

## DESENVOLVIMENTO DE MODELOS POR ELEMENTOS FINITOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS ESPECIAIS UTILIZANDO SOFTWARE LIVRE

CASSIO TRAPP KRÜGER<sup>1</sup>; ANTONELA BITTENCOURT MAAG<sup>2</sup>; SIGMAR DE LIMA<sup>3</sup>; CARLOS GUILHERME DA COSTA NEVES<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Universidade Federal de Pelotas – krugercassio@gmail.com*

<sup>2</sup>*Universidade Federal de Pelotas – atmaag@gmail.com*

<sup>3</sup>*Universidade Federal de Pelotas – sigmar.lima@gmail.com*

<sup>4</sup>*Universidade Federal de Pelotas – cgcneves@gmail.com*

### 1. INTRODUÇÃO

A procura por soluções que visem facilitar o trabalho mecânico sempre foi alvo de constante busca. Em toda a história, os dispositivos mecânicos, seguidos pelos eletromecânicos e eletromagnéticos, foram usados para estender ou mesmo aumentar a força que os braços humanos são capazes de produzir (LIMA, 2016). Com isso, houve um grande aumento na demanda de energia elétrica para a sociedade e uma das formas de suprir essa demanda é tornar as máquinas mais eficientes.

Na busca por desenvolver projetos de máquinas elétricas mais eficientes, a utilização de recursos computacionais é de suma importância. Simulações computacionais são realizadas para validar o projeto, utilizando, geralmente, softwares comerciais. Este trabalho, entretanto, utiliza um software gratuito para fazer as simulações, GMSH, um gerador de malhas de elementos finitos, e GetDP, um solver utilizado para solucionar sistemas de equações diferenciais (GEUZAINÉ, C. e REMACLE, J.F., 2009).

Geradores elétricos a ímãs permanentes convencionais utilizam caixas de engrenagens (Mechanical-Gear-Drives ou MGD) para aumentar ou diminuir a velocidade do gerador em relação a máquina primária, dependendo das condições de carga. Entretanto, caixas de engrenagens possuem problemas inerentes que causam perdas de energia, como o atrito, vibração e aquecimento. Os Pseudo-Direct-Drives (PDD), no entanto, não possuem perdas inerentes como os MGD (NEVES, C. G. C.; FLORES FILHO, A. F., 2015).

Os desenvolvedores do software utilizado neste trabalho fornecem apenas modelos-exemplos de máquinas elétricas convencionais (apenas uma parte móvel). Os PDDs estudados neste trabalho consistem de duas partes móveis, o que os torna diferentes dos modelos de máquinas existentes.

O objetivo deste trabalho de ensino surge da necessidade de desenvolver modelos-exemplos para os PDD, a fim de construir um material de estudo para os alunos que estudam eletromagnetismo em máquinas elétricas.

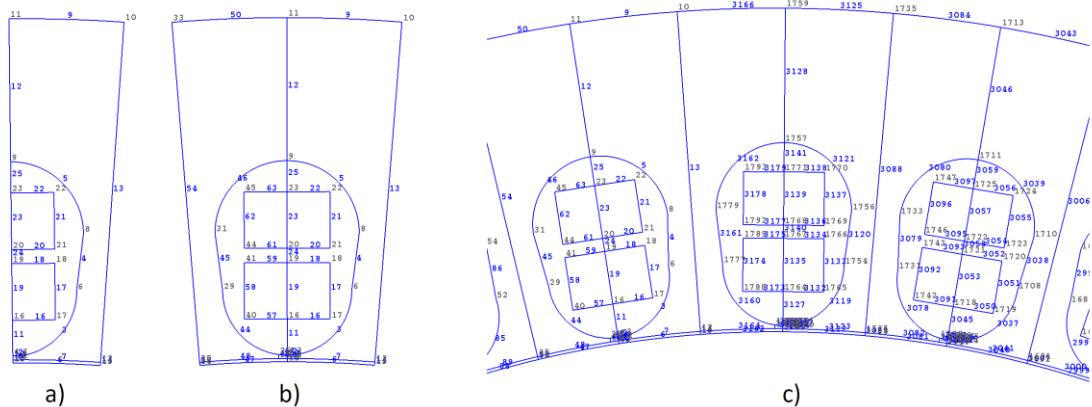
### 2. METODOLOGIA

A partir de uma revisão bibliográfica, a compreensão do funcionamento de um PDD é peça chave para a realização deste trabalho. Com os conceitos bem sedimentados, o estudo sobre o software de elementos finitos (HUTTON, D. V., 2003) foi realizado baseado em exemplos fornecidos pelos desenvolvedores. Em seguida, realizou-se a modelagem da estrutura do PDD no software estudado e, com o modelo finalizado, simulou-se a máquina proposta, obtendo gráficos demonstrando seu funcionamento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

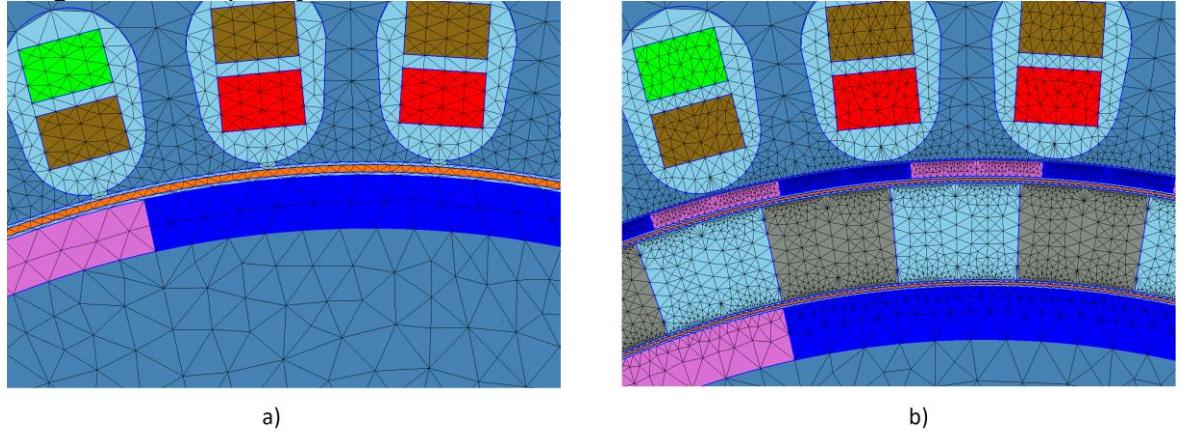
O modelo das máquinas e suas malhas de elementos finitos são criados a partir de códigos utilizando a linguagem específica do software. A estratégia utilizada para desenhar as máquinas elétricas rotacionais consiste em desenhar uma secção da máquina, espelha-la e depois reproduzi-la rotacionando-a. A figura 1 mostra a secção (a), a secção espelhada (b) e a secção reproduzida (c).

Figura 1: Desenho da secção da máquina



Esta estratégia é utilizada para desenhar qualquer parte de uma máquina rotacional. Nos modelos de máquinas convencionais existentes, cria-se um código para o estator e outro para o rotor, e utiliza-se apenas uma *banda de movimento*. Nos PDDs, entretanto, cria-se um código para o estator e 2 códigos para 2 rotores diferentes, e utiliza-se duas *bandas de movimento*. A figura 2 mostra a máquina convencional (a) e o PDD (b), deixando clara a diferença entre máquinas com uma ou duas bandas de movimento. As bandas de movimento são demonstradas nas regiões alaranjadas das figuras.

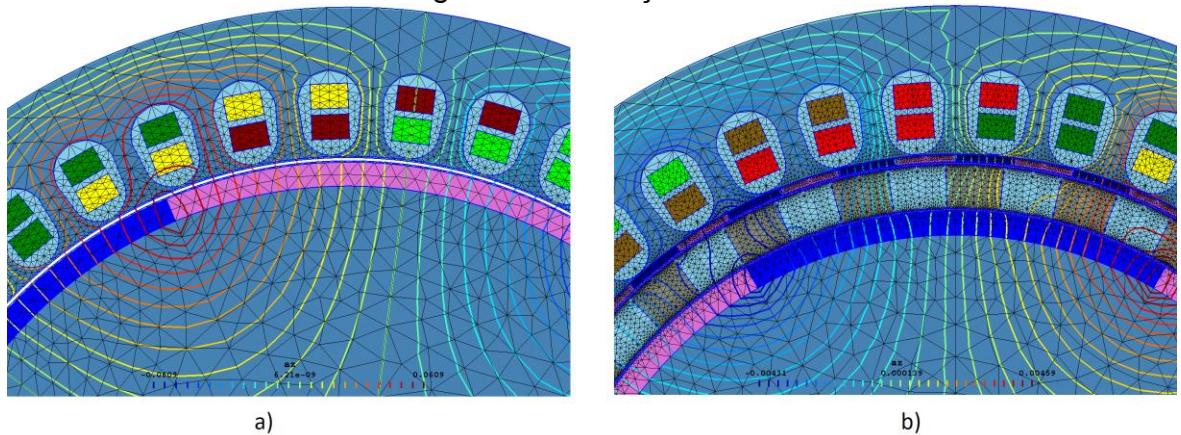
Figura 2: Comparação de modelos com uma e duas bandas de movimento



Para que o modelo possa ser simulado, é necessário determinar o que cada área desenhada representa (ar, ferro, ímã, cobre) e onde estão localizadas as bandas de movimento. Para isso, utilizando os códigos existentes como exemplo, criou-se um novo código com a diferença de possuir as novas áreas e suas equações relacionadas, bandas de movimento e condições de contorno.

A figura 3 mostra a simulação realizada em cada máquina, confirmando que o novo modelo funciona e pode ser utilizado para estudo.

Figura 3: Simulações



#### 4. CONCLUSÕES

A partir do novo modelo de máquina desenvolvido e simulado, é possível, agora, estudar novas topologias de máquinas especiais que utilizam o PDD. O material criado pode ser utilizado pelos novos estudantes que venham a trabalhar com PDDs, não sendo mais necessário realizar adaptações de modelos de máquinas com 1 rotor para 2 rotores. Com isso, ganha-se tempo para o estudo e análise das máquinas em si, e não utiliza-se parte desse tempo para buscar soluções de como simular um novo modelo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HUTTON, D. V. **Fundamentals of Finite Element Analysis.** McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2003.

BASTOS, J. P. A. e SADOWSKI, N. **Electromagnetic modeling by finite element methods.** CRC Press, 2003.

GEUZAIN, C. e REMACLE, J.F. Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, v.79, Issue 11, p.1309-1331, 2009

LIMA, S. de. **Implementação de estratégias de controle utilizando lógica fuzzy e técnicas de controle vetorial em um software de elementos finitos.** 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Santa Catarina.

NEVES, C. G. C.; FLORES FILHO, A. F. Coaxial Magnetic Gear: A Pedagogic Approach, **ISEF 2015 - XVII International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering**, 2015, Valênci;a; **ISEF 2015 - XVII International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering**, 2015.

NEVES, C. G. C.; FLORES FILHO, A. F. Coaxial Magnetic Gear Analysis by FEM, **MOMAG 2014: 16º SBMO - Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica e 11º CBMag - Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo**, 2014, Curitiba. Coaxial Magnetic Gear Analysis by FEM, 2014. p. 1062-1067.

NEVES, C. G. C.; FLORES FILHO, A. F. Coaxial Magnetic Gear Analysis and Optimization, **International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)**, 2014, Milwaukee. Coaxial Magnetic Gear Analysis and Optimization, 2014.

NEVES, C. G. C.; FLORES FILHO, A. F. Magnetic Gear - A Review, **IEEE/IAS International Conference on Industry Applications**, 2014, Juiz de Fora - MG. Magnetic Gear - A Review, 2014.