

## 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

### 5.1. Conclusões

O trabalho desenvolvido teve como objetivo propor e desenvolver um modelo de apoio à decisão, denominado de SADTRAFOS aplicado ao diagnóstico de transformadores de potência. Na validação do modelo foi utilizada uma base de dados reais de transformadores retirados de operação, com registro dos valores de gases dissolvidos no óleo isolante pela cromatografia e com diagnóstico identificado por inspeções e manutenções.

O sistema de apoio à decisão SADTRAFOS foi dividido basicamente em três módulos:

- Módulo de pré-processamento;
- Módulo de diagnóstico;
- Módulo de apoio à decisão.

No desenvolvimento do modelo e seus módulos, pode-se constatar que:

- A etapa de pré-processamento em sistemas que utilizam técnicas de inteligência computacional para classificação de padrões e diagnóstico é de grande importância para o seu desempenho, uma vez que nela são realizadas a limpeza dos dados inconsistentes da base de dados e principalmente a normalização e a seleção das variáveis mais importantes para o modelo.
- A escolha da normalização por funções lineares, de acordo com a distribuição dos valores de cada variável de entrada mostrou-se como a melhor opção para o modelo SADTRAFOS, minimizando a grande variação de valores observada em algumas variáveis (gases) e apresentando o melhor desempenho.
- Das técnicas de seleção de variáveis aplicadas à base de dados já normalizada, o método LSE apresentou melhor desempenho do que o PCA. O método LSE, ao descrever as variações da saída em

relação às variações das entradas, consegue definir melhor quais as variáveis de maior importância e sensibilidade na resposta do modelo, ao passo que, na análise multivariada proposta pela técnica de PCA, a importância de cada variável é definida por cada componente principal apenas sob o ponto de vista estatístico.

- O módulo de diagnóstico inicialmente foi projetado para definir quatro tipos de faltas nos transformadores. Entretanto, em função do baixo desempenho observado, as faltas de ordem térmica e as descargas parciais foram agrupadas em um único padrão de anormalidade no transformador. Após esta decisão, o desempenho do modelo melhorou consideravelmente e de forma esperada. Fisicamente, sabe-se que as descargas parciais e as faltas térmicas no interior dos transformadores dificilmente ocorrem de forma independente e que, em muitas vezes, uma falta evolui para outra de forma relativamente rápida, tornando realmente difícil a distinção dos dois padrões pela AGD e pela própria identificação dos efeitos provocados pelos dois fenômenos.
- A utilização de uma base de dados de AGD no OMI de transformadores que tiveram seu diagnóstico identificado após inspeções e manutenções permitiu obter regras consistentes no sistema de inferência adotado no modelo SADTRAFOS, com explicitação do conhecimento extraído dos dados.
- A relação entre as variáveis de entrada e de saída, do módulo de diagnóstico, explicitada sob a forma de regras lingüísticas, permite ao usuário do modelo uma maior compreensão da influência de cada variável utilizada sobre o fenômeno, o que não ocorre com modelos do tipo “caixa preta”, como, por exemplo, redes neurais artificiais.
- O módulo de apoio à decisão do modelo foi projetado para utilizar, em função da saída do módulo de diagnóstico, um dos três sistemas que o compõe. Cada sistema corresponde a um dos três diagnósticos do sistema de inferência (CNO, DP/FT e AE) e depende das características construtivas do equipamento, condições operacionais

e histórico de ocorrências, direcionando assim cada diagnóstico obtido às respectivas ações de manutenção cabíveis.

- A saída global do modelo SADTRAFOS consiste na classificação obtida no módulo de diagnóstico em conjunto com as recomendações de manutenção fornecidas pelo no módulo de apoio à decisão. Em termos práticos, o acesso a estas duas informações fornece aos gestores de manutenção maiores subsídios para tomar decisões, de forma otimizada, acerca de possíveis intervenções e as possíveis ações a serem tomadas de acordo com o projeto do equipamento e seu histórico operacional.

Durante as simulações foi definido um SIF composto por três variáveis de entrada ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  e a relação gasosa  $\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$ ) e a possibilidade de três diagnósticos na saída (CNO, DP/FT e AE). Tal sistema apresentou 22 regras e desempenho de 84% de acerto em relação aos dois estudos de caso, envolvendo 25 transformadores inspecionados. Este desempenho se mostra superior aos resultados obtidos utilizando os chamados “critérios tradicionais” de diagnóstico existentes que apresentaram valores entre 50 e 80% de acerto no diagnóstico, além dos casos de indeterminação. A tabela 64 apresenta o desempenho do modelo proposto comparado aos principais critérios já existentes. Vale lembrar que a norma brasileira NBR 7274 não foi utilizada na comparação pois, além de utilizar o método da IEC 60599 como referência, também apresenta relações gasosas para a AGD já contempladas no método de ROGERS.

Tabela 64 – Desempenho do modelo SADTRAFOS e dos critérios tradicionais

ANÁLISE DE DESEMPENHO				
	IEC	ROGERS	DUVAL	SADTRAFOS
<b>Estudo de caso 1</b>	19/24 = 79,16%	13/24 = 54,16%	12/24 = 50%	20/24 = 83,33%
<b>Estudo de caso 2</b>	0/1 = 0%	0/1 = 0%	1/1 = 100%	1/1 = 100%
<b>TOTAIS</b>	<b>76%</b>	<b>52%</b>	<b>52%</b>	<b>84%</b>

Uma das preocupações durante a definição do módulo de diagnóstico esteve relacionada ao número de variáveis de entrada e conseqüentemente, ao número de regras no sistema de inferência fuzzy. Uma vantagem do SIF definido é o número reduzido de regras explícitas geradas, o que permite uma melhor compreensão,

por parte do usuário, da relação das variáveis de entrada com o diagnóstico, sem prejuízo do desempenho do modelo.

No segundo estudo de caso, um autotransformador de grande porte foi avaliado pelo modelo SADTRAFOS, de acordo com os dados de gases dissolvidos obtidos por cromatografia gasosa antes de sua retirada de operação. Tanto o diagnóstico obtido como as recomendações apresentadas pelo módulo de apoio à decisão foram coerentes com o que realmente foi constatado após as inspeções internas no transformador. Pôde-se constatar, portanto, a boa resposta do modelo tanto no mapeamento da falta quanto na indicação das ações cabíveis de manutenção.

## **5.2. Trabalhos Futuros**

Apesar da AGD no OMI ser a ferramenta de maior aceitação e potencial de detecção de faltas em equipamentos com isolamento papel-óleo, sobretudo nos transformadores de potência, sabe-se que a utilização conjunta de outras metodologias complementares, como a análise pelo método acústico e a medição de descargas parciais, permite uma avaliação ainda mais completa das condições operacionais dos transformadores.

Apesar do bom desempenho do sistema de apoio à decisão proposto no trabalho, utilizando no seu módulo de diagnóstico apenas dados de AGD, uma boa proposta para o aperfeiçoamento e ganho de desempenho seria a utilização conjunta dos dados da AGD com parâmetros obtidos por outras metodologias ou técnicas de diagnóstico. Desta forma, além do aumento na confiabilidade do diagnóstico, uma maior sensibilidade em relação à natureza do defeito e sua localização poderiam ser agregados. Assim, sugere-se o estudo de quais variáveis relativas a outras metodologias de diagnóstico poderiam auxiliar a AGD em uma melhor caracterização dos defeitos internos nos transformadores.

Outra proposta de desenvolvimento futuro é a padronização das informações a serem inseridas pelo usuário no módulo de apoio à decisão do modelo. O levantamento das variações construtivas encontradas nos transformadores de potência e o mapeamento das diversas ocorrências e condições de operação poderiam facilitar no cadastro de informações pelo usuário e automatizar o

módulo de apoio à decisão. Desta forma, a subjetividade nas informações inseridas pelo usuário e, conseqüentemente, os desvios nas recomendações de manutenção, seriam evitados.

Bancos de dados com informações de AGD no OMI, resultados de outras técnicas de diagnóstico e parâmetros referentes a transformadores retirados de operação e posteriormente inspecionados devem cada vez mais ser utilizados pelas empresas do setor elétrico. Isto se justifica pois bases de dados estruturadas e ricas em informações acerca de transformadores de potência permitem que outros sistemas de apoio à decisão possam ser desenvolvidos. O objetivo de melhorar o desempenho de diagnóstico e fornecer ainda mais recursos aos setores de gestão da manutenção quanto a possíveis intervenções e ações direcionadas de manutenção poderiam ser alcançados considerando principalmente aspectos técnicos, estratégicos e econômicos.