



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco  
Escola Superior  
de Tecnologia

# **Avaliação do Recurso Eólico na Região da Beira Baixa com base nas Estações Meteorológicas do SNIRH Potencial Eólico para Mini e Micro Geração**

Cruz, Vanderlei Roberto  
20190058

## **Orientadores**

Professor Adjunto Doutor António Francisco Canatário Duarte  
Técnica Superior Mestre Natália Martins Roque

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciado em Engenharia das Energias Renováveis, realizada sob a orientação científica do Professor Adjunto Doutor António Francisco Canatário Duarte e da Técnica Superior Mestre Natália Martins Roque, e sob a coordenação do Professor Adjunto Doutor António José Cerejo da Silva, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

**Outubro 2023**



## Composição do júri

### Presidente

Doutora, Cristina Maria Martins Alegria  
Professora Coordenadora do Instituto Politécnico de Castelo Branco

### Vogais

#### Arguente

Doutor, António José Cerejo da Silva  
Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Doutor, António Francisco Canatário Duarte  
Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Mestre, Natália Martins Roque  
Técnica Superior do Instituto Politécnico de Castelo Branco



## Dedicatória

Queridos, neste momento de realização e conquista, não posso deixar de expressar a profunda gratidão que sinto em meu coração. Esta jornada não teria sido possível sem o apoio e amor incondicional das pessoas extraordinárias que moldaram o meu caminho.

À minha amada esposa Mariza, que está comigo durante todo o caminho, partilhando não apenas as alegrias, mas também os desafios. Seu amor, paciência, persistência e compreensão são o alicerce quadrangular sobre o qual estabelecemos juntos nossos sonhos.

Meu querido filho Giuliano, você é meu estímulo incessante. Cada conquista é dedicada a ti, e que cada obstáculo superado sirva a ensiná-lo a nunca desistir dos seus próprios sonhos e ambições. Teu sorriso é a minha maior motivação.

Aos meus orientadores, mentores e educadores, expresso minha gratidão eterna. Os seus conselhos, sabedoria, dedicação e comprometimento guiaram-me na busca pelo conhecimento e distinção acadêmica. A sua visão não apenas ensinou-me a ser um estudante otimizado, mas também um ser humano melhorado.

Isto tudo é um tributo à família que construí no IPCB e à educação que cá recebi. Espero que, junto à minha realização, possa eu, de alguma forma, retribuir ao mundo o amor e o conhecimento que recebi, onde cada passo desta empreitada foi marcado pelo carinho, apoio, valor e sagacidade de todos.

Vocês são as velas, que insufladas por Éolo, conduziram meu barco nesta viagem.

Obrigado, de coração, por fazerem parte da minha Odisseia.

*Carpe diem, oscula et complexus capias, sunt thesauri etiam in breve vitæ. Ite et committite errores interessantes, mirabiles, gloriosos et fantasticos. Frangite regulas. Relinquite mundum magis interessantem per tuam præsentiam.*



## Agradecimentos

Na busca do sucesso educacional, é fundamental dar reconhecimento e agradecer às instituições, mentores, professores e equipas de apoio que promovem grande contributo para o progresso e sucesso de um projeto. Neste sentido, gostaria de expressar o meu sincero agradecimento ao Instituto Politécnico de Castelo Branco, à Escola Superior de Tecnologia e à Coordenação do curso de Licenciatura em Engenharia de Energias Renováveis.

O Instituto Politécnico de Castelo Branco, instituição de ensino superior, forneceu as bases para a minha investigação académica. Sou grato à Direção da Escola Superior de Tecnologia por me proporcionar os recursos e comodidades cruciais para meu desenvolvimento e na formatação desta empreitada. E à Coordenação do curso de Licenciatura em Engenharia de Energias Renováveis pelo apoio académico e logístico indispensáveis a concretização deste trabalho com excelência.

Meu profundo agradecimento encaminho aos professores/mentores pela orientação, conhecimento e ajuda inestimáveis, pilares fundamentais para esta viagem académica. Suas perspectivas e aconselhamentos contribuíram para meu refinamento.

Um sincero agradecimento à Escola Superior Agrária, especialmente ao Departamento de SIG, pelo seu importante papel na construção deste projeto, nomeadamente à Natália Roque desempenhou um papel fundamental na concepção e planeamento deste estudo. Onde seus insights e know-how deram um contributo importante ao arcabouço da modelação dos parâmetros coletados.

Seria um desserviço não sublinhar a tremenda infraestrutura académica do Instituto Politécnico de Castelo Branco. Sua equipa experiente e proficiente fornece uma atmosfera de excelência científica. Seu empenho e determinação ao fornecer apoio especializado foi indispensável para a finalização do projeto.

Uma gratidão especial aos Professores António Canatário e António Cerejo. Eles não apenas cumpriram suas obrigações de ensino, mas também se esforçaram através da orientação, apoio e compreensão inestimáveis. O envolvimento destas duas figuras humanas vai além dos ensinamentos dentro das salas de aula, revelando um entusiasmo notável em promover o crescimento e o sucesso dos seus alunos.

Por fim, deixo um profundo agradecimento a todos aqueles que contribuíram para este trabalho de maneira direta ou indireta. A todos os Professores que tive, pois, a formação académica não se dá apenas por um trabalho de conclusão, mas sim pelo conhecimento acumulado ao longo do per curso. Este reconhecimento não só demonstra os seus esforços inabaláveis, como também sublinha o impacto do trabalho coletivo nas áreas académicas e de investigação. A busca pelo conhecimento é parte da melhoria contínua e da evolução humana. Minha maior gratidão àqueles que comigo partilharam-nas.



## **Resumo**

Desde tempos imemoriais, a energia eólica vem sendo explorada. Aproveitando o progresso da tecnologia, foi possível produzir eletricidade por meio de aerogeradores em sítios ventosos, mesmo nos lugares mais remotos. Em vários pontos do globo, principalmente em localidades com condições propícias, tornou-se evidente que tal energia alternativa corresponde a uma escolha extremamente interessante. Portugal não foge à regra e está cada vez mais comprometido com a energia eólica, cuja participação na produção de energia se destacou ao longo do tempo. Em 2021, 26% da eletricidade de Portugal teve origem eólica, o que posiciona o país como uma das lideranças no aproveitamento desse recurso renovável.

O presente projeto foca-se em analisar a direção e intensidade dos ventos na região da Beira Baixa, ampliando esta análise para a possibilidade de uso de aerogeradores na mini e micro geração, junto à população rural e às aldeias. Mas não descuidando das possibilidades de integração com outras fontes de energia renováveis, através da cogeração, como a solar e a hídrica.

## **Palavras chave**

Agricultura Sustentável, Energia Eólica, Integração de Fontes Renováveis, Portugal e a Energia Eólica, Sustentabilidade Energética.



## **Abstract**

Since time immemorial, wind energy has been exploited. Taking advantage of the progress of technology, it has become possible to produce electricity through wind turbines in windy locations, even in the most remote places. In various parts of the world, especially in places with favorable conditions, it has become evident that such alternative energy corresponds to an extremely interesting choice. Portugal is no exception is increasingly committed to wind energy, whose participation in energy production has stood out over time. In 2021, 26% of Portugal's electricity came from wind, which positions the country as one of the leaders in the use of this renewable resource.

This project focuses on analyzing the direction and intensity of winds in the Beira Baixa region, expanding this analysis to the possibility of using wind turbines in mini and micro generation, next to the rural population and the villages. But not neglecting the possibilities of integration with other renewable energy sources, through cogeneration, such as solar and hydro.

## **Keywords**

Energy Sustainability, Portugal and Wind Energy, Renewable Sources Integration, Sustainable Agriculture, Wind Energy.



## Índice geral

1. Introdução	1
1.1. As energias renováveis e as alterações climáticas	3
1.2. Aplicação da energia eólica para o autoconsumo	4
1.3. Objetivos do estudo	6
2. Materiais e Métodos	7
2.1. Caracterização da área de estudo	7
2.2. Origem/fonte e parâmetros do recurso eólico	11
2.3. Metodologias de tratamento dos dados do recurso eólico	13
3. Análise e Discussão dos Resultados	15
3.1. Distribuição da caracterização do recurso eólico na CIMBB	23
3.2. Potencial de produção de energia elétrica com recurso eólico	24
3.2.1. Qual a altura mais favorável para a produção de energia elétrica?	25
3.2.2. Distribuição do potencial de produção em um ano médio (kWh)	27
4. Conclusão	29
Referências Bibliográficas	31

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> — Caracterização da Geração de Energia de Fonte Eólica 2001-2021 .....	2
<b>Figura 2</b> — Comunidades Intermunicipais (Destaque - CIMBB).....	7
<b>Figura 3</b> — Caracterização da estação IPMA Castelo Branco.....	8
<b>Figura 4</b> — Comparativo de consumo agrícola 2004/2018 .....	10
<b>Figura 5</b> — Localização das estações meteorológicas .....	15
<b>Figura 6</b> — Cokrigagem - seleção dos ficheiros.....	20
<b>Figura 7</b> — Tipo de Cokrigagem e tipo de superfície de saída .....	20
<b>Figura 8</b> — Modelação de Semivariograma/Covariância.....	21
<b>Figura 9</b> — Avaliação de pontos vizinhos.....	21
<b>Figura 10</b> — Resultados .....	22
<b>Figura 11</b> — Velocidade Máxima (média 2001-2021) .....	23
<b>Figura 12</b> — Velocidade Média do Vento nos Períodos Climáticos (2001-2021) .....	24
<b>Figura 13</b> — Velocidade Média Anual (2001-2021) .....	26

## Índice de equações

Velocidade do vento em função da altura (1) .....	12
Potência do vento (altura e raio da turbina) (2) .....	26
Energia do vento (3) .....	27

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1</b> — Uso e ocupação do solo.....	10
<b>Tabela 2</b> — Perfil Sócio-econômico da CIMBB.....	11
<b>Tabela 3</b> — Rugosidade do terreno.....	12
<b>Tabela 4</b> — Seleção de Estações Meteorológicas SNIRH.....	16
<b>Tabela 5</b> — Dados coletados SNIRH.....	17
<b>Tabela 6</b> — Estação 14K/04UG (Resumo).....	19
<b>Tabela 7</b> — Estação 16K/01G (Resumo).....	19
<b>Tabela 8</b> — Dados anuais da CIMBB.....	19
<b>Tabela 9</b> — Equações da média da velocidade do vento (AWS) para diferentes alturas .....	22
<b>Tabela 10</b> — Erros de previsão.....	23
<b>Tabela 11</b> — Consumo de energia elétrica 2004-2021.....	25
<b>Tabela 12</b> — Cálculo da Velocidade do vento a diferentes alturas.....	25
<b>Tabela 13</b> — Cálculo da Potência do Vento ( $P_v$ ).....	27
<b>Tabela 14</b> — Cálculo da Energia do Vento ( $E_v$ ).....	27

## Lista de abreviaturas, siglas e acrônimos

AGS	—————	Average Gust Speed (Velocidade Média de Rajada)
ArcGIS	—————	software de SIG da empresa ESRI
AWS	—————	Average Wind Speed (Velocidade Média do Vento)
CF	—————	Capacity Factor (Fator de Capacidade)
CIMBB	—————	Comunidade Intermunicipal da Beira Baixa
CIMBIS	—————	Comunidade Intermunicipal da Beira Interior Sul
CNTP	—————	Condições Normais de Temperatura e Pressão
EDP	—————	Energias de Portugal
ESRI	—————	Environmental Systems Research Institute (Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais)
$E_v$	—————	Energia do vento
GIS (SIG)	—————	Geographic Information System (Sistema de Informação Geográfica)
GWh	—————	Giga Watt hora ( $10^9$ Watt x hora)
H	—————	Altura
$H_a$	—————	Altura do anemômetro
kW	—————	Kilo Watt ( $10^3$ Watt)
kWh	—————	Kilo Watt hora ( $10^3$ Watt x hora)
MW	—————	Mega Watt ( $10^6$ Watt)
NUTS	—————	Nomenclatura das Unidades Territoriais Estatísticas
$P_v$	—————	Potência do vento
SNIRH	—————	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
UE	—————	União Europeia
U. t. c. s.	—————	Usado também como substantivo
$V_H$	—————	Velocidade do vento na altura H
WD	—————	Wind Direction (Direção do Vento)
WG	—————	Wind Gust (Vento de Rajada)

