

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
NÚCLEO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MATHEUS BERNARDON GIMENES

AEROGERADORES DE PEQUENO PORTE PARA IMPLANTAÇÃO EM  
EMPREENDIMENTOS JÁ EXISTENTES

CURITIBA

2024

MATHEUS BERNARDON GIMENES

AEROGERADORES DE PEQUENO PORTE PARA IMPLANTAÇÃO EM  
EMPREENDIMENTOS JÁ EXISTENTES

Artigo Científico apresentado ao Programa de Pós-Graduação MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis.

Orientador: Prof. Fernando Ramos Martins

CURITIBA

2024

## RESUMO

Geração de energia distribuída, assim como ações que favorecem a preservação do meio ambiente e reduzem os impactos ambientais estão cada vez mais em evidência na construção civil por todo o mundo, e no Brasil não é diferente. Edifícios caracterizados por grande verticalização não possuem área disponível para instalação de painéis fotovoltaicos, modalidade de geração de energia elétrica muito evidente no país e aerogeradores de pequeno porte podem ser uma alternativa para estes empreendimentos possuem geração de energia própria e se destacarem no mercado imobiliário, além da economia gerada e aspectos positivos ao meio ambiente. Este estudo aborda detalhes dos aerogeradores de pequeno porte instalados em centros urbanos, com grande verticalização, característica encontrada no litoral de Santa Catarina e inclui um exemplo de edifício verticalizado, não projetado para receber geração de energia elétrica no local, mas que com pequenas alterações está apto a receber um aerogerador de pequeno porte e com este diferencial se mostrar mais atrativo a moradores e investidores.

Palavras-chave: Aerogeradores de pequeno porte, geração de energia elétrica, verticalização urbana, mercado imobiliário.

## ABSTRACT

Distributed energy generation, along with initiatives promoting environmental preservation and mitigating environmental impacts, are increasingly prominent in the global construction industry, and Brazil is no exception. Buildings characterized by significant verticalization often lack available space for the installation of photovoltaic panels, a prevalent method of electricity generation in the country. Small-scale wind turbines can offer an alternative for such developments to establish their own power generation, enhancing their competitiveness in the real estate market. This not only leads to cost savings but also contributes positively to environmental considerations. This study delves into the specifics of small-scale wind turbines deployed in urban centers with high verticalization, a characteristic observed along the coast of Santa Catarina. It presents an example of a vertically structured building not originally designed for on-site electricity generation. However, with minor modifications, the building becomes conducive to hosting a small-scale wind turbine, thus making it more appealing to residents and investors with the added advantage of sustainable energy generation.

Keywords: Small wind turbines, electric power generation, urban verticalization, real estate market.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca pela geração de energia renovável tem se mostrado cada vez mais necessária e vem sendo considerada na implantação de diversos empreendimentos, até mesmo dentro de centros urbanos.

Empreendimentos já existentes, projetados e implantados sem a previsão para geração de energia elétrica no local, podem encontrar inúmeros obstáculos que inviabilizam esta iniciativa e a busca por fontes alternativas para geração e consumo de energia elétrica renovável. Os consumidores e empreendimentos localizados em centros urbanos enfrentam ainda maior dificuldade, agravada pelos espaços físicos limitados.

Neste cenário urbano a geração fotovoltaica vem se destacando, movida principalmente pelos incentivos na aquisição dos materiais, disponibilidade de profissionais e disseminação da tecnologia (Brasil, 2023). Porém, disponibilidade de áreas para geração fotovoltaica não é uma realidade para boa parte dos edifícios dos grandes centros urbanos, com estruturas muito verticalizadas, como é o caso dos edifícios na cidade de Balneário Camboriú, em Santa Catarina, onde estão localizados sete dos edifícios mais altos do Brasil, incluindo o maior da América Latina, segundo reportagem do Sindicato da Construção Civil (SINDUSCON) sobre painel apresentado em São Paulo no 96º Encontro Nacional da Indústria da Construção (SINDUSCON, 2023). Para estes empreendimentos verticais, cuja energia fotovoltaica não é uma opção válida devido a área disponível ser restrita, outras fontes de geração de energia elétrica são necessárias para atender esta demanda e a energia eólica pode ser uma alternativa atrativa.

O objetivo deste trabalho é propor, através de geradores eólicos de pequeno porte, uma alternativa para empreendimentos urbanos verticalizados possuírem geração de energia elétrica no local e com isso reduzirem seus custos, atenderem diretrizes ambientais, apresentarem diferenciais tecnológicos e se destacarem no mercado imobiliário. Além da característica dos ventos e densidade de edifícios na cidade de Balneário Camboriú, em Santa Catarina, o texto aborda exemplos de infraestruturas físicas e elétricas disponíveis em edifícios residenciais e comercial tradicionais.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Potencial de Geração Eólica no Brasil

O Brasil é um país com excelente potencial eólico, principalmente em regiões litorâneas, onde os ventos são mais constantes devido à ausência de obstáculos e turbulências, favorecendo a geração eólica (CORRÊA, 2018). Conforme Figura 1 e Figura 2 retiradas do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, o litoral do país apresenta baixo relevo e a velocidade média dos ventos é superior nestas regiões, quando comparadas às regiões mais ao interior do continente (CEPEL, 2001).

Um estudo realizado na Alemanha também aponta as regiões litorâneas como as mais favoráveis para buscar viabilidade econômica de projetos de geração eólica através de pequenos aerogeradores (BENNO et al., 2013).

Ao Sul do Brasil, o estado de Santa Catarina não se destaca tanto quanto a região Nordeste, mas ainda assim representa um bom cenário para geração eólica, principalmente na faixa litorânea, região foco deste estudo.

### 2.2 Mapeamento e Análise de Empreendimentos Já Existentes

Levando em consideração a literatura mundial disponível, a cidade de Balneário Camboriú, localizada em Santa Catarina, foi a região escolhida para este estudo por estar posicionada em região litorânea e apresentar uma característica de extrema verticalização, contendo oito dos dez maiores edifícios do Brasil, incluindo o segundo maior da América Latina (The Skyscraper Center, 2023). Graças a esta verticalização a cidade é hoje a segunda menor cidade do estado em área territorial, com pouco mais de 45 km<sup>2</sup>, mas é uma das que apresenta maior densidade demográfica, com aproximadamente 3.077,70 hab/km<sup>2</sup> inseridos em área urbana (IBGE, 2023). Em período de alta temporada de verão a densidade chega a 21.700 hab/km<sup>2</sup>, segundo IBGE, fazendo dela a cidade com a mais alta densidade demográfica do Brasil.

Esta verticalização acentuada, com edifícios cada vez mais altos e uma necessidade por infraestruturas capazes de suportar a demanda energética de grande sazonalidade, com uma população que salta de aproximadamente 139 mil

peçoal para quase 4 milhões durante a temporada de verão, segundo a Secretaria Municipal de Turismo em reportagem para a NSC, torna a cidade de Balneário Camboriú uma região com grande potencial para o estudo proposto.

### 2.2.1 Modelo de Infraestrutura disponível em Edifícios Residenciais

Com o objetivo de ilustrar a ideia de instalar pequenas turbinas eólicas em edifícios altos já existentes, no Anexo II podemos visualizar a estrutura disponível em um edifício residencial tradicional, localizado na região Sul do Brasil, com trinta e quatro pavimentos, mais ático e barrilete, onde encontram-se quadros de distribuição elétrica, dutos e a estrutura civil necessária para fixação da turbina eólica de pequeno porte. Neste exemplo a estrutura civil disponível representa uma altura de aproximadamente 120 metros, onde estaria posicionado o gerador eólico.

No Anexo II, apresentado em três pranchas de projeto, encontramos na primeira página a prumada do edifício, detalhando o mapa de corte de cada andar, tendo como característica principal para nosso trabalho a visualização da altura total do edifício e a identificação de áreas úteis para instalação da infraestrutura nos últimos pavimentos da torre analisada. Na segunda prancha estão dispostas características arquitetônicas do barrilete, no pavimento mais alto da torre, onde a área disponível para instalação da turbina eólica é a principal característica a ser observada. Por fim, na terceira prancha do Anexo II foi apresentada a infraestrutura elétrica disponível no local, com quadros de distribuição, condutores e dutos que poderiam servir de apoio e ponto de partida para a chegada e saída da infraestrutura elétrica de uma turbina de pequeno porte a ser instalada no local.

Este edifício representa um empreendimento residencial tradicional, em conformidade com as normas ABNT e requisitos dos órgãos locais. Conforme proposto, este é um edifício que foi projetado e construído sem a intenção de receber projeto de geração de energia, mas com área civil e disposição elétrica apropriada para tal. Faz-se necessário adequações na infraestrutura elétrica, como passagem de cabos e reorganização de dutos e quadros elétricos, mas nada que impossibilite ou inviabilize a implantação da turbina.

### 2.3 Turbinas Eólicas de Pequeno Porte

As turbinas eólicas são consideradas de pequeno porte quando sua potência não supera os 100 kW, segundo Associação Alemã de Energia Eólica (2018), e são classificadas como horizontais, ou verticais. Para uma aplicação prática de geração de energia utilizando turbinas eólicas é necessário realizar um estudo aprofundado, levando em consideração diversos parâmetros do local de implantação, principalmente as características do vento (BEZERRA et al., 2019).

Tendo como referência de infraestrutura disponível em um edifício residencial tradicional o exemplo apresentado neste trabalho, com demanda de 250 kVA e levando em consideração a disponibilidade dos produtos e que, dos modelos de aerogeradores de pequeno porte mais disponíveis no mercado mundial, as turbinas eólicas de eixo horizontal apresentam maior eficiência técnico-econômica quando comparadas às de eixo vertical (ADOMAVIČIUS et al. 2009), o modelo de turbina selecionado para este estudo foi o ELV-H20.8 100, da fabricante Hummer.

Um estudo realizado para o Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, que comparou 10 modelos de turbinas com geração média anual mínima de 16 kW, apresenta o modelo ELV-H20.8 100 como o mais viável técnico-economicamente (TODARO et al., 2017). Esta turbina possui potência nominal de 100 kW com ventos de 11 m/s e capacidade de geração de até 32.250 kWh/mês, com vento médio anual de 6 m/s (Eletrovento, 2023).

### 2.4 Viabilidade Econômica de Turbinas Eólicas de Pequeno Porte

Ao analisar a possibilidade de implantação de um projeto de geração de energia através da força dos ventos, assim como de outras fontes de energia, é indispensável realizar um estudo de viabilidade econômica do projeto, que envolve tanto os custos iniciais para aquisição e implantação da turbina, quanto os custos de operação e manutenção da planta (REIS et al., 2016).

Para um caso como o proposto neste estudo, de turbinas eólicas de pequeno porte instaladas em edifícios residenciais altos, deverão ser considerados os custos iniciais com: estudo de viabilidade técnica, projeto de engenharia, aquisição da turbina e infraestrutura de instalação e operação. Além dos custos citados, enquadrados como custos iniciais, faz-se necessário incluir na análise os custos de

operação: manutenção e reparos da turbina. Estes custos sofrerão variações para cada projeto, conforme características do edifício, da turbina escolhida e da região.

Além dos custos com implantação e operação, a análise completa de viabilidade econômica do empreendimento deverá ser feita considerando a tarifa de energia elétrica da região, o custo do capital necessário para o investimento e o potencial de geração.

Após feita a análise completa, tanto dos custos quanto potencial de geração e economia gerada, pode-se chegar a um projeto que apresente viabilidade técnica e econômica. Mesmo que o modelo proposto mostre-se inviável do ponto de vista financeiro, ainda assim pode ser muito atrativo do ponto de vista comercial, como estratégia de divulgação e argumentação para construtoras de edifícios comerciais e residenciais, principalmente na região escolhida, Balneário Camboriú em Santa Catarina, caracterizada pela disputa por inovação e atrativos entre as construtoras. Assim que implantado, o projeto de geração eólica no topo de edifícios poderá apresentar uma redução no consumo de energia elétrica que, a depender do resultado da viabilidade citada anteriormente, poderá cobrir os custos do investimento feito e ainda valorizar o empreendimento, seja do ponto de vista de inovação ou das diretrizes ambientais, os chamados “selos verdes”, diferencial cada vez mais necessário e procurado pelas construtoras (Forbes, 2021).

## 2.5 Impeditivos

A necessidade e interesse pela instalação de turbinas eólicas em grandes edifícios podem ser encontradas mesmo com o potencial de geração sendo baixo, inferior a demanda do edifício, pois como vimos, outros interesses podem viabilizar a implantação da turbina, como por exemplo os “selos verdes”, a valorização do imóvel, os destaques e diferenciais que um projeto de geração de energia proporciona ao empreendimento. Porém, é necessário levar em consideração algumas situações que podem impedir este tipo de projeto, tais como: indisponibilidade de infraestrutura civil para fixação adequada da turbina; quadros de distribuição, dutos e centros de medição de energia sem capacidade para receber novos equipamentos, como cabos, medidores e dispositivos de proteção elétrica; edifícios antigos que não buscam novos diferenciais e, por não ser uma exigência

normativa, não sentem a necessidade de geração própria e modernização das instalações.

Este é um modelo que pode se mostrar muito atrativo para empreendimentos que buscam um diferencial ambiental ou tecnológico, assim como os empreendimentos que buscam redução dos consumos através de geração própria de energia, mas talvez pouco atraente para empreendimentos sem estes interesses, dado o investimento necessário desde a fase inicial para realizar a análise de viabilidade, até os custos anuais para operação e manutenção da turbina.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Projetos de geração de energia através de pequenas turbinas eólicas instaladas dentro de centros urbanos são encontrados em diversos países pelo mundo, já a muitos anos. A grande maioria destes projetos utilizam as turbinas posicionadas em estruturas relativamente baixas, a poucos metros do solo e os estudos encontrados foram realizados também para alturas tradicionais, até poucos metros do solo. Boa parte destes projetos apresenta viabilidade econômica a longo prazo, mas não são tão acessíveis quanto a geração fotovoltaica, principalmente pelo custo de aquisição dos equipamentos e incentivos financeiros existentes, seja através de incentivos fiscais ou financiamentos disponíveis.

Para empreendimentos sem área suficiente para implantação de sistemas fotovoltaicos, as turbinas eólicas de pequeno porte podem ser uma alternativa viável. Do ponto de vista comercial deste modelo proposto, o projeto mostra-se atrativo mesmo com baixo potencial de geração, já que a turbina instalada valoriza o imóvel e aumenta sua visibilidade, fatores muito relevantes na região proposta para o estudo, no litoral de Santa Catarina.

Faz-se necessário um estudo dos ventos detalhado para altitudes elevadas, equivalentes aos edifícios mais altos do país, para viabilizar um cálculo de viabilidade técnica e econômica nestas condições. Este estudo dos ventos em altitudes elevadas pode proporcionar nova base de dados para o litoral Brasileiro e contribuir para o estudo das turbulências em centros urbanos, visto que no topo dos grandes edifícios os obstáculos presentes são diferentes dos mais próximos ao solo comumente estudados.

O modelo apresentado até aqui leva em consideração edifícios já existentes, onde não foram previstas estruturas para geração eólica. Em casos futuros onde um edifício seja pensado desde o início para receber tal diferencial, os custos de instalação deverão ser menores e o cenário ainda mais favorável e atrativo para as construtoras da região.

## REFERÊNCIAS

ADOMAVIČIUS, V., et al. **Comparison of small scale wind turbines properties**. Anais da conferência internacional “electrical and control technologies-2009”. Kaunas University of Technology, Kaunas, 2009.

BELTING, A.; MARTINS, B. C. V. **Evolução histórica da verticalização de Balneário Camboriú**. Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), 2015.

BENNO, G.; MADLENER, R.; SUNAK, Y. **Economics of Small Wind Power Plants in Urban Settings: An Empirical Investigation for Germany**. Institute for Future Energy Consumer Needs and Behavior (FCN), Alemanha, 2013.

BEZERRA, V. R., et al. **Produção de energia renovável através de aerogeradores de pequeno porte**. Anais I CONIMAS e III CONIDIS. Campina Grande, Paraíba, 2019.

BLOG SINDICATO DA INDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO (SINDUSCON). **Verticalização – Balneário Camboriú é destaque em evento nacional**. Disponível em: <<https://www.sindusconbc.com.br/verticalizacao-balneario-camboriu-e-destaque-em-evento-nacional>>. Acesso em: 20 de nov. de 2023.

BÖLÜK, G.; MERT, M. **Fossil & renewable energy consumption, GHGs (greenhouse gases) and economic growth: evidence from a panel of EU (European Union) countries**. Energy, S.I., v. 74, p. 439-46, 2014.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA (CEPEL). **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf)>. Acesso em 17 de nov. de 2023.

CORRÊA, A. G. **Climatologia dos ventos e potencial eólico offshore de Santa Catarina**. Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT (CTBUH). **Balneário Camboriú, Brazil**. Disponível em: <<https://www.skyscrapercenter.com/city/balneario-camboriu>>. Acesso em: 21 de nov. de 2023.

FORBES. **Brasil é o 5º país do mundo com maior número de “edifícios verdes” certificados**. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesesg/2021/06/brasil-e-o-5o-pais-do-mundo-com-maior-numero-de-edificios-verdes-certificados>>. Acesso em: 04 de jan. de 2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo demográfico 2022. Dados demográficos do município de Balneário Camboriú-SC, 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023**. Brasil, 10 de out. de 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>>. Acesso em: 20 de nov. de 2023.

NSC TOTAL. **Temporada de verão aumenta 14 vezes a população de Balneário Camboriú**. Florianópolis, 2023. Disponível em: <<https://www.nsctotal.com.br/noticias/temporada-de-verao-aumenta-14-vezes-a-populacao-de-balneario-camboriu>>. Acesso em: 04 de dez. de 2023.

REIS, M. M.; OLIVEIRA JR, D. S.; CARVALHO, P. C. M. **Estudo da viabilidade econômica de geradores eólicos de pequeno porte no modo autônomo**. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos, v. 1, 2006.

TADORO, R. H., et al. **Seleção e análise técnico-econômica preliminar de turbinas eólicas**. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, São Paulo, 2017.

## ANEXO I – FIGURAS

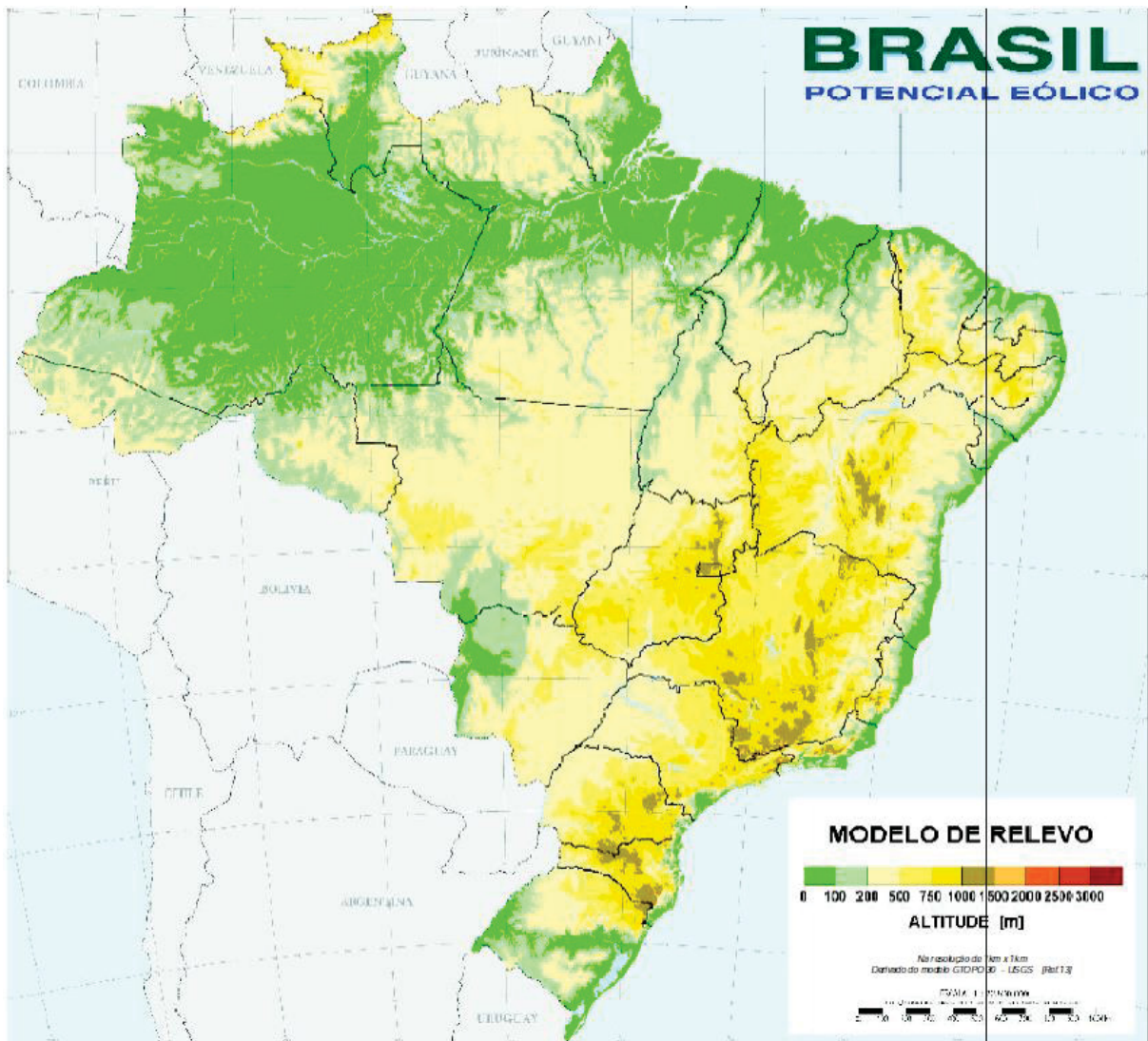


Figura 1 - Modelo de relevo brasileiro

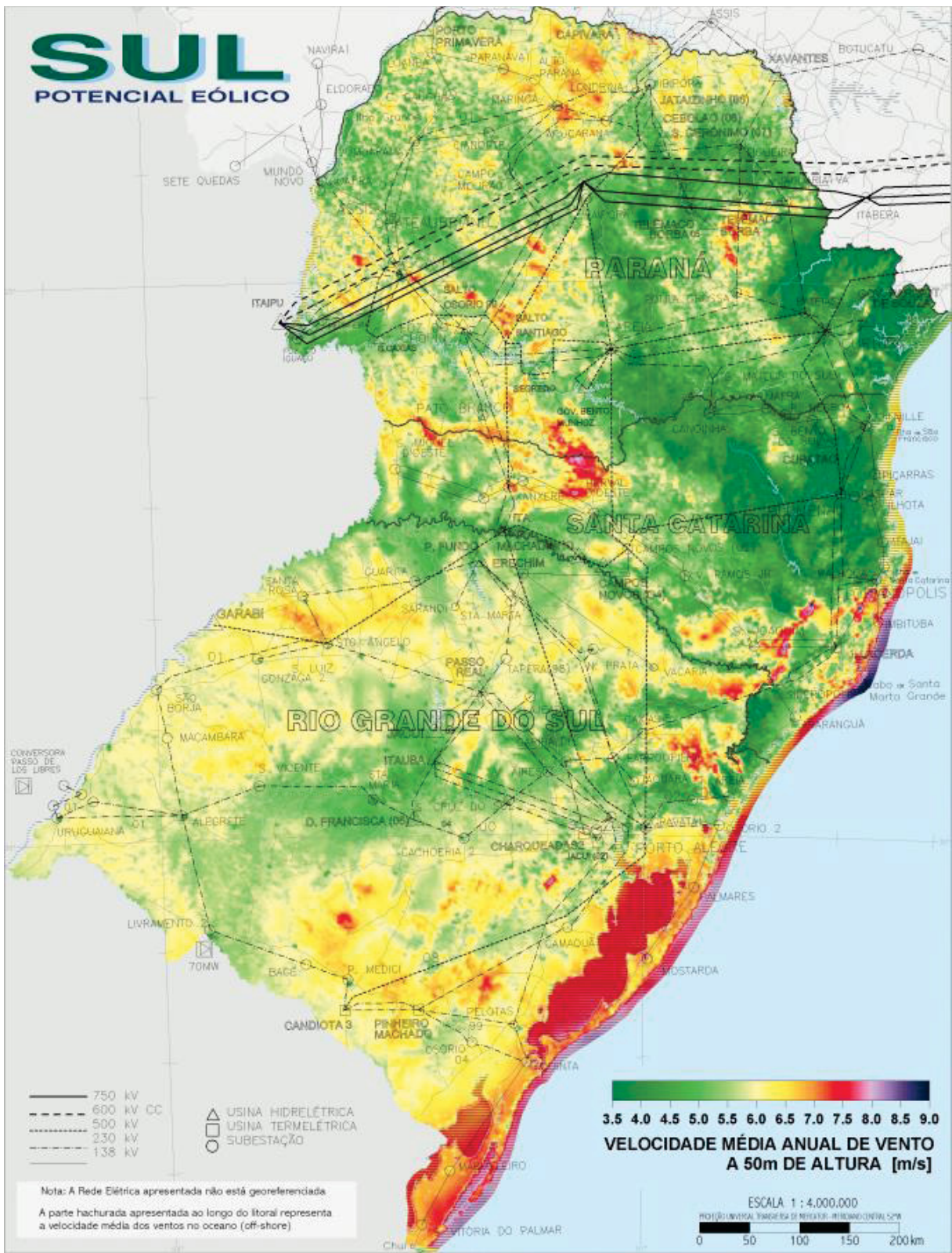


Figura 2 - Velocidade média anual dos ventos na região Sul do Brasil

# ANEXO II - PROJETO EDIFÍCIO RESIDENCIAL

