

LÓGICA FUZZY COMO FERRAMENTA PARA DIAGNÓSTICO DE FALHAS EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA ¹

Márcio Zamboti Fortes ²

Helio de Paiva Amorim Júnior ³

Atair César Domingueti Junior ⁴

Ramon Marques Abrita ⁴

Carlos Jesivan Marques Albuquerque ⁵

Resumo

A partir de dados históricos de análises dos gases dissolvidos, a Lógica Fuzzy pode ser utilizada como ferramenta para diagnóstico de falhas e previsão de próxima avaliação do óleo isolante em transformadores de potência. Utilizando-se um banco de regras criado a partir de critérios e limites das normas IEC, IEC-Neural e Dornenburg, analisam-se os dados históricos de análises físico-químicas e cromatográficas com a ferramenta SIF (Sistema de Inferência Fuzzy) do software MATLAB. A partir da entrada de um novo dado de análise, o sistema emite um laudo do atual status do óleo isolante do transformador e quando for o caso, sugere a data para reanálise. Utilizaram-se sete transformadores de potência com os respectivos históricos de análises, para comparação com os laudos originados por empresas especializadas em análise preditiva de transformadores. Os resultados encontrados mostraram-se semelhantes comprovando que a ferramenta pode ser utilizada como suporte para uma análise rápida e confiável do estado do óleo isolante dos transformadores.

Palavras-chave: Lógica Fuzzy; Transformadores de potência; Manutenção industrial.

LOGIC FUZZY AS TOOL FOR POWER TRANSFORMERS FAILURE DIAGNOSIS

Abstract

Using dissolved gases historical data, the Fuzzy Logic can be used as tool for diagnosis of failures and to foresee next evaluation data for isolating oil power transformers. It can create some limits for a data rules in according to IEC, IEC-Neural and Dornenburg standards. The historical data from chromatographic physicist-chemistries tests are analyzed, with tool SIF (System of Fuzzy Inference) of MATLAB software. After a new data input, the system generate a report about the current status of oil isolating and when it will be the case, it suggests the date for reanalysis. In this paper seven power transformers are analyzing, comparing the software results with the specialist companies reports. The joined results are similar, it can prove that this tool can be used as support for fast and trustworthy analyzes.

Key words: Fuzzy logic; Power transformers; Industrial maintenance.

¹ Trabalho técnico apresentado ao X Seminário de Automação de Processos, 4 a 6 de outubro de 2006, Belo Horizonte – MG.

² Membro ABM, Prof. Assistente, Universidade Severino Sombra, Vassouras (RJ), Brasil. MSc. Engenharia.

³ Prof. Titular, Universidade Severino Sombra, Vassouras (RJ), Brasil. DSc. Engenharia.

⁴ Eng. Eletricista, Universidade Severino Sombra, Vassouras (RJ), Brasil.

⁵ Prof. Titular, Universidade Severino Sombra, Vassouras (RJ), Brasil. MSc. Engenharia.

INTRODUÇÃO

Ensaio físico-químico realizado com óleo isolante fornece indicações importantes sobre a sua qualidade (condição de deterioração). Todavia, não permitem obter conclusões sobre as condições funcionais dos transformadores. No decorrer da operação do transformador, o óleo isolante e outros materiais dielétricos sofrem, por ação do calor e de tensões elétricas, processos de decomposição química, resultando formação de gases, pela decomposição dos materiais isolantes. Os gases são total ou parcialmente dissolvidos no óleo, circulando em todas as partes do equipamento. Quando amostras são analisadas, é possível obter-se informações dessas condições funcionais e detectar-se possíveis defeitos existentes, sem necessidade de retirar de operação o transformador. Há diversos métodos de análise desses gases. Podem-se citar: IEC 599-1978,^[1] IEC-Neural Cepel,^[2] Doernenburg,^[3] Rogers, Rogers modificado, CSUS, NBR 7274, IEC 60599, Triângulo Duval e CSUS.^[4] Nas últimas décadas, a Lógica Fuzzy vem sendo utilizada em estudos para auxílio no diagnóstico de falhas em transformadores de potência, como mostram Lin, Ling e Huang,^[5] Zhange col.^[6] e Guardadoe col.^[7] Neste trabalho utiliza-se a Lógica Fuzzy como suporte à manutenção, modelando diagnóstico através de dados e informações numéricas, ao usar-se regras geradas a partir dos critérios IEC, IEC-Neural CEPEL e Doernenburg que, processadas, geram resultados que são agregados e “defuzzyficados”.

METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida neste artigo prevê Diagnóstico de Análise dos Gases Dissolvidos (DGA) no Óleo Mineral Isolante do Transformador, na identificação de falhas ou sua data provável. Os gases analisados podem ser combustíveis (hidrogênio - H₂, metano - CH₄, acetileno - C₂H₂, etileno - C₂H₄, etano - C₂H₆ e monóxido de carbono – CO) ou não combustíveis (oxigênio - O₂, nitrogênio - N₂ e dióxido de carbono - CO₂).

A. Critério IEC

O critério da IEC é usado como método básico na detecção do tipo e gravidade da falha incipiente, estudando a causa dos gases produzidos na deterioração do óleo. Conforme a norma IEC 599-78,^[1] algumas relações chaves para o diagnóstico são codificadas (Tabela 1) e analisadas (Tabela 2). Ressalta-se que a quantidade absoluta dos gases dissolvidos no óleo isolante não indica falha. Se analisada isoladamente, não nos informa o estágio real das condições dos materiais do transformador de potência. Contudo, a velocidade com que os gases são formados é informação segura do estágio em dos materiais.

B. Critério IEC-Neural Cepel

O Centro de Pesquisas de Eletricidade (CEPEL), mostra em Cheim, Varela, e Isaias^[2] critério de avaliação complementar ao do IEC, denominado IEC-Neural Cepel (mostrado na Tabela 3).

C. Método de Doernenburg

Baseia-se em diagnósticos genéricos para a identificação de pontos quentes, descargas elétricas (não descargas internas) e descargas parciais, que há em bolhas de ar. Determinam falhas incipientes. O método é descrito na ANSI/IEEE C57.104,^[8] e baseia-se na relação entre os gases acima listados. Utilizam-se quatro relações (Tabela 4) entre esses gases A primeira: CH₄ com H₂. A segunda: C₂H₂ com o C₂H₄. A terceira: C₂H₆ com C₂H₂, e a quarta entre o C₂H₂ e o CH₄.

Tabela 1. Codificações IEC 599 -78

$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	< 0,1	Código 0
	0,1 ≤ a < 1	Código 1
	1 ≤ a < 3	Código 1
	≥ 3	Código 2
$\frac{CH_4}{H_2}$	< 0,1	Código 1
	0,1 ≤ a < 1	Código 0
	1 ≤ a < 3	Código 2
	≥ 3	Código 2
$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	< 0,1	Código 0
	0,1 ≤ a < 1	Código 0
	1 ≤ a < 3	Código 1
	≥ 3	Código 2

Tabela 2. Código para análise de gases dissolvidos no óleo isolante – IEC 599-78

Falha Característica	Código
Operação Normal	0 0 0
Descargas parciais de baixa energia	0 1 0
Descargas parciais de alta energia	1 1 0
Arco de baixa energia	1-2 0 1-2
Arco de alta energia	1 0 2
Falha térmica leve (T < 150 °C)	0 0 1
Falha térmica de baixa temperatura (150 ≤ T < 300) °C	0 2 0
Falha térmica de média temperatura (300 ≤ T < 700) °C	0 2 1
Falha térmica de alta temperatura (T ≥ 700 °C)	0 2 2

INTERPRETAÇÃO DAS REGRAS

A Lógica Fuzzy é ferramenta adequada para mapear-se um espaço de entradas em um espaço de saídas. Tem como vantagens: fácil aprendizagem, flexibilidade de manipulação, boa tolerância a imprecisão dos dados e utilização de experiência de outros casos na construção de sua base de regras e análises. Calculam-se as relações gasosas descritas por lógicas desenvolvidas no programa MATLAB^[9] e utilizam-se estas lógicas na obtenção diagnóstico mais preciso na detecção de falhas incipientes no transformador.

Para construção do modelo que será utilizado neste estudo, utilizou-se como exemplo um pequeno número de regras para ajustar os valores de entrada e saída de dados. Apresenta-se na Figura 1 um simples exemplo da definição destas regras. Na Figura 2, exemplo da utilização deste banco de regras é citado, com análise para concentração de gases (CG) igual a 1,5, obtendo-se valor de alta pertinência ($\mu=1$). Com os dados e informações numéricas encontrados, utilizam-se as regras que são processadas em paralelo. Os resultados são agregados e defuzzyficados. A Figura 3 ilustra um exemplo de bloco de resultados.

Para entendimento deste exemplo, com um valor de diagnóstico fuzzy igual a 46,2 obtêm-se diagnóstico de falha pouco provável (FPV) e algum indício de falha com

pertinências iguais a 0,38 e 0,9 ($\mu = 0,38$ e $\mu = 0,9$), onde a implicação resultante será o valor de pertinência maior, ilustrado na Figura 4.

Tabela 3. Tabela IEC-Neural Cepel

$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	Diagnóstico
Baixa	Baixa	Baixa	Descarga Parcial Baixa
Baixa	Baixa	Média	Descarga Parcial *
Baixa	Baixa	Alta	Descarga Arco *
Baixa	Média	Baixa	Sem Falhas
Baixa	Média	Média	Térmica Muito Baixa
Baixa	Média	Alta	Térmica Baixa *
Baixa	Alta	Baixa	Térmica Baixa
Baixa	Alta	Média	Térmica Alta
Baixa	Alta	Alta	Térmica Muito Alta
Média	Baixa	Baixa	Descarga Parcial Alta
Média	Baixa	Média	Descarga Arco Baixa*
Média	Baixa	Alta	Descarga Arco Alta*
Média	Média	Baixa	Descarga Parcial Alta*
Média	Média	Média	Descarga Arco Baixa
Média	Média	Alta	Descarga Arco Alta
Média	Alta	Baixa	Sem Falhas *
Média	Alta	Média	Térmica Alta *
Média	Alta	Alta	Descarga Arco *
Alta	Baixa	Baixa	Descarga Parcial Baixa *
Alta	Baixa	Média	Descarga Arco Baixa *
Alta	Baixa	Alta	Descarga Arco Baixa *
Alta	Média	Baixa	Descarga Parcial Baixa *
Alta	Média	Média	DESCARGA ARCO BAIXA*
Alta	Média	Alta	Descarga Arco Baixa
Alta	Alta	Baixa	Sem Falhas
Alta	Alta	Média	Térmica Alta *
Alta	Alta	Alta	Térmica Alta *

* Complemento de diagnóstico inserida pelo CEPEL ao método IEC.

Tabela 4. Critério de Doernenburg

Tipo de Falha	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{C_2H_6}{C_2H_4}$	$\frac{C_2H_2}{CH_4}$
Pontos Quentes	> 0,01	<1	> 0,2	<0,1
Descargas Elétricas (exceto internas)	0,01 a 0,1	>1	< 0,2	< 0,1
Descargas internas	< 0,1	—	> 0,2	< 0,1

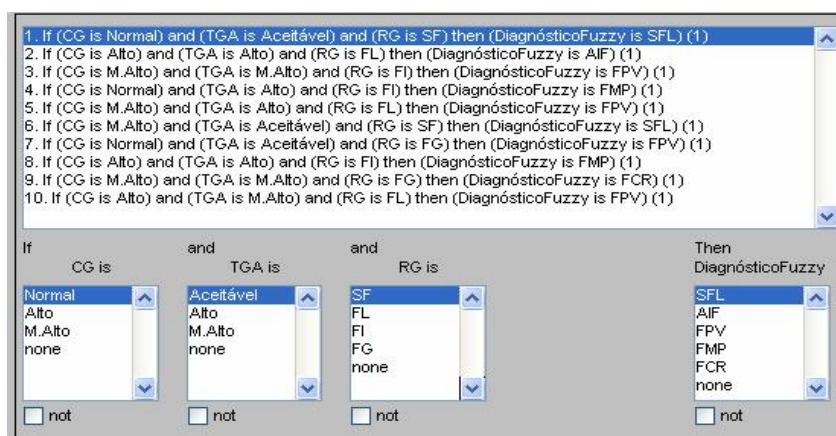


Figura 1. Editor de Regras

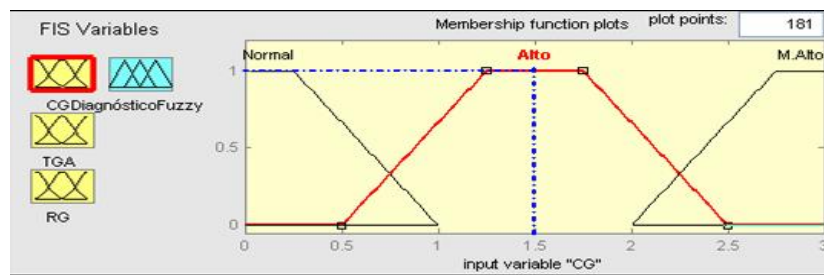


Figura 2. Valor de pertinência para CG igual a 1,5

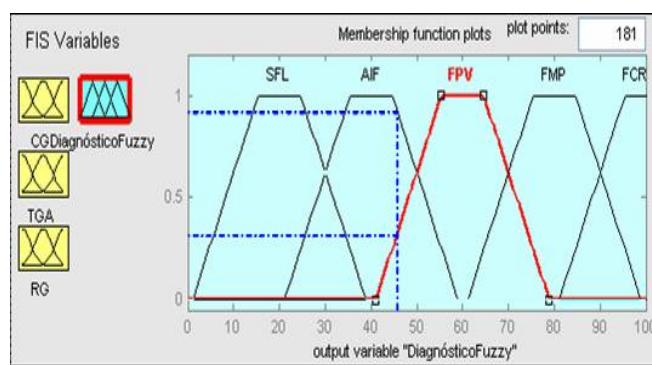


Figura 3. Resultado do diagnóstico fuzzy (exemplo)

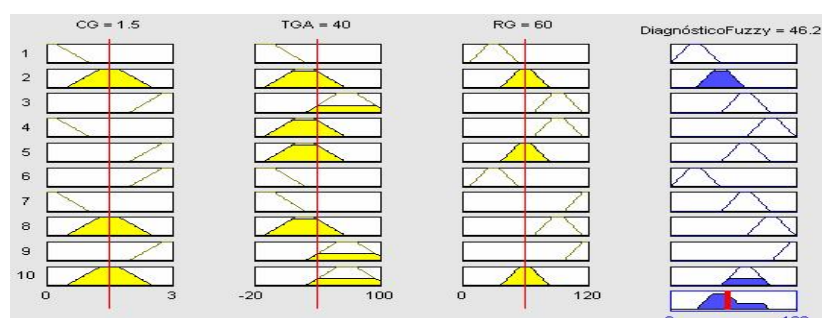


Figura 4. Valor de pertinência para diagnóstico igual a 46,2

Estudo de Casos

Para comprovação da eficácia dos métodos de análise e diagnósticos desenvolvidos neste artigo, efetuaram-se análises em sete transformadores: quatro de 62,5 MVA, 138/13,8 kV, fabricante TUSA e tempo de uso de 25 anos, em operação em uma indústria metalúrgica (transformadores 1,2,3 e 4) e outros três de 7,5 MVA, 138/13,8 kV, fabricante ABB e tempo de uso de 10 anos. Destacam-se os seguintes pontos:

- Entre as pertinências encontradas, a de valor maior será à saída do conjunto.
- Compararam-se os resultados obtidos pelos critérios da IEC, IEC- Neural e Doernenburg, com os propostos pela empresa responsável pela manutenção.

Analisam-se as variáveis: Concentração de Gases (NG), Taxa de Geração Anormal (TG) e Relação Gasosa (RG). O cálculo de NG, TG e RG, com respectivas pertinências, seguem-se descritos:

$$NG = \frac{(\text{valor do gás na data recente})}{(\text{valor limite do gás})} \quad \text{com} \quad \mu = \frac{1}{1 + \left| \frac{NG - \text{centro}}{0,5} \right|^3}$$

A variável centro é o valor central da curva gaussiana arbitrária. Para cada conjunto fuzzy da NG, centro tem um valor diferente, pelos seguintes critérios: Normal → centro = 0,5; Alto → centro = 1,5 e Muito Alto → centro = 2,5. A variável TG é dada por:

$$TG = \frac{(\text{concentração atual} - \text{concentração anterior}) \times 30}{(\text{intervalo de tempo} \times \text{concentração anterior})} \times 100\% , \text{ com}$$

$$\mu = \frac{1}{1 + \left| \frac{TG - \text{centro}}{20} \right|^3}$$

onde a variável centro é também o valor central da curva gaussiana arbitrária. Para cada conjunto fuzzy da TG, centro tem um valor diferente, pelos critérios:

Aceitável → centro = -10; Importante → centro = 30 e Perigosa → centro = 70.

Para o cálculo de RG, analisam-se as relações gasosas oriundas das redes neurais do IEC-CEPEL. Em cada diagnóstico arbitra-se uma nota, conforme o grau de pertinência da falha. Por exemplo, se a falha é térmica de baixa intensidade, a nota atribuída é 40 (quando TG < 10% de variação) ou 55 (para TG > 10% de variação). A nota é 90 se a falha térmica for alta. Desta forma, constituem-se os conjuntos fuzzy para as relações gasosas encontradas. Adotam-se neste estudo os conjuntos: Sem falha (SF), Falha Leve (FL), Falha importante (FI) e Falha Grave (FG). Após definir-se o valor de RG, calcula-se sua pertinência μ como se segue:

$$\mu = \frac{1}{1 + \left| \frac{RG - \text{centro}}{12,5} \right|^3}$$

onde centro é também o valor central da curva gaussiana arbitrária. Para cada conjunto fuzzy da RG, centro tem valores pelos critérios: Sem Falha → centro = 25; Falha Leve → centro = 50; Falha Importante → centro = 75 e Falha Grave → centro = 100. Após calcular-se a pertinência de todos os conjuntos fuzzy, utiliza-se a regra de inferência do Max-Min, para obtenção da saída.

Tabela 5. Valores calculados de TG, NG e RG

Transformador	Período Analisado	TG	NG	RG
1	22/08/01 – 28/10/02	4,5677	1	40
2	30/10/01 – 28/10/02	6,9646	0,8396	20
3	31/07/00 – 18/09/00	14,7117	0,888	55
4	13/04/99 – 14/05/99	-19	0,7319	55
5	14/11/97 – 20/08/98	-3,4167	0,7157	5
6	20/07/98 – 14/01/99	20,87	0,8762	70
7	08/12/98 – 11/08/99	-1,8468	0,7785	80

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados dos cálculos das pertinências.

Tabela 6. Pertinências Calculadas

Trafo	Periodo	TG	NG	RG
1	22/08/01 à 28/10/02	$\mu = 0,7213$	$\mu = 0,5$	$\mu = 0,3666$
		$\mu_2 = 0,3272$	$\mu_2 = 0,5$	$\mu_2 = 0,6614$
		$\mu_3 = 0,0278$	$\mu_3 = 0,0357$	$\mu_3 = 0,0436$
				$\mu_4 = 0,0090$
2	30/10/01 à 28/10/02	$\mu = 0,6210$	$\mu = 0,7615$	$\mu = 0,9398$
		$\mu_2 = 0,3956$	$\mu_2 = 0,3026$	$\mu_2 = 0,0675$
		$\mu_3 = 0,0310$	$\mu_3 = 0,0266$	$\mu_3 = 0,0116$
				$\mu_4 = 0,0038$
3	31/07/00 à 18/09/00	$\mu = 0,3465$	$\mu = 0,6815$	$\mu = 0,0675$
		$\mu_2 = 0,6912$	$\mu_2 = 0,3529$	$\mu_2 = 0,9398$
		$\mu_3 = 0,0452$	$\mu_3 = 0,0290$	$\mu_3 = 0,1962$
				$\mu_4 = 0,0210$
4	13/04/99 à 14/05/99	$\mu = 0,7833$	$\mu = 0,9093$	$\mu = 0,0116$
		$\mu_2 = 0,0509$	$\mu_2 = 0,2162$	$\mu_2 = 0,0675$
		$\mu_3 = 0,0098$	$\mu_3 = 0,0221$	$\mu_3 = 0,9398$
				$\mu_4 = 0,1962$
5	14/11/97 à 20/08/98	$\mu = 0,9656$	$\mu = 0,9257$	$\mu = 0,0210$
		$\mu_2 = 0,1765$	$\mu_2 = 0,2058$	$\mu_2 = 0,1962$
		$\mu_3 = 0,0198$	$\mu_3 = 0,0215$	$\mu_3 = 0,9398$
				$\mu_4 = 0,0675$
6	29/07/98 à 14/01/99	$\mu = 0,2138$	$\mu = 0,7013$	$\mu = 0,0210$
		$\mu_2 = 0,9131$	$\mu_2 = 0,3399$	$\mu_2 = 0,0210$
		$\mu_3 = 0,0632$	$\mu_3 = 0,0284$	$\mu_3 = 0,9398$
				$\mu_4 = 0,0975$
7	08/12/98 à 11/08/99	$\mu = 0,9366$	$\mu = 0,8526$	$\mu = 0,0116$
		$\mu_2 = 0,1985$	$\mu_2 = 0,2497$	$\mu_2 = 0,0975$
		$\mu_3 = 0,211$	$\mu_3 = 0,239$	$\mu_3 = 0,9398$
				$\mu_4 = 0,1962$

Análise dos Resultados

Transformador 1

Para o transformador 1 encontrou-se a maior pertinência de 0,9, caracterizando-se Falha Provável (FPV). Na Tabela 7 ilustra-se os resultados da análise Neural e o laudo da empresa responsável pela Manutenção.

Tabela 7. Comparações de Resultados do Transformador 1

Critério	Resultado
IEC	Falha Térmica leve ($T < 150^\circ\text{C}$)
IEC Neural	Térmica Baixa
Doernenburg	Descarga Interna
Empresa MNT	Os resultados indicam ocorrência de ligeiro sobreaquecimento envolvendo óleo isolante, sem problemas para a operação do transformador, sugerindo-se amostragem dentro de 6 meses

Transformador 2

Para o transformador 2 encontrou-se maior pertinência de 0,91, caracterizando-se algum indício de falha (AIF). Ilustra-se na Tabela 8 ilustra os resultados encontrados na análise Neural e o laudo da empresa responsável pela Manutenção.

Tabela 8. Comparações de Resultados do Transformador 2

Critério	Resultado
IEC	Falha Térmica leve ($T < 150^{\circ}\text{C}$)
IEC Neural	Térmica Muito Baixa
Doernenburg	Descarga Interna
Empresa MNT	Os resultados indicam que o equipamento opera sob condições normais

Transformador 3

Para o transformador 3 encontrou-se maior pertinência de 0,8, caracterizando-se falha provável (FPV). Ilustra-se na Tabela 9 os resultados encontrados na análise Neural e o laudo da empresa responsável pela Manutenção.

Tabela 9. Comparações de Resultados do Transformador 3

Critério	Resultado
IEC	Falha Térmica leve ($T < 150^{\circ}\text{C}$)
IEC Neural	Térmica Baixa
Doernenburg	Descarga Interna
Empresa MNT	Os resultados indicam a ocorrência de arco elétrico envolvendo óleo isolante, comprometendo a operação do transformador, sugere-se reamostragem dentro de 1 mês.

Transformador 4

Para o transformador 4 encontrou-se maior pertinência de 0,9, caracterizando-se Falha Muito Provável (FMP). Ilustra-se na Tabela 10 os resultados encontrados na análise Neural e o laudo da empresa responsável pela Manutenção.

Tabela 10. Comparações de Resultados do Transformador 4

Critério	Resultado
IEC	Falha Térmica leve ($T < 150^{\circ}\text{C}$)
IEC Neural	Térmica Baixa
Doernenburg	Descarga Interna
Empresa MNT	Os resultados indicam a ocorrência de arco elétrico envolvendo óleo isolante, exigindo atenção no acompanhamento de operação do transformador, sugere-se reamostragem em 3 meses.

Transformador 5

Para o transformador 5 encontrou-se maior pertinência de 0,9, caracterizando-se Falha Provável (FPV). Ilustra-se na Tabela 11 os resultados encontrados na análise Neural e o laudo da empresa responsável pela Manutenção.

Tabela 11. Comparações de Resultados do Transformador 5

Critério	Resultado
IEC	Falha Térmica leve ($T < 150^{\circ}\text{C}$)
IEC Neural	Térmica Baixa
Doernenburg	Descarga Interna
Empresa MNT	Os resultados indicam que o equipamento opera em condições normais. Sugerimos reamostragem dentro de 12 meses

Transformador 6

Para o transformador 6 encontrou-se maior pertinência de 0,91, caracterizando-se Falha Provável (FPV). Ilustra-se na Tabela 12 os resultados encontrados na análise Neural e o laudo da empresa responsável pela Manutenção.

Tabela 12. Comparações de Resultados do Transformador 6

Critério	Resultado
IEC	Térmica Muito Baixa
IEC Neural	Térmica Muito Baixa
Doernenburg	Descarga Interna
Empresa MNT	Os resultados indicam que o equipamento opera sob condições normais.

Transformador 7

Para o transformador 7 encontrou-se maior pertinência de 0,8, caracterizando-se Falha Provável (FPV). Ilustra-se na Tabela 13 os resultados encontrados na análise Neural e o laudo da empresa responsável pela Manutenção.

Tabela 13. Comparações de Resultados do Transformador 7

Critério	Resultado
IEC	Térmica Baixa (T <150°C)
IEC Neural	Térmica Baixa
Doernenburg	Descarga Interna
Empresa MNT	Os resultados indicam a ocorrência de ligeiro sobreaquecimento envolvendo óleo isolante, sem problemas para a operação do transformador, Sugerimos reamostragem dentro de 6 mês.

CONCLUSÕES

A comparação entre a análise de consultores externos e o diagnóstico da ferramenta inteligente foram próximos e em todos os casos os resultados encontrados mais criteriosos, confirmando-se que a mesma pode ser utilizada como suporte às atividades de manutenção, possuindo a vantagem de gerar relatórios e apresentar comparações de forma mais rápida. Os sete casos analisados foram escolhidos aleatoriamente de um universo de mais de 200 transformadores de indústrias do ramo metalúrgico e de alimentos, para comprovar o eficácia do banco de dados. A ferramenta apresenta pode ser utilizada em apoio a qualquer sistema de gerenciamento de manutenção e ser implementado para utilização da equipe de manutenção através de programa em Visual Basic. Existe a possibilidade de regras especiais serem incrementadas ao sistema, quando por exemplo, desejar-se testar um material ou condição de funcionamento do equipamento, o que demonstra a versatilidade e aplicabilidade do método. A técnica e base de dados utilizadas neste trabalho são expansíveis para outros critérios e normas, bem como, a outros equipamentos do sistema elétrico que utilizem óleo isolante em suas partes, como Transformadores de Potencial e Comutadores de Tap sob Carga (LTC).

REFERÊNCIAS

- 1 INTERNATIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 599-78: Interpretation of the Analysis of Gases in Transformers and Other Oil-Filled Electrical Equipment in Operation.** 1978.
- 2 CHEIM, L.; VARELLA,V.; ISAIAS,D. **Determinação dos níveis normais de gases dissolvidos no óleo isolante de grandes transformadores da CHESF.** Relatório Técnico DPP-TEQ 303/98. Rio de Janeiro: CEPEL, 1998.
- 3 ABRITA, R.M. ; DOMINGUETI JUNIOR,A. C. **Análise do Óleo Isolante de Transformador Utilizando Sistema Inteligente.** Trabalho de Conclusão do

Curso de Engenharia Elétrica. Vassouras: Universidade Severino Sombra, 2005. 59 p.

- 4 GUARDADO,J.L.; NAREDO,J.L.; MORENO,P.; FUERTE,C.R., **A Comparative Study of Neural Network Efficiency in Power Transformers Diagnosis Using Dissolved Gas Analysis**,In: IEEE Trans. On Power Delivery, v.16, p. 643-647,2001.
- 5 LIN,C.E.;LING,J.M.;HUANG,C.L.,**An Expert System for Transformer Fault diagnosis Using Dissolved Gas Analysis**, In:IEEE Trans. On Power Delivery, v. 8, p.231-238,1993.
- 6 ZHANG,Y.; DING,X.; LIU,Y.; GRIFFIN,P.J., **An Artificial Neural Network Approach to Transformer Fault Diagnosis**, In: IEEE Trans. On Power Delivery, v. 11, p. 1836-1841, 1996.
- 7 AMERICAN NATION STANDARDS INSTITUTE. **ANSI/IEEE C57.104-1978 IEEE Guide for the Detection and Determination of Generated Gases in Oil-Immersed Transformers and their relation to the Serviceability of the Equipment**. Washington D.C., 1978.
- 8 HANSELMAN,D.; LITTLEFIELD,B. **MATLAB 5 Versão do Estudante**. São Paulo: Makron Books, 1999.
- 9 MORAIS, D.R.; ROLIM, J.G. **A Neural Network for Detection of Incipient Faults in Transformers Based on the Dissolved Gas Analysis of Insulating Oil**, In: VI INDUSCON Conferência Internacional de Aplicações Industriais, 2004.
- 10 DUVAL, M. **A Review of Faults Detectable by Gas-in-Oil Analysis in Transformers**, In: IEEE Electrical Insulation Magazine, v.18, p.8-17, 2002.
- 11 HUANG, Y.C., **Condition assessment of power transformers using genetic-based neural networks**, In: IEE Proceedings – Science, Measurement and Technology, v. 150, p. 19-24, 2003.