Encontro Nacional do Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP - 2026

Metodologias e Formulações para Análise de Turbinas Eólicas Offshore Associadas a Plataformas Flutuantes

Rodrigo Oliveira Cruz

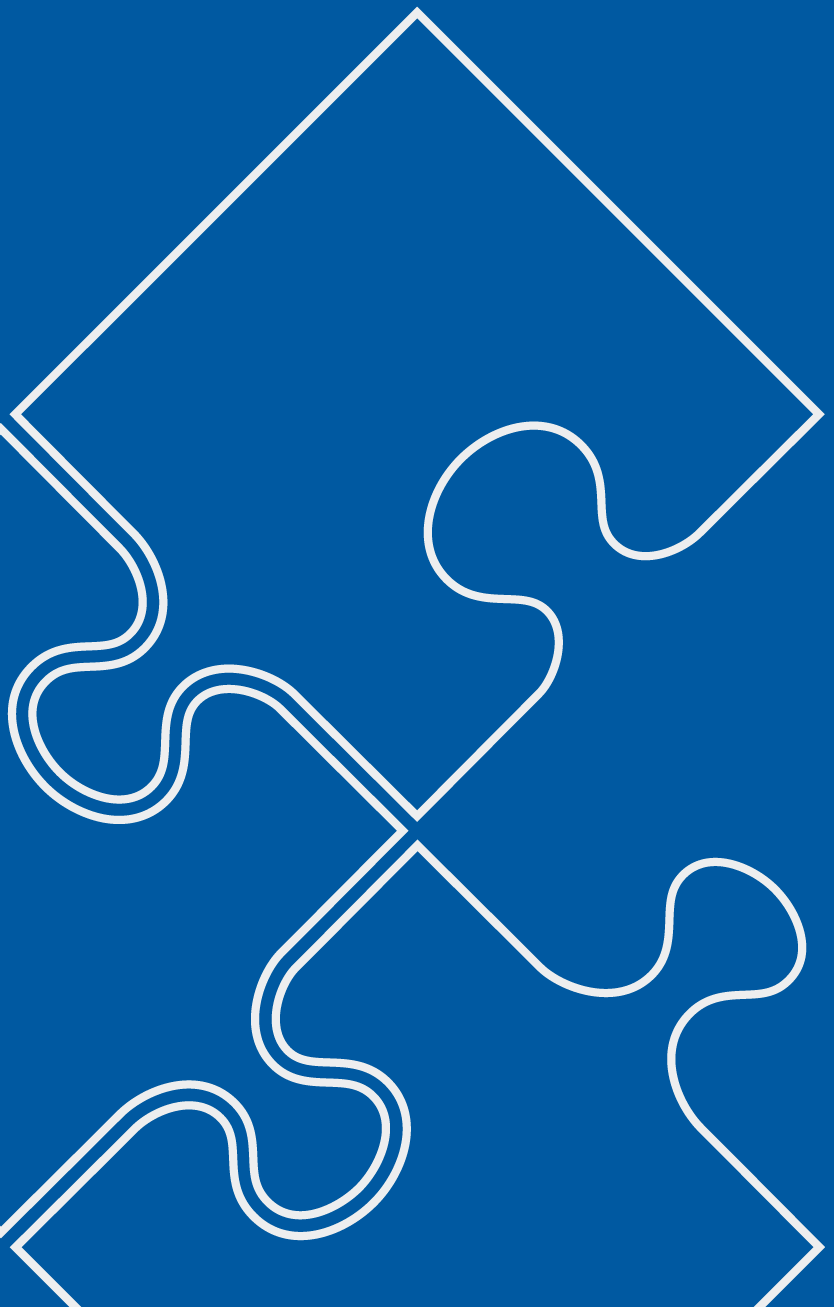
Orientador: Prof. Dr. Fabrício Nogueira Corrêa

PRH 09

Tipo de bolsa: Doutorado

Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Gestão:



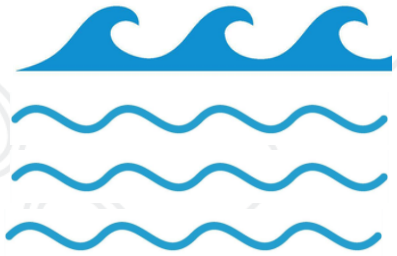
Motivação

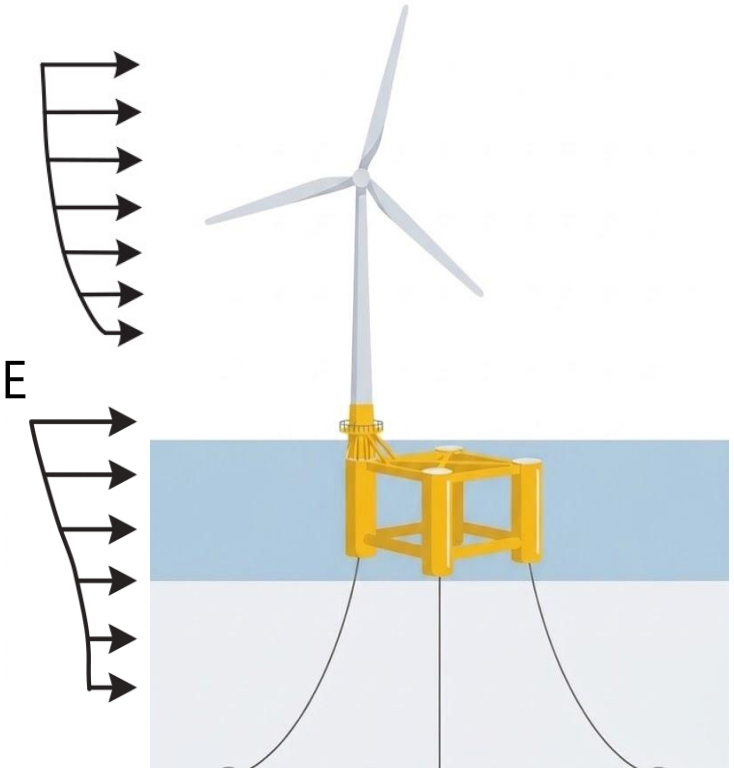
MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE TUBINAS EÓLICAS OFFSHORE

VENTO



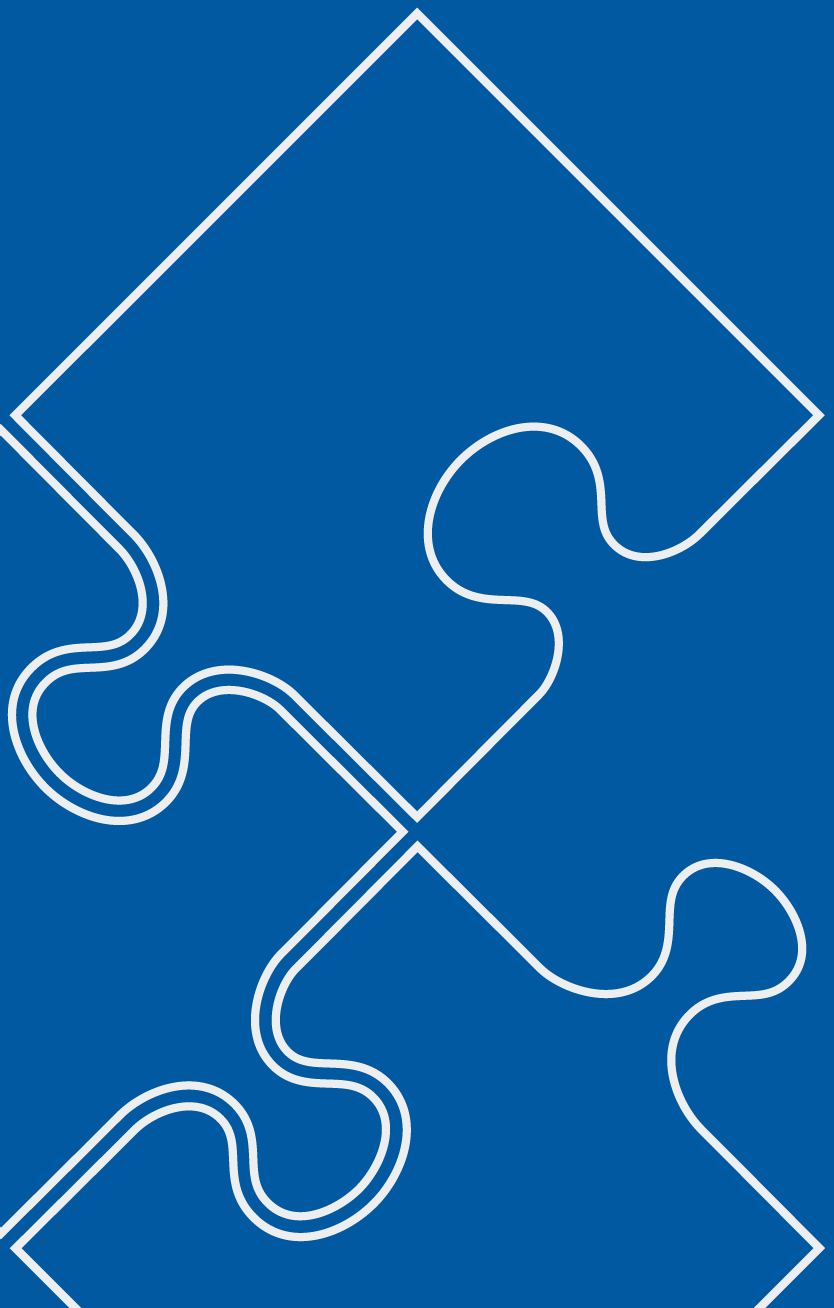
ONDA E CORRENTE





COMPLEXIDADES:

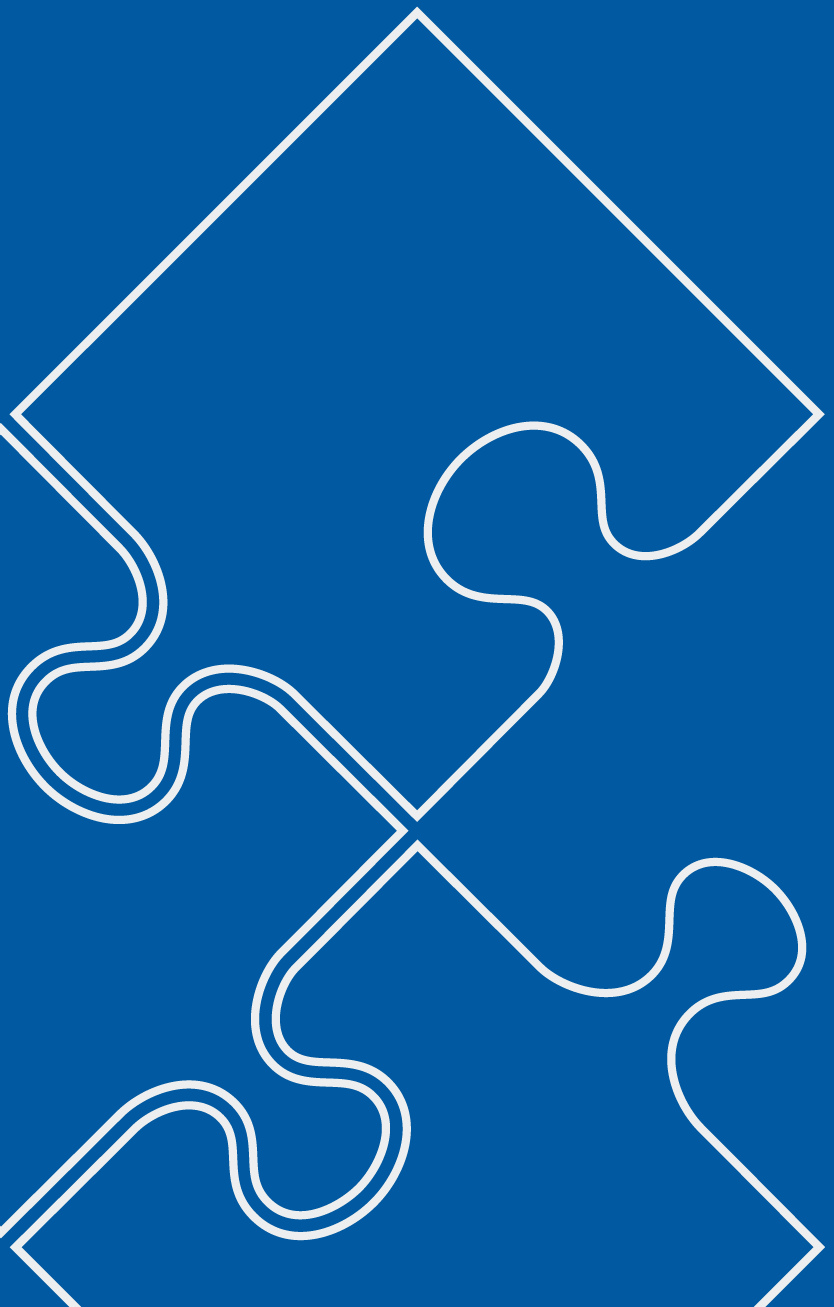
- Acoplamento aero-hidro-servo-elástico
- Simulações acopladas
- Múltiplos casos de carregamento
- Múltiplas análises



Objetivos

OBJETIVOS

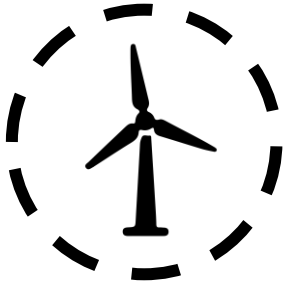
- Desenvolver **ferramenta computacional** que combine **métodos avançados** de modelagem aerodinâmica, hidrodinâmica e estrutural;
- **OpenFAST** (NREL): contempla metodologias e teorias para modelagem e simulação de **efeitos aerodinâmicos de turbinas eólicas;**
- **Prosim** (LAMCSO/COPPE/UFRJ): contempla metodologia e teorias para modelagem **hidrodinâmica e estrutural de sistemas offshore;**
- **Prosim-FAST**: um único código mais poderoso que **combina as vantagens** de cada ferramenta em separado.



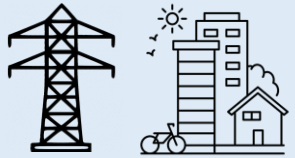
Aplicação no Setor de Petróleo e Energia

APLICAÇÃO NO SETOR DE PETRÓLEO E ENERGIA

Abastecimento de Energia



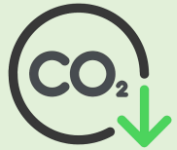
Descarbonização do Setor de O&G



Abastecimento da população



Fornecimento de energia às plataformas



Redução da emissão de CO_2

A **energia eólica offshore** pode contribuir para a **expansão da oferta de eletricidade à população** e apoiar à **descarbonização do setor de O&G gerando valor ambiental e econômico**

APLICAÇÃO NO SETOR DE PETRÓLEO E ENERGIA

Abastecimento de Energia

Descarbonização do Setor de O&G

Abastecimento da população

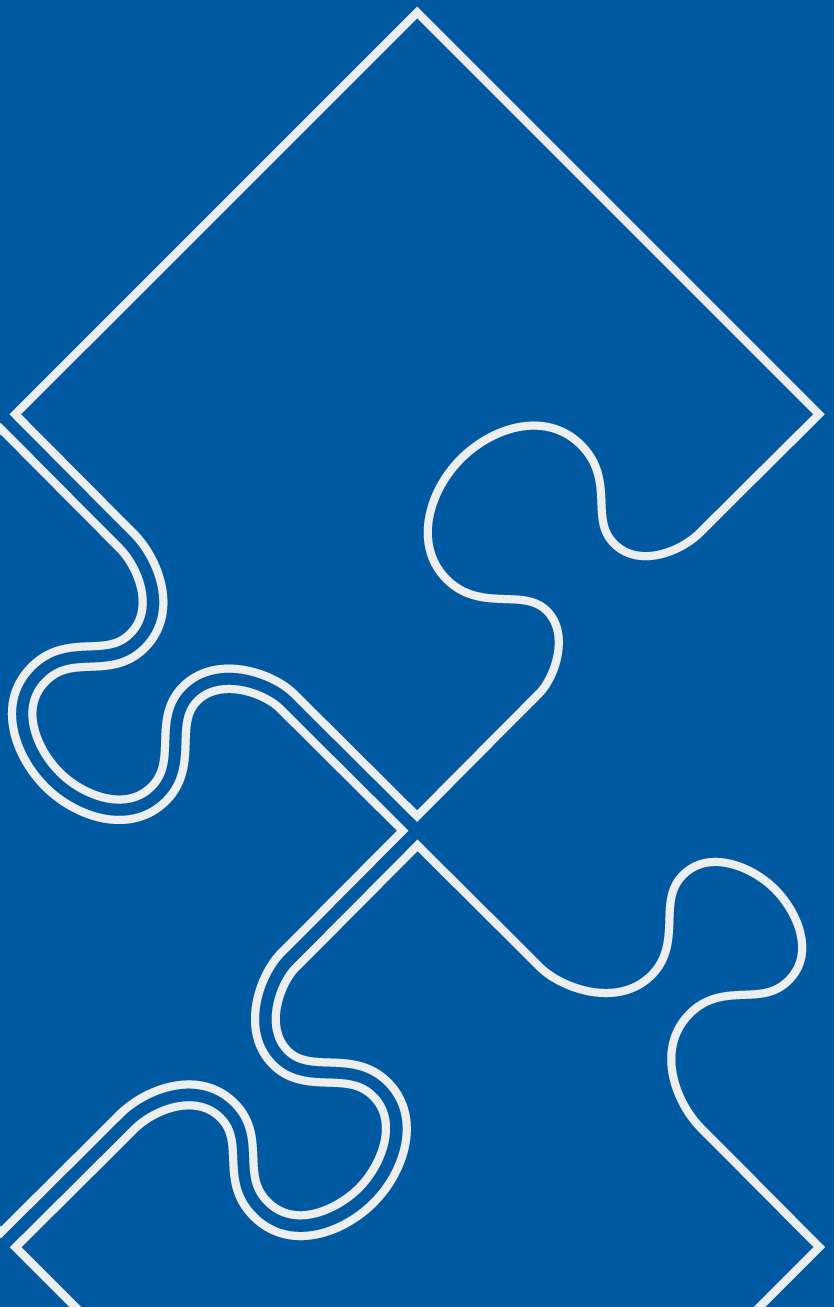




Hywind Tampen.

Fonte: Equinor

A **energia eólica offshore** pode contribuir para a **expansão da oferta de eletricidade à população** e apoiar à **descarbonização do setor de O&G gerando valor ambiental e econômico**



Resultados

PROSIM-FAST

ETAPA 1

Contexto: Sistema de ancoragem

Prosim: linhas de ancoragem

OpenFAST: demais partes

Relação input-output: Prosim recebe deslocamentos e OpenFAST forças

$$\boldsymbol{M}\ddot{\boldsymbol{x}}(t) + \boldsymbol{C}\dot{\boldsymbol{x}}(t) + \boldsymbol{K}\boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{F}(\boldsymbol{x}, t)$$

ETAPA 2

Contexto: Plataforma e sistema de ancoragem

Prosim: plataforma, linhas de ancoragem, hidrodinâmica

OpenFAST: torre e turbina

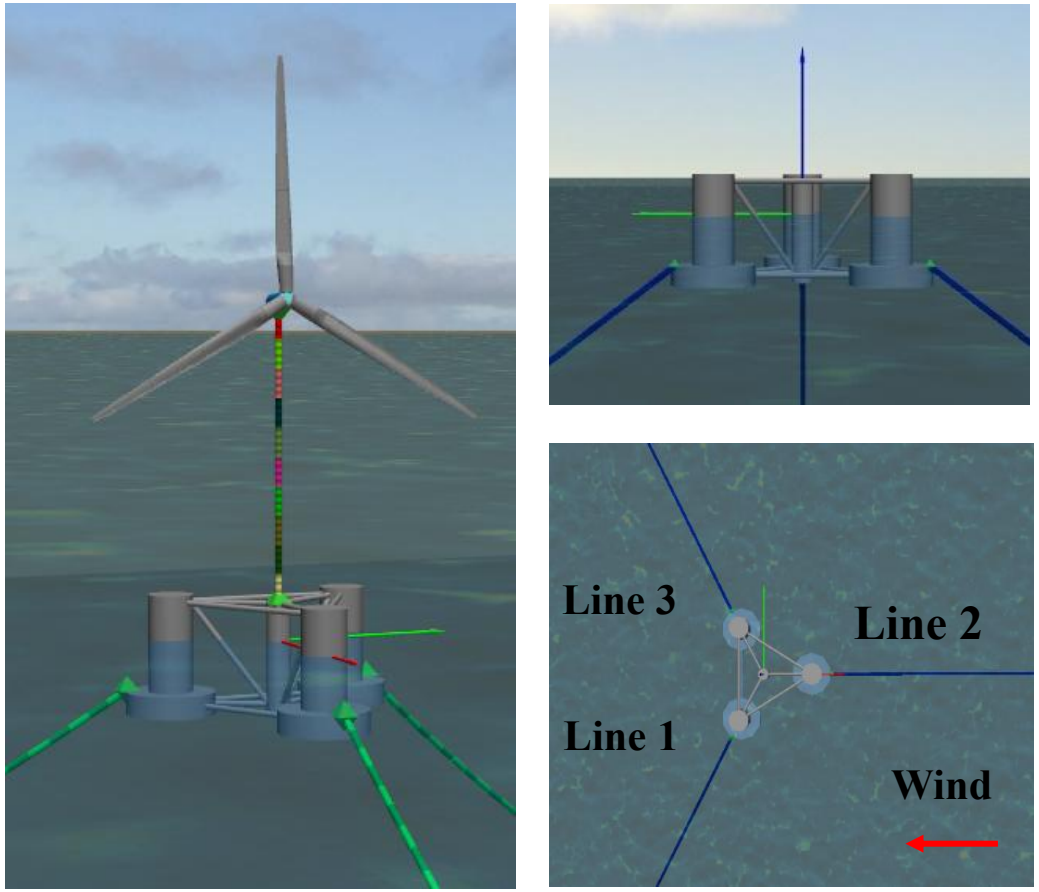
Deslocamentos da estrutura de suporte são prescritos do Prosim para OpenFAST

$$\boldsymbol{M}\ddot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{F}(\boldsymbol{x}, t)$$

$$\boldsymbol{M}\ddot{\boldsymbol{x}}(t) + \boldsymbol{C}\dot{\boldsymbol{x}}(t) + \boldsymbol{K}\boldsymbol{x}(t) = \boldsymbol{F}(\boldsymbol{x}, t)$$

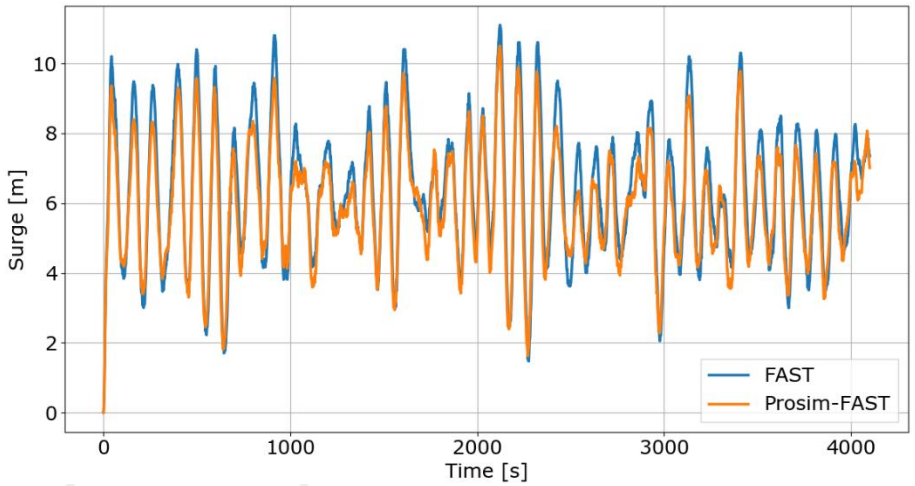
MODELO DE VALIDAÇÃO

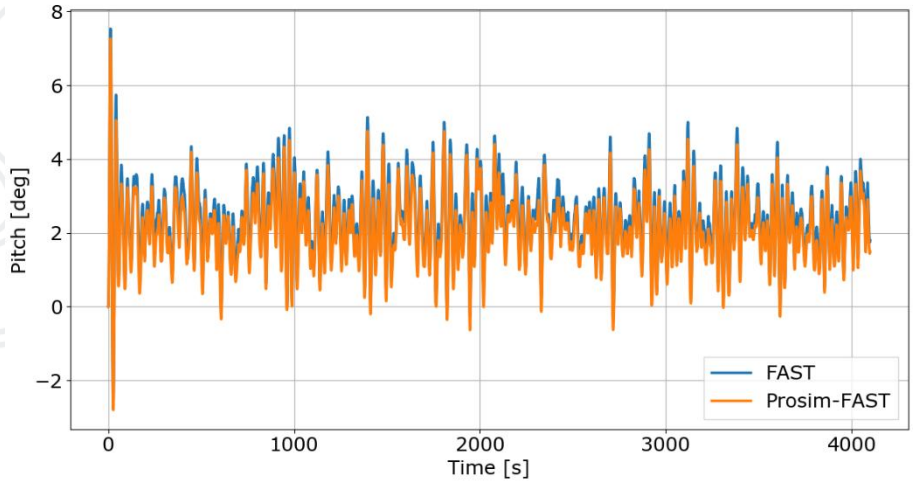
- Modelo OC4 Fase II – IEA Task 30
- Turbina eólica de 5MW – NREL
- Semissubmersível:
  - 3 Linhas de ancoragem separadas em 120°
  - LDA de 200m
- Casos de carregamento:
  - Apenas ondas regulares/irregulares;
  - Vento constante e ondas regulares/irregulares;
  - Vento turbulento e ondas irregulares.



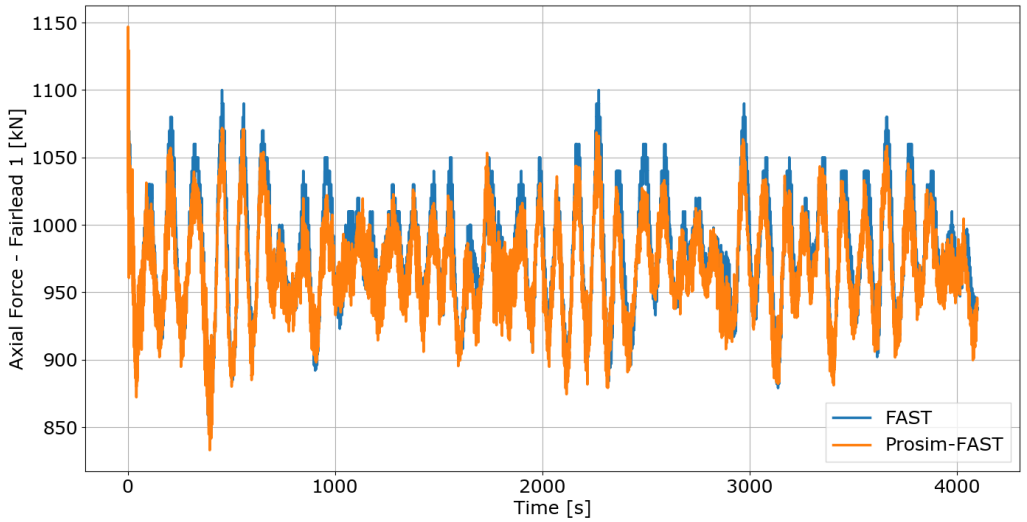
Modelo OC4 Fase II na interface gráfica do Prosim

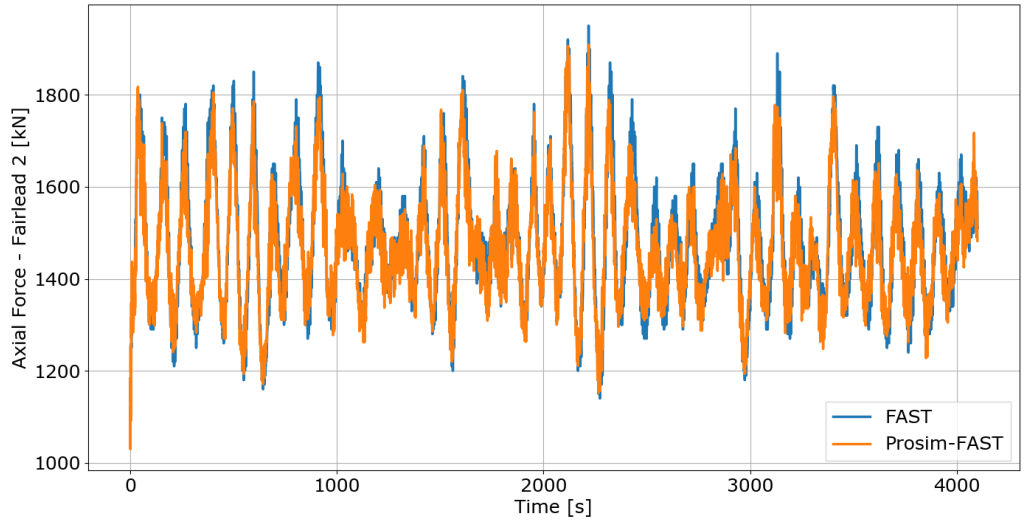
RESULTADOS ETAPA 1 – SÉRIES TEMPORAIS





Séries temporais de Surge e Sway.



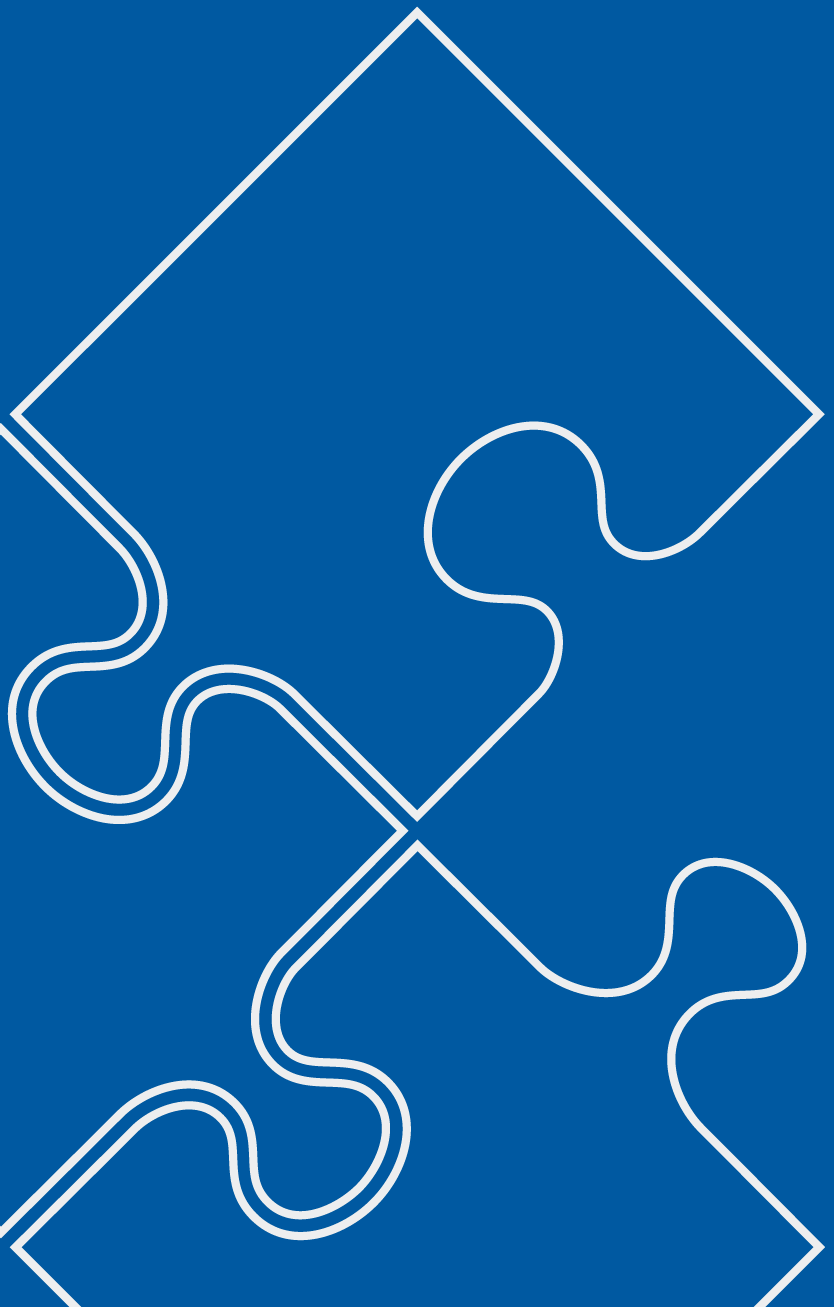


Séries temporais de força axial no fairlead das linhas 1 e 2.

RESULTADOS ETAPA 1 – TEMPO DE EXECUÇÃO

Comparação de tempo de execução entre OpenFAST e ProsimFAST na etapa 1 de integração

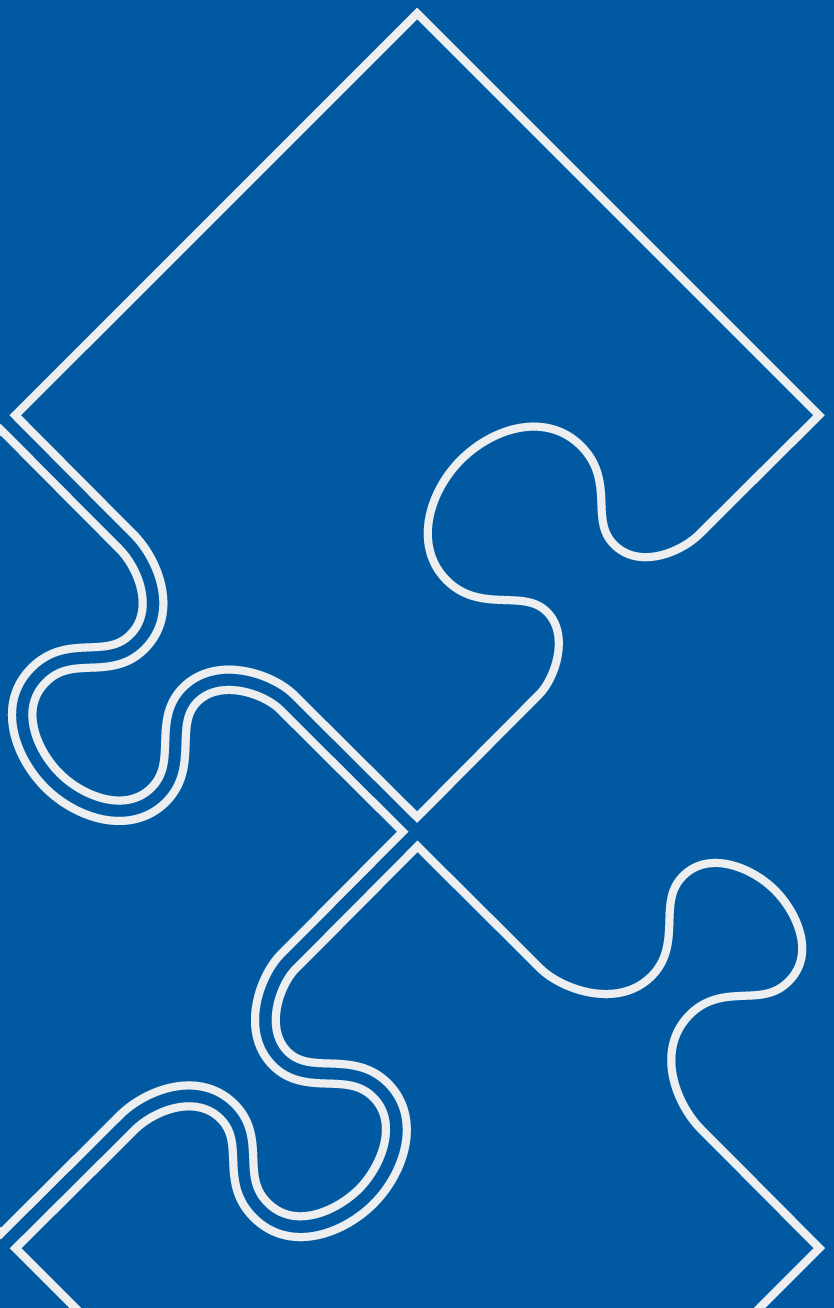
Caso	Descrição	OpenFAST	ProsimFAST	Dif. (%)
1	Estado de mar irregular Sem vento	3h 30min 18s	37min 23s	-82.2%
2	Estado de mar irregular Vento turbulento	3h 41min 1s	47min 23s	-78.6%
3		3h 39min 40s	46min 36s	-78.8%
4		3h 44min 6s	45min 44s	-79.6%
5	Estado de mar regular Vento uniforme Corrente	3h 35min 38s	43min 26s	-79.9%



Considerações Finais

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ProsimFAST – integração **etapa 1**:
  - Séries temporais similares
  - Dados estatísticos próximos, dentro de margens aceitáveis
  - Tempo de execução do ProsimFAST cerca de 79% menor
- ProsimFAST – integração **etapa 2**:
  - Em desenvolvimento
  - Primeiros resultados em análise
  - Novas simulações



Referências

REFERÊNCIAS

Equinor, "Hywind Tampen", https://www.equinor.com/energy/hywind-tampen.

NREL - National Renewable Energy Laboratory, "OpenFAST Documentation", https://openfast.readthedocs.io/en/main/.

Jacob, B. P. *et al*, 2012, "Parallel implementations of coupled formulations for the analysis of floating production systems, part I: Coupling formulations", Ocean Engineering, 55, 10.1016/j.oceaneng.2012.06.019.

Robertson, A. *et al*., 2014, "Offshore Code Comparison Collaboration Continuation within IEA Wind Task 30: Phase II results regarding a floating semisubmersible wind system", In the Proceedings of the ASME 2014 33rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering - OMAE 2014.

Cruz, R. O. *et al*, 2025, "Integration of a Coupled Offshore System Code with OpenFAST for Mooring Dynamic Analysis of Floating Offshore Wind Turbines", In the 35th International Ocean and Polar Engineering Conference.

OBRIGADO!

Agradecimento: O presente trabalho teve apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis gerido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil, processo n° 2025/02911-8

prh anp 09/UFRJ

Rodrigo Oliveira Cruz

Dados para contato

rodrigo.cruz@lamcso.coppe.ufrj.br

linkedin.com/in/rodrigo-o-cruz


prh anp


anp
Gestão:
FAPESP