

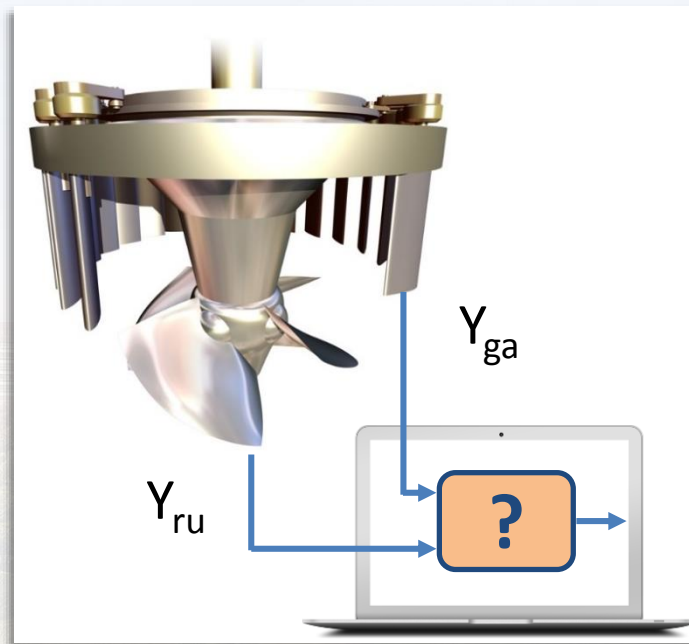


MODELAGEM DE TURBINAS HIDRÁULICAS TIPO KAPLAN E BULBO EM REGIME PERMANENTE E TRANSITÓRIO

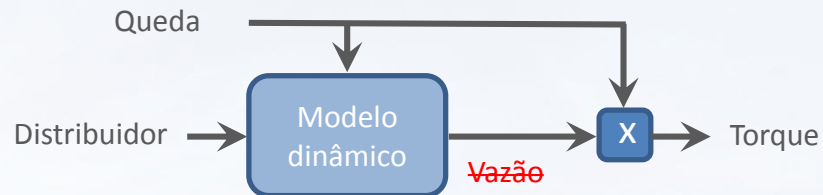
GGH

Rafael Paiva | Lucas Silva |
Henrique Menarin | Rodrigo
Gosmann | Cristiano Bühler |
José Toledo | Leonardo
Leoncini | Ricardo Vechin

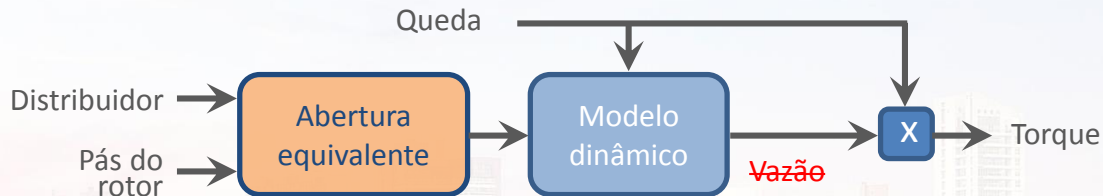
- Não existe abordagem padronizada para modelos estáticos e dinâmicos:
 - Literatura técnica e acadêmica;
 - Softwares de estudos de estabilidade.
- Em geral se assume que pás e distribuidor estão conjugados, com **apenas uma entrada**;
⇒ **Modelo convencional**: similar à turbina Francis
- Em transitórios, pode haver **erro de conjugação** ⇒ simulações não representam a realidade;
- Interesse em modelar **vazão** e/ou **eficiência** como função das pás e distribuidor.



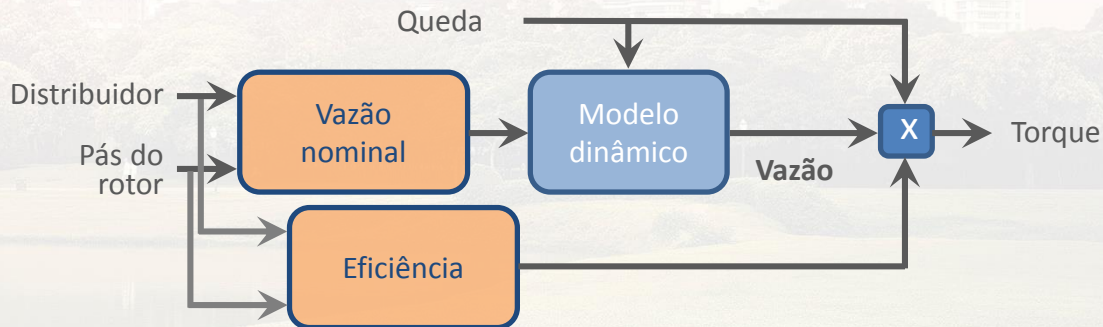
MODELO CONVENCIONAL: ~FRANCIS (1 ENTRADA)



ABORDAGEM 1: ABERTURA EQUIVALENTE



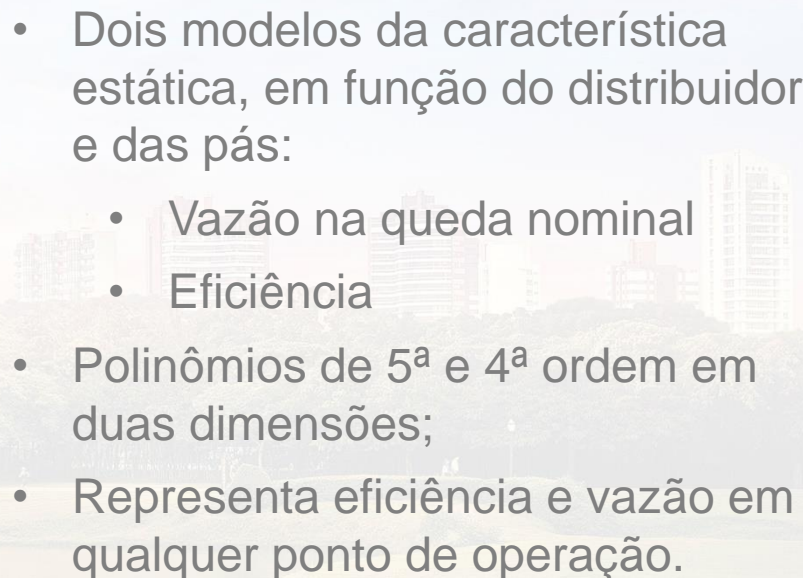
ABORDAGEM 2: VAZÃO E EFICIÊNCIA



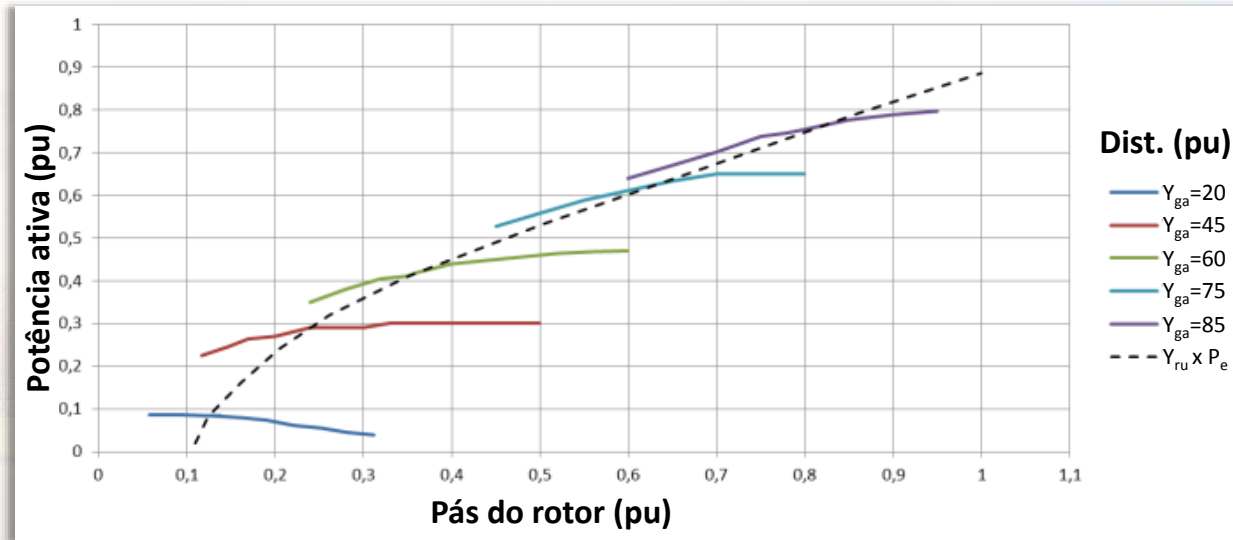
ABORDAGEM 1: ABERTURA EQUIVALENTE

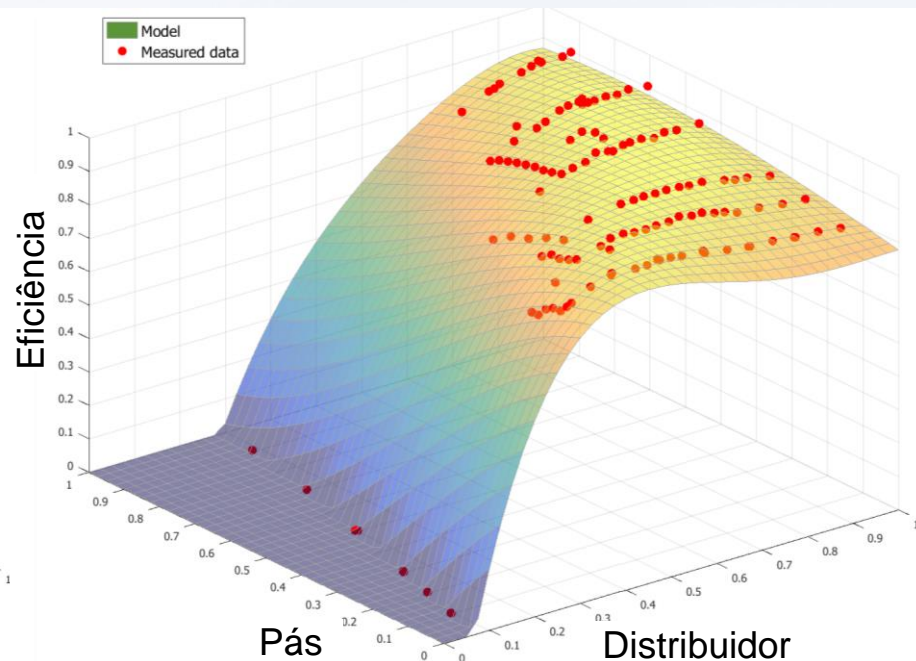
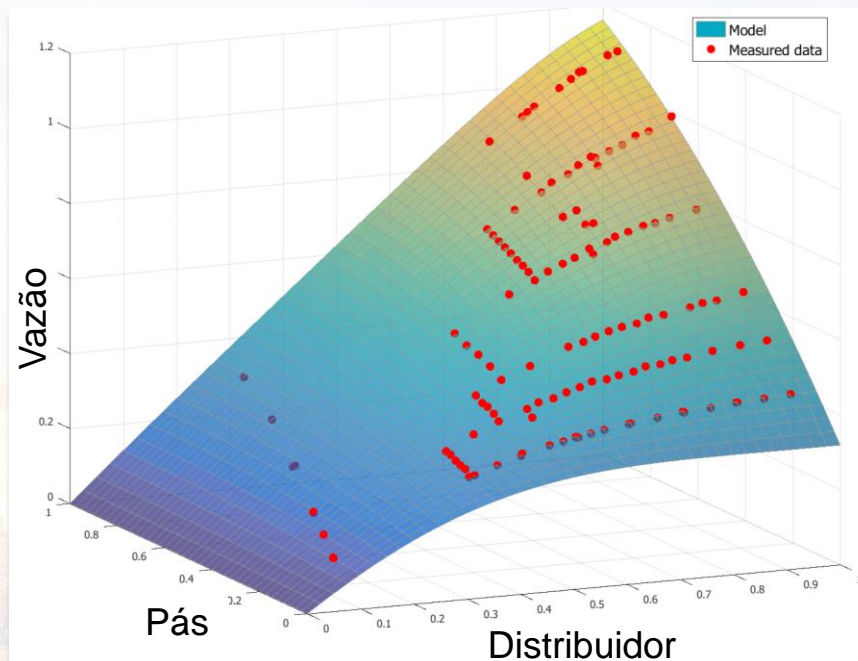
- Soma à abertura do distribuidor uma compensação;
- Modelo do erro de conjugação de 2ª ordem;
- Não representa vazão e perda de eficiência causada pelo erro de conjugação.

ABORDAGEM 2: VAZÃO E EFICIÊNCIA

- 
- Dois modelos da característica estática, em função do distribuidor e das pás:
 - Vazão na queda nominal
 - Eficiência
 - Polinômios de 5ª e 4ª ordem em duas dimensões;
 - Representa eficiência e vazão em qualquer ponto de operação.

A função de erro de conjugação é uma aproximação de resultados de campo. Fixa-se a posição do distribuidor e move-se as pás. Essa função faz com que a potência de saída do modelo se iguale ao resultado de campo.





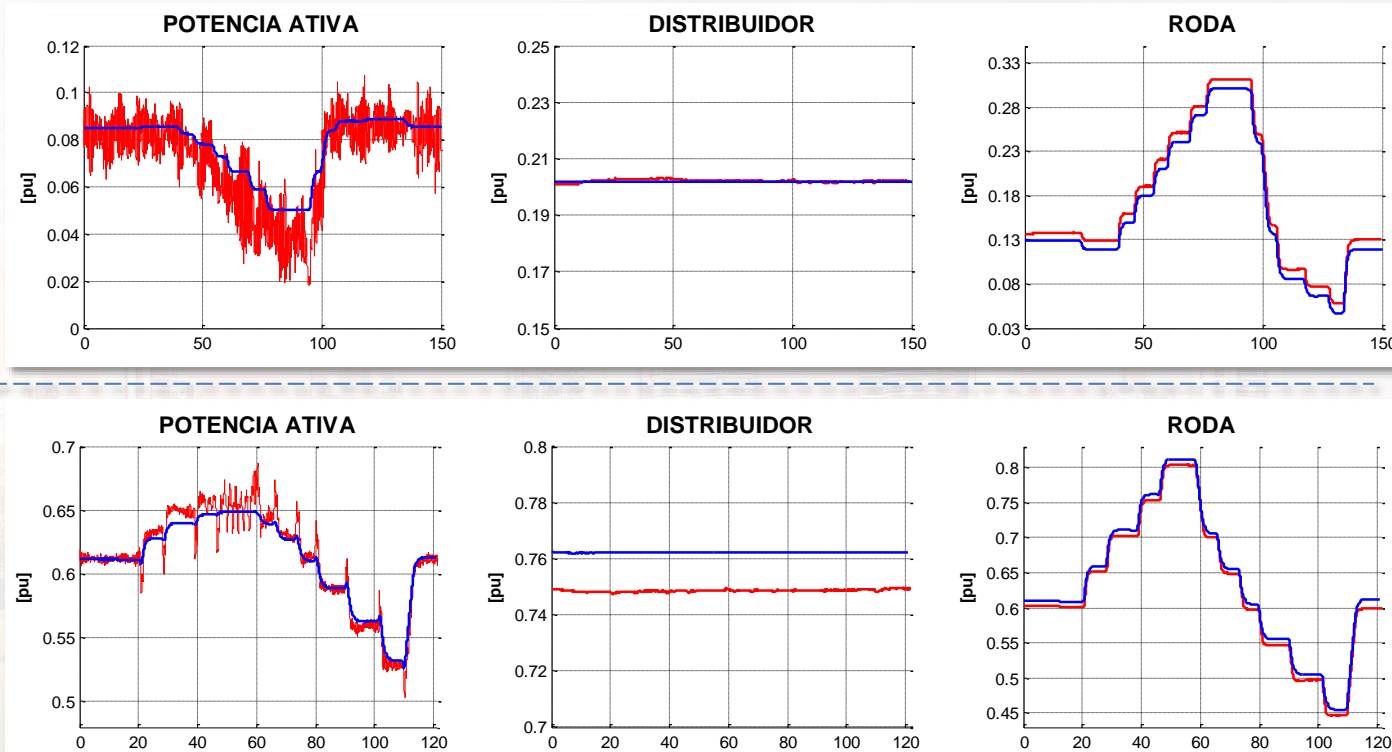
Regressão de polinômio com dados de ensaio similar ao *index test*.

Ensaio na UHE Salto Grande, UG3, CTG Brasil – 23,3 MVA

Baixa carga

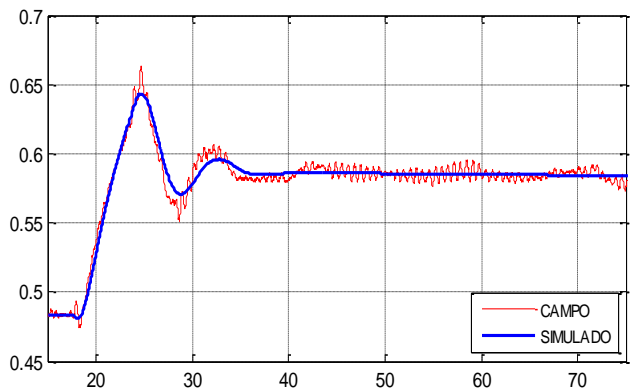
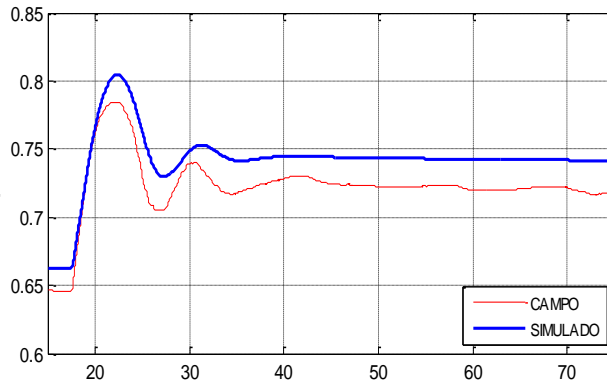
Dados de campo
Modelo abordagem 1

Alta carga

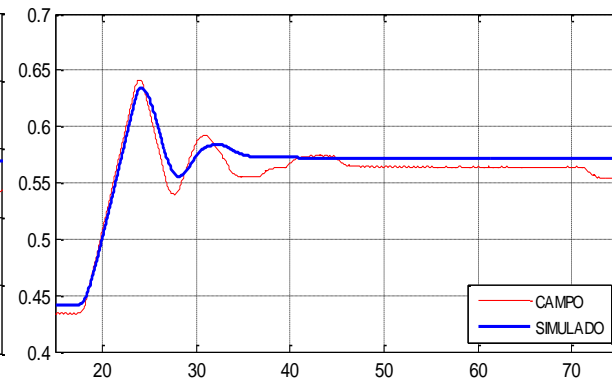


Ensaio de isolamento simulada na UHE Salto Grande, UG3, CTG Brasil – 23,3 MVA

POTENCIA ATIVA

**DISTRIBUIDOR**

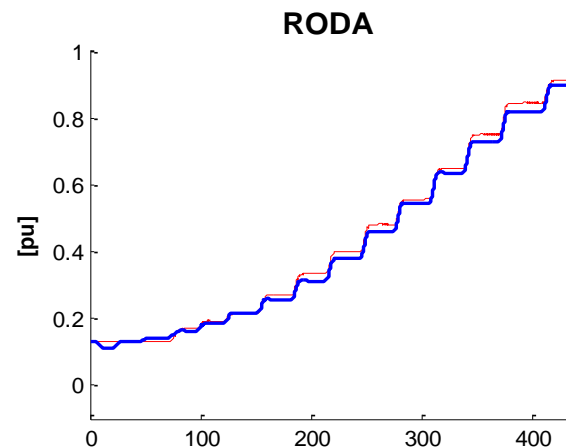
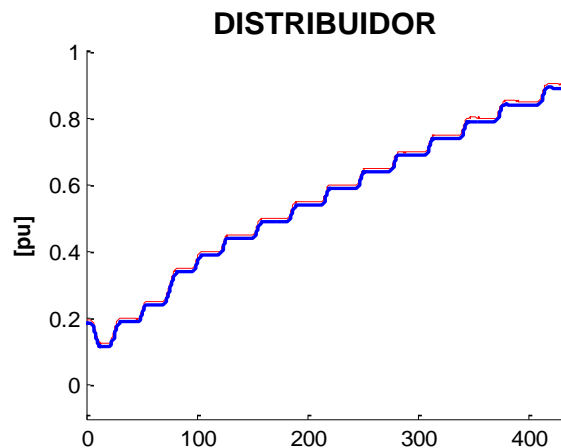
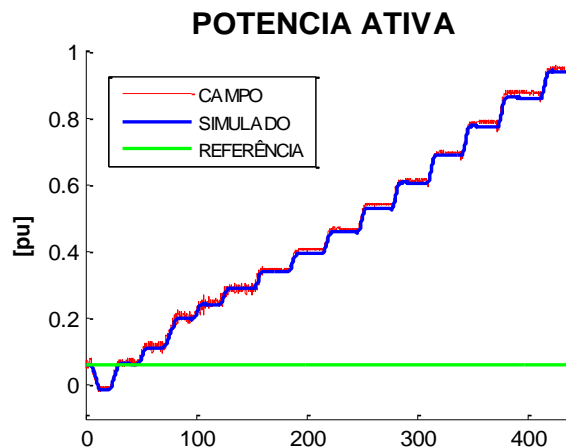
RODA



Dados de campo

Modelo abordagem 1

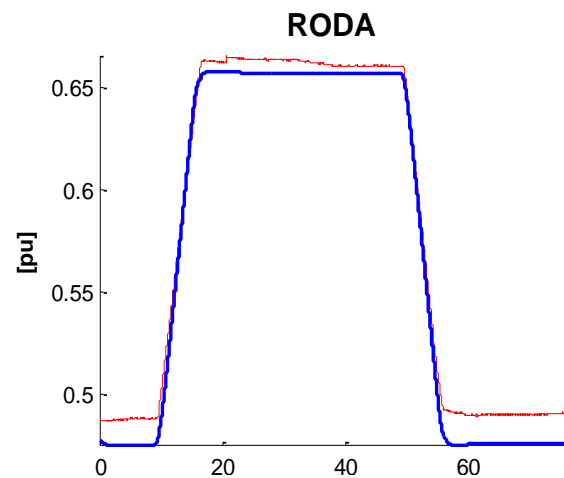
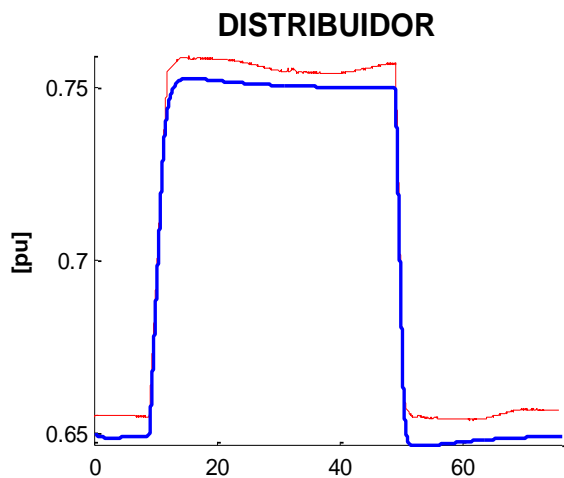
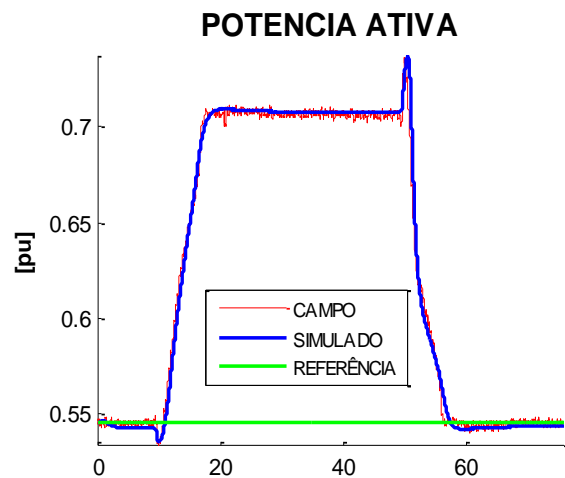
Tomada de carga na UHE Taquaruçu, UG5, CTG Brasil – 112 MVA



Dados de campo

Modelo abordagem 1

Degrau de potência na UHE Taquaruçu, UG5, CTG Brasil – 112 MVA



Dados de campo

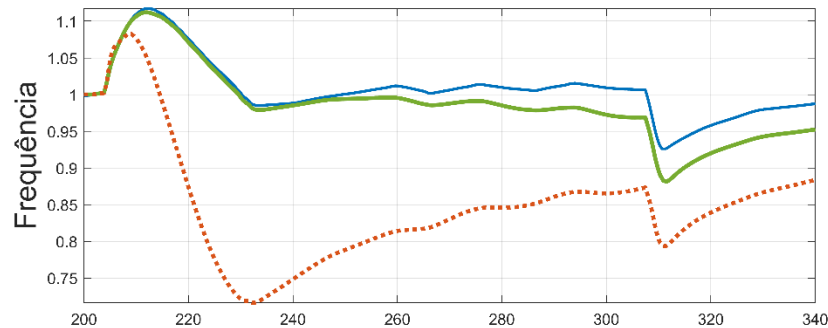
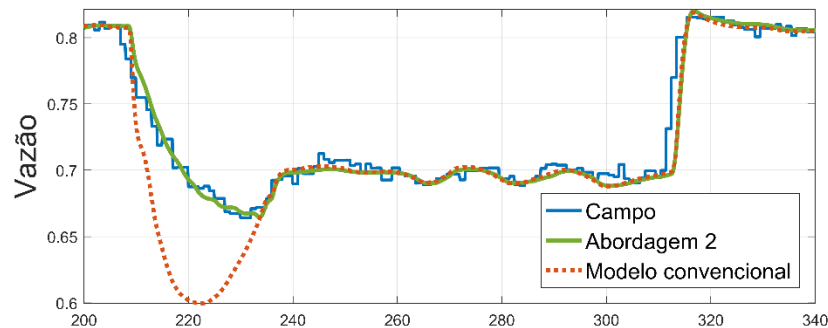
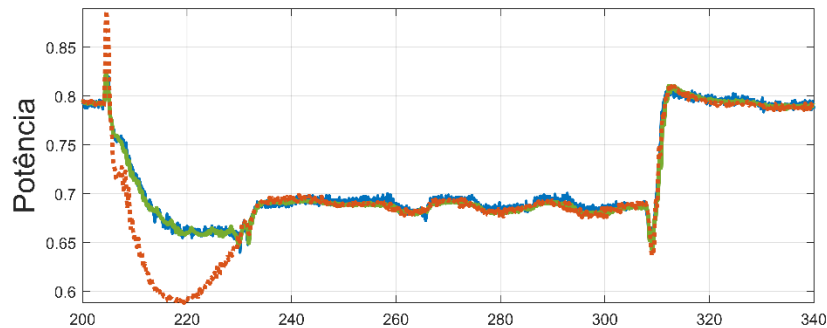
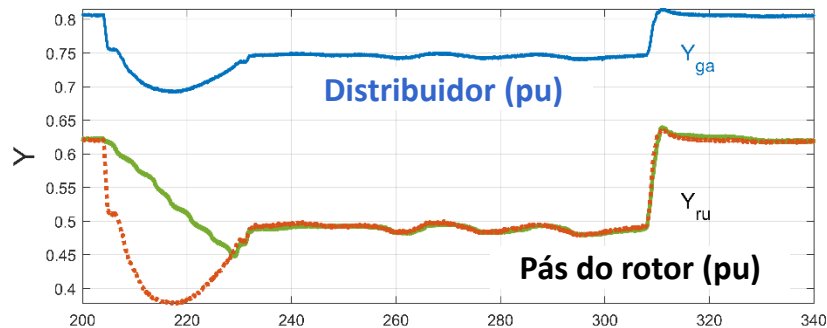
Modelo abordagem 1

- Central Sauzalito, ENEL Chile – 12 MVA
- UHE Cachoeira Dourada, UG5, ENEL Brasil – 54,6 MVA
- UHE Cachoeira Dourada, UG9, ENEL Brasil – 102 MVA

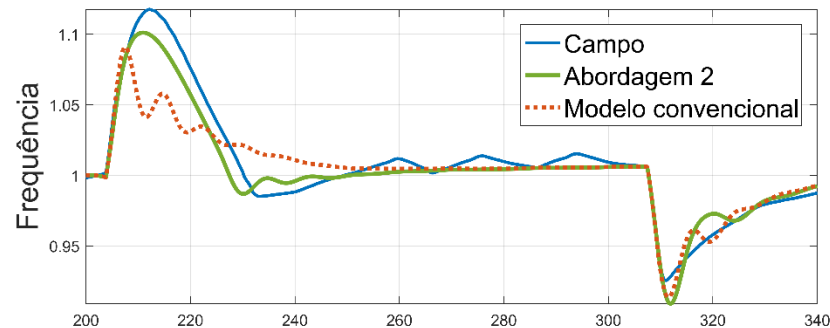
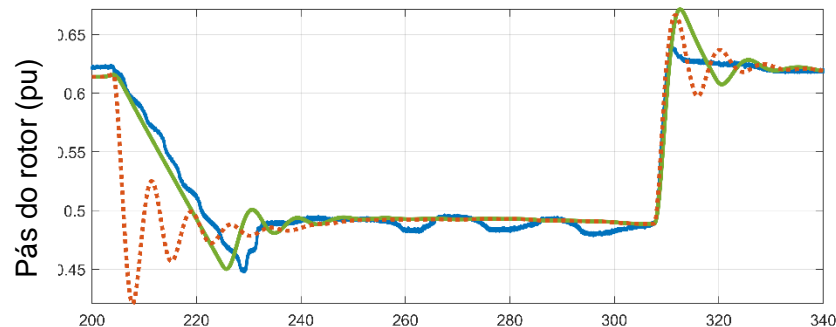
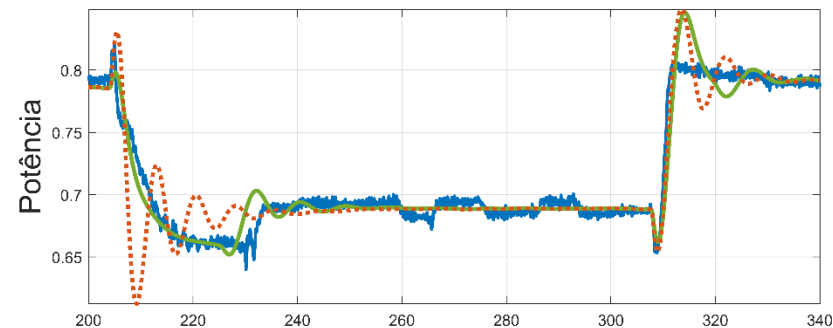
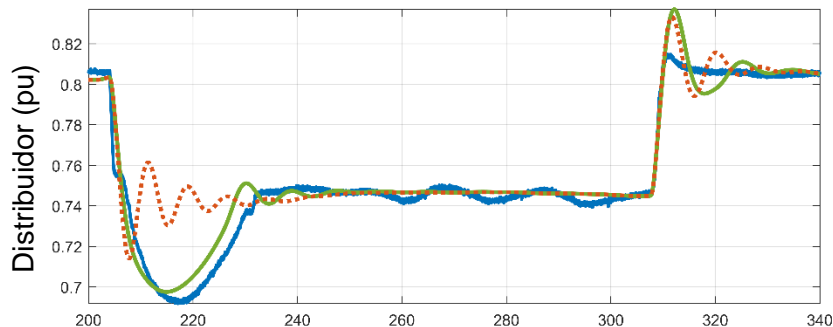
INDICADOR	SAUZALITO	CDSA UG05	CDSA UG09
Erro absoluto máximo (%)	3,24	3,30	0,89
Erro absoluto médio (%)	0,64	0,50	0,22
Desvio padrão (pu)	0,0080	0,0069	0,0029

INDICADOR	SAUZALITO	CDSA UG05	CDSA UG09
Erro absoluto máximo (%)	1,81	2,12	2,26
Erro absoluto médio (%)	0,52	0,54	0,55
Desvio padrão (pu)	0,0067	0,0069	0,0070

Teste de isolamento simulada com modelo em malha aberta – Central Sauzalito



Teste de isolamento simulada com modelo em malha fechada – Central Sauzalito



- **Contribuição importante** para modelagem de turbinas Kaplan e Bulbo:
 - Softwares disponíveis disponibilizam o modelo convencional de 1 entrada ou modelos simples;
 - Os poucos trabalhos disponíveis na literatura não têm rigor quanto a identificação e validação;
 - Equipe capacitada para avaliar influência da conjugação sobre a regulação primária.
- Duas abordagens, conforme a necessidade:
 - A primeira modela com menos esforço e ensaios;
 - A segunda representa completamente a eficiência em função da conjugação.

Validação em 5 unidades diferentes

UNIDADE	CAPACIDADE (MVA)
UHE Salto Grande, UG3 CTG Brasil	23,3
UHE Taquaruçu, UG5 CTG Brasil	112
Central Sauzalito, UG1 ENEL Chile	12
UHE Cachoeira Dourada, UG5 ENEL Brasil	54,6
UHE Cachoeira Dourada, UG9 ENEL Brasil	102

HENRIQUE A. MENARIN

 (48) 3027-3753

 henrique.menarin@reivax.com

 www.reivax.com