



I Simpósio Gaúcho de Engenharia Aeroespacial e Mecânica
9 e 10 de novembro de 2022, Santa Maria, RS, Brasil

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE DESVIOS DE ÓLEO EM ENROLAMENTOS DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA EMPREGANDO SIMULAÇÃO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

Tales F. Rodrigues

Carlos Eduardo Guex Falcão

Leonardo Hautrive Medeiros

Micael Marcio Oliveira

Instituto de Rede Inteligente – UFSM, Av. Roraima, 1000. Prédio 09E. CEP: 97105-900 – Santa Maria, RS

tales.fraga@acad.ufsm.br

carlos.falcao@ufsm.br

leohm29@gmail.com

micaeltdb13@gmail.com

Resumo. A alocação de desvios de óleo em enrolamentos de transformadores de potência é uma técnica empregada para melhorar a performance térmica do mesmo. Contudo, o número e o posicionamento dos desvios devem ser analisados a fim de otimizar o projeto e evitar até uma piora da performance. Com isso, o presente trabalho analisa a influência dos desvios de óleo em dois enrolamentos de um transformador de potência através de simulações CFD. As características construtivas e operativas foram extraídas de um transformador real. Os resultados mostraram que o uso de desvios de óleo intensifica o fluxo de óleo nos canais radiais e propiciam um aumento da troca térmica. Além disso, observou-se que as temperaturas pontuais medidas no centro do discos não são necessariamente as maiores presentes dentro dos enrolamentos de alta tensão.

Palavras chave: Transformador de potência; Performance térmica; Desvios de óleo; CFD.

1. INTRODUÇÃO

Em sistemas elétricos, os transformadores de potência têm como função adequar os níveis tensão requeridos para variadas aplicações. Apesar de serem máquinas altamente eficientes, parte da energia processada é convertida em calor por conta do efeito Joule. Consequentemente, há o aumento das temperaturas internas dos transformadores, o que ocasiona danos a integridade do sistema de isolamento do equipamento, diminuindo sua vida útil. Devido a incapacidade de substituição dos sistemas de isolamento, monitora-se as temperaturas internas através de sensores de fibra óptica e busca-se mantê-las abaixo de valores limitados por norma com o uso de sistemas de arrefecimento.

Em transformadores imersos em óleo, o óleo age como meio de isolamento e arrefecimento do transformador. O óleo, ao circular pela parte ativa, absorve e carrega o calor gerado pelo núcleo, enrolamentos e componentes estruturais. Uma vez aquecido, o óleo circula pelo sistema

de arrefecimento e dissipa o calor para o ambiente externo, geralmente ar atmosférico ou, em alguns casos, água (KULKARNI; KHAPARDE, 2004).

Com o objetivo de otimizar o fluxo de óleo ao longo dos enrolamentos, são colocados desvios os quais propiciam o aumento do fluxo de óleo nos canais entre discos. Em vista disso, estudos acerca da influência do número e da localização desses desvios são de exímia importância para o desenvolvimento de projetos de transformadores mais confiáveis (TORRIANO et.al, 2018). Dessa forma, o uso de simulações fluidodinâmica computacional tem um papel importante na avaliação de diferentes configurações de desvios de óleo.

O presente trabalho tem como objetivo realizar a análise da influência de desvios de óleo em enrolamentos de transformadores de potência por meio do uso de simulações fluidodinâmica computacional no software ANSYS® Fluent, que emprega o método de volumes finitos. Para isso, dois enrolamentos de um transformador



real, com diferentes números e disposições de desvios, são modelados e simulados com as respectivas perdas térmicas, obtidas em ensaios experimentais prévios.

2. METODOLOGIA

Foi empregada a metodologia de um estudo que envolve o uso de Engenharia Assistida por Computador (CAE), com três grandes etapas: Pré-Processamento, Processamento e Pós-Processamento. O fluxograma da Fig. 1 ilustra o procedimento utilizado nesse trabalho.

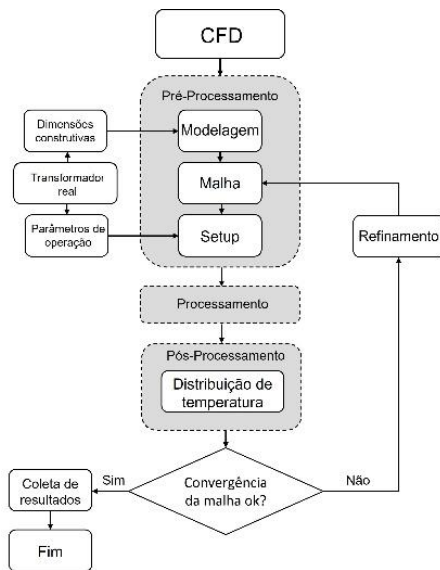


Figura 1. Fluxograma da metodologia

O Pré-Processamento consiste em três subetapas: Modelagem, Malha e Setup. Na Modelagem, os enrolamentos foram reproduzidos em ambiente computacional de acordo com as dimensões construtivas do projeto do transformador real. Na etapa de Malha gera-se a malha de elementos, que dá nome ao método de solução empregado pelo *software*. Foi feito um estudo de convergência de malha para garantir a confiabilidade dos resultados das simulações. Finalmente, no *Setup*, as condições de contorno impostas em ambiente de simulação são definidas de acordo com dados coletados em ensaios experimentais prévios do transformador. As características do transformador são apresentadas na Tab. 1.

Tabela 1. Características do transformador

Potência Nominal	1,2 MVA
Sistema de Arrefecimento	ODAN
Óleo Mineral Isolante	Hyvolt II
Dissipação Térmica Coluna 1	318,277 W/m ²

Dissipação Térmica Coluna 2	325,362 W/m ²
Enrolamento de AT	60 discos
Temperatura de entrada	329,41 K
Vazão mássica na entrada	0,64 kg/s

3. RESULTADOS

Na Fig. 2 é apresentada a distribuição de temperaturas na região de entrada do enrolamento de alta tensão da coluna 1 para (a) 7.476.984 elementos e (b) 15.989.990 elementos. A partir da Fig. 2, é possível observar a convergência dos resultados a partir do refinamento da malha.

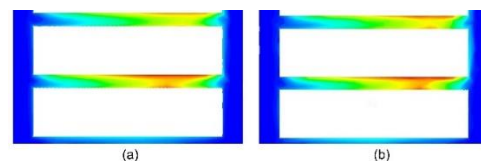


Figura 2. Estudo de convergência de malha: (a) 7.476.984 elementos e (b) 15.989.990 elementos

Malhas ótimas são, normalmente, não uniformes: mais refinadas em áreas onde possuem uma grande variação entre pontos próximos e menos refinadas em regiões com poucas alterações (VESTTEEG; MALALASEKERA, 2007). Portanto, um refinamento foi realizado próximo a face dos discos dos enrolamentos, onde ocorre a troca térmica de interesse, como pode ser visto na Fig. 3.

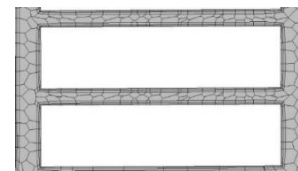


Figura 3. Refinamento de malha localizado próximo as faces dos discos

As distribuições completas de temperatura dos enrolamentos da coluna 1 e coluna 2 são apresentadas nas Fig. 4 e Fig. 5, respectivamente. A partir das figuras, percebe-se que a coluna 1 apresenta 4 desvios enquanto a coluna 2 apresenta 8 desvios. Em ambas as distribuições, a temperatura do óleo aumenta à medida que atinge o topo da bobina e sai por volta de 62°C.

Com objetivo de avaliar a influência dos desvios de óleo nas temperaturas dos enrolamentos, a Fig. 6 mostra um comparativo da distribuição de temperaturas entre as entradas do enrolamento da coluna 1 e da coluna 2 e a Fig. 7 mostra um comparativo entre os vetores de velocidade.

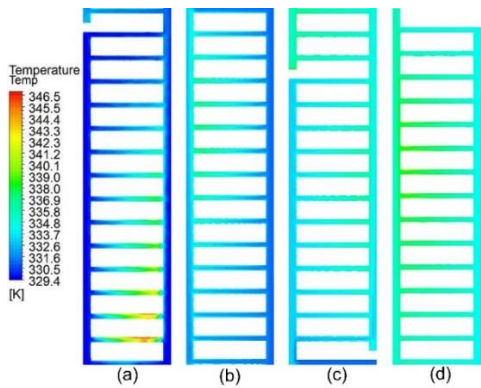


Figura 4. Distribuição de temperatura para coluna 1: (a) discos 1-15; (b) 16-30; (c) 41-45 e (d) 46-60

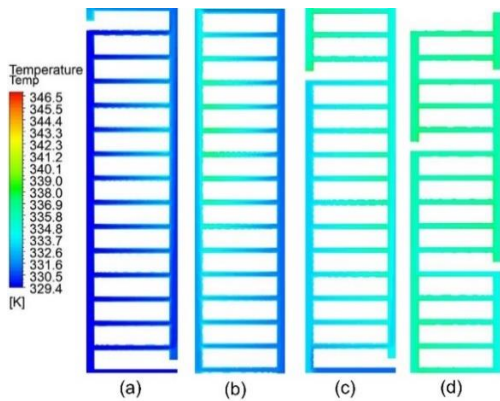


Figura 5. Distribuição de temperatura para coluna 2: (a) discos 1-15; (b) 16-30; (c) 41-45 e (d) 46-60

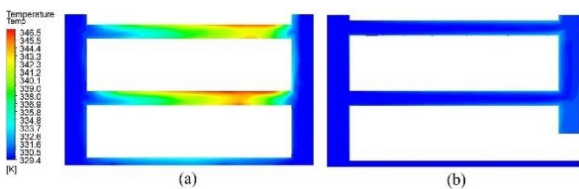


Figura 6. Distribuição de temperatura na entrada da (a) coluna 1 e (b) coluna 2

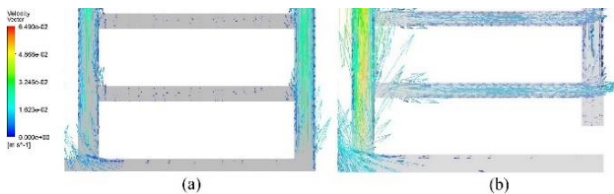


Figura 7. Vetores de velocidade da (a) coluna 1 e (b) coluna 2

A partir das Fig. 6 e 7, é possível observar que a presença de um desvio de óleo na entrada da coluna 2 aumentou a intensidade do fluxo de óleo nos canais entre discos e propiciou uma maior troca térmica, resultando em valores baixos de temperatura, cerca de 57°C no espaço entre os dois primeiros discos da entrada. Enquanto na coluna 1, há a presença de pontos de quentes nos canais radiais da entrada devido à baixa intensidade do fluxo de óleo nessa região. Além disso, as temperaturas com maiores intensidades estão localizadas nas extremidades dos canais radiais, no caso da entrada de ambas as colunas, estão localizadas na parte mais externa do canal (à direita da Fig. 6). Esse comportamento é repetido ao longo das colunas do transformador de acordo com a disposição dos desvios de óleo em um passe de discos, como é mostrado na Fig. 4 e Fig. 5.

4. CONCLUSÃO

Observou-se que a temperatura varia ao longo do canal de óleo entre discos, apresentando, de modo geral, maiores intensidades nas regiões de entrada e saída dos canais radiais. Com isso, as temperaturas pontuais medidas pelos sensores de fibra ótica colocados no centro do canal não são necessariamente as maiores ao longo dos canais e podem levar a uma interpretação equivocada da performance térmica do equipamento. Sendo assim, o estudo mostrou a eficácia das simulações em análise térmica e fluidodinâmica, sendo uma ótima ferramenta para a indústria e que contribui para projeto de equipamentos mais confiáveis.

5. REFERÊNCIAS

- KULKARNI, S. V.; KHAPARDE, S.A. Transformer Engineering: Design and Practice. New York: CRC Press, 2004.
- VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. An introduction to Computational Fluid Dynamics. Edinburgh Gate: UK: Pearson Education, 2007.
- TORRIANO, F. et al. Numerical and experimental thermofluid investigation of different disc-type power transformer winding arrangements. International Journal of Heat and Fluid Flow, v. 69, p. 62-72, 2018. Doi: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2017.11.007.