

Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

DEI
DEPARTAMENTO
DE ENGENHARIA
INDUSTRIAL

Número 05 | 05 2021

Avaliação de Usinas Híbridas por meio da Teoria de Opções Reais

Autor(es):

Diego Nascimento Maia



Série dos Seminários de Acompanhamento à Pesquisa

Número 05 | 05 2021

Avaliação de Usinas Híbridas por meio da Teoria de Opções Reais

Autor(es):

Diego Nascimento Maia

CRÉDITOS:

SISTEMA MAXWELL / LAMBDA
<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>

Organizadores: Fernanda Baião / Soraida Aguilar

Layout da Capa: Aline Magalhães dos Santos

AGENDA


- **Apresentação pessoal**
- **Objetivo**
- **Contextualização**
- **Metodologia**
- **Resultados Preliminares**
- **Referências**





APRESENTAÇÃO PESSOAL



DIEGO NASCIMENTO MAIA

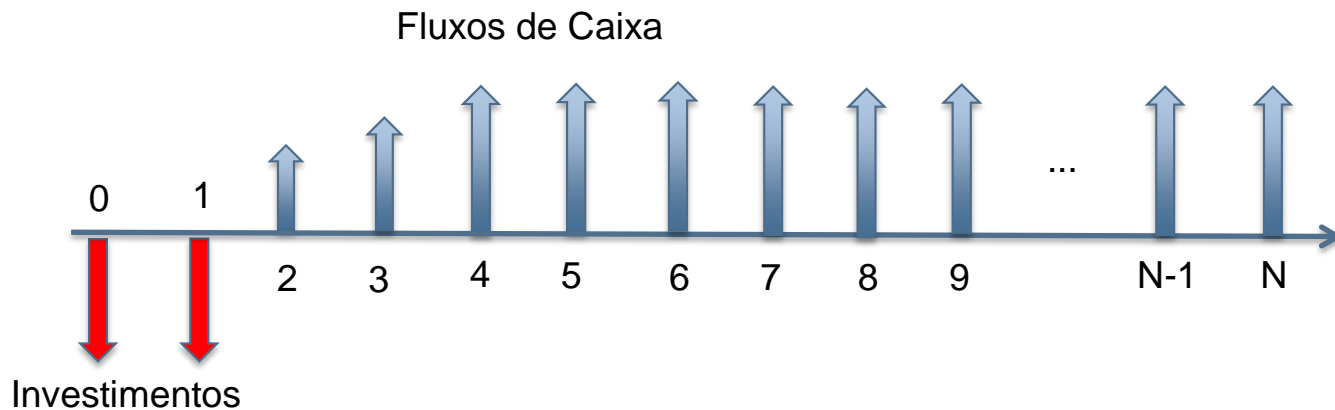
- Engenheiro De Computação (IME)
 - Pesquisador desde 2015 no Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (CEPEL)
 - Início do Mestrado: 2018.2
 - Orientador: Luiz Eduardo Brandão
 - Co-orientador: Fábio Rodrigo Batista
 - Área de Concentração e Linha de Pesquisa: Finanças e Análise de Investimentos / Finanças Corporativas
- 

OBJETIVO

- 
- **Determinar o melhor modelo de negócios para um agente gerador de energia elétrica no Brasil, considerando as seguintes possibilidades:**
 - ✓ Investir em uma usina de uma tecnologia
 - Eólica
 - Solar
 - ✓ Investir em um arranjo híbrido
 - Eólica + Solar
 - Eólica + Solar + Bateria
- 

CONTEXTUALIZAÇÃO

➤ Análise Econômico-Financeira de Projetos



CONTEXTUALIZAÇÃO

- **Geração Eólica e Solar estão entre as fontes de geração que mais crescem na matriz energética brasileira**



CONTEXTUALIZAÇÃO



- Geração Eólica e Solar estão entre as fontes de geração que mais crescem na matriz energética brasileira

FONTE ^(a)	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
RENOVÁVEIS	138.284	140.002	141.026	142.036	148.366	154.196	158.776	163.741	168.739	173.814	178.915
HIDRO ^(b)	101.288	101.899	101.935	101.935	102.139	102.139	102.139	102.523	102.942	103.436	103.958
OUTRAS RENOVÁVEIS:	36.996	38.103	39.091	40.101	46.227	52.057	56.637	61.217	65.797	70.377	74.957
PCH e CGH	6.385	6.610	6.787	6.898	7.207	7.545	7.845	8.145	8.445	8.745	9.045
EÓLICA	15.017	15.370	15.477	15.742	20.263	24.475	27.475	30.475	33.475	36.475	39.475
BIOMASSA ^(d) + BIOGÁS	13.412	13.643	13.790	13.840	14.135	14.415	14.695	14.975	15.255	15.535	15.815
SOLAR CENTRALIZADA	2.182	2.480	3.037	3.622	4.622	5.622	6.622	7.622	8.622	9.622	10.622
NÃO RENOVÁVEIS	22.672	24.474	25.779	25.779	27.705	29.293	29.239	33.114	35.319	36.916	42.059
URÂNIO	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	1.990	3.395	3.395	3.395	3.395
GÁS NATURAL ^(d)	12.921	14.436	15.741	15.741	17.859	21.234	22.662	25.679	28.315	31.339	36.190
CARVÃO	3.017	3.017	3.017	3.017	3.017	3.017	3.017	3.017	3.017	1.790	2.083
ÓLEO COMBUSTÍVEL ^(e)	3.697	3.697	3.697	3.697	3.697	2.510	1.028	657	226	25	25
ÓLEO DIESEL ^(e)	1.047	1.333	1.333	1.333	1.141	542	542	366	366	366	366
TOTAL DO SIN	160.956	164.476	166.805	167.814	176.070	183.489	188.015	196.855	204.059	210.729	220.974

Fonte: PDE 2029

37%

163%

387%

CONTEXTUALIZAÇÃO



➤ Conceito de Usina Híbrida

- ✓ “Uma instalação de geração de energia que converte energia primária em energia elétrica e que consiste em mais de um módulo de geração de energia conectado a uma rede em um ponto de conexão.”



Fonte: WindEurope

CONTEXTUALIZAÇÃO



- **Geração Eólica e Solar estão entre as fontes de geração que mais crescem na matriz energética brasileira**
 - ✓ **Hibridização pode aumentar a atratividade de projetos anteriormente inviáveis**
 - ✓ **Complementaridade na geração dessas fontes**
 - Geração Solar ocorre no período diurno
 - Por exemplo, em localidades no Nordeste a geração eólica ocorre com maior intensidade no período noturno
 - Utilização mais eficiente da rede elétrica
 - ✓ **Regulamentação necessária**
 - Em discussão desde 2017
 - Consulta pública em 2019
 - Agenda Regulatória ANEEL 2020 - 2021



CONTEXTUALIZAÇÃO



➤ Projeto Híbrido Eólica + Solar

- ✓ Ganhos sinérgicos de Custos na Construção e na Operação da Usina
- ✓ *Curtailment*
- ✓ Efeito *Portfólio*

➤ Armazenamento em Baterias

- ✓ Aproveitamento da diferenças de preços durante um dia
- ✓ Redução de custo da tecnologia
- ✓ Redução do *Curtailment*



RISCOS ENVOLVIDOS

➤ Fontes de Geração


- ✓ Geração Eólica: Vento
- ✓ Geração Solar: Irradiância Solar
- ✓ Complementaridade entre Eólica e Solar



➤ Preço da Energia no Mercado de Curto Prazo


PLD
PREÇO DE
LIQUIDAÇÃO DAS
DIFERENÇAS

RISCOS ENVOLVIDOS



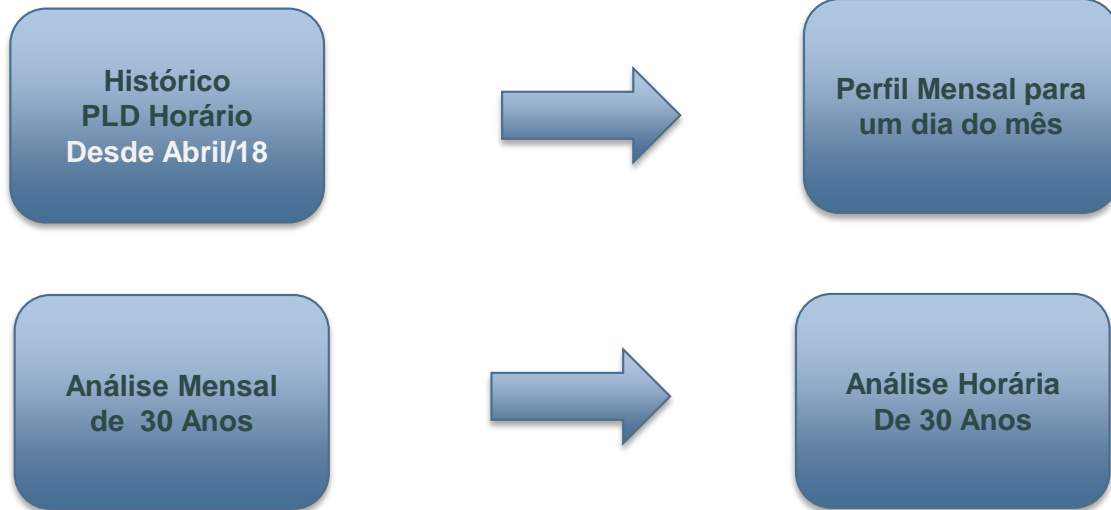
PLD
PREÇO DE
LIQUIDAÇÃO DAS
DIFERENÇAS

➤ Preço da Energia no Mercado de Curto Prazo

- ✓ Atualmente: Preço por semana por Submercado
 - ✓ A partir de 2021: Preço por hora por Submercado
 - Modelo tem previsão de 1 semana
 - Como fica análise de 30 anos do projeto híbrido?
- 

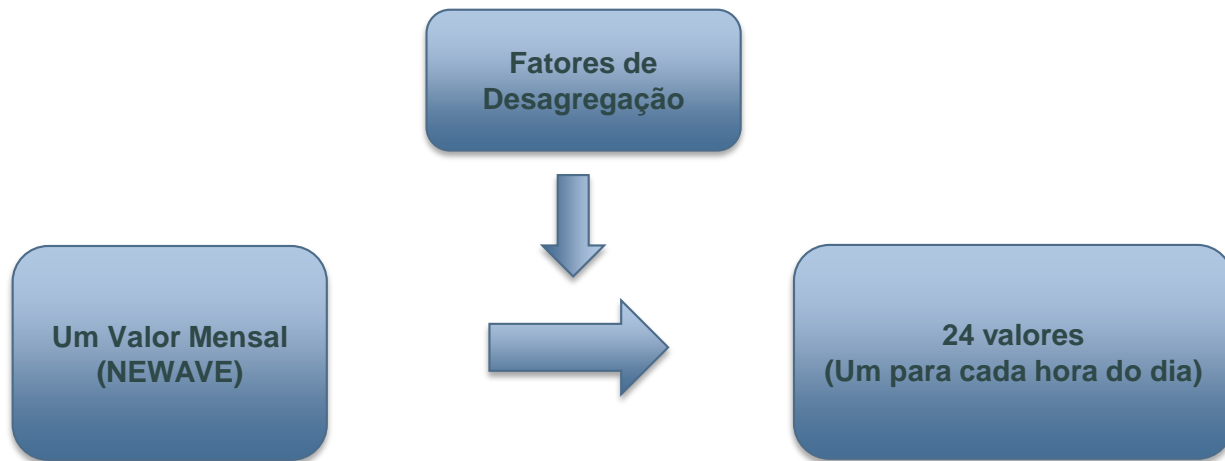
RISCOS ENVOLVIDOS

➤ Tratamento relativo ao PLD Horário

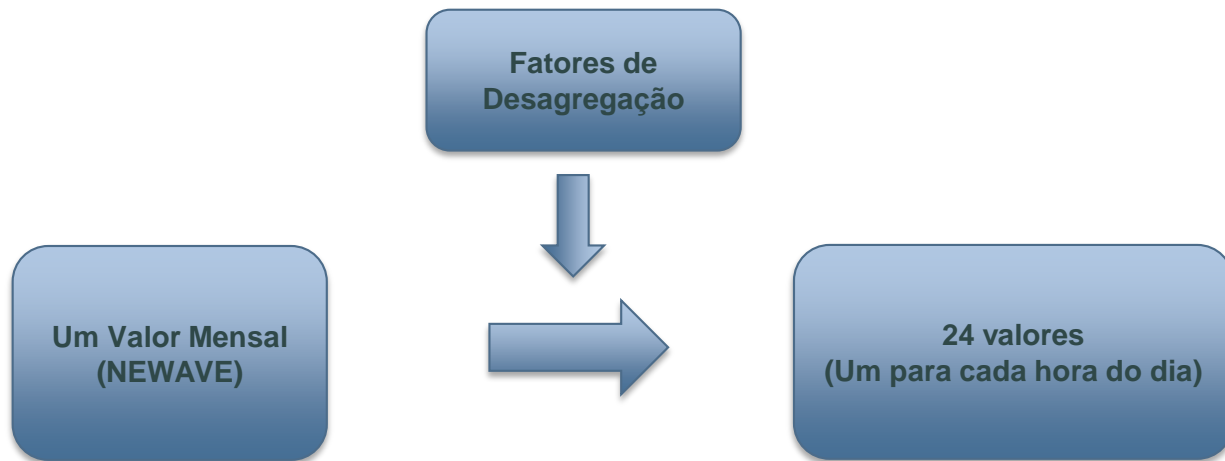


- ✓ O que muda com PLD Horário?
 - Exposição ao PLD durante o dia

RASCUNHO



RASCUNHO



TEORIA DAS OPÇÕES REAIS




➤ **Opção Financeira**

- ✓ Instrumento financeiro que atribui ao comprador o direito de comprar ou vender determinado ativo numa data ou até uma data

➤ **Opção Real**

- ✓ Ativos Reais (tangíveis) em vez de ativos financeiros
- ✓ Exemplo do cotidiano: Passagem Aérea Reembolsável
- ✓ Exemplo em avaliação de projetos: Adiar investimento em um projeto

➤ **Princípios da Teoria**

- ✓ Flexibilidade Gerencial
 - ✓ Incerteza
 - ✓ Irreversibilidade
- 

TEORIA DAS OPÇÕES REAIS

➤ Teoria das Opções Reais aplicado às Usinas Híbridas



**Usina
Eólica**

**Usina
Solar**



**Usina Híbrida
Eólica + Solar**

**Usina Híbrida
Eólica + Solar +
Armazenamento**

METODOLOGIA



Análise determinística individual dos empreendimentos

Análise determinística do arranjo híbrido dos empreendimentos

Análise de dados das séries históricas de geração eólica e solar por meio de reanálise

Análise de Risco dos fatores de risco nas análises individuais e híbrida

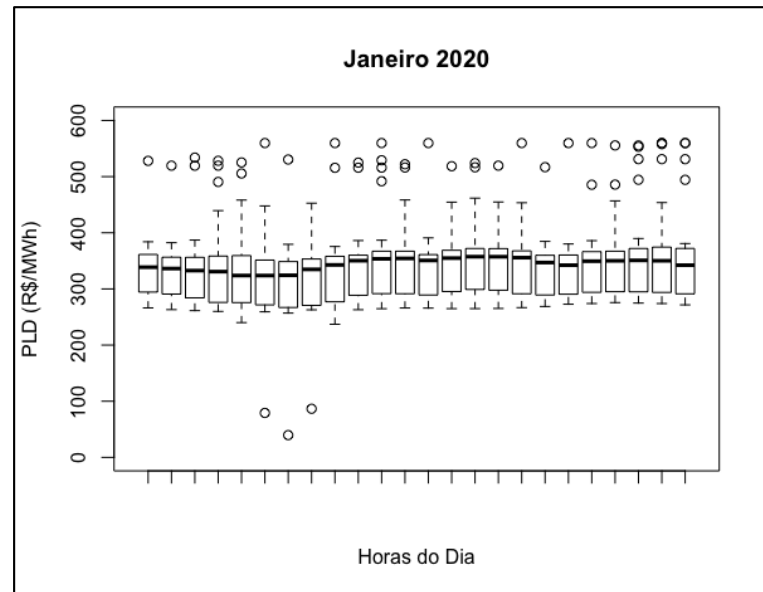
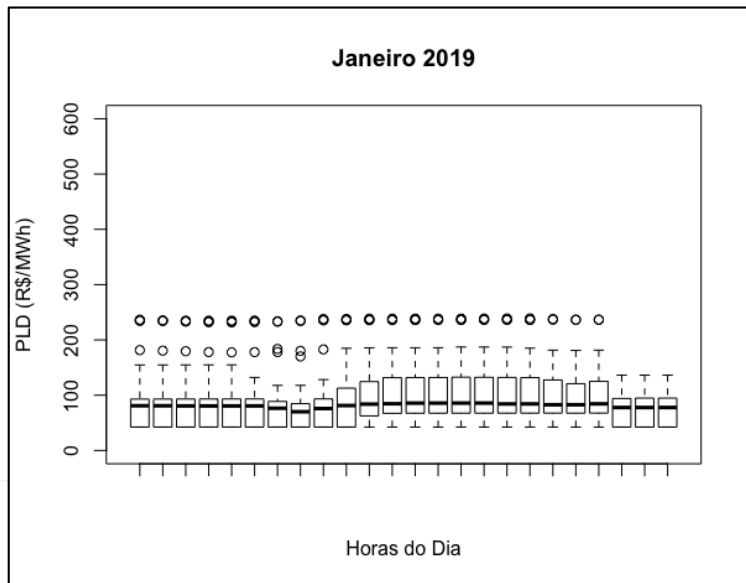
Análise do arranjo híbrido com o uso de baterias de armazenamento



RESULTADOS PRELIMINARES

➤ Boxplots para cada hora do dia no mês

✓ Exemplo: Janeiro



REFERÊNCIAS

- ZAMBELI, M.S., FARIA, J. M, SOUZA, A.A., Metodologia Para Análise De Risco Com PLD Horário, XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Belo Horizonte, Brasil, 2019.
- MME, EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029, Brasília, Brasil, 2019.
- WINDEUROPE. Renewable Hybrid Power Plants: Exploring the Benefits and Market Opportunities, Brussels, Belgium, 2019.
- KLONARI, V., Exploring the Viability of Hybrid Wind-Solar Power Plants, 4th International Hybrid Power Systems Workshop, Crete, Greece, 2019.
- DAS, K., Enhanced Features of Wind-Based Hybrid Power Plants, 4th International Hybrid Power Systems Workshop, Crete, Greece, 2019.



OBRIGADO!

DIEGO.N.MAIA@GMAIL.COM



METODOLOGIA

- **Análise do Arranjo Híbrido com o uso de Baterias**
 - Especificação da bateria;
 - Avaliação da opção de se investir no uso de baterias para o arranjo híbrido estudado



METODOLOGIA



- **Análise determinística individual dos empreendimentos**
 - Especificação das características técnicas de uma usina eólica, e outra solar fotovoltaica, separadamente
 - Obtenção de série histórica de geração, em base mensal, para cada usina isoladamente;
 - Geração de diferentes cenários de produção energética, em base mensal, para cada usina separadamente;
 - Obtenção de diferentes cenários de PLDs em base mensal;
 - Realização de uma análise de risco de cada projeto separadamente



METODOLOGIA

- **Análise determinística do arranjo híbrido dos empreendimentos**
 - Determinação de quais características individuais seriam alteradas em função do arranjo híbrido e posterior especificação da usina
 - Em base mensal, realização de uma análise de risco do arranjo híbrido;
 - Levantamento de perfil típico da geração eólica e solar fotovoltaica, em base horária, no local de desenvolvimento da usina;
 - Levantamento de perfil típico do PLD horário no submercado de desenvolvimento da usina;
 - Obtenção de cenários de PLDs e geração em base horária;
 - Realização de uma análise de risco da usina híbrida em base horária.

CONTEXTUALIZAÇÃO

- Regulamentação necessária

HOJE



100MW

20MW



120MW

EM ESTUDO



100MW

20MW



100MW