



# Meteorologia para Energias Renováveis

Aluna: Natália P. Saraiva

Orientadores: Dr. Osvaldo R. Saavedra

Dr. Francisco Leite de Albuquerque Neto

# Sumário

I. Meteorologia X Energias renováveis

II. Energia Hidráulica

III. Energia Fotovoltaica

IV. Energia Eólica

i. Origem dos ventos

ii. Camada limite atmosférica

iii. Qual a relevância da turbulência no setor eólico?

iv. O que faz a região intertropical ser especial?

# Meteorologia X Energias renováveis

“Dado o aumento estimado da demanda mundial de energia nas próximas décadas, a utilidade das informações meteorológicas e climáticas para o setor de energia continuará sendo importante e até aumentará.”<sup>[1]</sup>

Don Gunasekera

*Faculty of Science, Engineering & Built Environment*

Melbourne Burwood – Austrália, 2018.

# *World Energy & Meteorology Council*

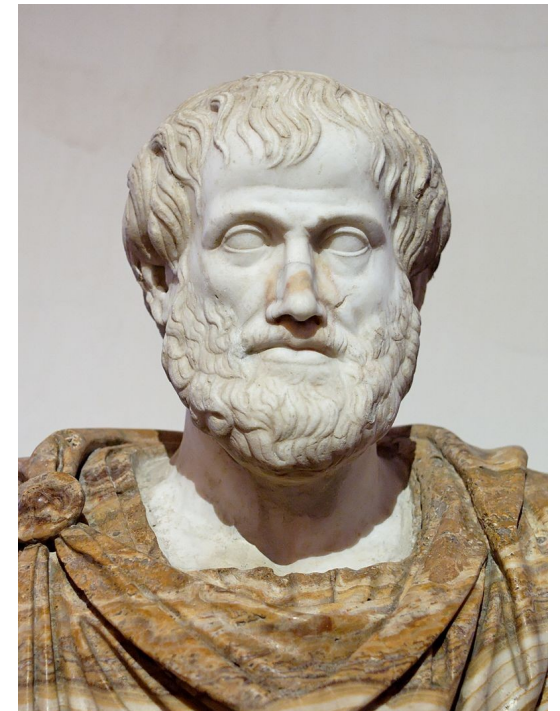
- Pensando em promover a interação entre o **setor de energia** e a comunidade **meteorológica, climática** e de **ciências ambientais** em geral, em 2015 foi fundada o Conselho Mundial de Energia e Meteorologia (WEMC), uma organização sem fins lucrativos.



- Seu principal objetivo é apoiar a melhoria da sustentabilidade, resiliência e eficiência dos sistemas de energia sob condições meteorológicas e climáticas em constante mudança.<sup>[2]</sup>

# Meteorologia

- É o estudo da atmosfera e seus fenômenos.<sup>[3]</sup>
- Por volta de 340 aC, o filósofo grego Aristóteles escreveu um livro sobre filosofia natural intitulado *Meteorologica*:
  - Tempo e clima;
  - Astronomia;
  - Geografia; e
  - Química.



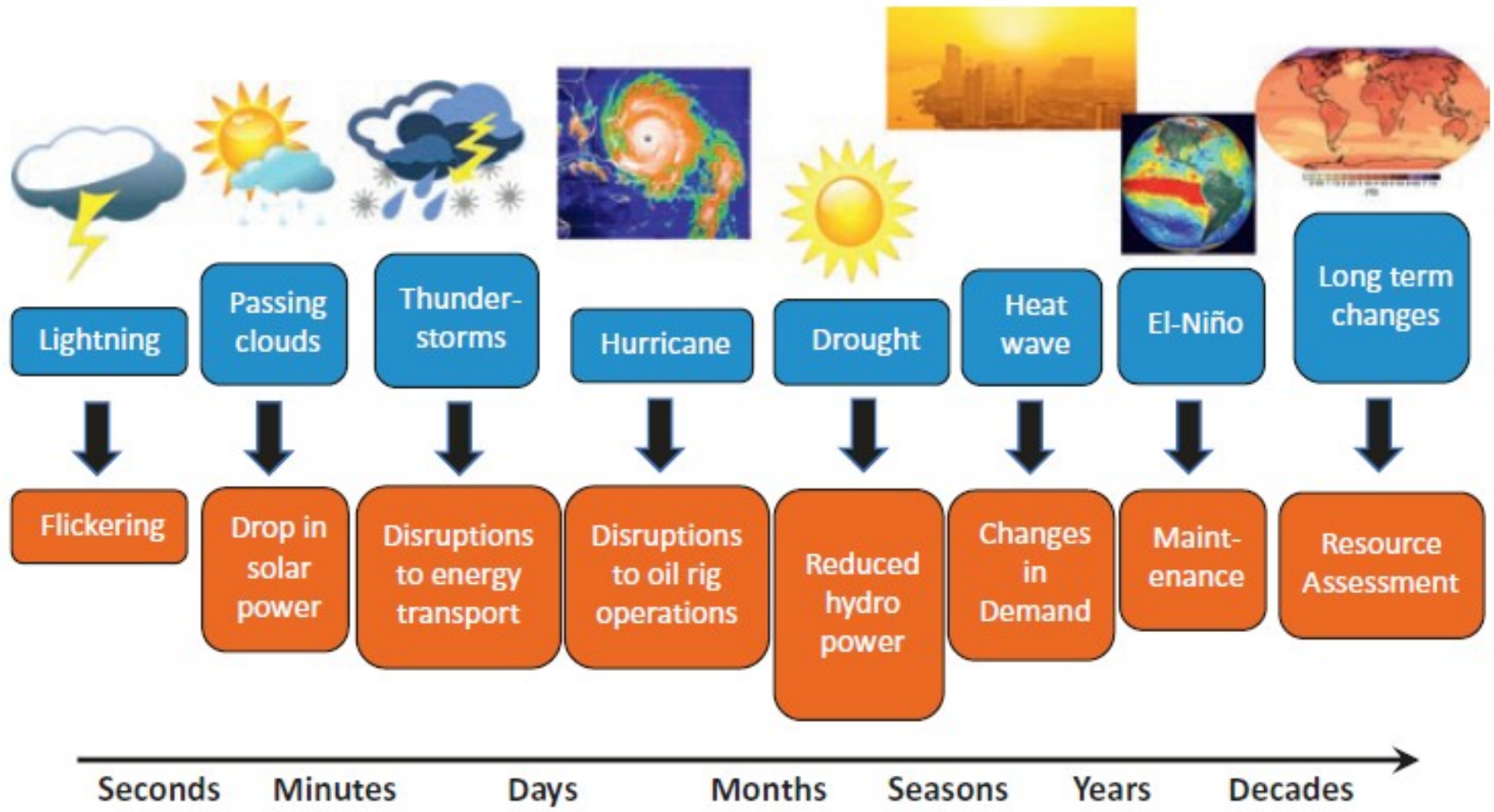
Fonte: *Commons Wikimedia*



# Energia renovável

- Energia que provém de recursos naturais que se reabastecem em menos de uma vida humana sem esgotar os recursos do planeta.
  - Luz solar;
  - Vento;
  - Chuva;
  - Marés;
  - Ondas;
  - Biomassa; e
  - Energia térmica armazenada na crosta terrestre.
- São praticamente inesgotáveis.
- Causam pouco dano climático ou ambiental.<sup>[4]</sup>

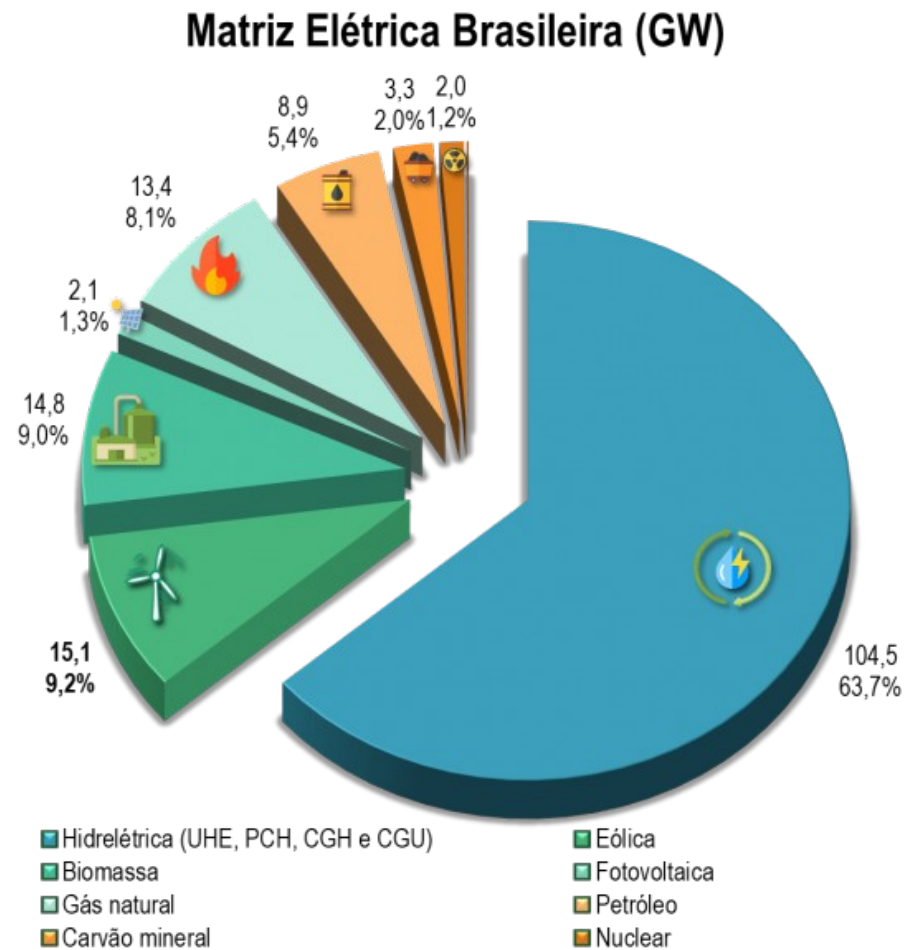
# Impacto do tempo e clima no setor de energia



Fonte: [2]



# Energia hidráulica



Fonte: [5]

## **Hidrelétricas registram em 2015 o janeiro mais seco em 85 anos**

Reservatórios receberam água equivalente a 38,04% da média histórica. Situação eleva risco de um novo racionamento no país em 2015.

04/02/2015 – Fonte: g1.globo.com

## **Seca pode reduzir produção de hidrelétricas do Nordeste**

O diretor-geral do ONS disse nesta quarta que uma recomendação para a redução da vazão defluente dessas usinas já foi feita.

24/08/2016 – Fonte: exame.com

## **Chuvas recuperam hidrelétricas e conta de luz deve manter bandeira tarifária verde**

Os reservatórios das hidrelétricas (...) estão em franca recuperação e devem fechar abril com o maior volume armazenado para essa época em anos...

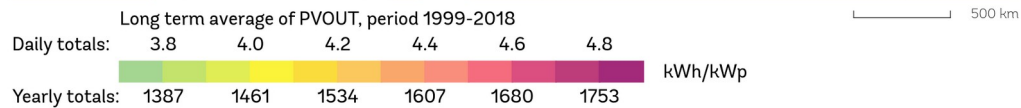
28/02/2020 – Fonte: economia.uol.com.br

# Energia fotovoltaica

SOLAR RESOURCE MAP

## PHOTOVOLTAIC POWER POTENTIAL

### BRAZIL



This map is published by the World Bank Group, funded by ESMAP, and prepared by Solargis. For more information and terms of use, please visit <http://globalsolaratlas.info>.

# Sombreamento nos painéis solares

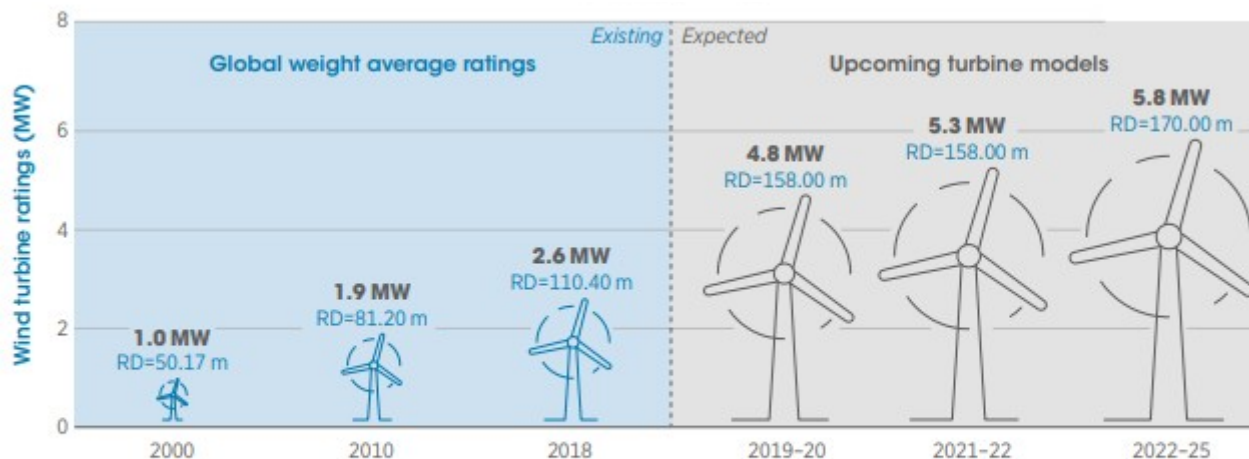
- Reduzem ou interrompem a chegada da radiação solar nos módulos fotovoltaicos;
- Dificuldade de previsão;
- Região equatorial:
  - ZCIT; e
  - Ventos Alísios.



Fonte: pinterest.com.

# Energia eólica

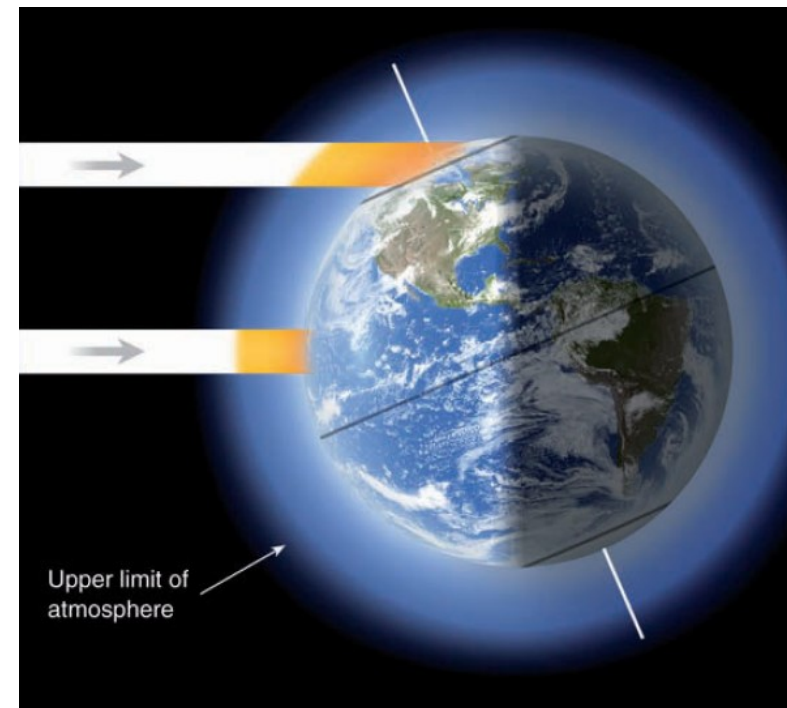
- Já representa a segunda maior fonte da matriz elétrica brasileira.
  - Mais de 7 mil aerogeradores;
  - 601 parques eólicos, em 12 estados.
    - Sendo 86% encontram-se no Nordeste.<sup>[5]</sup>
- Os aerogeradores modernos estão cada vez mais altos e com maior potência eólica instalada, ocasionando interações mais complexas entre as turbinas e a baixa atmosfera.<sup>[6]</sup>



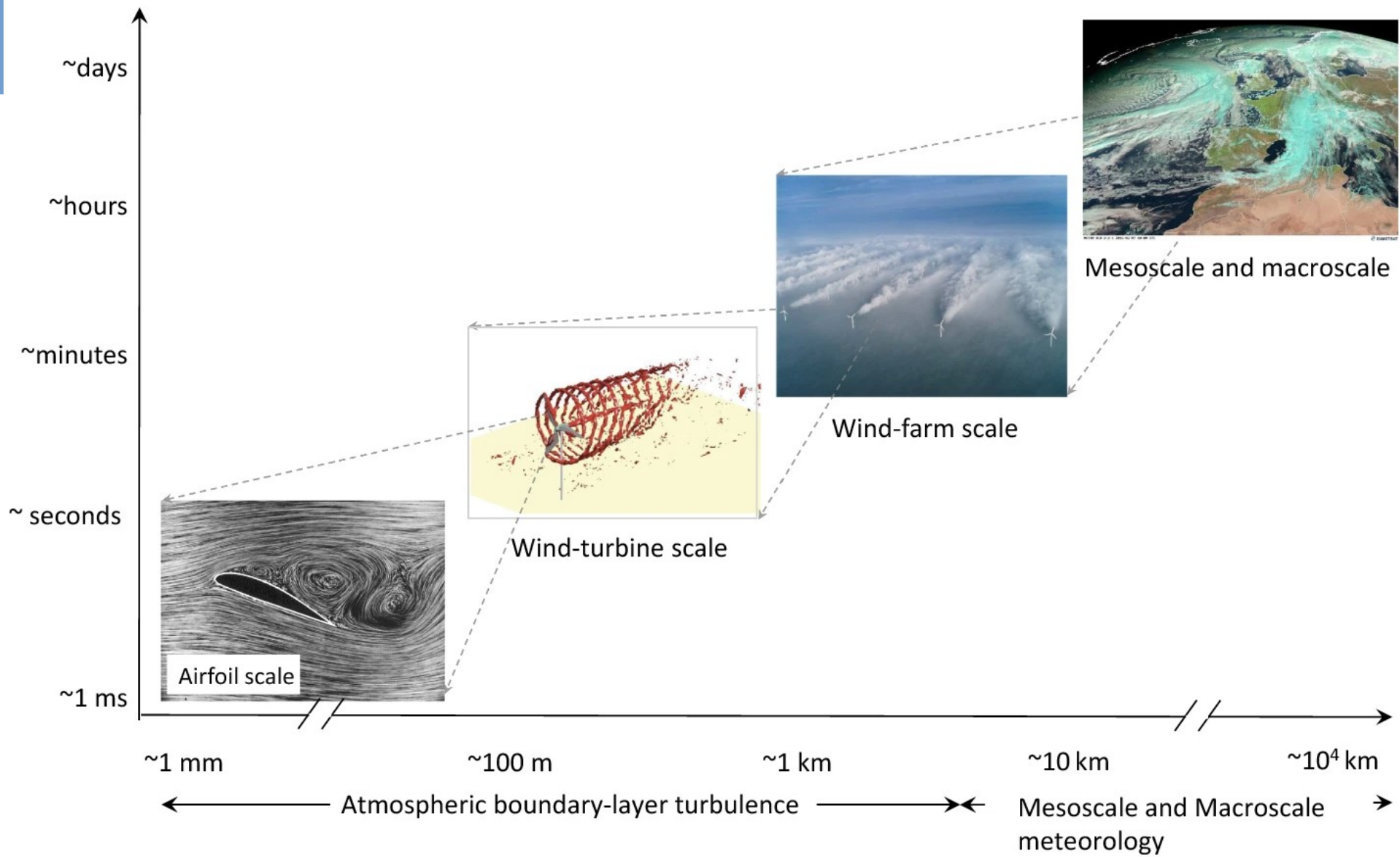
Fonte: (IRENA, 2019c; Wind Power Monthly, 2019, 2018).

# Origem dos ventos

- A radiação solar aquece de forma desigual as latitudes do globo.
- Para equilibrar, a atmosfera transporta ar quente para os polos e ar frio em direção ao equador.
- O vento é resultante do gradiente horizontal de pressão atmosférica.<sup>[6]</sup>

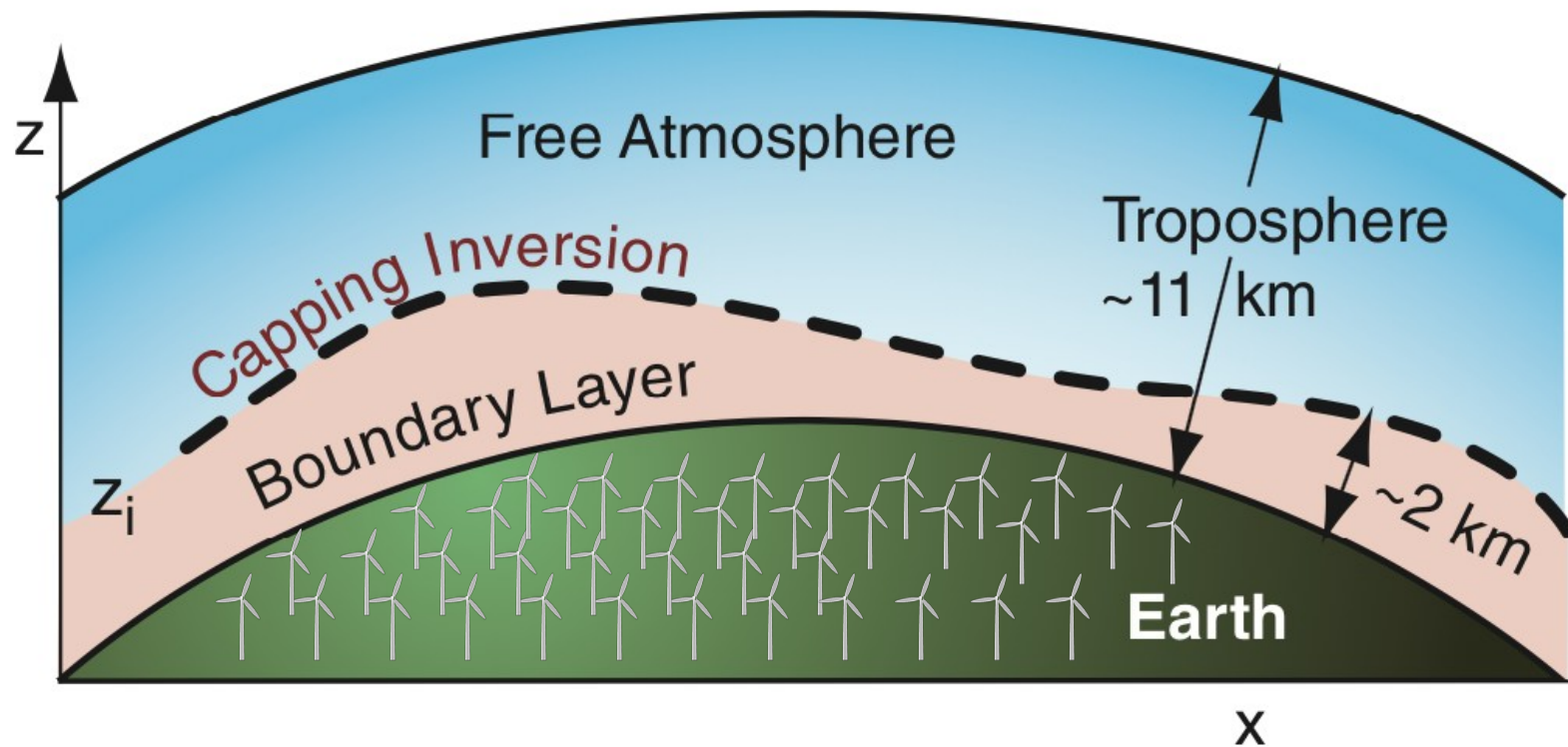


Fonte: [3]



Fonte: [7]

# Camada limite atmosférica



Fonte: eoas.ubc.ca



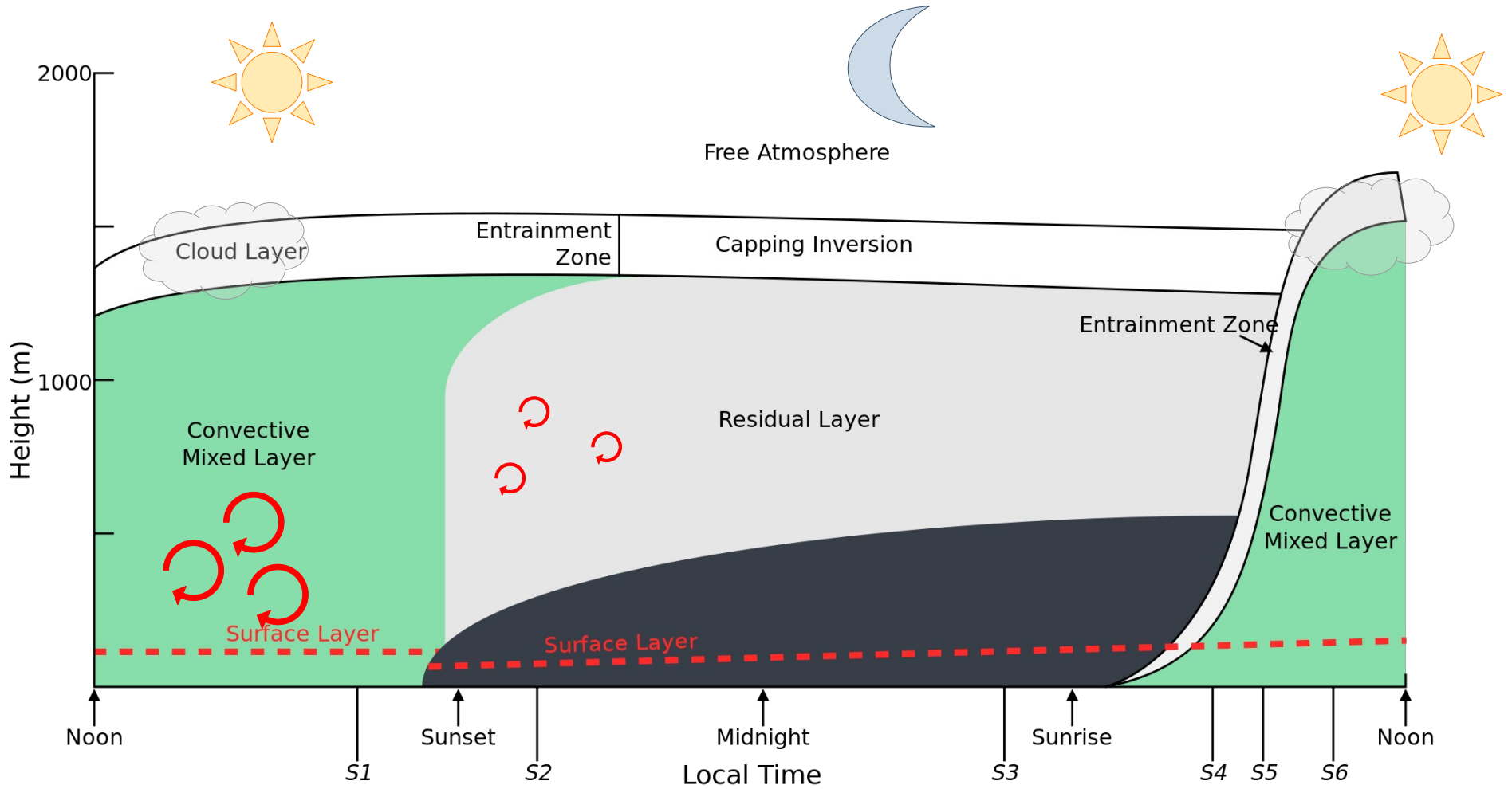
# Camada limite atmosférica

- “A parte da troposfera que está diretamente influenciada pela presença da superfície da Terra e responde a forçantes da superfície com uma escala de tempo de cerca de 1h ou menos.”<sup>[8]</sup>
  - resistência ao atrito;
  - evaporação e transpiração;
  - transferência de calor;
  - emissão de poluentes; e
  - modificação de fluxo induzida pelo terreno.

# Turbulência

- Consiste em redemoinhos, movimentos irregulares, de tamanhos diferentes, sobrepostos um ao outro.
- Na CL, ela é gerada por forçantes da superfície:
  - Mecânicas; e
  - Térmicas.

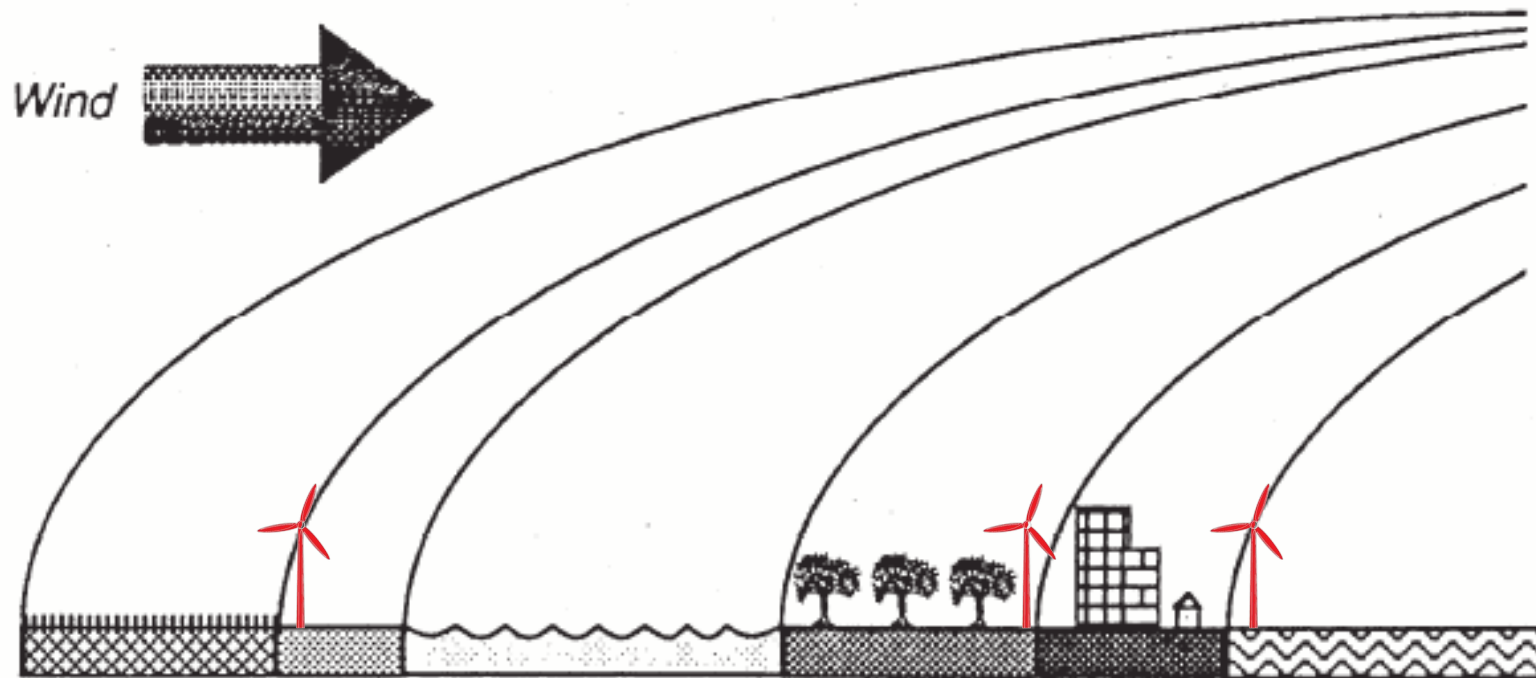
# Ciclo diurno



Fonte: [8]

# Camada limite interna

- Geração de camadas limites internas acima de uma superfície não homogênea (obstáculos e mudança de densidade).



Fonte: [8]

# Qual a relevância da turbulência no setor eólico?

- Diversos estudos:
  - Compreender os efeitos das condições meteorológicas;
  - Sensibilidade das curvas de potência de aerogeradores;
  - Efeitos da estabilidade atmosférica; e
  - Impactos da intensidade turbulenta e cisalhamento do vento para um parque eólico.

# Qual a relevância da turbulência no setor eólico?

DEZ2016 a JUN2017

Perdigão, Portugal



- Representar fluxos em terrenos complexos;
- Desenvolver modelos em microescala;
- Observar o fluxo e os campos termodinâmicos;
- Entre outros.

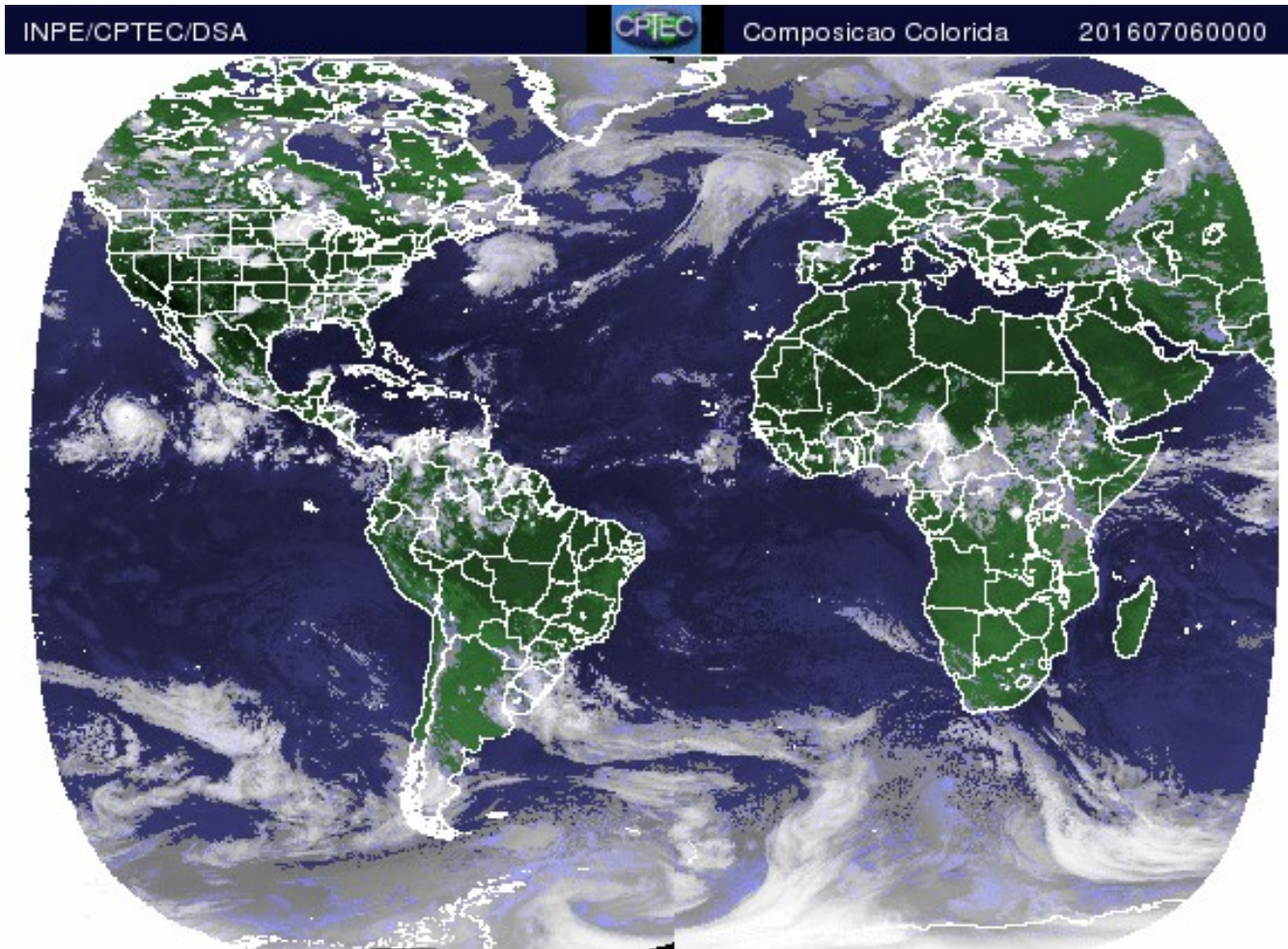
# Qual a relevância da turbulência no setor eólico?

- International Electrotechnical Commission



- Em 2017, a atualização da norma técnica: IEC 61 400-12-1: 2017  
Sistemas de geração de energia eólica - Parte 12-1: Medições de desempenho energético de turbinas eólicas produtoras de eletricidade
  - Considera o cálculo da intensidade turbulenta na normalização da curva de potência.

# O que faz a região intertropical ser especial?





# O que faz a região intertropical ser especial?

- Desempenho dos aerogeradores pode ser afetado pelas condições da camada limite na **região equatorial**.
- Em condições fortemente convectivas a **perda** na produção de energia pode se aproximar de **15%**, (estudo em parque eólico da costa Oeste dos EUA).
- Interferência da **camada limite interna** nos parques eólicos,
- Propor condições para o melhor aproveitamento destas turbinas.
- Estudo do cisalhamento do vento em condições de estabilidade por oscilação inercial atingindo velocidades supergeostróficas.

# Referências

- [1] A. Troccoli, Weather et Climate Services for the Energy Industry. 2018.
- [2] “WEMC – World Energy & Meteorology Council”. <https://www.wemcouncil.org/wp/> (acessado jul. 06, 2020).
- [3] C. D. Ahrens, Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment, 9th ed. Belmont, CA: Brooks/Cole, CengageLearning, 2009.
- [4] “Why is renewable energy important?”, REN21, maio 27, 2019. <https://www.ren21.net/why-is-renewable-energy-important/> (acessado jul. 07, 2020).
- [5] “ABEEólica | Eólica já é a segunda fonte da matriz elétrica brasileira com 15 GW de capacidade instalada”. <http://abeeolica.org.br/noticias/eolica-ja-e-a-segunda-fonte-da-matriz-eletrica-brasileira-com-15-gw-de-capacidade-instalada/> (acessado jul. 10, 2020).
- [6] S. Emeis, Wind energy meteorology: atmospheric physics for wind power generation. Heidelberg: Springer, 2013.
- [7] F. Porté-Agel, M. Bastankhah, e S. Shamsoddin, “Wind-Turbine and Wind-Farm Flows: A Review”, Boundary-Layer Meteorol, vol. 174, no 1, p. 1–59, jan. 2020, doi: 10.1007/s10546-019-00473-0.
- [8] R. B. Stull, An introduction to boundary layer meteorology. Dordrecht ; Boston: Kluwer Academic Publishers, 1988.

# Agradecimentos

- Instituto de Ciências do Mar - ICMar
- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Eletricidade - PPGEE
- Instituto de Energia Elétrica - IEE
- Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Energias Oceânicas e Fluviais - INEOF
- Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA



Obrigada!