterizada por arenitos beges e esbranquiçados, com granulometria fina e média, por vezes fina com matriz argilosa, compostos principalmente por quartzo e subordinadamente feldspato (SCHERER *et al.* 2006).

Com a descoberta e a caracterização de uma nova formação, a área do processo de arenização passa a ter como substrato o arenito das formações Botucatu e Guará. Ambas as



formações são datadas da era Mesozoica e a partir da neotectônica<sup>6</sup> foram alçadas a cotas de 300 metros, elevando o nível de base regional. Esse alçamento estrutural é denominado de “Muro de Manoel Viana” (TRAININI, 2005).

Com a elevação do nível de base, as formações Guará e Botucatu foram retrabalhadas, principalmente pelas mudanças climáticas quaternárias, dando origem a duas formações superficiais denominadas de Unidades A e B. Essas unidades foram identificadas por Suertegaray (1987), e são depósitos arenosos não consolidados, originários de deposição fluvial e eólica. A Unidade A é formada no Pleistoceno e a Unidade B formada no Holoceno. Sob estas duas unidades é que estão localizados os areais, particularmente na Unidade B, pois esta possui teores mínimos de argila e matéria orgânica (Suertegaray, 2012 p. 141).

A unidade A, caracterizada pela ação fluvial é descrita por Suertegaray (1987) por ser proveniente de:

Uma fase úmida, 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, correlacionada aos horizontes mais profundos dos solos hidromórficos escuros estudados na região da campanha do Rio Grande do Sul por Bombim e Klant (1974) e decorrentes de uma deposição fluvial e/ou lacustre em clima mais úmido, relativo ao optimum pós-glacial. (SUERTEGARAY 1987, p. 122).

É nesta fase que se caracteriza o optimum pós-glacial, uma fase úmida vinculada a horizontes mais profundos de solo e depósitos fluviais evoluindo para depósitos lacustres. A Unidade B é caracterizada pela ação eólica em sua formação e possui altos teores de areia (98%), que permite a identificação e caracterização de outra fase climática:

De ressecamento climático, durante o Holoceno, não necessariamente mais frias que as fases glaciais, datada através de estudos elaborados por Muller, em perfis estratigráficos na campanha gaúcha em 4.000 A.P., e por Bigarrela (1964), Vanzolini e Ab’Saber (1968) em aproximadamente 3.500 A.P., em término em torno de 2.400 A.P. (SUERTEGARAY 1987, p. 122).

É principalmente sobre as áreas onde está localizada a Unidade B, que o processo de arenização ocorre e, também, pode ser desencadeado, com o substrato arenoso decorrente em

---

<sup>6</sup> O termo neotectônica indica movimentos tectônicos ocorridos no final do Terciário e no Quaternário. Andrades Filho *et al* (2012).

grande parte da deposição eólica. Segundo Evers (2010) esse substrato possui lineamentos que condicionam o fluxo hídrico, reativando antigos canais de drenagem, ou seja, o condicionante estrutural como fator que leva a formação das feições erosivas.

### 2.2.2 Condicionante geomorfológico

Conforme visto anteriormente, os areias estão relacionados às unidades A e B que são litologicamente frágeis. Segundo Suertegaray (2012) estas unidades estão localizadas em baixas altitudes e declividades, sendo comum em médias colinas ou rampas em contato com a escarpa dos morros testemunhos. Portanto, os areais são encontrados comumente nessas feições geomorfológicas, além disso, os antigos canais de drenagem também estão associados aos depósitos arenosos.

Os antigos canais de drenagem foram identificados por Verdum (1997), sendo denominados de valões, com a possível associação entre os processos erosivos e os valões. Na maioria dos casos, são antigos canais fluviais que foram soterrados, mas não atingem o mesmo plano que seu entorno. Em função de ainda existir uma paleodrenagem ou desnível, a água é direcionada e se concentra neste local, podendo se romper e se transformar em uma ravina. Guasselli *et al.* (2012) ressaltam que:

Áreas identificadas como valão não representam obrigatoriamente paleodrenagens. Contudo, tendo em vista a hipótese apresentada, propõe-se a utilização do termo *paleodrenagem/valão*, onde fica implícito que sempre ao analisar as formas denominadas valões leva-se em conta a ideia de reativação de paleodrenagens. (GUASSELLI *et al.* 2012, p. 230).

Os valões são considerados áreas frágeis aos processos erosivos, pois possuem em seu entulhamento, material pouco consolidado e muito poroso, que “a partir do aumento da carga hídrica, mesmo em episódios isolados, pode-se romper gerando uma ravina” Evers (2010), demonstrando a importância do agente hídrico, como desencadeador do processo. Os mesmos paleocanais são indicativos de áreas que devem possuir uma maior atenção, uma vez que estes podem se transformar em ravinas e voçorocas.

### 2.2.3 Condicionante Pedológico

Segundo Verdum (2012, p. 81) os solos são oriundos do grés das formações Botucatu e Guará, sendo rochas de substratos areníticos, levando a solos com maiores teores de areia e baixos teores de matéria orgânica e argila. São solos:

Novos, formações muito recentes, rasos ou profundos, frágeis com baixo teor de matéria orgânica – inferior a 15% - e de nutrientes. Solos arenosos “altamente suscetíveis à erosão hídrica e eólica”. A erosão que se observa nesses solos é a erosão em sulcos. Essas dão origem às ravinas e voçorocas. A erosão eólica só ocorre quando esse solo não está coberto. Denominam-se esses solos, mais recentemente, de Neossolos Quartzarênicos Órticos. (SUERTEGARAY 2012, p. 154):

Os Neossolos Quartzarênicos Órticos possuem, segundo Scopel *et al.* (2012):

Baixa capacidade de água disponível, baixa CTC, baixos teores de MOS, são ácidos e, muitas vezes álicos, dispõem de baixos teores de nutrientes necessários para as plantas, são excessivamente drenados, com altas taxas de infiltração de água no solo e valores elevados de condutividade elétrica saturada, facilitando a lixiviação dos nutrientes (SCOPEL *et al.* 2012, p.536).

Nos Neossolos Quartzarênicos Órticos no Rio Grande do Sul, destaca-se “a baixa cobertura vegetal e a rápida decomposição dos resíduos vegetais, por sua vez, proporciona baixos teores de matéria orgânica, dando ao solo características de baixa fertilidade” (Streck *et al.* p. 100). Ou seja, são considerados solos pobres e que possuem alta erosividade resultando em uma recomendação agrônômica de cobertura vegetal permanente, caso contrário, ocorre a possibilidade de ampliação da fragilidade dessas áreas e também ampliação dos processos erosivos, dos quais o mais característico desse solo é o de sulcagem, resultando em ravinas e voçorocas. Freitas (2010) em sua tese de doutorado corrobora ao identificar que o processo de arenização avança numa escala maior nas áreas pastejadas, em relação àquelas onde é excluído o pastejo.

Segundo Suertegaray (2012, p. 141) “a perda de nutrientes e a (re) mobilização dificultam a continuidade da pedogênese e a fixação da vegetação herbácea, resultando na expansão dos areais”. A remobilização ocorre através da atuação do agente hídrico e eólico, o que contribui para o soterramento de massas verdes, impondo um estresse para as plantas, dificultando assim sua fixação. Em muitos casos, o soterramento associado ao pastoreio do gado acaba por fragilizar

o tecido vegetal levando a morte dessa vegetação, expondo assim o solo para ser retrabalhado, resultando na expansão dos areais.

As características do solo citadas por Scopel *et al.* (2012) e Suertegaray (2012) dão a esse solo um potencial e um limitante, que determinam a vegetação predominantemente herbácea e gramínea, característica do Bioma Pampa<sup>7</sup> que na região está adaptada aos períodos chamados de “secos” com grande estresse hídrico. As áreas de campo ocorrem sobre os solos arenosos, que são suscetíveis a arenização, segundo Freitas (2010, p.9) nesses “campos predominam condições de déficit hídrico, irradiação intensa, temperaturas extremas, baixa fertilidade do solo e uso da pecuária”.

#### **2.2.4 Condicionante de regime das chuvas**

O condicionante de regime de chuvas está em estreita ligação com o clima regional, caracterizado por Rossato (2011), por ter uma precipitação média anual variando entre 1400-1700 mm. Essa precipitação ocorre de forma concentrada entre 60 e 90 dias ao longo do ano inteiro e em poucos dias ao longo do mês, cerca de 6-9 dias, ou seja, são características de chuvas localizadas e torrenciais e não distribuídas ao longo do ano.

A ocorrência de picos de precipitação, seguidos de reduções significativas também influenciam diretamente na vegetação, que tem dificuldade em se instaurar nos períodos, aqui chamados de secos, além da existência de altas taxas de incidência solar por várias horas do dia durante o verão e temperaturas extremas tanto no verão quanto no inverno (FREITAS, 2010).

---

<sup>7</sup> Os campos do Sul do Brasil são divididos em subtropicais e de altitude, com os primeiros ocorrendo na metade sul e oeste do Rio Grande do Sul, correspondendo ao Bioma Pampa e o segundo inserido no Bioma Mata Atlântica, ocorrendo na região do Planalto Meridional, nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. (Freitas, 2010).

### 2.2.5 Condicionante de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra.

A vegetação dos campos do sul do Brasil predomina desde 22 mil anos antes do presente, sendo considerada um relicto de um clima passado mais seco e que mudou para um clima mais úmido, após 5.170 A.P. (Behling *et al.* 2005). Essa vegetação não coincide com o tipo de cobertura vegetal e sua relação com os índices pluviométricos, que na região variam entre 1400-1700 mm de média anual, o que propiciaria o desenvolvimento de florestas. A vegetação campestre, persiste devido a adaptações que favorecem a sua manutenção, Overbeck *et al.* (2007) afirma que os distúrbios do fogo e o pastejo histórico impediram e continuam impedindo a expansão florestal.

Em relação à vegetação próxima aos areais, Freitas (2010) identificou em seus experimentos localizados em áreas com Campo Pastejado (CP) e Excluídos do Pastejo (EP), espécies adaptadas<sup>8</sup> as condições de estresse nesses dois tipos de manejo. Com a ocorrência de espécies não portadoras de órgãos subterrâneos presentes, principalmente, no campo excluído de pastejo. Além disso, das 104 espécies amostradas, 89 estiveram presentes em EP e 42 estiveram presentes em CP. “As espécies arbustivas e subarbustivas apresentam menor contribuição nos dois campos, mas esta é ainda menor no campo pastejado” Freitas (2010, p. 80). Todos esses dados reforçam a hipótese da vegetação dos campos com arenização ser uma adaptação relictual de um clima pretérito árido.

Duas espécies vegetais chamam atenção na recuperação de áreas cobertas por areia: o Tremoço - *Lupinus albescens* e o Butiá-Anão - *Butia lallemantii*. O Tremoço (Figura 7) foi estudado na tese de doutorado de Rovedder (2007) e possui cinco características que fazem dela uma espécie propícia para recuperação de áreas arenizadas: 1) Atua como colonizadora natural, uma vez que não é utilizada como alimento pelos animais, favorecendo em um primeiro momento sua revegetação por sobre os areais; 2) Contribui para elevada produção de massa seca, protegendo o solo da erosão, redução da umidade, amenização da temperatura, incremento de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes; 3) Ausência de efeito alelopático sobre a composição florística do campo, possibilitando condições favoráveis à germinação de espécies do entorno

---

<sup>8</sup> 89% das espécies encontradas possuíam caracteres adaptativos, tais como: Pecíolo curto ou ausente, adaptações foliares (área foliar reduzida), órgãos subterrâneos desenvolvidos, ciclo de vida curto e metabolismo de C4. (Freitas, 2010).

transportadas ao local; 4) Reduz o efeito da erosão eólica, ao consorciar com aveia preta; 5) Ela é uma excelente cicladora de Nitrogênio.



Figura 7 - Tremoço sobre área de arenização. Fotografia: Jean Caneppele, Novembro de 2011.

O Butiá-Anão (Figura 8) é uma espécie adaptada ao estresse hídrico comumente encontrado próximo ou sobre os areais, em estreita dependência com as características do solo. Segundo Pires da Silva (2012):

Com raízes pouco profundas e muito ramificadas, contribui para a minimização da erosão laminar provocada pelas enxurradas. As folhas penadas do butiazeiro-anão, posicionadas na parte terminal e próximas ao solo, em consequência do curto caule do tipo estirpe, oferecem uma oportuna adaptação aos estresses hídricos, próprios de alguns períodos nos areais. (PIRES DA SILVA, 2012, p. 321).



Figura 8 – Área com Butiá-Anão em São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.

Ambas as espécies mencionadas são indicadas para controle e recuperação dos areais, aliado ao fato de que essas são espécies nativas, adaptadas a dinâmica do meio. Em relação à vegetação arbórea, esta é perceptível nas várzeas dos rios em formatos de matas galerias e ciliares, bem como nas encostas declivosas dos cerros e da escarpa do planalto meridional, sobretudo ao Norte do Ibicuí (MARCHIORI, 2004). Cabe ressaltar, que a vegetação de porte arbórea nativa não possui nenhuma relação com o processo de arenização.

Com relação ao uso e ocupação da terra, têm-se duas dinâmicas de apropriação do território distintas, uma relacionada aos campos limpos e a formação dos latifúndios durante o estabelecimento da fronteira política entre Brasil e Uruguai em 1828 e ratificada em 1851 (Verdum, 2012) e a outra relacionada ao rebordo do Planalto com a ocupação de descendentes de italianos e alemães<sup>9</sup> configurando uma estrutura fundiária baseada em minifúndios de utilização de lavouras temporárias.

Em relação aos campos limpos, a ocupação do território ocorreu a partir dos títulos de sesmária que se transformaram nas conhecidas estâncias e que formaram a base do latifúndio pecuarista, associadas à vegetação herbácea que possui estreita relação com as coxilhas. Portanto,

<sup>9</sup> Segundo a EMATER (2006) a ocupação começou em 1926.

historicamente a região dos campos limpos é predominante pastoril e extensiva, com a utilização dos campos voltada para o pastoreio e as áreas de várzea para o plantio de arroz.

Segundo Verdum (2012) em seu estudo dos *terroirs* na Bacia do Miracatu (vizinha a bacia do Inhacundá), 70% das coxilhas são cobertas por vegetação herbácea, associada ao potencial pedológico dos solos. Admite-se, ainda, que as sociedades ali instaladas agem sobre a cobertura vegetal através de três formas características: o desmatamento, o superpastoreio e um sistema de cultura. Estas ações nem sempre são favoráveis à conservação dos solos. (Verdum 2012, p. 44).

O superpastoreio é caracterizado pelo aumento da densidade de bovinos por hectare (em uma relação de aumento do número de cabeças de gado e da diminuição da área destinada à pecuária) que ocorre devido ao aumento da superfície destinada a cultivos temporários, em áreas que antes eram utilizadas pela pecuária. Paralelamente ao superpastoreio, ocorre a inserção de pastagens artificiais com a gestão das pastagens ocorrendo através da prática de queimada. Segundo Verdum (2012) em sua maneira tradicional, a pecuária utiliza as técnicas de queimada, limpeza e rebrote do campo, o que reduz a biomassa e aumenta a exposição dos solos aos efeitos da torrencialidade e dos efeitos morfogenéticos.

A partir da década de 1970, ocorre o aumento da área destinada a cultivos temporários, associada à mecanização das práticas agrícolas e políticas governamentais de estímulo à exportação, com a introdução dos cultivos do trigo e da soja e a modernização do cultivo de arroz. Ocorreu um aumento da produção agrícola, principalmente entre 1950 e 1985, identificado por Suertegaray *et al.* (2001), culminando no aumento dos processos erosivos. Segundo Guasselli (2012) houve uma redução do cultivo da soja entre os anos de 1990 e 2000, com retomada na expansão a partir dos anos 2000, enquanto as áreas destinadas ao cultivo de arroz aumentaram vertiginosamente entre 1950-1985 com posterior declínio do crescimento da década de 1985-1996, associado ao esgotamento das áreas propícias ao cultivo (SUERTEGARAY *et al.* 2001).

A inserção dos cultivos temporários se deu e ainda ocorre, principalmente sobre as áreas que antes eram utilizadas pela pecuária extensiva, em áreas de campo nativo ou de gramíneas exóticas, uma vez que a área destinada à agricultura na região sempre foi mínima. Essa característica vem se alterando nos últimos anos, com a pecuária extensiva seguindo como o uso mais destinado na região, mas com área total diminuindo ao longo dos anos, enquanto as áreas de lavoura vêm aumentando (SUERTEGARAY *et al.* 2001, DE NARDIN, 2009 E OKIDO, 2016).



A mecanização foi facilitada pelo relevo suave das coxilhas, associado aos solos arenosos que são facilmente arados. A introdução das técnicas com maquinaria pesada deu-se principalmente por “novos exploradores” vindos do Planalto, através do arrendamento ou compra de propriedades, acentuando a pressão sobre os solos frágeis e a vegetação herbácea, (VERDUM, 2012). Por utilizar maquinaria pesada, em sua maioria, criam-se sulcos e canais preferenciais que condicionam o escoamento, o que poderá dar início ao processo de ravinamento.

Na década de 2000, inicia-se a inserção do cultivo de espécies arbóreas, capitaneada pela empresa sueco-finlandesa Stora Enso. A implantação do monocultivo arbóreo, principalmente do Eucalipto *sp*, é decorrente de políticas públicas que encontram forte respaldo no discurso de recuperação de áreas degradadas e de aproveitamento financeiro desses locais, uma vez que, eles têm baixo preço de aquisição e foram compradas ou arrendadas pela empresa. Essa inserção ocorre, “não com o propósito de recuperar as áreas, mas inseri-las em uma nova matriz econômica com a introdução da silvicultura para fins industriais”. Ribeiro (2015, p.14).

Dentro deste contexto, no ano de 2007 a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Luiz Henrique Roessler - FEPAM elaborou o Zoneamento Ambiental para a Silvicultura do Estado do Rio Grande do Sul - ZAS. O ZAS preconizava “a conservação dos areais mais antigos e/ou estabilizados representativos”. No entorno dos areais sugeria-se uma Área de Proteção Permanente (APP) de 150 metros. Esse zoneamento não foi implementado por disputas políticas<sup>10</sup>, mas demonstra a aceitação de “novos paradigmas aceitos no âmbito das políticas públicas, principalmente após a publicação do Atlas da Arenização [...] que divulga o conceito de arenização, assim como a origem natural dos areais mais antigos” (Ribeiro 2015, p. 24).

Em 2009, um segundo zoneamento é aprovado. O ZAS considera “áreas de arenização” como áreas importantes para conservação da biodiversidade, pois “representam ecossistemas diferenciados originados por processo natural, e estabelece uma faixa de proteção com largura definida em projeto técnico visando a conservação da fauna, da flora e da paisagem” (CONSEMA, 2010b, p. 7). Segundo o documento, fica vedado o plantio de monocultivo arbóreo em áreas definidas como “areais consolidados”, sendo considerados areais consolidados aqueles identificados por Suertegaray *et al.* (2001). Nas demais áreas suscetíveis ao processo e inclusive

---

<sup>10</sup>Após longas disputas judiciais, audiências públicas tumultuadas, afastamentos e nomeações na Secretaria Estadual de Meio Ambiente e FEPAM, um substituto do Zoneamento Ambiental, considerado menos restritivo é, finalmente, aprovado pelo presidente do Conselho Estadual do Meio Ambiente, CONSEMA, Berfran Rosado (PPS), em Novembro de 2009. (Ribeiro 2015, p.139).

em novos areais, o ZAS permite o plantio de silvicultura, desde que com manejo adequado, visando a estabilização e geração de benefícios econômicos.

Em um dos seus objetivos específicos, o novo ZAS traz como foco “promover a adoção de práticas de manejo ambientalmente adequadas que resultem na conservação das riquezas naturais, da biodiversidade e dos processos ecológicos” (CONSEMA, 2010a, p.4). Considera-se que plantar sobre os areais não resulta na conservação da biodiversidade e dos processos ecológicos, uma vez que, Pires da Silva (2008) e Freitas (2006 e 2010) já demonstraram em suas pesquisas que a fauna e flora estão adaptadas aos areais e não vinculadas ao plantio arbóreo.

O ZAS estabelece os areais consolidados a partir do mapeamento do Atlas da Arenização, porém, os areais são dinâmicos e não estáticos, Suertegaray (1987), Verdum *et al.* (2010), Verdum *et al.* (2012). Neste trabalho não consideraremos os areais como consolidados, pois estes possuem dinâmicas de retrabalhamento, inclusive com monocultivo sobre eles. Outro fato a ser destacado, é o de que a implantação de monocultivo arbóreo sobre os areais mascara os mapeamentos. Esse fato fez com que surgisse a proposta de mapear os areais a partir da metodologia de Tricart (1977), uma vez que, ela não desconsidera que os processos de escoamento, retrabalhamento e erosão possam continuar ocorrendo, mesmo com implantação do monocultivo arbóreo, além de identificar onde estão os areais, independente da presença de vegetação exótica ou não. Na Figura 9, foram elencados os condicionantes da arenização, elaborados a partir desse capítulo, que serão utilizados na definição dos meios (estáveis, intergrades e fortemente instáveis).

<b>Condicionantes</b>	<b>Características</b>
Geológico	Botucatu, Guará e Formações Superficiais (Unidade A e B)
Geomorfológico	Rampas, Coxilhas, Várzeas e Valões
Litológico	Neossolos Quartzarênicos Órticos
Cobertura vegetal e uso e ocupação da terra	Campos, Adequado e Inadequado

Figura 9 – Quadro-Síntese dos condicionantes da arenização. Elaborado pelo autor.

### 2.3 Processo de formação dos areais e feições características

Segundo Suertegaray (2012) a gênese natural do processo de arenização está relacionada a três etapas básicas: 1) Formação dos **degraus de abatimento** (Figura 10), estudados por Uagoda (2004), Suertegaray e Fujimoto (2003), Fujimoto *et al.* (2010) e Guasselli e Evers (2012), que ocorrem em função das áreas suscetíveis aos processos de erosão, possuem uma maior incidência de óxido de ferro, que é o principal elemento agregador nas formações superficiais e no solo; e devido a dissolução de óxidos de ferro pela alteração física e química, o terreno entra em colapso e causa assim o abatimento. Segundo Suertegaray *et al.* (1989), o trabalho de erosão diferencial nas vertentes, motivado pela silicificação dos arenitos, provocou um processo erosivo em forma de degraus.



Figura 10 - Degrau de abatimento em São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Novembro 2011.

Ao se formar o degrau de abatimento, este cria linhas principais que direcionam o escoamento da água, transformando-o em escoamento concentrado. O pisoteio e a formação de trilhas pelo gado, também pode funcionar como iniciante, para que o escoamento se torne concentrado na forma de **ravinas e voçorocas**, que são a segunda etapa do processo.

Segundo Suertegaray (2012) o processo de formação de ravinas está associado à dinâmica hídrica superficial, principalmente pelo condicionamento do fluxo de água nos degraus de abatimento. O fluxo hídrico superficial surge de forma difusa, gradativamente ao ser orientado pelos padrões de falhamentos estruturais e pela inclinação das vertentes, torna-se concentrado, originando os ravinamentos (Figura 11). Com o entalhamento das ravinas, esta pode se transformar em uma voçoroca, dependendo da posição geomorfológica e da profundidade da incisão até atingir o lençol freático, sendo estas as principais diferenças entre as duas feições.



Figura 11 – Ravina em São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Novembro 2011.

As voçorocas também podem se formar a partir do escoamento subsuperficial, com a formação de dutos e fluxos mais profundos, dutos estes que são formados pelo desenvolvimento de erosão interna (*pipping* – Figura 12) que carrea os elementos agregadores, silte e argila, levando à formação de caminhos preferencias, que possuem uma maior erodibilidade do terreno (UAGODA, 2004).



Figura 12 - Erosão em *pipping* no município de São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Junho de 2013.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), o processo ocorre quando a água que está percorrendo o solo encontra uma camada menos permeável. Uma mudança abrupta de um horizonte A (arenoso) e um Bt (Textural), gera o colapso do material que está sobre estes dutos. Com o colapso do material e o escoamento concentrado na forma de enxurradas, a feição poderá atingir o lençol freático, se configurando como uma voçoroca (Fotografia da Figura 13A-B). O retrabalhamento das voçorocas a partir do agente hídrico, principalmente pela torrencialidade, pode fazer com que essa voçoroca se conecte a rede de drenagem, se tornando canais de primeira ordem.

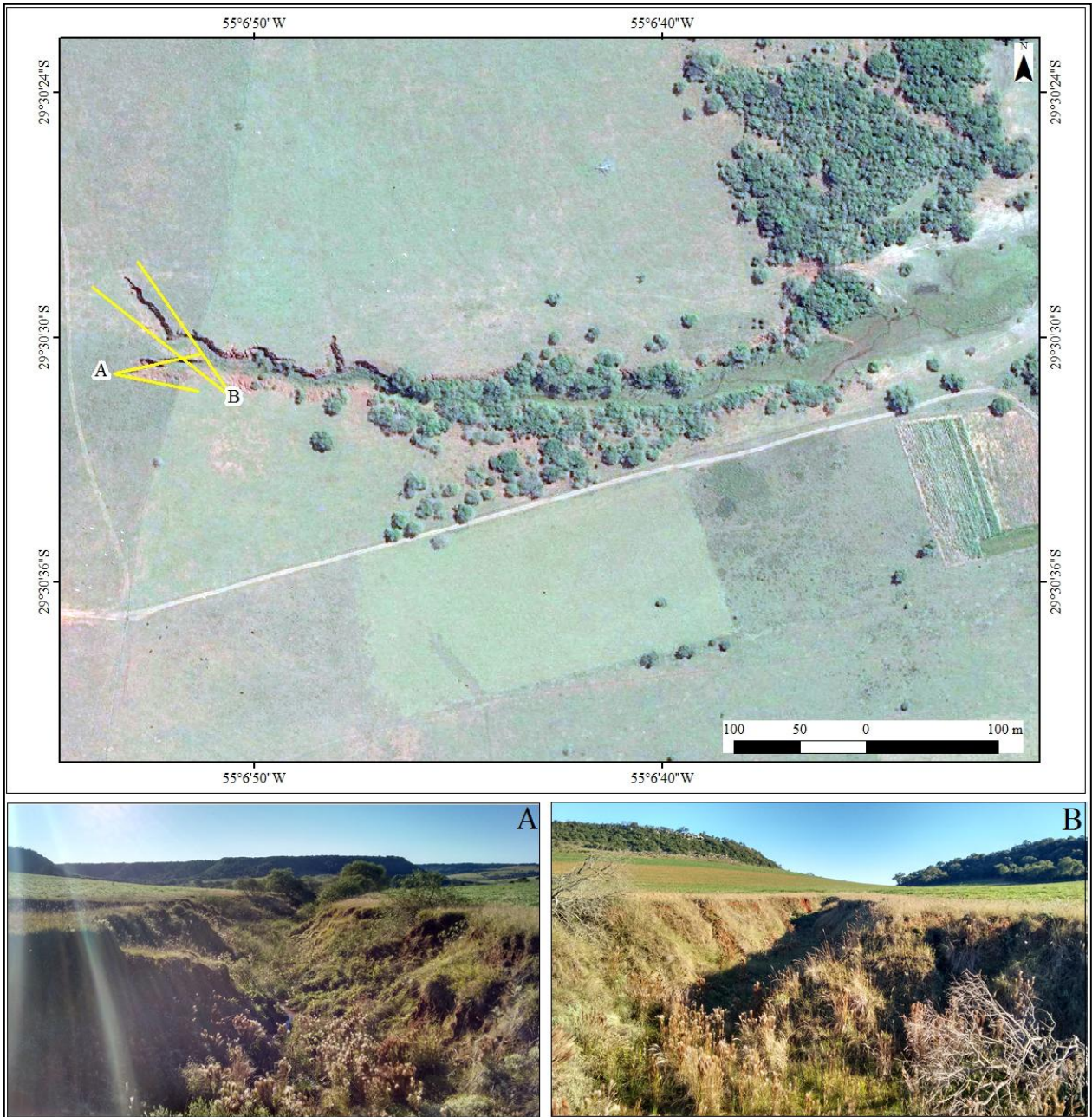


Figura 13 – Na imagem de satélite é possível identificar a voçoroca conectada a rede de drenagem. Os traços amarelos indicam o ângulo de visada da foto A e B. Na fotografia A é possível a visualização do lençol freático aflorando e na fotografia B um dos “braços” da voçoroca. Foto: Jean Caneppele, Abril de 2017. Imagem de satélite: CNES/Astrium 2012.

As ravinas além de formarem voçorocas, podem formar **areais**. Esse processo é evidenciado pelo retrabalhamento oriundo do agente hídrico, que faz com que as ravinas se expandam lateralmente, a montante e a jusante, onde se formam os leques de dejeção, retrabalhados pelo agente eólico. Quando várias ravinas próximas se expandem lateralmente, a partir da sua coalescência ocorre a formação do areal. Na Figura 14, a imagem de satélite mostra

ravinas se coalescendo e depositando em forma de leques de dejecção, em uma transição entre a segunda e a terceira etapa natural do processo.

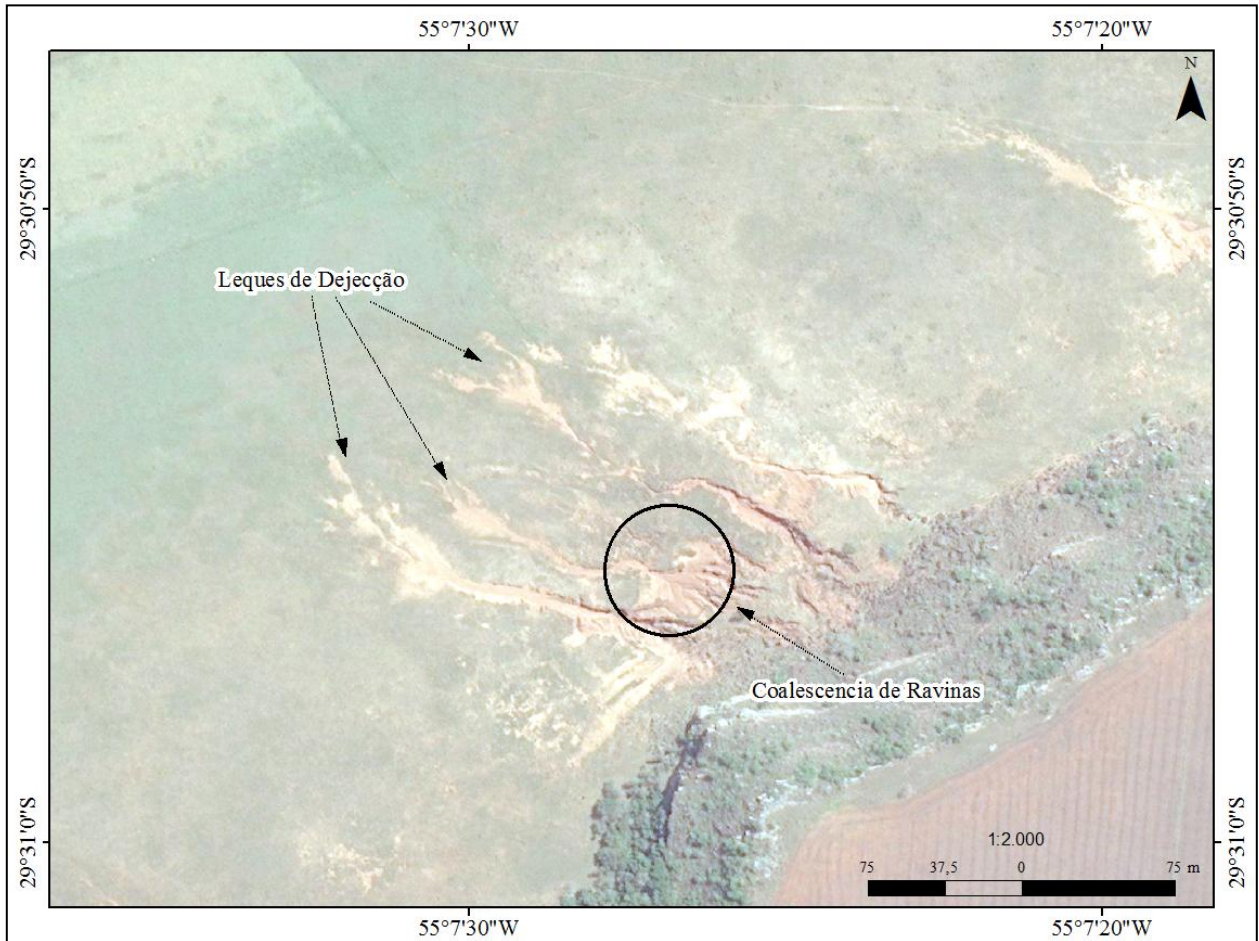


Figura 14 - Ravinas se coalescendo na rampa arenosa em contato com um cerro e os leques de dejecção associados a deposição dos sedimentos provenientes dos ravinamentos. Mapa elaborado pelo autor. Imagem de Satélite: CNES/Astrium 2012.

A formação do areal em si, é a terceira etapa do processo em sua gênese natural. Os areais são conceituados por Suertegaray (2004) como:

Depósitos areníticos recentes, pouco consolidados, arenosos e não consolidados, com cobertura vegetal escassa ou inexistente e em constante retrabalhamento por agentes climáticos. A gênese dessas manchas está relacionada a fragilidade dessa paisagem em sua totalidade, devido a susceptibilidade das unidades litológicas ao processo de arenização (SUERTEGARAY, 2004, p.238).

Dentro desse contexto, temos os areais como manchas, que se individualizam e estão em

constante remoção por processos pluviais, hídricos subsuperficiais e eólicos. Além destas manchas, existem os focos de arenização, que segundo Suertegaray (2012, p. 136) “são áreas onde a cobertura vegetal é rarefeita e onde é significativa a presença de ravinas e voçorocas”.

A Figura 13 explicita o processo de formação e evolução dos areais, nesse caso ancorado em um cerro, através dos degraus de abatimento, do escoamento concentrado, da ação dos ventos e em alguns casos do uso social; eles são formados, alimentados e mantidos. A figura 15A demonstra um ambiente com processos formadores dos areais, principalmente as ravinas e os leques de dejectão, e a figura 15B com o areal já consolidado, através dos processos descritos anteriormente.

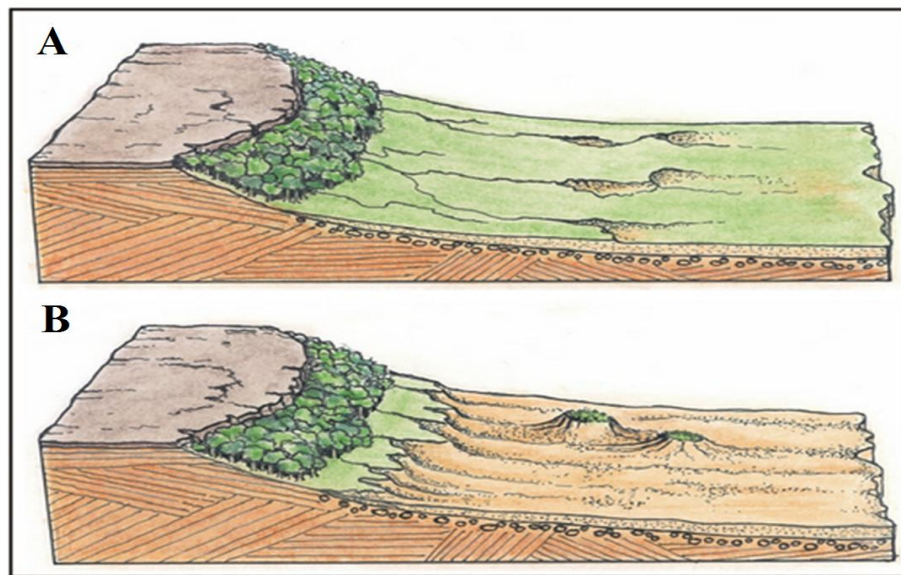


Figura 15 - Representação da formação de areais em rampas. Fonte: Suertegaray *et al.* (2001a).

Para melhor ilustrar a evolução do processo de arenização, elaboramos um quadro síntese (Figura 16). Em sua gênese natural o início do processo se dá através da formação dos degraus de abatimento. Da mesma forma, os sulcos da maquinaria e do superpastoreio, podem ser o estopim do processo, tanto de formação quanto de agravamento. Em relação às voçorocas, o início pode se dar a partir da erosão em *pipping*.

Os degraus de abatimento e os sulcos podem gerar ravinamento, configurando a segunda etapa do processo, assim como a erosão em *pipping* pode gerar voçorocamento. As voçorocas também podem surgir a partir do momento em que as ravinas atingem o lençol freático e foram



diferenciadas, considerando-as como etapa final do processo. Por último, a coalescência de várias ravinas e os leques de dejeção poderão gerar areais, também na forma final do processo.

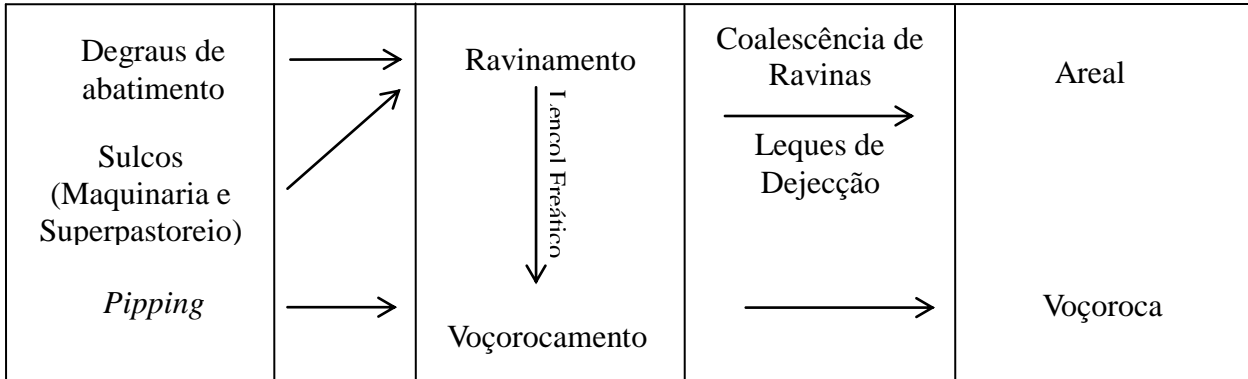


Figura 16 - Evolução das feições da arenização. Elaborado pelo autor.

## 2.4 Ecodinâmica e Cartografia Ambiental

As questões ambientais começaram a ser discutidas no século XX, pois a utilização indiscriminada das riquezas naturais pela sociedade, não era caracterizada como nociva à manutenção dos ecossistemas. No entanto, com o advento da técnica, principalmente após a revolução industrial e o início do processo de urbanização e de industrialização, os chamados “problemas ambientais” começam a entrar em pauta nos debates científicos e políticos.

Sendo assim, alternativas para evitar os problemas ambientais devem ser pensadas, principalmente as ferramentas de gestão e o planejamento das riquezas naturais. O conhecimento dos processos pode auxiliar no controle ou intervenção de problemas ambientais, levando à manutenção ou recuperação do meio. Esse novo conhecimento deve ser difundido em diferentes meios, para Tricart (1977) “Estudar os problemas do meio ambiente responde ao nosso conceito de que a ciência deve contribuir para o bem público” (1977, pág. 15).

A *Ecodinâmica* de Jean Tricart está “baseada no estudo da dinâmica dos ecótopos [...] Ambos os aspectos da dinâmica dos ecossistemas são estritamente relacionados entre si” (1977, pág. 31). Ou seja, as dinâmicas dos subsistemas afetam-se mutuamente. Todos os fatores e condicionantes que atuam no processo de arenização estão intimamente conectados, balizando a escolha desta metodologia para análise do processo.

Diante desse contexto, temos a morfogênese e a pedogênese atuando concomitantemente, gerando diferentes graus de equilíbrio, em função da intensidade que os agentes e processos

atuam sobre o meio. Sendo assim, Tricart (1977) estabelece três meios morfodinâmicos: **Estáveis; Intergrades; e Fortemente Instáveis**, baseando-se no: 1) Estudo morfogenético, que é função das condições climáticas; 2) Estudo dos processos atuais, caracterizando tipos, a densidade e a distribuição; 3) Nas influências antrópicas e os graus de degradação decorrentes e 4) Nos graus de estabilidade morfodinâmica derivados da análise integrada dos sistemas morfogenéticos, dos processos atuais e da degradação antrópica TRICART (1977, p. 67).

Os **meios estáveis** estão associados a modelados que possuem processos mecânicos lentos, não comportando mudanças extremas na característica geomorfológica da forma. Os meios estáveis podem ser distinguidos segundo Tricart (1977, pág. 36) a partir da:

- Cobertura vegetal suficientemente fechada para opor um freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese;
- Dissecação moderada, sem incisão violenta dos cursos d'água, sem sapeamentos vigorosos dos rios, e vertentes de lenta evolução;
- Ausência de manifestações vulcânicas suscetíveis de desencadear paroxismos morfodinâmicos de aspectos mais ou menos catastróficos.

As características geomorfológicas dos meios estáveis podem estar ligadas a uma estabilização associada ao tempo longo, bem como podem estar ligadas a uma estabilização recente, por causa das oscilações climáticas do Quaternário, com a pedogênese sendo favorecida em relação à morfogênese, gerando solos mais profundos. Isso ocorre em função da baixa capacidade energética da ação das águas para arrancar e transportar material. Segundo Tricart (1977):

Onde a vegetação é capaz de fornecer detritos tem lugar a pedogênese. A fraqueza das ações mecânicas limita a um mínimo a interferência pedogênese-morfogênese. Sob este ponto de vista, pode-se dizer que a pedogênese se exerce livremente, sem ser afetada praticamente pelas sujeições da morfogênese. (TRICART, 1977, p. 37).

A estabilidade dos processos morfodinâmicos, terá grande importância na pedogênese, influenciando na evolução e idade dos solos, já que os fatores como cobertura vegetal, exposição ao clima e manifestações vulcânicas que não conseguem incidir de forma contundente no processo pedogenético.

Os **meios intergrades**, como o nome já diz, estão associados à passagem dos meios instáveis, para os meios estáveis, não de forma abrupta, mas sim gradualmente, com a

interpelação entre morfogênese e pedogênese de uma forma balanceada. Os meios *intergrades* “são cambiantes, especialmente sensíveis às influências que modificam localmente, por vezes a alguns metros de distância somente, as modalidades dos processos” Tricart (1977, p. 51). A evolução dos meios *intergrades* para os meios fortemente instáveis pode ocorrer, a partir de uma instabilidade geodinâmica. Sendo assim, pode ser necessária a implantação de técnicas para estabilização geodinâmica, vinculadas à manutenção da vegetação, inibindo o escoamento superficial.

Os **meios fortemente instáveis** são determinados pela predominância das dinâmicas naturais, apresentando características de desequilíbrio ou de instabilidade morfogenética. A influência da morfogênese não permite a manutenção de formas, associada também à pressão social, que opõem limitantes à vegetação. Para Ross (2008, p. 48), o comportamento do meio fortemente instável está relacionado a:

- Condições Bioclimáticas agressivas, com ocorrência de variações fortes e irregulares de chuvas, ventos, geleiras;
- Relevo com vigorosa dissecação, apresentando declives fortes e intensos;
- Presença de solos rasos ou constituídos por partículas com baixo grau de coesão;
- Inexistência de cobertura vegetal densa;
- Planícies e fundos de vales sujeitos a inundações;
- Geodinâmica intensa (sísmicos e vulcanismo).

A tendência de evolução de um meio para o outro é capital. Tricart (1977) cita o exemplo de uma ravina, considerando-a como um meio instável, que causa modificações a jusante a partir da torrencialidade e da contribuição de materiais estéreis, porém se a vegetação conseguir se fixar e a ravina se estabilizar, esta pode evoluir para um meio *intergrade*.

Para análise frente à Ecodinâmica, há que se basear na relação morfogênese x pedogênese, com uma tendência global de predomínio da pedogênese, pois “as condições ecológicas atuais reinam a partir do fim do último período frio, aproximadamente do início do Holoceno”, Tricart (1977, pág. 38), ou seja, os solos puderam se desenvolver a partir dessa época. Cabe ressaltar, que esses solos estão materializados muitas vezes com heranças de épocas e períodos passados, constituindo-se em “reliquias”. Um exemplo dessas reliquias são as formações superficiais que se constituem como material parental dos solos, e elas podem indicar tanto o grau de resistência erosiva, quanto a litologia que as sustenta (TRICART, 1977).

Por sua vez, a distribuição dos solos e das formações superficiais, terá grande importância para entendimento e proposição de um manejo adequado. Pode se perceber, que mesmo em meios considerados estáveis, a morfogênese e a pedogênese ainda ocorrem, assim como os fluxos e processos continuam se intercalando e acontecendo. A Ecodinâmica de Tricart (1977, p. 32) enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente. Essa definição é importante para o ordenamento e a administração de um território, já que, ao entender e trabalhar a dinamicidade dos sistemas, o planejamento e a gestão do território, também devem se tornar relativos e dinâmicos.

Ao introduzir ou avaliar o impacto ambiental proveniente da ação humana, deve-se ter o conhecimento do funcionamento de todo processo, visando o entendimento dos impactos pontuais diretos, mas também dos impactos indiretos e que ocorrem em outras escalas e locais. Para isso, busca-se com esse trabalho, analisar o processo de arenização, desde o seu início, desenvolvimento e sua estabilização (se ela existir), entendendo-o como uma Unidade Ecodinâmica. Conforme Tricart (1977) esta:

Se caracteriza por certa dinâmica do meio ambiente que tem repercussões mais ou menos imperativas sobre as biocenoses [...] Geralmente a morfodinâmica é o elemento determinante. A morfodinâmica depende do clima, da topografia, do material rochoso. Ela permite a integração desses vários fatores (TRICART, 1977, pág. 31).

Associado à Unidade Ecodinâmica está o conceito de Sistema. Lembramos inicialmente que um sistema para Tricart (1977):

É um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia. Esses fluxos originam relações de dependência mútua entre fenômenos. Como consequência, o sistema apresenta propriedades que lhe são inerentes e diferem da soma das propriedades dos seus componentes. Uma delas é ter dinâmica própria, específica do sistema. (TRICART, 1977, pág. 19).

Ao analisar o areal como um sistema, percebe-se uma leitura dialética, já que ele pode ser entendido através da análise do fenômeno, mas também do conjunto, do sistema como um todo, ainda mais utilizando o conceito de sistema que é “por natureza dinâmico e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação”. (Tricart, 1977. Pág. 19). A partir dessa dinâmica própria, os fenômenos observados e incorporados ao sistema, podem ser observados e analisados individualmente como se fossem outro sistema, sendo assim denominados de

*subsistemas*, onde “as relações mútuas entre os subsistemas definem uma certa taxonomia desses subsistemas”. (Tricart 1977, pág. 19).

Essas novas taxonomias, devem ser definidas e cartografadas, demonstrando a complexidade do processo e também a complexidade de parâmetros que devem ser envolvidos, para um adequado manejo dessas áreas. Para Ross (2008) inicialmente deve ser feito um inventário do quadro ambiental, se traduzindo objetivamente em um diagnóstico com o confronto e a avaliação integrada de todos os fatores. O inventário implica no registro cartográfico da litologia, das estruturas, das formações superficiais, dos solos, da cobertura vegetal, do uso da terra e dos processos erosivos e deposicionais. Assim, podemos considerar que para a análise morfodinâmica, devemos tratar de uma cartografia genética e cronológica, chegando a uma cartografia que retrata a dinâmica das formas. Tricart denomina essa cartografia de *carta ecodinâmica*.

No que tange a cartografia, em primeiro momento, deve-se ter noção de que as questões ambientais estão associadas aos problemas sociais e não da natureza, em função de como a sociedade se relaciona com a natureza e como ela se relaciona entre si, a partir do modo de produção em um dado momento histórico.

Em um segundo momento, deve-se entender e buscar uma cartografia que incorpore “todas as relações, mediações, contradições, oposições entre os componentes que perfazem a natureza e a sociedade” (Martinelli 2001, p. 3) e ao incorporar essas questões ela deverá estar apta a dialogar com a Geografia buscando a materialidade desse espaço que é o ambiente.

A escolha metodológica ao cartografar deve levar muito em consideração a escala, não entendendo esta como cartográfica, mas sim como escala geográfica, com o entendimento de que os fenômenos não acontecem sucessivamente, mas de forma simultânea, pois no espaço completam-se coexistências de temporalidades diferentes. (Martinelli, 2001). Assim há a necessidade de uma cartografia que leve em conta os níveis de análise em conformidade com as ordens de grandeza dos fenômenos, aliado às combinações e contradições que acontecem entre os conjuntos espaciais, num mesmo nível temporo-espacial (Lacoste, 1976). Sendo assim, Martinelli (2001) faz a seguinte proposição:

A realização cartográfica, portanto, seria conceitual somente através de um raciocínio de síntese. Chegamos, assim, a uma cartografia que apresenta conjuntos espaciais, com identidade peculiar e marcante, que são agrupamentos de lugares caracterizados por agrupamentos de atributos, que a pesquisa individualizou. A organização destes dentro

de um raciocínio científico adequado será exposta com transparência mediante **legenda**. (MARTINELLI, 2001 p. 4).

A relação escala x legenda é fundamental para a cartografia, para Ross (2008) a proposta metodológica de Tricart, pressupõe que cada nível de tratamento se encaixe em uma determinada grandeza temporal e espacial. As cartas ecodinâmicas propostas por Tricart, se tornam documentos complexos em função da elevada densidade de informações que torna difícil a sua leitura. Segundo Ross (2008, p.49), “a carta ecodinâmica registra, através de manchas coloridas e símbolos lineares e pontuais diversas cores, uma grande gama de informações superpostas.”, gerando uma grande dificuldade de decodificação dos fatos registrados, o que a torna uma cartografia sofisticada.

Sendo assim, o trabalho a ser tomado como base para a cartografia do processo de arenização, é a “*Cartographie intégrée de l’environnement ‘un outil pour la recherche et pour l’aménagement’*”, (Unesco, 1985) de André Journaux, pois este propõe uma classificação metodológica dos tipos de mapas que tratam da temática ambiental; desde as análises simples dos fenômenos, até a síntese mais complexa, realizando a superposição e justaposição da representação dos dados do ambiente (meio e sociedade), obtendo assim uma cartografia para o planejamento, enquanto na cartografia de Tricart pode-se encontrar uma taxonomia de tipos de unidades fortemente instáveis no meio (MARTINELLI, 2001).

Os primeiros trabalhos de Journaux foram desenvolvidos no Centro de Geomorfologia do CNRS - *Centre Nationale de Recherches Scientifiques*, da Universidade de Caen, na Normandia - França, referindo-se às Cartas Geomorfológicas e de Formações Superficiais. Fato importante a ser ressaltado, pois o planejamento em áreas com processo de arenização deve levar em conta as formações superficiais que ocorrem nos municípios com focos de arenização, uma vez que elas se constituem em um dos condicionantes do processo.

No Brasil, tem-se como referencia o *Memorial Descritivo da Baixada Santista – Carta do meio ambiente e de sua dinâmica* efetuado por Journaux (1985) e publicado pela CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental – SP). Porém, a metodologia não foi muito difundida e aplicada no Brasil, sendo encontrados poucos trabalhos citando os trabalhos de Reinehr (2002) e Dal Forno (2009) que utilizaram a metodologia para identificação de fontes de poluição hídrica no município de Santa Rosa-RS, Archela *et al* (2002) e Archela e Rosolem (2009) que utilizaram a metodologia na área urbana de Londrina-PR, Dagnino (2007) que aplicou

a metodologia para a identificação de riscos ambientais na Bacia Hidrográfica das Pedras em Campinas-SP e Canal (2011) e Canal e Verdum (2013) que trabalharam a metodologia no mapeamento ambiental de Porto Alegre-RS.

Ao cartografar a partir dessa linha de trabalho, divulga-se ao grande público a informação de uma forma mais precisa e sintetizada, pois um dos fatores principais para o sucesso dessa cartografia é o estabelecimento de uma legenda padrão, que conseguiu inserir o elemento social nos mapeamentos, o que influi de maneira significativa para a gestão e planejamento no uso e ocupação do espaço. Outro fator importante é a necessidade do uso de trabalhos e mapeamentos anteriores, que possibilitam uma maior agilidade na construção de um documento baseado na Cartografia Ambiental.

Segundo Archela *et al.* (2002) a proposição metodológica de Journaux (1985) classifica os mapas em três níveis: cartas de análise, cartas de sistemas e cartas de síntese. As cartas de análise consistem em cartografar elementos e processos simples, como formações geológicas, espaços agrícolas, tipos de construção, cobertura vegetal. Os processos podem ser mapeados a partir do uso de cores, representando, por exemplo, os processos morfoclimáticos que incidiram na elaboração das formas.

As cartas de sistemas têm por objetivo cartografar associações de elementos ou processos, para definir sistemas ou cartas de aptidão. Por sistemas, podemos citar as cartas ecológicas que permitem a visualização da degradação, enquanto as cartas de aptidão podem ser entendidas como cartas geotécnicas ou de riscos naturais.

Por último, temos as cartas de síntese que estão relacionadas à sensibilização dos problemas ambientais, servindo de base para o planejamento territorial, através de uma cartografia prospectiva. As cartas de síntese levam em conta os dados do meio e os dados sociais. Através da superposição e justaposição das diferentes variáveis podem-se detectar enclaves colocados pelo ambiente e a tendência de evolução de seus componentes. (ARCHELA *et al.* 2002)

Dentro desse contexto, se faz necessária a adoção de uma conveniência de precisão dentro dos parâmetros da cartografia ambiental. Sendo assim, a legenda parte de duas prerrogativas: **dados do ambiente** que correspondem às dinâmicas de tempo mais lento. São as Toponímias e Topografias, a Hidrografia e Hidrologia, Ar e direção dos ventos, os Espaços Construídos, Espaços Cultivados e Espaços Verdes; **dinâmicas do ambiente** que correspondem a dinâmicas

de fenômenos de evolução rápida. É a Degradação do solo, a Poluição da água, a Poluição do Ar e os Trabalhos de proteção e melhoria do Ambiente. A Figura 17 expressa a relação entre os dados e as dinâmicas do ambiente e suas respectivas cores.

<b>DADOS DO AMBIENTE</b>	<b>COR</b>
Toponímias e Topografia	Cinza
Hidrografia e Hidrologia	Azul
Ar e direção dos ventos	Branco
Espaços Construídos	Laranja
Espaços Cultivados	Marrom
Espaços Verdes	Verde
<b>DINÂMICAS DO AMBIENTE</b>	<b>COR</b>
Degradação do solo	Vermelho
Poluição da água,	Lilás
Poluição do Ar	Violeta
Trabalhos de proteção e melhoria do Ambiente.	Preto

Figura 17 - Legenda básica dos dados e dinâmicas do ambiente e suas cores atreladas. Elaborado a partir de Journaux (1985).

Para Dal Forno (2009, p. 38) os trabalhos de Journaux (1985) “propõem documentos cartográficos que representem, pelo uso das cores e dos símbolos, os elementos físicos e humanos, qualificados em níveis de degradação e dinâmica, no tempo e no espaço.”. Como exemplo, podemos citar o mapeamento da cobertura vegetal. A gradação das cores pode exemplificar a espessura da cobertura, bem como sua modificação ao longo de um período (geralmente 20 anos). Assim como tons claros da mesma cor podem representar o início de um processo e tons escuros o agravamento ou evolução de determinado processo. Em sua cartografia da cidade de Londrina, Archela *et al.* (2009) elabora a legenda e descreve cada um dos dados e dinâmicas do ambiente utilizados e o objetivo de cada elemento a ser mapeado.

Associado as cores Journaux (1985) elaborou uma série de símbolos, que podem ser consultados no anexo 01 deste trabalho. Os símbolos auxiliam na diferenciação entre os



elementos que possuem as mesmas cores. Por exemplo, os espaços construídos são representados pela cor laranja, representando as habitações contínuas e de grandes conjuntos com traços paralelos estreitos (laranjas), enquanto as habitações descontínuas são representadas por pontos (laranjas).

Sendo assim, o próximo capítulo será o de estruturação dos procedimentos metodológicos para definição dos meios morfodinâmicos, baseados na metodologia da Ecodinâmica de Tricart (1977) e nos condicionantes e fatores levantados no referencial teórico, além da aplicação da Cartografia Ambiental, baseados na metodologia de Journaux (1985), com a criação da legenda, utilizando símbolos e cores de acordo com as dinâmicas e dados do meio.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A partir do referencial teórico, estruturamos os Procedimentos Metodológicos que consistiram a) Na identificação dos condicionantes na área de estudo; b) Na identificação das feições da área de estudo; c) Na definição dos meios fortemente instáveis, intergrades e estáveis; e na estruturação das classes, cores e símbolos da legenda, para então efetuar os mapeamentos finais utilizando a nova metodologia.

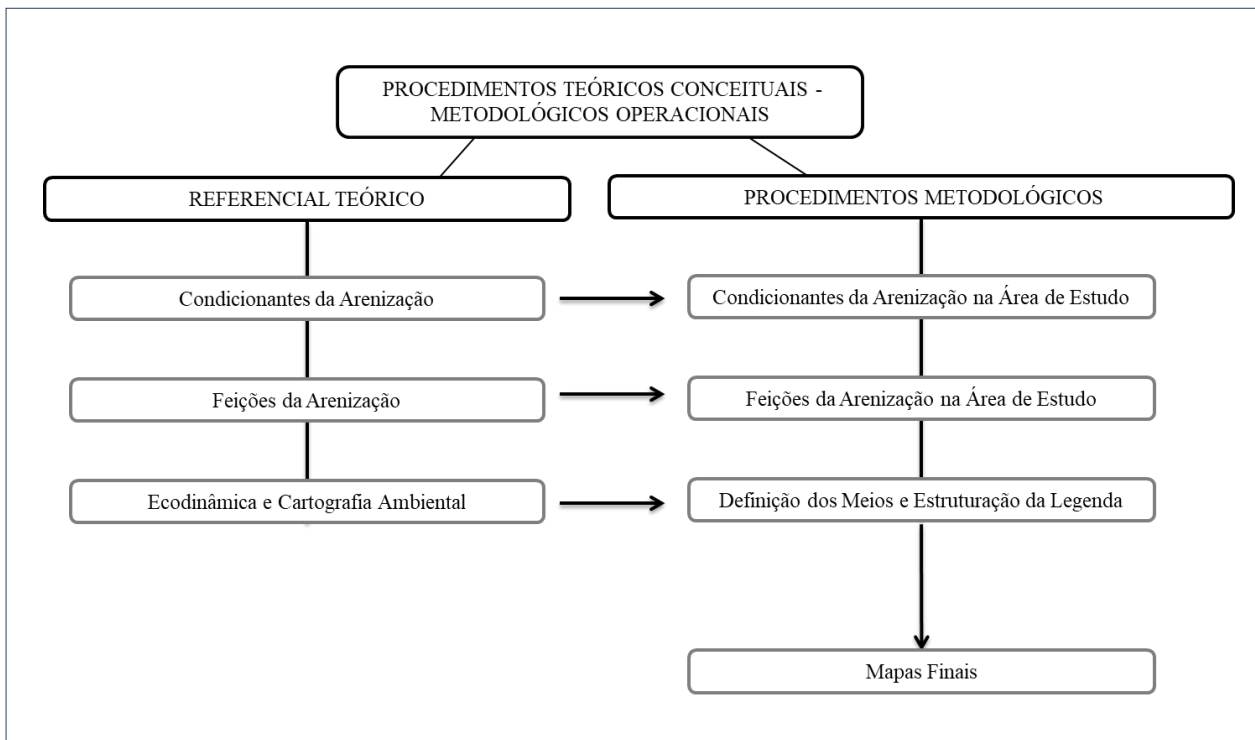


Figura 18 - Procedimentos Metodológicos estruturados a partir do referencial teórico.

#### 3.1 Levantamento dos condicionantes na área de estudo

Entendemos a arenização a partir de sua gênese baseada em um processo natural, que pode ser intensificado pelo inadequado manejo do uso da terra, associada a diversos condicionantes e fatores que foram elencados no referencial teórico. Sendo assim, para auxiliar na definição dos meios e na estruturação da legenda, foram identificados e levantados os seguintes condicionantes dentro da área de estudo: 1) Litológico; 2) Geomorfológico – Compartimentação Geomorfológica e Feições do tipo valão; 3) Pedológico; 4) Cobertura vegetal e uso e ocupação da terra.

Os mapas (litológico, de compartimentação geomorfológica e pedológico) foram aqueles efetuados por Oliveira (2015) em sua dissertação de mestrado, que elaborou uma análise morfopedológica na Bacia do Inhacundá, pois como ressaltado no referencial, a metodologia de mapeamento sintetiza os dados. A escolha da área de estudo foi efetuada justamente por esta já possuir todos os dados considerados importantes, levando em consideração o tempo para obtê-los em escalas compatíveis. Todos os mapas de Oliveira (2015) estão em escala 1:100.000.

A partir do mapa de litologia e do mapa geomorfológico, foi elaborado o mapa das áreas suscetíveis à arenização dentro da bacia hidrográfica do Inhacundá, para a posterior identificação dos valões e da elaboração do mapa de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra.

Foi utilizada a metodologia de Oliveira *et al.* (2008), que adotou três parâmetros para identificação de áreas suscetíveis: a) áreas de reduzida biomassa, com pouca densidade de vegetação herbácea e possibilidade de solo exposto, dependendo das condições climáticas e meteorológicas b) associação de áreas de reduzida biomassa e presença de areais e c) característica do substrato (arenitos Botucatu e Guará, mapeados por Oliveira, 2015). Além disso, os compartimentos que não possuíam feições da arenização foram considerados não suscetíveis, bem como parte das áreas da várzea identificadas como úmidas nas imagens de satélite e as áreas com vegetação de porte arbóreo das escarpas e dos cerros.

Preliminarmente, foi necessária a atualização do mapeamento dos areais dentro e a identificação das áreas de reduzida biomassa dentro da área de estudo. Em relação à atualização dos areais, foram adquiridos os arquivos vetoriais em formato *shapefile* do último mapeamento, (Sirangelo, 2011). Os arquivos vetoriais foram adicionados sobre imagens de satélite. Com o cruzamento das duas informações, foram feitas validações nos polígonos referentes aos limites dos areais, utilizando o *software* ArcGis 10.2.2 e sua ferramenta *Editor*. As mesmas imagens de satélite foram utilizadas para identificação das áreas com reduzida biomassa.

As imagens utilizadas, são provenientes da parceria entre a CNES/Astrium e sua rede de satélites Spot 7 e Spot 6 com a Google, para disponibilização das imagens no Google Maps e no Google Earth, possuindo resolução espacial de 1,5 metros. Para a área de estudo, as imagens mais recentes datam do ano de 2013 e foram georeferenciadas através do *software* SAS PLANET. A escolha<sup>11</sup> das imagens se deu em função de três variáveis: 1) Disponibilização gratuita das imagens; 2) Facilidade de acesso a imagens de alta resolução já georeferenciadas,

---

<sup>11</sup> Não foram consideradas imagens de diferentes épocas do ano, uma vez que, o georeferenciamento através do SAS Planet permite a utilização de imagens pré-determinadas pelo *software*.

através do *software* SAS Planet e 3) Ser a imagem mais recente disponibilizada pela CNES/Astrium no SAS Planet. De posse da atualização dos areais e das áreas com reduzida biomassa, foram elaboradas as áreas suscetíveis a arenização dentro da BH do arroio Inhacundá.

As áreas com a existência de valões foram identificadas a partir da metodologia de Evers e Guasselli (2008), que associa os areais com as paleodrenagens/valões utilizando as seguintes bases 1) Imagens do SRTM – 29S555 com dados de curvatura horizontal do terreno do projeto Topodata - INPE; 2) Imagens SRTM – 29S555 com dados da Forma do Terreno (curvaturas horizontal e vertical) do projeto Topodata<sup>12</sup> – INPE. As imagens foram processadas “gerando dados de curvatura horizontal do terreno, destacando a quantidade de paleodrenagens/valões e, principalmente, a sua possível relação com os processos de degradação do solo, como a arenização” Guasselli *et al.* (2012, p. 232).

Para a identificação dos valões, é necessária a identificação das formas do terreno, que é um produto adquirido e disponibilizado pelo projeto Topodata. As formas de terreno são produtos da união entre a curvatura horizontal e vertical divididas em três categorias: convergentes, divergentes e planas que por sua vez são divididas em nove classes (Figura 19).

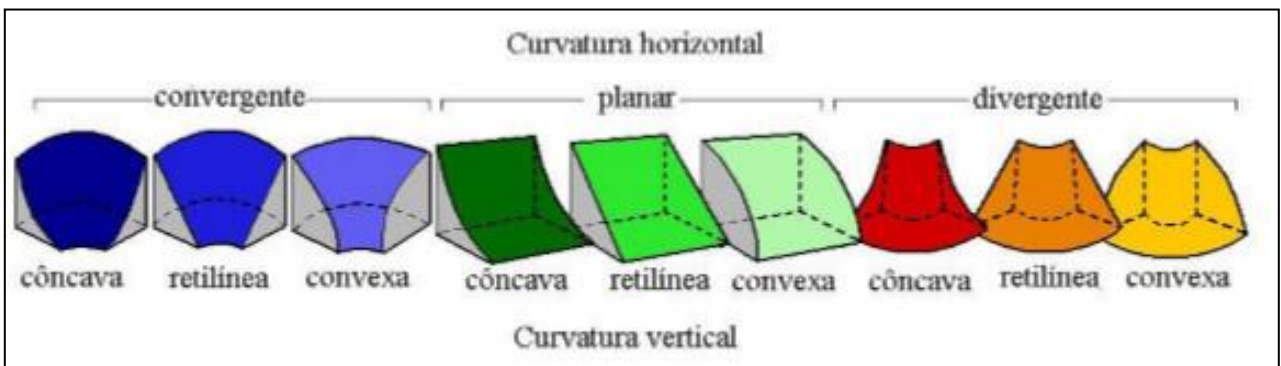


Figura 19 - Formas de Terreno. Fonte: Valeriano (2008).

Segundo Guasselli *et al.* (2012) a curvatura horizontal divergente está associada aos locais de difícil concentração de água, enquanto convergentes associadas a lagos, cursos d’água e cabeceiras de drenagem, que podem ser considerados, como possíveis valões. Para o mapeamento foi efetuado uma técnica de realce com base no desvio padrão do histograma da imagem em imagem de níveis de cinza. Os pixels mais escuros se referem a curvatura convergente e os mais claros a curvatura divergente.

<sup>12</sup> As imagens SRTM disponibilizadas pelo projeto Topodata possuem resolução espacial de 30 metros. Valeriano (2008).

As formas lineares contínuas com alto índice de curvatura convergente deverão ser cruzadas com o mapeamento dos cursos d'água, pois as formas lineares podem corresponder aos talvegues. Os cursos d'água foram identificados a partir da extração da rede de drenagem da folha SRTM SH-21-X-D utilizando o *software* ArcGis 10.2.2<sup>13</sup>, com posterior ajustamento sobre as imagens de satélite do CNES/Astrium. Após o cruzamento, as áreas não associadas aos cursos d'água foram interpretadas como valões. Por último, foi efetuada uma saída de campo para validação dos resultados.

Para o mapeamento de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra, utilizamos as imagens georreferenciadas para interpretação visual em escala de 1:10.000, além do trabalho de campo. As imagens foram adicionadas no *software* ArcGis 10.3, em conjunto com o arquivo *shapefile* dos areas atualizados. Posteriormente foram criados novos arquivos vetoriais em formato *shapefile* na extensão ArcCatalog 10.3. Os arquivos vetoriais dizem respeito as diferentes classes de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra, sendo vetorizadas nas imagens as classes da Figura 20.

---

<sup>13</sup> Para extração da drenagem foram utilizadas as ferramentas de análise espacial do Hydrology com o seguinte caminho de execução dos comandos: *Fill - Flow Direction - Flow Accumulation - Stream Order - Conditional >10 - Raster to Feature*.

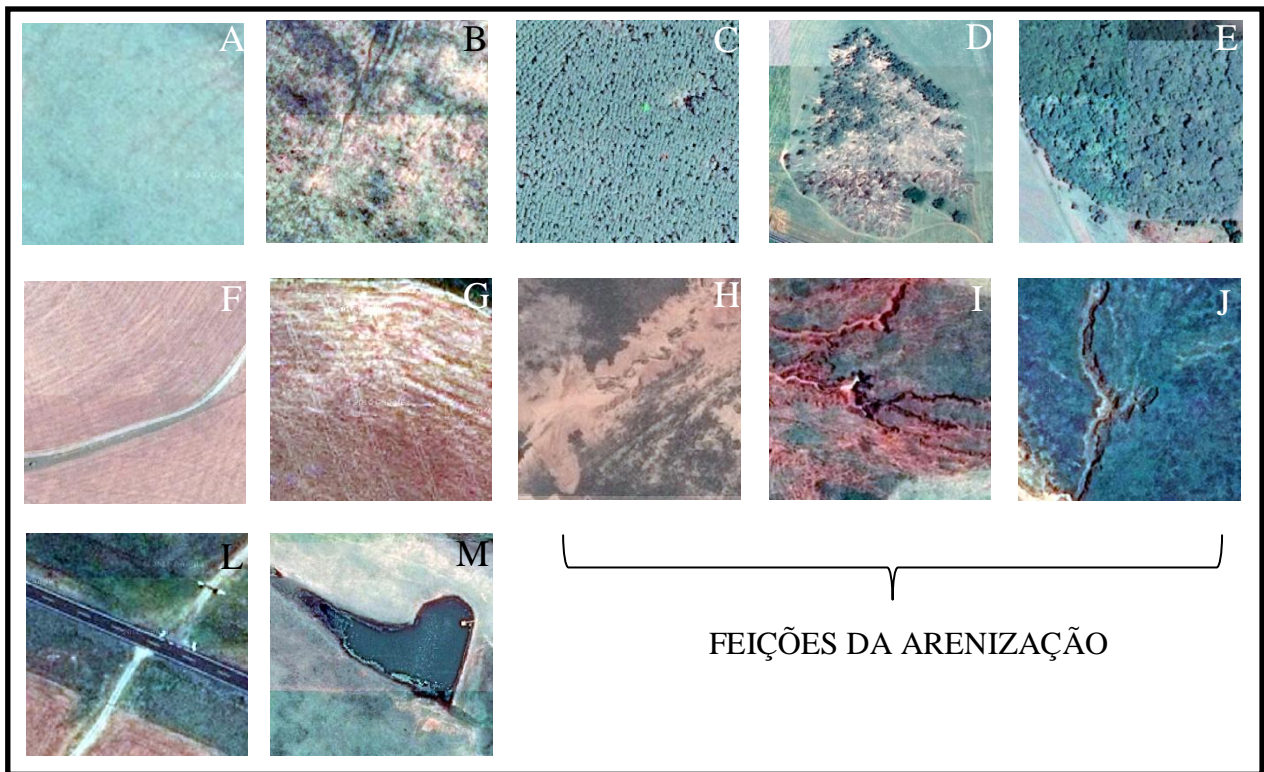


Figura 20 - (A) Campo, (B) Campo com reduzida biomassa, (C) Eucalipto, (D) Eucalipto por sobre areais, (E) Vegetação Arbórea, (F) Lavoura, (G) Lavoura sobre área suscetível, (H) Areal, (I) Ravina, (J) Voçorocas, (L) Estradas e (M) Corpo D'água. Ilustrações das classes de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra através de imagens de alta resolução, disponibilizadas pelo CNES/Astrium com resolução espacial de 1,5 metros. Elaborado pelo autor.

Cabe ressaltar que as ravinas, voçorocas e areais, nesse mapeamento, foram aglomerados na mesma classe: feições da arenização. Essa classe, em função de ser uma dinâmica do ambiente com degradação do solo, foi mapeada com a cor vermelha. A escolha das cores para cada classe seguiu a padronização da legenda de Journaux (1985), com a arenização em vermelho; as lavouras e o eucalipto em marrom, pois são espaços cultivados; o campo e mata em verde, pois são espaços verdes variando o gradiente da cor de acordo com o estrato arbóreo; as estradas e sedes de propriedades em laranja, pois são espaços construídos e os corpos d'água em azul.

As classes de campo com reduzida biomassa, lavoura sobre arenização e eucalipto sobre arenização, tiveram as mesmas cores do seu uso, porém com clareação da tonalidade, em função de possuírem menor biomassa. As cores e sua relação com cada classe foi representada na Figura 21. O mapa final de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra foi elaborado em escala 1:100.000, visando a compatibilidade com os demais mapas.

Legenda Geral Bacia Hidrográfica do Inhacundá			
Dados do Ambiente I			
<b>1. Toponímia e Topografia (Cinza)</b>			
<b>Argentina</b>	Nome de divisão política		Nome de Rodovia Federal
<b>Rio</b>	Nome de curso d'água		Nome de Rodovia Estadual
<b>2. Hidrografia (Azul)</b>			
	Curso d'água secundário		Bacia Hidrográfica
	Curso d'água principal		Corpo D'água
<b>4. Espaços Construídos (Laranja)</b>			
	Rodovia Estadual		Rodovia Estadual Coincidente
	Rodovia Municipal		Sede de Propriedade
<b>5. Espaços Cultivados (Marrom)</b>			
	Lavoura		Silvicultura
	Lavoura sobre arenização		Silvicultura sobre arenização
<b>6. Espaços Verdes (Verde)</b>			
	Campo		Campo de reduzida biomassa
	Mata		
<b>7. Degradação do Solo (Vermelho)</b>			
<b>Dinâmicas do Ambiente I</b>			
	Arenização		

Figura 21- Legenda Geral da Bacia do Inhacundá. Elaborado pelo autor a partir de Journaux (1985).

### 3.2 Levantamento das feições da área de estudo.

Durante esta etapa foram mapeadas as feições elencadas no referencial teórico, como sendo as seguintes: degraus de abatimento e sulcos, ravinas, coalescência de ravinas, voçorocas e areais. A interpretação visual das feições foi efetuada em escala 1:10.000 e o mapa final foi elaborado em escala 1:100.000, visando a compatibilização com os demais mapas.

### 3.2.1 Mapeamento de Degraus de Abatimento e Sulcos

Os degraus de abatimento e sulcos não podem ser facilmente individualizados a partir de imagens de satélite, sendo assim, a sua identificação e o seu mapeamento se deu a partir do trabalho de campo. As feições foram localizadas a partir da coleta de pontos com a utilização do GPS Garmin que possui precisão de 5 metros, posteriormente os pontos foram adicionados no ArcGis 10.2.2 para conversão dos dados para o formato *shapefile*, permitindo a adição desses dados em conjunto com as demais feições.

### 3.2.2 Mapeamento das demais feições

Conforme levantado no referencial teórico foram mapeadas as cinco feições restantes, sendo elas as seguintes: 1) Ravina; 2) Coalescência de Ravinas; 3) Voçoroca; 4) Leques de Dejeção e 5) Areas (Figura 22). O mapeamento foi efetuado através da utilização das imagens de satélite anteriormente citadas e dos polígonos de arenização gerados durante o mapa de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra. Os polígonos da arenização foram adicionados no ArcGis e editados de acordo com a feição específica interpretada visualmente.

As áreas com ravinamento foram divididas em ravinas individuais e coalescência de ravinas. As voçorocas foram identificadas pela sua conexão ou proximidade com a rede de drenagem. Para auxiliar na vetorização das voçorocas, foi utilizado o arquivo de hidrografia em escala 1:50.000, decorrente da vetorização das cartas topográficas do exército, além da extração da rede hidrográfica utilizada para o mapeamento dos valões. Os arquivos *shapefile* das cartas topográficas são disponibilizados gratuitamente pelo Laboratório de Geoprocessamento – UFRGS.



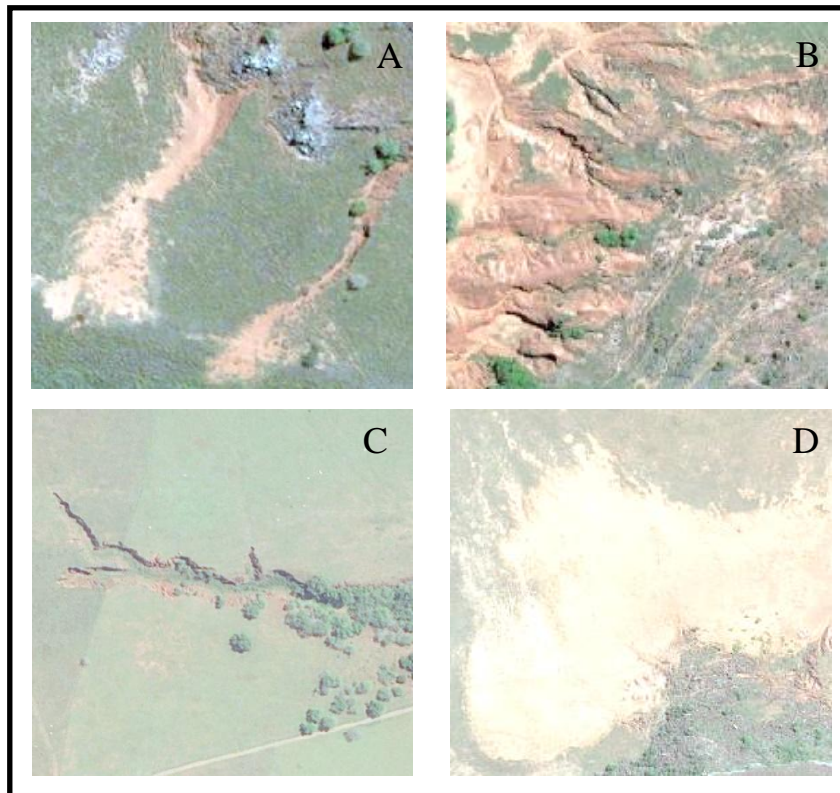


Figura 22 - Ilustrações das feições identificadas através de imagens CNES/Astrium do ano de 2013. Elaborado pelo autor. (A) Ravina com leques de dejeção associados; (B) Coalescência de Ravinas, (C) Voçoroca (D) Areal.

### 3.3 Definição dos meios, estruturação da legenda e mapeamento final

A definição dos meios e sua posterior caracterização se enquadram na busca pelo entendimento do processo de arenização, desde sua evolução até a sua consolidação ou não, com o auxílio tanto da geomorfologia quanto de outras disciplinas conexas. Eles foram definidos e descritos, em consonância com a metodologia de Tricart (1977), que estabelece os meios **fortemente instáveis**, **intergrades** e **estáveis** e estão baseados na evolução do processo e suas feições, levando em conta que a arenização não é um processo linear, mas sim fruto de uma complexidade de relações entre os condicionantes e os agentes hídrico e eólico, que sobre eles atuam.

As bases da Ecodinâmica foram aplicadas na área de estudo, a partir da relação feições características x morfogênese/pedogênese, baseada nas cinco divisões da evolução das feições elencadas no referencial teórico na Figura 16. Com a evolução do processo, mudam-se também as dinâmicas de pedogênese e morfogênese, sendo possível a definição dos meios.

Para facilitar o mapeamento, os meios que possuíam mais de uma feição foram subdivididos e então foram criadas classes para o mapeamento. As classes foram caracterizadas e para isso, foram relacionados os quadros sínteses dos condicionantes da arenização, dos agentes hídrico e eólico, gerando as feições características dentro de cada meio.

A estruturação da legenda utilizou a Cartografia Ambiental, pois esta possibilita identificar elementos indicadores das principais alterações da natureza e da sociedade, como a degradação das feições do meio e dos processos erosivos, através do uso de cores em uma tipologia padrão.

A evolução do processo é entendida a partir da evolução das feições características, tanto em sua gênese natural, quanto a partir de uma gênese social. No referencial teórico, foram identificadas quatro feições, além das áreas suscetíveis, sendo assim, a representação cartográfica do estágio em que se encontra o processo, foi feita a partir do escurecimento da cor, iniciando com um tom mais claro, terminando com um tom mais escuro no fim do processo. Segundo Journaux (1985) para as dinâmicas do meio e da superfície, deve ser utilizada a cor vermelha. Sendo assim foi utilizada a palheta de cores do *software ArcGis 10.2.2* que traz os tons da cor vermelha, iniciando com o quartzo rosa sendo o tom mais claro e o vermelho dark umber a cor mais escura, conforme Figura 23.



Figura 23 - Palheta de tons do ArcGis 10.2.2 para a cor vermelha. Elaborado pelo autor.

Além disso, o brilho da cor foi determinado a partir da intensidade de atuação dos agentes, ou seja, a classe com mais brilho é a que possui maior atuação. Para delimitar a intensidade dos agentes hídrico e eólico, foram atribuídos valores de 0 a 1, de acordo com o tipo de atuação de cada agente. Considerando que em nenhum momento os agentes param de atuar, o valor de 0 é atribuído a forma com que o agente retrabalha com menor intensidade, enquanto o valor de 1, diz respeito a forma com que o agente possui mais poder de retrabalhamento. As formas e seu poder de atuação foram relacionados no referencial teórico, possibilitando a construção da Tabela 3.

Tabela 3 - Agente Hídrico e Eólico, suas formas de atuação e os valores de intensidade. Elaborado pelo autor.

<b>Agente Hídrico</b>	<b>Agente Eólico</b>	<b>Parâmetro</b>
Escoamento Difuso	Imperceptível	0
Escoamento Laminar	Deslocamento por Rastejo, Deposição em Queda Livre e Deposição por Cavalgamento.	0,5
Escoamento Concentrado	Deflação	1

Definidas as classes e as cores correlatas, foi criada uma taxonomia de símbolos de acordo com a relação entre os condicionantes. A partir disto, foram mapeadas as classes e os símbolos, gerando os mapas finais elaborados em escala 1:100.000 e em uma escala mais detalhada de 1:10.000. O primeiro mapa foi elaborado visando compatibilidade entre a escala dos mapeamentos dos condicionantes. O segundo mapa foi elaborado em local que continha todas as feições e os condicionantes e possuía fácil acesso.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados estão baseados no levantamento e mapeamento dos condicionantes e das feições da arenização dentro da área de estudo. Posteriormente foram definidos e caracterizados os meios e suas respectivas classes, além da estruturação da legenda para o mapeamento final. Por último foram construídos os dois mapas finais e realizadas análises acerca deles.

### **4.1 Condicionantes da área de estudo**

Nessa etapa do trabalho foram descritos os condicionantes da área de estudo, baseados em mapas de litologia, geomorfologia e pedologia, com a construção do mapa das áreas suscetíveis à arenização na bacia, o mapeamento dos valões, da cobertura vegetal e do uso e da ocupação da terra, por sobre essa delimitação. A descrição desses parâmetros e sua relação com a problemática da área de estudo é fundamental para que ocorra o estabelecimento da relação entre os meios e as suas classes correspondentes. Sendo assim, a área de estudo escolhida para aplicação da Cartografia Ambiental foi a Bacia do Arroio Inhacundá, localizada no município de São Francisco de Assis. Para esta bacia, Oliveira (2015) elaborou o mapa litológico, pedológico e de compartimentação geomorfológica.

A bacia hidrográfica do arroio Inhacundá é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Ibicuí e drena em seu curso de 51 km cerca de 360 km<sup>2</sup>. Possui as suas nascentes no Planalto Meridional, em uma altimetria de 400 metros, desaguando no rio Ibicuí em uma altimetria de 80 metros na Depressão Periférica. Além do arroio Inhacundá, o arroio Caraí-Passos é um importante afluente e está localizado na porção oeste da bacia, desaguando na margem direita do Inhacundá. A área de estudo pode ser visualizada na Figura 24.

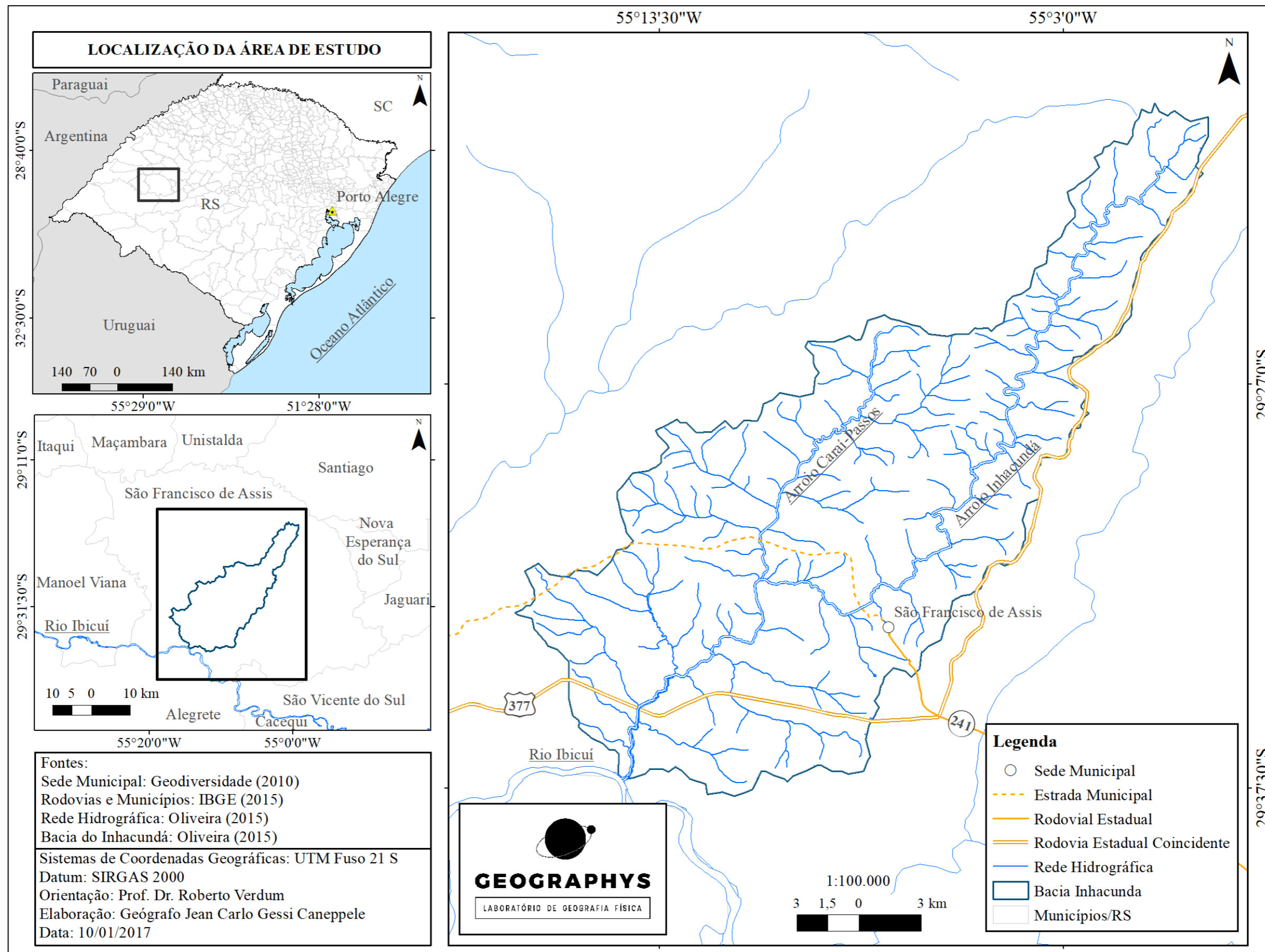


Figura 24 - Mapa de Localização da Área de Estudo. Elaborado pelo autor.

#### 4.1.1 Condicionante Litológico

Na BH do Inhacundá são encontradas quatro diferentes litologias: formação Guará, formação Botucatu, formação Serra Geral e depósitos aluviais quaternários, além disso, há a indicação de formações superficiais recobrimdo o substrato rochoso, porém estas ainda não foram mapeadas. Como a formação Serra Geral e os depósitos aluviais não são condicionantes, não serão considerados no mapeamento final.

As formações Botucatu e Guará são o substrato rochoso das áreas de ocorrência dos areais. Guasselli *et al.* (2010) identificaram que 98,52% dos areais mapeados no sudoeste do Rio Grande do Sul estão vinculados as duas formações ou sobre os depósitos aluviais em contato com essas formações. Pode-se identificar na Figura 25 que 64,56 % da área total da bacia está relacionada ao substrato rochoso condicionante do processo de arenização.

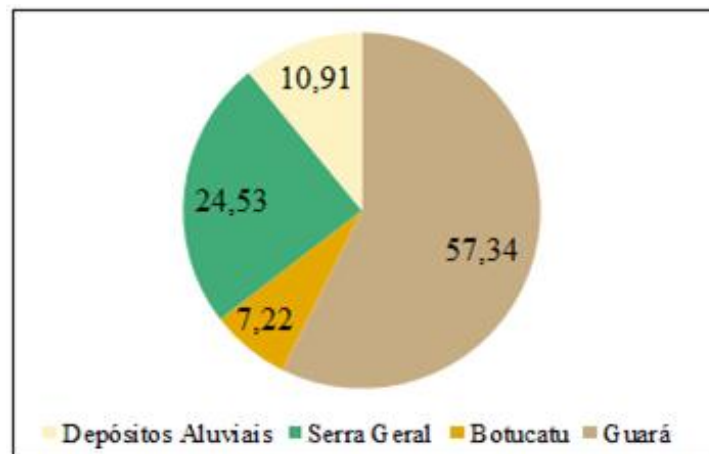


Figura 25 – Porcentagem da área total das formações e depósitos da Bacia do Inhacundá. Elaborado pelo autor a partir de Oliveira (2015)

Os arenitos das formações Guará e Botucatu estão localizados na porção central e sul da bacia, com os arenitos da formação Guará em cotas altimétricas que variam entre 100 metros nas áreas mais próximas ao rio Ibicuí e 200 metros nas proximidades com a formação Botucatu. Quanto à formação Botucatu, a mesma está situada entre a formação Guará na base e a formação Serra Geral no topo. Para a área de estudo, a sucessão de derrames de lava durante o processo que originou a formação Serra Geral, acabou por dotar os arenitos da formação Botucatu com uma resistência aos processos erosivos, recozendo-os. Essa condição pode ser observada na forma de um patamar arenítico-basáltico ou nas escarpas do Planalto em cotas altimétricas entre 200 e 250 metros. (OLIVEIRA, 2015).

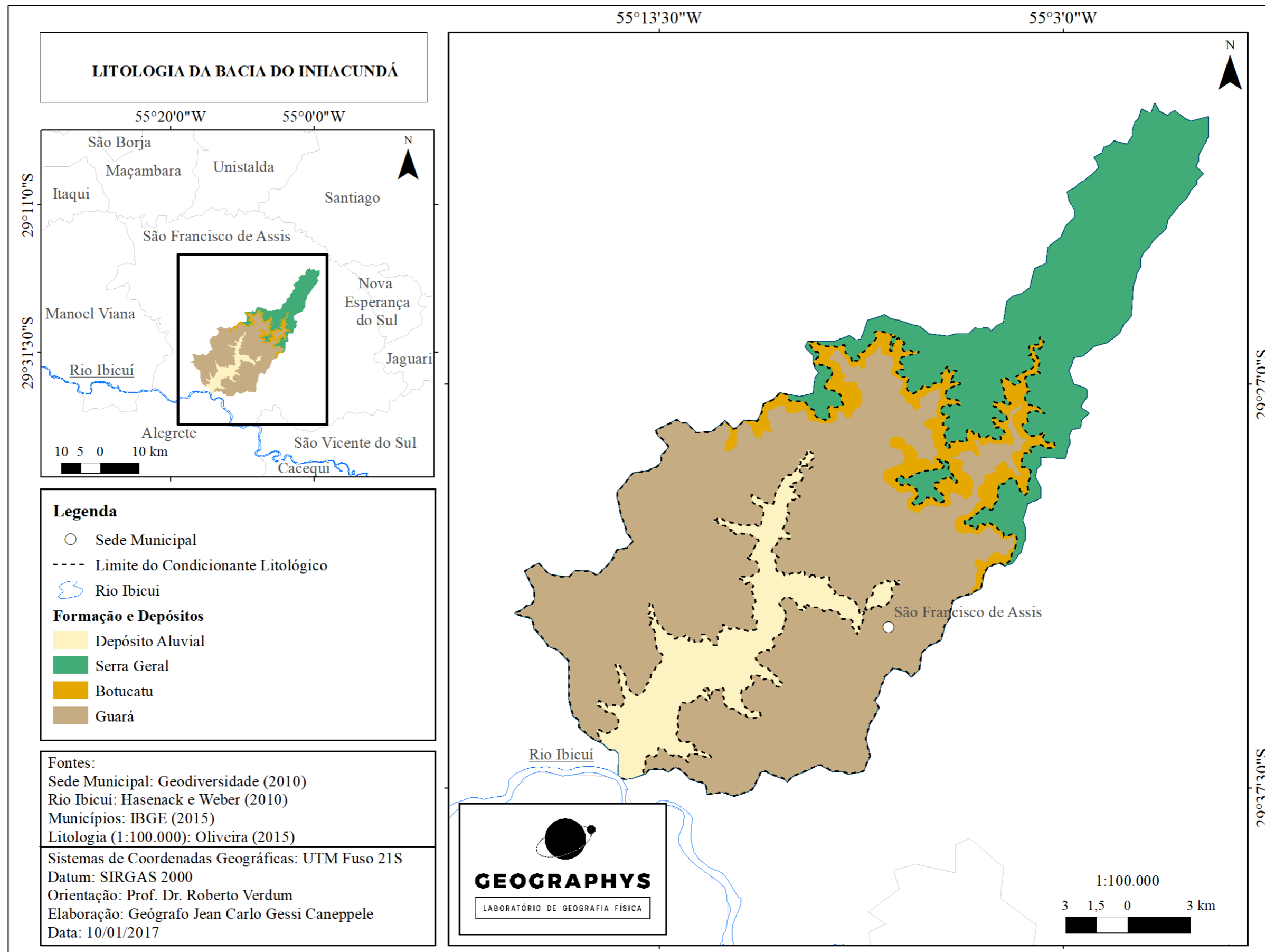


Figura 26 – Mapa de Litologia da Bacia do Inhacundá. Elaborado pelo autor.

#### 4.1.2 Condicionante Geomorfológico

A área de estudo está localizada no contato entre dois compartimentos geomorfológicos regionais: A Escarpa erosiva do Planalto Meridional com relevo acidentado e dissecado e a Depressão Periférica Central, com a presença de coxilhas, morros testemunhos (cerros) e formas mais suaves (planícies aluviais) nas proximidades do Rio Ibicuí. OLIVEIRA (2015).

Segundo Oliveira (2015) nas áreas próximas à escarpa do Planalto Meridional ocorre a presença de areais nas encostas dos cerros e, também, a jusante das ravinas na forma de leques de dejeção. Nas áreas mais suaves, ocorre a presença de areais em média vertente das coxilhas, com declividade de 8 a 20% e na proximidade com as várzeas, devido à mudança do solo e de declividade entre coxilha e várzea. Em relação aos areais nas coxilhas, os processos erosivos podem se localizar, a partir da expansão deles, pelo interior dos anfiteatros que constituem as cabeceiras de drenagem, ou então se estendem recobrimdo o topo da vertente. (GUASSELLI, 2012, p. 115).

Conforme Suertegaray (1989), a Bacia Hidrográfica do Arroio Inhacundá possui geomorfologia constituída de quatro compartimentos assim identificados: 1) Encosta do planalto, com basalto da Formação Serra Geral e com presença de Arenitos Silicificados; 2) Morros testemunhos capeados de Basalto, com a presença de arenitos nas camadas inferiores; 3) Áreas de coxilhas suaves, originários de depósitos areníticos da Formação Botucatu e da Formação Rosário do Sul (leia-se Formação Guará), recobertos por áreas de sedimentos de origem Pleistocênica e Holocênica e depósitos aluviais; 4) A planície aluvial, correspondente às feições de fundo chato, na qual há importantes plantações de arroz. Segundo Suertegaray et al (1989) na *cuesta* de São Francisco de Assis, o trabalho de entalhamento do Arroio Inhacundá, originou vales festonados e uma escarpa com *front* no sentido SE-NW.

Através da Geomorfologia Tripartite de Ab'Saber (1969), Oliveira (2015) efetuou uma outra compartimentação geomorfológica da bacia do Inhacundá. A bacia foi dividida pelo autor em nove compartimentos geomorfológicos: 1) Planalto; 2) Vale encaixado; 3) Encostas; 4) Patamar arenítico-basáltico; 5) Morro Testemunho; 6) Morrote; 7) Rampa arenosa; 8) Coxilha e 9) Várzea. Posteriormente, o autor correlacionou os compartimentos geomorfológicos com as feições erosivas do processo de arenização encontrando-as em apenas quatro dos compartimentos, sendo os seguintes: 1) Patamar arenítico-basáltico; 2) Rampa arenosa; 3) Coxilha; 4) Várzea. Destes quatro, o Patamar arenítico-basáltico possui as feições da arenização localizadas no contato com outros compartimentos, estando estritamente



localizadas, sendo assim foi desconsiderado como condicionante. Portanto, foram considerados condicionantes da arenização os compartimentos de Rampa arenosa, Coxilha e Várzea. Cabe ressaltar, que nem toda área de Várzea se constitui em condicionante da arenização, uma vez que, as áreas úmidas e as planícies de inundação dentro da Várzea, não possuem os demais condicionantes, bem como não são encontradas as feições da arenização. O que ocorre principalmente, são feições da arenização (voçorocas) no contato entre Várzea - Coxilha ou Rampa-Várzea. Pode-se identificar na Figura 27 a porcentagem de cada compartimento geomorfológico, com os três compartimentos condicionantes somando em conjunto cerca de 66% da área total da bacia.

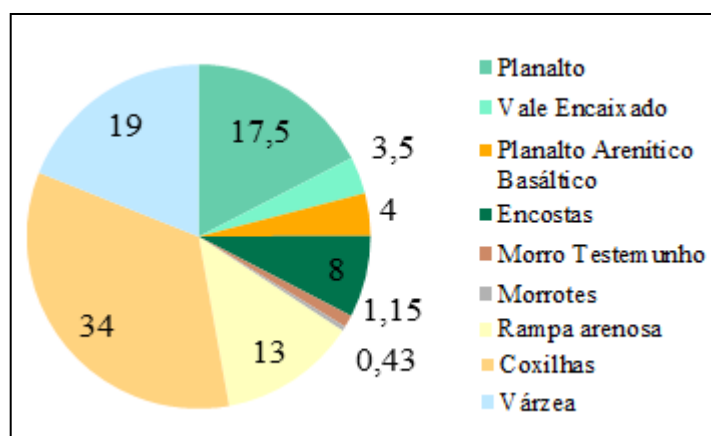


Figura 27 - Porcentagem da área total dos compartimentos geomorfológicos da Bacia do Inhacundá. Elaborado pelo autor, a partir de Oliveira (2015)

Para Oliveira a **Rampa arenosa** (Figura 28) está associada aos cerros e ao patamar, configurando-se em um terreno ondulado (8%-20% de declividade). Sua altitude varia de acordo com o compartimento ao qual ela está associada, bem como, sua composição sedimentológica possui a contribuição de todas as formações rochosas da região identificadas por (Oliveira 2011), (Oliveira e Suertegaray 2012) e (Oliveira e Suertegaray 2014). Nesse compartimento ocorre a presença de ravinas, voçorocas e areais. Segundo Oliveira (2015) as ravinas estão associadas ao contato com as encostas dos morros testemunhos e as voçorocas ao final do compartimento, na conexão com a várzea. Já os areais são comuns nas áreas a jusante das ravinas, evoluindo a partir dos depósitos em leque ou da coalescência dos ravinamentos.



Figura 28 - Rampa arenosa ancorada nos morros testemunhos, com a presença de areais, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.

O compartimento geomorfológico de **Coxilhas** é o mais presente na bacia. Com declividade suave ondulada (3% a 8%) e ondulada (8%-20%) conforme se aproxima das várzeas. Encontra-se em cotas altimétricas que variam de 100 a 180 metros. “O compartimento de coxilhas se dispõe nos interflúvios entre os compartimentos de várzea e rampas arenosas” (OLIVEIRA, 2015, p. 95). É o compartimento mais afetado pelos processos erosivos da arenização, com as ravinas e voçorocas associadas às cabeceiras de drenagem, enquanto os areais não possuem tanta expressividade.



Figura 29 - Coxilhas em São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.

O último compartimento com a presença da arenização é o de **Várzea**, sendo o compartimento com as menores declividades (0-3%) em altitudes que variam de 72 a 100 metros nas áreas mais próximas ao Ibicuí. Segundo (Oliveira, 2015) é o compartimento mais recente, consistindo em uma área de agradação formada por depósitos quaternários da rede de drenagem que se instalou. Nesse compartimento, ocorrem ravinas e voçorocas com seu início nas rampas ou coxilhas, adentrando nas áreas de várzea.



Figura 30 – Várzea do Arroio Inhacundá. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.

Além dos três compartimentos geomorfológicos, as áreas com a presença de paleodrenagens/valões foram consideradas condicionantes geomorfológicas, porém a sua delimitação e identificação está relacionada com as áreas suscetíveis à arenização dentro da bacia do Inhacundá. O mapa de condicionante geomorfológico (Figura 31) mostra todos os compartimentos, com destaque para os condicionantes que estão localizados na porção Sul da bacia hidrográfica.

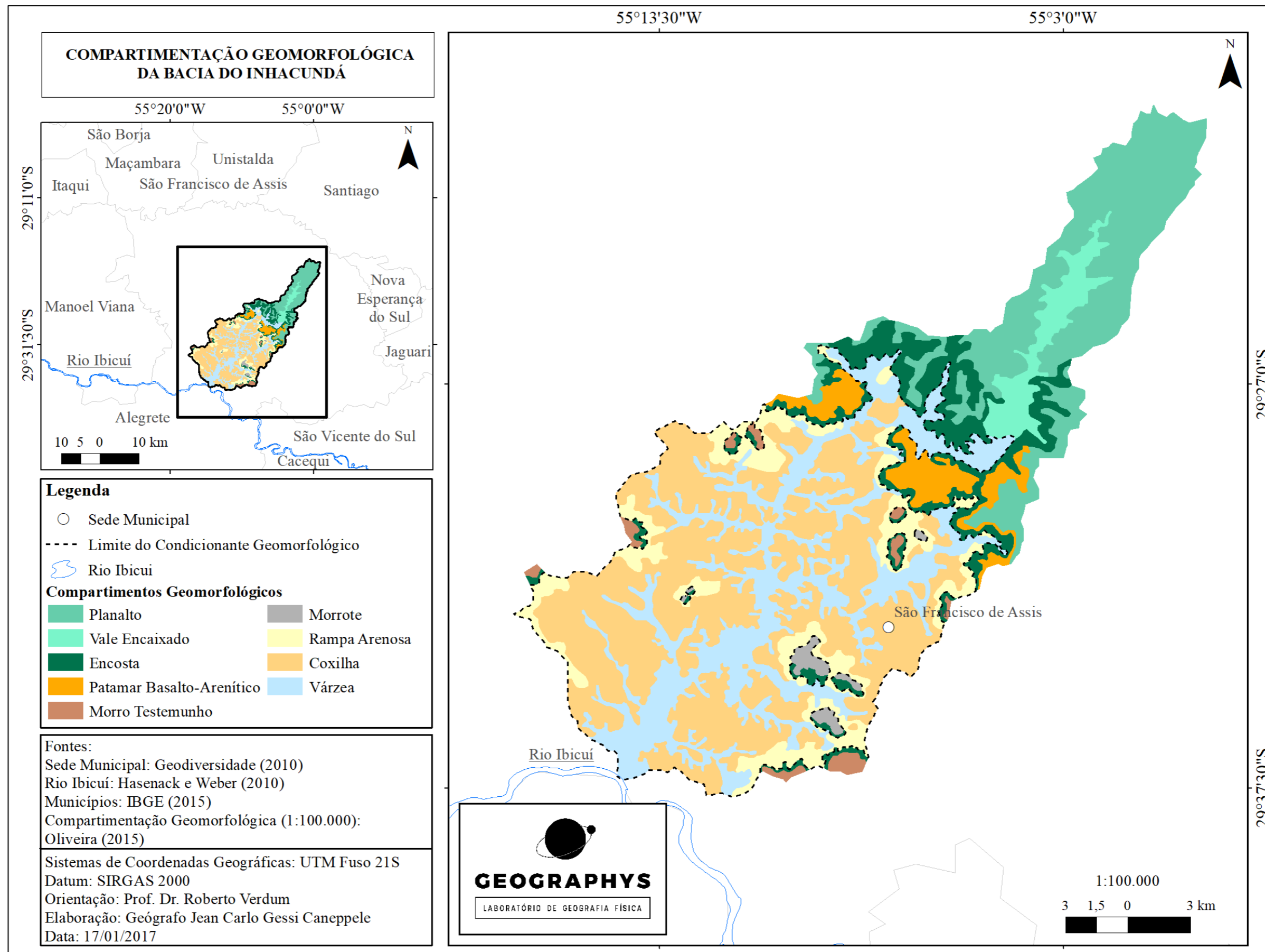


Figura 31 – Mapa de Compartimentação e Condicionante Geomorfológico da bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor.

A partir do mapa de litologia e do mapa geomorfológico, foi elaborado o mapa das áreas suscetíveis à arenização dentro da bacia hidrográfica do Inhacundá, para a posterior identificação dos valões e da elaboração do mapa de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra. Conforme ressaltado no referencial teórico as áreas suscetíveis foram identificadas a partir da metodologia de Oliveira *et al.* (2008), além da relação com os condicionantes da arenização.

As áreas que possuem a formação Serra Geral foram consideradas como áreas não suscetíveis, sendo assim, o setor norte da bacia, onde as nascentes estão localizadas, não foi considerado como área suscetível, bem como os depósitos aluviais quaternários relacionados ao trecho final do Arroio Inhacundá. Cabe ressaltar que a área urbana da sede municipal de São Francisco de Assis, foi considerada como área não suscetível, assim como as áreas úmidas identificadas a partir da imagem de satélite, que estão no compartimento da várzea.

Em relação à geomorfologia, os seis compartimentos que não possuíam feições da arenização, não foram considerados como áreas suscetíveis e são eles os seguintes: Planalto, Vale Encaixado, e Encostas. Estes estão relacionados com a litologia da formação Serra Geral e se localizam no setor norte da bacia. O Planalto Arenítico-Basáltico, os Morros Testemunho e Morrotes estão relacionados às litologias da formação Botucatu e Serra Geral, estando localizados na parte central e nos limites da bacia.

As áreas suscetíveis dentro da bacia estão relacionadas às formações Botucatu e Guará, aos compartimentos geomorfológicos de Rampa arenosa, Coxilha e parte da Várzea, as de reduzida biomassa e as de reduzida biomassa associadas aos areais. Na Figura 32 estão mapeadas as áreas suscetíveis à arenização dentro da bacia do Inhacundá. O mapeamento foi efetuado em escala 1:100.000, estando compatível com os demais mapas de condicionante da arenização. As áreas suscetíveis correspondem a cerca de 164 km<sup>2</sup>, equivalente a 45% da área total da bacia, reiterando a importância de um correto manejo dessas áreas.

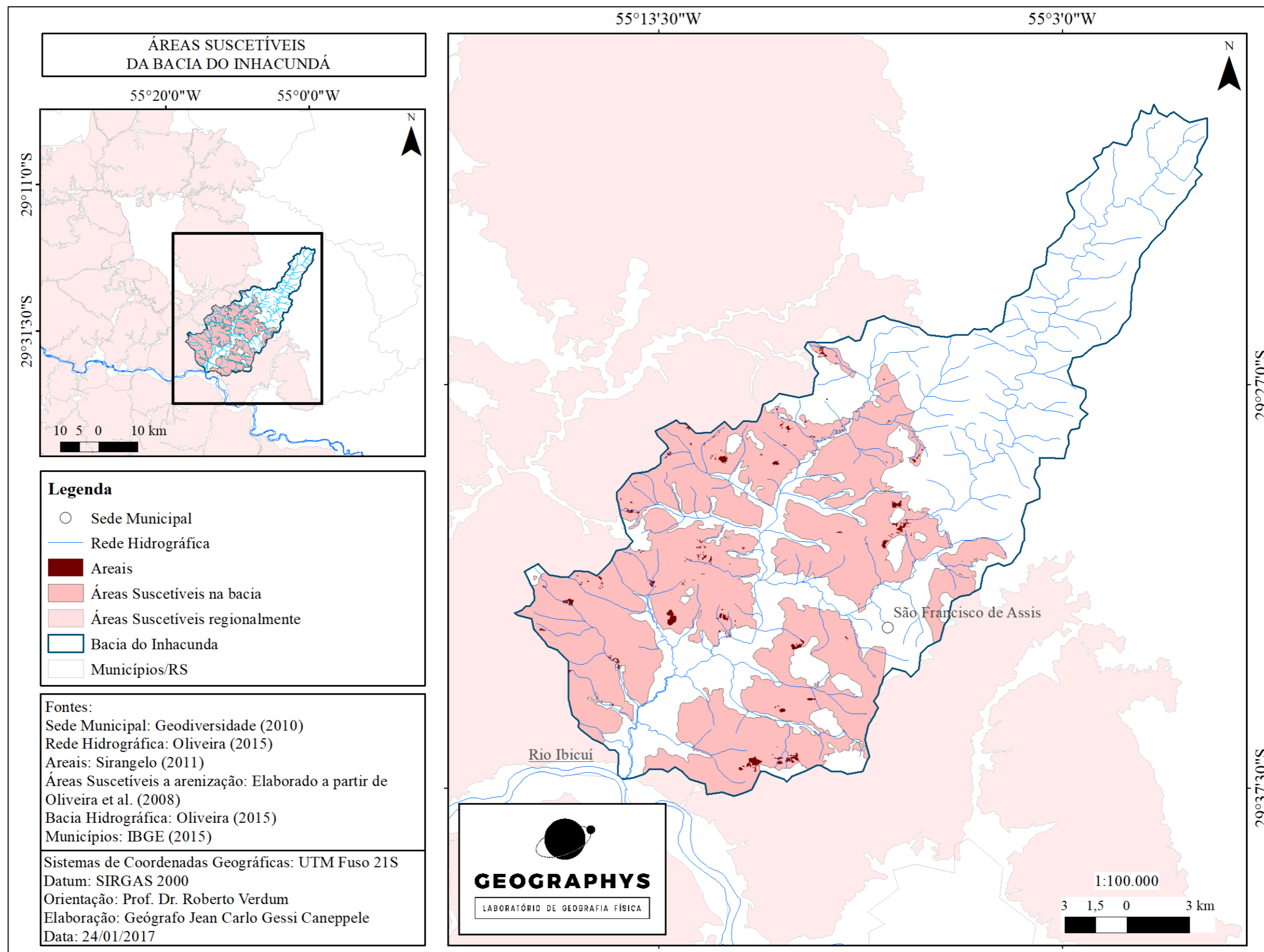


Figura 32 – Mapa das áreas suscetíveis a arenização da bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor.

Nas áreas suscetíveis à arenização, foram identificados e mapeados 122 valões/paleodrenagens. Os valões estão localizados predominantemente por sobre as coxilhas (84) o que corresponde a 68% do total, há também valões presentes na conexão entre coxilha e rampa (11) – 9% e na conexão entre coxilha e várzea (11) – 9%. O restante está localizado sobre o compartimento de rampa arenosa (10) – 8%, na conexão entre rampa e a várzea (4) – 3% e na várzea (2) – 1,5%, esses valores podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 - Relação entre localização dos valões nos compartimentos geomorfológicos, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor.

<b>Número de Valões</b>	<b>Compartimento Geomorfológico</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
84	Coxilhas	69
11	Conexão Coxilha-Rampa	9,5
11	Conexão Coxilha-Várzea	9,5
10	Rampa	8,5
4	Conexão Rampa-Várzea	3
2	Várzea	1,5
122		100

Foram mapeados 122 valões, dos quais 48 estão em áreas com focos de arenização, identificados a partir do cruzamento entre os valões e as imagens de satélite. Evidencia-se assim, a questão de reativação de paleodrenagens gerando erosão, principalmente pelo agente hídrico. Além disso, cria-se a necessidade de um correto manejo, que impeça o rompimento dos mesmos.

Na Figura 33 têm-se em destaque os patamares dos cerros e o trajeto do valão mapeado. Pode-se visualizar na imagem de satélite, focos de arenização associados ao valão, além do fato de que o mesmo pode se conectar à voçoroca que está localizada em uma área mais deprimida. O mapa de valões foi elaborado em escala 1:100.000, visando a manutenção da escala de acordo com os outros condicionantes. Os valões da bacia do Inhacundá podem ser visualizados no mapa da Figura 34.

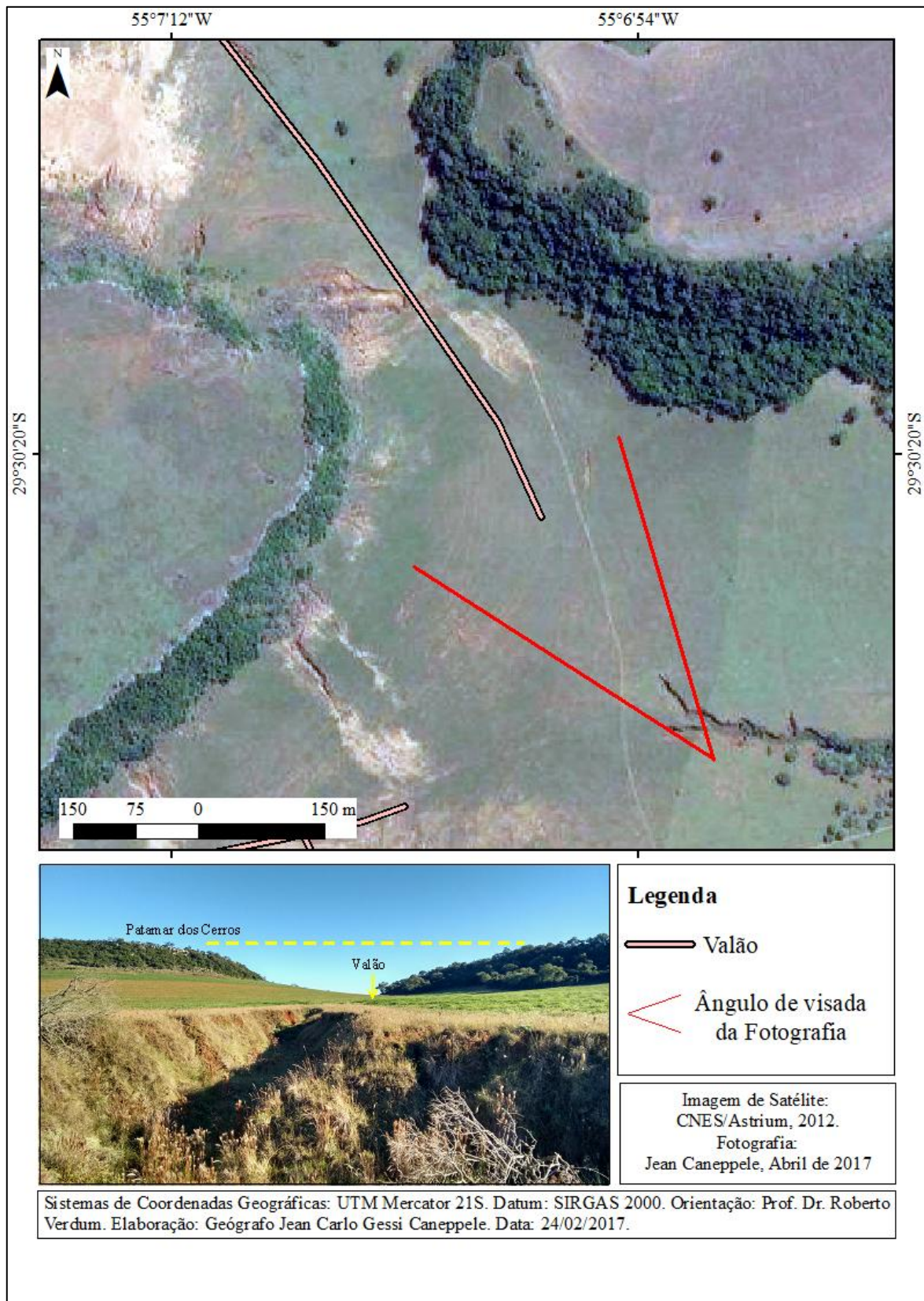


Figura 33 - Valão localizado entre o patamar de cerros e associado ao processo de arenização, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Layout da Figura baseado em Evers (2010).



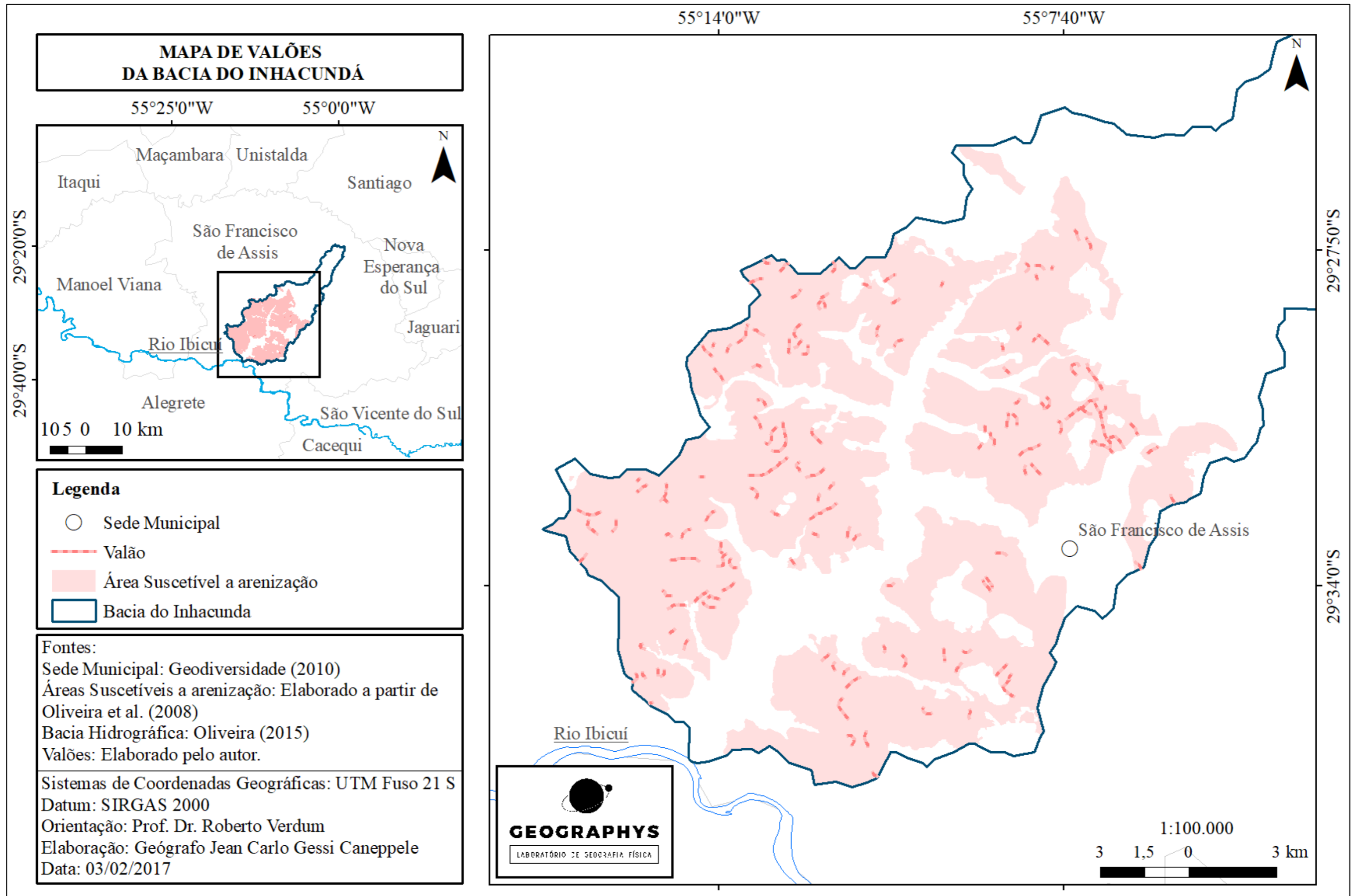


Figura 34 - Mapa de valões nas áreas suscetíveis da bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor.

### 4.1.3 Condicionante Pedológico

Para a bacia do Inhacundá, Oliveira (2015) identificou quatro diferentes classes de solo no primeiro nível categórico<sup>14</sup> (ordens): Neossolos (R), Argissolos (PV), Latossolos (LV) e Planossolos (SX). Essas quatro ordens foram posteriormente subdivididas em nove grandes grupos, conforme a Figura 35.

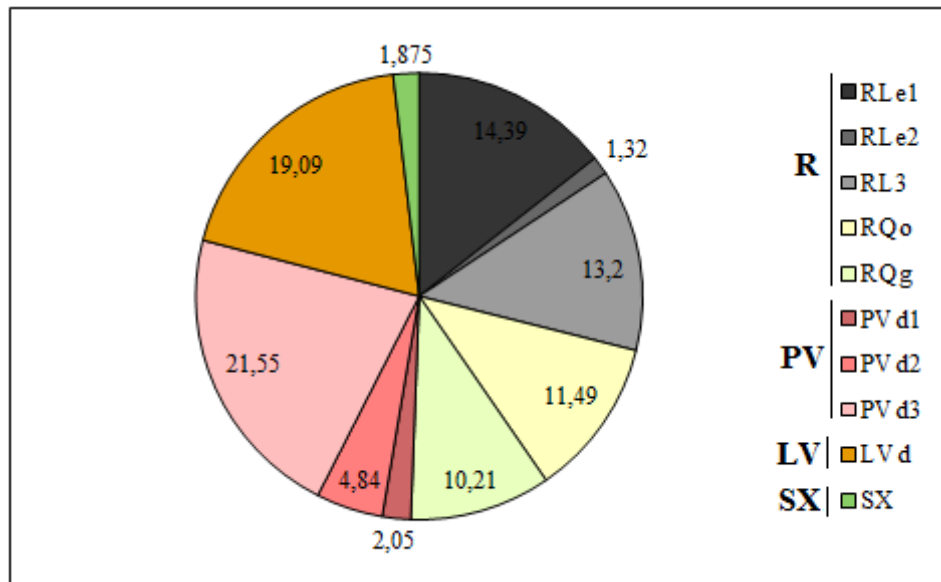


Figura 35 - Porcentagem da área total das classes de solo da Bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor a partir de Oliveira (2015).

As feições da arenização são encontradas em quatro desses grandes grupos em três das cinco ordens acima: Neossolos Quartzarênicos Órtico (RQo) e Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (RQg), Associação entre Argissolos Vermelhos Distróficos e Argissolos Bruno-acinzentados (PVd), com os processos erosivos ligados aos Bruno-acinzentados e Latossolos Vermelho Distrófico (LVd). A feição dos areais ocorre nos RQo e LVd, enquanto as feições de ravinas e de voçorocas ocorrem em todas as quatro classes. Sendo assim, o condicionante pedológico considerado será aquele das quatro classes de solo abaixo.

Os solos característicos do processo de arenização são os Neossolos Quartzarênicos Órticos (RQo), caracterizados no referencial teórico como solos novos, gerados a partir das formações Botucatu e Guará, possuindo maiores teores de areia e baixos de silte, argila e matéria

<sup>14</sup> Segundo Streck *et al.* (2008, p. 35) o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos está dividido em seis níveis categóricos: 1) Ordens; 2) Subordens; 3) Grandes Grupos; 4) Subgrupos; 5) NC Famílias e 6) Séries.

orgânica. São solos de baixa fertilidade e alta erosividade. Na bacia, os RQo são os solos mais impactados por ravinas e areais. As ravinas se conectam esporadicamente a rede de drenagem, por isso o menor número de voçorocas. Isso se dá em função da posição topográfica desses solos, próximas ao contato entre a rampa arenosa e os morros e morrotes e mais distantes da várzea.

Conforme Oliveira (2015), os LVd se desenvolvem sobre as coxilhas, vinculados à formação Guará. São solos espessos e considerados como não muito suscetíveis à erosão, porém a partir do inadequado manejo podem se tornar altamente suscetíveis à erosão hídrica. (VERDUM 1997). Por sobre eles ocorrem areais (principalmente associados à aragem para cultivo), ravinas (no terço médio e superior das coxilhas) e voçorocas (associadas a cabeceiras de drenagem), mas em menor quantidade em relação às outras classes de solo.

Os PVD estão localizados no terço médio das coxilhas ou rampas arenosas, até sua conexão com o compartimento da várzea e são considerados muito suscetíveis à erosão. Oliveira (2015) identificou que esses são os solos mais impactados por voçorocamento, em função da mudança textural abrupta entre os horizontes A arenoso e o Bt médio, resultando em erosão em sulcos que, a partir da erosão hídrica, culminarão em voçorocas.

Por último, os RQg são solos que apresentam lençol freático elevado durante grande parte do ano. Estão localizados predominantemente em áreas planas do compartimento geomorfológico da Várzea, e na transição entre Coxilha e Várzea nas áreas mais afastadas do rio Ibicuí. Com a diferença de declividade e de classes de solo na relação várzea-coxilha, os fluxos provenientes de montante podem tornar esse solo altamente suscetível à erosão, com a evolução das ravinas para voçorocas a partir do agente hídrico.

As quatro classes de solo consideradas condicionantes do processo, perfazem cerca de 62% da área total da bacia do Inhacundá. Na Figura 36 é possível a visualização do mapa pedológico da bacia do Inhacundá, com destaque para as classes de solo consideradas condicionantes no processo de arenização.

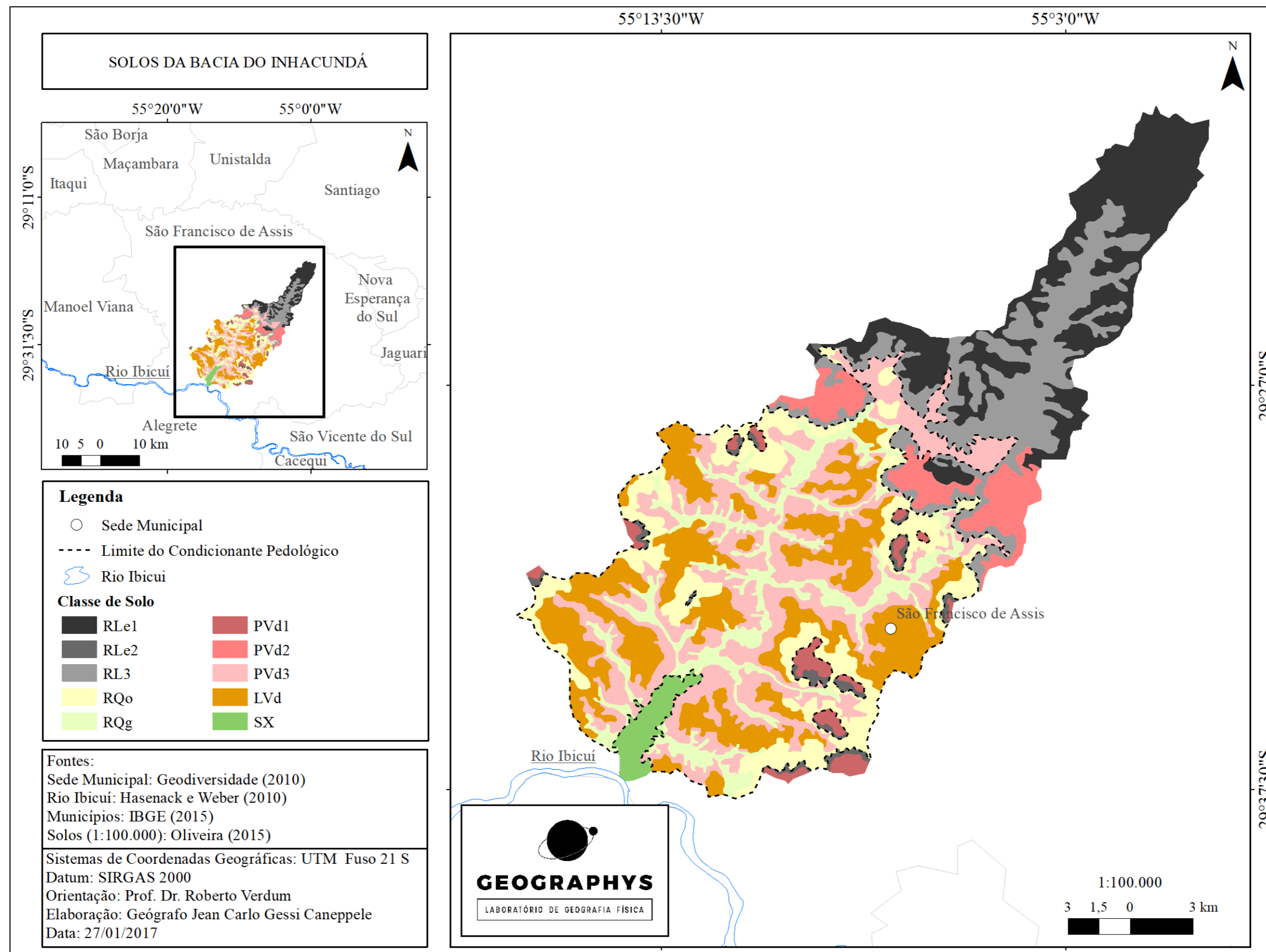


Figura 36 - Mapa pedológico e Condicionante pedológico da bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor.

#### 4.1.4 Condicionante de cobertura vegetal uso e ocupação da terra

O condicionante de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra foi dividido em onze classes e foi mapeado nas áreas suscetíveis da bacia. A classe que mais ocorre nas áreas é a de Campo, seja nativo ou cultivado, com aproximadamente 97 km<sup>2</sup> o que corresponde a quase 60% de toda área suscetível. A questão da manutenção dos campos através da pecuária extensiva é de fundamental importância, uma vez que, assegura a manutenção do Bioma Pampa que se encontra ameaçado nos últimos 40 anos pela entrada de novos tipos de cultivo, como o da soja, girassol, canola e milho.

Além dos campos nativos (Figura 37) ou plantados (Figura 38), foram identificadas as áreas de campo com reduzida biomassa (Figura 39), pois estas são importantes e requerem um manejo adequado para evitar o surgimento de focos de arenização. Essa classe corresponde a 10,45 km<sup>2</sup> ou 6,3% do total das áreas suscetíveis, sendo a terceira classe que mais ocorre na bacia. Esta classe está estritamente relacionada com as áreas de arenização.



Figura 37 – Área de campo em São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.



Figura 38 - Em primeiro e segundo plano áreas destinadas à pecuária com o plantio de espécies herbáceas para cobertura e pastagem. Na área em segundo plano, percebem-se canais de escoamento. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.



Figura 39 - Áreas com reduzida biomassa destinadas à pecuária. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.

O condicionante de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra está relacionado a evolução territorial do município, com a atividade histórica da região sendo a pecuária extensiva, que demanda áreas extensas de campo, o que configurou uma estrutura baseada em grandes propriedades de terra. De acordo com a EMATER, no município de São Francisco de Assis, 73,7% das propriedades possuem menos de 100 hectares, porém estas representam cerca de 19% do total de terras, o que demonstra uma intensa concentração de terras.

As maiores propriedades estão localizadas na porção sul do município e da Bacia do Inhacundá, baseadas na pecuária e nas lavouras de arroz, com relevo mais plano e solos mais rasos e arenosos, com intensos processos de ravinamento e voçorocamento, enquanto as menores propriedades estão localizadas na porção norte do município e da Bacia do Inhacundá, baseadas no minifúndio, com solos mais profundos e sem o aparecimento de processos erosivos associados à arenização.

As áreas de lavouras podem ser divididas em duas: no sul estão as maiores lavouras, relacionadas ao plantio de arroz nas áreas próximas aos cursos d'água (Figura 40 – Esquerda) e no norte estão as menores lavouras, situadas próximas às sedes de propriedades, com plantio de outros cultivos como milho e mandioca (Figura 40 A, B e C). É a segunda classe mais presente na bacia, com aproximadamente 33 km<sup>2</sup> o que corresponde à cerca 20% de toda área suscetível.



Figura 40 – Na fotografia da esquerda, o cultivo de arroz próximo a RSC-377 e nas fotografias à direita áreas de plantio em minifúndios próximos ao planalto, São Francisco de Assis/RS. Na fotografia A, o cultivo de milho, na B o cultivo de mandioca e na C o cultivo de cana e capim elefante. Fotografias: Jean Caneppele, Abril de 2017.

No município de São Francisco de Assis é possível a identificação, através dos dados dos dois últimos censos agropecuários (1995 e 2006) – Tabela 5, de um aumento de 153% na área destinada a lavoura temporária, enquanto a pecuária teve um decréscimo de 5%. Pode-se extrapolar essa tendência para a Bacia do Inhacundá, principalmente nas áreas próximas a RSC-377, identificada por Okido (2016) como áreas de modificação recente no uso e na ocupação da terra.



Tabela 5 - Área destinada à lavoura temporária e pecuária nos anos de 1995 e 2006, no município de São Francisco de Assis/RS. Fonte: Modificado de Okido (2016).

São Francisco de Assis – RS (1995)	
Área dos estabelecimentos agropecuários (Hectares): Grupo de atividade econômica.	
Lavoura temporária	28.414,57
Pecuária	132.088,79
São Francisco de Assis – RS (2006)	
Área dos estabelecimentos agropecuários (Hectares): Grupo de atividade econômica.	
Lavoura temporária	72.071
Pecuária e criação de outros animais	124.571

A entrada do maquinário foi um fator que acabou contribuindo para a expansão dos processos de arenização (Verdum, 1997), portanto, as áreas com arenização localizadas em lavouras foram mapeadas e correspondem a 1,5 km<sup>2</sup> ou 0,9% da área suscetível. Em geral, são áreas menores inseridas em lavouras maiores (Figura 41), o que possibilitaria um isolamento dessas áreas, sem ocorrer a perda significativa de áreas produtivas para os produtores.



Figura 41 – Área em São Francisco de Assis com uso de maquinário em focos de arenização. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.

Em relação à silvicultura, há quatro grandes áreas de maciços que estão vinculados à entrada dessa classe a partir das políticas públicas de fomento a silvicultura (Figura 42). Além disso, têm-se espalhado por toda a área suscetível 250 pequenos capões de eucalipto no meio dos

campos, essa é uma prática comum na região, com o plantio visando à proteção do gado (Figura 43). A silvicultura é a quarta classe mais presente, com 10 km<sup>2</sup> ou 6% da área suscetível, porém, desse total, 5,91 km<sup>2</sup> correspondem às quatro áreas de maciços e o restante (4,09 km<sup>2</sup>) corresponde aos pequenos capões.



Figura 42 – Maciços de Eucalipto, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Ivo Mello, Disponível em: <http://www.panoramio.com/photo/55486136>, acesso em 21/03/2017.



Figura 43 - Capão de eucalipto, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.

Conforme ressaltado no referencial teórico, o plantio de eucalipto sobre areais foi “vendido” como uma solução para a recuperação dessas áreas (Figura 44). Sendo assim, as áreas de plantio de eucalipto sobre a arenização foram mapeadas e correspondem a 0,65 km<sup>2</sup> ou 0,35% da área suscetível.



Figura 44 - Plantio de Eucalipto em rampa arenosa com focos de arenização, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2015.

Existem nas áreas suscetíveis 400 áreas de mata e estão associadas aos cursos d'água ou na borda de pequenos afloramentos rochosos (Figura 45). São áreas pequenas e estão intensamente fragmentadas, correspondendo a 5,2 km<sup>2</sup> ou 3,7%, sendo a quinta classe mais presente na área suscetível. Essas áreas não são consideradas suscetíveis à arenização, porém, a sua retirada pode desencadear ou acelerar processos erosivos que estão próximos a estes locais.



Figura 45 - Áreas de mata nas encostas dos cerros e na forma de matas de galeria, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.

Em relação à arenização, foram consideradas todas as feições e não somente os areais, sendo identificadas 598 áreas de arenização, localizadas principalmente associadas às rampas e ao contato com os morros testemunhos e morrotes e associadas ao contato entre coxilhas e várzea. Elas perfazem juntas cerca de 3,75 km<sup>2</sup> o que corresponde a 2,2% da área suscetível, sendo a sexta classe mais presente. Em relação a esta classe, o próximo capítulo discutirá com mais profundidade acerca das feições e da localização delas nos compartimentos geomorfológicos. Por último temos as classes de corpo d'água, sedes de propriedade e estradas que juntas correspondem a 2,45 km<sup>2</sup> ou 1,45% da área suscetível. Na Figura 46 é possível a visualização da relação entre o tamanho de cada classe, sua porcentagem dentro da área suscetível e o número de fragmentos de cada área, bem como no mapa da Figura 47 temos o mapeamento de todas as classes, utilizando a legenda elaborada a partir da Cartografia Ambiental.

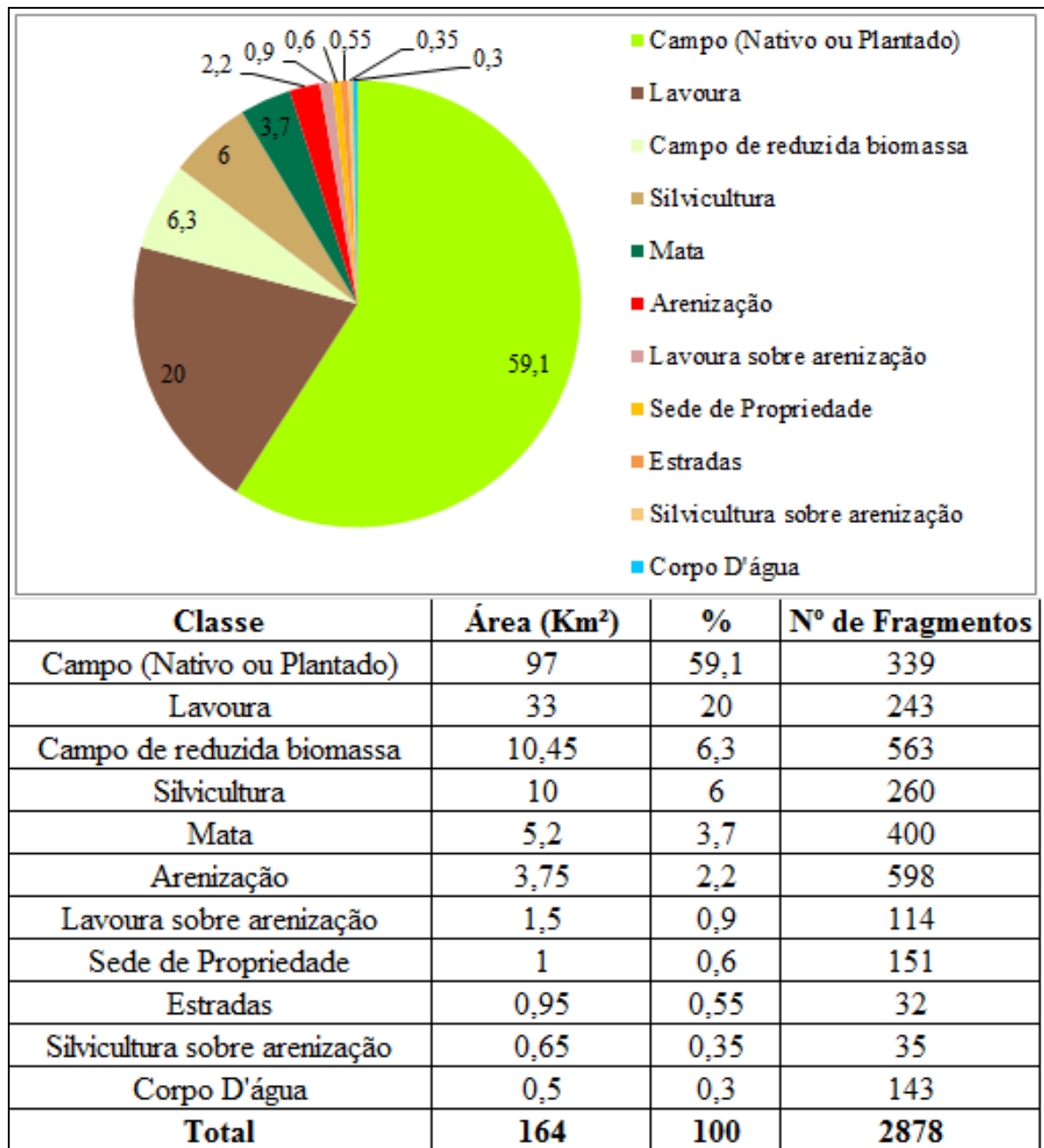


Figura 46 - Classes, Área (Km<sup>2</sup>), Porcentagem e Nº de Fragmentos, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS.

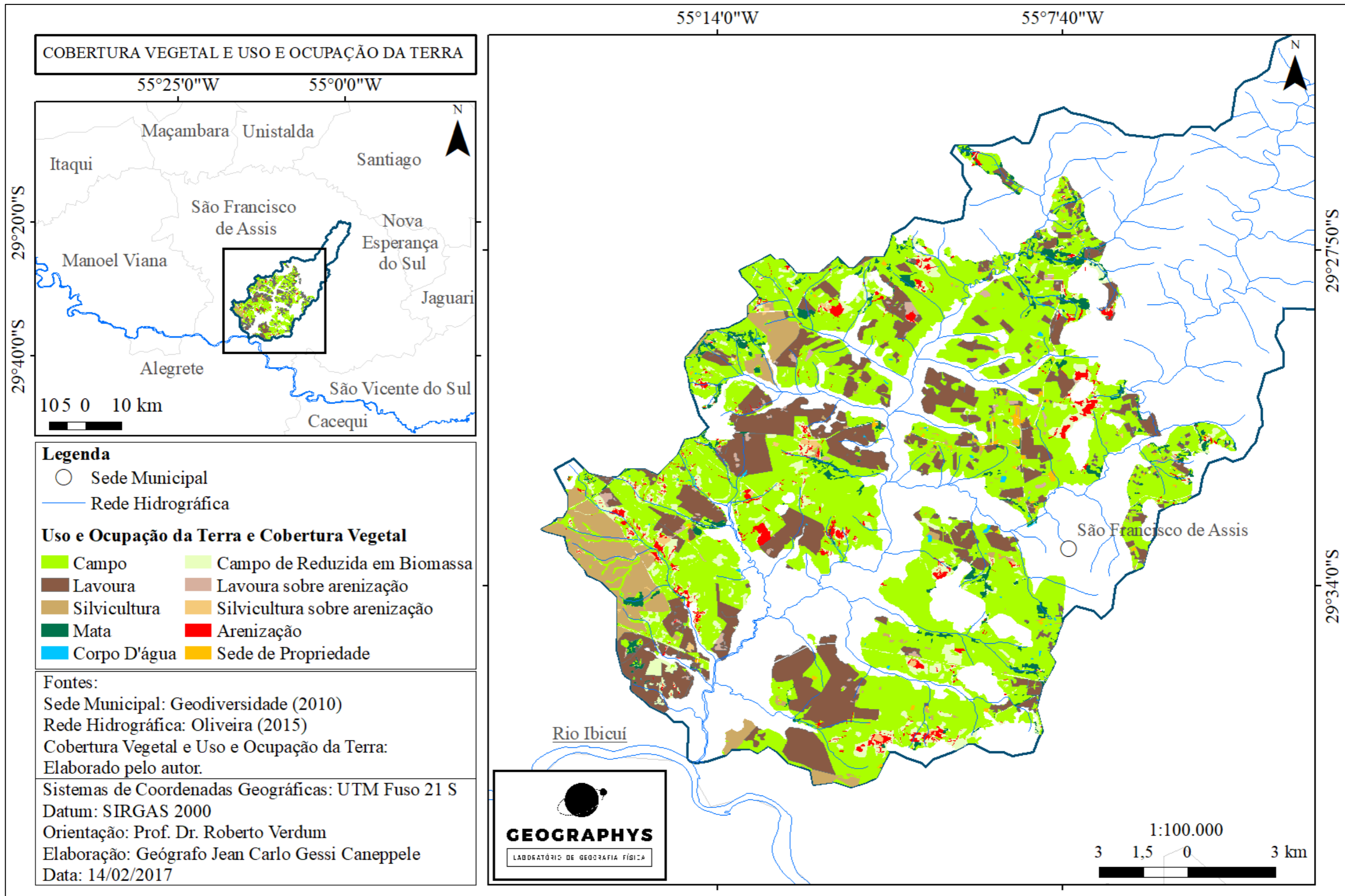


Figura 47 - Mapa de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra nas áreas suscetíveis a arenização na bacia do Inhacundá. Elaborado pelo autor.

#### 4.2 Feições da Arenização na Bacia Hidrográfica do Inhacundá

As cinco feições definidas e identificadas conforme o referencial teórico, também foram mapeadas nas áreas suscetíveis à arenização. São as seguintes: 1) Ravinas; 2) Voçorocas; 3) Coalescência de Ravinas; 4) Leques de Dejeção; 5) Areais. Cabe ressaltar que as áreas com silvicultura sobre areais, também foram consideradas como areais. Sendo assim, as feições da arenização somam 4,44 km<sup>2</sup>, um aumento em relação à área de arenização do mapeamento de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra.

A feição mais identificada no mapeamento é a de Areais (Figura 48) com 240 manchas, sendo encontradas em todos os compartimentos geomorfológicos, porém, mais de 50% deles estão localizados nas coxilhas, uma vez que, o compartimento de coxilha é o mais representativo em área dentro da bacia. As áreas com areais somam 2,86km<sup>2</sup>, cerca de 1,66 % do total das áreas suscetíveis.



Figura 48 - Areal em rampa arenosa, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Novembro de 2011.

A segunda feição mais identificada é a das ravinas, com 222 áreas somando 0,4 km<sup>2</sup>. As ravinas (Figura 49) são encontradas predominantemente nas coxilhas e rampas. Cabe ressaltar, que foram mapeadas apenas as ravinas isoladamente, uma vez que, as ravinas conectadas umas as outras foram consideradas a coalescência de ravinas.



Figura 49 – Ravinamento em rampa arenosa no município de São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.



A coalescência de ravinas (Figura 50) foi identificada em 72 áreas e corresponde a 0,60 km<sup>2</sup>. Também é encontrada principalmente nas rampas e coxilhas e está comumente associada aos areais. Na imagem de satélite da Figura 50 é possível visualizar duas ravinas se coalescendo, corroborado pela fotografia retirada em campo. Ao Sul também existem outras ravinas se coalescendo, o que demonstra um estágio temporário dessa feição. Possivelmente nessa área, se não ocorrer intervenção, vai surgir um areal.



Figura 50 – Coalescência de ravinas em rampa arenosa, os traços vermelhos indicam o ângulo de visada da fotografia, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017. Imagem de satélite: CNES/Astrium 2017, obtida através do *software* Google Earth Pro.

Foram mapeadas 74 voçorocas localizadas, principalmente no compartimento geomorfológico das coxilhas e na conexão entre a coxilha-várzea. Na Figura 51, a voçoroca já está conectada a rede de drenagem.



Figura 51 - Voçoroca em fundo de vale, São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.

Também foram identificados 31 leques de dejeção, associados aos ravinamentos, e sendo considerados temporários uma vez que podem evoluir até se tornarem areais. A Figura 52 mostra uma ravina em rampa arenosa, formando um leque de dejeção. Ao fundo um areal com o plantio de eucalipto no seu entorno. Além disso, no primeiro plano é possível visualizar linhas formadas pelo uso de maquinário, essas linhas estão na mesma direção que o ravinamento, podendo nesse caso intensificar o processo de arenização.



Figura 52 – Leque de Dejeção (LD) a partir da deposição de sedimentos provenientes de ravinamento em rampa arenosa no município de São Francisco de Assis. Fotografia: Jean Caneppele, Abril de 2017.

Na Figura 53 é possível visualizar o número de feições mapeadas, a área que cada uma corresponde e em qual compartimento geomorfológico as mesmas estão localizadas. Além disso, a Figura 54 mostra as cinco diferentes feições dentro da bacia do Inhacundá.

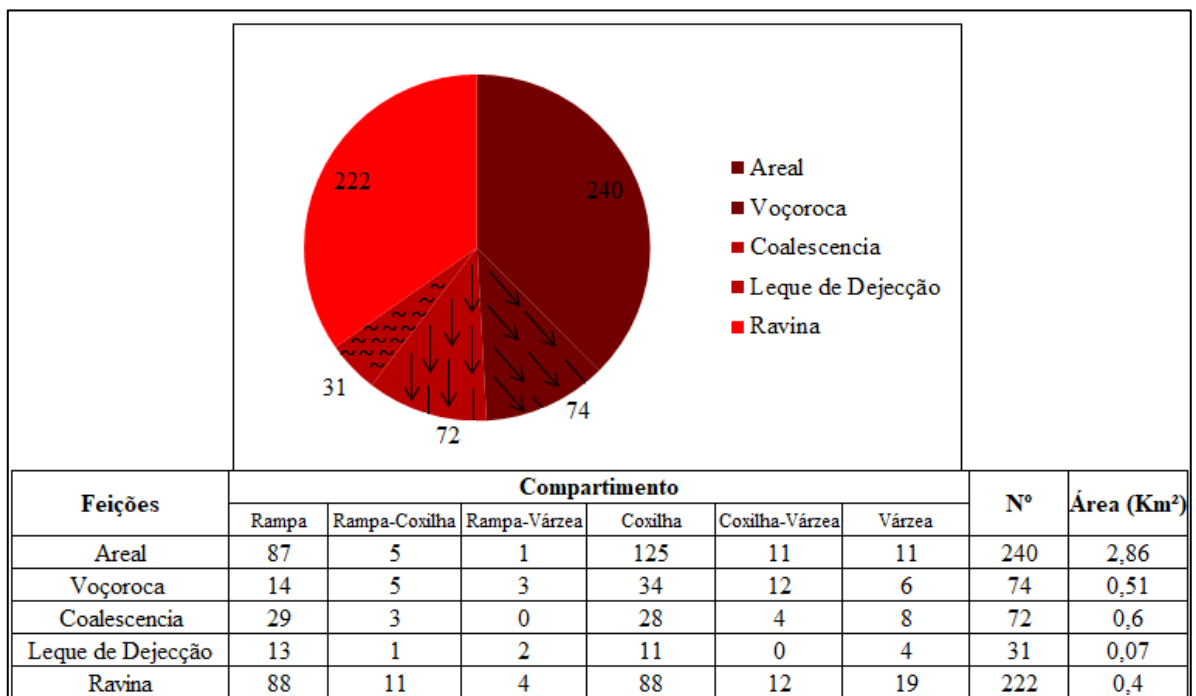


Figura 53 - Número de Feições, Área, Localização nos compartimentos geomorfológicos e porcentagem nas áreas, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor.

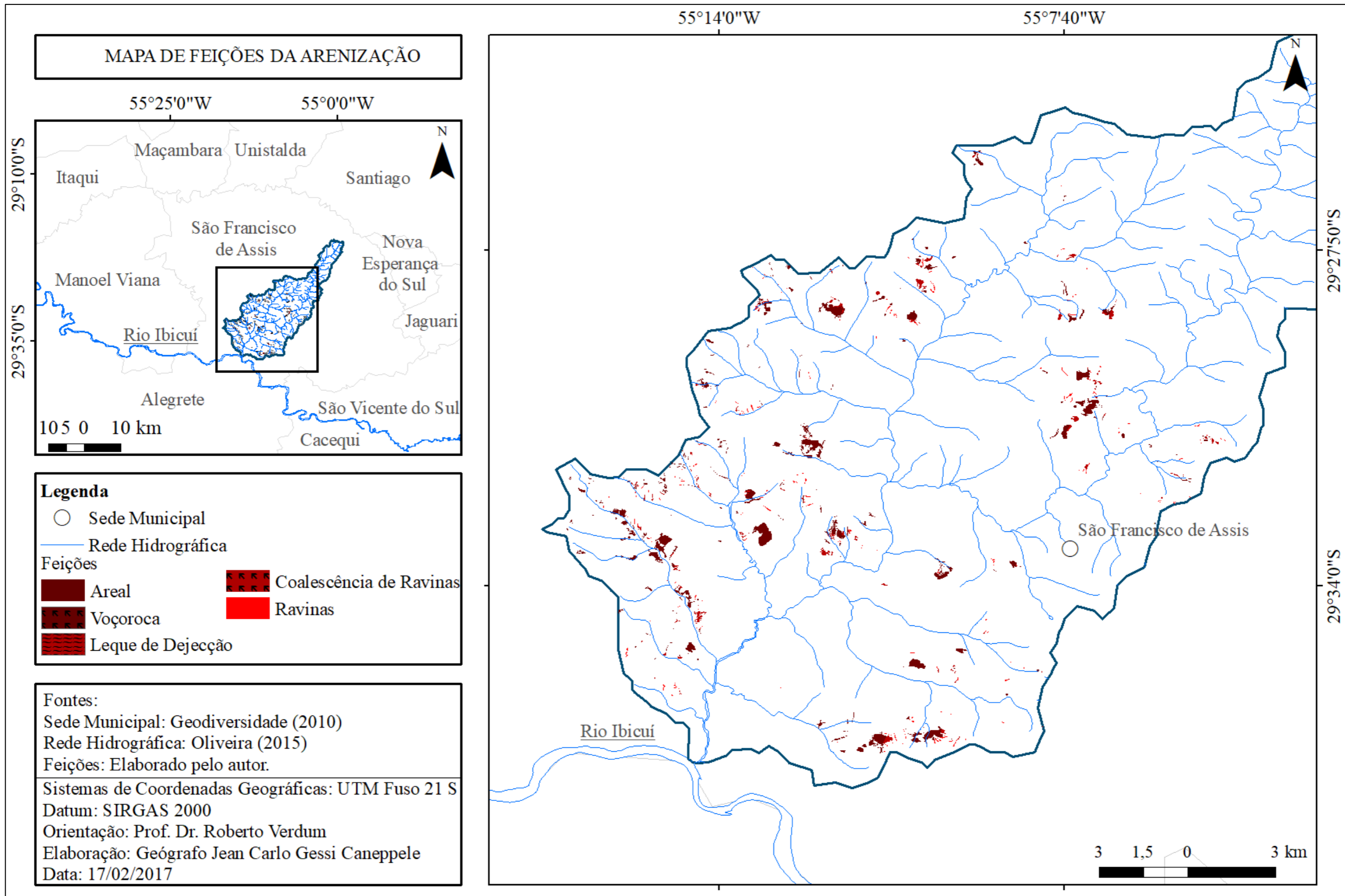


Figura 54 - Mapa de Feições da Arenização na bacia do Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor.

### 4.3 Meios do processo de arenização

Os três meios foram delimitados no processo de arenização, a partir da relação morfogênese x pedogênese com as feições características. A delimitação também levou em consideração o início do processo até sua “consolidação”. Como visto no referencial teórico, a primeira feição natural relacionada à arenização é o degrau de abatimento e a segunda feição é a das ravinas, que podem gerar voçorocas ou a partir da sua coalescência estabelecer areais, além dos mesmos surgirem dos leques de dejecção das próprias ravinas. Além disso, a erosão em *pipping* inicia o processo, gerando voçorocas que posteriormente podem se conectar a rede de drenagem. Em função de possuírem dinâmicas diferentes em sua formação e não possuírem os mesmos condicionantes, as ravinas e voçorocas foram separadas. Na Figura 55 é possível relacionar a evolução das feições naturais do processo.

<b>Feições</b>			
Degraus de Abatimento	Ravinas	Coalescência de Ravinas Leques de Dejecção	Areal
<i>Pipping</i>			Voçoroca

Figura 55 – Evolução das feições naturais do processo de arenização. Elaborado pelo autor.

Conforme Verdum (1997), a arenização é um processo natural intensificado por condicionantes sociais, que foram agregados a Figura 55, através das feições dos sulcos das trilhas do gado e do maquinário pesado. Estas novas feições foram colocadas juntos aos degraus de abatimento e erosão em *pipping* como estopim do processo, configurando o quadro da Figura 56 que está dividido em quatro etapas.

<b>Feições</b>			
Degraus de Abatimento Sulcos (Maquinário) Sulcos (Pisoteio do Gado)	Ravinas	Coalescência de Ravinas  Leques de Dejecção	Areal
<i>Pipping</i>			Voçorocas

Figura 56 - Quadro de Feições naturais e sociais do processo de arenização. Elaborado pelo autor.

Das quatro etapas, a primeira contém as feições estopim do processo e foi definida como **meio *intergrade***. As outras três etapas, em função da intensidade de atuação dos agentes hídrico e eólico, possuem a morfogênese atuando em detrimento da pedogênese, sendo estabelecidas como o **meio fortemente instável** que posteriormente foram divididas em classes. Configurando o Quadro da Figura 57.

<b>Meio <i>Intergrade</i></b>	<b>Meio Fortemente Instável</b>		
<b>Feições</b>			
Degraus de Abatimento Sulcos (Maquinário) Sulcos (Pisoteio do Gado)	Ravinas	Coalescência de Ravinas  Leques de Dejecção	Areal
<i>Pipping</i>			Voçorocas

Figura 57 - Quadro dos Meio *Intergrade* e Fortemente Instável, associado às feições da arenização. Elaborado pelo autor.

Como essas quatro diferentes feições estão localizadas em áreas específicas foram incluídas mais duas feições, relacionadas à arenização. As áreas suscetíveis e os valões, como áreas onde podem ocorrer os processos de arenização e gerar as feições características. Nessas a

pedogênese é mais intensa que a morfogênese, sendo definido o **meio estável**, finalizando a definição dos meios, configurando o Quadro da Figura 58.

		Meios			
		Estável	<i>Intergrade</i>	Fortemente Instável	
Feições	- Áreas Suscetíveis	- Degraus de Abatimento	- Ravinas	- Coalescência de ravinas	- Areal
	-Valão	- Sulcos (Maquinário) - Sulcos (Pisoteio do Gado)		- Leques de Dejecção	
		- <i>Pipping</i>			- Voçorocas

Figura 58 - Quadro dos Meios do processo de arenização e suas feições correlatas. Elaborado pelo autor.

Os meios foram definidos a partir das suas feições correlatas, com duas feições para o meio estável, quatro feições para o meio *intergrade*, e cinco feições para o meio fortemente instável que foi dividido em três classes. Para facilitar a caracterização, denominamos o meio Estável de 1º Classe, o Intergrade de 2º Classe e o Fortemente Instável de 3º, 4º e 5º Classes a partir das feições e da evolução do processo.

A **primeira classe**, diz respeito aos valões e às áreas suscetíveis ao processo de arenização, com a pedogênese triunfando sobre a morfogênese. Ambas as feições podem evoluir e se tornar um meio *intergrade*.

A **segunda classe** está baseada no início do processo e foi dividida em duas subclasses, em função de gerar diferentes feições, posteriormente. A primeira subclasse está relacionada aos degraus de abatimento, pisoteio do gado e do maquinário pesado. Essas três feições a partir da evolução de escoamento difuso ou em lençol para escoamento concentrado, podem gerar as ravinas. A segunda subclasse está relacionada à erosão em *pipping* que, a partir da torrencialidade, pode gerar voçorocas. A diferenciação entre essas duas subclasses será feita através de símbolos. Por ser uma feição natural, os degraus de abatimento tem um símbolo específico, assim como o maquinário pesado e pisoteio do gado têm outro símbolo específico,

pois são feições sociais. Já a erosão em *pipping*, em função de estar vinculada às voçorocas tem um símbolo próprio, associada a uma feição natural, além de estar relacionada ao agente hídrico.

A **terceira classe** está baseada na atuação do agente hídrico como fundamental na dinâmica erosiva, com a formação das ravinas e voçorocas. As ravinas se formam a partir da evolução do processo, em relação às primeiras classes. Os valões, os degraus de abatimento, o pisoteio do gado e o uso da maquinaria pesada, condicionam o escoamento, tornando-o concentrado. Acelera-se ou criam-se assim novos focos da arenização na feição de ravinas que podem ou não gerar voçorocas.

A **quarta classe** está baseada no início da formação do areal, tanto de coxilhas quanto no contato entre cerro/rampa, com duas feições características: Coalescência de ravinas e leques de dejectão. As ravinas localizadas próximas umas das outras, através da erosão regressiva e lateral, poderão se coalescer e iniciar a formação de um areal. Os leques de dejectão estão localizados a jusante dos ravinamentos e a partir da entrada de material e do retrabalhamento, através dos agentes hídrico e eólico, também poderão dar início a um areal.

A **quinta classe** é o areal em si, com os processos de retrabalhamento atuando, mas com o estabelecimento da vegetação do entorno, passando a existir uma conexão com a fauna e a flora que permeiam esse ecossistema. São caracterizados pela não presença de vegetação e do retrabalhamento dos sedimentos, com a expansão do areal durante os períodos de seca, em função da deflação, e durante os períodos de chuva, através do escoamento concentrado, (VERDUM & SOARES, 2010). Além dos areais, as voçorocas conectadas à rede de drenagem, se configuram como canais de 1ª ordem dentro da hierarquia fluvial.

A partir da definição dos meios e das classes a serem mapeadas, foi estruturado a legenda para o mapeamento, utilizando a Cartografia Ambiental, com a relação entre as classes e os tons de vermelho, além da adição dos símbolos para diferenciação das feições e dos condicionantes.



#### 4.4 Legenda – Cores e Símbolos

Os meios foram definidos, com as suas respectivas classes estabelecidas para o mapeamento. A intensidade com que os agentes atuam por sobre cada classe, define o brilho da cor e o seu escurecimento diz respeito à evolução do processo. Foram definidos três meios e cinco classes, portanto, foram escolhidas cinco tons, do rosa ao vermelho.



Figura 59 - Escurecimento de tons e suas classes associadas. Elaborado pelo autor.

Para delimitar a intensidade, foram atribuídos valores de acordo com o tipo de atuação de cada agente, a feição e as microfeições geradas, além da localização em relação ao perfil topográfico dos compartimentos geomorfológicos característicos com presença da arenização. Para o agente hídrico foram atribuídos valores de 0, 0,5 e 1, de acordo com o tipo de escoamento que atua no processo. Para o agente eólico foi considerado a atuação do processo variando de imperceptível até a deflação, atribuindo os valores de 0, 0,5 e 1. Os valores podem ser visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 - Atribuição dos valores de acordo com a atuação dos agentes. Elaborado pelo autor.

<b>Agente Hídrico</b>	<b>Agente Eólico</b>	<b>Parâmetro</b>
Escoamento Difuso	Imperceptível	0
Escoamento Laminar	Deslocamento por Rastejo, Deposição em Queda Livre e Deposição por Cavalgamento.	0,5
Escoamento Concentrado	Deflação	1

O perfil topográfico foi dividido em quatro setores, tanto nas coxilhas quanto nos cerros. No topo (Setor 01), o primeiro escoamento que ocorre é do tipo difuso (0) ocorrendo no topo das coxilhas ou dos cerros (orientado pelo caos dos blocos), enquanto o agente eólico é imperceptível (0). Os valores atribuídos aos agentes foram de (0) e as feições que podem surgir são canais difusos e sulcos. Os sulcos e canais difusos podem evoluir para ravinamentos, ocorrendo a exposição de material em áreas de acumulação, sendo retrabalhado pelo agente eólico.

No Setor 02, em média vertente de ambos os compartimentos geomorfológicos, inicia-se a entrada do escoamento em lençol (0,5) e do escoamento concentrado (1), gerando ravinamentos. O agente eólico atua através do rastejamento, queda livre, cavalgamento (0,5) e da deflação (1), porém, em algumas áreas a percepção do agente eólico pode ainda ser imperceptível (0). Nessas áreas as principais feições estão associadas a depósitos arenosos e áreas de acumulação, onde se formam as *ripple marks*. No segundo setor, ambos agentes na soma de suas ações possuem (1,5), porém foi considerado que o agente hídrico é o mais significativo, pois o eólico em algumas áreas pode ser imperceptível.

Já no Setor 03, também em média vertente, em função da criação de áreas de deposição e acumulação de sedimentos, o agente eólico atua a partir da deflação (1), enquanto o agente hídrico age na forma de escoamento concentrado (1) e laminar (0,5). As feições características são as *ripple marks* e o depósito arenoso, além das ravinas com testemunho do antigo pacote de sedimentos. Configura-se assim o areal na média vertente.

Por último na base da vertente (Setor 04), as bordas dos areais, tem-se a diminuição dos dois agentes. O escoamento passa a ser difuso (0) e o eólico age através de rastejo, queda livre e cavalgamento (0,5). Não existem mais ravinamento, apenas canais interligados, *ripple marks* e dunas.

Na Figura 60, foram plotadas as atuações e as suas intensidades de acordo com os parâmetros, anteriormente analisados, gerando uma curva na média para cada setor. Conforme ressaltado, no primeiro setor o agente hídrico é o responsável pelo início do processo sem uma atuação perceptível do eólico. A intensidade de atuação dos agentes, de forma simultânea, começa a se intensificar nas médias vertentes, com o agente hídrico ainda mantendo a sua intensidade no segundo e terceiro setor, porém com o crescimento do agente eólico na feição do areal no terceiro setor. Por último, ambos agentes diminuem sua intensidade, retrabalhando os sedimentos.

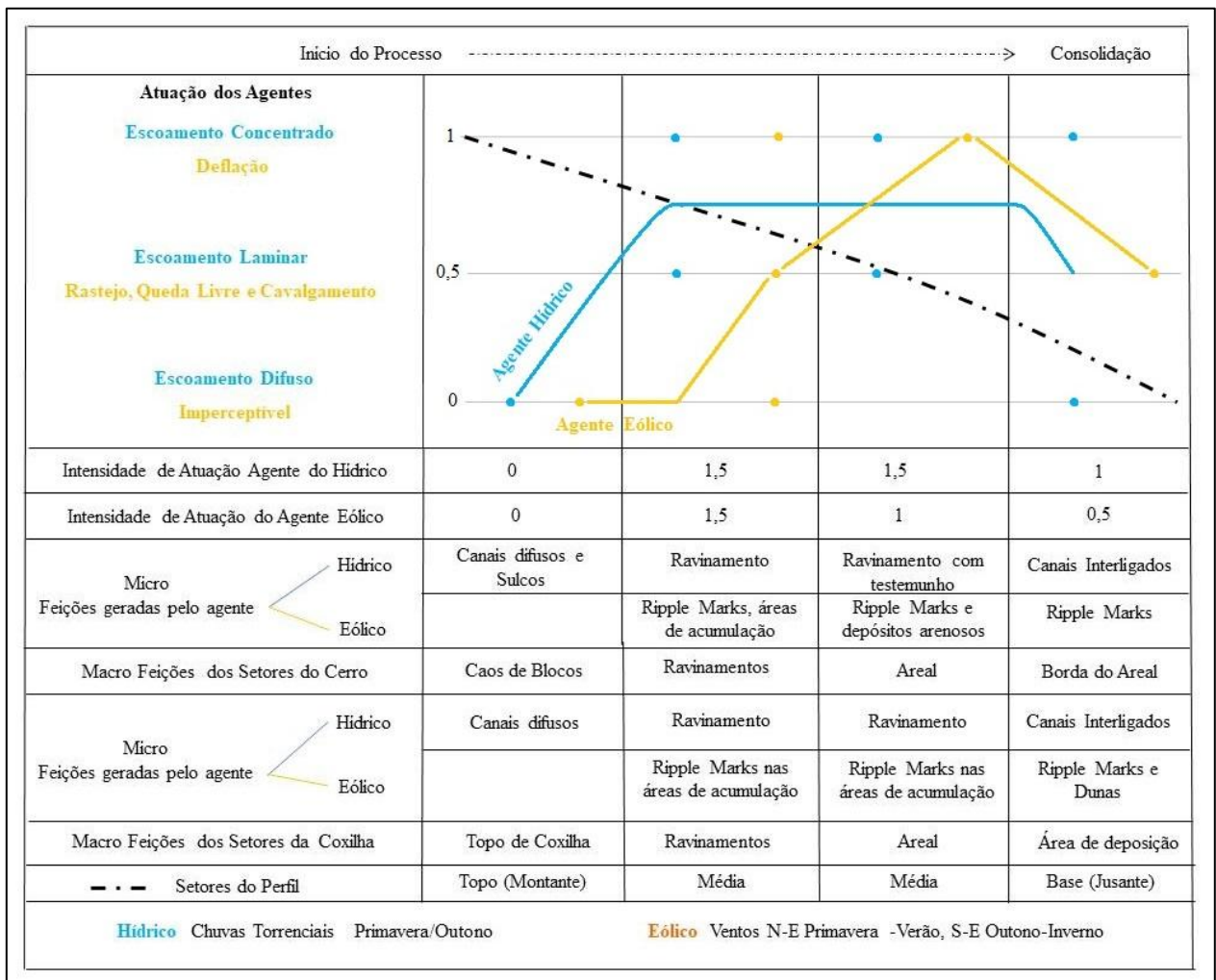


Figura 60 – Quadro síntese da atuação dos agentes hídrico e eólico. Elaborado pelo autor.

Para facilitar a relação entre a evolução do processo e a atuação dos agentes, as linhas de intensidade dos agentes foram relacionadas às cinco classes. Considerando que a primeira classe possui feições que não são retrabalhadas com intensidade pelos agentes, as mesmas foram deixadas fora desta aplicação. Sendo assim, a tonalidade para a primeira classe é a do quartzo rosa.

Os quatro setores foram associados às quatro classes restantes, com a segunda classe associada ao primeiro setor com menor intensidade de atuação dos agentes, tendo a tonalidade coral médio como sua representante. A terceira classe foi associada ao segundo setor, com a cor vermelho marte, sendo a que possui mais brilho, pois representa uma maior a atuação dos agentes. A quarta classe foi relacionada ao segundo e terceiro setor com a tonalidade vermelho poinsetia e a quinta classe foi relacionada ao terceiro e quarto setor, com o tom de vermelho mais

escuro: o vermelho dark umber indicando a última etapa do processo e também uma diminuição no brilho, que indica a diminuição dos agentes. Como as voçorocas possuem um processo específico de formação, com a atuação principal do agente hídrico, as mesmas foram relacionadas ao final do processo. Configurou-se, portanto, a Figura 61 que mostra os meios do processo de arenização, suas classes correspondentes, associadas às feições, aos agentes e as tonalidades do vermelho indicando a intensidade de atuação e a evolução da arenização.

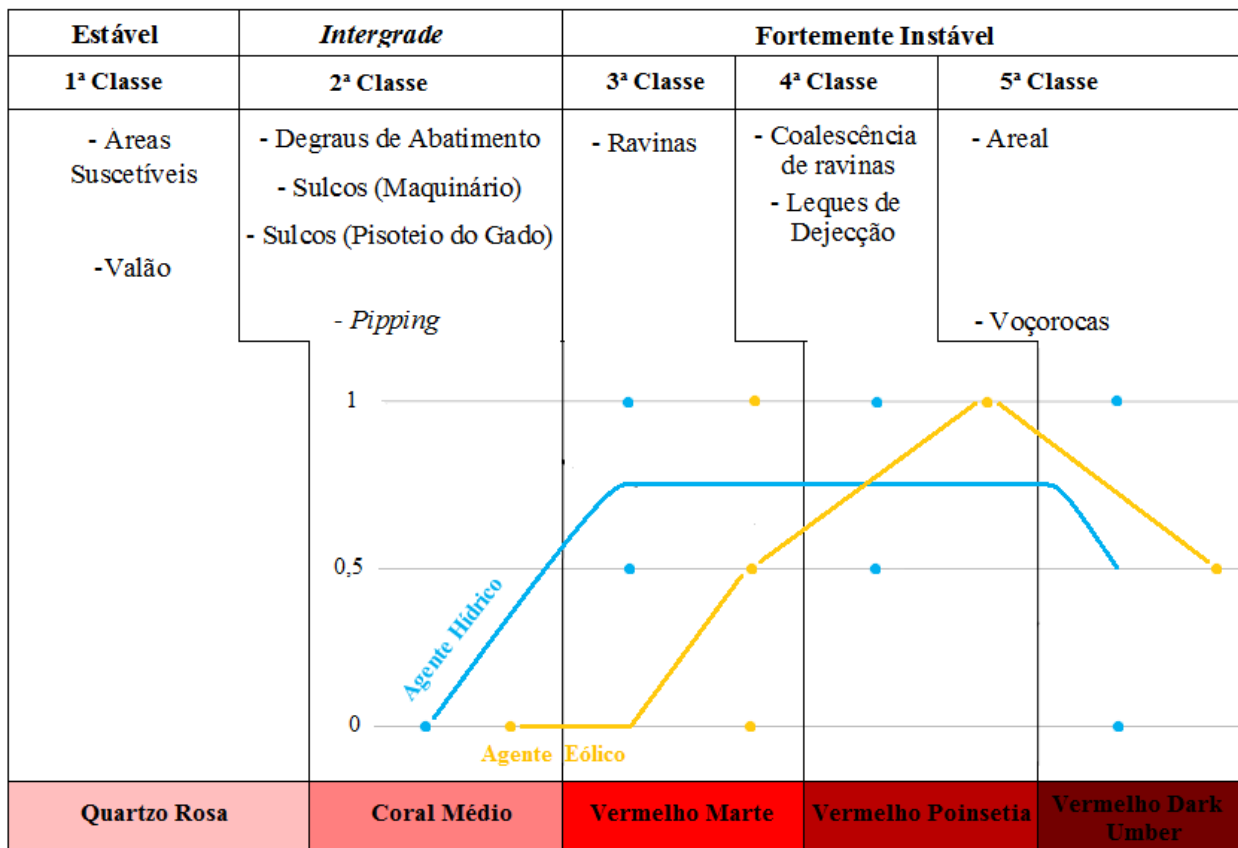


Figura 61 – Meios, Classes, Feições correlatas, atuação dos agentes e tonalidades respectivas. Elaborado pelo autor

Cada uma das classes é baseada em feições características, sendo que as tonalidades dizem respeito à classe, não a feição. Sendo assim, foi elaborada a Figura 62 onde é possível a visualizar as feições e seus símbolos característicos, mantendo as tonalidades. Na primeira classe, as áreas suscetíveis foram mantidas como polígonos, enquanto os valões como linhas traçadas. Na segunda classe, três símbolos foram criados, diferenciando os degraus de abatimento dos sulcos, sendo bolinhas sem borda os degraus e bolinhas com bordas laranja os sulcos que indicam um uso social, enquanto os *pippings* foram mapeados com bolinhas pontilhadas.

As classes três, quatro e cinco foram mapeadas com polígonos contendo as tonalidades específicas. A diferença entre as feições dentro dessas classes está baseada nos símbolos inseridos sobre o polígono. Na classe quatro e cinco foram adicionadas setas nos polígonos indicando a maior incidência do agente hídrico nas feições de coalescência de ravinas e voçorocas, enquanto na classe 4 foi adicionado um símbolo referente a atuação do agente eólico.

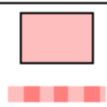



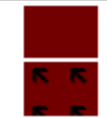
<b>Estável</b>		
1ª Classe	- Áreas Suscetíveis -Valão	
<b>Intergrade</b>		
2ª Classe	- Degraus de Abatimento - Sulcos - <i>Pipping</i>	
<b>Fortemente Instáveis</b>		
3ª Classe	- Ravinas	
4ª Classe	- Leques de Dejeção - Coalescência de ravinas	
5ª Classe	- Areal - Voçorocas	

Figura 62 – Meios, Classes e Feições com suas legendas correlatas. Elaborado pelo autor.

A partir da definição das tonalidades e dos símbolos para as feições, os condicionantes foram relacionados a cada classe, com a adição dos símbolos específicos de acordo com a relação entre os condicionantes. O condicionante geológico está baseado nas formações Botucatu e Guará; o condicionante geomorfológico está baseado nos compartimentos da várzea, coilha e rampas arenosas; o condicionante pedológico está relacionado aos RQo, RQg, LVd e PVD3 e por último, o condicionante de uso da terra e cobertura vegetal está relacionado as áreas de reduzida biomassa dos campos (nativo ou plantado), as áreas lavradas e a silvicultura sobre areais,

considerando essas três como áreas de atenção especial, frente ao manejo. As demais classes de uso da terra e cobertura vegetal serão aglomeradas e consideradas como de não atenção especial, frente ao manejo.

Os símbolos foram inseridos após a identificação sobre quais condicionantes, determinada classe está assentada. Os símbolos com linhas mais distantes representam locais suscetíveis, porém que não demandam uma atenção especial, enquanto os mais próximos representam áreas de atenção especial, localizadas nas feições ou na proximidade das mesmas, devendo tomar um maior cuidado nas questões de manejo, uso e ocupação da terra.

Da relação entre os condicionantes, o que mais está presente nas áreas suscetíveis a arenização é o que engloba o símbolo S10, com cerca de 33,40% que relaciona os condicionantes geológicos do Botucatu e Guará, o Latossolo e a Coxilha com um manejo considerado de não atenção para o surgimento de focos de arenização. O segundo símbolo é o S12 com cerca de 20,87% englobando os condicionantes geológico do Botucatu e Guará em Coxilhas, associados aos Argissolos. O terceiro símbolo mais presente é o S4 com Botucatu/Guará em Rampa com RQOs, com 15,90%, sendo uma relação que já deve possuir uma atenção especial frente ao manejo. Os quatro símbolos restantes associados a uma não atenção especial somam cerca de 19,02%.

Dos sete símbolos associados às feições ou áreas que necessitam atenção especial perfazem juntos apenas 9,9%. Com o símbolo S3 sendo aquele que possui uma maior porcentagem, com 3,83% e é o conjunto dos condicionantes geológico do Botucatu/Guará em rampas arenosas com RQOs, ou seja, está relacionado a condicionantes bem característicos do processo. Após o S3 está o símbolo S9 como aquele com maior presença dentro das áreas suscetíveis, combinando o Botucatu/Guará em coxilhas com Latossolos; o próximo é o S11 com 1,78% englobando Botucatu/Guará em coxilhas com Argissolos. A Figura 63 mostra o símbolo específico para cada relação de condicionantes e também a área que esta relação engloba dentro das áreas suscetíveis.















<u>Condicionantes</u>					
Litologia	Solos	Geomorfologia	Uso e Cobertura	Símbolo	%
Botucatu ou Guará	RQo	Coxilha	AAE	 S1	0,54
			ANAE	 S2	5,02
		Rampa	AAE	 S3	3,83
			ANAE	 S4	15,90
Botucatu ou Guará	RQg	Coxilha	AAE	 S5	0,22
			ANAE	 S6	0,50
		Várzea	AAE	 S7	0,57
			ANAE	 S8	7,59
Botucatu ou Guará	LVd	Coxilha	AAE	 S9	2,67
			ANAE	 S10	33,40
Botucatu ou Guará	PVd	Coxilha	AAE	 S11	1,78
			ANAE	 S12	20,87
		Várzea	AAE	 S13	0,29
			ANAE	 S14	5,91

Figura 63 – Símbolos para a relação entre os condicionantes e a porcentagem dentro da área suscetível. Elaborado pelo autor.

#### 4.5 Mapeamento utilizando a Cartografia Ambiental e a Ecodinâmica

O primeiro mapa final da **bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS**, utilizando as metodologias da Ecodinâmica e da Cartografia Ambiental, foi elaborado em escala 1:100.000 de acordo com as escalas dos mapas dos condicionantes. Em função de existir uma grande quantidade de informações, os símbolos da relação de condicionantes não foram adicionados nesse mapeamento, pois dificulta a sua leitura. Além disso, o mapa da Figura 64 não contém a segunda classe (degraus de abatimento, sulcos e pipping), em função de seu mapeamento envolver registro de campo.

A relação entre cada meio e sua combinação de condicionantes foi efetuada para esse mapeamento em escala 1:100.000, visando mostrar a complexidade do processo e também a

dificuldade do mapeamento de forma dinâmica, principalmente, para aplicar técnicas de controle à erosão.

A primeira classe, que corresponde ao meio estável, é a mais presente na Bacia, com mais de 90% da área total. Isso reflete a importância de mapeamentos em escalas mais detalhadas e que levem em conta as feições da arenização. A partir dessas premissas, foi efetuado um mapeamento em escala 1:10.000, em áreas com a presença de focos de arenização.

A primeira classe está relacionada principalmente ao conjunto de condicionantes representados pelos símbolos: S4, S8, S12. A terceira, quarta e quinta classe estão relacionadas aos símbolos que necessitam uma atenção especial em seu manejo. Sendo assim, estão somente nos símbolos ímpares. A terceira classe está associada principalmente aos símbolos S3 e S9, a quarta classe aos símbolos S3 e S7 e a quinta classe aos símbolos S3 e S9. A relação entre as classes e a localização em seus respectivos símbolos pode ser visualizada na Tabela 7.

Tabela 7 -Relação entre área das classes e os símbolos correlatos. Elaborado pelo autor.

	Classe 1 (km <sup>2</sup> )	Classe 3 (m <sup>2</sup> )	Classe 4 (m <sup>2</sup> )	Classe 5 (m <sup>2</sup> )
S1	0,75	15665	5228	260350
S2	8,5			
S3	4,65	202468	307411	1444630
S4	26,1			
S5	0,33	6996	32765	73100
S6	0,92			
S7	0,7	17605	68793	218190
S8	12,5			
S9	3,32	92233	96492	911850
S10	54,9			
S11	2,43	51219	121167	413832
S12	34,35			
S13	0,45	14963	46474	54241
S14	9,7			
Área (m <sup>2</sup> )	159600000	401149	678330	3376193
Área (km <sup>2</sup> )	159,6	0,4	0,67	3,37



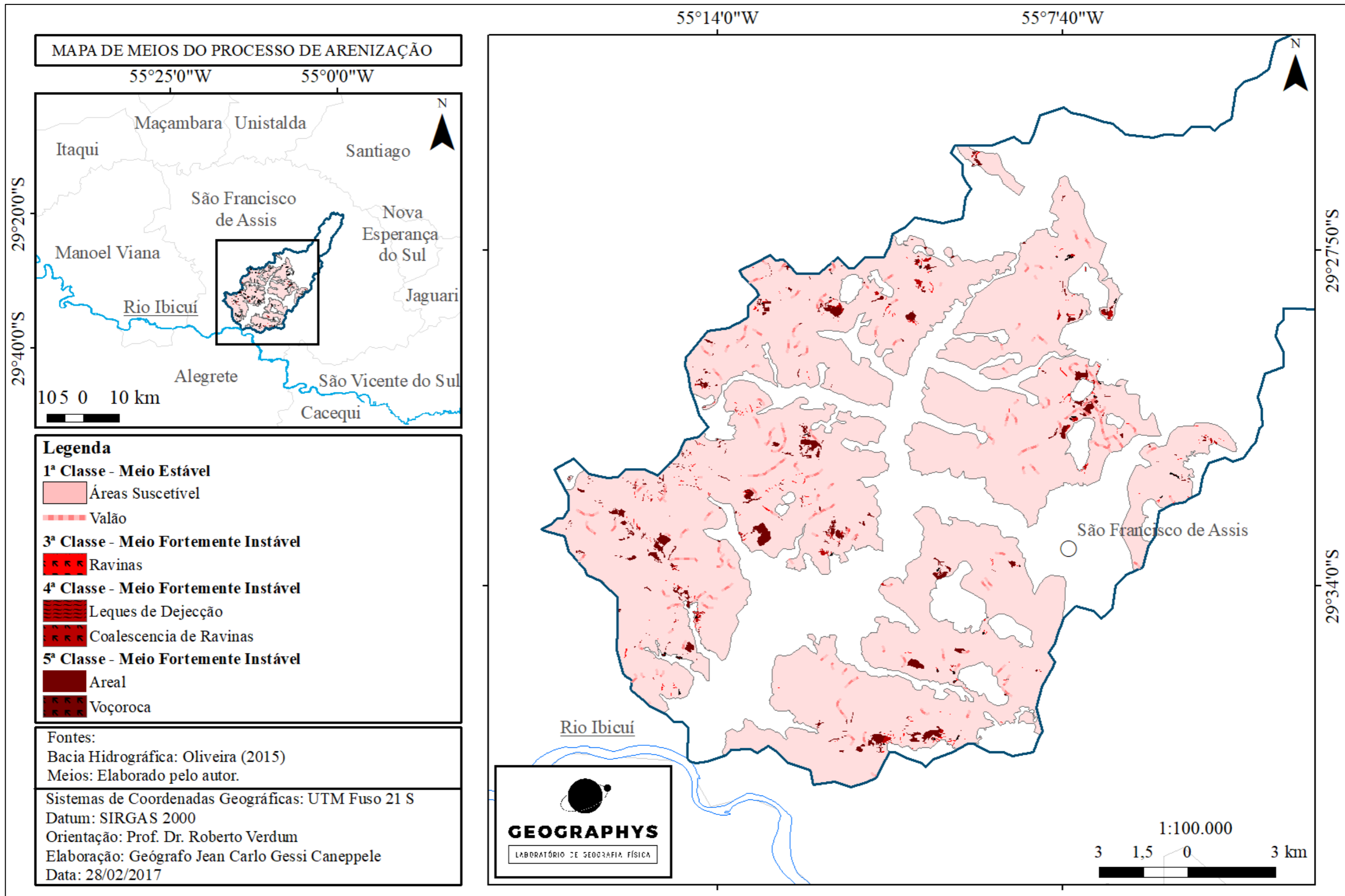


Figura 64 – Mapa de meios do processo de arenização, bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS. Elaborado pelo autor.

Os três meios estão presentes no mapa final – 1.10.000, com as suas classes correlatas e os mesmos estão relacionados a mais de um símbolo. Para o caso da arenização, a adoção de técnicas de controle da erosão ou de um manejo adequado, devem levar em conta sobre qual meio está se referindo. Técnicas associadas ao agente hídrico terão mais sucesso em locais onde o agente age com maior intensidade, sendo assim, não são indicadas para o 4º e 5º meio, pelo menos para as feições de areais e leques de dejectão, uma vez que, o agente eólico é o principal atuante. Além disso, um meio localizado no conjunto de condicionantes S3 deve ter um diferente manejo daquele localizado em outro conjunto de condicionantes, assim como o manejo de cada meio deve se diferenciar entre si.

O cultivo de eucalipto também se aplica a essas questões. Conforme ressaltado no trabalho, a inserção do cultivo ocorre como uma forma de “combate” aos processos erosivos, porém não é capaz de controlar inteiramente o retrabalhamento dos sedimentos, principalmente nas feições associadas aos agentes hídricos, como é o caso das ravinas. O plantio de eucalipto sobre areal não impede o processo de escoamento da água e o retrabalhamento do material (Figura 65). O plantio de espécies arbóreas seria aconselhável no controle da erosão eólica ou em áreas onde o processo ainda não se encontra em um estágio fortemente instável, uma vez que, funcionaria como anteparo e desaceleraria o impacto das gotas de chuva.



Figura 65 - Plantio de eucalipto sobre focos de arenização. Fotografia: Jean Caneppele, Abril 2017.

O segundo mapa final, **bacia do arroio Inhacundá, São Francisco de Assis/RS** foi elaborado em escala 1:10.000 em uma área dentro da Bacia do Arroio Inhacundá, com a inserção dos símbolos que representam o conjunto dos condicionantes. A escolha da área se deu, devido à presença das feições naturais da arenização, o que possibilitou, a partir da aplicação da metodologia de mapeamento, demonstrar como a cartografia pode auxiliar na adoção de práticas de manejo. Além disso, a partir do trabalho de campo, foram coletados os degraus de abatimento, que correspondem ao meio *intergrade*, e inseridos nesse mapeamento. As feições de *Pippings* e sulcos a partir de maquinário ou do superpastoreio não foram encontrados nessa área, porém devem ser contabilizadas em outros mapeamentos.

No caso do mapa da Figura 66, as feições estão associadas à rampa arenosa na encosta de morros testemunhos, com areais e ravinas ancorados nos morros testemunhos e a presença de leques de dejeção associados. As voçorocas já se encontram com outros símbolos relacionados, S3, S9, e S13. O primeiro meio é o mais presente na bacia e também na Figura 64, com vários conjuntos de condicionantes, o que traz à tona a necessidade de escolha de um manejo correto para cada relação de condicionantes. O grupo de pesquisa em arenização vem desenvolvendo trabalhos de práticas de manejo e controle da arenização, como os de Suertegaray (1987, 1992, 1994) Suertegaray *et al.*, (1989, 1995), Suertegaray e Bellanca (1992), Verdum (1999 e 2001), Trindade (2003), Freitas (2006), Rovedder (2007) e Vieira (2012 e 2016), que podem servir de subsídio para a adoção de novas práticas relacionadas a essa nova taxonomia de meios.

O mapa da figura 66 mostra a complexidade de elementos que o processo de arenização contém e foi efetuado sem levar em conta limites administrativos ou ambientais, como o caso de uma bacia hidrográfica.

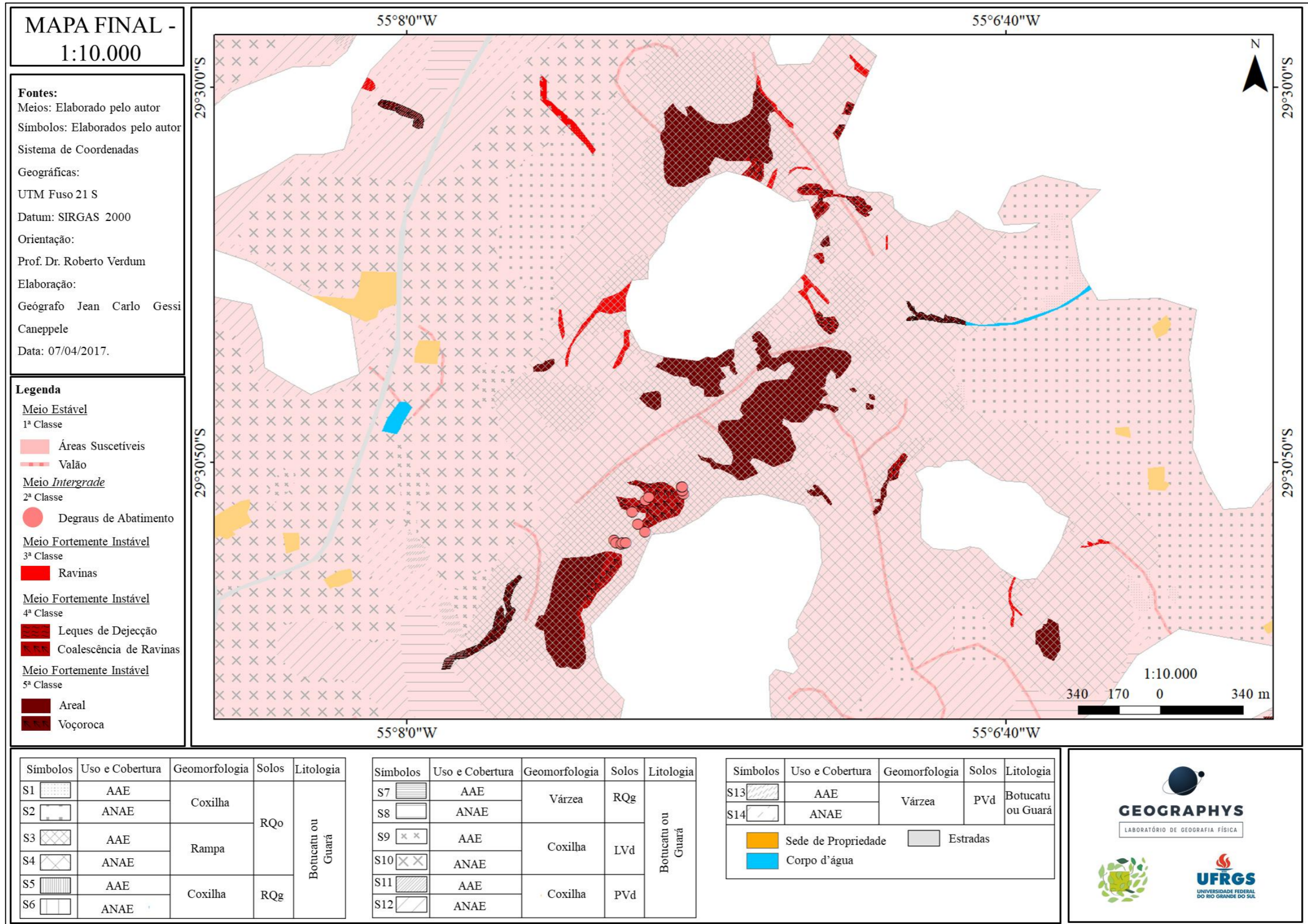


Figura 66 - Mapa Final em escala 1:10.000. Elaborado pelo autor.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O processo de arenização é estudado a mais de vinte cinco anos, com seu entendimento vinculado a uma gênese natural, que pode ser agravada pelo condicionante social. O processo é estudado através de diferentes olhares, desde sua gênese até as microformas do relevo. Além disso, a cartografia contribuiu muito para o seu entendimento como um processo complexo de múltiplas variáveis.

Os mapeamentos da arenização foram efetuados pelo Grupo de Pesquisa, porém, com o mapeamento apenas da feição dos areais. Neste contexto, buscou-se elaborar uma metodologia para identificar a evolução do processo, a intensidade de atuação dos agentes, relacionando-os com os condicionantes sobre o qual as diferentes feições possam evoluir. A estruturação desta metodologia advém da busca do estabelecimento de práticas de manejo agrícola corretas, a partir da complexidade entre feições, processo e condicionantes.

O mapeamento e a cartografia realizados poderão contribuir para a aplicação destas práticas, uma vez que demonstraram, a partir da legenda padrão, a complexidade e a evolução do processo. A busca por um correto manejo agrícola está relacionada ao vínculo desta dissertação a um edital de pesquisa, cujo um dos objetivos específicos é o de elaborar técnicas de manejo adequado para a arenização. Cabe ressaltar que a estruturação desta metodologia está relacionada a outro objetivo específico, do já referido edital de pesquisa, que consiste no mapeamento da arenização. Sendo assim, a estruturação da metodologia deverá servir de base para o referido mapeamento.

Considerando que o processo de arenização não é linear, mas sim complexo e relacionado a múltiplos condicionantes, faz-se necessário o levantamento, em cada área ou foco de arenização, dos condicionantes do meio e relacioná-los às feições e aos agentes que por sobre ela atuam, para à partir disso, propor um manejo adequado. Dentro deste contexto, a utilização da Ecodinâmica de Tricart e da Cartografia Ambiental de Journaux, possibilitou a agregação de todos estes fatores e foi possível a construção da legenda padrão englobando os mesmos.

Existem vários condicionantes para que o processo ocorra e seu estudo é de fundamental importância, podendo ser feito de forma isolada, condicionante por condicionante ou relacionando-os entre si. O mapeamento efetuado neste trabalho buscou relacionar todos os condicionantes (geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de uso da terra), uma vez que,

entende-se que o manejo agrícola deve ser pensando levando em conta as especificidades de cada local, associado também aos agentes que retrabalham os sedimentos e as feições características.

Cabe ressaltar a importância de um mapeamento das formações superficiais em áreas de arenização, uma vez que essas formações são associadas ao condicionante geológico, sendo decorrentes do intemperismo dos arenitos das formações Botucatu e Guará, ao longo do período Quaternário. Esse mapeamento permitiria um refinamento futuro na metodologia.

A definição dos meios foi efetuada a partir da relação morfogênese x pedogênese e as feições características, que possuem um caráter dinâmico em seu retrabalhamento, o que pode tornar difícil o mapeamento ou o monitoramento através da cartografia. Para tentar resolver este problema e estruturar uma metodologia de mapeamento, foi utilizada a Ecodinâmica de Tricart (1977) e a Cartografia Ambiental de Journaux (1985), com a definição dos meios dentro do processo, demonstrando a sua complexidade e possibilitando elencar taxonomias dentro do processo. Já a Cartografia Ambiental, possibilitou, através do escurecimento das cores, o mapeamento da evolução do processo de arenização, enquanto o uso da intensidade das cores possibilitou o mapeamento da dinâmica e da atuação dos agentes.

A metodologia da Cartografia Ambiental elenca uma legenda padrão, com cores específicas para os dados e dinâmicas do meio. Além dos mapas finais elaborados com os tons de rosa e vermelho, o mapa de cobertura vegetal e uso e ocupação da terra foi elaborado, a partir de uma legenda padrão criada em consonância com esta metodologia. O mapa demonstra a capacidade e a competência do uso das cores em simplificar a linguagem dos mapas, o que pode ser um diferencial na leitura por parte de gestores e tomadores de decisão.

Nos mapas finais, elaborados em duas escalas, se expõem a complexidade do processo, além de demonstrar a necessidade de mapeamentos em escalas mais detalhadas. Estes mapeamentos mais detalhados não devem ser somente das feições ou do uso e ocupação da terra, mas de todos condicionantes que embasam o processo. Os mapas permitem uma síntese rápida, além de auxiliar em um monitoramento, caso eles já existam e não precisem ser produzidos.

O mapeamento utilizando essa nova metodologia foi efetuada em áreas de arenização, mas não invalida a aplicação em outras áreas que contenham dinâmicas geomorfológicas de erosão, transporte e deposição. O levantamento dos condicionantes pode ser efetuada em qualquer área, assim como também o levantamento das feições características e sua correlação com os agentes eólicos e hídricos e suas formas de atuação.

Como esta dissertação de mestrado está vinculada a um edital de pesquisa que concedeu recursos para a sua realização, os próximos passos deverão ser estipulados. Ou seja, com a estruturação de uma metodologia de mapeamento, ela poderá ser aplicada em todos os municípios com focos de arenização. Além disso, devem-se elencar técnicas de manejo e gestão das áreas com focos de arenização ou suscetíveis à arenização, levando em conta a sua complexidade.

O desenvolvimento e a estruturação da metodologia, com a criação de uma legenda padrão, se torna uma ferramenta importante para o mapeamento da arenização, bem como, na utilização em outros mapeamentos, efetuados tanto pelo Grupo de Pesquisas em Arenização/Desertificação, como pelo autor deste trabalho em seu futuro profissional.

## REFERÊNCIAS

ANDRADES FILHO, C. de O. ; SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A. **Atualização do mapeamento dos areais do sudoeste do RS através de imagens Landsat TM.** In: SIG-SUL2005 - Simpósio Integrado de Geotecnologias do Cone Sul, 2005, Canoas. Anais do SIG-SUL 2005 - Simpósio Integrado de Geotecnologias do Cone Sul. Canoas: UNILASALLE, 2005. p. 1-8.

ANDRADES FILHO, C. de O. ; GUASSELLI, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. Identificação de possíveis deformações tectônicas a partir de dados SRTM e sua relação com a gênese dos areais - sudoeste do Rio Grande do Sul. Em: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P.; GUASSELLI, L.A. **Arenização: natureza socializada.** Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 245-264.

ARCHELA, R.; et al. **Abordagem metodológica para Cartografia Ambiental.** Geografia (Londrina), Londrina – PR, v. 11, p. 57 -66, 2002.

ARCHELA, R; ROSOLEM, N.P. **Legenda geral do mapa ambiental de Londrina: ensaio metodológico de cartografia.** Confins (Paris), v. 6, p.05-20, 2009.

BEHLING, H.; PILLAR, V.D.; BAUERMAN, S.G. **Late quaternary grassland (Campos), gallery forest, fire and climate dynamics,** studied by pollen, charcoal and multivariate analysis of the São Francisco de Assis core in Western Rio Grande do Sul (Southern Brazil). Review of Palaeobotany and Palynology 133: 235-248, 2005.

BELLANCA, E. T. **Uma contribuição para a explicação da gênese dos areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul.** 87p. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS – BR, 2002.

BERTONI, J.; LOMBARTI NETO, F. **Conservação do Solo.** Piracicaba: Livroceres, 368p. 1985.

BRASIL, CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 238 – **Política Nacional de Controle da Desertificação.** Brasília, 1997.



CANAL, H. **Mapeamento Ambiental integrado: Município de Porto Alegre, RS.** Porto Alegre. 88p. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

CANAL, H. VERDUM, R. **Mapeamento Ambiental integrado: Município de Porto Alegre, RS.** Confins (Paris), v. 19, 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 2ª Ed. 1980.

CONSEMA, Conselho Estadual do Meio Ambiente Rio Grande do Sul, **Zoneamento Ambiental para a atividade de silvicultura no RS.** Porto Alegre, Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Hoessler, 2010. Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/zoneam\\_silvic.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/zoneam_silvic.asp). Acesso em: 22/02/2016.

EVERS, H. **Relação entre paleodrenagens/valões e a ocorrência de areais no sudoeste do RS.** Porto Alegre. 71p. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

DAGNINO, R.S. **Riscos Ambientais na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras, Campinas/São Paulo.** 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP, 2007.

DAL FORNO, M. A. R. **Os conflitos de uso da ocupação urbana em áreas de preservação permanente - APPs: Arroio Pessegueirinho, município de Santa Rosa, RS.** 2009. 112f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2009.

DE NARDIN, D. **Zoneamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: Um estudo em bacias hidrográficas.** 2009. 230 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2009.

FREITAS, E.M. **Arenização e fitossociologia da vegetação de campo no município de São Francisco de Assis, RS.** 142 f. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS – BR, 2006.

\_\_\_\_\_ **Campos de solos arenosos do sudoeste do Rio Grande do Sul: Aspectos florísticos e adaptativos.** 171f. Tese (doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Botânica. Instituto de Biociências. Porto Alegre, RS – BR, 2010.

GASS, S.L.B. **Zoneamento ambiental como subsídio para a definição das áreas de preservação permanente.** 2015. 320 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS – BR, 2015.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T.H. **Para entender a terra.** 6ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

GUASSELLI, L.A.; OLIVEIRA, M.G.; EVERS, H. **Avaliação dos impactos da expansão agrícola sobre as áreas suscetíveis à arenização Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí - Rio Grande do Sul - Brasil.** In: *XII Encuentro de Geografos de America Latina.* Montevideo. Caminando en una América Latina en transformación, 2009.

GUASSELLI, L.A. O mapeamento dos areais a partir de sensoriamento remoto. Em: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada.** Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 97-123.

GUASSELLI, L.A.; EVERS, H. Relação entre paleodrenagens/valões e a ocorrência de areais no sudoeste do RS. Em: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada.** Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 227-244.

JOURNAUX, André. **“Légende pour une Carte de l’environnement et de sa dynamique”.** Notes Techniques du MAB, 16, UNESCO, 1985.

JOURNAUX, André. **Baixada Santista, Memorial Descritivo.** Carta do meio ambiente e sua dinâmica. Metodologia do professor André Journaux, Caen, França. São Paulo: CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1985.

LACOSTE, Y. **A Geografia** – Isso serve em primeiro lugar para fazer a guerra. Ed. Papirus. Campinas, São Paulo, 1976.

MACHADO, J.L.F. **Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigrafico do Sistema de Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, 237p. Tese (doutorado), Programa de Pós Graduação em Geologia, Unisinos, 2005.

MACIEL FILHO, C.L.; MENEGHOTTO, E.; SARTORI, P.L. **Geologia do município de São Francisco de Assis – RS**. Santa Maria, 1971.

MARCHIORI, J.N.C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul: Campos sulinos**. Porto Alegre: EST, 2004.

MARTINELLI, M. PEDROTTI, F. A cartografia das unidades de paisagem: Questões metodológicas. São Paulo, 2001 **Revista do Departamento de Geografia**, n. 14, p.39-46.

OKIDO, R. **Paisagens em transformação: da técnica à percepção. Estudo sobre o avanço da lavoura de grãos dos municípios de São Francisco de Assis e Manoel Viana**. 2016. 162f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS-BR, 2016.

OLIVEIRA, M.G.; et al. **Áreas suscetíveis a dinâmica da arenização: bacia hidrográfica do rio Ibicuí RS/Brasil**. In: XVI Jornadas de Jóvenes Investigadores de la Asociación de Universidades Grupo Montevideo. Montevideo. Anais, 2008.

OLIVEIRA, M.G. **Análise morfopedológica da Bacia Hidrográfica do Arroio Inhacundá (RS)**. 2015. 211f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

OVERBECK, G.E.; et al. **Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos**. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics 9: 101-116, 2007.

PIRES DA SILVA, L. A. **Narrativas das percepções e conectividades de caminhantes nas paisagens dos areais pampeanos: perspectivas ambientais para a geração de ambiências**, 2008, 154f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, 2008.

\_\_\_\_\_. Paisagem com areais: ecossistema testemunho, uma janela temporal. Em: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 307-352.

REINEHR, M.A. **Métodos e técnicas para definir fontes potencialmente poluidoras em águas superficiais: Arroio Pessegueirinho - Município de Santa Rosa, RS.** 2002. 55f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2002.

RIBEIRO, J.C.C. **Discurso e construção do imaginário acerca dos areais nas políticas voltadas à arenização no sudoeste gaúcho.** 2015. 223 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Geografia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

ROCKETT, G.C. **Sensoriamento Remoto e Georradar aplicados a caracterização de sistemas deposicionais eólicos costeiros (uma revisão).** GRAVEL, Porto Alegre, Vol.12 – nº1, 15-39, 2014.

ROSSATO, M. S.; SUERTEGARAY, D. M. A. Terra: **Feições Ilustradas**, 2ª Ed. Porto Alegre: UFRGS, 2003, 263 p

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul:** Variabilidade, tendências e tipologia, 2011. 240 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, 2011.

ROSS, J.L.S. **O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a Questão da Taxonomia do Relevo.** In: Revista do Departamento de Geografia, n. 06, FFCLH/USP, São Paulo, 1991.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia: Ambiente e planejamento.** 8ª ed. São Paulo: Contexto, 2008.

ROVEDDER, A.P.M. **Potencial do *Lupinus albescens* Hook. & Arn. Para a recuperação de solos arenizados do Bioma Pampa.** 145 p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Santa Maria, BR-SP, 2007.

SCHERER, C.M.S.; LAVINA, E.L.C. **Stratigraphic evolution of fluvial-eolian succession: the example of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Guarú and Botucatu formations, Paraná Basin, Southern Brazil,** Gondwana Research, v.9, 2006.

SCOPEL, I. et al. Neossolos Quartzarênicos Órticos das áreas de areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul: Características físicas e morfológicas. Em: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA,

L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 503-540.

SIRANGELO, F. **Análise da atividade de silvicultura em relação aos areais, com base nas restrições estabelecidas no Zoneamento Ambiental para a UPN PC3, no sudoeste do RS**. Porto Alegre. 53p. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

STRECK, V.; et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222p

SUERTEGARAY, D.M.A. **A trajetória da natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quaraí - RS**. 1987. 243 f. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, São Paulo, BR-SP, 1987.

SUERTEGARAY, D.M.A.; MOURA, N.S.V.; NUNES, J.O.R. **São Francisco de Assis e Alegre: Uma análise geomorfológica da ocorrência de Areais**. In: Simpósio de geografia física aplicada, 1989. Nova Friburgo: Nova Friburgo, 1989.

SUERTEGARAY, D.M.A.; VERDUM, R.; GUASSELLI, L. (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, 85p. 2001.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A.; VERDUM, R.; BASSO, L. A.; MEDEIROS, R. M. V.; BELLANCA, E. T.; BERTÊ, A. M. de A. **Projeto Arenização no Rio Grande do Sul, Brasil: Gênese, dinâmica e espacialização**. Biblio 3W, Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales. Barcelona. n. 287 (2001). [8 f.]

SUERTEGARAY, D.M.A.; VERDUM, R. **Desertification in the tropics**. In: UNESCO. (Org.). Encyclopedia of life support systems (EOLSS). Paris: UNESCO Publishing, 2008.

SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. 597 p.

SUERTEGARAY, D.M.A. **Areais e a Arenização no contexto geográfico**. Em: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 41-72.

SUERTEGARAY, D.M.A. Arenização: análise morfogenética. Em: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 127-172.

TRAININI, D.R. **A influência da Neotectônica no assoreamento de Bacias**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, ABRH, CD-ROM. 2005.

TRICART, J. L.F. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/Supren, 1977. 97 p.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Identificação do processo de desertificação no Nordeste Brasileiro**. SEMA/SUDENE, Departamento de Desenvolvimento Local e Divisão de Saneamento Geral. Recife. Pernambuco, 1978.

VERDUM, R. **L'approche géographique des déserts dans les communes de São Francisco de Assis et Manuel Viana - RS - Brésil**. Toulouse: Université de Toulouse Le Mirail, 1997 (Tese de Doutorado).

VERDUM, R.; et al. **Desertificação: Questionando as Bases Conceituais, Escalas de Análise e Consequências**, GEOgraphia, Revista do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Vol. 3, nº6, 2001.

VERDUM, R.; SOARES, V.G. **Dinâmica de processos erosivos/deposicionais e microformas de relevo no interior dos areais, Sudoeste do Rio Grande do Sul, Brasil**. In: SINAGEO, 2010. Recife. Anais do VII Sinageo. Recife, 2010, p.01-12.

VERDUM, R. Descoberta permanente: das areias aos areais. Em: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 73-83.

VERDUM, R.; SUERTEGARAY, D.M.A. A morfodinâmica nos areais: os processos e as formas no presente, o tempo que faz (weathering). Em: SUERTEGARAY, D.M.A.; SILVA, L.A.P. da; GUASSELLI, L. A. **Arenização: natureza socializada**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2012. p. 173-185.

UAGODA, R.E.S. **Degraus de abatimento: estudo comparativo em cabeceiras de drenagem: bacia hidrográfica do Arroio Puitã e bacia hidrográfica das nascentes do Rio das Antas/RS**. Trabalho de Conclusão de Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 93p. 2004.

ANEXOS

1. Légende générale pour une cartographie intégrée de l'environnement et de sa dynamique.

I Les données de l'environnement / Environmental data

1 - Toponymie et topographie / Toponymy and topography

- Cote d'altitude (en mètres) / Altitude (in metres)
- Courbe de niveau (équidistance : 20 m) / Contour line (20 m intervals)
- Point de vue / Viewpoint
- Point de vue panoramique / Scenic lookout

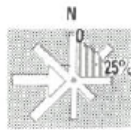
- Hauteur du versant / Height of slope
  - 20-50
  - 50-100
  - >100 m
- Talus / Slope
- Principales ruptures de pente / Major change of slope
- Bas de versant raide / Foot of steep slope

2 - Hydrographie et hydrologie / Hydrography and hydrology

- Domaine fluvial et lacustre / Lacustrine and fluvial area
- Débit moyen annuel / Mean annual discharge
  - <1 m<sup>3</sup>/s
  - 1-10
  - >10 m<sup>3</sup>/s
- Cours d'eau pérenne / Permanent waterway
- Drainage temporaire ou talweg de vallée sèche / Seasonal waterway or dry valley thalweg
- Cours ancien / Former riverbed
- Source / Spring
- Perte / Disappearing waterway
- Résurgence / Reappearing waterway
- Cascade / Cascade
- Etang / Pond
- Zone inondable fréquemment / Floodplain
- Captage d'eau / Water catchment
- Ecoulement diffus / Scattered flow

- Domaine maritime / Maritime area
  - Hauteur de la falaise / Cliff height
    - <20 m
    - 20-50
    - >50 m
  - Côte à falaise / Coastal cliff
  - Côte basse / Low-lying coast
  - Platier rocheux / Rocky flat
  - Accumulation marine / Marine deposit
  - Silke et schorre (zone inondable d'eau saumâtre) / Silke and schorre (tidal marsh)
  - Courbe bathymétrique / Bathymetric contour
  - Laisse de marée / High-water mark
  - Diagramme des courants de marée et sa résultante / Tidal current and counter-current
  - Courant de flot / Flow-tide
  - Courant de jusant / Ebb-tide
  - Contre-courant / Counter-current
- } Courants de marée côtiers / Coastal tidal currents

3 - Air - Les conditions climatiques / Air-climatic conditions (in white)



- A la station météorologique avec : / At the meteorological station
- 1. Une rose des vents et la direction principale du vent / Compass card showing direction of prevailing wind
- 2. Le pourcentage de calmes atmosphériques (par un secteur qui est égal au nombre de cas d'absence de mouvements d'air rapporté à la totalité de l'enregistrement) / Percentage of atmospheric calms (shown as a pie-graph representing the frequency of observed absences of air movement over all records air movements)

4 - Espaces bâtis / Settled areas

Les types d'habitat et leur évolution (datation en fonction de la région étudiée) / Residential typology and chronology (dates used according to region studied)

- Avant 1962 / Before 1962
- Après 1962 / After 1962
- En construction / Under construction
- Habitat continu et grands ensembles / Continuous settlement including apartment blocks
- Habitat discontinu et pavillonnaire / Discontinuous settlement including detached housing

Les zones industrielles / Industrial zones

- Avant 1962 / Before 1962
- Après 1962 / After 1962
- Prévues ou équipées / Planned or under development
- Etablissement industriel / Industrial plant
  - important / major
  - secondaire / secondary
- Habitation isolée récente / New isolated house
- Eglise ou chapelle / Church or chapel
- Cimetière / Cemetery
- Château ou manoir / Chateau or manor house
- Monument / Monument
- Casino / Casino
- Autoroute / Expressway
- Route importante (à grande circulation) / Main road
- Route secondaire (à circulation moyenne ou faible) / Secondary road
- Ancienne fortification / Old fortifications
- Camping / Campground
- Stade ou hippodrome / Stadium or racetrack
- Terrain de golf / Golf course
- Phare ou ancien phare / Lighthouse or abandoned lighthouse
- Sémaphore / Signal station
- Feu de signalisation / Signal light
- Bouée (lumineuse ou non) / Buoy (lighted or not)
- Château d'eau / Water tower
- Réservoir d'eau / Water reservoir
- Station de pompage / Pump station
- Puits / Well
- Projet d'autoroute / Projected expressway
- Projet de route / Projected road
- Voies de chemin de fer et tunnels / Railway tracks and tunnel

5 - Espaces labourés / Cultivated areas

Avant 1962 / Before 1962    Après 1962 / After 1962

Labours et prairies temporaires / Cropland and temporary grassland

Progression des labours et des prairies temporaires  
Extension of cropland and temporary grassland

Sur forêts / Over forest    Sur steppe / Over heath

6 - Espaces verts / Green spaces

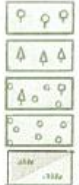
Formations arbustives et arborescentes / Bush and treed zones

Végétation en équilibre / Climax vegetation

Avant / Before 1962    Après / After 1962



Végétation spontanée / Recant vegetation

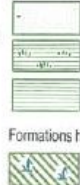


Feuillus / Deciduous  
Futaie / Woods  
Résineux / Coniferous  
Taillis sous futaie / Underbush  
Taillis et jeunes peuplements / Underbush and new growth  
Steppe arbustive / Bush steppe  
Reboisement / Reforestation  
Coupe avant reboisement / Logged land  
Parc / Park  
Complantage / Scattered trees  
Vergers / Orchard

Formations herbacées / Herbacious zones

Végétation en équilibre / Climax vegetation

Avant / Before 1962    Après / After 1962



Prairies permanentes / Permanent prairie  
Pelouse et landes herbacées / Grassy and weedy heath  
Pelouse des aires de loisirs / Park lawns  
Formations hygrophiles / Hygrophilous zones  
Formations de marais / Swampland  
Formations halophiles / Halophilous zones  
Formations de schorre / Schorre zones

A general legend for an integrated cartography of the environment and its dynamics A. JOURNAUX

II La dynamique de l'environnement / Environmental dynamics

7 - Dégradations de la surface de la terre / Surface degradation

Modifications et dégradations naturelles / Natural causes

- Engraissement du littoral / Shore deposits
- Erosion du littoral / Shore erosion
- Sapement des berges des rivières et des lueves / Collapse of riverbanks
- Versant dégradé par le ruissellement / Slope degradation by surface run-off
- Versant dégradé par la suffosion / Slope degradation by earth creep
- Coulees boueuses / Mud flows
- Terrassettes, Pieds de vache / Terraces (sheep tracks)
- Glissement / Earth slip
- Eboulement / Rock slide
- Zone inondable exceptionnellement / Rarely flooded zone
- Végétation menacée par feux de brousse / Bush fire threatened vegetation

Dégradations provoquées par l'homme avec : / Caused by men

- Dépôt d'ordures sauvages / Unauthorized dump
- Décharge communale autorisée / Authorized community dump
- Décharge industrielle autorisée / Authorized industrial dump
- Dépôt d'explosifs et son périmètre de protection / Explosives storage area and protection zone
- Dépôt de gaz / Gas storage area
- Les carrières exploitées / Quarry in use
- Les anciennes carrières / Abandoned quarry
- Les gravières, les rejets de dragage, avec accumulation de matériaux / Gravel pit, dredging dumps
- Les couloirs des lignes à haute tension / High tension powerlines
- Les oléoducs / Oil pipeline
- Les gazoducs / Gas pipeline

8 - Pollution de l'eau / Water pollution

Les formes de pollution de l'eau / Forms of water pollution

Pollution bio-chimique des cours d'eau / Biochemical pollution

Débit moyen annuel / Mean annual discharge

- < 1 m<sup>3</sup>/s    1-10    > 10 m<sup>3</sup>/s    Cours d'eau non pollué / Unpolluted waterway
- Cours d'eau moyennement pollué / Moderately polluted waterway
- Cours d'eau très pollué / Heavily polluted waterway

Pollution bactériologique et chimique du littoral / Bacteriological and chemical shore pollution

- Littoral non pollué / Unpolluted shore
  - Littoral moyennement pollué / Moderately polluted shore
  - Littoral très pollué / Heavily polluted shore
  - + 4 °C    Pollution thermique / Thermal pollution
  - Pollution radioactive / Radioactive pollution
  - Pollution mécanique / Mechanical pollution
- } Pollution physique / Physical pollution.

● Point de prélèvement / Sampling point






Les sources de pollution de l'eau / Sources of water pollution

- Les usines / Factories
- Les dépôts d'hydrocarbures, de produits chimiques / Fuel and chemical storage depots
- Les stations d'épuration fonctionnant mal / Malfunctioning water treatment plants
- Les carrières / Quarries
- Les effluents urbains et industriels / Urban and industrial effluents
- Les élevages industriels / Large scale breeding farms
- Les résidus pétroliers / Oil slicks
- Les pesticides et les engrais chimiques avec / Pesticides and chemical fertilizers
- Une pollution de la nappe phréatique par infiltration / with water-table pollution by infiltration
- Une pollution du cours d'eau par ruissellement / with waterway pollution by run-off



9 - Pollution de l'air / Air pollution

Les formes de pollution de l'air (représentées par des secteurs pollués) / Forms of air pollution

-  Les poussières insolubles / Insoluble particles
-  La fumée / Smoke
-  Le brouillard chimique-smog (acidité forte) / Smog
-  L'odeur / Odor
-  Le bruit / Noise

Les sources de pollution de l'air / Sources of air pollution

-  Les usines, les torchères / Factories and flares
-  Les carrières / Quarries
-  Les décharges / Dumps
-  Suivant les couleurs d'approche des aéroports / Airport landing paths

10 - Travaux de défense et d'amélioration de l'environnement / Environmental improvement works


Lutte contre les dégradations naturelles / Works to counter natural degradation

-  Levée, digue et épis pour lutter contre l'érosion du littoral / Levee, seawall and breakwater








Lutte contre les dégradations provoquées par l'homme / Works to counter man-made degradation

-  Transformation d'une décharge / Dump improvement
-  Réseau du tout-à-l'égout / Sewage system
-  Station d'épuration industrielle / Industrial treatment plant
-  Station d'épuration communale / Community treatment plant
-  Station de déballastage / Landfill site
-  Usine avec dispositif pour lutter contre sa pollution atmosphérique / Factory equipped with anti-pollution devices
-  Usine équipée insuffisamment pour lutter contre sa pollution / Factory insufficiently equipped with anti-pollution devices

-  Aire de protection des zones de captage d'eau / Protection zone around water catchment area

-  Usine de traitement d'eau potable / Water filtration plant

Protection des espaces naturels et des monuments / Protection of natural landscapes and monuments

-  Monument historique classé ou inscrit et son périmètre de protection (500 m) / Classified or recorded historical monument with protection zone (500 m)
-  Site classé ou inscrit et son périmètre de protection / Recorded or classified site with protection zone
-  Point de vue protégé / Protected viewpoint
-  Secteur sauvegardé / Preserved area
-  Réserves naturelles, espaces boisés classés / Natural reserves, classified wooded areas
-  Aires sensibles aires à caractère pittoresque, aires scientifiques de grand intérêt / Sensitive zones, picturesque areas, scientific areas
-  Gisement coquillier classé et zone insalubre / Protected fossil deposit and unsanitary area