IV WORKSHOP
ABRAGE CBDB

SEMANA DE BARRAGENS 2026
DAMSWEEK 2026

As mudanças no modo de operação de nossas usinas hidrelétricas e os efeitos na vida útil de seus equipamentos mecânicos

Dr. Manuel Gonçalves

MFG Consultoria em Engenharia Ltda.

Uma primeira citação do Professor Edson Bortoni

IV WORKSHOP
ABRAGE CBDB

Climate Change Challenges for the Hydropower Generation

Por: Edson Bortoni

“Hydropower projects have traditionally been designed based on historical data. In general, engineers use 30 years of past hydrological information to estimate future conditions. This approach assumes that the near future will be similar to the recent past.

Mathematically it is like calculating a derivative of a nonlinear function at a given point.

However, climate change is increasingly challenging this assumption. Hydropower plants may operate for many decades, and the environmental conditions under which they were designed may no longer represent the conditions they will face in the future.”

https://lnkd.in/p/dFU2itg8

E uma segunda citação da Diretora da ANEEL, Agnes M. da Costa, no IHA 2026

IV WORKSHOP
ABRAGE CBDB

"…O Brasil chega a essa nova etapa da transição energética a partir de uma posição singular: em 2025, cerca de 87% da nossa geração de eletricidade veio de fontes renováveis. Nos últimos dez anos, acrescentamos aproximadamente 110 GW de capacidade instalada, sendo 96% provenientes de fontes renováveis.

Esse resultado não decorre de uma única política. Ele foi construído ao longo do tempo com planejamento energético, leilões competitivos e contratos de longo prazo, expansão da transmissão, financiamento, regras para a geração distribuída e instituições especializadas, com papéis bem definidos. A experiência brasileira mostra a importância de combinar competição com previsibilidade, segurança regulatória e planejamento de longo prazo.

Mas o êxito alcançado também nos coloca diante de uma nova geração de desafios. Solar e eólica podem crescer mais rapidamente do que redes, subestações e a própria capacidade do sistema de absorver essa energia. O desafio agora é integrar essa expansão com mais transmissão, armazenamento, flexibilidade, digitalização, resposta da demanda e melhores sinais econômicos, reduzindo congestionamentos e cortes de geração renovável.

E é justamente aí que vejo uma enorme oportunidade. ***A transição energética não termina com a instalação de mais parques solares e eólicos.*** Ela exige redes preparadas para o futuro, inovação regulatória, novos modelos de financiamento e capacidade de coordenar geração, consumo e infraestrutura. Para o Brasil, significa também transformar a abundância e a diversidade dos nossos recursos energéticos em desenvolvimento, investimento e competitividade."

https://lnkd.in/p/deaF_Ain

Nossas usinas hidrelétricas

Mudanças na forma de operação

Como evoluiu a nossa capacidade instalada do SIN?

IV WORKSHOP
ABRAGE CBDB

1889, Marmelos

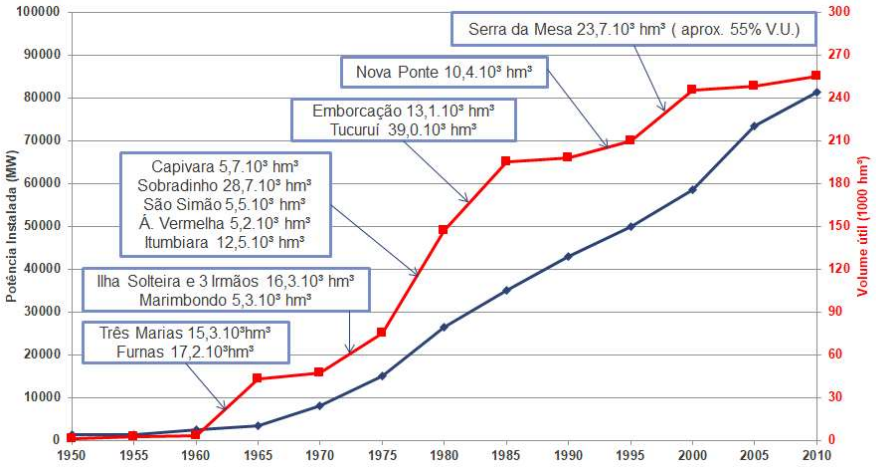


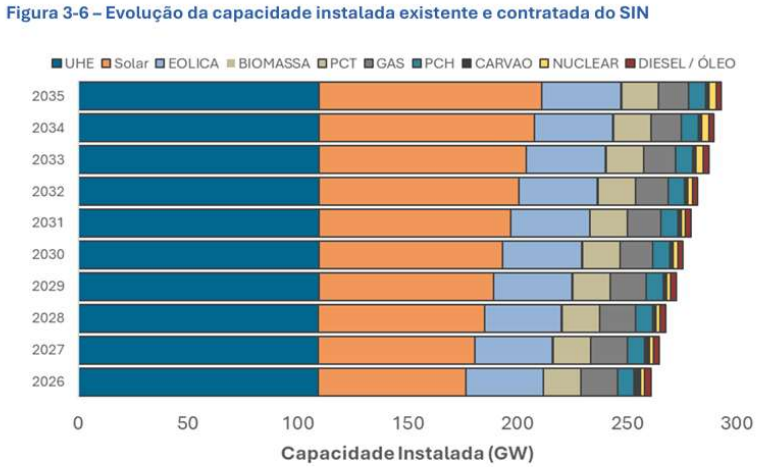
1939, Pedreira



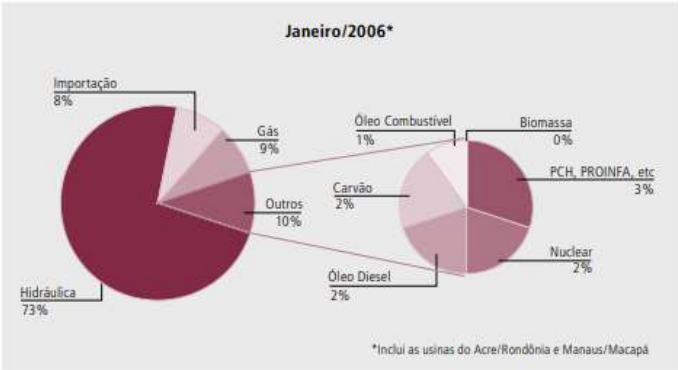
1940, Traição







Evolução da Participação dos Diversos Tipos de Fonte (% de Capacidade Instalada)



Um constatação que vale para aviões, carros e turbinas hidráulicas: qual são as duas condições de operação mais seguras?

IV WORKSHOP
ABRAGE CBDB







Parado!



Voando!

Parado!



E o que acontece durante as condições transientes?

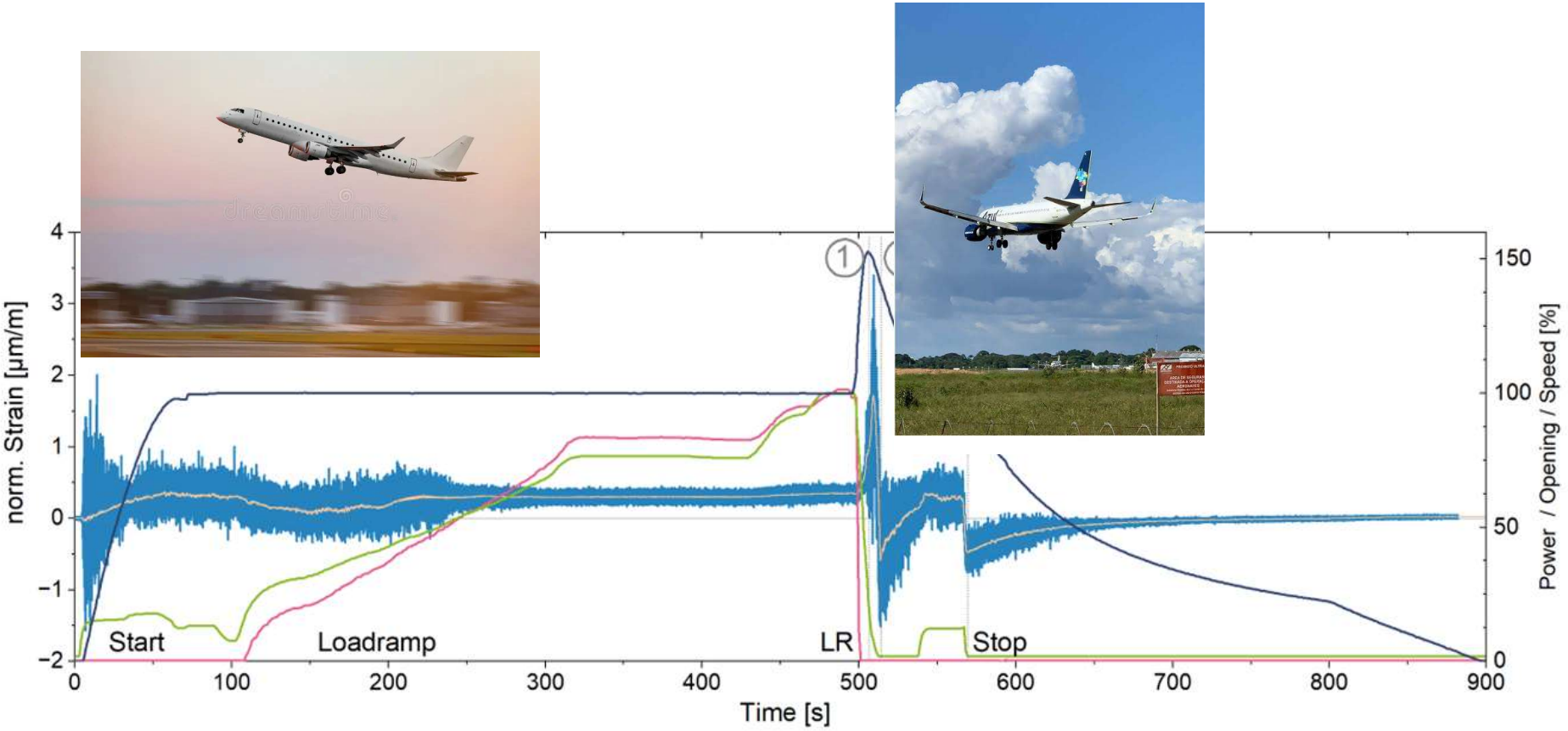
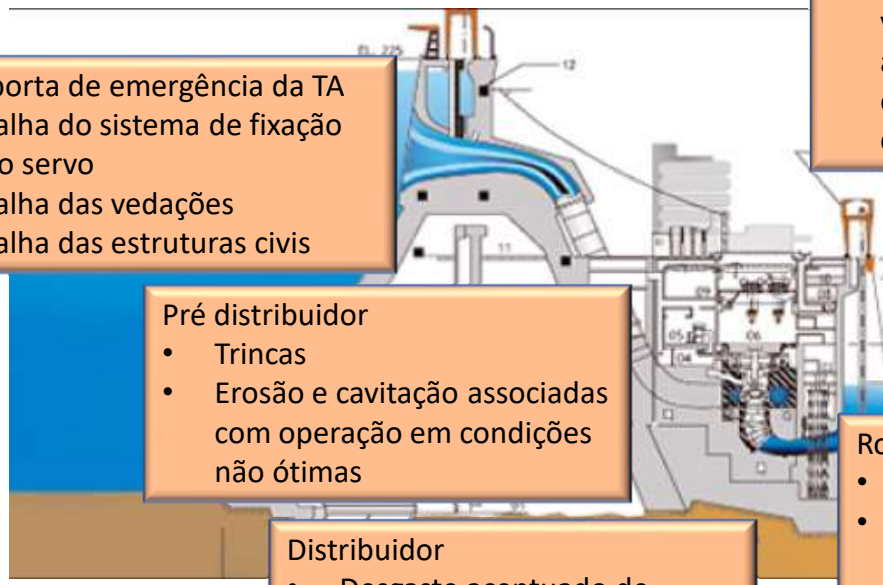


Figure 3. Time signal LR Cycle Band in Hot Spot.

Os equipamentos de nossas Usinas hidrelétricas não foram projetados para trabalhar com os ciclos de operação atuais!

IV WORKSHOP
ABRAGE CBDB



Comporta de emergência da TA
- Falha do sistema de fixação do servo
- Falha das vedações
- Falha das estruturas civis

Regulador de velocidade
- Desgaste acentuado das válvulas reguladoras com aumento de vazamento e eventual piora na função de controle

Mancais e Vedações
- Desgaste de superfície de deslizamento
- Desgaste e falhas dos elementos de vedação

Pré distribuidor
- Trincas
- Erosão e cavitação associadas com operação em condições não ótimas

Rotor da Turbina
- Trincas
- Erosão e cavitação associadas com operação em condições não ótimas

Distribuidor
- Desgaste acentuado de buchas
- Danos no mecanismo do aro de regulação
- Danos nos servomotores

Exemplo: Rotor da turbina Francis

Impacto na vida útil em função do ciclo de operação da Usina hidrelétrica

Definição do conceito do ciclo de operação para avaliação da vida remanescente por Fadiga em rotores Francis [1]

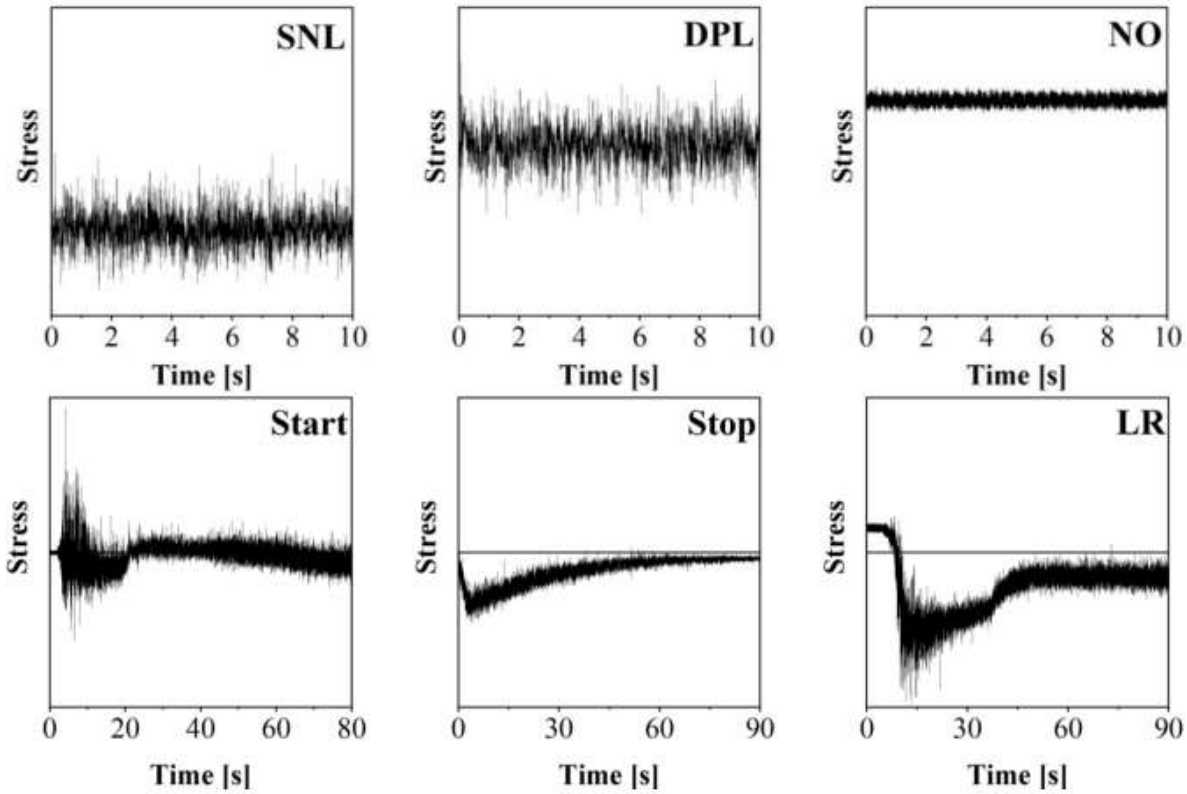


Figure 1. Time Signal for SNL, DPL, NO, Start, Stop and LR

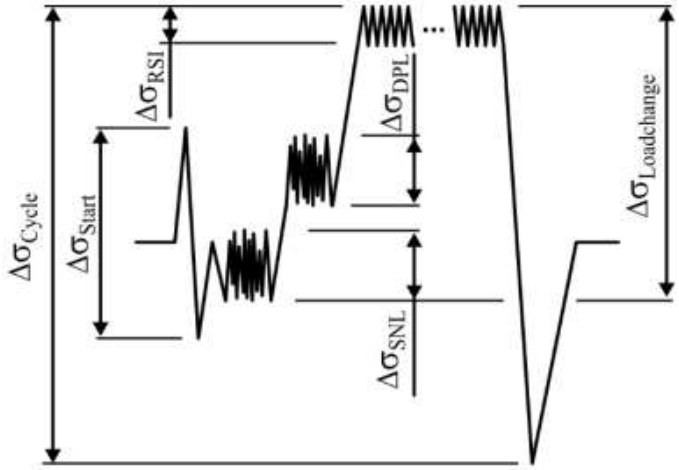


Figure 2. Operation Cycle schematic (based on [3])

Validação do modelo numérico FEA utilizando as medições em campo [2]

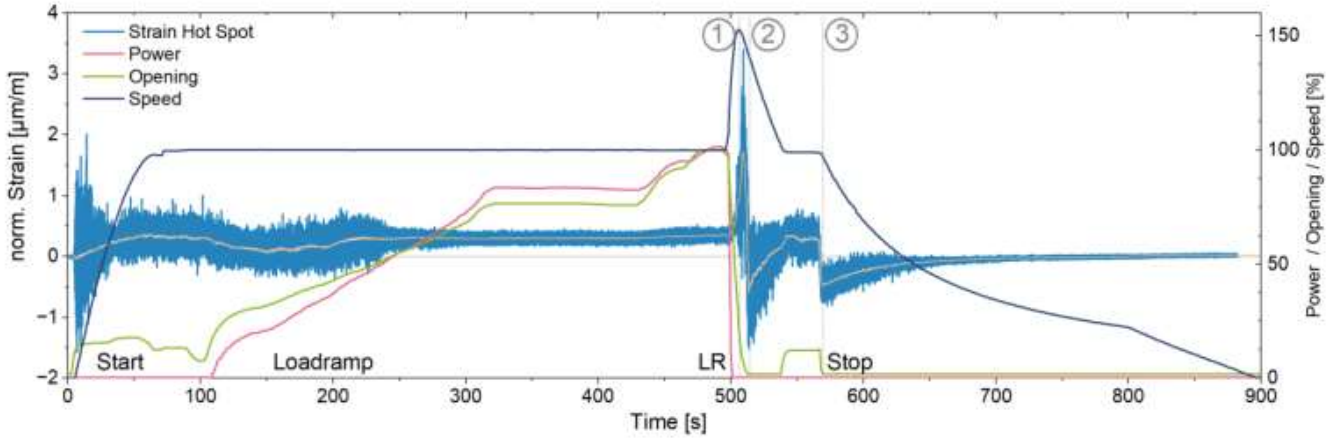


Figure 3. Time signal LR Cycle Band in Hot Spot.

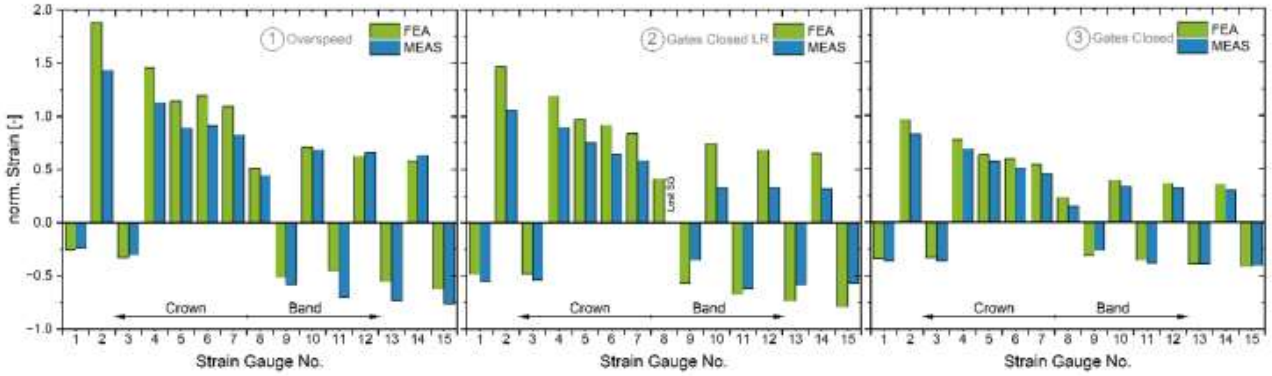


Figure 10. Validation of absolute mean strain extreme conditions.

Importância da avaliação da vida residual em rotores Francis, para rotores novos, ou para rotores a modernizar [2]

IV WORKSHOP
ABRAGE CBDB

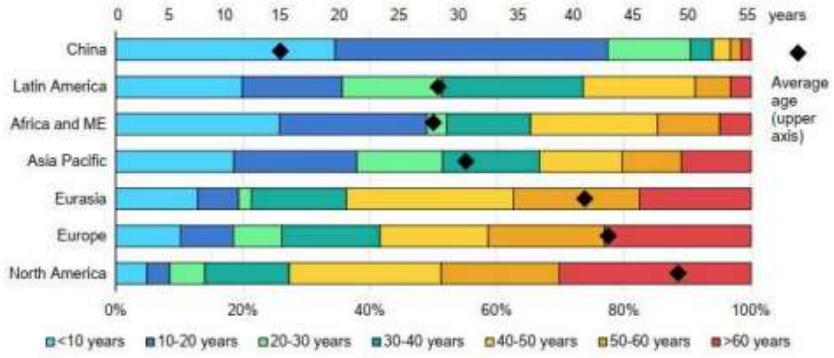


Figure 1. Age profile of installed hydropower capacity (from IEA) [1].

Table 1. Differences Design Life to Residual Life Assessment.

	Design Life	**Residual Life**
Assessment	New Design	Existing Machinery
Stage	Prior to Manufacturing	In Operation
Geometry	Nominal	Existing, possible repairs
Material	Minium Requirements	Actual Material Parameters
Residual Stress	According to standard (conservative)	Sensibility study as may not be present
Loads	Conservative Prediction	Most Accurate (in case of SG measurement)
Load universe	According to specification (mostly conservative)	Load History according to Logging, Future Load according to prediction
Safety Factors	Required	Minimized
Accuracy	Including safety factors	Most precise for decision making
Risk assessment	Conservative	Representative

Impacto do ciclo operacional na vida útil de rotores Francis [2]

IV WORKSHOP
ABRAGE CBDB

Table 3. Service Life for different Load Histories.

	Load History	**Number of Start/Stop Cycles**	
	Yearly Average	Every 2nd Day	3 Times per day
Classic	• 200h SNL • 8500h close to BEP • 1 Load rejection cycle • 365 Load changes SNL→Full Load	34-15 years	9-4 years
Even Distribution	• Even hourly distribution 0-100% (Σ8700h) • 1 Load rejection cycle • 365 Load changes SNL→Full Load	15-5 years	7-3 years
Highly Flexible	• 8700h in any condition (worst case) • 1 Load rejection cycle • 365 Load changes SNL→Full Load	9-3 years	5-2 years

The example shows the sensitivity of load histories which is further applicable to new machines, as comprehensive requirements may limit the overall design by means of hydraulic performance significantly. Operators need to carefully specify the requirements and discuss possible impacts with the suppliers.

O que pode ser feito para melhorar esta condição?

Exemplo: Diferentes leis de controle do distribuidor na partida e na rejeição de carga [1]

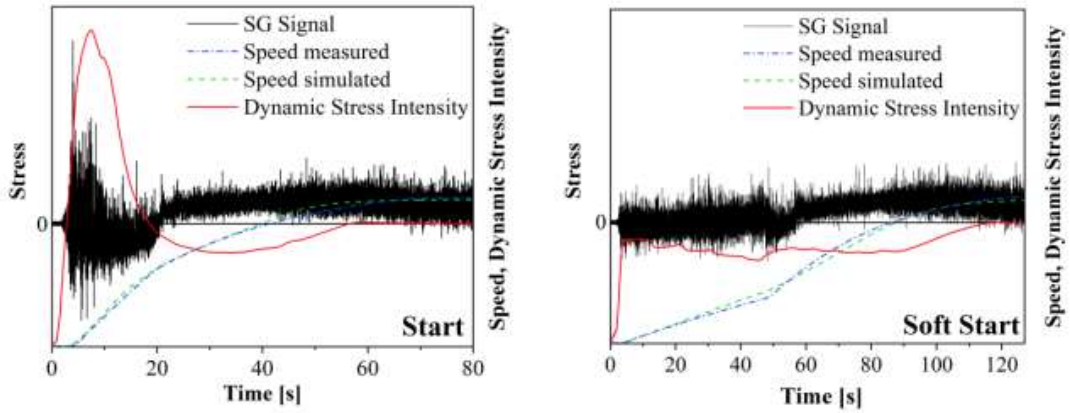


Figure 4. Scaled strain gauge time signal of different Start-ups

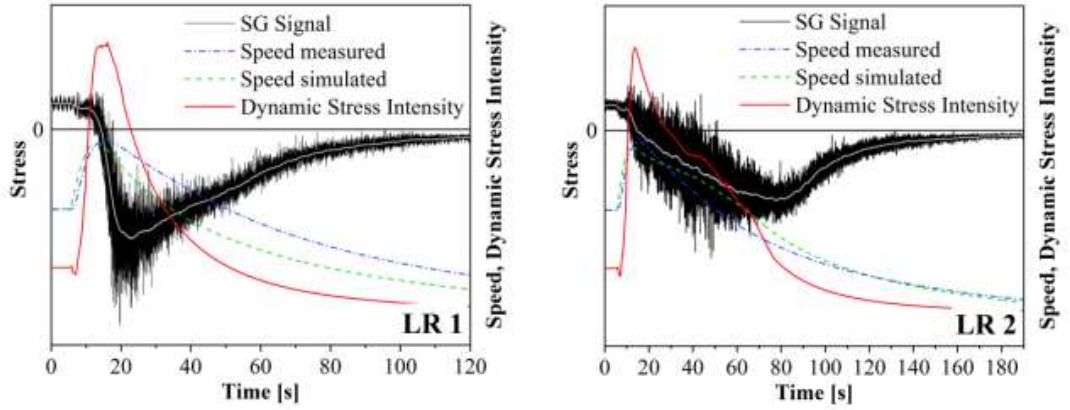


Figure 5. Scaled strain Gauge time signal for two Load Rejections

Exemplo: Diferente lei de partida com injeção de ar [3]

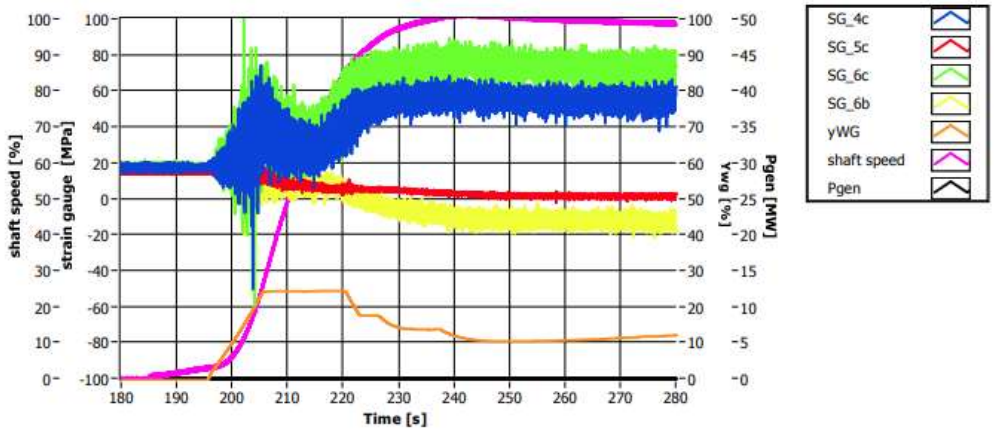


Fig. 16. Measured stresses during initial start-up sequence with no air admission and start-up ramp of 2,3 %/s

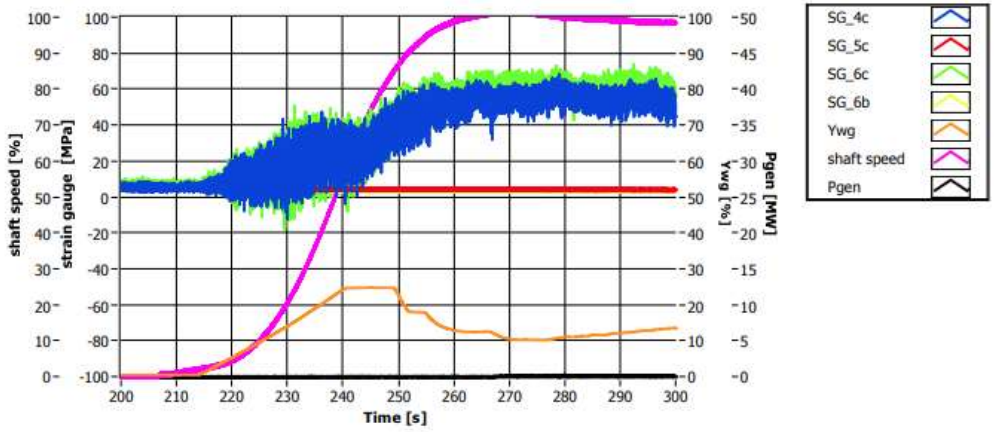


Fig. 17. Measured stresses during modified start-up sequence with air admission and start-up ramp of 0,9 %/s

E no caso de máquinas novas?

- Definir novas condições de operação alinhadas com a realidade do SIN
- Projetar rotores adequados para esta nova condição
- Projetar demais partes para trabalho nestas condições

Porém!

Necessário Investimento adicional!

Engenharia, fabricação, comissionamento!

Conclusão

As condições atuais de operação do SIN não devem mudar significativamente nos próximos anos!

As usinas hidrelétricas continuarão a desempenhar papel fundamental no controle de carga e estabilidade do sistema!

Máquinas existentes - MOD	Máquinas novas - LRCAP
• Avaliar as condições atuais das máquinas, e vida útil de seus principais componentes • Eventualmente aproveitar o momento de modernização e adaptar os equipamentos para esta nova condição	• Estudar caso a caso, o que se espera do ciclo de operação da nova máquina • Avaliar com o fabricante as alternativas de projeto e fabricação que permitem atender esta situação

Modificar a remuneração dos investidores, reconhecendo os custos e investimentos associados com esta função, e desta forma, permitindo sua implementação!

Referências bibliográficas

[1] “Operation Cycle Concept for the fatigue life prediction of Francis runners”
38th IAHR World Congress (2019, Panamá)
Florian von Locquenghien 1, Benjamin Leibing 1, Andreas Greck 1
1 Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG, Alexanderstraße 11, 89522 Heidenheim, Germany

[2] “Advancing the Reliability of Residual Life Assessment for Turbines through Strain Gauge Measurements: Key Aspects and Latest Developments”
32nd IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems (2024, India)
Florian von Locquenghien 1, F Fehringer 1, M Eissner 2
1 Voith Hydro Holding GmbH & Co KG, Alexanderstraße 11, 89522 Heidenheim, Germany
2 J.M. Voith SE & Co. KG, Alexanderstraße 11, 89522 Heidenheim, Germany

[3] “Optimization of Francis turbine start up procedure in order to extend runner lifetime”
Hydro 2018 – Progress through Partnershipd (2018, Poland)
1 Z. Čepa, 2 G. Alič, 2 D. Dolenc
1 CKD Blansko Engineering, 2 Litostroj Power

Contato

Dr. Manuel Gonçalves
MFG Consultoria em Engenharia Ltda.
mnfgonca@gmail.com
(11) 98643-0022



CIGB
ICOLD
CBDB

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS

www.cbdb.org.br | cbdb@cbdb.org.br
+55 21 2286-8674 | +55 21 98096-0609