

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA



Modelação e optimização de sistemas híbridos para a geração de energia em Moçambique

Autor:

Albuquerque, Marcelo Endurance

Supervisor:

Prof. Doutor Eng^o. Jorge Olívio P. Nhambiu

Maputo, Outubro de 2023

01

Introdução

Uma breve descrição do trabalho apresentado.

02

Objectivos

Apresentação dos objectivos do trabalho.

03

Critérios e dimensionamento dos subsistemas

Apresentação dos critérios usados para a optimização e dimensionamento dos subsistemas.

04

Modelo matemático

Apresentação do modelo matemático construído para a optimização dos sistemas.

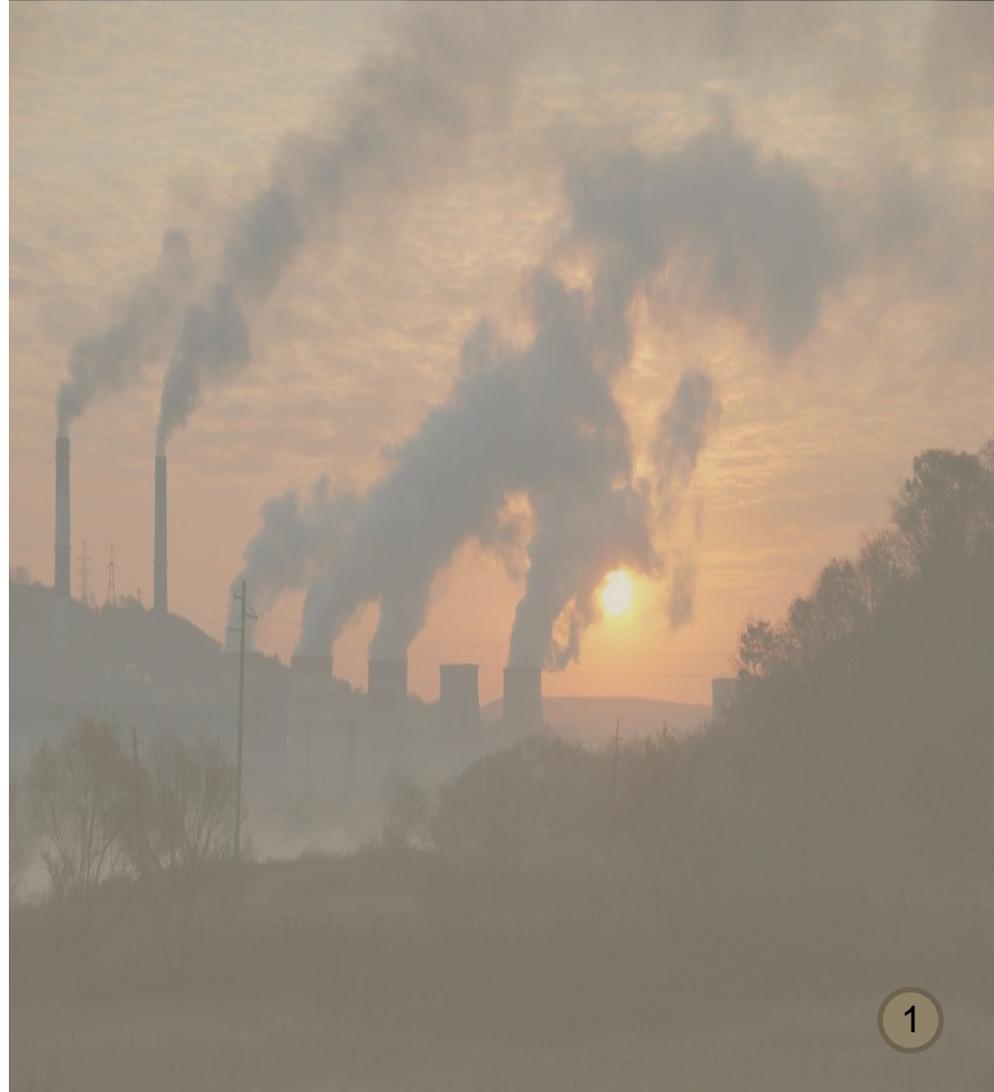
05

Conclusões e Recomendações

Apresentação das conclusões e recomendações para o trabalho.

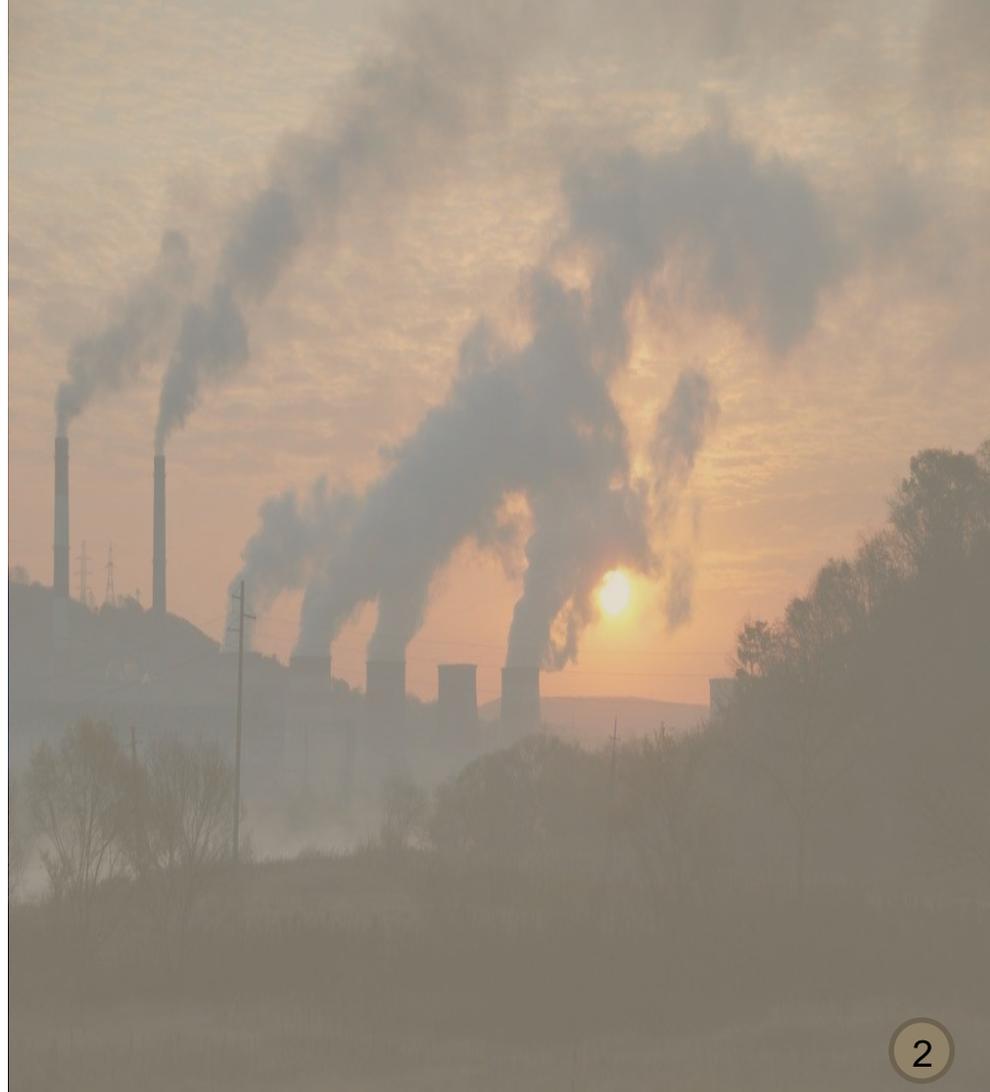
Introdução (I)

As reservas limitadas dos combustíveis fósseis, o seu preço instável associado à poluição gerada pelo uso dos mesmos, têm aumentado significativamente o interesse por fontes de energia renováveis.



Introdução (II)

Devido à natureza intermitente e variável da energia renovável, são projectados sistemas que integram múltiplas fontes de energia renovável com ou sem combustíveis fósseis, conhecidos como sistemas híbridos de energia renovável (SHER), para superar estes problemas



Objectivos

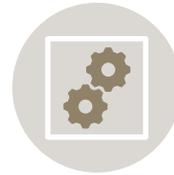
Geral:

- **Modelar e otimizar sistemas híbridos de energia renovável compostos por fontes de energia solar, eólica e hídrica em Moçambique.**

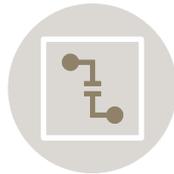
Específicos:



Modelar os sistemas híbridos de energia renovável com base nos recursos de cada distrito;



Optimizar os sistemas com base na minimização do custo total do ciclo de vida dos mesmos e na demanda do sistema;



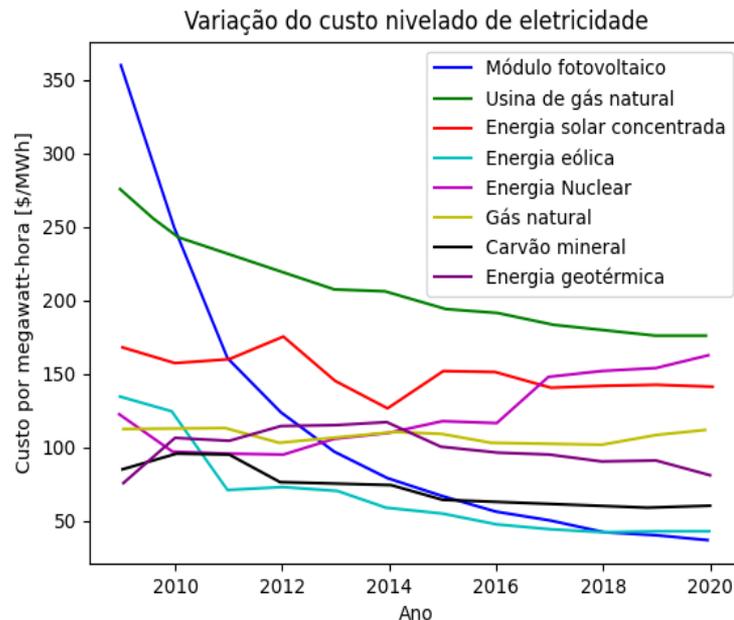
Propor uma solução para a electrificação em pontos de Moçambique não alcançados pela rede eléctrica do País;



Construir uma plataforma para o uso dos recursos que o modelo oferece de modo a incentivar potenciais investidores a investir em energias renováveis em Moçambique.

Custo nivelado de electricidade (LCOE)

O LCOE é uma medida de custos que tenta comparar diferentes métodos de geração de electricidade numa base comparável. É uma avaliação económica do **custo total médio para construir e operar um activo de geração de energia** ao longo de sua vida útil dividido pela **geração total de energia do activo** durante essa vida útil.



Custo total do ciclo de vida(TLCC)

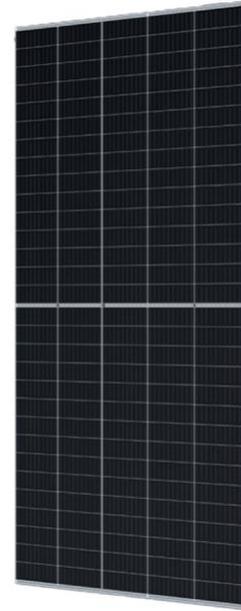
A análise do custo total do ciclo de vida ou *total life-cycle cost* (TLCC) é usada para avaliar as diferenças nos custos e o tempo dos custos entre projectos alternativos. A análise TLCC considera **todos os custos significativos ao longo da vida do projecto.**

A equação seguinte descreve o cálculo do TLCC:

$$TLCC = \frac{C_t}{CRF} = I_0 + \frac{O\&M_t}{CRF} + \frac{C_{r,t}}{CRF}$$

Subsistema Fotovoltaico (I)

A conversão da energia da luz solar em electricidade pode se fazer directamente, usando energia fotovoltaica (PV) ou indirectamente usando energia solar concentrada. As células fotovoltaicas convertem luz em corrente eléctrica usando o efeito fotovoltaico.



Subsistema Fotovoltaico (II)

O principal efeito das condições ambientais que influenciam na potência máxima produzida pelo módulos fotovoltaicos é a **irradiância**. Existe, também, uma dependência linear entre a **temperatura do módulo fotovoltaico** e a potência máxima produzida, sendo esta caracterizada por um **coeficiente α_{PV}**

Assumindo linear, a dependência com a irradiância chega-se a seguinte equação:

$$P_{mf} = P_{nom} \cdot \frac{G_{m,d}}{G_{ref}} [1 + \alpha_{PV}(T_{m,d} - T_{ref})]$$

Subsistema Eólico (I)

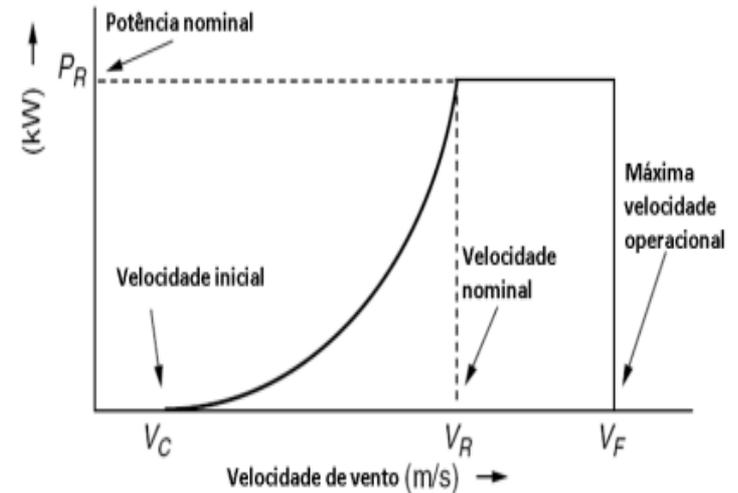
Energia eólica é a transformação da energia do vento em energia útil. O processo é relativamente simples: uma turbina eólica converte a energia cinética (movimento) do vento em mecânica, energia que é utilizada para gerar electricidade.

O impacto ambiental é geralmente menos problemático do que o de outras fontes de energia.



Subsistema Eólico (II)

A curva de potência de uma turbina eólica indica o seu desempenho. Modelos precisos de curvas de potência são ferramentas importantes para previsão da potência e monitoramento das turbinas

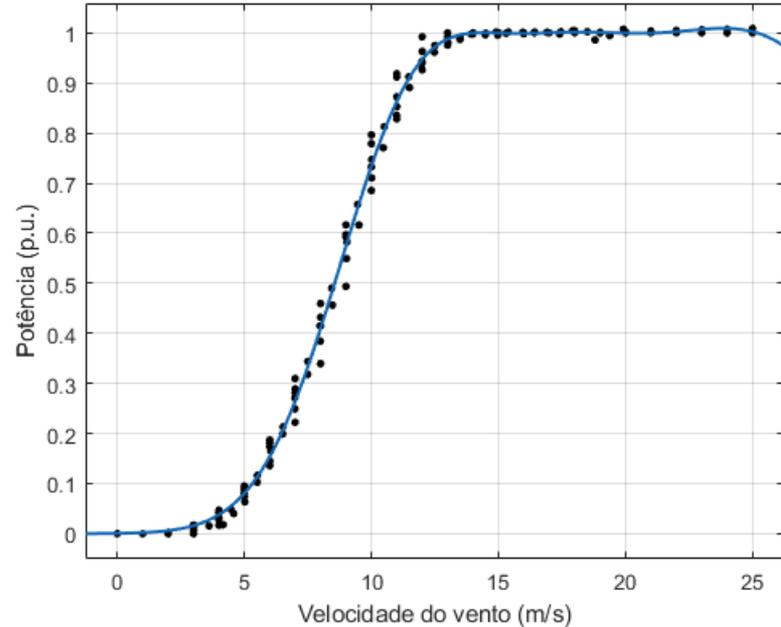


Subsistema Eólico (III)

A informação das **curvas de potência** das turbinas eólicas, cujas potências variam entre os 30 kW e os 10 MW, foi retirada da base de dados da **NREL (Laboratório Nacional de Energia renováveis dos Estados Unidos da América)**

Usando a **regressão Gaussiana** do aplicativo informático interativo de alta *performance* voltado para o cálculo numérico, **MATLAB®**, construiu-se a equação seguinte que descreve a **eficiência de qualquer turbina eólica** com base na **velocidade do vento** de um determinado local:

$$P(v) = a_1 e^{-\left(\frac{v-b_1}{c_1}\right)^2} + a_2 e^{-\left(\frac{v-b_2}{c_2}\right)^2} + a_3 e^{-\left(\frac{v-b_3}{c_3}\right)^2}$$



Subsistema Eólico (IV)

O coeficiente $P(v)$ caracteriza a eficiência de uma turbina com potência nominal $P_{nom,t}$ com base na velocidade média do vento no local.

Assim sendo para uma velocidade v , a potência real extraída é dada pela expressão:

$$P_r = P(v) \cdot P_{nom,t}$$

Subsistema Hídrico (I)

O princípio básico da energia hidroeléctrica é usar a água para accionar as turbinas. As usinas hidroeléctricas possuem duas configurações básicas: com barragens e reservatórios, ou sem.





Rios analisados:

1. Rio Maputo
2. Rio Umbeluzi
3. Rio Incomati
4. Rio Limpopo
5. Rio Búzi
6. Rio Save
7. Rio Púngoè
8. Rio Zambeze
9. Rio Licungo
10. Rio Lúrio
11. Rio Rovuma
12. Rio Messalo
13. Rio Montepuez
14. Rio Ligonha
15. Rio Raraga

Subsistema Hídrico (II)

Fazer uso das usinas hidroeléctricas sem barragens e reservatórios significa produzir em menor escala, normalmente a partir de uma instalação projectada para operar em um rio sem interferir em seu fluxo. Por esse motivo, muitos consideram as instalações hidroeléctrica de pequena escala uma opção mais ecológica.

A potência máxima dada a vazão média do rio $Q_{med,r}$, um factor de capacidade de 60% e a altura de queda H é dada por:

$$P_H[kW] = 3.276 \cdot Q_{med,r} \cdot H$$

Modelo matemático (I)

A otimização baseia-se no uso de métodos matemáticos específicos para determinar a solução mais eficaz (solução óptima) para um problema ou um processo dentro de um conjunto de possíveis resultados.

Os modelos para a otimização dos sistemas aqui descritos são baseados na programação linear inteira mista.

Uma generalização do modelo para a otimização é:

$$\text{Min: } C_T = C_{SF} + C_{SE} + C_{SH}$$

Sujeito a:

$$E_{SF} + E_{SE} + E_{SH} \geq D_{ener}$$

O Modelo matemático (II)



Os dados para a modelagem dos subsistema eólico e solar, foram obtidos da base de dados da NASA e NREL que estão disponíveis no HOMER Pro®.



Estes dados são:



Radiação solar média anual para cada um dos distritos de Moçambique;



Velocidade média dos ventos para cada um dos distritos de Moçambique.

Modelo matemático (III)

Assume-se neste trabalho como sendo de 25 anos o ciclo de vida dos sistemas e a taxa de actualização de 8%. E, considerando os valores médios do mercado e limitações aos subsistemas obtém-se o modelo prático de optimização.

O modelo prático de optimização é:

$$\text{Min } C_T = 4647n_{mf} \cdot P_{nom,mf} + 8802n_t \cdot P_{nom,t} + 8545Q_{med,r} \cdot H$$

Sujeito a:

$$8670n_{mf} \cdot P_{nom,mf} + 8670n_t \cdot P(v) \cdot P_{nom,t} + 17218.7Q_{med,r} \cdot H \geq D_{ener}$$

$$17218.7Q_{med,r} \cdot H \leq 8670n_t \cdot P(v) \cdot P_{nom,t}$$

$$8670n_{mf} \cdot P_{nom,mf} \leq 0.8D_{ener}$$

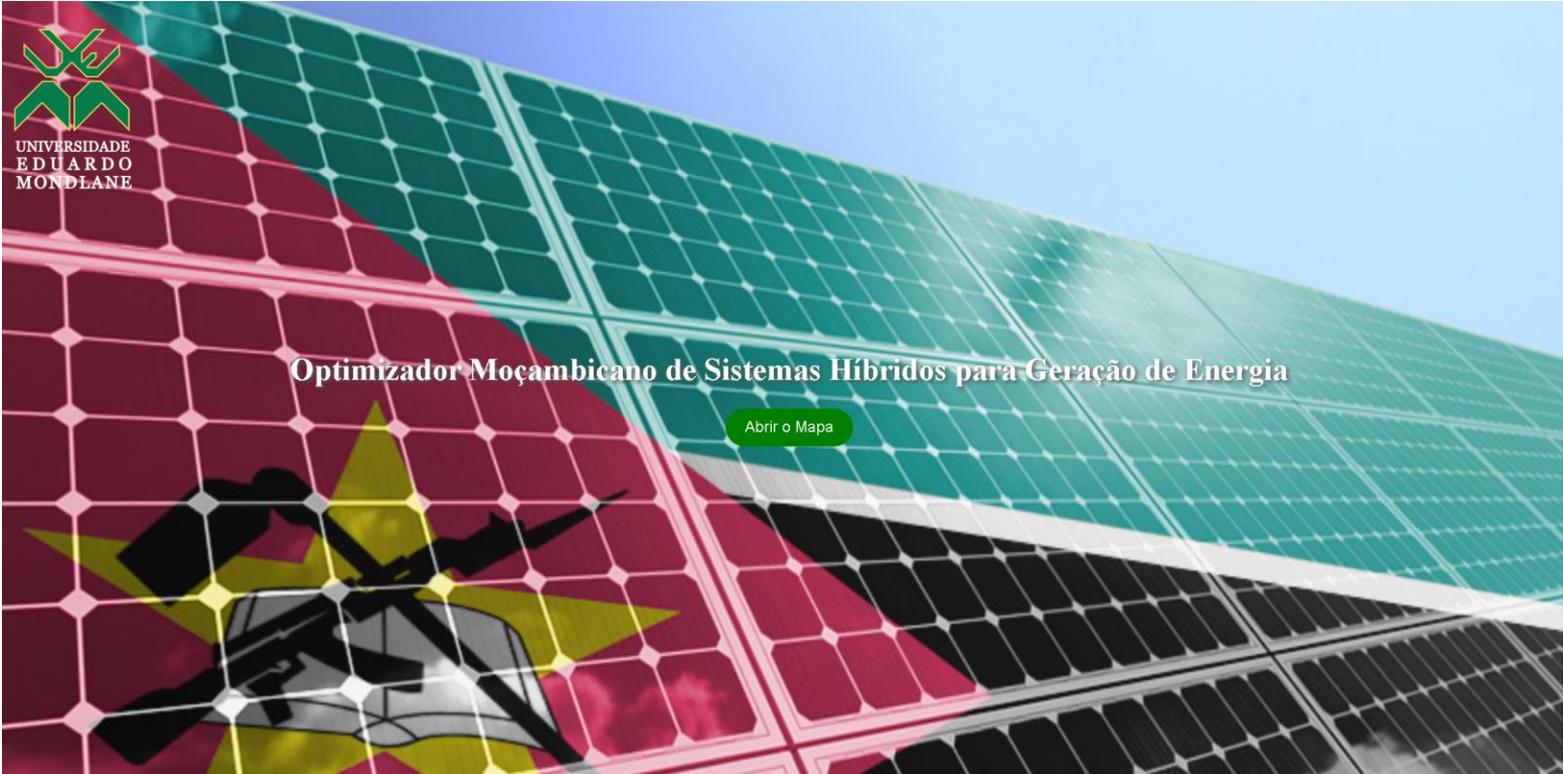
$$8670n_t \cdot P(v) \cdot P_{nom,t} \leq 0.3D_{ener}$$

$$17218.7Q_{med,r} \cdot H \leq 0.1D_{ener}$$

$$H \leq 25$$

Plataforma online

<https://optimizadorsher.uem.mz/>



Conclusões e Recomendações (I)



O presente trabalho obteve:



A Modelação de sistemas híbridos de energia renovável com base nos recursos disponíveis em cada distrito; e



A disponibilização de uma ferramenta, de extrema utilidade, para análise preliminar de investimentos na área de energias renováveis em Moçambique.

Conclusões e Recomendações (II)

A recomendação que se faz é quanto a obtenção de dados da vazão mais pormenorizada nos rios do País. Neste trabalho usa-se valores médios anuais obtidos em 2017 e 2018. Para maior precisão recomenda-se uma pesquisa de modo a obter os valores médios da vazão dos rios nacionais mais actualizados.



**Obrigado pela atenção
dispensada!**