



# TE121

# Interferência Eletromagnética

Modelagem computacional:  
motivação

Prof<sup>a</sup> Juliana L. M. Iamamura

# Para que serve a modelagem eletromagnética?

Antes da modelagem:

Cálculo analítico



Superdimensionamento

Falta de precisão

Difícil otimização



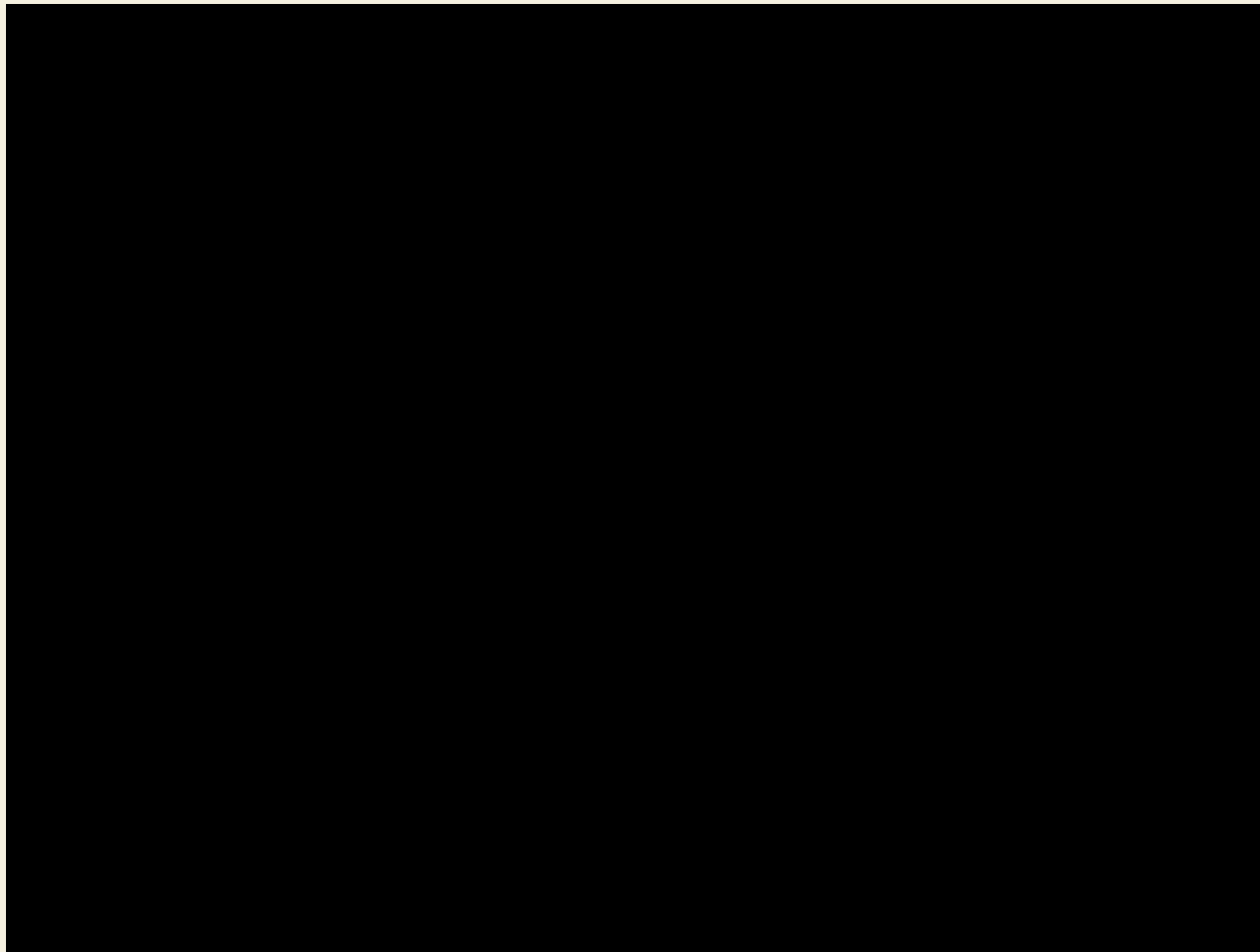
# Para que serve a modelagem eletromagnética?

A modelagem eletromagnética permite :

- *Visualizar* localmente os campos eletromagnéticos;
- *Visualizar* correntes induzidas;
- Calcular forças;
- Prever perdas, vibrações, ruídos...
- Otimizar o design de equipamentos;
- Compreender melhor o funcionamento dos dispositivos estudados.

# Para que serve a modelagem eletromagnética?

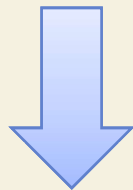
<https://www.youtube.com/watch?v=pOHRnOnlev8>



# No que consiste a modelagem eletromagnética?

3 etapas:

– **Pré-processamento:** descrição do problema

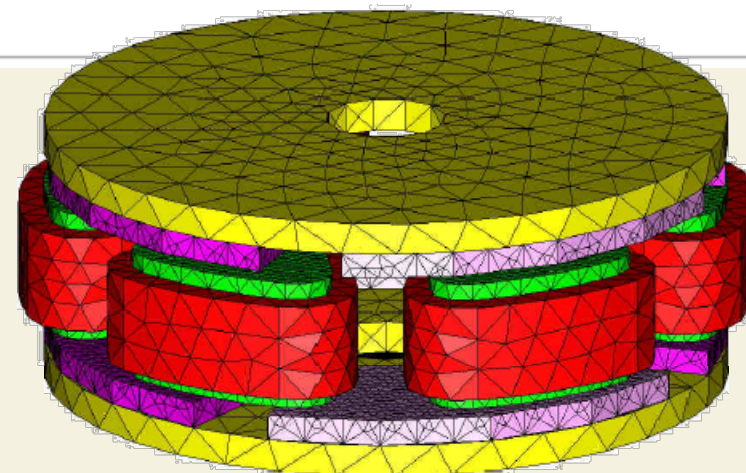
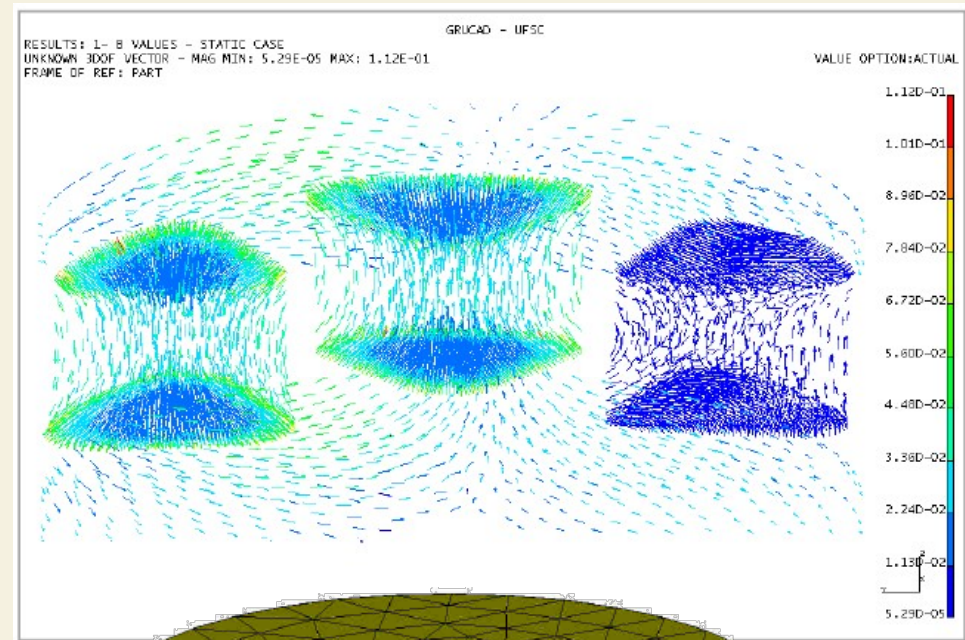
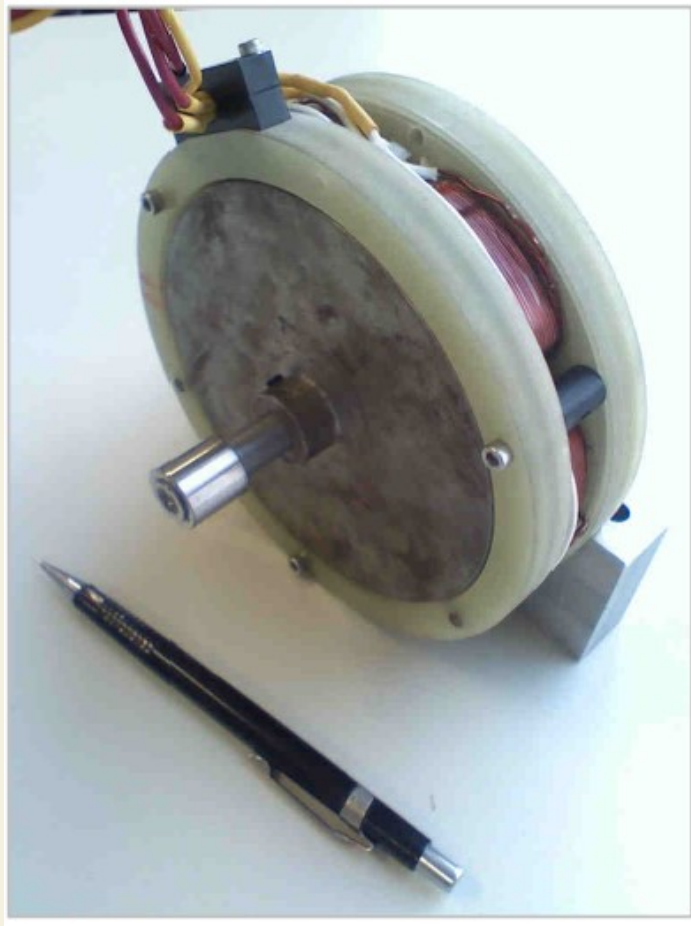


– **Processamento:** resolução do problema

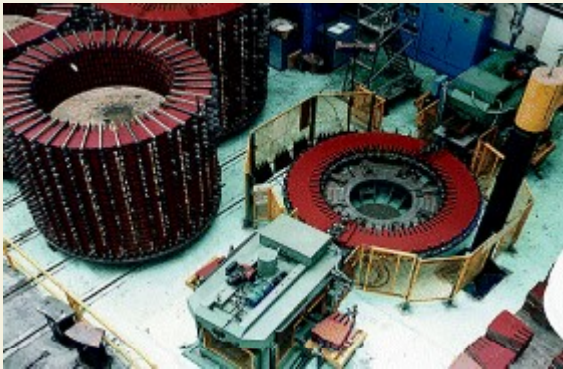


– **Pós-processamento:** visualização dos resultados

# Exemplo: Cálculo da força de um motor de fluxo axial



# Exemplo: modelagem de testes para detectar curtos-circuitos interlaminares



Fonte: M. Verrier, P. Chay, M. Gabion, «Turboalternateurs », Techniques de l'ingénieur, référence D3530, février 2009.

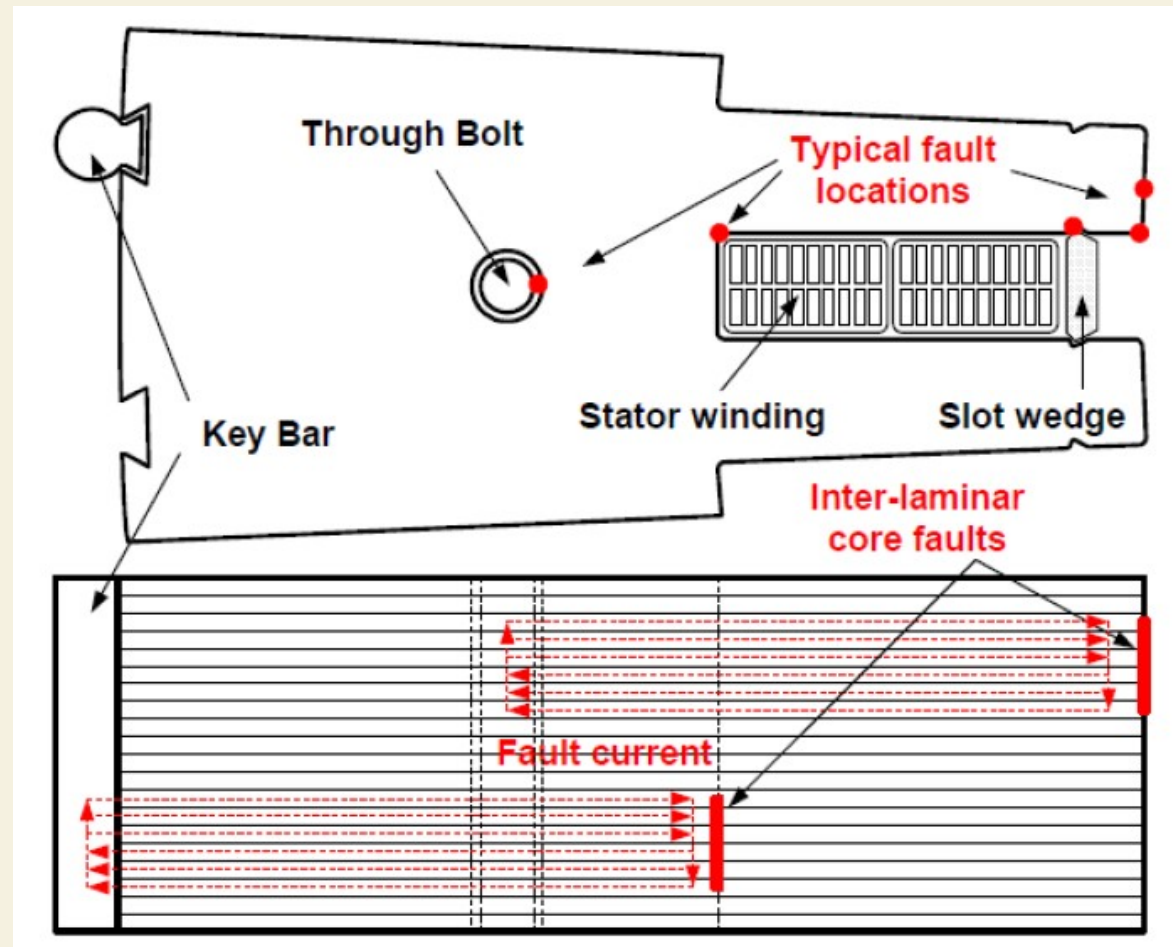
Montagem de um estator de turboalternador

Consequência de um curto-circuito interlaminar em um estator de turboalternador:



Fonte: S. B. Lee, G. B. Kliman, M. R. Shah, D. Kim, W. T. Mall, N. Kutty Nair, R. M. Lusted, « Experimental Study of Inter-Laminar Core Fault Detection Techniques Based on Low Flux Core Excitation », IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 21, No. 1, 2006, pp 85 – 94.

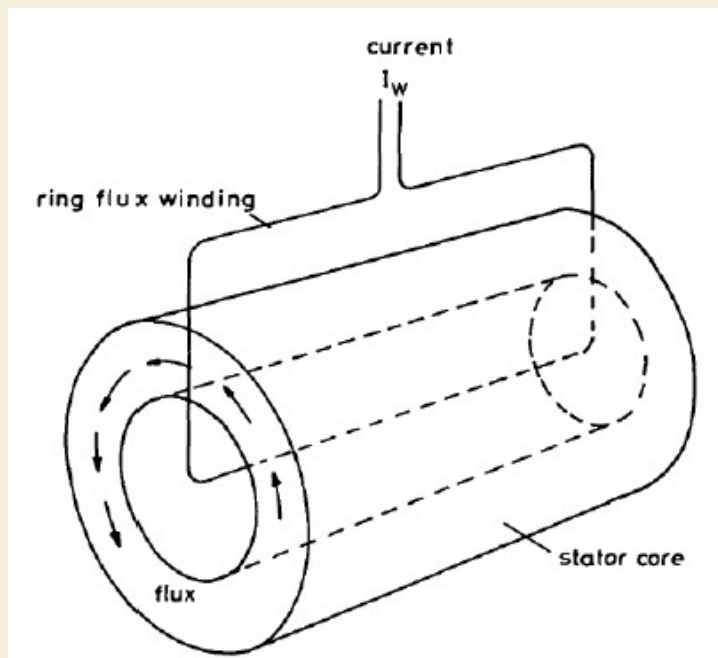
# Exemplo: modelagem de testes para detectar curtos-circuitos interlaminares



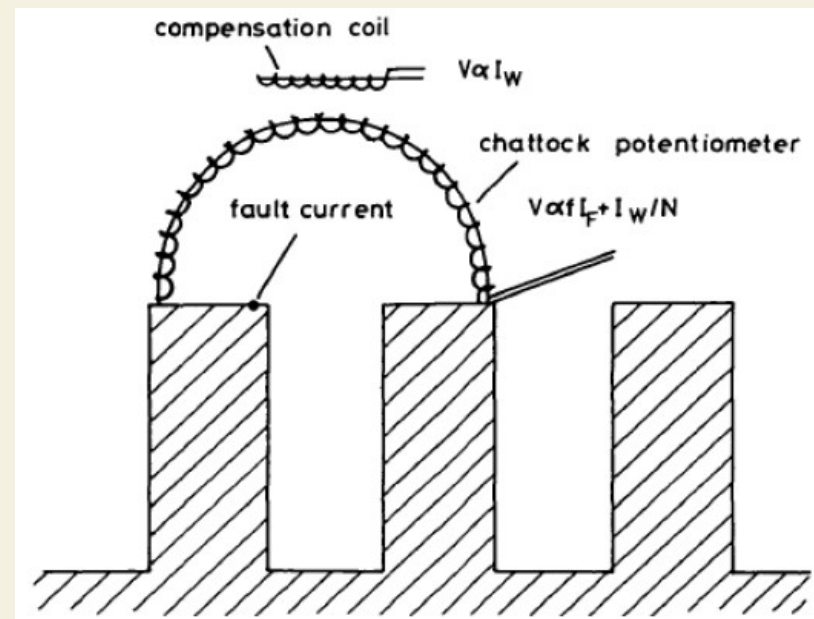
Fonte: S. B. Lee, G. B. Kliman, M. R. Shah, D. Kim, W. T. Mall, N. Kutty Nair, R. M. Lusted, « Experimental Study of Inter-Laminar Core Fault Detection Techniques Based on Low Flux Core Excitation », IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 21, No. 1, 2006, pp 85 – 94.



# Exemplo: modelagem de testes para detectar curtos-circuitos interlaminares



## Teste El Cid



Fonte: C. Rickson, « Electrical machine core imperfection detection », IEE Proceedings B: Electric Power Applications, Vol. 133, Issue: 3, pp. 190-195, 1986.

# Exemplo: modelagem de testes para detectar curtos-circuitos interlaminares



Fonte: Catálogo El Cid, disponível no site:  
[http://www.marubun.co.jp/product/measurement/electric/qgc18e000003a8kq-att/Digital\\_ELCID\\_english\\_LA.pdf](http://www.marubun.co.jp/product/measurement/electric/qgc18e000003a8kq-att/Digital_ELCID_english_LA.pdf)

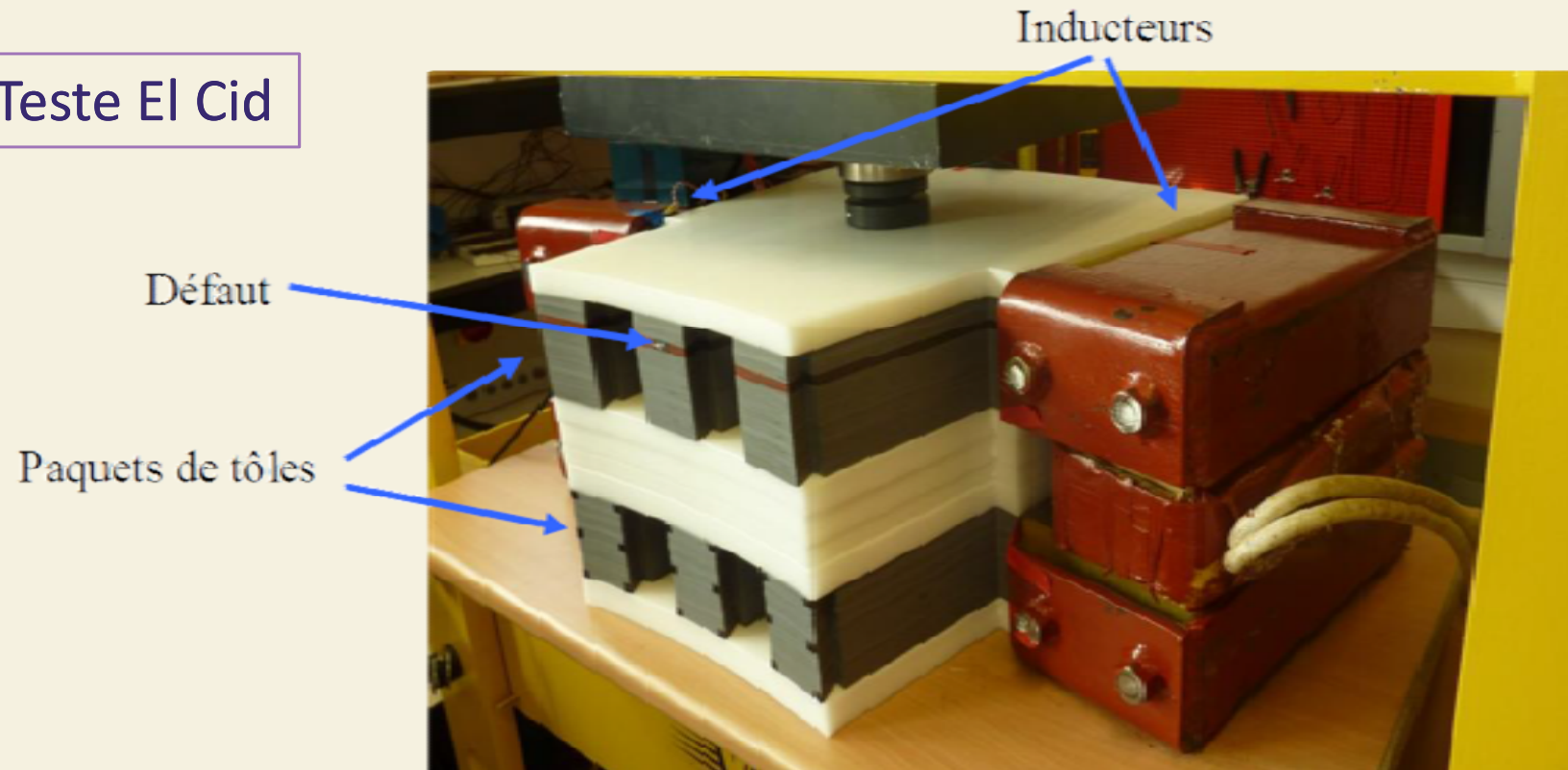
## Teste El Cid



Fonte: Juliana L. Müller, « Contribuição à modelagem de testes de diagnóstico de curtos-circuitos interlaminares em estatores de turboalternadores », tese de doutorado, UFSC / Université de Lille, maio de 2012.

# Exemplo: modelagem de testes para detectar curtos-circuitos interlaminares

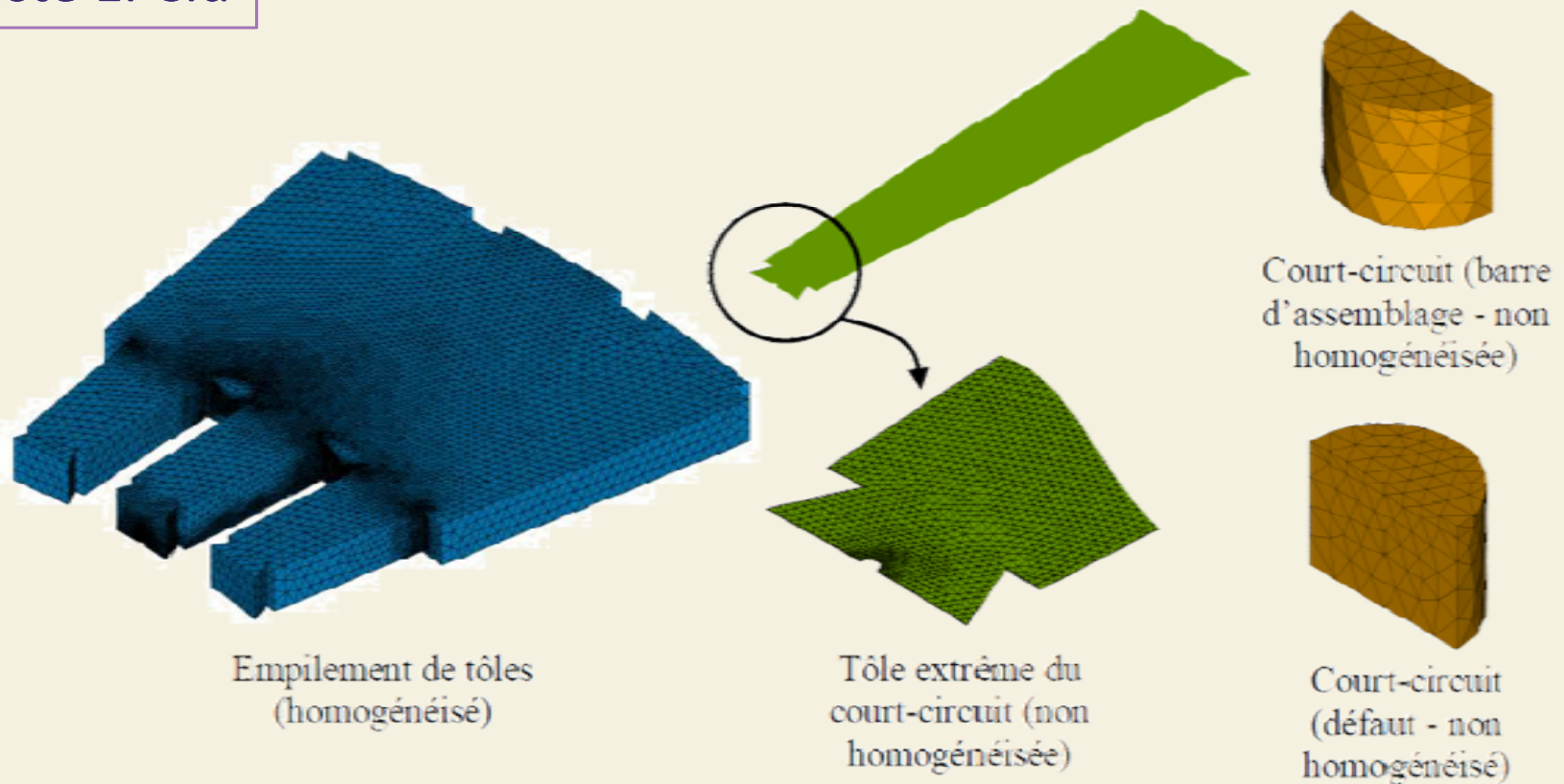
Teste El Cid



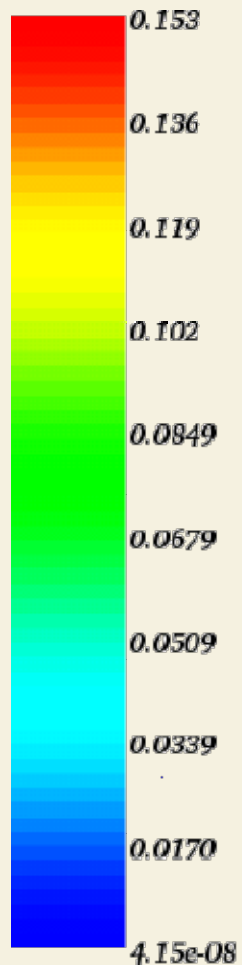
Fonte: Juliana L. Müller, « Contribuição à modelagem de testes de diagnóstico de curtos-circuitos interlaminares em estatores de turboalternadores », tese de doutorado, UFSC / Université de Lille, maio de 2012.

# Exemplo: modelagem de testes para detectar curtos-circuitos interlaminares

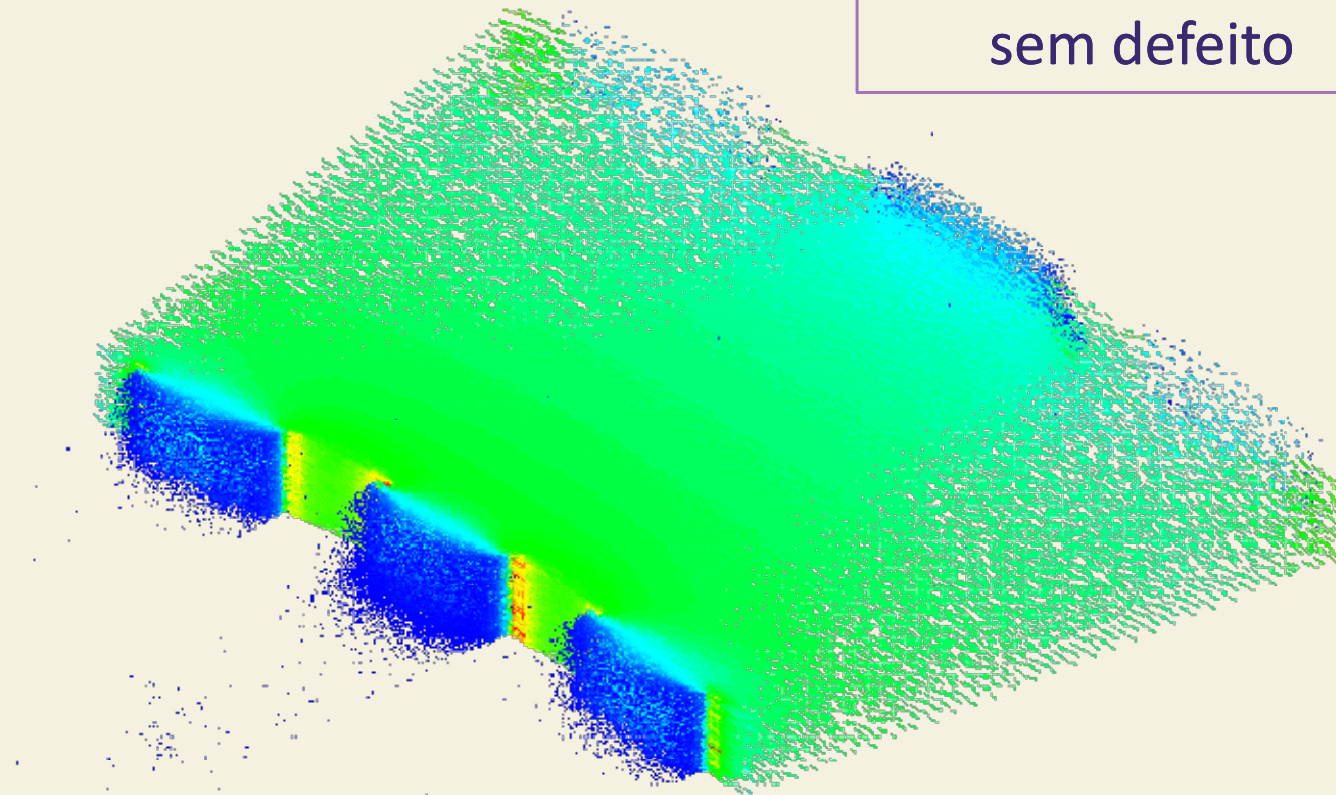
## Teste El Cid



# Exemplo: modelagem de testes para detectar curtos-circuitos interlaminares

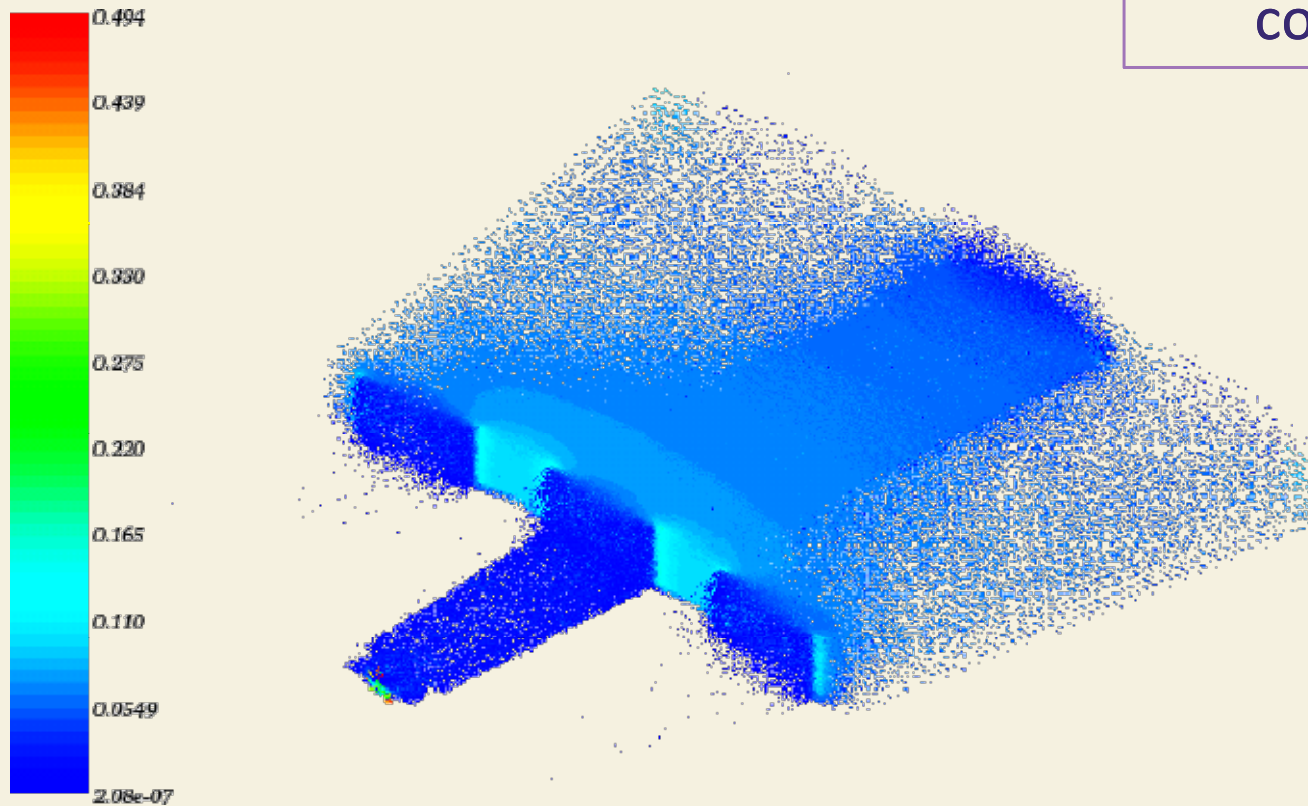


Teste El Cid: modelo  
sem defeito



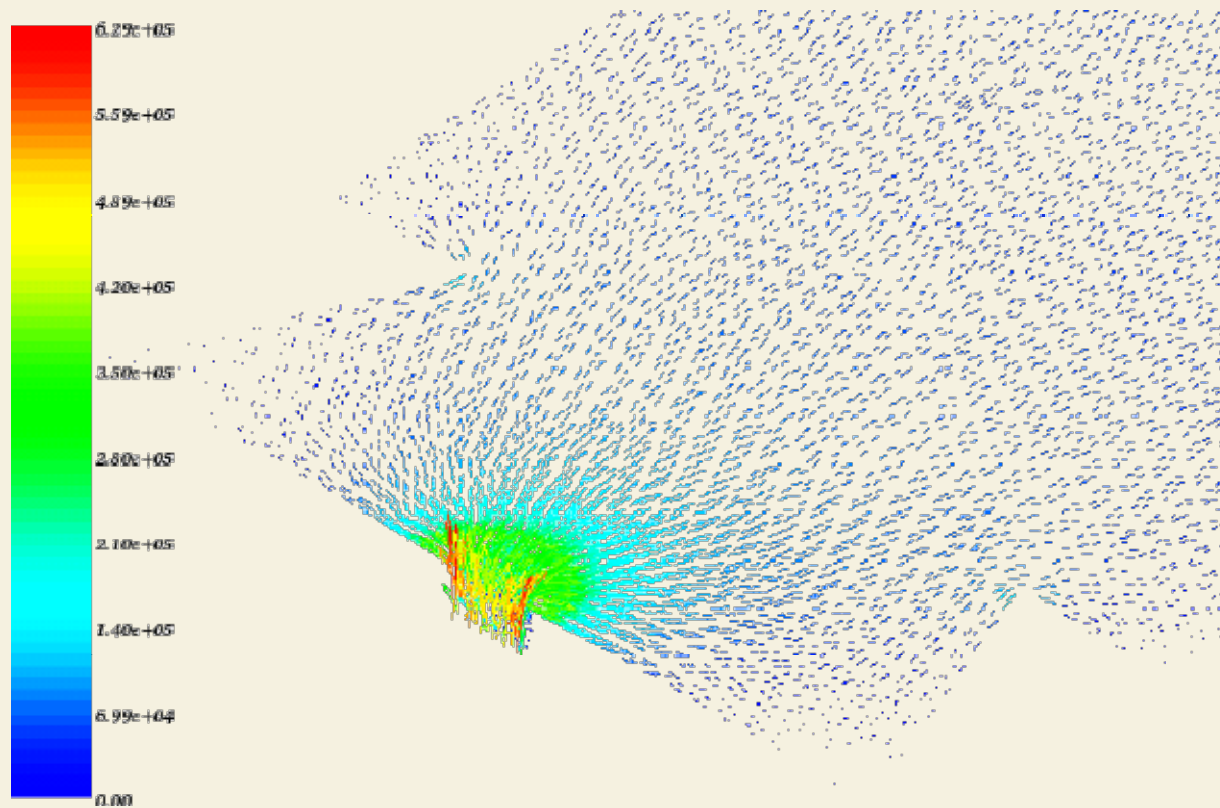
# Exemplo: modelagem de testes para detectar curtos-circuitos interlaminares

Teste El Cid: modelo com defeito



# Exemplo: modelagem de testes para detectar curtos-circuitos interlaminares

Teste El Cid: correntes induzidas, modelo com defeito



# Exemplo: modelagem de testes para detectar excentricidades e curtos-circuitos entre espiras em um gerador síncrono

Maquete construída para simular os defeitos estudados

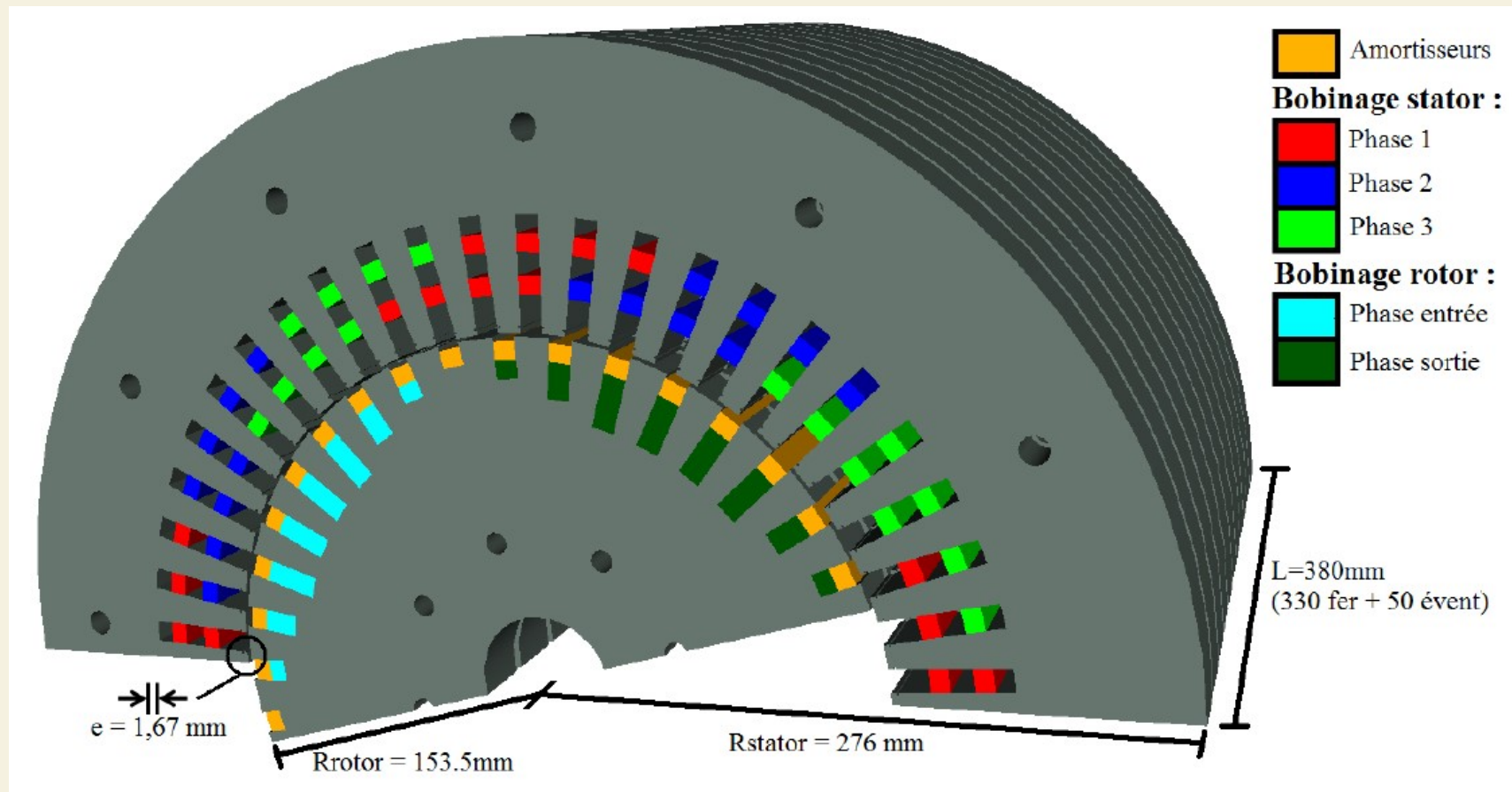


Fonte: Bruno A. T. Iamamura, « Contribuição à detecção de defeitos nos rotores de turboalternadores », tese de doutorado, UFSC / Université de Lille, dezembro de 2011.



# Exemplo: modelagem de testes para detectar excentricidades e curtos-circuitos entre espiras em um gerador síncrono

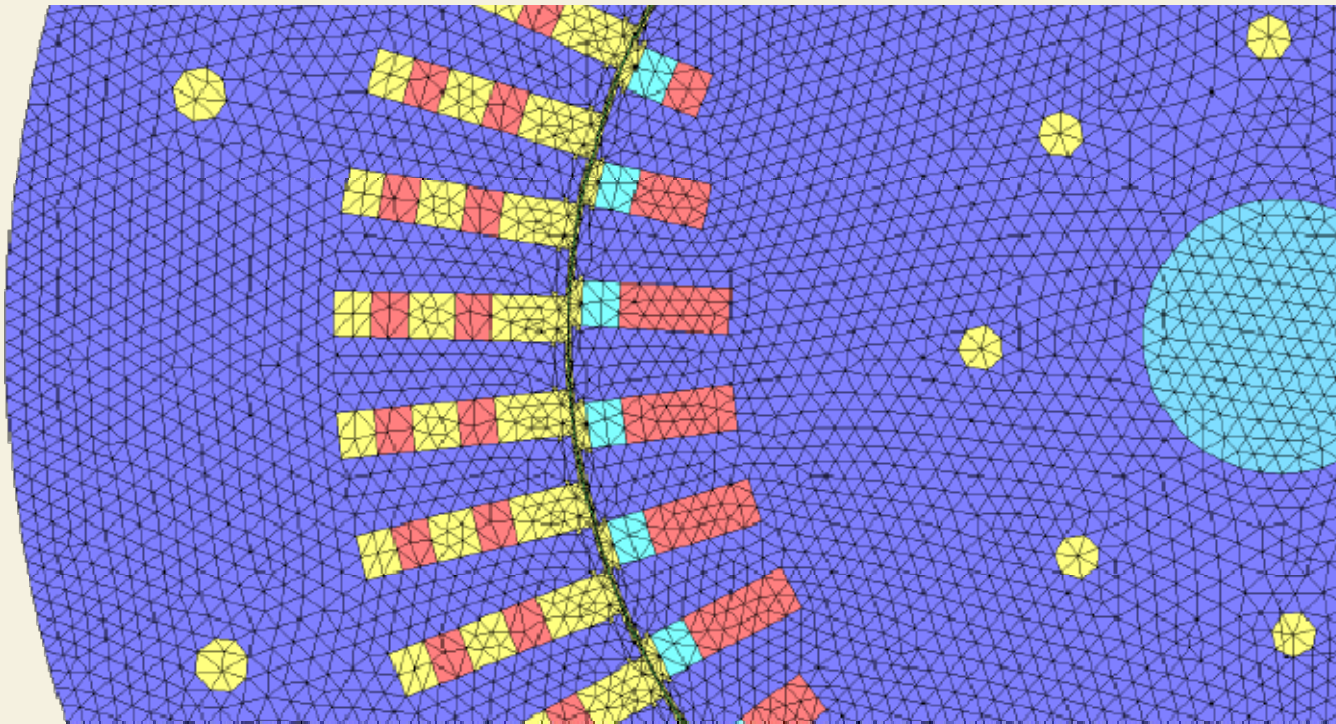
## Modelo computacional desenvolvido



Fonte: Bruno A. T. Iamamura, « Contribuição à detecção de defeitos nos rotores de turboalternadores », tese de doutorado, UFSC / Université de Lille, dezembro de 2011.

# Exemplo: modelagem de testes para detectar excentricidades e curtos-circuitos entre espiras em um gerador síncrono

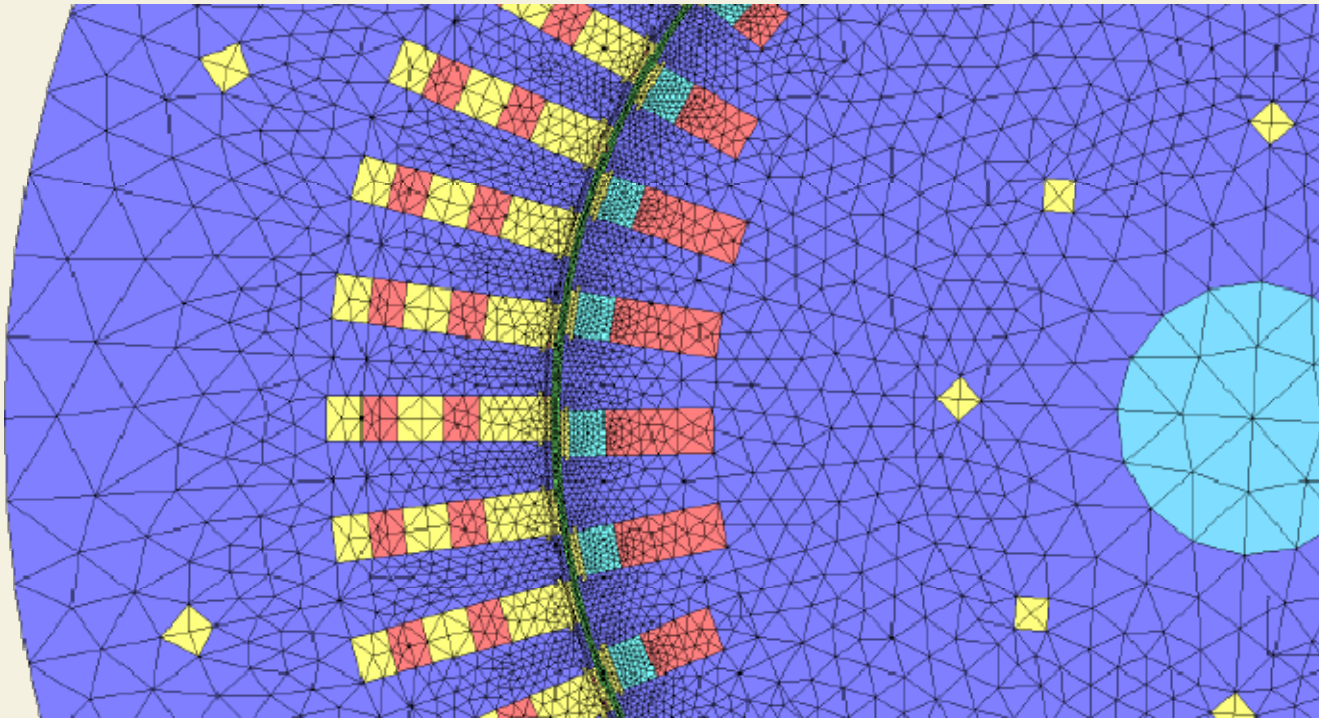
Malha de elementos finitos



Fonte: Bruno A. T. Iamamura, « Contribuição à detecção de defeitos nos rotores de turboalternadores », tese de doutorado, UFSC / Université de Lille, dezembro de 2011.

# Exemplo: modelagem de testes para detectar excentricidades e curtos-circuitos entre espiras em um gerador síncrono

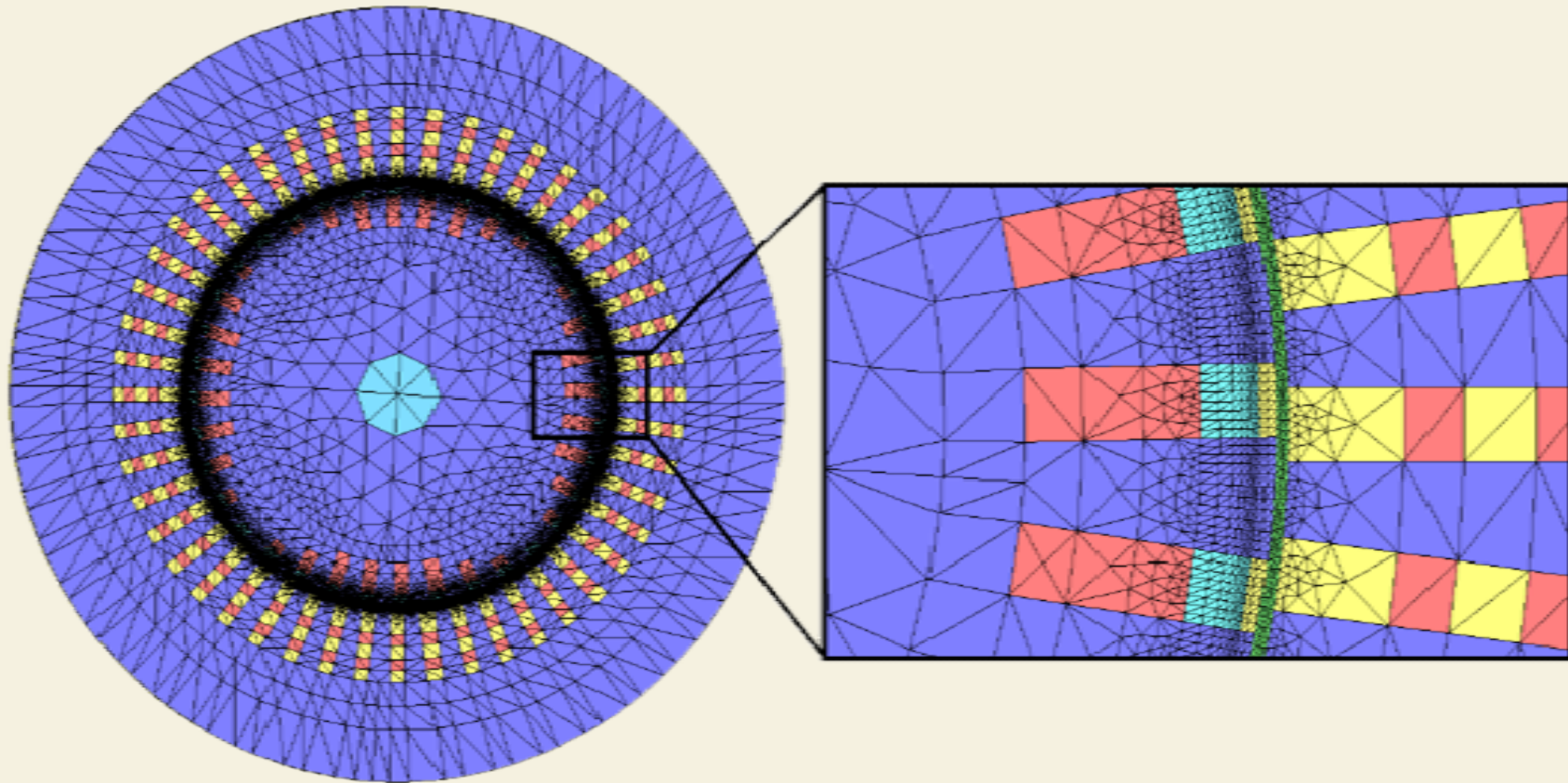
Malha de elementos finitos



Fonte: Bruno A. T. Iamamura, « Contribuição à detecção de defeitos nos rotores de turboalternadores », tese de doutorado, UFSC / Université de Lille, dezembro de 2011.

# Exemplo: modelagem de testes para detectar excentricidades e curtos-circuitos entre espiras em um gerador síncrono

Malha de elementos finitos



Fonte: Bruno A. T. Iamamura, « Contribuição à detecção de defeitos nos rotores de turboalternadores », tese de doutorado, UFSC / Université de Lille, dezembro de 2011.

# Exemplo: modelagem de testes para detectar excentricidades e curtos-circuitos entre espiras em um gerador síncrono

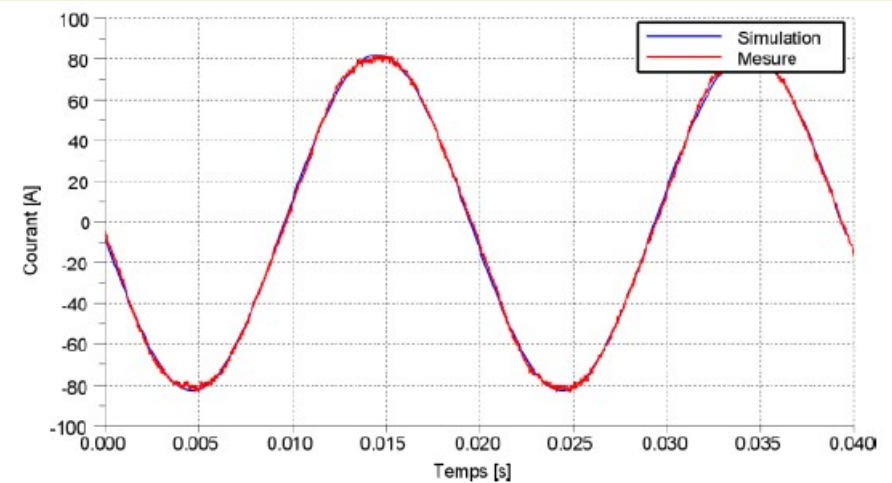
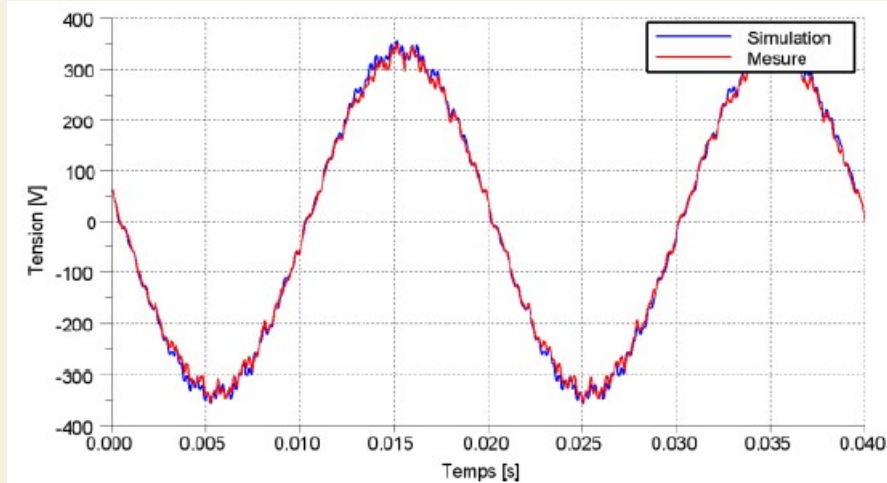
Correntes induzidas nos amortecedores



Fonte: Bruno A. T. Iamamura, « Contribuição à detecção de defeitos nos rotores de turboalternadores », tese de doutorado, UFSC / Université de Lille, dezembro de 2011.

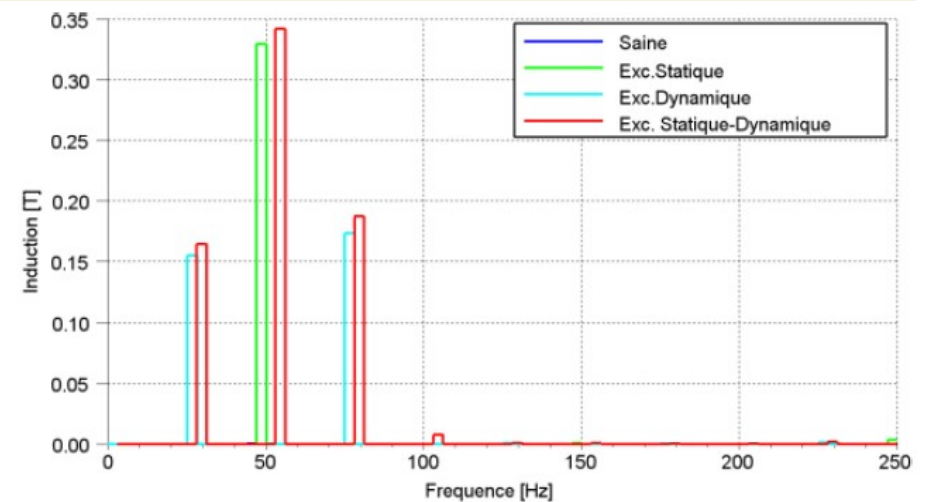
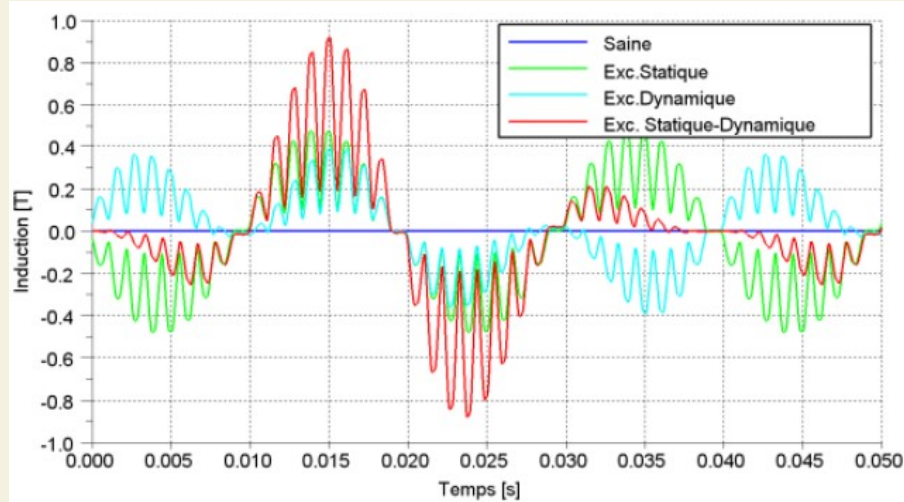
# Exemplo: modelagem de testes para detectar excentricidades e curtos-circuitos entre espiras em um gerador síncrono

Tensões e correntes medidas e simuladas em uma fase, com carga de 20kVA



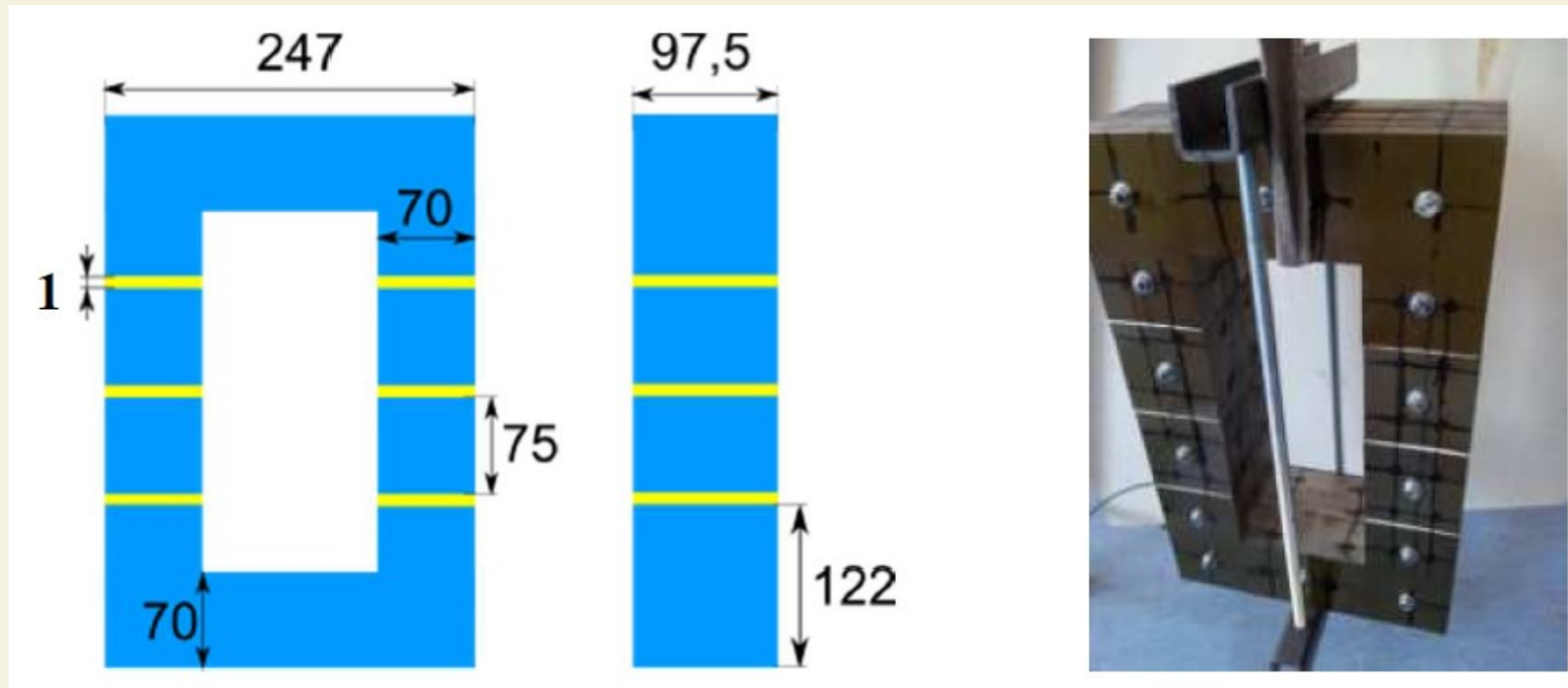
# Exemplo: modelagem de testes para detectar excentricidades e curtos-circuitos entre espiras em um gerador síncrono

Indução magnética entre dois sensores, e FFT correspondente



# Exemplo: modelagem vibrações de origem eletromagnética em uma indutância

A indutância estudada

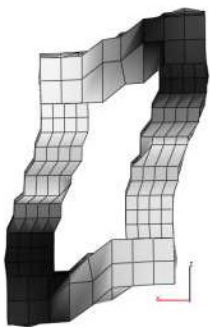
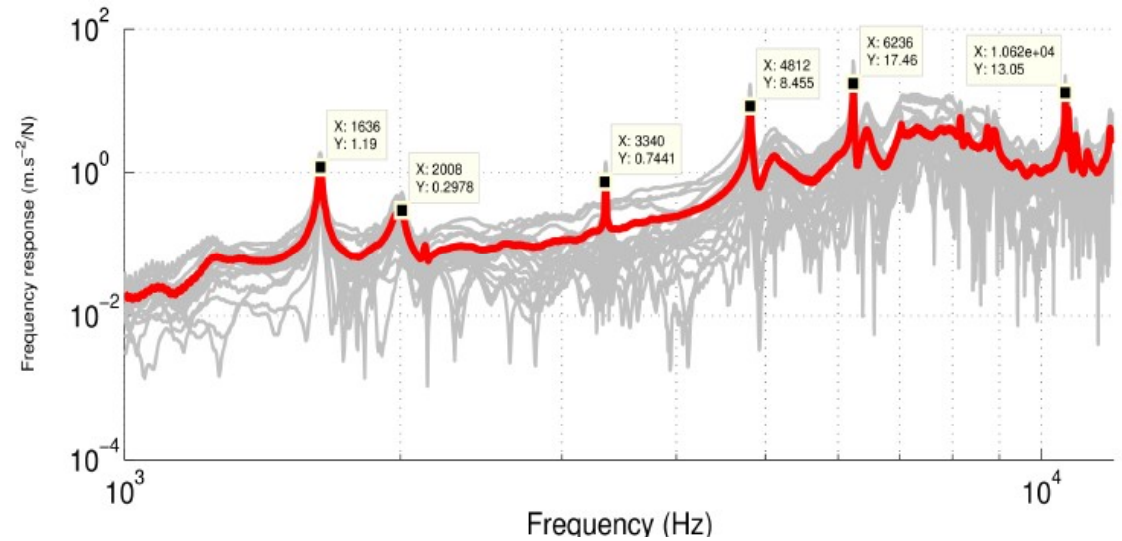
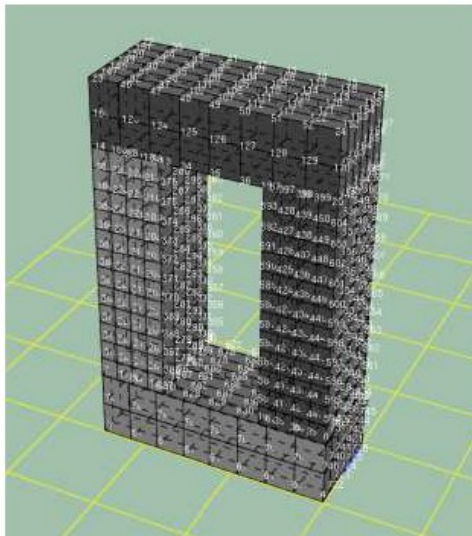


Fonte: B. Iamamura, M. Rossi, M. Hecquet, V. Lanfranchi, S. Recorbet, F. Tridon, « Vibration and acoustic noise of industrial inductors associated to converters in railway domain: design and material impacts ISEF International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering, Valencia, Spain, 2015.

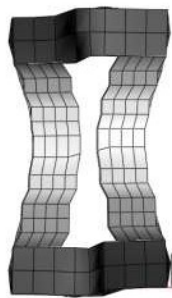


# Exemplo: modelagem vibrações de origem eletromagnética em uma indutância

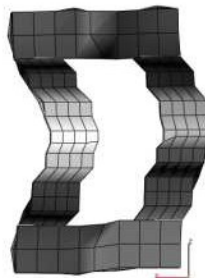
## Análise modal



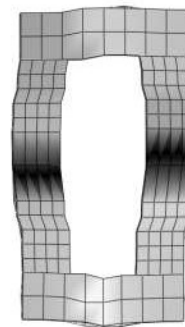
1630 Hz



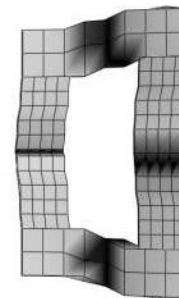
2010 Hz



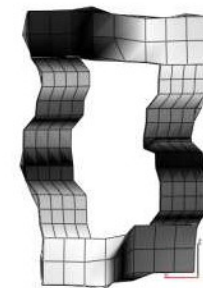
3360 Hz



4821 Hz



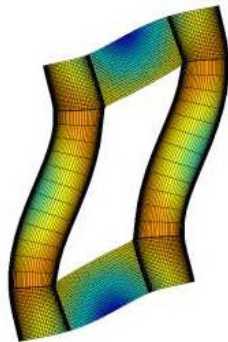
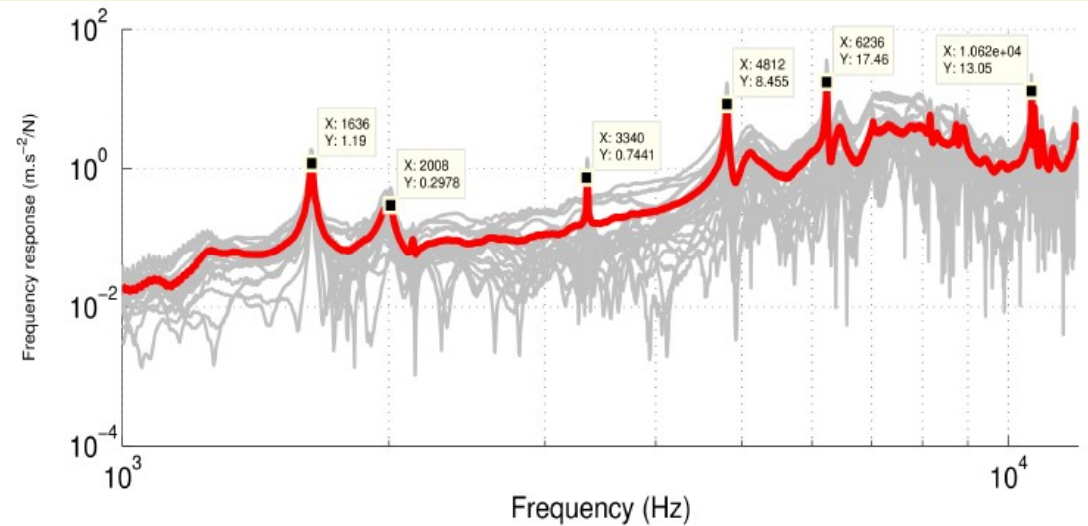
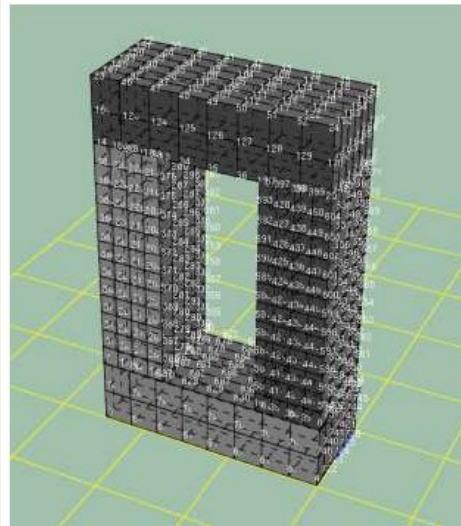
6236 Hz



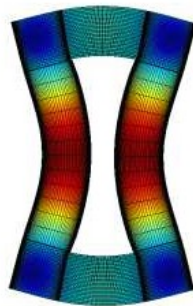
10620 Hz

# Exemplo: modelagem vibrações de origem eletromagnética em uma indutância

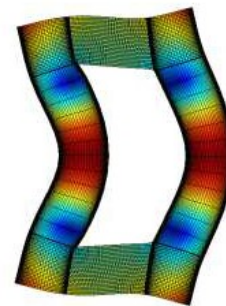
## Análise modal



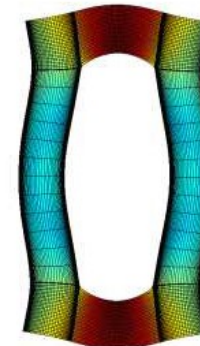
1690 Hz



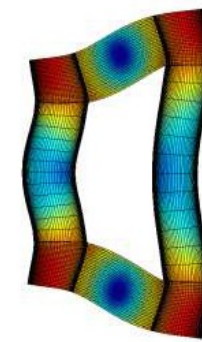
2069 Hz



3473 Hz



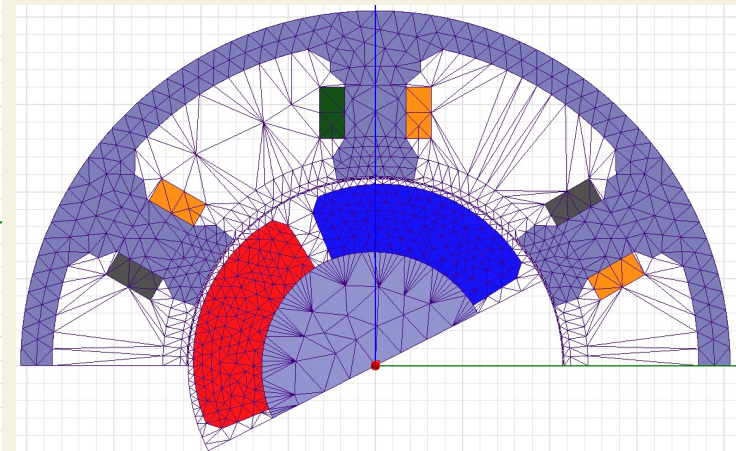
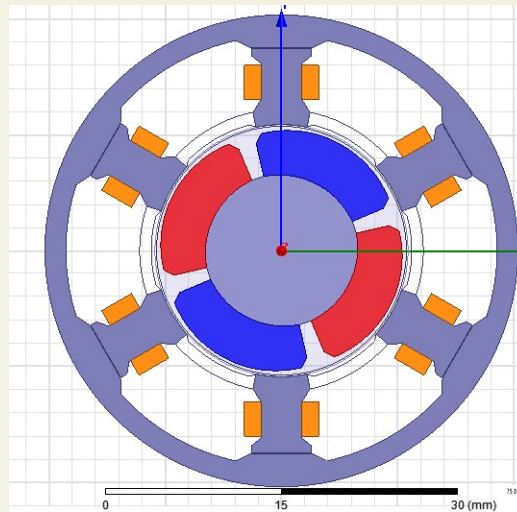
4964 Hz



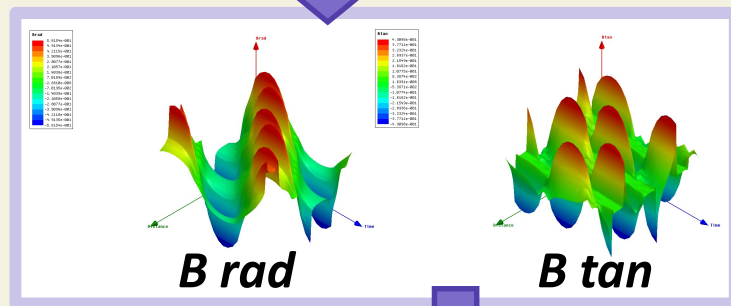
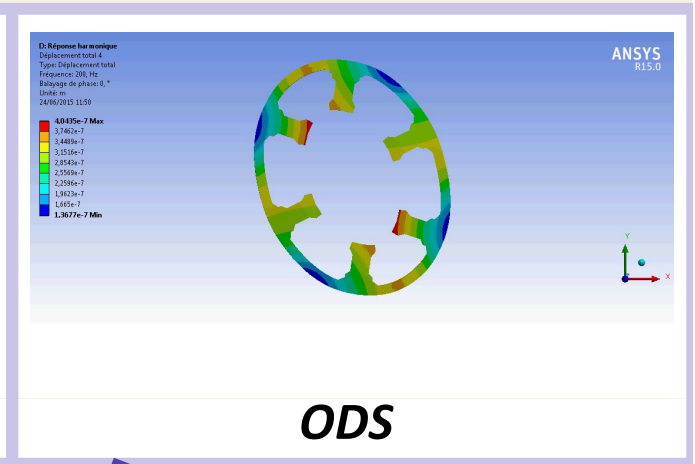
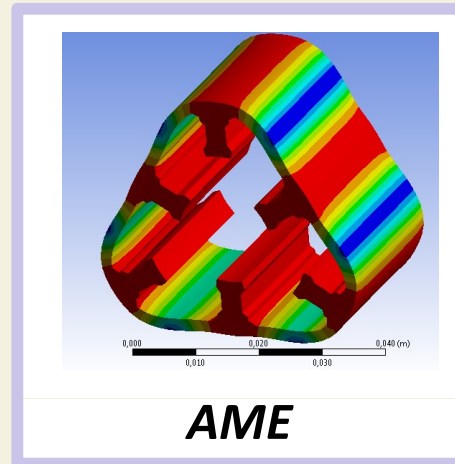
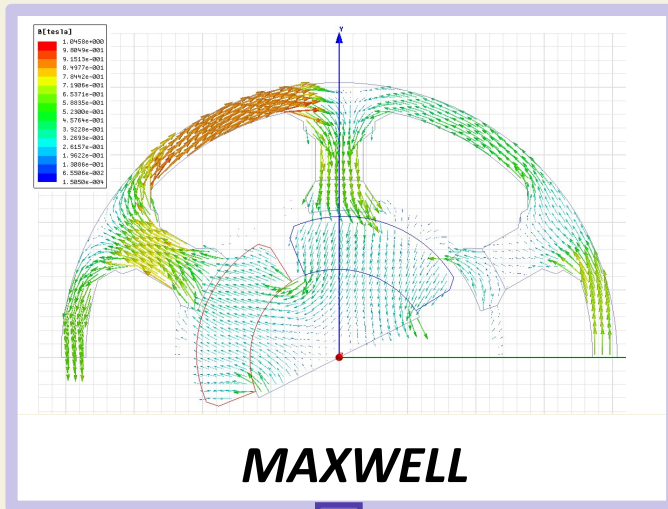
6421 Hz

# Exemplo: modelagem vibrações de origem eletromagnética em um motor síncrono

Modelo EF e protótipo correspondente

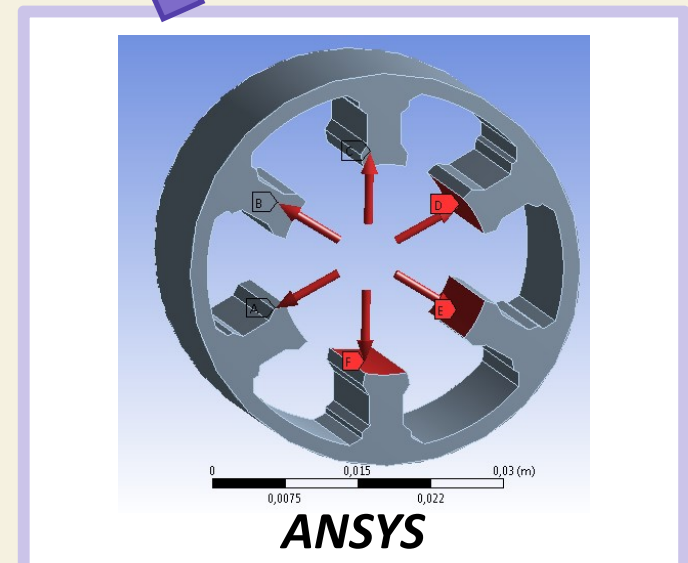


# Exemplo: modelagem vibrações de origem eletromagnética em um motor síncrono



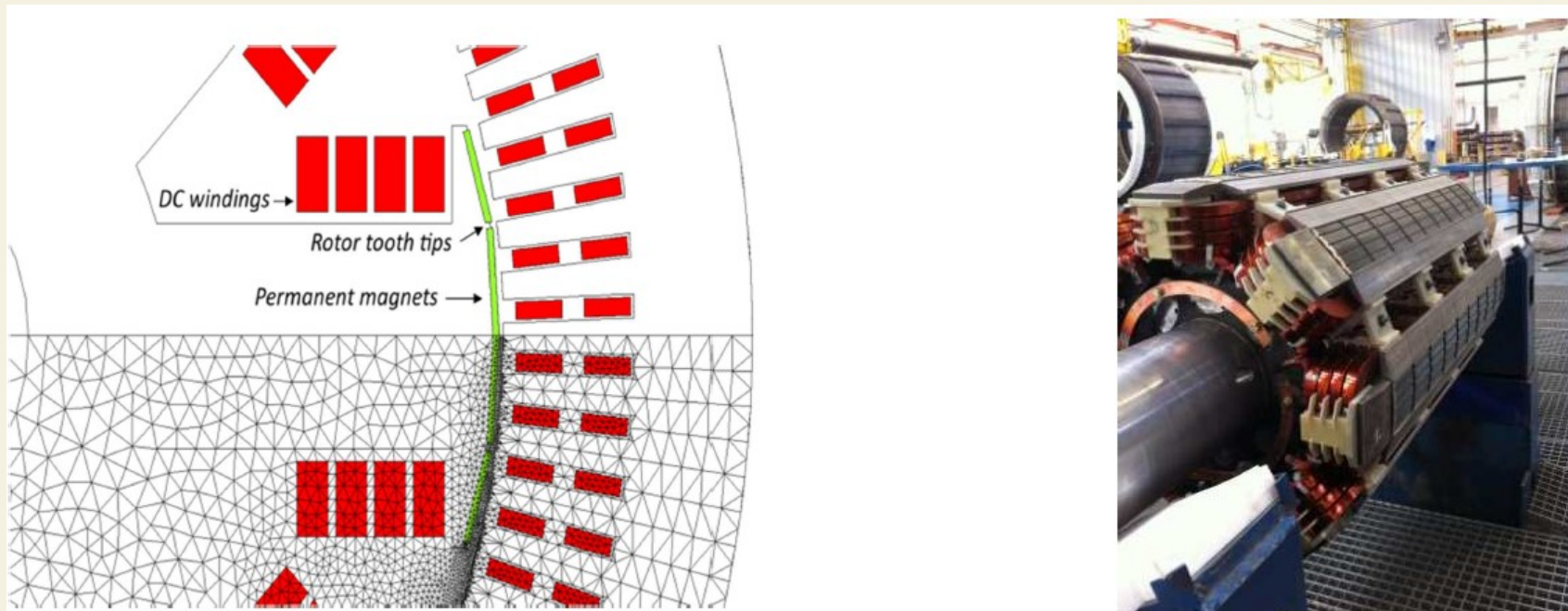
$$P_{Maxwell}^{rad} = \frac{1}{2\mu_0} (B^{rad^2} - B^{tan^2})$$

**Pressão por dente do estator**



# Exemplo: Cálculo de perdas em um gerador síncrono de excitação híbrida

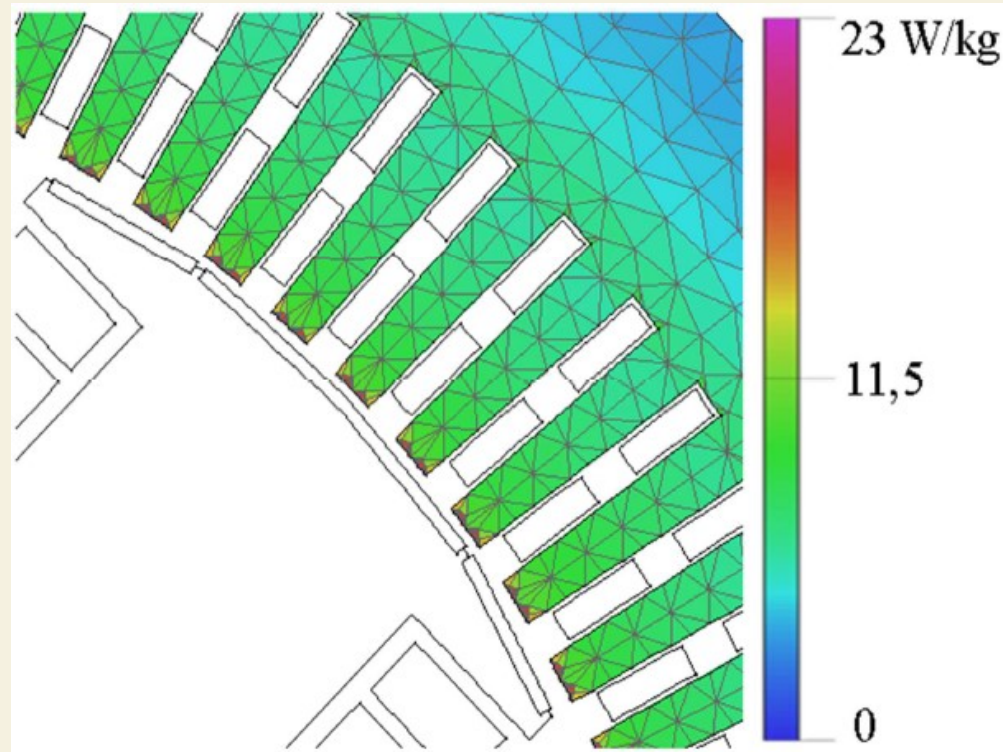
Modelo EF e protótipo correspondente



Fonte: M. Ployard, A. Ammar, J. Iamamura, D. Ilea, F. Gillon, A. Benabou, « Iron loss computation of a hybrid excitation synchronous generator », ISEF - International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering, Valencia - Spain, 2015.

# Exemplo: Cálculo de perdas em um gerador síncrono de excitação híbrida

## Densidade de perdas no ferro



Fonte: M. Poyard, A. Ammar, J. Iamamura, D. Ilea, F. Gillon, A. Benabou, « Iron loss computation of a hybrid excitation synchronous generator », ISEF - International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering, Valencia - Spain, 2015.