

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

**ELABORAÇÃO DE UM SIG PARA AUXÍLIO NA GESTÃO COSTEIRA  
DOS RECURSOS ENERGÉTICOS NÃO RENOVÁVEIS DO SUL DA  
PLANÍCIE COSTEIRA SUL DO RS.**

RICARDO AUGUSTO LENGLER FRANCHINI

ORIENTADOR – Prof. Dr. Ricardo Norberto Ayup-Zouain

**Volume I**

**Porto Alegre 2014**

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

**ELABORAÇÃO DE UM SIG PARA AUXÍLIO NA GESTÃO COSTEIRA  
DOS RECURSOS ENERGÉTICOS NÃO RENOVÁVEIS DO SUL DA  
PLANÍCIE COSTEIRA SUL DO RS.**

RICARDO AUGUSTO LENGLER FRANCHINI

ORIENTADOR – Prof. Dr. Ricardo Norberto Ayup-Zouain

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jefferson Cardia Simões

Prof. Dra. Tânia Marques Strohaecker

Prof. Dra. Flavia Cristiane Farina

Dissertação de Mestrado apresentada  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Mestre em Geociências



## Agradecimentos

Considero o término do mestrado uma grande vitória na minha vida e mais um sonho realizado, mas não conseguiria sem ajuda de várias pessoas. Por isso meus mais sinceros agradecimentos:

A toda minha família pelo apoio, por estar do meu lado nas escolhas que fiz. Agradeço a todos meus tios, tias primos e primas pela torcida a cada passo que eu dava em direção ao término dessa etapa.

Ao meu antigo orientador prof. Nelson Luiz S. Gruber pelo apoio, amizade e por acreditar em mim me dando a oportunidade de entrar no CECO e posteriormente me indicando para meu atual orientador;

Um agradecimento especial ao meu orientador prof. Ricardo Norberto Ayup-Zouain pela amizade, companheirismo e incentivo diário e por acreditar no meu trabalho e incentivar a continuar desenvolvendo por mais quatro anos na busca do doutorado.

As minhas co-orientadoras prof<sup>a</sup>. Flavia Farina e prof<sup>a</sup>. Tatiane Silva pela amizade, ajuda e paciência à medida que eu chegava com dúvidas no desenvolvimento do trabalho.

Agradecimentos especiais também ao colega e amigo Rafael Mastracusa pela parceria e amizade, seja em ambiente de trabalho ou no dia-a-dia. Parceria e amizade que se conserva ao longo do tempo.

Agradeço aos colegas e amigos do PPGGEO, CECO e LABMODEL pela parceria nos trabalhos e amizade e companheirismo nos momentos de descontração, momentos estes essenciais para o bom convívio ao longo deste período do curso e bom rendimento dos trabalhos envolvidos.

Agradeço aos colegas, parceiros de trabalho e amigos Luana Portz e Rogério Manzolli pela força e ajuda de sempre.

Agradeço aos colegas e amigos do PPGGEO Júlio, Carla Danielle, Anderson Bianchini, Samanta, Fred, Inaiê, Volney, Gabriela, Renato Cecílio, Eduardo Martins, Ana Rita, Eduardo Bortolin, Limara, Túlio, Michel Ivanoff e Heitor pela parceria e amizade nesta fase acadêmica.

Agradeço ao programa Canal Plus por todo o auxílio e investimento nos ideais do projeto no estudo de modelos para caracterização de análogos de reservatórios.

A CAPES pela bolsa de estudos, auxílio e incentivo à educação. E não diferente a universidade Federal do Rio Grande do Sul, através do Programa de Pós-graduação em Geociências.

E por fim, o meu maior agradecimento aos meus pais, darlan e tânia por terem sempre me apoiado e me dado suporte para realização dessa etapa e ao meu irmão guilherme que sempre me perguntava como estava o mestrado e demonstrava uma alegria muito grande ao ver que eu estava indo bem.

## Resumo

Atualmente vivenciamos um maior interesse na realização de pesquisas de base tecnológica, cujas aplicações estão diretamente vinculadas à sustentabilidade do planeta a partir do uso de energias renováveis como alternativas aos combustíveis fósseis. Os Municípios de Santa Vitória do Palmar e Chuí, localizados na Planície Costeira Sul do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil, integrantes dos arranjos de fronteira, apresentam grandes áreas propícias à utilização de técnicas de geração e aplicação de energias renováveis. A extensão espacial, o contexto geológico, geomorfológico e climático desses municípios revelam sua enorme potencialidade para a instalação de fontes geradoras de energia para a sociedade. O presente trabalho tem como objetivo identificar as áreas potenciais, para energias renováveis nos municípios de Santa Vitória do Palmar e Chuí através da elaboração de um SIG (Sistema de Informações Geográficas) elaborado a partir do uso de técnicas de sensoriamento remoto e abordagem de campo. A caracterização da área de estudo, foi executada através da pesquisa bibliográfica e cartográfica; do levantamento e observações no campo, e da análise com técnicas de Geoprocessamento (Sensoriamento Remoto e SIG). A elaboração do SIG, como ferramenta, nos propiciou a organização do Banco de Imagens do satélite LANDSAT 5 do ano de 2011 com resolução espacial de 30m para análise e identificação das áreas observadas e analisadas em campo. A vetorização dos diferentes espaços relativos ao uso e cobertura do solo ocorreu com a aplicação do *software* ArcGIS 10®. Como a área de abrangência, envolve toda a linha da costa da Planície Costeira Sul do Rio Grande do Sul, aplicamos o mapeamento do uso do solo e cobertura dos municípios, em virtude de ficar implícito, além da análise e interpretação digital espacial do potencial produtivo, a análise comparativa das práticas sócio-econômicas envolvidas no uso das áreas para aplicação de tecnologias como Fontes de energias renováveis. Foi possível mapear as áreas potenciais de biocombustíveis, representadas pelas culturas de: soja, arroz, reflorestamento e campo concomitantemente com as áreas que foram incluídas nos programas do governo para a implementação dos parques eólicos e analisada a área de estudo para possível uso de energia solar.

## Abstract

Currently we experience a greater interest in conducting research for technological base, where applications are directly linked to the sustainability of the planet from the use of renewable energy sources as alternatives to fossil fuels. The municipalities of Santa Vitória do Palmar and Chui, located in the coastal plain south of the state of Rio Grande do Sul - Brazil, members of the arrangements of the border, have large conducive to the use of techniques for generating and applying renewable energy areas. The spatial extent, geological, geomorphological and climatic context of these municipalities reveal its huge potential for the application of power generating sources to society. This study aims to identify potential areas for renewable energy in the municipalities of Santa Vitória do Palmar and Chui through developing a GIS (Geographic Information System) developed from the use of remote sensing techniques and field approach. The characterization of the study area, was performed by the bibliographic and cartographic research, the survey and field observations, and analysis techniques with GIS (Remote Sensing and GIS). The development of GIS as a tool, provided us with the organization of the Bank of the LANDSAT 5 Images of the year 2011 with a spatial resolution of 30m for analysis and identification of areas observed and analyzed in the field. The vectorization of different areas related to the use and land cover occurred with the application of ArcGIS® 10 software. As the coverage area, involves the entire coast line of the Southern Coastal Plain of Rio Grande do Sul, we apply the mapping of land use and coverage of municipalities, due to be implied, in addition to spatial analysis and digital interpretation of the productive potential a comparative analysis of socio-economic practices involved in the use of areas for application of technologies such as renewable energy sources. It was possible to map the potential areas of biofuels, represented by crops: soybeans, rice, forestry and field concurrently with the areas that were included in the government's programs for the implementation of wind farms and analyzed the study area for possible use of solar energy.

## Lista de Figuras

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, MUNICÍPIOS DE SANTA VITÓRIA DO PALMAR E CHUÍ - RS.	13
FIGURA 2: GEOLOGIA DA PLANÍCIE COSTEIRA DO RIO GRANDE DO SUL, COM DESTAQUE A ÁREA DE ESTUDO AO SUL (MODIFICADO DA BASE GEOLOGIA EXTRAÍDA DO SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM)	15
FIGURA 3: ACERVO DA EMBRAPA SOLOS - PERFIL SIBCS, ITAGUAÍ-RJ	17
FIGURA 4: TIPOS DE SOLOS NOS MUNICÍPIOS DE SANTA VITÓRIA DO PALMAR E CHUÍ MODIFICADO DO ATLAS SOCIOECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL, 2012).	18
FIGURA 5: SISTEMAS DE CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA QUE ATUAM SOBRE O CLIMA DO RIO GRANDE DO SUL ADAPTADO DE NILMER, 1979.	20
FIGURA 6: ROSA-DOS-VENTOS, VETORES DE FREQUÊNCIA ANUAL (CAMARGO ET AL, 2002).	21
FIGURA 7: UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E ÁREAS PROTEGIDAS DO RIO GRANDE DO SUL (ATLAS SOCIOECONOMICO, 2013).	22
FIGURA 8: POLIGONAL DE AMPLIAÇÃO DA ÁREA DA ESEC DO TAIM (FONTE: ICMBIO, 2012).	23
FIGURA 9: INTERFACE DO SOFTWARE ARCGIS®10, MONTAGEM DA BASE DE IMAGENS DE SATÉLITE E BANCO DE DADOS CARTOGRÁFICOS.	26
FIGURA 10: COMPONENTES DE UM SIG (FONTE: IDRISI, 2011).	27
FIGURA 11: INTERFACE DO <i>MODEL BUILDER</i> (ARCGIS 10®).	28
FIGURA 12: MODELO DE FLUXOGRAMA FEITO ELABORADO ATRAVÉS DO <i>MODEL BUILDER</i> .	29
FIGURA 13: VELOCIDADE MÉDIA ANUAL DE VENTOS A UMA ALTURA DE 50M.	33
FIGURA 14: VELOCIDADE MÉDIA ANUAL DE VENTOS A UMA ALTURA DE 75M.	34
FIGURA 15: VELOCIDADE MÉDIA ANUAL DE VENTOS A UMA ALTURA DE 100M.	35
FIGURA 16: MAPEAMENTO DA MÉDIA ANUAL DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA, COM UNIDADES EM MJ/M <sup>2</sup> / DIA (TIBA ET. AL. 2000).	38
FIGURA 17: MAPEAMENTO DA MÉDIA ANUAL DA INSOLAÇÃO DIÁRIA, COM UNIDADES EM HORAS (TIBA ET. AL. 2000).	39
FIGURA 18: MAPA DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL HORIZONTAL MÉDIA ANUAL DIÁRIA PARA O RIO GRANDE DO SUL (MARTINAZZO, 2004).	40
FIGURA 19: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE CASCA DE ARROZ UTILIZADA COMO ENERGÉTICO NO RS, NO PERÍODO DE 2005 A 2010.	43

## Lista de Tabela

TABELA 1: PRODUTORES DE BIOENERGIA EM 2007.

42

## Sumário

1. Introdução.....	11
2. OBJETIVO GERAL.....	12
2.1. Objetivos específicos.....	12
3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	13
3.1. Localização da Área de Estudo.....	13
3.2. Contexto Geológico.....	14
3.3. Compartimentação Edafológica (Solos).....	16
3.4. Clima e Regime de Ventos.....	19
3.5. Unidade de Conservação.....	22
4. CARACTERIZAÇÃO ANTRÓPICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	24
5. Geoprocessamento.....	25
5.1. Geoprocessamento e base de dados para o estudo.....	25
5.2. Base Cartográfica.....	25
5.3. Estruturação dos Sistemas de Informações geográfico (SIG).....	26
5.4. A importância do SIG para o trabalho.....	29
6. ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	30
6.1. Energia Eólica.....	30
6.1.1. Dados Eólicos Aplicados ao Estudo.....	31
6.1.2. Relação Altura da Torre X Diâmetro do Rotor X Energia.....	31
6.1.3. Relação Rugosidade X Velocidade dos Ventos.....	32
6.2. Energia Solar.....	36
6.2.1. Dados solarimétricos aplicados ao estudo.....	37
6.3. Biomassa.....	41
6.3.1. Dados de biomassa aplicados ao estudo.....	42
7. Metodologia Geral.....	44
<b>Renewable Energy Potential of the Coastal Municipalities in Southern Brazil: a GIS-based analysis.....</b>	<b>50</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o relatório de Balanço Energético do Rio Grande do Sul de 2007 se prevê um crescimento do consumo de todas as fontes de energia. Estima-se que o petróleo, gás natural, carvão e outros combustíveis líquidos continuarão suprimindo a demanda de consumo de energia no mundo até 2030 sem maiores alterações em seus valores de mercado.

Já no Balanço Energético do Rio Grande do Sul de 2011 através de dados extraídos do International Energy Outlook – IEO 2010 mostram um panorama e tendência mundial de consumo de energia. Para o ano de 1990 os dados mostram um consumo de energia de 8.947 bilhões de toneladas equivalentes de e para o ano de 2007 um consumo de 12,48 bilhões. No mesmo relatório chama-se a atenção para a taxa de crescimento médio desse consumo, cerca de 1,4% ao ano. Sendo assim, estima-se que em 2035 o consumo de toneladas equivalentes de petróleo chegará a 18, 616 bilhões.

Com vista em diversificar e aumentar o uso por fontes renováveis, o governo brasileiro vem criando leis e programas de incentivo para adotar fontes de energias renováveis, como por exemplo, o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFRA) e o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios (PRODEEM).

Segundo Bermann, 2001 a energia é uma mercadoria de importante valor político-econômico na medida em que a oferta de preços funciona como mecanismo de regulação da atividade produtiva.

Assim, é necessário que seja realizado um levantamento regional preliminar visando identificar locais que apresentem as características ideais para a implantação desses sistemas (AYDIN, KENTEL e DUZGUN, 2010).

Os Municípios de Santa Vitória do Palmar e Chuí, localizados no sul do Estado do Rio Grande do Sul – Brasil, integrantes dos arranjos de fronteira, apresentam grandes áreas propícias à utilização de técnicas de geração e aplicação de energias renováveis. A extensão espacial, o contexto geológico, geomorfológico e climático desses municípios revelam sua enorme potencialidade para a instalação de fontes geradoras de energia para a sociedade.

Para tanto, como ferramenta de uso à implementação de novas tecnologias para a exploração de energias renováveis, deve-se partir de uma proposta e análise baseadas em dados geográficos. Dessa maneira o instrumento mais acessível e de grande exatidão é o geoprocessamento abrangendo as áreas de Sensoriamento Remoto e SIG (Sistemas de Informações Geográfico).

## **2. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem como objetivo identificar as áreas potenciais, para energias renováveis nos municípios de Santa Vitória do Palmar e Chuí através da elaboração de um SIG (Sistema de Informações Geográficas) elaborado a partir do uso de técnicas de sensoriamento remoto e abordagem de campo.

### **2.1. Objetivos específicos**

- Descrever as características físico-ambientais e antrópicas da área de estudo;
- Construir um banco de dados em Ambiente SIG;
- Identificar e mapear as áreas potenciais às energias providas do vento, solar e biomassa a partir do banco de dados gerado;
- Analisar o potencial energético para energia eólica, solar e biomassa;
- Elaboração de artigo apresentando dados mais específicos e resultados sobre o tema proposto.

### 3. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1. Localização da Área de Estudo

A área de estudo abrange os municípios de Santa Vitória do Palmar e Chuí, localizados no litoral sul do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Esses municípios tem como divisas à norte o município de Rio Grande, à oeste a Lagoa Mirim, à leste o Oceano Atlântico e a sul a República do Uruguai .

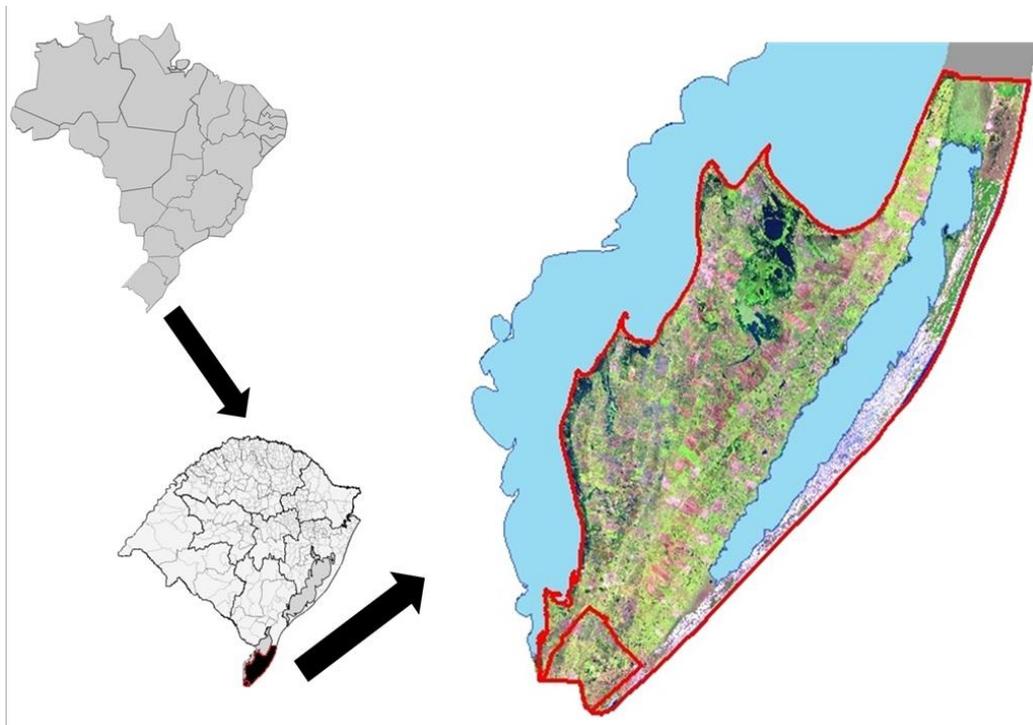


Figura 1: Localização da área de estudo, municípios de Santa Vitória do Palmar e Chuí - RS.

### 3.2. Contexto Geológico

A área de estudo, compreendendo os municípios de Santa Vitória do Palmar e Chuí, faz parte do arcabouço geológico da planície costeira do Rio Grande do Sul (PCRGs), parte emersa da bacia de pelotas (Villwock & Tomazelli, 1995).

Villwock (1984), Villwock *et. al.* (1986) e Villwock & Tomazelli (1995) descrevem a PCRGs como sendo um conjunto de ambientes deposicionais costeiros originados a partir das variações do nível médio relativo do mar durante o período do Quaternário, o que veio a formar uma sequência complexa deposicional do tipo laguna/barreira (sistemas 1, 2 e 3 pleistocênicos; e sistema 4 holocênico).

Segundo a classificação dos autores, a sequência geológica da área de estudo está definida pelos sistemas deposicionais laguna/barreira 2 e 3 (sistemas pleistocênicos) e laguna/barreira 4 (sistema holocênico). São características destes sistemas, feições morfológicas como antigos canais preenchidos, cordões de dunas e terraços lagunares, todas expostas a processos dinâmicos de costa no passado, e hoje consolidados na região costeira do estado (Ayup-Zouain *et. al.*, 2003) como mostra a Figura 2.

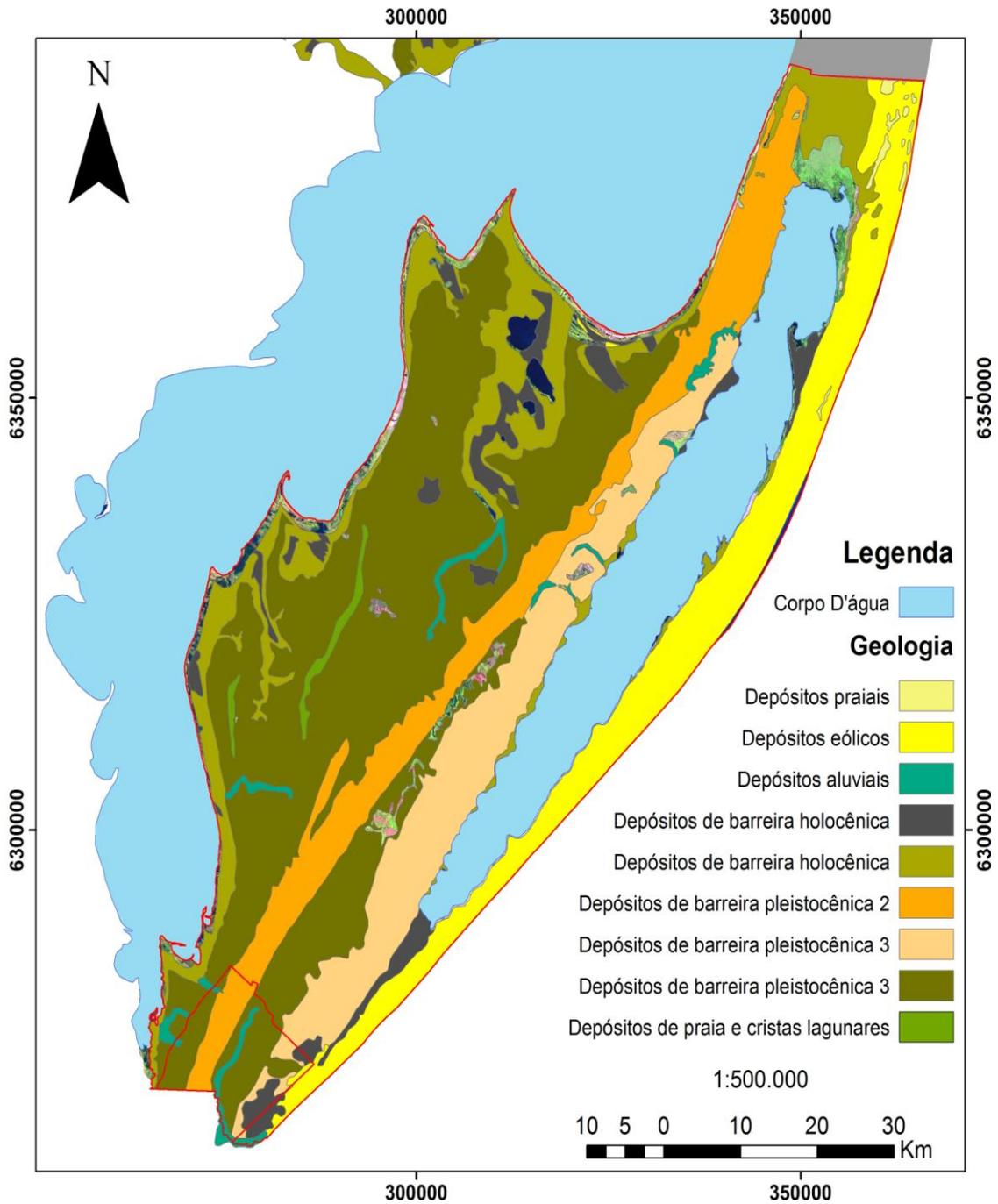


Figura 2: Geologia da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, com destaque a área de estudo ao sul (Modificado da base geologia extraída do Serviço Geológico do Brasil - CPRM)

### 3.3. Compartimentação Edafológica (Solos)

Pode-se caracterizar a área de estudo através dos tipos de solo, já que podemos associar a mudança de horizontes e paisagens a mudanças das unidades de solos (Figura 3).

Nos municípios de Santa Vitória do Palmar e Chuí encontramos cinco tipos de solos, conforme a classificação dos solos do Atlas socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2012 que tem como base os dados fornecidos por levantamentos da EMATER/DIT, UFRGS/Departamento de solos (Figura 4).

**Gleissolo:** Apresentam pouca profundidade, são mal drenados, de cor acinzentada ou preta e ocorrem em depressões com baixa declividade. A capacidade de uso é associada ao cultivo de arroz irrigado e, quando drenados, à culturas anuais como milho, soja, feijão e pastagens.

**Chernossolo:** Variam de rasos a profundos, bem drenados e escuros devido a forte presença de matéria orgânica. Possuem alta fertilidade química, podendo ser aproveitados com maior intensidade, de acordo com as formas de relevo associadas. Nas várzeas dos rios apresentam maior potencial para culturas anuais, especialmente para arroz irrigado. Nos locais mais planos, os usos indicados são fruticultura, silvicultura e culturas anuais.

**Neossolo:** São pouco desenvolvidos e normalmente rasos, de formação muito recente, com sedimentos inconsolidados arenosos, sílticos e argilosos, baixa concentração de matéria orgânica, encontrados nas mais diversas condições de relevo e drenagem. O uso está restrito ao relevo e a baixa profundidade, exigindo práticas conservacionistas severas. Em geral, as áreas de relevo suave ondulado e ondulado podem ser utilizadas para pastagens permanentes e, nas regiões de relevo forte ondulado, para reflorestamento e fruticultura. Deve-se evitar culturas anuais.

**Planossolo:** São localizados em áreas de relevo suave, ondulados ou planos e mal drenados, sendo aptos para o cultivo de arroz irrigado e, com sistemas de drenagens eficientes, também podem ser cultivados milho, soja e pastagens.

**Organossolo:** São localizados em áreas baixas de várzeas, depressões sob vegetação hidrófila, florestal ou campestre, ou em ambientes úmidos de altitudes elevadas. Compreende solos provenientes de material originário de natureza predominantemente orgânica, apresentando coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada com grande proporção de resíduos vegetais em graus variados de decomposição. Apresentam limitações ou mesmo restrições ao uso agrícola, nas áreas que apresentam maiores teores de materiais sulfídricos, de sais e de enxofre responsáveis por toxidez à maioria das culturas. Já nas áreas de média a alta saturação por bases (eutróficos) indicam fertilidade natural mais alta, o que aumenta o potencial de uso agrícola destes solos.

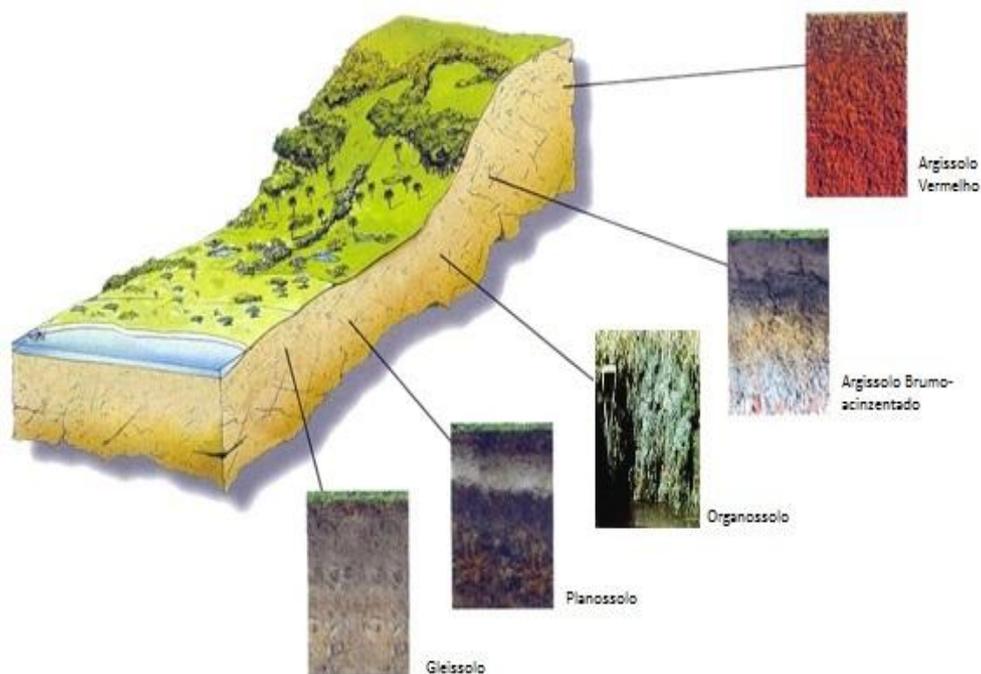


Figura 3: Acervo da Embrapa Solos - Perfil SiBCS, Itaguaí-RJ

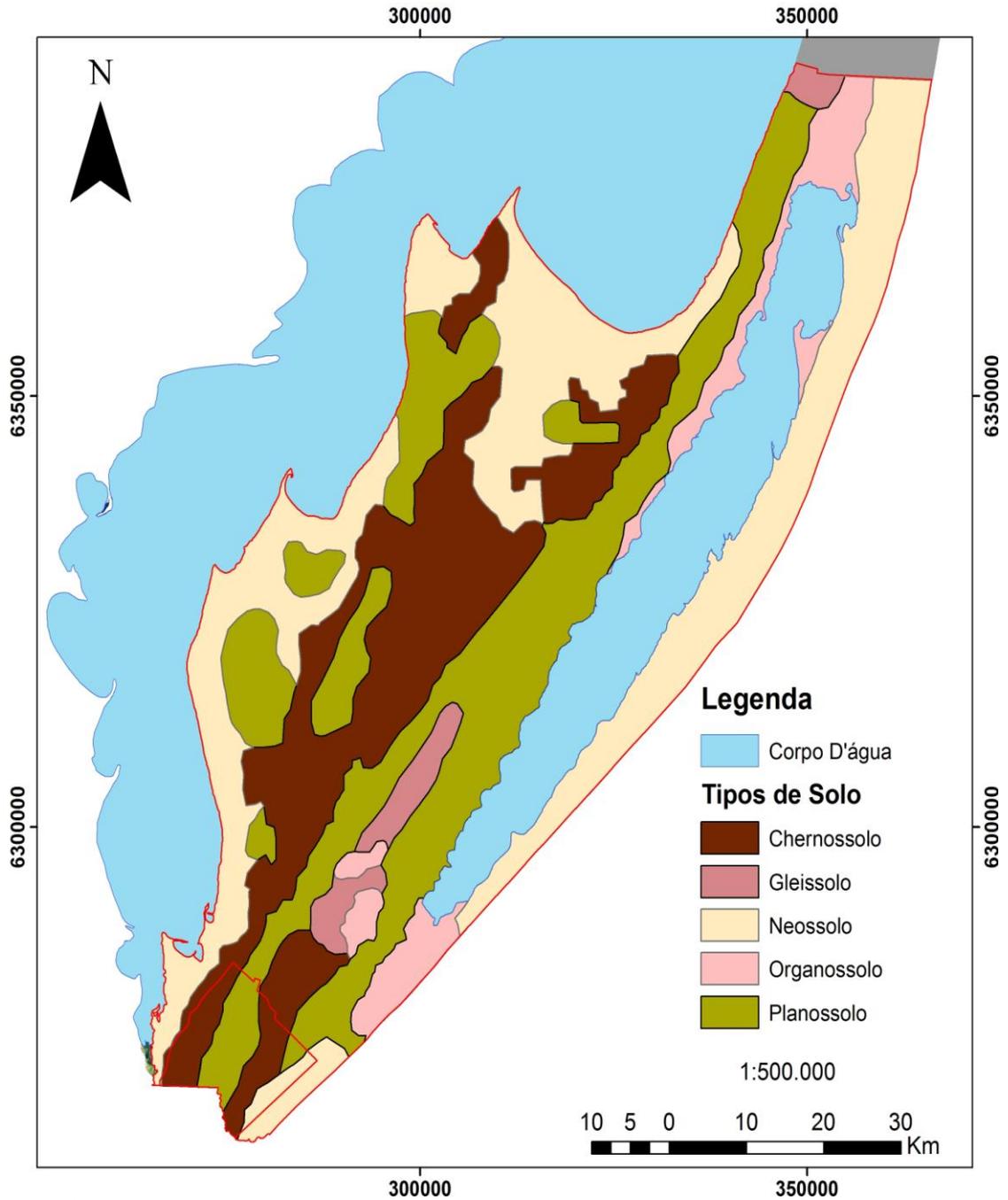


Figura 4: Tipos de solos nos municípios de Santa Vitória do Palmar e Chuí modificado do Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2012).

### 3.4. Clima e Regime de Ventos

Segundo a classificação de Köppen (1918) citado por Strahler (1978) o clima do litoral gaúcho é do tipo Cfa ou subtropical úmido.

O clima da planície costeira do Rio Grande do Sul é influenciado por fatores estáticos e dinâmicos. Dentre os fatores estáticos, cita-se a posição relativa à latitude (média latitude, 30°), a maritimidade e a topografia da planície costeira que, sem a influência de desníveis altimétricos, permite aos fatores eólicos e oceânicos atuar sem grandes interferências.

Os fatores dinâmicos são condicionados pelos principais centros de ação atmosférica, a saber: o anticiclone Polar do Atlântico Sul e o anticiclone móvel polar, ilustrados na Figura 5. Os dois sistemas caracterizam a circulação atmosférica regional, bem como em todo o sul do continente, drenando massas de ar por efeito de variações termodinâmicas (VIEIRA & RANGEL, 1988). O Anticiclone móvel Polar, é alimentado por massas de ar frias, oriundas da Antártica que se deslocam no sentido SW-NE. Estas massas de ar frias provocam o aparecimento de uma zona depressionária localizada entre os dois centros de alta pressão para qual os ventos convergem. Tais ventos convergentes ou ciclônicos, frequentemente são acompanhados da instabilidade do tempo e precipitação pluviométrica (NIMER, 1989).

Durante a primavera e o verão, o anticiclone móvel polar enfraquece, devido ao maior grau de insolação incidente sobre o hemisfério sul, logo o estado fica sob a influência das massas de ar tropicais marítimas dos ventos de quadrante E-NE. Durante o inverno, o anticiclone polar móvel ganha força e promove o deslocamento de massas de ar frio, promovendo a frontogênese resultante do encontro das massas tropicais marítimas e polares marítimas, fator que responde pela grande precipitação pluviométrica no período.

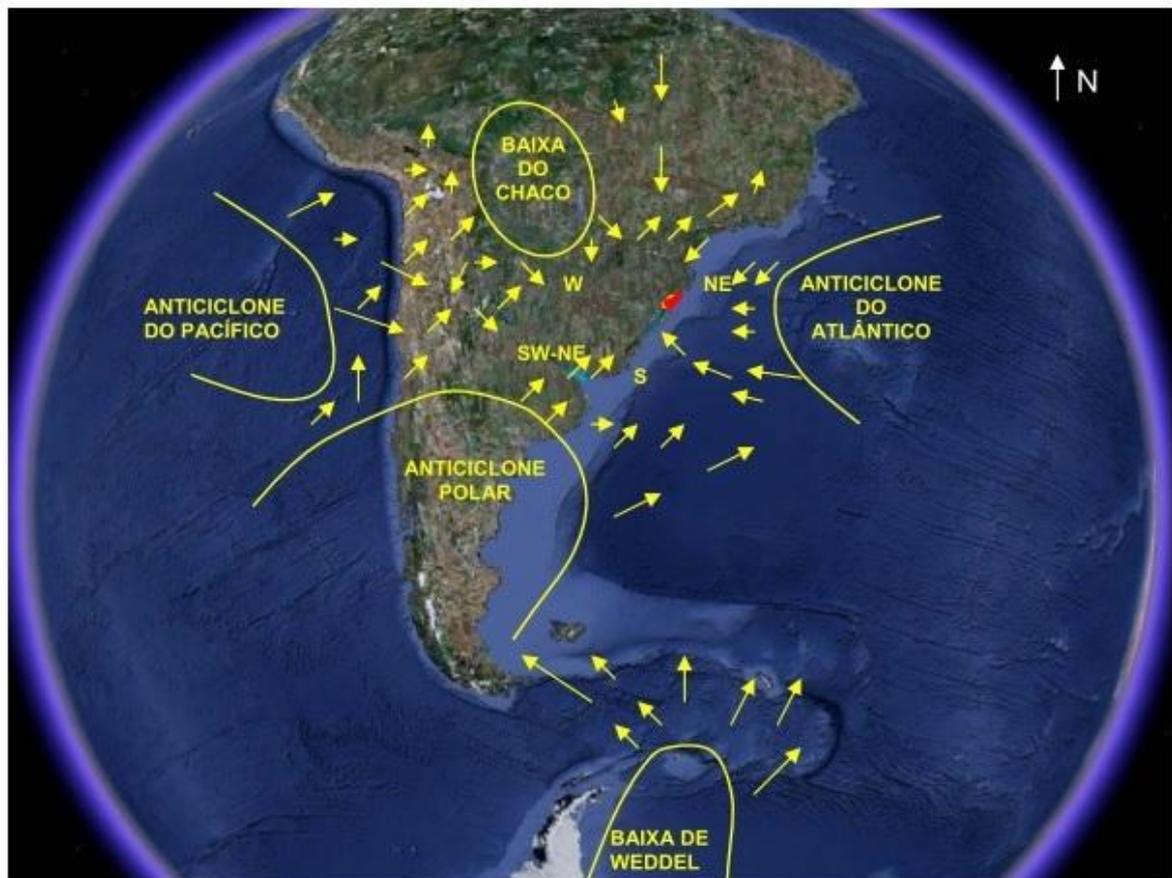


Figura 5: Sistemas de circulação atmosférica que atuam sobre o clima do Rio Grande do Sul adaptado de Nilmer, 1979.

Os ventos são grandes responsáveis pela dinâmica costeira e visto ao longo dos 630 km de extensão do litoral do Rio Grande do Sul como uma grande alternativa à contribuir para a matriz energética do Estado.

No escoamento atmosférico sobre o Rio Grande do Sul prevalecem os efeitos ditados pela dinâmica do anticiclone subtropical Atlântico. O anticiclone subtropical Atlântico é um centro de altas pressões cuja posição média anual é próxima a 30°S, 25°W. Sua circulação atmosférica é no sentido anti-horário, o que resulta no predomínio de ventos de leste-nordeste sobre toda a área do Brasil situada abaixo da latitude 10°S (CAMARGO *et al*, 2002).

O vento dominante no litoral do Rio Grande do Sul provém de NE e embora sobre ao longo de todo ano, é mais ativo nos meses de primavera e verão

(Figura 6). O vento que provém de W-SW é mais eficaz nos meses de inverno e é gerado pelo anticiclone Polar do Atlântico Sul.

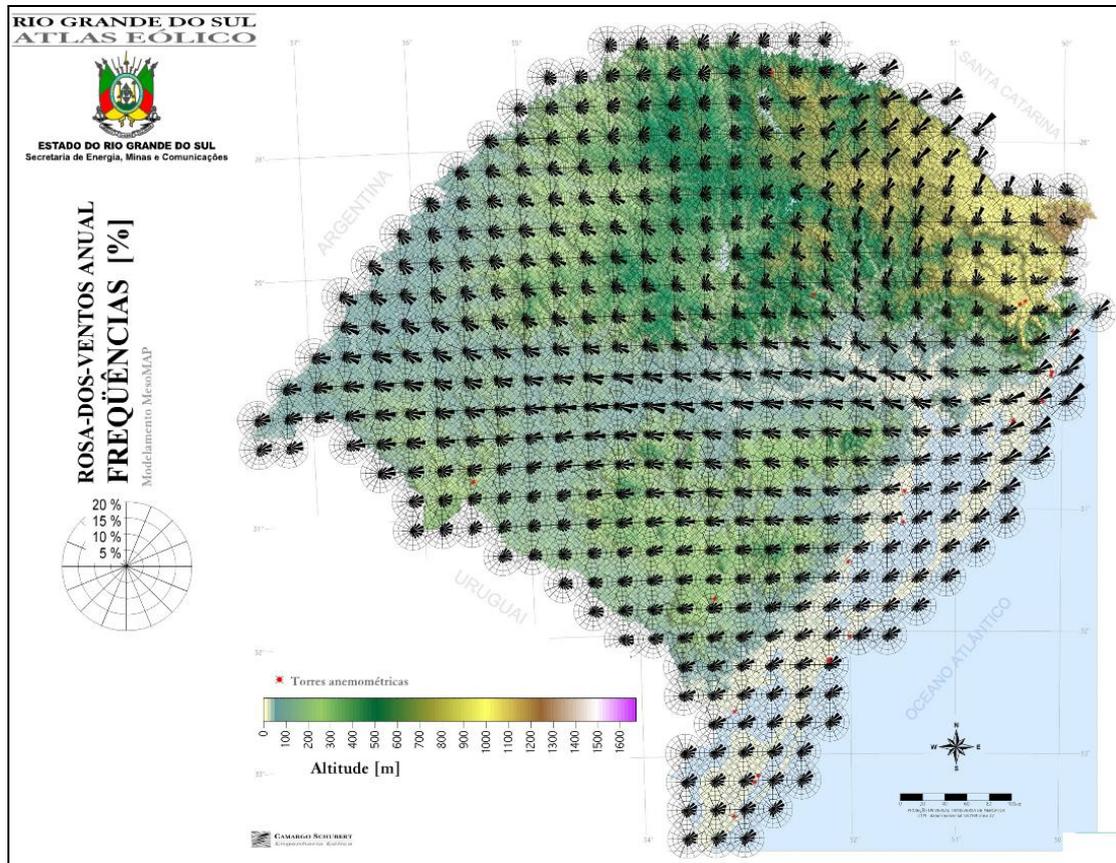


Figura 6: Rosa-dos-ventos, vetores de frequência anual (CAMARGO et al, 2002).

### 3.5. Unidade de Conservação

Segundo o Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul, 2012 o Estado é considerado pioneiro no trato de questões ambientais. Desde os anos 50 é referencia no que se relaciona a proteção, conservação ambiental e ações de recuperação ambiental.

Dessa maneira, o Estado hoje possui uma grande variedade de áreas protegidas. Segundo a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) existem 11 Unidades de Conservação federais, 27 estaduais (criadas por decretos estaduais) e ainda 19 municipais (Figura 7).



Figura 7: Unidades de Conservação e Áreas Protegidas do Rio Grande do Sul (Atlas socioeconômico, 2013).

No Litoral Sul do Estado, mais precisamente no município de Santa Vitória do Palmar, foi criada a Estação Ecológica do Taim. Segundo o Instituto Chico Mendes do ministério do meio Ambiente, a ESEC do Taim é uma unidade de proteção integral que tem como objetivos a preservação da natureza, a educação ambiental e a pesquisa.

É considerado de bioma Marinho Costeiro e apresenta uma área de 10.938,58 ha. O Conselho Consultivo da Estação Ecológica do Taim (Esc/Taim) aprovou, em novembro de 2012, a proposta para ampliação da unidade de conservação. A proposta busca passar dos quase 11 mil hectares para 32,8 mil hectares (Figura 8).

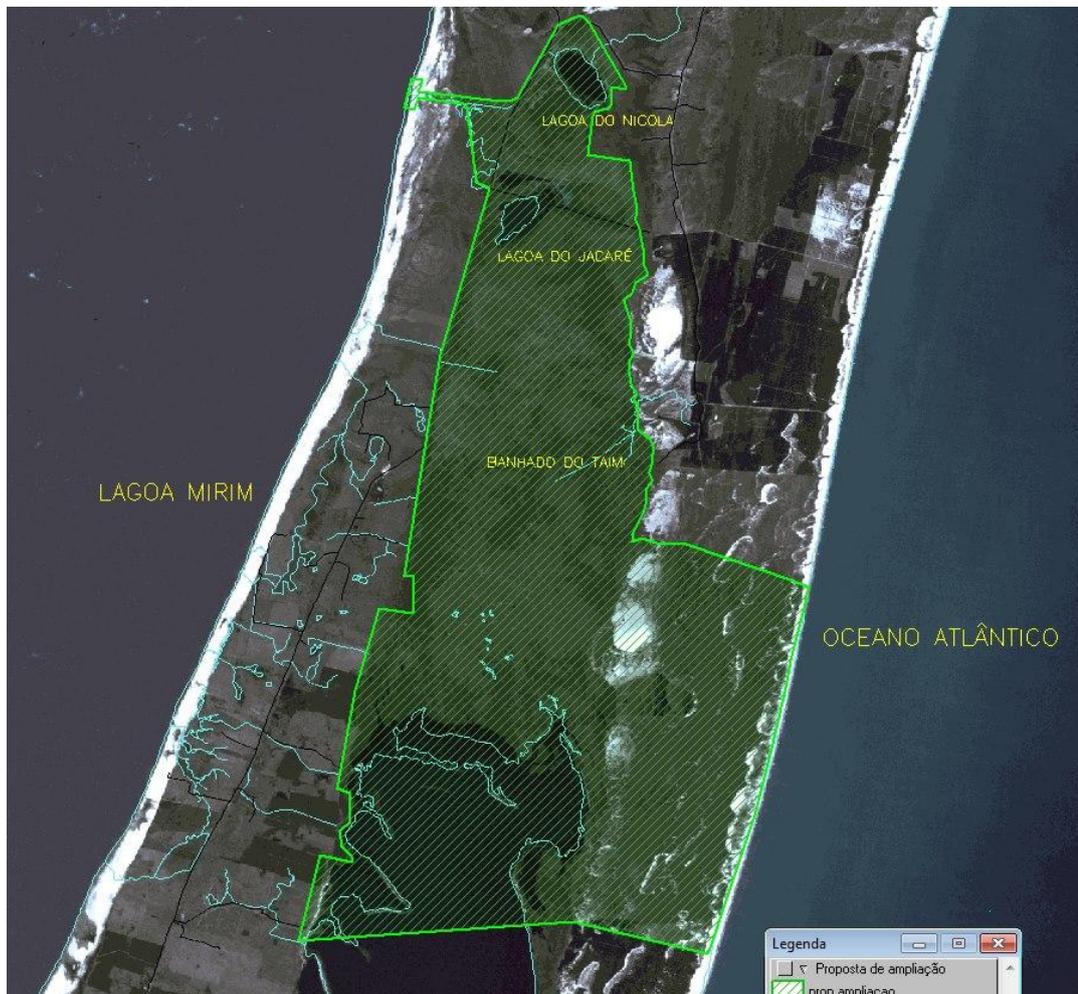


Figura 8: Poligonal de ampliação da área da ESEC do Taim (Fonte: ICMBio, 2012).

#### 4. CARACTERIZAÇÃO ANTRÓPICA DA ÁREA DE ESTUDO

Santa Vitória do Palmar compreende uma área total de 5.244,353 Km<sup>2</sup> (1.9503% da área total do estado) com uma população residente de 30.990 habitantes segundo o censo do ano de 2010 do IBGE.

Apresenta um PIB municipal de R\$ 541.056,00 (Valor Adicionado Bruto da Agropecuária - R\$ 217.140,00; Valor Adicionado Bruto da Indústria - R\$ 58.450,00; Valor Adicionado Bruto dos Serviços - R\$ 238.466,00) e seu IDH é de 0.799 segundo o Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2000).

Segundo os dados econômicos do município, Santa Vitória do Palmar se caracteriza como um município de grande potencial agropecuário, porém exerce uma destacada função na área dos serviços por ter uma população urbana expressiva com 26.889 habitantes (IBGE, 2010).

O município de Chuí caracteriza-se por uma área de 202,552 Km<sup>2</sup> (0.0756% da área total do estado) com uma população residente de 5.917 habitantes segundo dados do censo do IBGE de 2010.

Seu PIB é de R\$ 68.496,00 (Valor Adicionado Bruto da Agropecuária - R\$ 11.681,00; Valor Adicionado Bruto da Indústria - R\$ 6.567,00; Valor Adicionado Bruto dos Serviços - R\$ 50.248,00) e o IDH de 0.811 segundo o Atlas de Desenvolvimento Humano (PNUD, 2000).

Baseando-se na sua economia, o município figura como um agente de prestação de serviços devido à sua localização fronteiriça, caracterizando-se como um polo de compras e turismo.

Segundo o IBGE Cidades, 2012 os dois municípios são chamados, historicamente de campos neutrais. Isso deve-se ao fato que de na época das colonizações as terras não podiam ser invadidas para evitar conflitos entre os colonizadores.

Por determinado tempo, as terras do Taim até as do Chuí não podiam ser habitadas, lei essa imposta pelo Tratado de Santo Ildefonso, 1777.

Hoje em dia apesar da criação de gado bovino ser significativa na região o maior uso do espaço atribui-se a produção agrícola, mais precisamente do arroz irrigado.

## **5. GEOPROCESSAMENTO**

### **5.1. Geoprocessamento e base de dados para o estudo**

Hoje em dia com o avanço das tecnologias, a análise em ambiente computacional e o uso dos softwares ganham destaque para o desenvolvimento dos estudos na área.

Dentro deste contexto o geoprocessamento de dados geográficos é o conceito mais amplo para explicar tais ferramentas de análise. Trata-se de um conjunto de todas as tecnologias de coleta e tratamento de dados espaciais. O uso de sensoriamento remoto (SR), sistemas de informações geográficas (SIG), sistemas de posicionamento de satélites (GPS), cartografia digital, aerofotogrametria resumem as características e tipos de formas de geoprocessamento para construir o banco de dados do estudo.

O banco de dados peça fundamental no desenvolvimento do trabalho. Ele que irá nortear e dar subsídio para o trabalho.

A base de dados utilizada no presente trabalho foi construída a partir de uma série de fontes de informações espaciais para análise do potencial energético renovável dos municípios de Santa Vitória do Palmar e Chuí.

### **5.2. Base Cartográfica**

Para o estudo foi utilizado a base cartográfica do Rio Grande do Sul (Hasenack, 2010). Como foi criado em ambiente de SIG podemos denominar de sistema de visualização cartográfica. O sistema de visualização cartográfica permite, a partir de elementos selecionados do banco de dados, produzir mapas de saída na tela já para dar início ao estudo e compreensão espacial da área estudada.

Entretanto deve-se atualizar e realizar correções nas bases cartográficas a partir de dados mais recentes. Para tanto foram utilizados dados geográficos de diversas fontes e escalas:

- Limites municipais do IBGE, em escala de 1:250.000;

- Imagens de satélite LANDSAT 5 TM do ano de 2011 com resolução espacial de 30 metros (Figura 9).

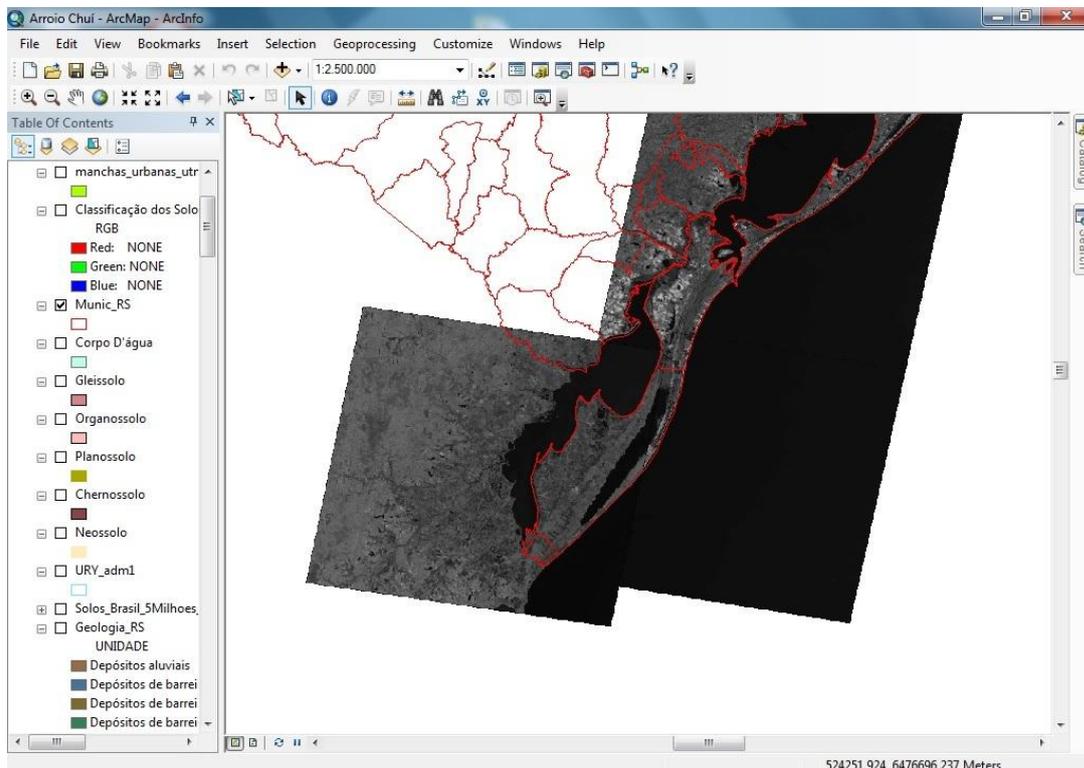


Figura 9: Interface do Software Arcgis®10, montagem da base de imagens de satélite e banco de dados cartográficos.

### 5.3. Estruturação dos Sistemas de Informações geográfico (SIG)

Como já mencionado neste trabalho, o SIG é um sistema capaz de construir uma interface completa que permite a inserção, visualização e manipulação de dados geográficos relacionáveis. A tecnologia SIG tem tido um enorme impacto em todos os campos que gerenciam e analisam dados espacialmente distribuídos.

Trata-se de uma ferramenta complexa, em termos de utilização e aprofundamento, mas de fácil manuseio. Segundo o manual do usuário em IDRISI (EASTMAN, 1997) sua estrutura pode ser subdividida em oito componentes (Figura 10):

- Banco de dados espacial;
- Sistemas de visualização cartográfica;

- Sistema de digitalização de mapas;
- Sistema de georreferenciamento de banco de dados;
- Sistema de análise geográfica;
- Sistema de processamento de imagens;
- Sistema de análise estatística;
- Sistema de apoio à decisão.

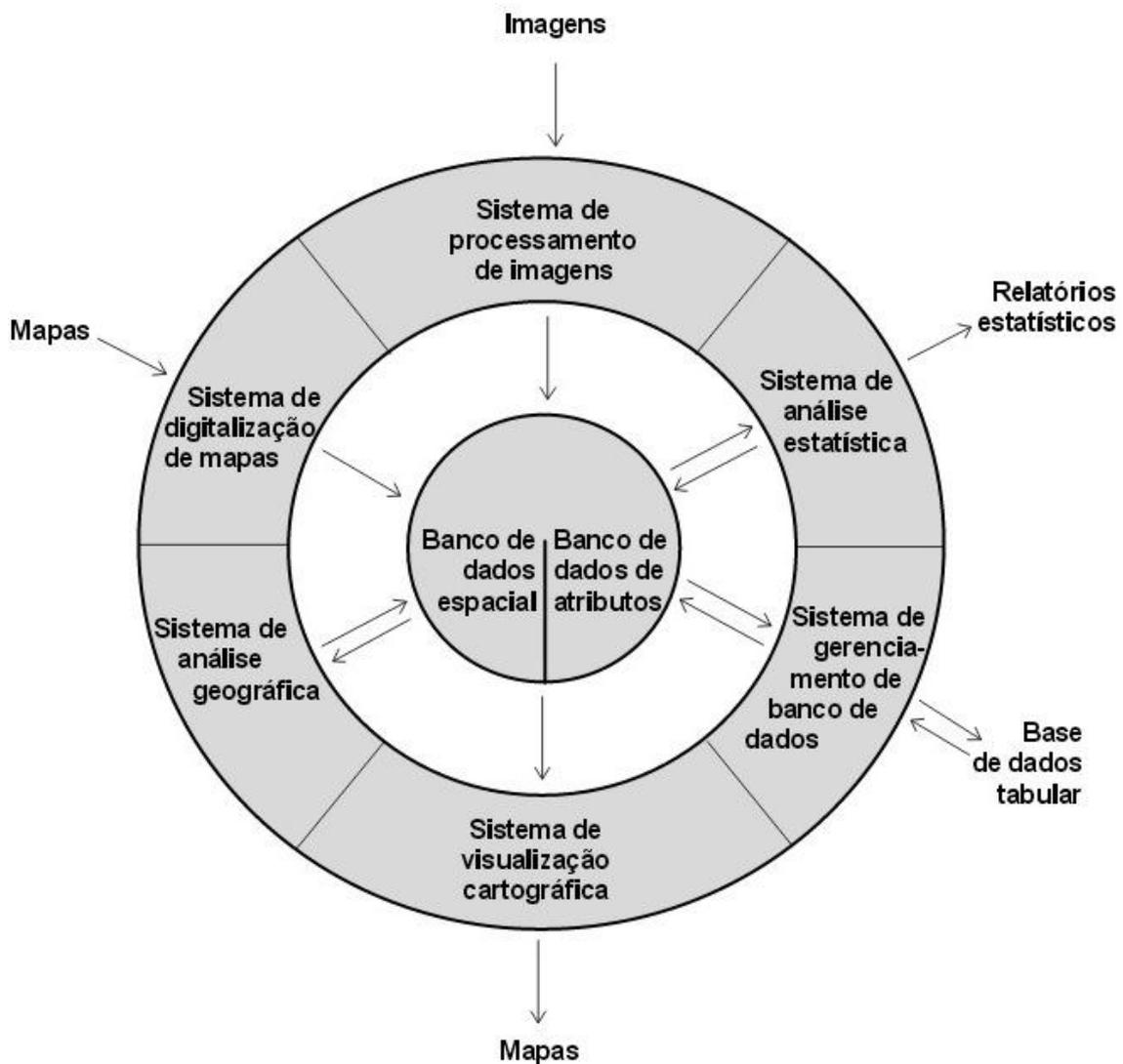


Figura 10: Componentes de um SIG (Fonte: IDRISI, 2011).

O SIG utilizado neste trabalho foi o software ARCGIS 10<sup>®</sup>. Com o uso do Arcgis foi possível construir uma linha de raciocínio através de uma de suas ferramentas contidas no Arc Toolbox, denominada *Model Builder* (Figura 11). Com essa ferramenta pode ser gerado um fluxograma, automático, de todo o processo realizado, ou seja, passo a passo como foi construído o projeto.

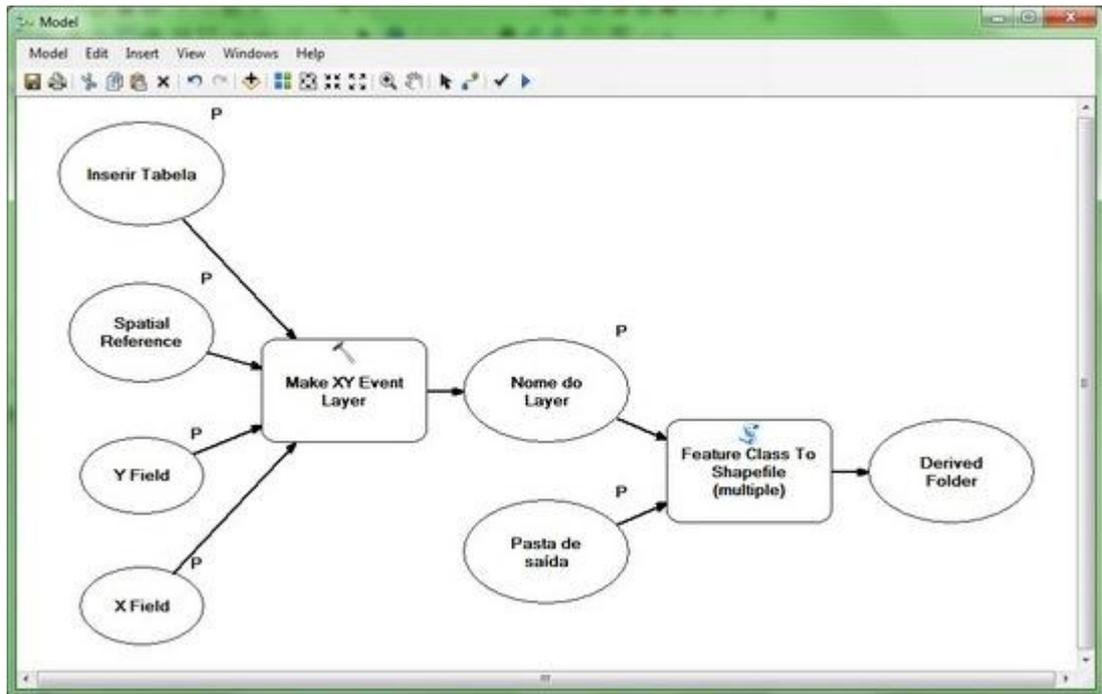


Figura 11: Interface do *Model Builder* (Arcgis 10<sup>®</sup>).

Neste trabalho o modelo final gerado é demonstrado pela Figura 12. Neste modelo é resumido a forma como foi trabalhado cada mapa gerado, com recorte para área de estudo (clip) e sendo adicionados vetores para cada tipo de mapa a ser gerado.

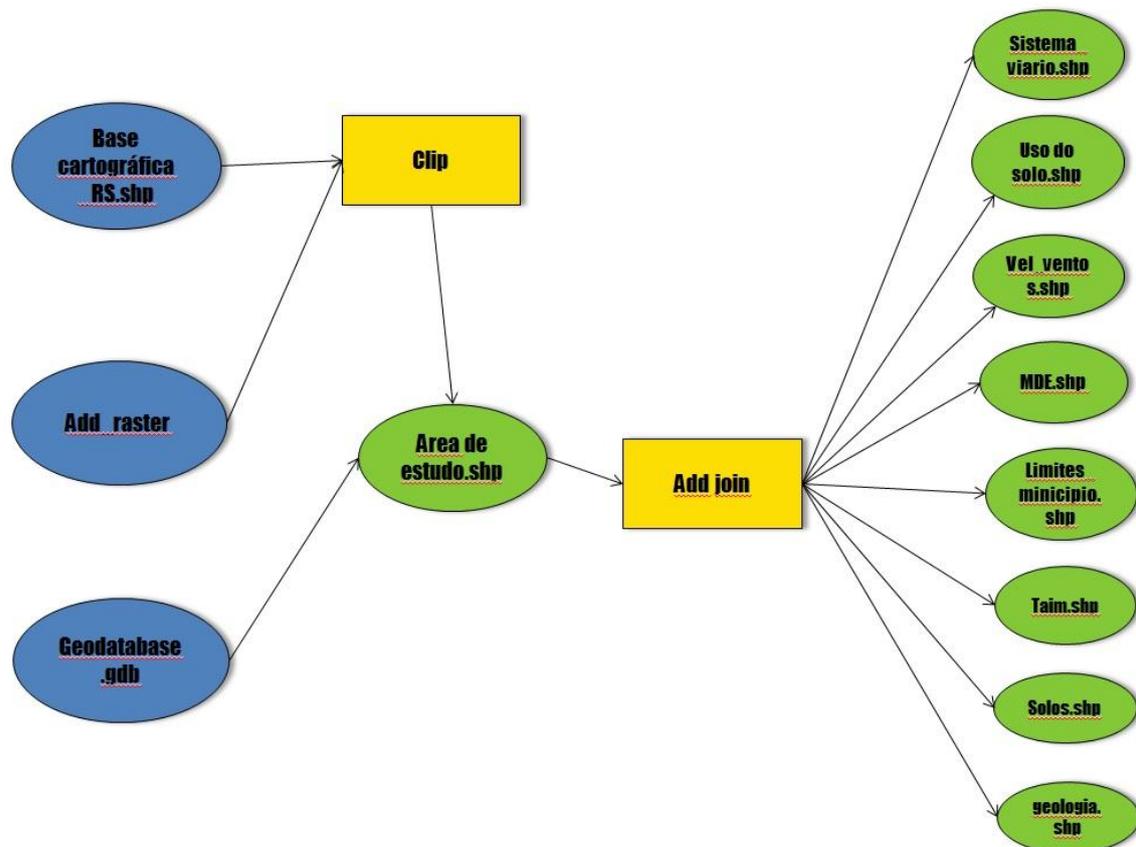


Figura 12: Modelo de fluxograma feito elaborado através do *Model Builder*.

#### 5.4. A importância do SIG para o trabalho

Segundo Farina, 2009 as possibilidades de manipulação dos dados em um SIG permitem realizar diversas avaliações e simular diferentes procedimentos, até se atingir um resultado satisfatório ao objetivo proposto. Isso deve-se ao fato de o SIG apresentar uma interface capaz de trabalhar com muitos planos de informação (layers) ao mesmo tempo.

Neste trabalho o SIG foi essencial para correlacionar dados de diferentes intensidades de ventos com as características físico-ambientais da área de estudo; incidência solar com modelo de elevação e perfis topográficos; identificação dos tipos de uso e cobertura do solo, podendo ser mapeadas as áreas de plantio assim identificando as principais áreas de cultivo da região.

## **6. ENERGIAS RENOVÁVEIS**

### **6.1. Energia Eólica**

A energia eólica é aquela obtida a partir do movimento provocado pela ação dos ventos. Sua aplicabilidade vai desde ações mecânicas como para movimentação de barcos, bombeamento d'água e moagem de grãos.

Para geração de energia elétrica a partir da incidência de ventos é através do atrito do vento com as pás de cata-ventos ou atualmente chamados de aerogeradores. Com o movimento provocado pelo vento o cata-vento da origem à uma energia mecânica acionando o rotor produzindo energia elétrica.

Segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil a evolução da tecnologia permitiu o desenvolvimento de equipamentos mais potentes. Em 1985, o diâmetro das turbinas era cerca de 20 metros, tendo como potencia energética uma média de 50 kw (quilowatts). Hoje em dia, os diâmetros dos cata-ventos podem chegar à 100 metros, elevando a capacidade de obtenção de energia.

A produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 5.050 GWh em 2012 (Balanço energético nacional, 2013). Isto representa um aumento de 86,7% em relação ao ano anterior, quando se alcançou 2.705 GWh.

Em 2012, a potência instalada para geração eólica no país expandiu 32,6%. Segundo o Banco de Informações da Geração (BIG), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o parque eólico nacional cresceu 463 MW, alcançando 1.886 MW ao final de 2012.

No Rio Grande do Sul a energia eólica passou a ser aplicada a partir da instalação do parque eólico de Osório em 2006. Hoje já se tem instalado outros parques como, Cidreira I, Rio Grande na praia do Cassino e atualmente está em fase de instalação o parque eólico de Sana Vitória do Palmar e Chuí.

As grandes vantagens do uso da energia eólica são: renovabilidade, perenidade, custo zero de suprimento e independência de importações (oposto do que ocorre com combustíveis fósseis).

#### *6.1.1. Dados Eólicos Aplicados ao Estudo*

Os dados eólicos foram obtidos a partir do Atlas Eólico do Rio Grande do Sul, elaborados pelo governo do Estado, por intermédio da secretaria de Energia, Minas e Comunicações (SEMC).

Este documento apresenta informações sobre o regime de ventos do Rio Grande do Sul, calculado utilizando técnicas modernas e medições de alta qualidade, onde foram realizadas no período entre 2000 à 2002. Foram utilizados dados anemométricos de 21 torres, validados por comparações climatológicas e filtragem de efeitos locais de topografia e rugosidade.

Os dados servem de modelo inicial para uma análise preliminar com vistas à implementação de aerogeradores na área de estudo. A relação entre velocidade dos ventos, rugosidade ou elevação do terreno e características das torres eólicas é fundamental para compreendermos o ponto de partida para a instalação de parques eólicos nos locais mais propícios.

#### *6.1.2. Relação Altura da Torre X Diâmetro do Rotor X Energia*

Segundo o Atlas Eólico do Estado do Rio Grande do Sul, existe uma relação direta entre o diâmetro do rotor das torres eólicas com a altura das mesmas para a produção de energia. Através de cálculos de aproveitamento de energia, confirma-se a relação, onde existe a necessidade de um rotor de diâmetro maior para torres mais altas para captação de ventos de maior intensidade.

Para um diâmetro de rotor de 40m - 45m, a altura das torres suficiente e necessária é de 45m - 65m (500kW – 600kW); diâmetros de rotor de 65m - 80m, a altura de torre adequada é de 65m - 80m (1500kW – 2500kW); e diâmetros de rotor de 90m - 110m, a altura de torre fica entre 80m - 100m (3000kW – 4000kW).

### *6.1.3. Relação Rugosidade X Velocidade dos Ventos*

Pesquisas levantadas reinteram a relação da velocidade dos ventos com o relevo da região, implicando na ação da rugosidade do terreno sobre a fricção da massa de ar.

Ao passo que os ventos atuam mais próximo à superfície, ocorre a fricção da massa de ar sobre o substrato, desacelerando o deslocamento do ar e atenuando a velocidade dos ventos. Esta causa acentua quando o relevo da região é mais acidentado, onde há obstáculos topográficos para a atenuação da velocidade dos ventos.

Em regiões mais planas, de baixo relevo, esta fricção torna-se menor, facilitando a passagem das massas de ar e aumentando a velocidade dos ventos, assim como mostram as figuras (Figura 13, Figura 14 e Figura 15).

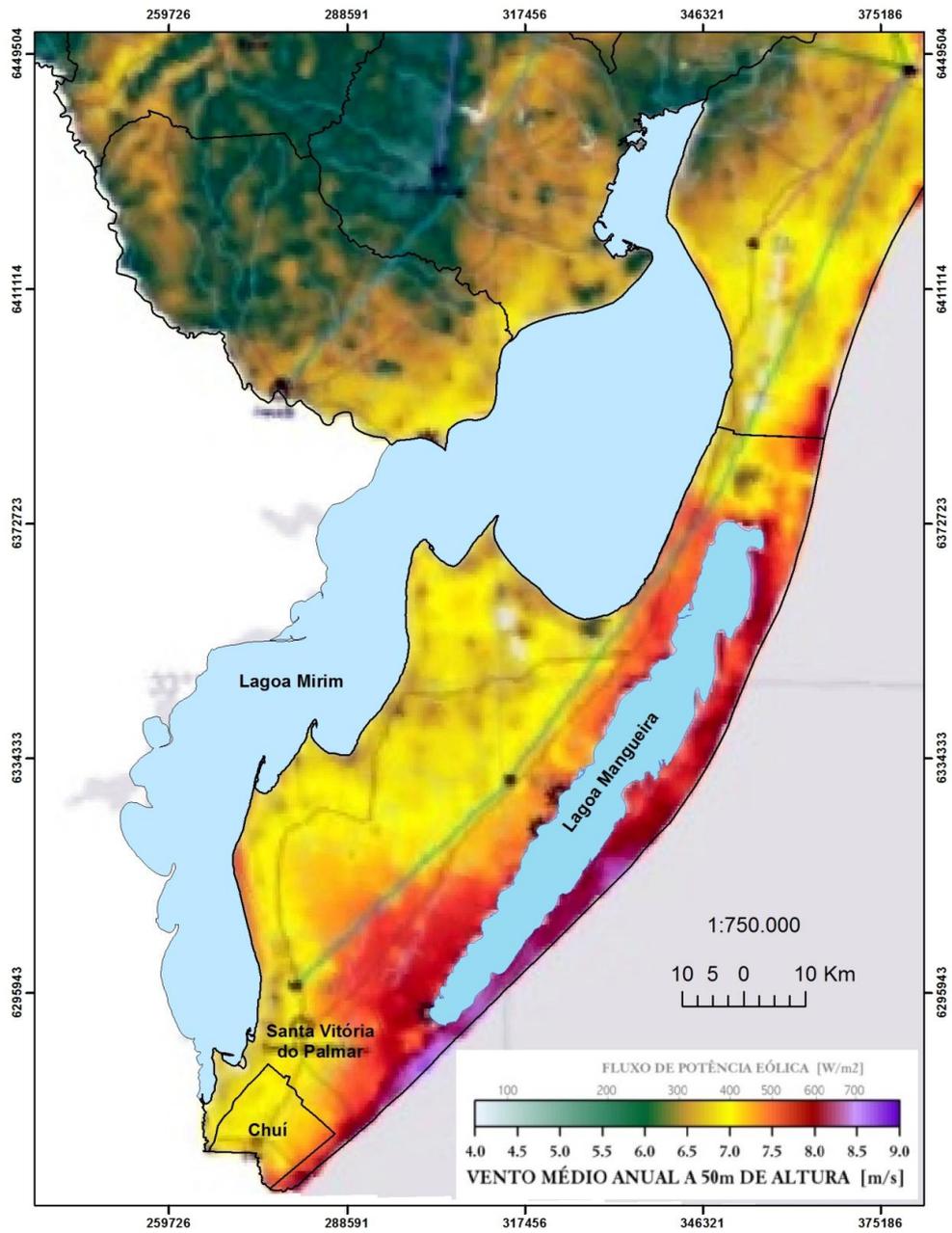


Figura 13: Velocidade média anual de ventos a uma altura de 50m.

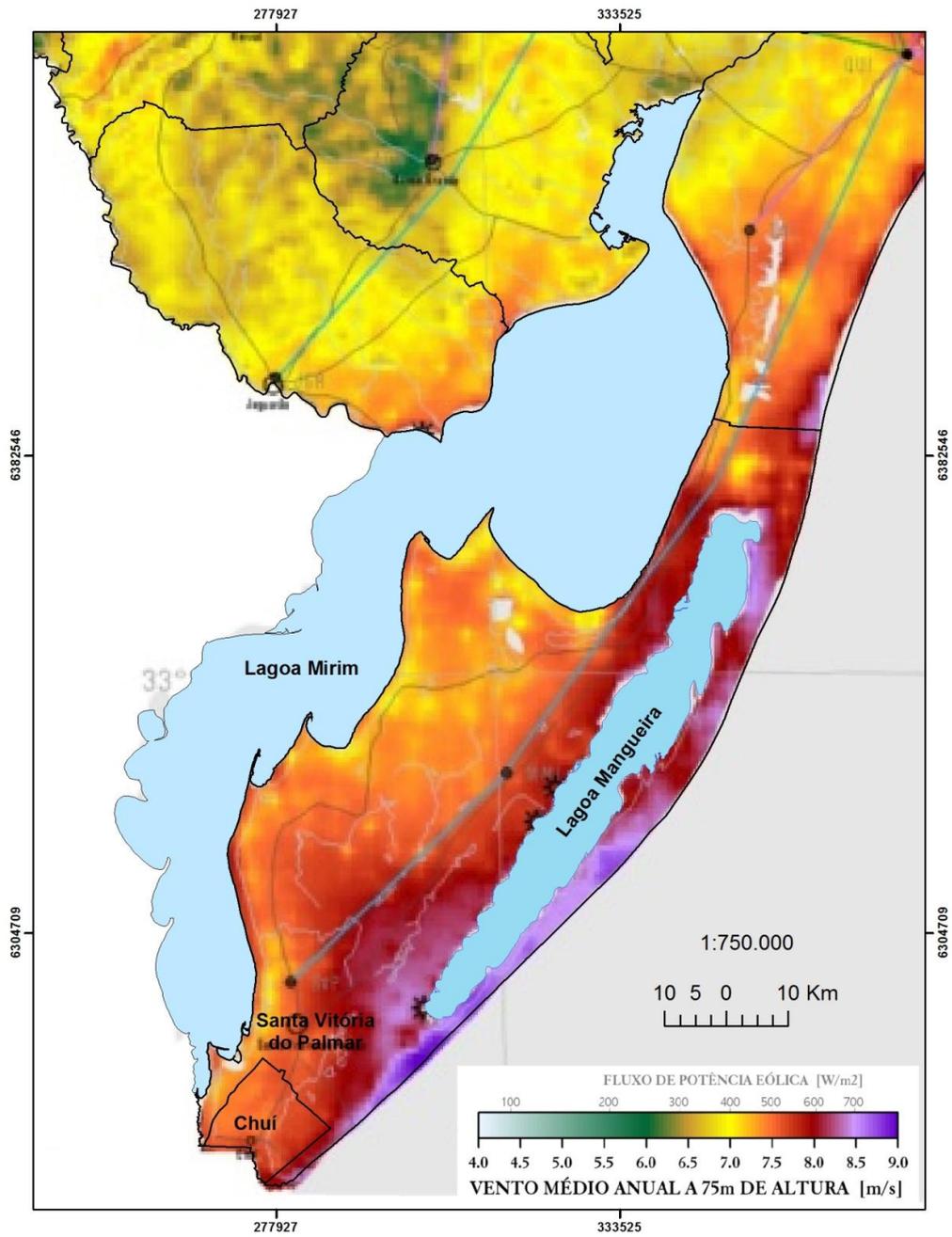


Figura 14: Velocidade média anual de ventos a uma altura de 75m.

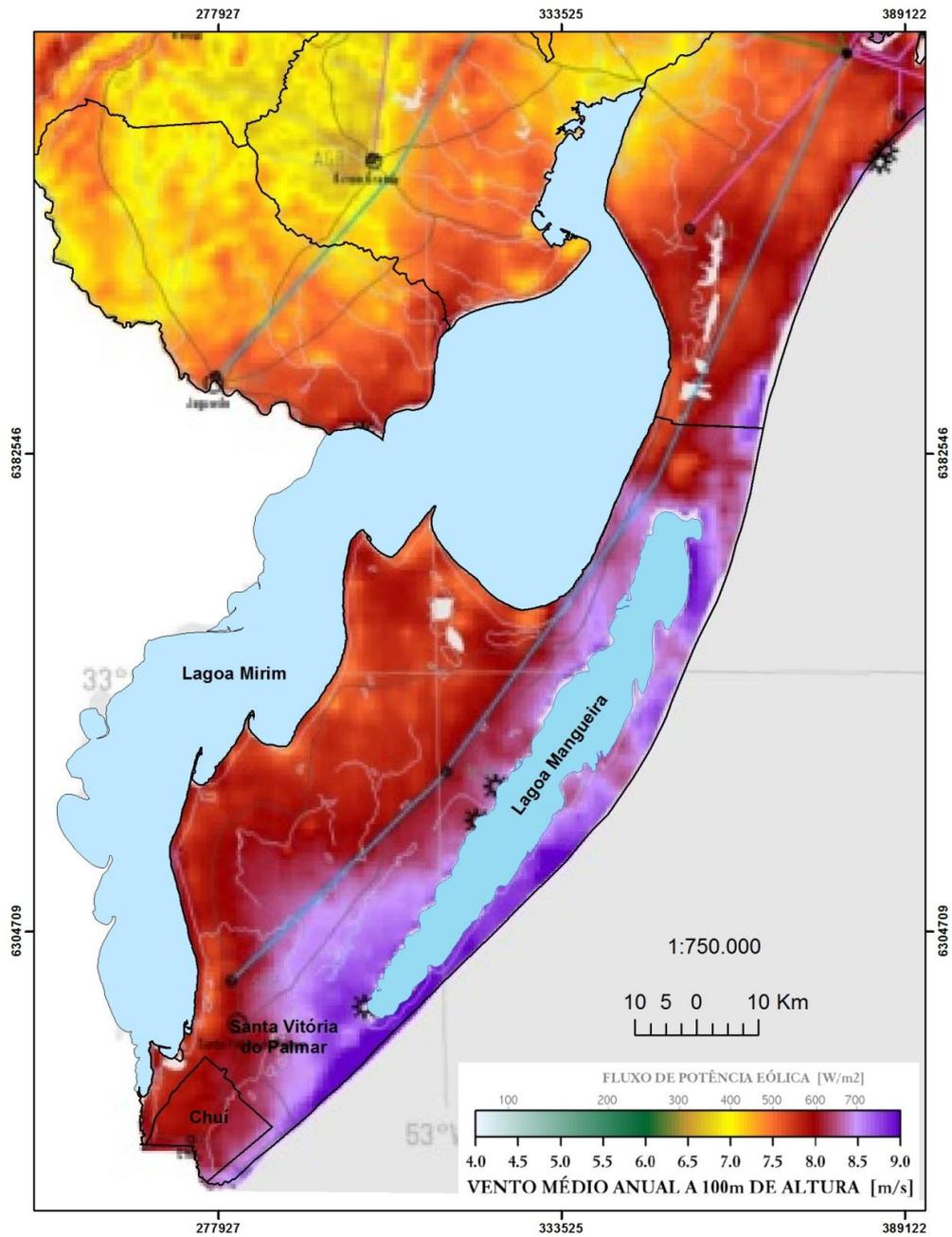


Figura 15: Velocidade média anual de ventos a uma altura de 100m.

## 6.2. Energia Solar

A energia solar chega à Terra de forma térmica e luminosa. Segundo dados do Atlas de Energia Elétrica do Brasil a radiação recebida anualmente pela superfície da Terra é suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia global. Porém essa radiação não atinge uniformemente todas as regiões do globo terrestre, dependendo de algumas variáveis como latitude, umidade relativa, grau de nebulosidade e estações do ano.

No que tange a produção de energia elétrica existem dois sistemas: o heliotérmico e o fotovoltaico. No sistema do heliotérmico a irradiação solar é convertida em calor, utilizado em usinas termoelétricas para a produção de eletricidade. Para esse sistema é necessário uma alta taxa de irradiação local e com baixo índice de pluviosidade. Já o segundo sistema, fotovoltaico, a transformação da energia solar é direta, ou seja, funciona através de um fluxo eletrônico (partículas positivas e negativas) estimulado através de um condutor geralmente de silício. O sistema fotovoltaico é utilizado em casas normalmente, pois não precisa do brilho do sol para funcionar, podendo manter seu funcionamento em dias nublados.

Guerra, 2000 aborda os sistemas de energia fotovoltaica para áreas isoladas. Segundo seu estudo havia um plano abrangente de eletrificação dos países em desenvolvimento "Energia para o mundo" (Palz, 1994), que tinha como objetivo promover a eletrificação fotovoltaica em grande escala em todo o mundo. Resumidamente o programa seria uma forma de fornecer energia elétrica para comunidades isoladas, de maneira à abastecer habitações de comunidades sem luz com uso da energia solar. Essa especificidade foi denominada pelo programa de Solar Home System (SHS), levando iluminação, rádio e televisão para as casas. O programa buscava uma padronização para baratear e encontrar formas mais adequadas de financiamento, já que o sistema fotovoltaico ainda é considerável caro.

Em geral, muitos projetos já implementados são para abastecer localidades isoladas. Em Portugal foi instalado, na região do Alentejo, uma das

maiores centrais de abastecimento a partir de placas fotovoltaicas. Essa central tem capacidade de fornecer energia para cerca de 8 mil habitações.

Os usos da energia solar normalmente são mais voltados para indústria e lazer. Na indústria a aplicação destina-se em processos de secagem de grãos para a produção agrícola, aquecimento de água e fornecimento de energia para pequenas refinarias. E no lazer, são usadas normalmente placas fotovoltaicas para aquecimento de residências, aquecimento d'água e iluminação.

### *6.2.1. Dados solarimétricos aplicados ao estudo*

Segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil a variação de radiação incidente na superfície brasileira é de 6 a 24 MJ/m<sup>2</sup> durante o dia, tendo as menores variações nos meses de maio a julho. A Figura 16 mostra a média anual de radiação incidente no território brasileiro. Esses mesmo dados podem ser transformados em unidade de tempo de insolação incidente, caso da Figura 17, onde é apresentado a média anual de insolação diária, com a unidade em horas.

Os estudos de Martinazzo, 2004 e Vicari, 2012 mostram as médias anuais diárias de insolação para o Estado do Rio Grande do Sul, e o potencial que o Estado tem para o uso de energia solar, respectivamente. Martinazzo, 2004 apresenta um modelo considerando muitas variáveis como: umidade relativa do ar, presença de vegetação, tempo de incidência solar diária/ mensal, nível de incidência solar, temperatura, nebulosidade, resultando em um mapa de radiação solar global horizontal / média anual diária (Figura 18). E Vicari, 2012 apresenta um modelo da potencialidade para o aproveitamento da energia solar para o Estado, estimando um aproveitamento para os sistemas fotovoltaicos maiores que 70%.

Mesmo com os estudos realizados o uso da energia solar fotovoltaica é pequeno no RS em virtude do elevado custo de implantação dos painéis de captação. Com a introdução no mercado de painéis de captação solar com custos reduzidos, os consumidores do RS farão um melhor uso dessa fonte energética, considerando que o Estado tem uma média anual de insolação diária em torno de 6 horas, índice superior a média da região norte do Brasil por exemplo.

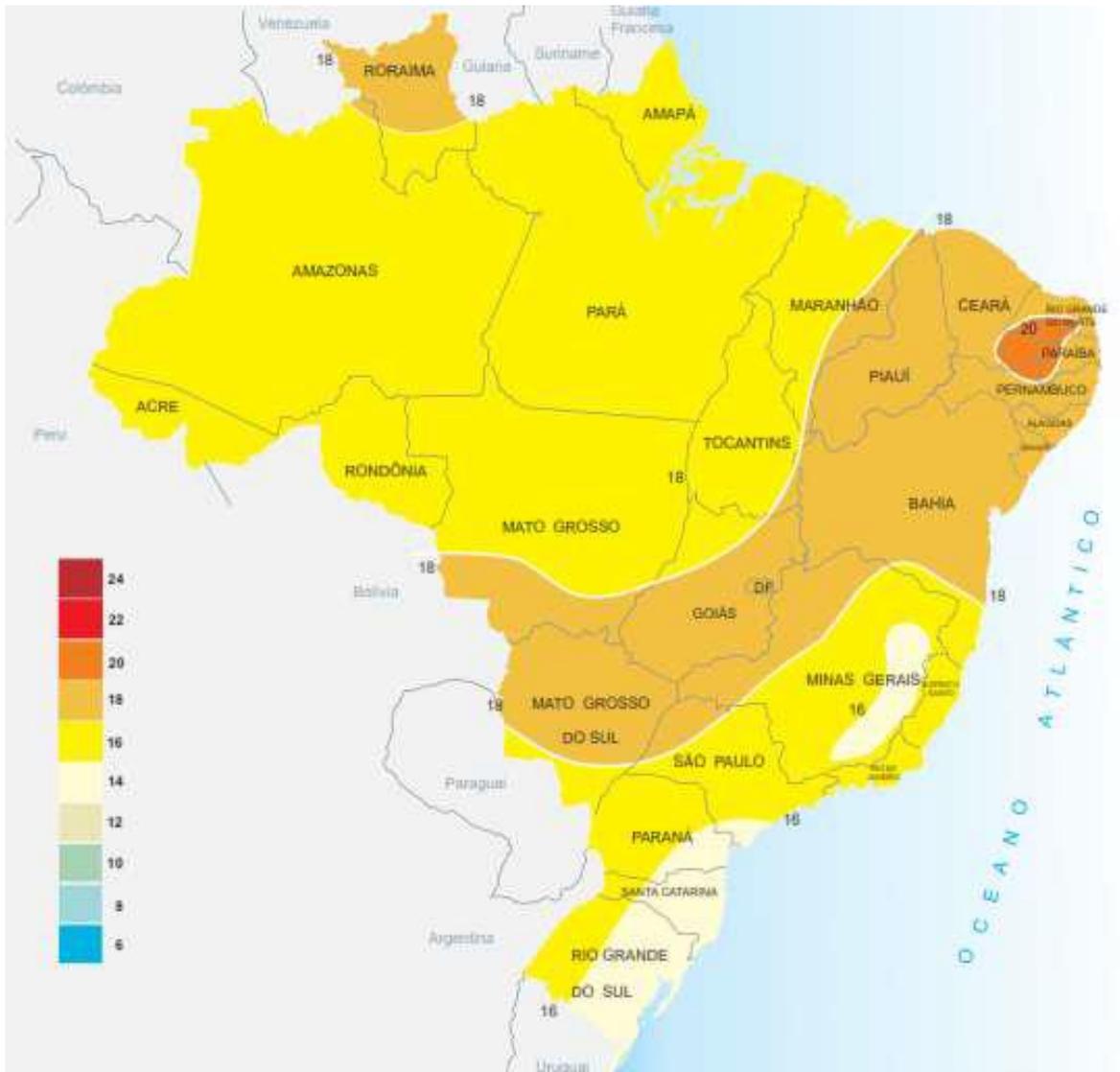


Figura 16: Mapeamento da média anual da radiação solar global diária, com unidades em MJ/m<sup>2</sup>/ dia (TIBA *et. al.* 2000).

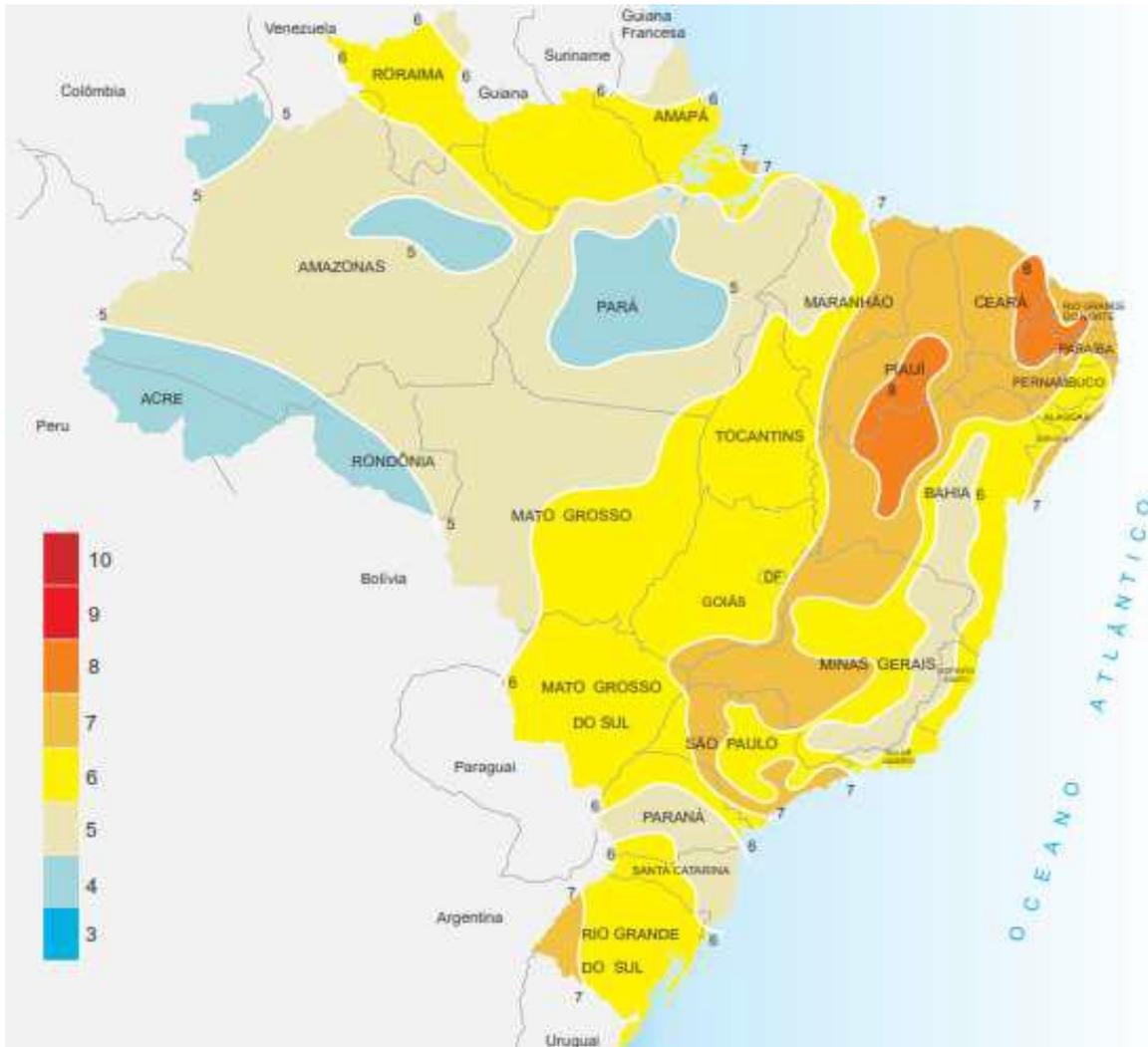


Figura 17: Mapeamento da média anual da insolação diária, com unidades em horas (TIBA *et. al.* 2000).

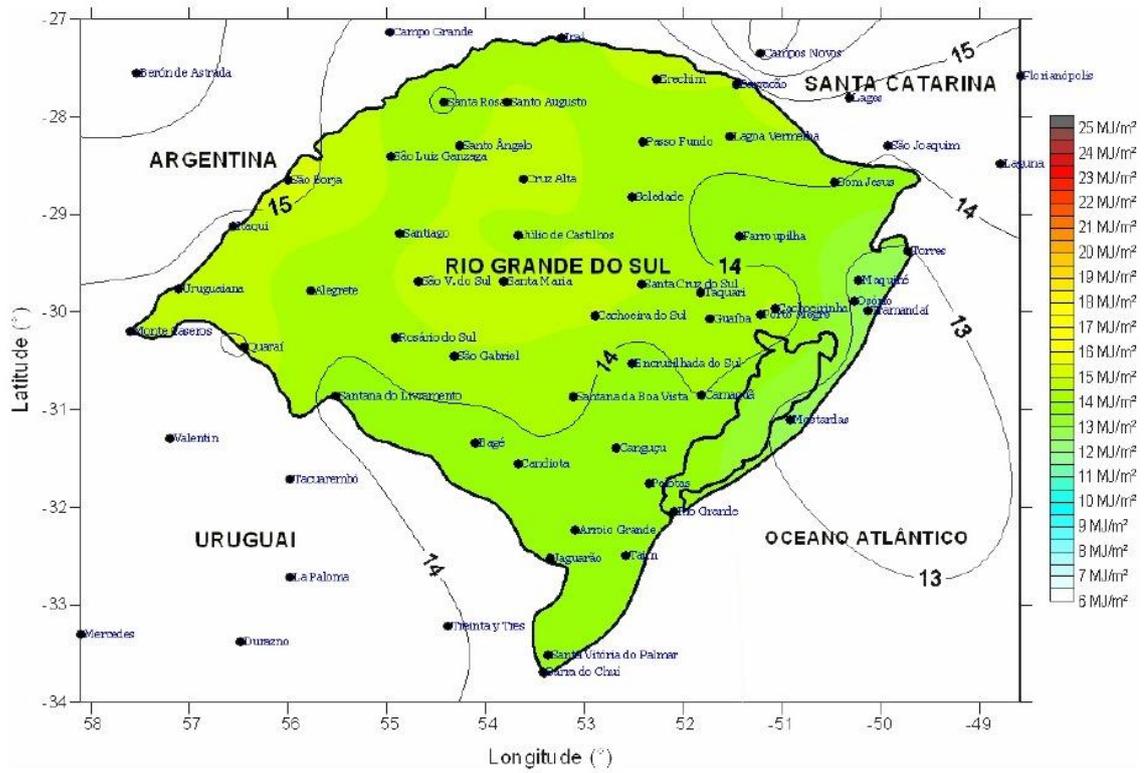


Figura 18: Mapa de radiação solar global horizontal média anual diária para o Rio Grande do Sul (Martinazzo, 2004).

### 6.3. Biomassa

A biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. O aproveitamento da biomassa provém, principalmente, de três tipos: florestal (madeira); agrícola (arroz, soja, cana-de-açúcar, milho, etc); e dos rejeitos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos).

A biomassa é considerada uma das principais fontes energéticas para os próximos anos. É capaz de melhorar e diversificar ainda mais a matriz energética dos países, substituindo o uso de combustíveis fósseis no que tange o uso diário para meios de locomoção. Através da biomassa é possível desenvolver os biocombustíveis como etanol e biodiesel, diminuindo o consumo de gasolina e óleo diesel. Para HAGE, 2005 atualmente, valorizar o emprego da biomassa acarreta, ao mesmo tempo, em aceitar mudanças que permeiam o conceito de ciência, progresso e avanço tecnológico.

Dados do Survey of Energy Resources 2007, do World Energy Council (WEC), mostram um registro para uso da biomassa pouco mais de 1% na produção de energia elétrica no mundo.

O principal uso da biomassa provém do setor madeireiro (de reflorestamento) o que gera um paradoxo, pois um dos fatores que implica na sua pequena utilização é a associação com desflorestamentos e processos de desertificação. Contudo, o setor vem crescendo de produção, tendo como os principais setores madeireiro (já citado) e dos resíduos agrícolas.

Segundo a WEC, 2007 no que tange a geração de energia a partir de biomassa os Estados Unidos se encontram em primeiro lugar, seguidos da Alemanha e Brasil, como mostra a Tabela 1.

No Brasil, em 2007, a biomassa foi a segunda principal fonte energética, superada apenas pelo petróleo e seus derivados.

Tabela 1: Produtores de bioenergia em 2007.

<b>Pais</b>	<b>TW/h</b>	<b>%</b>
Estados Unidos	56,3	30,7
Alemanha	13,4	7,3
Brasil	13,4	7,3
Japão	9,4	5,1
Finlândia	8,9	4,9
Reino Unido	8,5	4,9
Canadá	8,5	4,7
Espanha	7,8	4,3
Outros países	57,1	31,1
<b>Total</b>	<b>183,3</b>	<b>100,0</b>

Fonte: WEC, 2007

A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) apontou que em 2013, dentre as fontes renováveis de energia, a biomassa foi responsável por 7,17% da energia elétrica, com 475 empreendimentos em operação. Do total de usinas, 13 são abastecidas por resíduos da celulose, 27 por madeira, 3 por biogás, 8 pela casca do arroz, 252 pelo bagaço da cana e os demais são providas de produtos não identificados (Aneel, Matriz energética do Brasil, 2013).

### 6.3.1. Dados de biomassa aplicados ao estudo

Dentro dos dados para produção de energia a partir da biomassa o Rio Grande do Sul se destaca pela produção dos derivados do setor madeireiro, cana-de-açúcar e da casca do arroz.

Segundo o Balanço Energético do Rio Grande do Sul, 2011 destaca-se a casca do arroz, já que o Estado é o maior produtor de arroz do país. A casca de arroz é utilizada como fonte energética primária, tanto para o beneficiamento de grãos no agronegócio, como na indústria cerâmica no RS, assim como na geração de energia elétrica. A Figura 19 apresenta a evolução da produção da casca de arroz utilizada como energético no Estado, no período de 2005 a 2010.

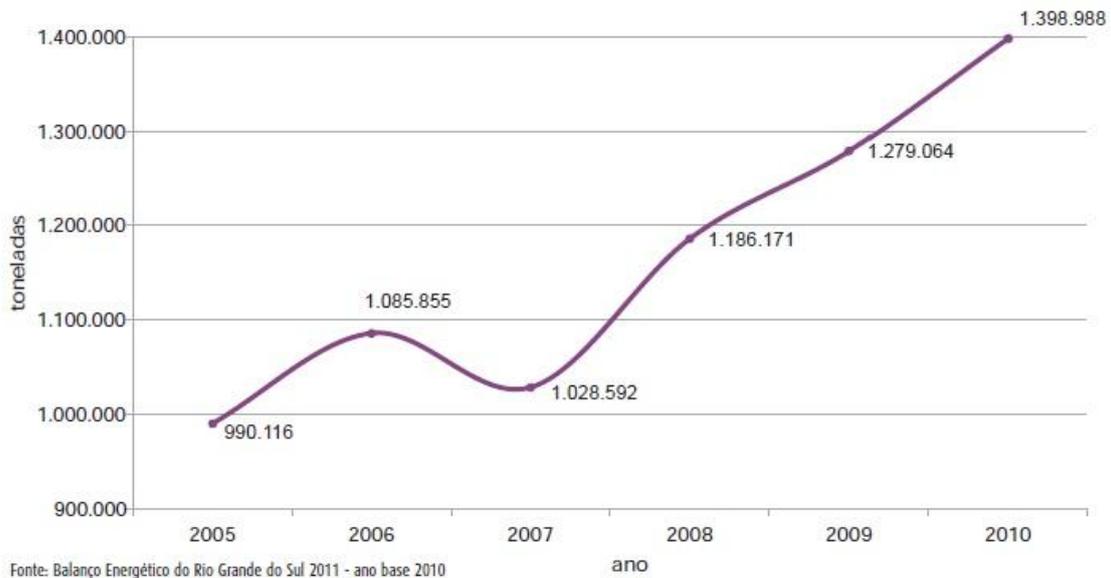


Figura 19: Evolução da Produção de Casca de Arroz Utilizada como Energético no RS, no Período de 2005 a 2010.

Além disso, juntamente com o mapa de uso e ocupação do solo e os dados de produção agrícola do IBGE Cidades/EMBRAPA pode-se traçar uma linha de raciocínio para se analisar o potencial energético provida da biomassa para a área de estudo.

Os dados foram referentes ao ano de 2011 para a produção, já que as imagens de satélite utilizadas para análise são do mesmo ano, assim pode-se averiguar com mais precisão os tipos de plantio, as áreas e outros usos.

## 7. METODOLOGIA GERAL

As etapas desenvolvidas para a execução deste trabalho foram feitas segundo o método de análise (adptado de AYUP-ZOUAIN *et al*, 2005).

Inicialmente realizou-se pesquisa bibliográfica para entendimento e compreensão da área a ser estudada, juntamente com o levantamento de características gerais e cartográficas; imagens de satélite e legislação ambiental.

Após essa etapa foi estruturado o banco de dados espacial sendo desenvolvido em ambiente SIG, com a inserção de dados estatísticos e base cartográfica. Dessa forma, pode-se gerar as informações primárias através da vetorização de dados de geologia, sistema viário, áreas urbanas, áreas de preservação, hidrografia e tipos de solo.

Concomitantemente a essa etapa, realizou-se um campo para pesquisa e coleta de informações *in loco*, adquirindo-se pontos com GPS para correção e georreferenciamento das imagens de satélite e base cartográfica.

Em ambiente SIG juntamente com as fontes bibliográficas foram geradas informações derivadas do modelo numérico do terreno, uso do solo, mapas eólicos, radiação solar e biomassa.

Com o banco de dados estruturado foram gerados os mapas para análise do potencial energético da área de estudo. Assim, possibilitando melhor avaliação do potencial energético da região através da correlação dos dados em ambiente SIG.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3 ed.** Brasília, DF, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Matriz energética do Brasil.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoGeracaoTipo.asp?tipo=5&ger=Combustivel&principal=Biomassa> . Acesso em: Abril de 2014.

AYDIN, N. Y.; KENTEL, E.; DUZGUN, S.; **GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 14, p. 364-373, 2010.

AYUP-ZOUAIN, R. N.; FERREIRA, H. P. L.; BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J. 2003. **Evidência morfológica de um paleocanal holocênico da laguna Mirim nas adjacências do banhado Taim.** In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Recife: 5p.

AYUP-ZOUAIN, R. N. et. Al. **Evolução Paleogeográfica das Bacias do Pará-Maranhão, de barreirinhas e do Ceará.** In: Estudo de proveniência e dispersão nas bacias do Pará-Maranhão, de barreirinhas e do Ceará. Porto Alegre: FAURGS, v1, p. 69 – 163, 2005.

BERMANN, C. **Energia do Brasil: para quê? Para quem? Crise e alternativas para um país sustentável,** Livraria Física. 2001.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: IBGE Cidades. **Censo Demográfico: 2010.** IBGE Cidades: Rio Grande do Sul. Chuí, 2012. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430543>. Acesso em: Junho de 2012.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: IBGE Cidades. **Censo Demográfico: 2010**. IBGE Cidades: Rio Grande do Sul. Santa Vitória do Palmar, 2012. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=431730>. Acesso em junho de 2012.

CAMARGO, O. A. *et al.* **Atlas Eólico**. Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria de Energia Minas e Comunicações (SEMC), 2002.70 p.

CAPELETTO, G. J. **Balanco Energético do Rio Grande do Sul 2005 – 2007**. CEEE/ Secretaria de Infra-Estrutura e Logística do Rio Grande do Sul, 2008. 240 p.

CAPELETTO, G. J. **Balanco Energético do Rio Grande do Sul 2011: ano base 2010**. Grupo CEEE. Secretaria de Infra-estrutura e Logística do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2011. 192p.

CHUNGSANGUNSIT, T. **Environmental Profile of Power Generation from Rice Husk in Thailand**. 2004. Disponível em: <http://www.thaiscience.info/Article%20for%20ThaiScience/Article/3/Ts-3%20environmental%20profile%20of%20power%20generation%20from%20rice%20husk%20in%20thailand.pdf>. Acesso em: 22 de Março de 2012.

EASTMAN, J. R. 1997. **IDRISI for Windows Users's Guide version 2.0**. Introduction. Worcester-MA, Graduate School of Geography, Clark University. p. 1-1 to 3-19.

EASTMAN, J. R. 1997. **IDRISI for Windows Users's Guide version 2.0**. Tutorial Exercises. Worcester-MA, Graduate School of Geography, Clark University. 192 p.

FARINA, F. C. **Sistemas de informação geográfica (SIG) Estratégico do potencial energético renovável da Planície Costeira Norte do RS.** 2009. 150 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

FERREIRA, H. P. L. **Variação dos níveis de base do sistema laguna barreira nas adjacências da Laguna Mirim.** 2005. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

GUERRA, J. A. **Análisis de los Parámetros Técnicos en la Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la Integración Regional de las Energías Renovables en la Producción Descentralizada de Electricidad.** Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid. Tesis Doctoral. 2000.

HAGE, J. A. A. **A Biomassa na Transformação do Sistema Internacional.** Renabi, Biomassa e energia. v. 2,n.4,p.301-310, 2005.

HASENACK, H. WEBER. E. **Base cartográfica Vetorial do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre. UFRGS, Centro de Ecologia, 1 ed. 2010. DVD-ROM.

INSTITUTO CHICO MENDES. ICMBio. MMA. **Estação Ecológica do Taim,** Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao/biomas-brasileiros/marinho/unidades-de-conservacao-marinho/2257-esec-do-taim.html>. Acesso em: março de 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA ESPACIAL. INPE. **Imagens Satelite landsat 7.** Santa Vitória do Palmar. Divisão de geração de imagens, 2001.

MARTINAZZO, C. A. **Modelos de estimativas de radiação solar para elaboração de mapas solarimétricos.** 2004. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) –

Escola de Engenharia, Curso de Pós – Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MOREIRA, M. A. RUDORFF, B. F. T. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Sensoriamento Remoto Aplicado à Agricultura**. INPE – 8984 – PUD/ 62, 2002, Cap 9. Disponível em: [http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.13.14/doc/CAP9\\_MAMoreira.pdf](http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.13.14/doc/CAP9_MAMoreira.pdf)

Acesso em: 13 de Outubro de 2013.

PALZ W. **Power for the world**. Bruselas: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. (1994).

RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Socioeconômico**. Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria da Coordenação e Planejamento. Porto Alegre: 2012. Disponível em: [http://www.scp.rs.gov.br/atlas/anexo.asp?ta=1&modo\\_exibicao=&cod\\_menu=700&cod\\_menu\\_pai=688&cod\\_tipo\\_conteudo=1](http://www.scp.rs.gov.br/atlas/anexo.asp?ta=1&modo_exibicao=&cod_menu=700&cod_menu_pai=688&cod_tipo_conteudo=1). Acesso em: Junho de 2012.

RIO GRANDE DO SUL. **Programa de Gerenciamento Costeiro-GERCO RS**. Porto Alegre: Fepam, 2012 a. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/programas/gerco.asp>> Acesso em: Março de 2012.

ROCHA, J.D.; PÉREZ, J.M.M.; CORTEZ, L.A.B. **Aspectos teóricos e práticos do processo de Pirólise de Biomassa, curso Internacional “Energia na Indústria de Açúcar e Alcool”** UNIFEI, Itajubá, 12-16 de julho de 2004.

SORENSEN, B. e MEIBOM, P. (1999). **GIS tools for renewable energy modeling**. *Renewable Energy*, 16, 1262 – 1267.

STHRALER, A.N. **Geografia Física**. Barcelona: Ed. Omega, 1994.

TIBA, C. et al. (Org). **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.

TIBA, C. et al. **A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil.** *Renewable Energy*, v. 35, p. 2921-2932, 2010.

VICARI, M. B. **Uso de SIG e Análise Multicritério para Levantamento do Potencial de Implantação de Usinas Eólica e Solar no Rio Grande do Sul.** Universidade de Passo Fundo. Engenharia Ambiental. 2012

VIEIRA, E.P. ; RANGEL, S.R.S. **Planície costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica sócio-demográfica.** 1º edição. Porto Alegre: SAGRA, 1988

VILLWOCK, J. A. (1984). **Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, southern Brazil.** A Synthesis. *Pesquisas*. Porto Alegre. 16: 5-49.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J.; LOSS, E. L.; DEHNHARDT, E. A.; HORN, N. O.; BACHL, F. A. & DEHNHARDT, B. A. (1986). **Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province.** Rabassa, J. (ed.). *Quaternary of the South America and Antarctic Peninsula*. A.A. Balkema, Rotterdam. 4: 79-97.

VILLWOCK, J. A. & TOMAZELLI, L. J. (1995). *Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas*, 8: 1-45.

WEBER, E.J.; Duarte, G.F; Frank, M.; Hoff, R.; Zomer, S.; Bassani, E.; Junqueira, I. 1998. **Estruturação de sistemas de informação ambiental em bacias hidrográficas: o caso da bacia hidrográfica do rio Caí - RS** Congresso e feira para usuários de geoprocessamento, 4. Anais. Curitiba / PR. Disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/publicacoes.php>.

## **Renewable Energy Potential of the Coastal Municipalities in Southern Brazil: a GIS-based analysis**

R. A. L. Franchini<sup>1</sup>, R. M. Oliveira<sup>1</sup>, F. C. Farina<sup>2</sup>, T. S. Silva<sup>2</sup> & R. N. A. Zouain<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Corresponding author.* Student of the Postgraduate Program in Institute of Geosciences, concentration area: Marine Geology and Coastal, Federal University of Rio Grande do Sul – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, Porto Alegre, CEP 91509-900, Brazil. Phone number: +55 51 33087272, email: [ricardo.franchini@ufrgs.br](mailto:ricardo.franchini@ufrgs.br)

<sup>2</sup> Department of Geodesy, Federal University of Rio Grande do Sul – UFRGS, email: [flavia.farina@ufrgs.br](mailto:flavia.farina@ufrgs.br); [tatiana.silva@ufrgs.br](mailto:tatiana.silva@ufrgs.br)

<sup>3</sup> Full Professor in Department of Geodesy, Institute of Geosciences, Federal University of Rio Grande do Sul – UFRGS, email: [ricardo.ayup@ufrgs.br](mailto:ricardo.ayup@ufrgs.br)

## **Abstract**

The ever-growing needs of human society make us increasingly dependent on technical solutions in order to meet our energy demands. The advance of geotechnologies makes it possible to integrate multiple layers of information and, in doing so, unify assumptions, allow cross-technology comparison, and assess the overall energy potential in a given area. Once the mapping is done, it becomes easier to make more sustainable decisions, since the whole picture of energy alternatives is accessible. The south littoral of the Rio Grande do Sul coastal plain, despite its undeniable ecological importance, is still poorly known in terms of parameters required to define a sustainable energy framework. Thus the goal of this study is to assess the renewable energy potential of Santa Vitória do Palmar and Chui coastal municipalities, Southern Brazil, through a GIS-based analysis. To accomplish it, remote sensing and field data related to solar and wind energy as well as biomass were used. Results show that the study area presents a high potential for wind energy use, mainly near urban centers and beaches. The main biomass source is rice by-products, which is also significant in quantity and quality to be exploited. Regarding the solar energy use, a more detailed technical study must be carried out to confirm its feasibility, once the costs involved in this activity are very high, even if energy levels are above minimum threshold for exploitation. The resulting GIS database is intended to support the decision-making process related to environmental management and development planning in which concerns the energy alternatives and use in Santa Vitória do Palmar and Chuí coastal municipalities.

## 1 INTRODUCTION

Nowadays, the use of technology and consistent methodologies are essential to meet the ever-growing society needs for energy and infrastructure. Renewable electricity generation estimates are commonly technology specific, based on resource availability. However, with the advance of geotechnologies, it is possible to integrate multiple layers of information and, in doing so, unify assumptions, allow cross-technology comparison, and assess the overall energy potential in a given area. Once the mapping is done, it becomes easier to make more sustainable decisions, since the whole picture of energy alternatives is accessible. In this sense, the pursuit for accomplishing spatial data analysis in the shortest possible time span yielding high accuracy results is a main concern of many researchers around the world. This is specially the case in dealing with coastal zones, where human activities are concentrated, commonly unordered, and (negatively) pressuring valuable ecosystems.

A Geographic Information System (GIS) is a computerized system that allows modeling, storing, analyzing, and displaying geographic referenced data. GIS as a decision support tool is based on multiple criteria, providing valuable ways to obtain information of different subjects and correlate them. Database updating and scenario generation are among GIS capabilities, giving a unique approach in spatial-related problem resolution (Weber, 1998). Besides, its level of sophistication is adaptable, varying from very basic database query to highly complex spatial analysis (Aydin, 2010).

For all the characteristics above mentioned, GIS technology has been applied as a support tool in renewable energy planning worldwide. SOLARGIS (1994) is one of the pioneer successful projects in this sense. Other examples are the works of Aydin (op.cit.) in studying the Wind potential in West Turkey; Sorensen and Meibom (1999) with the global energy model; Sorensen (2001) applying GIS to map solar energy potential; and Guerra (2000) proposing a GIS-based model of renewable energy production in decentralized areas.

According to Sorensen and Meibom (1999), obtaining coherent parameters such as solar radiation, wind speed and biomass potential are essential for defining the best methods of power generation in a region based on geotechnologies. Thus the goal of this study is to assess the renewable energy potential of the areas comprised by the coastal municipalities of Santa Vitória do Palmar and Chui, Southern Brazil, through a GIS-based analysis. To

accomplish it, remote sensing, field data and documentary material related to solar and wind energy parameters as well as biomass were used.

## **2 STUDY AREA**

The study area comprises about 5.500 Km<sup>2</sup>, corresponding to municipalities of Santa Vitória do Palmar and Chuí, Southern Brazil (Figure 1). Political boundaries of coastal municipalities were used to define the study area in accordance with the National Coastal Management Plan, established through Law 7661. The area is limited by the international border between Brazil and Uruguay in the west and south, the municipal boundary between Santa Vitória do Palmar and Rio Grande in the north, and the Atlantic Ocean in the east.

The geological/geomorphologic evolution of the region resulted in a coastal plain formed by the sea level variations during the Holocene (Long, 1989). The landscape presents a very smooth terrain, covered by herbaceous vegetation, wetlands and small forest patches, interspersed by rivers and irrigation channels. Natural rangeland, however, has been replaced by rice crops (with a rotational system with livestock), which currently are predominant in the landscape. Thus, economy is mostly based on rice and cattle farming. Wetlands deserve special attention in the region context, because of ecological importance allied to their expressive extension and connections to other cross-border wetland systems. They comprise one of the most important conservation units in Southern Brazil called Taim Ecological Station. The climate is subtropical-temperate, the annual average temperature ranges from 16°C to 20°C, and the pluviometric precipitation from 1.200mm to 1.500mm.

FIGURE 1

## **3 METHODOLOGY**

To accomplish this work, analog-digital transformations and corrections of the base maps were needed, as well as field work to check for ground truth and documentary search for secondary data. The details of each step are as follows.

### 3.1 Cartographic base building procedures

The administrative boundaries of the municipalities were obtained from the Brazilian Institute for Geography and Statistics (IBGE). The water system and accessibility were acquired through topographic maps in a 1:50 000 scale and digitized on screen. Remote sensing data comprise Landsat TM images (bands 1 to 5, and 7) acquired in 13/10/2011 and obtained from INPE (Institute for Space Research) portal. Once all the layers were registered to the same reference system (UTM, WGS-84) geological/geomorphological, edaphic and land use and cover information were digitized based on Landsat color composites. Arcgis ® 10 software was used in this procedure.

### 3.2 Field work

Control points coordinates were recorded through 5-meter accuracy Garmin GPS. Geomorphologic and land use and cover classes were identified at each point. Control point set comprises only the location where one or both parameters (geomorphology and land use and cover) could not be recognized based on previous geobotanical knowledge of the researchers involved nor through Google Earth ® imagery.

### 3.3 Documentary search and spatial analysis

Documentary search allowed obtaining the secondary data required to assess the energy potential use for the three types of source available, that means, solar, wind and biomass energy. For solar energy, the analysis was based on study of Martinazzo (2004) and on the Tiba *et al* (2000). The statistical models used include solar radiation estimates and monthly insolation maps. In a GIS environment, the data corresponding to solar radiation daily average were related to the digital elevation model (DEM, Figure 2) and to the study of Ferreira (2005, Figure 3), which presents transverse and longitudinal planialtimetric profiles of the study area, so that the relief to solar incidence ratio could be calculated.

FIGURE 2

FIGURE 3

Wind energy analysis was based on the Wind Energy Atlas of Rio Grande do Sul (Camargo et al, 2002). According to the Wind Energy Atlas, the annual average daily wind speed must be higher than 7 m/s to consider an area feasible for energy generation. Annual wind speed maps at 50, 75, and 100-meter height were taken into account to spatially define the suitable areas for wind exploitation.

The land use and cover map was used to extrapolate biomass, considering only rice by products as a viable raw-material, that means only rice-related land use classes were used in the calculation. Anderson (1976) classification model was adopted to map land use and cover based on Landsat images. The identification of rice crops was accomplished based on Landsat 543 color composite and Google Earth imagery.

## **4 RESULTS AND DISCUSSION**

A prompt observation of energy related data allows inferring about the potential use of the energy sources available in Santa Vitória do Palmar and Chui. The GIS procedures made possible to overlay and get improved interpretations of the spatial data, which resulted in a better classification of the energy potential in the study area. The smooth relief made it even easier to perform the GIS operations, once the inclusion of physical obstacles such as mountains and valleys were not necessary. This characteristic is very desirable to the facility installation and exploitation of renewable energy.

### **4.1 Solar energy**

Once Santa Vitória do Palmar and Chui present a maximum elevation value of 32m above sea level, there is no significant shadow effect in the study area. Solar incidence in this case only depends on climate related factors. Solar potential results refer to global horizontal solar radiation values and map (month average, Figure 4).

FIGURE 4

According to the Tiba et al (2000), the whole country has a great solar potential, especially if the global daily solar radiation values are considered. The average values found

in Brazil present values as high as 22-24 MJ/m<sup>2</sup>, and the minimum values are between 6-8 MJ/m<sup>2</sup>. The study area presents a global daily solar radiation average of 14 MJ/m<sup>2</sup>, maximum values of about 21 MJ/m<sup>2</sup> occurring between December and January, and minimum values of about 7 MJ/m<sup>2</sup> occurring on July, when the minimum insolation of 6 hours is also reached.

According to the *Balanco Energético do Rio Grande do Sul (2007)* the use of photovoltaic technology is still small in the Rio Grande do Sul state given the high cost of solar panels. The Federal Government through the Energy Development of States and Municipalities Program (PRODEEM) has invested in the solar energy use since 1996. According to Tiba (2010), some photovoltaic systems have been installed to provide electricity, water pumping, and public lighting. Photovoltaic systems applications are diverse, and can also include industry supply.

The study area solar potential is good. However, a more detailed technical study must be carried out to confirm its feasibility, once the costs involved in solar panels installation are still very high. GIS results use, in this case, is limited to support planning procedures of defining the most suitable locations for solar panels installation.

## 4.2. Wind energy

Map overlay procedures allowed to define where the highest wind incidence and speed occur. Figure 5 shows wind potential maps, where wind incidence is classified by elevation and wind speed. Figure 6 shows the average annual wind speed map of the study area. In general, the study area presents a high potential for wind farm installation, and the highest potential is concentrated closed to urban centers and beaches.

FIGURE 5

FIGURE 6

The Brazilian Federal Government, through the Incentive for Alternative Electric Energy Sources Program (PROINFRA) and PRODEEM, already started the implementation of two major wind farms in de Santa Vitória do Palmar and Chuí. These wind parks will be built by a consortium between Pampa Eólica/Renobrax and Eletrosul. It is expected the

generation of 1000 – 15000 employments during the implementation phase. The Geribatú Park in Santa Vitória do Palmar and João Gomes in Chuí will together comprise 129 wind turbines of 258 MW capacity in the first field and 83 wind turbines of 166 MW in the second. These wind fields have an overall capacity to supply energy for 500-600 residences.

### 4.3 Biomass

The land use and cover map (Figure 7) is an important indicative of the biomass energy potential of the study area, considering rice by-products as a potential source of energy. The land use and cover map shows the location of agricultural activities and afforestation (silviculture), as well as of natural cover types. Table I shows the land use and cover classes covering area.

FIGURE 7

TABLE I

To indicate rice by-products as the most suitable biomass-based source of energy, the crop by-product type and quantity, and its cover area were analyzed. Rice by-products are not extensively used in energy production in Brazil, despite of the large amounts produced. Brazil had only eight energy generation plants based on rice by-products until 2012. This represents the generation of about 33 MW, corresponding to 0,03% of the national energy generation.

According to Chungsangunsit (2004), rice by-products correspond to 20% of the non-processed rice weight. An unsuitable choice of location to discharge this material can lead to problems related to its transportation and methane release. Rocha *et al.* (2004) make a point of how important it is to keep biomass energy production facilities close to rice processing plants, once rice by-products have low density and, consequently, high volumes, making them difficult and expensive to transport.

The GIS database includes not only the crops location, but also the transportation system data, and simple distance analyses could help finding viable solutions related to rice by-products transportation and the location of biomass energy production facilities.

The GIS environment, in a general sense in this study, allowed to organize and overlaid when needed spatial data required in an energy potential assessment, which includes:

wind incidence and speed, digital elevation model, solar incidence, land use and cover, distance to roads, distance to the international border, distance to water bodies, among others.

## **5 CONCLUSION**

GIS-based modeling was the core in assessing the renewable energy potential in Santa Vitoria do Palmar and Chui. Results show a great potential for wind energy exploitation, mainly in the areas where wind speed is higher than 8,5 m/s. Besides, wind parks consist in a touristic attraction, inserting a new element to the landscape. Regarding solar energy, the study area presents solar incidence values higher than the state average and others Brazilian regions. The study area presents a considerable production of rice and by-products, which consists in an important biomass source of energy, not yet considered as an alternative in the current development plans.

The results of this work along with the GIS database were thought to support public policies regarding energy supply planning, and also have a great potential to be used in other spatial-dependent decision making processes. Our GIS-based model is a flexible tool. Further criteria can be included, if necessary, the periodic update of input data accomplished, and the scenario generation performed, prospecting new possibilities of energy generation. Besides, GIS products have a high applicability to the policy instruments defined by the National Coastal Management Plan, once they explicitly depend on spatial tools or at least would be benefited through the use of maps.

## **6 ACKNOWLEDGMENTS**

We thank CAPES for funding this work and the Basin Modeling Laboratory staff and students for their helpful comments.

## 7 REFERENCES

Anderson, J. R.; Hardy, E. E. Roach, J. T.; Witmer, R. E.; A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. US Geological Survey professional paper ; 964.

Aydin, N. Y.; Kentel, E.; Duzgun, S.; GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: A case study from Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, p. 364-373, 2010.

Camargo, O. A. *et al.* Atlas Eólico. Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria de Energia Minas e Comunicações (SEMC), 2002.70 p.

Capeletto, G. J. Balanço Energético do Rio Grande do Sul 2005 – 2007. CEEE/ Secretaria de Infra-Estrutura e Logística do Rio Grande do Sul, 2008. 240 p.

Chungsangunsit, T. Environmental Profile of Power Generation from Rice Husk in Thailand. 2004. Available in: <http://www.thaiscience.info/Article%20for%20ThaiScience/Article/3/Ts-3%20environmental%20profile%20of%20power%20generation%20from%20rice%20husk%20in%20thailand.pdf>. Accessed: March 22, 2012.

Ferreira, H. P. L. Variação dos níveis de base do sistema laguna barreira nas adjacências da Laguna Mirim. 2005. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

Guerra, J. A. Análisis de los Parámetros Técnicos en la Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la Integración Regional de las Energías Renovables en la Producción Descentralizada de Electricidad. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid. Tesis Doctoral. 2000.

Instituto Nacional De Pesquisa Espacial. INPE. Imagens Satelite landsat 7. Santa Vitória do Palmar. Divisão de geração de imagens, 2001.

Long, T., 1989. Le quartenaire littoral du Rio Grande do Sul. Temoins de quatre derniers épisodes eustatiques majeurs. Geologie et evolution. PhD Thesis. University of Bordeaux, Bordeaux.

Martinazzo, C. A. Modelos de estimativas de radiação solar para elaboração de mapas solarimétricos. 2004. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Curso de Pós – Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

, J.D.; Pérez, J.M.M.; Cortez, L.A.B. Aspectos teóricos e práticos do processo de Pirólise de Biomassa, curso Internacional “Energia na Indústria de Açúcar e Alcool” UNIFEI, Itajubá, 12-16 de julho de 2004.

Solargis Team. (1994). First Progress Report.

Sorensen, B. (2001). GIS management of solar resource data. 503-509.

Sorensen, B. e Meibom, P. (1999). GIS tools for renewable energy modeling. Renewable Energy, 16, 1262 – 1267.

Tiba, C. et al. (Org). Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000.

Tiba, C. et al. A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil. Renewable Energy, v. 35, p. 2921-2932, 2010.

Weber, E.J.; Duarte, G.F; Frank, M.; Hoff, R.; Zomer, S.; Bassani, E.; Junqueira, I. 1998. Estruturação de sistemas de informação ambiental em bacias hidrográficas: o caso da bacia hidrográfica do rio Caí - RS Congresso e feira para usuários de geoprocessamento, 4. Anais. Curitiba / PR. Disponível em [http:// www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/publicacoes.php](http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/publicacoes.php).

Figure 1. Study area

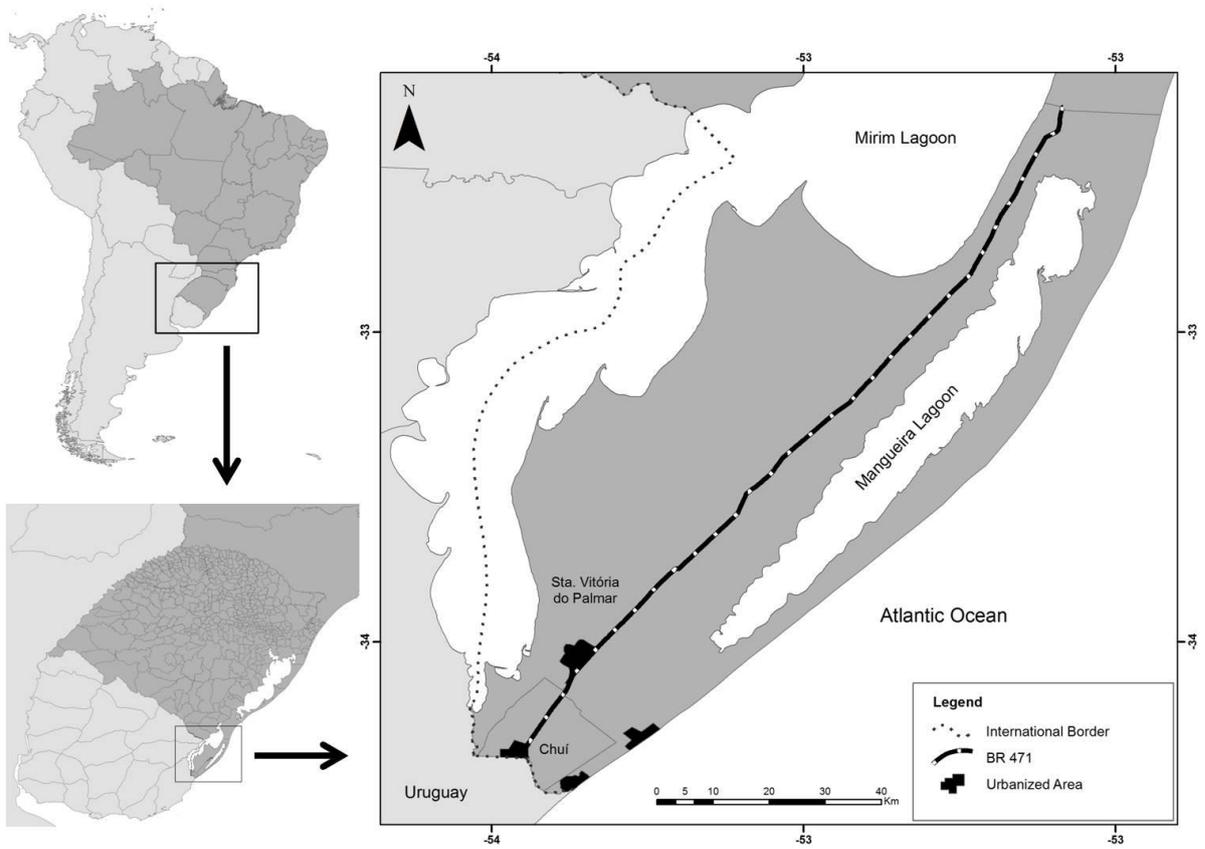


Figure 2. Digital Elevation Model (DEM) of Santa Vitória do Palm

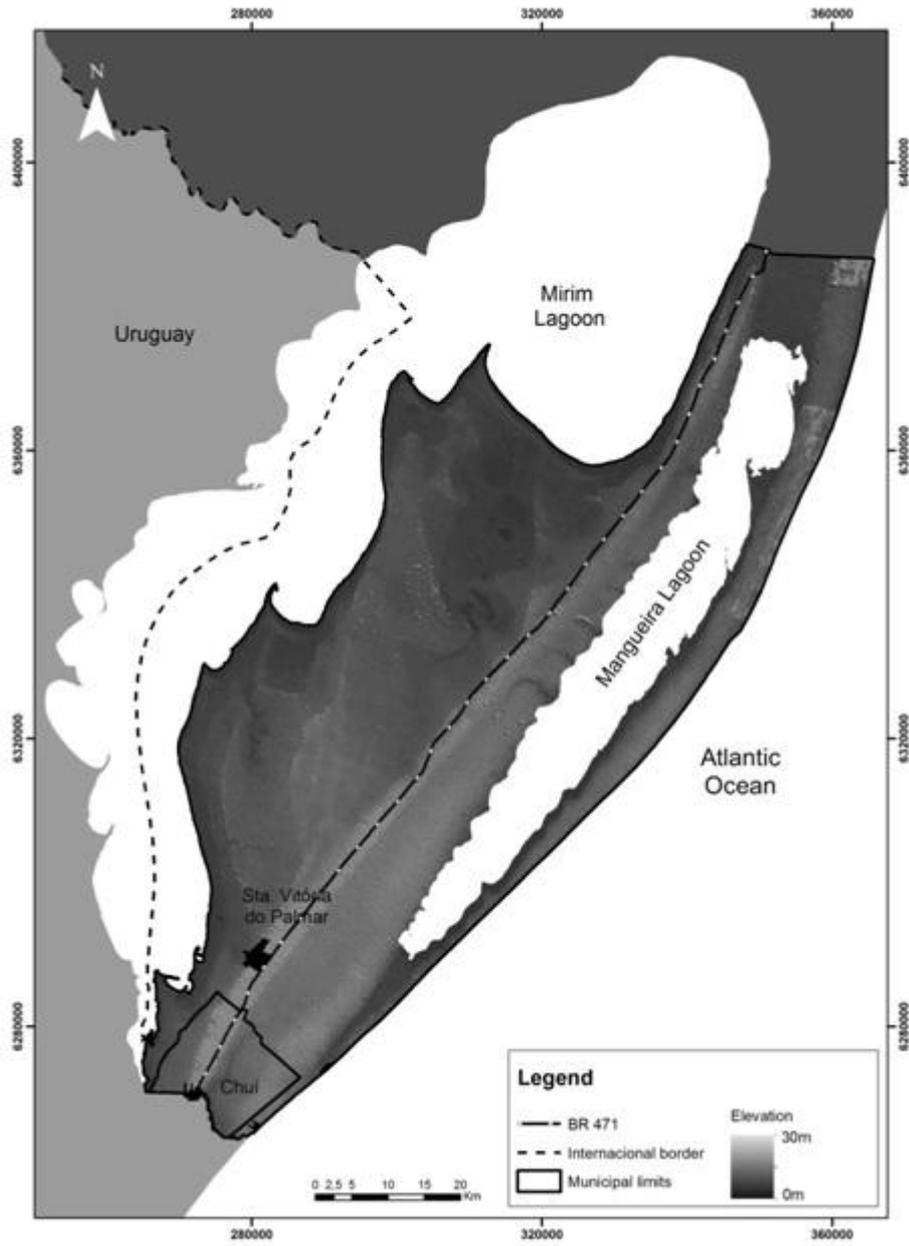


Figure 3. Planialtimetric map and profiles (adapted from Ferreira, 2005).

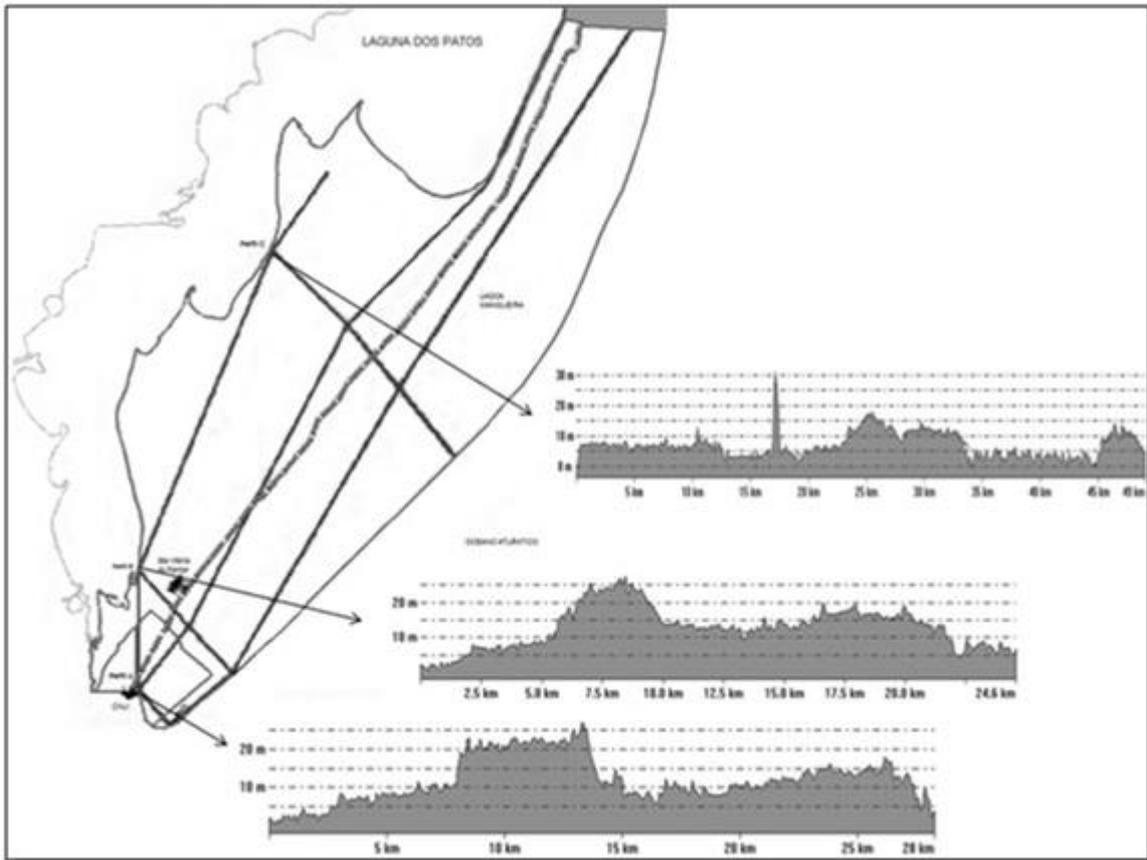


Figure 4. Global horizontal solar radiation: values represent the month average in MJ/m<sup>2</sup> of the area corresponding to the territory of Santa Vitória do Palmar and Chuí municipalities.



Figure 5. Annual wind speed maps modified from CAMARGO et al, 2002.

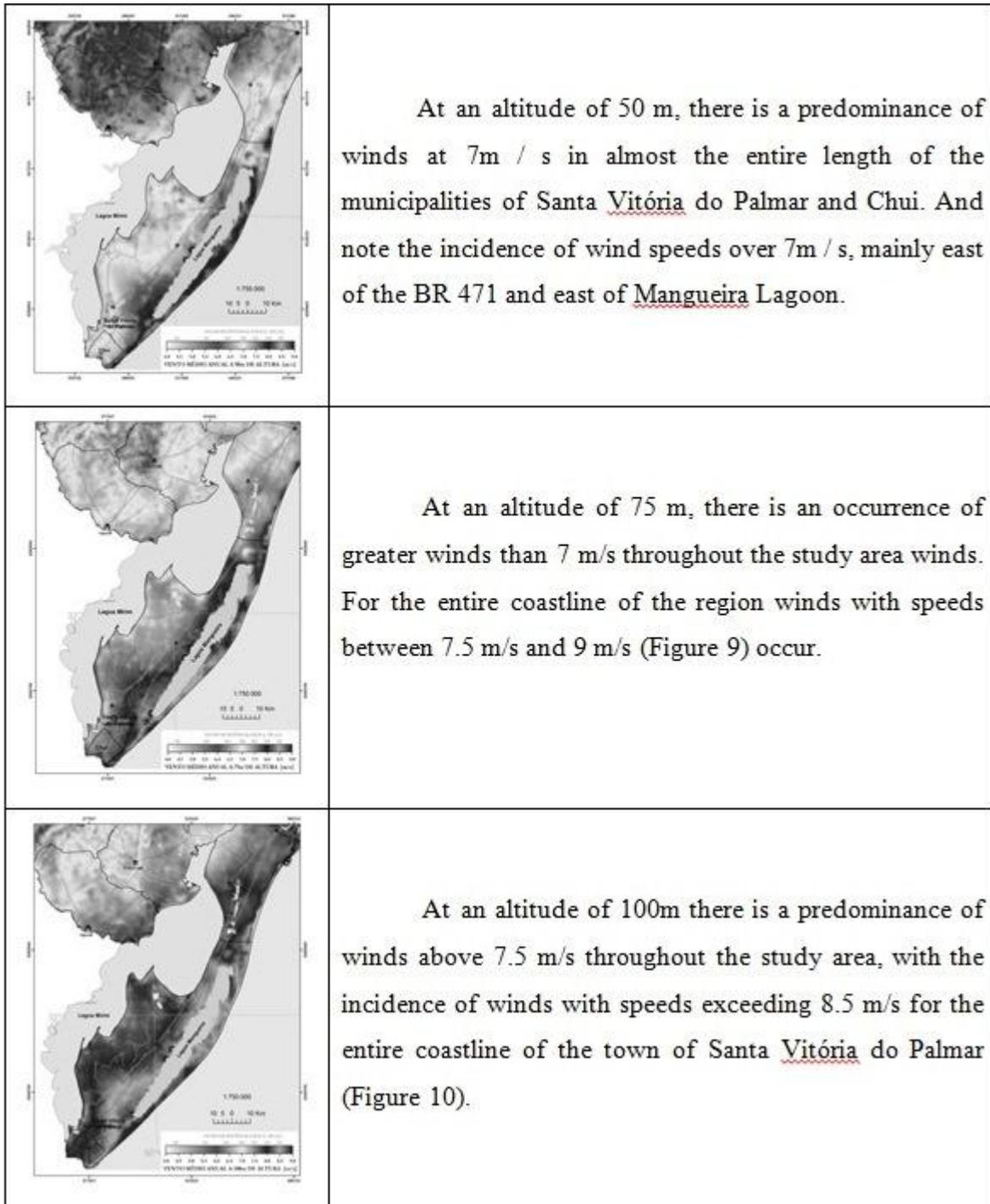


Figure 6. Average annual wind speed map of the study area.

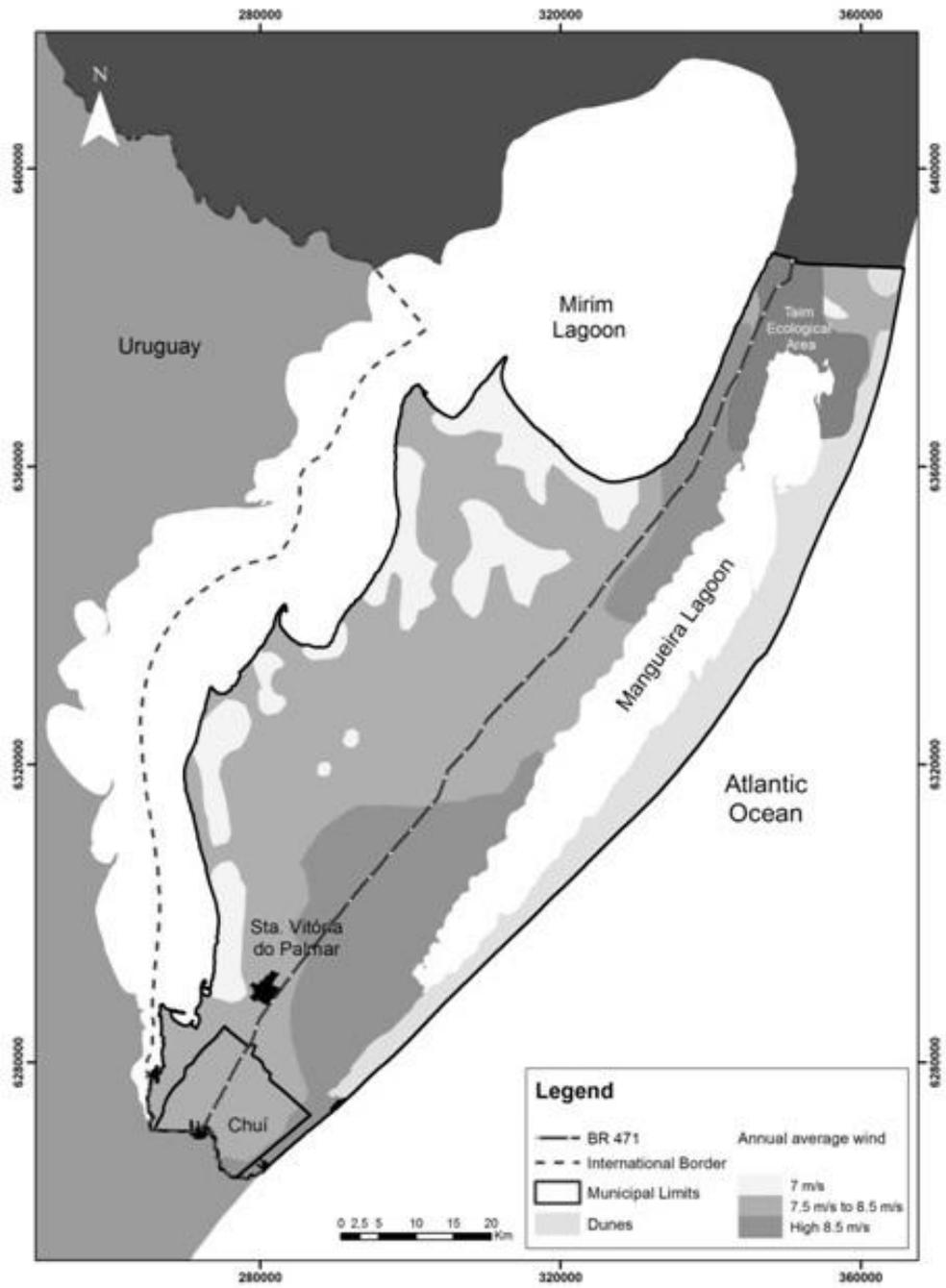


Figure 7. Land use and cover map of the study area.

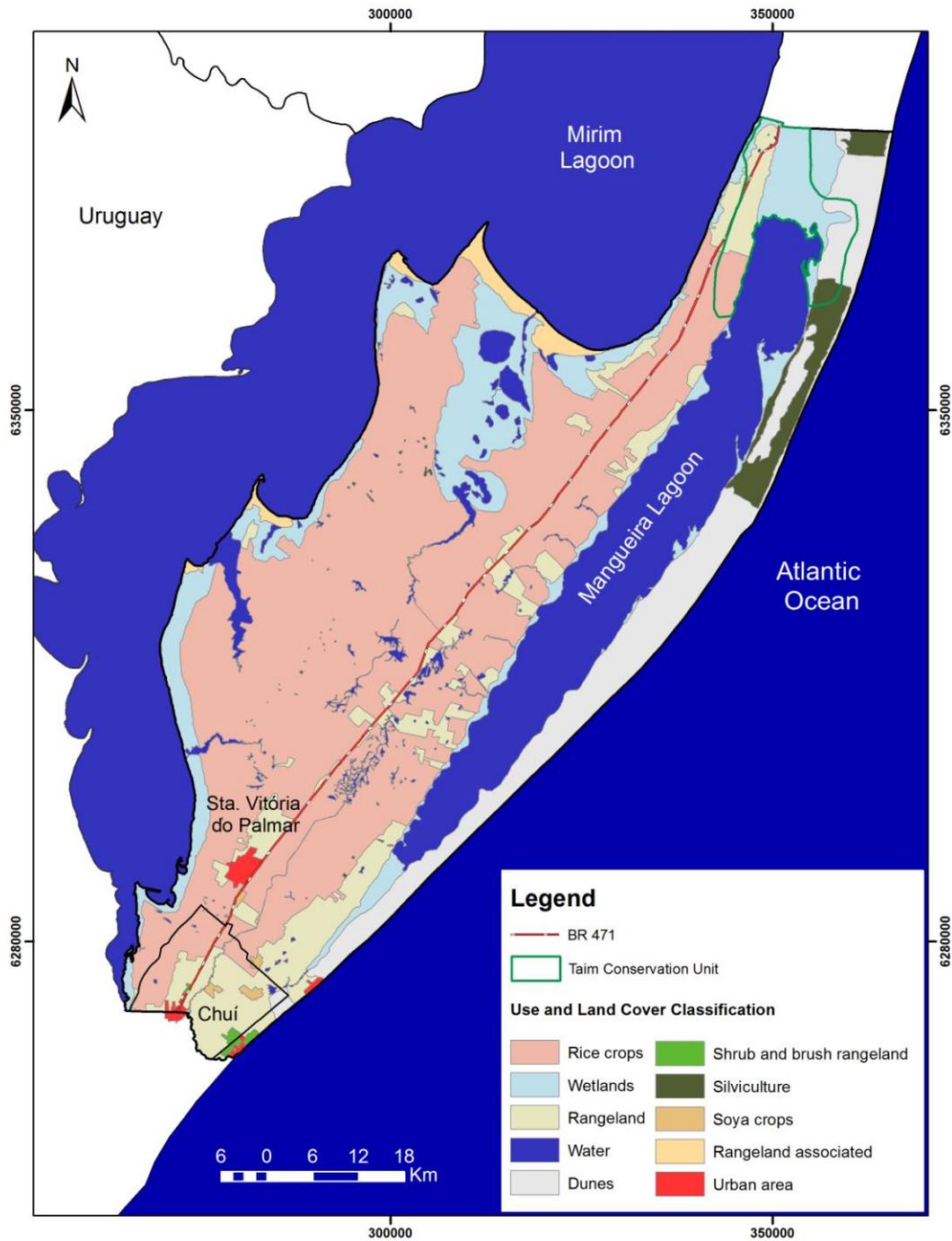


Table 1. Classes of use and types of ground cover and busy area in the study area.

<b>Classes de uso e cobertura</b>	<b>Área plantada (ha)</b>
Paddy rice	245.667 há
Forestry	11.500 há
Soybean	975 há
sandy soil	7.770 há
Countryside	48.115 há
Water bodies	15.139 há
plated	87.076 há
anthropic use	2.456 há
Dune field	48.569 há
Shrub	790 ha