

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

BRUNO MATEUS CHIARELLO DOS SANTOS

**UM ESTUDO DE CASO DA ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DE
MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE ÓLEO MINERAL ISOLANTE EM
TRANSFORMADORES DA REDE BÁSICA PARA DETERMINAÇÃO
DE MODOS DE FALHA**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

BRUNO MATEUS CHIARELLO DOS SANTOS

**UM ESTUDO DE CASO DA ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DE
MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE ÓLEO MINERAL ISOLANTE EM
TRANSFORMADORES DA REDE BÁSICA PARA DETERMINAÇÃO
DE MODOS DE FALHA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador:
Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2023.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Santos, Bruno Mateus Chiarello

Um estudo de caso da análise de convergência de métodos de diagnóstico de óleo mineral isolante em transformadores da rede básica para determinação de modos de falha / Bruno Mateus Chiarello Santos; orientação de Everthon Taghori Sica. - Florianópolis, SC, 2023.

52 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Inclui Referências.

1. Manutenção Preditiva. 2. Transformadores de Potência. 3. Análise Cromatográfica. 4. Sistema de Suporte à Decisão. 5. Multicritério. I. Sica, Everthon Taghori. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Título

UM ESTUDO DE CASO DA ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DE MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE ÓLEO MINERAL ISOLANTE EM TRANSFORMADORES DA REDE BÁSICA PARA DETERMINAÇÃO DE MODOS DE FALHA

BRUNO MATEUS CHIARELLO DOS SANTOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 26 de junho, 2023.

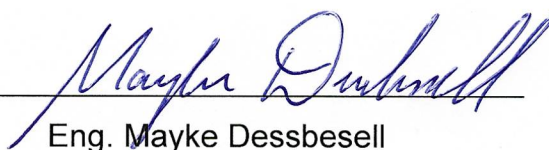
Banca Examinadora:



Prof. Everthon Taghori Sica, Dr. Eng.



Prof. Vitor Farias de Borba, M. Eng.



Eng. Mayke Dessbesell

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo de sistema de suporte à decisão para o diagnóstico de óleo mineral isolante em transformadores de potência da Rede Básica do Sistema Elétrico Brasileiro. O objetivo é fornecer subsídios para decisões estratégicas de manutenção no âmbito de determinação de modos de falha. Existem diversas normativas e metodologias complementares para este diagnóstico, sendo os principais: ABNT NBR 7274, IEC 60599, Triângulo de Duval e Pentágono de Duval. A análise cromatográfica é um meio eficiente de manutenção preditiva, que identifica a quantidade de gases presentes no óleo mineral isolante e indica gases provenientes de combustão. O código computacional implementado em VBA para o estudo de caso pautado no modelo proposto associa a convergência dos resultados de cada método, permitindo determinar intervalos de consideração de falha e auxiliando o planejamento da manutenção.

Palavras-chave: Manutenção Preditiva. Transformadores de Potência. Análise Cromatográfica. Sistema de Suporte à Decisão. Multicritério.

ABSTRACT

This conclusion work presents a decision support system model for the diagnosis of insulating mineral oil in power transformers of the Brazilian Basic Electric System. The objective is to provide support for strategic maintenance decisions in the determination of failure modes. There are several complementary standards and methodologies for this diagnosis, including the main ones: ABNT NBR 7274, IEC 60599, Duval Triangle, and Duval Pentagon. Chromatographic analysis is an efficient means of predictive maintenance, which identifies the amount of gases present in the insulating mineral oil and indicates combustion-derived gases. The computational code implemented in VBA for the case study based on the proposed model associates the convergence of the results from each method, allowing the determination of failure consideration intervals and assisting in maintenance planning.

Keywords: Predictive Maintenance. Power Transformers. Chromatographic Analysis. Decision Support System. Multicriteria.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	Definição do Problema	7
1.2	Justificativa	8
1.3	Objetivos.....	9
1.3.1	Objetivo Geral	9
1.3.2	Objetivos Específicos	9
1.4	Metodologia de trabalho.....	10
1.5	Estrutura do trabalho.....	10
	REFERÊNCIAS	11
	APÊNDICES	12
	APÊNDICE A – Artigo completo.....	13
	APÊNDICE B – Comprovante de apresentação	22
	APÊNDICE C – Slides apresentados no congresso	27
	ANEXOS	36
	ANEXO A – Folder de chamada do congresso	37

1 INTRODUÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem o objetivo de consolidar os conhecimentos adquiridos durante o curso e desenvolver as competências e habilidades que constituem o perfil do egresso, sendo parte obrigatória da matriz curricular do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, do Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia (IFSC), Câmpus Florianópolis.

As formas de TCC permitidas, conforme o Projeto Pedagógico do Curso e o Regulamento de TCC do Curso de Engenharia Elétrica do IFSC – Câmpus Florianópolis (IFSC, 2018, 2019) são as seguintes:

1. Apresentação de monografia;
2. Publicação e apresentação de artigo em evento nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica; ou
3. Publicação de artigo em periódico nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica.

Nesse sentido, este trabalho se enquadra na forma nº 2 - Publicação e apresentação de artigo em evento nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica.

Outrossim, ressalta-se o cumprimento dos requisitos obrigatórios descritos nos Regulamentos de TCC do IFSC Câmpus Florianópolis e do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, em especial, a saber:

- O acadêmico cursou e foi aprovado na unidade curricular de TCC-I no primeiro semestre de 2021;
- O acadêmico em conjunto com seu orientador submeteu o artigo intitulado “Um estudo de caso da análise de convergência de métodos de diagnóstico de óleo mineral isolante em transformadores da rede básica para determinação de modos de falha” (Apêndice A) para o XIX Encontro Regional Ibero-americano do CIGRE – ERIAC;
- O aceite do artigo pelo congresso ocorreu no dia 21 de março de 2023, enquanto o acadêmico já havia finalizado TCC-I;

- O acadêmico apresentou o artigo no congresso no dia 24 de maio de 2023 (Apêndice B);
- O congresso foi considerado pertinente e relevante à área de Engenharia Elétrica com a anuência do coordenador do curso e do docente orientador.

Portanto, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) atente a todos os requisitos exigidos nos regulamentos e diretrizes do IFSC – Câmpus Florianópolis e do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica para que possa ser realizada a defesa pública do trabalho.

1.1 Definição do Problema

Os transformadores de potência são máquinas elétricas fundamentais para o funcionamento do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) e possuem quatro partes principais: o núcleo, os enrolamentos, o tanque e a parte ativa. A isolação dos enrolamentos é essencial para garantir a integridade operativa dos equipamentos, sendo usado óleo mineral isolante para refrigeração e isolação. Entretanto, devido ao calor gerado em condições normais de operação, a degradação térmica pode ocorrer na isolação dos enrolamentos.

Para evitar falhas nos equipamentos, são realizadas manutenções preditivas, como a análise cromatográfica ou análise de gases dissolvidos, que identificam a quantidade de gases presentes no óleo mineral isolante, indicando gases provenientes de combustão e determinando a possível criação de gases combustíveis. Essas análises são coletadas durante a operação e são não-destrutivas, mantendo a confiabilidade operativa do sistema (BECHARA, 2010).

A ANEEL (2021), por meio do Módulo 4 das Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica, estabelece que as análises cromatográficas em óleo mineral isolante em equipamentos da Rede Básica (RB) fazem parte dos Requisitos Mínimos de Manutenção (RMM) e devem ser executadas com periodicidades máximas de 6 meses. A análise de gases dissolvidos tem o objetivo de identificar possíveis problemas internos no transformador e avaliar sua integridade para tomada de medidas preventivas.

Entretanto, o diagnóstico do óleo mineral isolante pode considerar diversas normativas técnicas nacionais e internacionais, juntamente com metodologias complementares, tais como ABNT NBR 7274, IEC 60599, Triângulo de Duval e Pentágono de Duval. Todavia, a aplicação dessas metodologias para a interpretação dos resultados das análises de gases dissolvidos pode ser extremamente demorada para a equipe de engenharia de manutenção, além de não oferecer uma priorização eficiente das ações corretivas, especialmente diante de um grande número de equipamentos.

Dessa forma, como alternativa para obtenção de diagnósticos assertivos, é proposto um modelo de Sistema de Suporte à Decisão (SSD) com a finalidade de apresentar ao usuário um diagnóstico que associa a convergência dos métodos de interpretação (ABNT NBR 7274, IEC 60599, Triângulo de Duval e Pentágono de Duval). O modelo de SSD proposto proporciona análise da convergência dos resultados de cada método e consubstancia o planejamento da manutenção, possibilitando determinar intervalos de consideração para a realização de manutenções preventivas.

1.2 Justificativa

A maioria dos agentes de transmissão que realizam análise de gases dissolvidos de forma *off-line* dependem dos diagnósticos fornecidos por laboratórios credenciados, os quais seguem a interpretação dos resultados baseados na ABNT NBR 7274. Dado o papel crucial dos transformadores na Rede Básica, é fundamental analisar a convergência dessa norma brasileira a fim de identificar seu intervalo de aplicabilidade e os modos de falha característicos associados a ela.

Nesse sentido, usufrui-se da análise da convergência da interpretação da ABNT NBR 7274, dos métodos complementares e da implementação do modelo proposto para apresentar os modos de falha característicos de cada método, possibilitando sua comparação. Diante disso, julga-se viável a implementação metodologia de Sistema de Suporte à Decisão (SSD) Multicriterial para realizar a priorização de manutenções corretivas a partir de critérios de interpretação da análise de gases dissolvidos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar e implementar um modelo de sistema de suporte à decisão para análise de convergência dos métodos de diagnóstico de resultados em transformadores de potência da Rede Básica (RB) do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB), a fim de proporcionar subsídios para decisões estratégicas de manutenção no âmbito de determinação de modos de falha.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral definido, podem ser listados os seguintes objetivos específicos:

- a) analisar a convergência da interpretação de resultados de análise de gases dissolvidos pela ABNT NBR 7274;
- b) apresentar os diagnósticos complementares de Triângulo e Pentágono de Duval;
- c) implementar ferramenta para determinação automática de modos de falha segundo metodologias definidas;
- d) estabelecer metodologia para aplicação de sistema de suporte à decisão pautados nos métodos de interpretação;
- e) elencar critérios e indicadores para o sistema de suporte à decisão;
- f) implementar modelo de sistema de suporte à decisão para priorização de manutenções corretivas; e
- g) elaborar *dashboard* interativo com apresentação do histórico de análises de óleo mineral isolante, modos de falha conforme metodologias e sistema de suporte à decisão implementado.

1.4 Metodologia de trabalho

A metodologia científica aplicada foi a exploratória, como a busca e leitura de artigos científicos, teses, dissertações e demais trabalhos acadêmicos tendo como base os repositórios a IEEE e a ELSEVIER.

A metodologia de trabalho implementada foi por validação de convergência de métodos de diagnóstico da análise de gases dissolvidos no óleo mineral isolante e pela aplicação do modelo de sistema de suporte à decisão. Para tanto, são apresentados critérios e indicadores para determinação de modos de falha conforme definições da ABNT NBR 7274 com uma finalidade de estabelecer a análise de convergência normativa. Embasados pela definição da normativa brasileira, é promovida uma análise de metodologias de interpretação complementares, como Triângulo e Pentágono de Duval.

Com a análise de convergência e a operacionalização dos métodos de diagnóstico, é proposta uma metodologia de Sistema de Suporte à Decisão Multicriterial que considera as metodologias abordadas para implementação de um *Dashboard* interativo com indicativo de priorização de manutenções corretivas.

1.5 Estrutura do trabalho

Na Introdução apresenta-se a fundamentação legal e regulatória de enquadramento e os requisitos desta forma de TCC, assim como a definição do problema, a justificativa, os objetivos geral e específicos e a metodologia de trabalho.

No Apêndice A é apresentado o artigo completo, sendo que os comprovantes da apresentação do artigo no congresso, tais como fotos e certificado de participação e apresentação, estão no Apêndice B. No Apêndice C têm-se os slides de apresentação do artigo no congresso. E, por fim, no Anexo A tem-se o folder de chamada para apresentação dos artigos pelo congresso.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica**: Módulo 4 – Prestação dos Serviços. Brasília: ANEEL, 2021.

BECHARA, Ricardo. **Análise de Falhas em Transformadores de Potência**. Dissertação (mestrado). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, 2010.

IFSC. **Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**. Florianópolis, 2018. Disponível em: http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/eletrica/files/2018/11/PPC_Eng_Elétrica_DAE_CF_IFSC_2018_v2.6.1.pdf. Acesso em: 29 mai. 2019.

IFSC. **Regulamento de TCC do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**. Florianópolis, 2019. Disponível em: http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/eletrica/files/2019/05/Regulamento_TCC_EEL_CF_IFSC_2019.pdf. Acesso em: 29 mai. 2019.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Artigo completo

Comitê de Estudos A2 – Transformadores e Reatores
UM ESTUDO DE CASO DA ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DE MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE ÓLEO MINERAL ISOLANTE EM TRANSFORMADORES DA REDE BÁSICA PARA DETERMINAÇÃO DE MODOS DE FALHA
B.M.C DOS SANTOS*
IFSC
Brasil
brunomchiarello@gmail.com
E.T. SICA
IFSC
Brasil
sica.eng@gmail.com

Resumo – Este artigo apresenta um modelo de sistema de suporte à decisão para o diagnóstico de óleo mineral isolante em transformadores de potência da Rede Básica do Sistema Elétrico Brasileiro. O objetivo é fornecer subsídios para decisões estratégicas de manutenção no âmbito de determinação de modos de falha. Existem diversas normativas e metodologias complementares para este diagnóstico, sendo os principais: ABNT NBR 7274, IEC 60599, Triângulo de Duval e Pentágono de Duval. A análise cromatográfica é um meio eficiente de manutenção preditiva, que identifica a quantidade de gases presentes no óleo mineral isolante e indica gases provenientes de combustão. O código computacional implementado em VBA para o estudo de caso pautado no modelo proposto associa a convergência dos resultados de cada método, permitindo determinar intervalos de consideração de falha e auxiliando o planejamento da manutenção.

Palavras-chave: Manutenção Preditiva – Transformadores de Potência – Análise Cromatográfica – Sistema de Suporte à Decisão – Multicritério

1 INTRODUÇÃO

Os transformadores de potência são máquinas elétricas fundamentais para o funcionamento do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) e possuem quatro partes principais: o núcleo, os enrolamentos, o tanque e a parte ativa. A isolamento dos enrolamentos é essencial para garantir a integridade operativa dos equipamentos, sendo usado óleo mineral isolante para refrigeração e isolamento. Entretanto, devido ao calor gerado em condições normais de operação, a degradação térmica pode ocorrer na isolamento dos enrolamentos.

Para evitar falhas nos equipamentos, são realizadas manutenções preditivas, como a análise cromatográfica ou análise de gases dissolvidos, que identificam a quantidade de gases presentes no óleo mineral isolante, indicando gases provenientes de combustão e determinando a possível criação de gases combustíveis. Essas análises são coletadas durante a operação e são não-destrutivas, mantendo a confiabilidade operativa do sistema [1].

De acordo com a Resolução Normativa ANEEL n. 906, de 8 de dezembro de 2020, as análises cromatográficas em óleo mineral isolante em equipamentos da Rede Básica (RB) fazem parte dos Requisitos Mínimos de Manutenção (RMM) e devem ser executadas com periodicidades máximas de 6 meses [2]. A análise de gases dissolvidos tem o objetivo de identificar possíveis problemas internos no transformador e avaliar sua integridade para tomada de medidas preventivas.

Entretanto, existem diversas normativas técnicas nacionais e internacionais e metodologias complementares para o diagnóstico de óleo mineral isolante, como ABNT NBR 7274, IEC 60599, Triângulo de Duval e Pentágono de Duval. Diante disso, como alternativa para obtenção de diagnósticos assertivos, é proposto um modelo de Sistema de Suporte à Decisão (SSD) com a finalidade de apresentar ao usuário um diagnóstico que associa a convergência dos métodos de interpretação (ABNT NBR 7274, IEC 60599, Triângulo de Duval e Pentágono de Duval). O modelo de SSD proposto proporciona análise da convergência dos resultados de cada método e consubstancia o planejamento da manutenção, possibilitando determinar intervalos de consideração para a realização de manutenções preventivas.

2 DIAGNÓSTICO DE GASES DISSOLVIDOS

A análise dos gases dissolvidos em transformadores é uma técnica consolidada para assegurar a integridade e o desempenho destes equipamentos e a presença de gases dissolvidos em um transformador pode indicar problemas internos, podendo resultar em interrupções no fornecimento de energia elétrica e danos graves ao equipamento [1]. As amostras de óleo isolante são analisadas por métodos químicos para determinar as concentrações de gases dissolvidos, que são gerados a partir de reações no transformador, tais como a degradação do óleo isolante, a oxidação de materiais condutores e o aquecimento do material isolante [3].

O diagnóstico de concentração de gases no líquido isolante é uma ferramenta valiosa para avaliar o estado de saúde de um transformador e tomar medidas preventivas para prevenir falhas futuras. Além disso, ajuda a garantir que o transformador esteja operando dentro dos limites especificados pelo fabricante, maximizando sua vida útil e minimizando os custos de manutenção [3]. Os resultados de gases dissolvidos apresentam a concentração de gases como:

- Hidrogênio (H_2);
- Oxigênio (O_2);
- Nitrogênio (N_2);
- Metano (CH_4);
- Monóxido de Carbono (CO);
- Dióxido de Carbono (CO_2);
- Etileno (C_2H_4);
- Etano (C_2H_6);
- Acetileno (C_2H_2);

A interpretação dos resultados das amostras em transformadores é realizada com base em normas e técnicas normatizadas e historicamente estabelecidas, tais como a ABNT NBR 7274, a IEC 60599, o Triângulo de Duval e o Pentágono de Duval. Essas normas e técnicas são fundamentais para garantir a precisão e a consistência dos resultados da análise de gases dissolvidos e para avaliar de forma eficiente o estado de saúde de um transformador.

A ABNT NBR 7274 e a IEC 60599 são normas que estabelecem os critérios para interpretação de resultados de análise de amostras de óleo isolante de transformadores e que utilizam do reconhecido método de Rogers [4]. O Triângulo de Duval e o Pentágono de Duval são técnicas de análise de gases dissolvidos que utilizam a concentração de gases dissolvidos para determinar o tipo de falha ocorrida em um transformador. Essas técnicas foram desenvolvidas a partir de estudos extensos sobre a geração de gases dissolvidos em transformadores e são amplamente utilizadas para diagnósticos precisos.

2.1 ABNT NBR 7274 e IEC 60599

A ABNT NBR 7274 é uma norma brasileira que estabelece os métodos para a determinação dos gases dissolvidos em óleos isolantes. Ela especifica as condições para a amostragem, a preparação da amostra, a análise e a interpretação dos resultados, incluindo a avaliação da qualidade do óleo isolante. A formação de gases em operação, mesmo que mínima, resulta em algum tipo de estresse no equipamento, mesmo que leve, como o envelhecimento devido à temperatura de operação. No entanto, enquanto a formação de gases estiver abaixo dos valores típicos, não pode ser considerada como indicativo de falha, mas, sim, como uma "formação de gás típica". A comparação dos níveis de geração de gases de equipamentos semelhantes pode fornecer indicações de falhas [4].

De acordo com [4], é possível determinar a provável falha interna de um equipamento elétrico baseado na estimativa da temperatura de decomposição do óleo. Quando há descargas elétricas intermitentes de alta intensidade, como arcos elétricos, a temperatura do óleo na região em questão pode atingir valores entre 700°C e 1800°C. Esta elevação de temperatura provoca a formação de acetileno, o que é indicativo de descargas elétricas internas. Segundo [5], os procedimentos e critérios adotados são baseados na IEC 60599, que utiliza a relação quantitativa entre os gases produzidos pela decomposição do óleo em diferentes condições de falha, onde as relações entre os gases característicos e as falhas prováveis do equipamento normalizadas para o padrão ABNT NBR 7274 podem ser observadas na Tabela I.

TABELA I. TABELA DE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE GASES DISSOLVIDOS [5]

Caso	Falha Característica	C_2H_2/C_2H_4	CH_4/C_4	C_2H_4/C_2H_6
DP	Descargas parciais	NS	< 0,1	< 0,2
C1	Centelhamento	0 – 0,6	0,1 – 1	< 1
D1	Descargas de baixa energia	> 1	0,1 – 0,5	> 1
D2	Descargas de alta energia	0,6 – 2,5	0,1 – 1	> 2
T1	Sobreaquecimento $t < 300^\circ C$	< 0,01	> 1	< 1

T2	Sobreaquecimento $300^{\circ}\text{C} < t < 700^{\circ}\text{C}$	$< 0,1$	> 1	$1 - 4$
T3	Sobreaquecimento $t > 700^{\circ}\text{C}$	$< 0,2$	> 1	> 4

Baseado nas relações apresentadas na Tabela I, um código computacional foi implementado em VBA para avaliar relações dos gases combustíveis condicionando aos limites inferiores para aplicação da metodologia, ou seja, o resultado da aplicação do código indica normalidade para as situações em que a taxa de evolução de gases combustíveis não estiver acima de valores típicos, quando a concentração de gases combustíveis for inferior a 400 ppm e que não apresente nenhum gás avaliado na Tabela I. Além da relação dos gases apresentados na Tabela I, a taxa de concentração de gases combustíveis (H_2 , CH_4 , CO , C_2H_4 , C_2H_6 e C_2H_2) é avaliada com base nos limites definidos na ABNT NBR 7274, assim como a relação de CO_2/CO que pode apresentar indicadores de envelhecimento de papel isolante; a relação de O_2/N_2 que indica consumo de oxigênio caracterizado por oxidação do óleo ou envelhecimento do papel; e a relação $\text{C}_2\text{H}_2/\text{H}_2$ que pode indicar eventual contaminação do óleo do tanque principal por óleo do comutador [5].

2.2 TRIÂNGULO DE DUVAL

Considerado um dos métodos mais ágeis e confiáveis, o Triângulo de Duval é um método gráfico que considera o percentual de concentração de metano (CH_4), etileno (C_2H_4) e acetileno (C_2H_2) através da interseção de 3 retas em um triângulo. O método foi consolidado a partir do estudo de diversos resultados de amostras em que foi possível determinar falhas de origem térmica e elétrica. As concentrações dos gases para avaliação são calculadas conforme Equação (1) [6]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \%C_2H_2 = \frac{100x}{x + y + z} \\ \%C_2H_4 = \frac{100y}{x + y + z} \\ \%CH_4 = \frac{100z}{x + y + z} \end{array} \right. \quad (1)$$

Em que: x é a quantidade de C_2H_2 [ppm]; y é a quantidade de C_2H_4 [ppm]; e z é a quantidade de CH_4 [ppm]

A partir dos resultados percentuais de concentração dos gases, é possível traçar as retas no Triângulo de Duval para determinar a interseção das retas e identificar as falhas, que são: descargas parciais (PD), descargas elétricas de baixa energia (D1), descargas elétricas de alta energia (D2), combinação de falha térmica e elétrica (DT), falha térmica com temperatura inferior que 300°C (T1), falha térmica com temperatura entre 300°C e 700°C (T2) e falha térmica com temperatura superior a 700°C (T3). Dessa maneira, é possível identificar a zona de falha graficamente, conforme adaptado de [6] na Fig. 1.

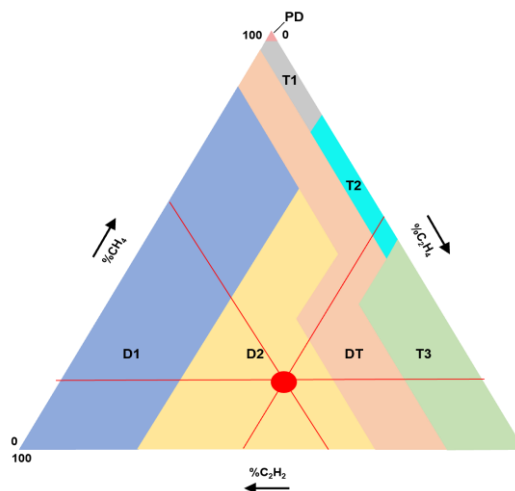


Fig. 1. Triângulo de Duval

Observa-se que o Triângulo de Duval é uma ferramenta que não avalia condições de normalidade em equipamentos, ou seja, [6] afirma que o método deve ser utilizado em resultados em que o diagnóstico de falha já foi identificado, sendo utilizado como ferramenta complementar para aumentar a assertividade. Com o objetivo de tornar ágil a identificação de falha do método, um código computacional foi implementado para indicar a falha através das zonas limítrofes do Triângulo de Duval. A implementação do código permite determinar a zona de falha através do método do Triângulo de Duval de forma indicativa, não sendo necessário realizar uma análise visual do gráfico para alcançar esse objetivo. Dessa maneira, o código torna aplicável a implementação em análises de sistemas de suporte a decisão em massa, podendo comparar o seu desempenho com o de outros métodos, como o Pentágono de Duval, por exemplo, graças à sua eficiência e praticidade.

2.3 PENTÁGONO DE DUVAL

O Pentágono de Duval é um método aprimorado do Triângulo de Duval, em que são acrescentados os gases hidrogênio (H_2) e etano (C_2H_6) e acrescenta a zona de falha de gaseificação por dispersão no óleo (S) em detrimento da zona DT que era utilizada no método anterior. Para determinação gráfica da zona de falha, é necessário identificar o percentual da concentração dos gases combustíveis conforme Equação (2) [8]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \%H_2 = \frac{100a}{a+b+c+d+e} \\ \%CH_4 = \frac{100b}{a+b+c+d+e} \\ \%C_2H_6 = \frac{100c}{a+b+c+d+e} \\ \%C_2H_4 = \frac{100d}{a+b+c+d+e} \\ \%C_2H_2 = \frac{100e}{a+b+c+d+e} \end{array} \right. \quad (2)$$

Em que: a é a quantidade de H_2 [ppm]; b é a quantidade de CH_4 [ppm]; c é a quantidade de C_2H_6 [ppm]; d é a quantidade de C_2H_4 [ppm]; e e é a quantidade de C_2H_2 [ppm]

Com os resultados apresentados, os pontos percentuais de cada gás são identificados no pentágono e todos os pontos são interligados até formar um polígono, onde o centro do polígono será o ponto da zona de falha a ser identificada, conforme apresentado nas Fig. 2(a) e 2(b).

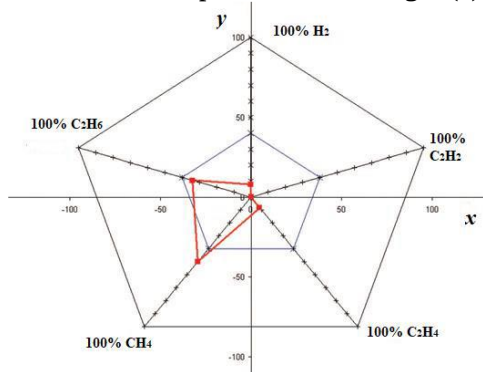


Fig. 2-(a). Área do polígono no Pentágono de Duval

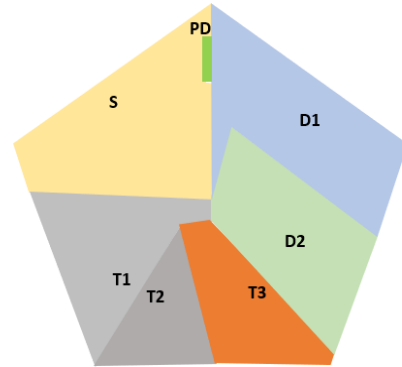


Fig. 2-(b). Pentágono de Duval

Conforme apresentado na Fig. 2(a), a identificação da zona de falha do Pentágono de Duval é possível a partir da determinação do centroide do polígono, que é determinado na Equação (3) [8]. Para plotar o ponto do centroide do polígono foi elaborado um código computacional para cálculo das coordenadas x e y . O código permite plotar, mas, no entanto, ele não é suficiente para uma interpretação em massa e otimizada. Para suprir essa necessidade, um novo código computacional foi implementado para que possa indicar qual é a zona de falha no Pentágono de Duval. Esse novo código foi estruturado de forma semelhante ao que foi feito no Triângulo de Duval e apresenta ao usuário a zona de falha já em formato textual. Ao final do processamento do código, o usuário recebe um resultado textual do tipo de falha identificada pelo método. Isso torna o processo de identificação mais preciso e rápido, pois não é mais necessário realizar cálculos complexos para traçar o polígono. O retorno textual é mais claro e eficiente, reduzindo o tempo de análise.

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (X_i * Y_{i+1} - X_{i+1} * Y_i) \\ C_x = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (X_i - X_{i+1}) * (X_i * Y_{i+1} - X_{i+1} * Y_i) \\ C_y = \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1}) * (X_i * Y_{i+1} - X_{i+1} * Y_i) \end{array} \right. \quad (3)$$

Em que: A é a área do polígono, i é o número de vértices do pentágono, X é a coordenada horizontal do ponto do percentual de gás no pentágono, Y é a coordenada vertical do ponto do percentual de gás no pentágono, C_x é a coordenada horizontal do centro do polígono e C_y é a coordenada vertical do centro do polígono.

3 ESTUDO DE CASO E METODOLOGIA PROPOSTA

Com o objetivo de otimizar a interpretação dos resultados da análise de óleo mineral isolante, uma tabela com resultados históricos foi criada. Ela inclui dados de cerca de 410 equipamentos e 1800 resultados de cromatografia gasosa, obtidos ao longo de 4 anos, utilizando os métodos descritos no tópico 2. A análise dos resultados mostrou que, devido à falta de critérios de normalidade para as técnicas de Duval, sempre haverá algum diagnóstico de falha para os equipamentos. Por outro lado, a ABNT NBR 7274 apresentou problemas de convergência em boa parte dos resultados.

Diante do exposto, propõe-se uma metodologia que estime a convergência dos 3 métodos de maneira excludente, ou seja, o diagnóstico será definido a partir de etapas. Dentre os métodos apresentados, o único de indica normalidade de amostras é o da ABNT NBR 7274, porém é o mesmo que mais apresenta dificuldades em convergir em um diagnóstico de falha. Sendo assim, a proposição de diagnóstico de falha é apresentada na Fig. 3.

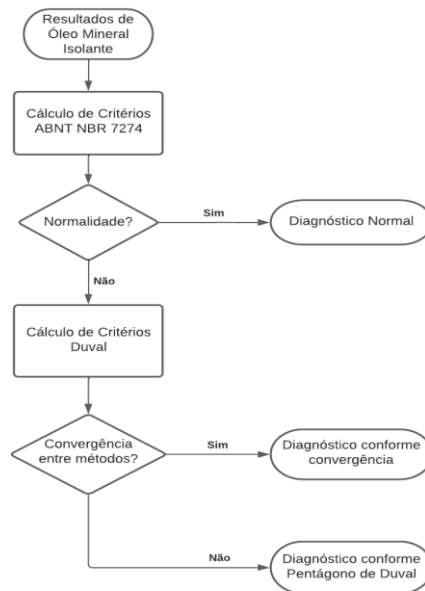


Fig. 3 – Fluxograma da metodologia proposta.

Baseado na Fig. 3, percebe-se que o diagnóstico inicial será pautado pela convergência entre mais de um método e que, caso não haja convergência entre algum dos 3 métodos e não seja indicada a normalidade dos resultados de óleo mineral isolante, o diagnóstico que prevalecerá inicialmente será do Pentágono de Duval, havendo a indicação do resultado dos demais métodos. Assim, o avaliador terá ao final do fluxo proposto um indicativo inicial de falha que deve ser aprofundada para diagnóstico técnico final.

No entanto, apesar da definição do tipo de falha predominante, é determinante que seja indicado também qual é a prioridade que deve ser dada ao referido equipamento com indicativo de falha. Sendo assim, a partir da definição inicial de um especialista, propõe-se a implementação de um método multicritério de análise de decisão para priorização de manutenção nos equipamentos. Essa metodologia para priorização será pautada pela teoria do Método de Análise Hierárquica (AHP), onde os modos de falha serão comparados par a par em condição de proporção de preferência estabelecidas pelo especialista [9].

Nesse sentido, os critérios analisados são: Taxa de Gases Combustíveis, Diagnóstico ABNT NBR 7274, Triângulo de Duval, Pentágono de Duval, em que a hierarquia é apresentada na Fig. 4.

Taxa de Gases Combustíveis			ABNT NBR 7274		
	%	$v_i(.)$		%	$v_i(.)$
TB Taxa Baixa	0,62	1,00	T1 Sobreaquecimento $t < 300^{\circ}\text{C}$	0,98	1,00
TM Taxa Média	0,87	0,91	C1 Centelhamento	1,18	0,92
TS Taxa Significativa	1,04	0,85	T2 Sobreaquecimento $300^{\circ}\text{C} < t < 700^{\circ}\text{C}$	1,20	0,91
TA Taxa Alta	2,54	0,29	D1 Descargas de baixa energia	2,12	0,54
TMA Taxa Muito Alta	3,33	0,00	DP Descargas parciais	2,54	0,37
	8,40		T3 Sobreaquecimento $t > 700^{\circ}\text{C}$	2,87	0,24
			D2 Descargas de alta energia	3,47	0,00
				14,36	

Triângulo de Duval			Pentágono de Duval		
	%	$v_i(.)$		%	$v_i(.)$
T1 Sobreaquecimento $t < 300^{\circ}\text{C}$	2,40	1,00	T1 Sobreaquecimento $t < 300^{\circ}\text{C}$	2,96	1,00
T2 Sobreaquecimento $300^{\circ}\text{C} < t < 700^{\circ}\text{C}$	2,91	0,91	T2 Sobreaquecimento $300^{\circ}\text{C} < t < 700^{\circ}\text{C}$	3,54	0,91
D1 Descargas de baixa energia	3,01	0,90	D1 Descargas de baixa energia	3,55	0,91
D2 Descargas de alta energia	4,48	0,65	S Gás disperso no óleo $< 300^{\circ}\text{C}$	5,85	0,58
PD Descargas parciais	6,35	0,33	T3 Sobreaquecimento $t > 700^{\circ}\text{C}$	8,23	0,23
T3 Sobreaquecimento $t > 700^{\circ}\text{C}$	6,62	0,28	PD Descargas parciais	9,33	0,06
DT Combinação de falha térmica e elétrica	8,26	0,00	D2 Descargas de alta energia	9,76	0,00
	34,03			43,21	

Fig. 4 – Percentual de importância relativa [%] e função de valor econômico de utilidade, $v_i(.)$.

Na Fig. 4, tem-se a importância relativa (w_i) de cada critério, i , por exemplo, o critério Triângulo de Duval é 34,03%. Assim como, tem-se o desempenho, em termos de utilidade, $v_i(.)$, para cada critério, i , que o resultado de uma amostra, por exemplo: caso uma amostra, sob o Triângulo de Duval, seja classificada em D2, o desempenho $v_i(D2)$ será 0,65. Com a hierarquia e a função de valor econômico definidas, caberá ao especialista definir as preferências de cada nível hierárquico para que sejam avaliados em pares, verificando a importância entre eles. Assim é possível determinar o valor de importância relativa para cada nível, obtendo a preferência que cada critério terá sob a análise pautado pela Teoria de Utilidade Multiatributo, conforme apresentado na Fig. 5.

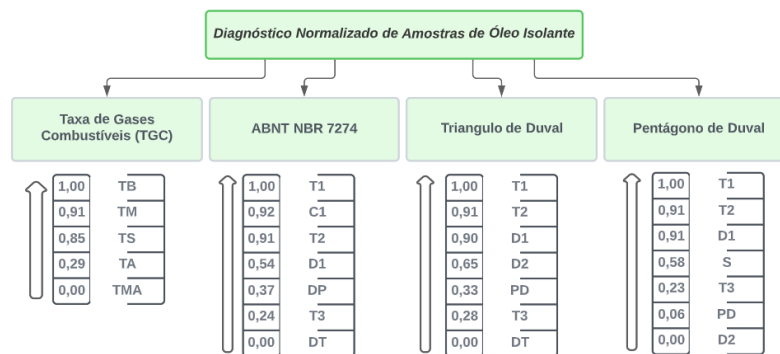


Fig. 5 – Hierarquização do Sistema de Suporte à Decisão.

O valor global, $V(a_n)$, de cada amostra obtido pela proposta apresentada na Fig. 5, é obtida pela a função aditiva para avaliar sua eficácia e convergência, otimizando a decisão do especialista, conforme Equação (4).

$$V(a_n) = \sum_{i=1}^I w_i v_i(a_n) \quad (4)$$

Em que: $V(a_n)$ é o valor global de uma amostra n ; w_i é a importância relativa do critério i ; e $v_i(a_n)$ é o desempenho da amostra, a_n , no critério i .

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Com base na metodologia proposta foi desenvolvido um *dashboard* para que o analista possa identificar todas as informações necessárias para seu diagnóstico, apontando o histórico de resultados, a identificação de equipamentos por localização, classe de tensão, potência e modelo, o diagnóstico baseado na metodologia e o

nível de prioridade elencado de 1 a 5, tendo o seguinte detalhamento: 1 para Rotina de manutenção padrão; 2 para Nova amostragem em 30 dias; 3 para Nova amostragem em 10 dias; 4 para Nova amostragem < 24 horas; e 5 para Manutenção imediata.

Esses níveis de prioridade permitem ao especialista tomada de decisão, minimizando o risco a operação do equipamento, proporcionando resultados para avaliar o indicativo de crescimento da taxa de gases combustíveis no óleo mineral isolante, subsidiando um maior intervalo de análise e determinando o nível de criticidade de cada equipamento sob a ótica da manutenção preditiva de gases dissolvidos. Nas Fig. 6(a), (b), (c) e (d) são apresentadas algumas telas do dashboard desenvolvido.

Cromatografia

AUTOTRANSFORMADOR

AREVA	A	111574/3	133340	500	43800	01/08/2012					
FABRICANTE	MODELO	Nº DE SÉRIE	POTÊNCIA (kVA / kV)	TENSÃO (kV)	VOLUME DE ÓLEO (L)	DATA DE INSTALAÇÃO					
Data	Hidrogênio (H2)	Oxigênio (O2)	Nitrogênio (N2)	Metano (CH4)	Monóxido de Carbono (CO)	Dióxido de Carbono (CO2)	Etano (C2H6)	Etileno (C2H4)	Acetileno (C2H2)	TG	TGC
24/10/2022	5	2.700	22.100	14	642	2.960	1	2	0	28.434,00	664,00
20/04/2022	6	2.600	15.000	11	350	1.850	1	2	0	19.820,00	370,00
20/10/2021	7	10.300	34.700	21	529	3.250	1	3	0	48.811,00	561,00
12/04/2021	13	7.100	40.700	29	1.145	4.410	2	3	0	53.400,00	1.190,00
21/07/2020	7	4.700	17.500	17	514	7.250	2	4	0	29.994,00	544,00
16/04/2020	6	6.500	32.700	14	575	2.300	1	2	0	42.098,00	598,00
01/10/2019	7	7.300	44.100	21	649	3.160	1	2	0	55.440,00	880,00
02/04/2019	7	7.800	41.300	13	679	2.720	1	2	0	52.522,00	702,00
24/09/2018	28	6.100	34.100	24	718	3.070	3	2	0	44.045,00	775,00
23/03/2018	7	7.000	32.500	9	561	2.530	1	1	0	42.609,00	579,00
21/09/2017	7	7.100	33.600	14	600	2.170	2	1	0	43.494,00	624,00
10/04/2017	0	4.500	17.100	2	150	720	0	0	0	22.472,00	152,00

Fig. 6(a) – Histórico de gases dissolvidos

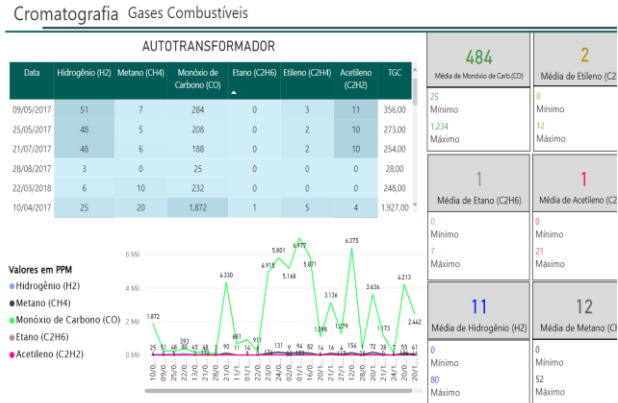


Fig. 6(b) – Relações de gases combustíveis

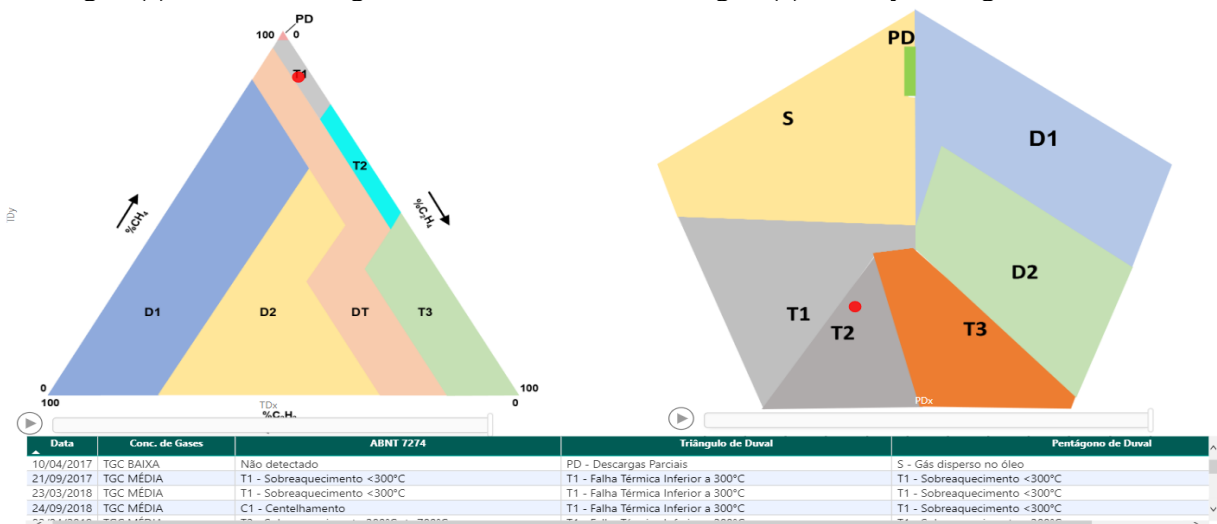


Fig. 6(c) – Aplicação dos métodos de diagnóstico



Fig. 6(d) – Indicador de diagnóstico normalizado com nível de prioridade

A Fig. 6 apresenta o modelo proposto, assim é possível selecionar o equipamento ou região para análise e navegar nas telas interativas, podendo acessar, em Fig. 6(a), o histórico completo dos resultados de óleo, em Fig. 6(b), as relações entre os gases combustíveis, em Fig. 6(c), os métodos de diagnóstico aplicados e o histórico de comportamento para cada análise e, em Fig. 6(d), a metodologia proposta aplicada, com a apresentação do diagnóstico consolidado, assim como o nível de prioridade que deve ser dado ao equipamento, além de uma visão geral do estado dos equipamentos sob análise.

5 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma metodologia do uso de métodos de análise de gases dissolvidos em equipamentos para priorização de intervenção em transformadores de potência. Foi possível conciliar a metodologia normatizada pela ABNT NBR 7274 com dois métodos conceituados internacionalmente, agregados à um modelo de Sistema de Suporte à Decisão (SSD) com o objetivo de otimizar e simplificar a tomada de decisão por parte da equipe de manutenção. No entanto, destaca-se que os métodos de diagnóstico de óleo mineral isolante não são os únicos disponíveis.

Dessa forma, foi elaborado um SSD que não indica apenas a anomalia, mas, também, a prioridade que deve ser dada para o referido equipamento. Assim, a metodologia propõe ao usuário a avaliação de todos os métodos de maneira distinta e possibilita a tomada de decisão, com o objetivo de tornar o processo de análise menos oneroso, reduzindo eventuais perdas de receita do proprietário de equipamentos críticos à operação do SIN.

Para aprimorar a metodologia, é sugerido que novos especialistas façam a priorização das hierarquias, assim como a implementação de mais métodos de diagnósticos de óleo mineral isolante, como Rogers e Doenerburg. A complementação do método pode torná-lo mais robusto e assertivo para tomadas de decisão. Ressalta-se que o diagnóstico preditivo não deve ser o único a ser empregado à tomada de decisão, mas conciliado com resultados de ensaios de manutenções preventivas.

6 REFERÊNCIAS

- [1] R. Bechara, “Análise de Falhas em Transformadores de Potência”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, USP, São Paulo, 2010.
- [2] ANEEL. “Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica: Módulo 4 – Prestação dos Serviços”, Brasília: ANEEL, 2021.
- [3] F. G. Marques, “Análise de Faltas em Transformadores Utilizando o Método do Triângulo de Duval”, Porto Alegre, 2017.
- [4] A. D. Neto, T. C. B. N. Assunção e J. T. Assunção, “Classificação de transformadores de potência baseado na análise dos gases dissolvidos no óleo isolante”, *IX CBRN*, Ouro Preto, 2009.
- [5] ABNT, “NBR 7274 – Interpretação da análise dos gases de transformadores em serviço”, Rio de Janeiro, 2012.
- [6] M. Duval, "A review of faults detectable by gas-in-oil analysis in transformers," in *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 18, no. 3, pp. 8-17, 2002.
- [7] G. L. Filho, “Comparação entre os critérios de diagnósticos por análise cromatográfica de gases dissolvidos em óleo isolante de transformador de potência”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, USP, 2012.
- [8] H. Hu, *et al*, “Software implementation of automatic fault identification based on the Duval Pentagon”, *Journal of Physics: Conference Series*, 2020.
- [9] G. B. Vier, “Metodologia multicritério para priorização da correção de defeitos em linhas de transmissão”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, UNISINOS, São Leopoldo, 2019.

APÊNDICE B – Comprovante de apresentação





cigre

Brasil



xixeriatic

21 a 25 de maio de 2023
Foz de Iguaçu | PR | Brasil

PROMOÇÃO



cigre
Brasil

APORO
ORGANIZACIONAL



ITAIPU
BRASILEIRA

BRUNO M. CHIARELLO
IFSC



CERTIFICADO

Certificamos que, **BRUNO MATEUS CHIARELLO DOS SANTOS** participou do **XIX ERIAC – Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE**, realizado em Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, no período de 21 a 25 de maio de 2023.

Foz do Iguaçu, 25 de maio de 2023.

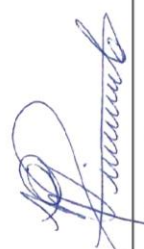

João Carlos de Oliveira Mello
Diretor-Presidente do CIGRE-Brasil

PROMOÇÃO



APOIO
ORGANIZACIONAL




Rodrigo Gonçalves Pimenta
Coordenador Geral e Executivo do XIX ERIAC



xixeriac

21 a 25 de maio de 2023
Foz do Iguaçu | PR | Brasil

XIX Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE
A Bienal do CIGRE na Ibero-América

CERTIFICADO

O COMITÊ TÉCNICO DO XIX ERIAC CERTIFICA QUE O TRABALHO TÉCNICO

UM ESTUDO DE CASO DA ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DE MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO
DE ÓLEO MINERAL ISOLANTE EM TRANSFORMADORES DA REDE BÁSICA PARA
DETERMINAÇÃO DE MODOS DE FALHA



Código de validação

FOI APRESENTADO NO EVENTO, POSSUINDO COMO AUTOR(ES)

BRUNO MATEUS CHIARELLO DOS SANTOS*; EVERTHON TAGHORI SICA

FOZ DO IGUAÇU, 25 DE MAIO DE 2023

João Carlos de Oliveira Mello
Diretor-Présidente do CIGRE-Brasil

Rodrigo Gonçalves Pimenta
Coordenador Geral e Executivo do XIX ERIAC



PROMOÇÃO

cigre
Brasil



APOIO
ORGANIZACIONAL

ITAIPU
BINACIONAL



xixeriac

21 a 25 de maio de 2023
Foz do Iguaçu | PR | Brasil

XIX Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE
A Bienal do CIGRE na Ibero-América

CERTIFICADO



Código de validação

Certificamos que **BRUNO MATEUS CHIARELLO DOS SANTOS** apresentou o trabalho técnico "**UM ESTUDO DE CASO DA ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DE MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO DE ÓLEO MINERAL ISOLANTE EM TRANSFORMADORES DA REDE BÁSICA PARA DETERMINAÇÃO DE MODOS DE FALHA**" no XIX ERIAC – Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE-BRASIL, realizado no período de 21 a 25 de maio de 2023.

FOZ DO IGUAÇU, 25 DE MAIO DE 2023


João Carlos de Oliveira Mello
Diretor-Presidente do CIGRE-Brasil



Rodrigo Gonçalves Pimenta
Coordenador Geral e Executivo do XIX ERIAC



PROMOÇÃO

cigre
Brasil

APOIO
ORGANIZACIONAL



APÊNDICE C – Slides apresentados no congresso



cigre
RIAC

**XIX Encontro Regional
Ibero-americano do CIGRE**
Foz do Iguaçu - Paraná - Brasil, 21 a 25 de maio de 2023

xixeriatic

CE-A2 – Um estudo de caso da análise de convergência de métodos de diagnóstico de óleo mineral isolante em transformadores da rede básica para determinação de modos de falha

Bruno Mateus Chiarello dos Santos* – Everthon Taghori Sica

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

cigre
For power system expertise

Brasil



Transformadores da Rede Básica



- Transformadores de potência são equipamentos elétricos fundamentais para Rede Básica;
- Fazem parte de Funções Transmissão e possuem receita associada (RAP);
- Manutenções mínimas definidas pela ReN 906 através dos Requisitos Mínimos de Manutenção (RMM);
- Manutenções preventivas e preditivas: Termografia, Análise de Gases Dissolvidos (AGD) e Físico-Química.



Análise de Gases Dissolvidos

- Análise de Gases Dissolvidos ou Cromatografia Gasosa é uma das técnicas mais consolidadas de manutenção preditiva;
- Critérios de interpretação definidos nacionalmente pela ABNT NBR 7274;
- Diagnósticos complementares com Triângulo e Pentágono de Duval;
- Conciliação das técnicas para interpretação adequada dos resultados e diagnóstico técnico assertivo.



Definição do Problema

- Definição de ações preventivas para aumento da confiabilidade de transformadores da RB;
- Prioridade para ações corretivas;

Proposição

- Análise de convergência do método de interpretação da ABNT NBR 7274 e métodos complementares;
- Sistema de Suporte à Decisão (SSD) Multicriterial para definição de prioridade de manutenção;

ABNT NBR 7274

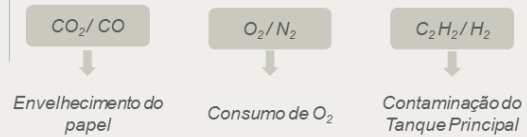


- **Interpretação** da análise dos gases dissolvidos de transformadores em serviço;
- Maior eficiência para problemas internos com **evoluções lentas**;
- **Otimização** de interpretação via código computacional;
- Baixa convergência de diagnósticos;

TABELA I. TABELA DE INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE GASES DISSOLVIDOS

Caso	Falha Característica	C_2H_2 / C_2H_4	CH_4 / C_2H_4	C_2H_4 / C_2H_6
DP	Descargas parciais	NS	< 0,1	< 0,2
C1	Centelhamento	0 – 0,6	0,1 – 1	< 1
D1	Descargas de baixa energia	> 1	0,1 – 0,5	> 1
D2	Descargas de alta energia	0,6 – 2,5	0,1 – 1	> 2
T1	Sobreaquecimento $t < 300^\circ\text{C}$	< 0,01	> 1	< 1
T2	Sobreaquecimento $300^\circ\text{C} < t < 700^\circ\text{C}$	< 0,1	> 1	1 – 4
T3	Sobreaquecimento $t > 700^\circ\text{C}$	< 0,2	> 1	> 4

Taxa de Concentração de Gases Combustíveis



TRIÂNGULO DE DUVAL



- Considerado um dos métodos mais **ágeis e confiáveis**;
- Indicativo gráfico no ponto de **interseção de retas**;
- Concentração percentual de gases:
 - Metano (CH_4);
 - Etileno (C_2H_4);
 - Acetileno (C_2H_2).
- Ausência de condições de **normalidade**;
- Implementação de código computacional para diagnóstico através das zonas limítrofes;

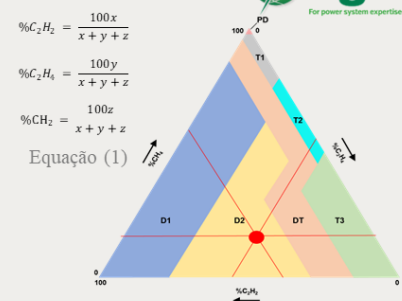


Fig. 1. Triângulo de Duval

- Descargas parciais (PD);
- Descargas elétricas de baixa energia (D1);
- Descargas elétricas de alta energia (D2);
- Combinação de falha térmica e elétrica (DT);
- Falha térmica com temperatura inferior que 300°C (T1);
- Falha térmica com temperatura entre 300°C e 700°C (T2);
- Falha térmica com temperatura superior a 700°C (T3).

PENTÁGONO DE DUVAL

- Método aprimorado do Triângulo de Duval;
- Indicativo gráfico com 5 gases;
- Complementação de 2 gases:
 - Hidrogênio (H_2);
 - Etano (C_2H_6).
- Acréscimo de zona de falha:
 - Gaseificação por dispersão (S);
- Zona de falha através de centroide do polígono;

$$\begin{aligned} \%H_2 &= \frac{100a}{a+b+c+d+e} \\ \%CH_4 &= \frac{100b}{a+b+c+d+e} \\ \%C_2H_6 &= \frac{100c}{a+b+c+d+e} \\ \%C_2H_4 &= \frac{100d}{a+b+c+d+e} \\ \%C_2H_2 &= \frac{100e}{a+b+c+d+e} \end{aligned}$$

Equação (2)

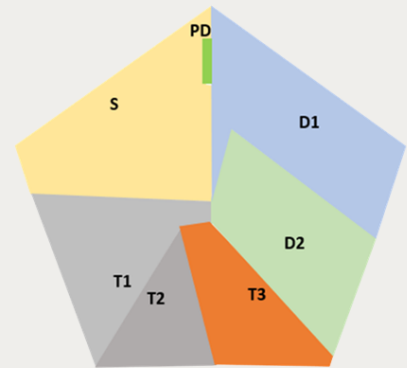


Fig. 2. Pentágono de Duval

PENTÁGONO DE DUVAL

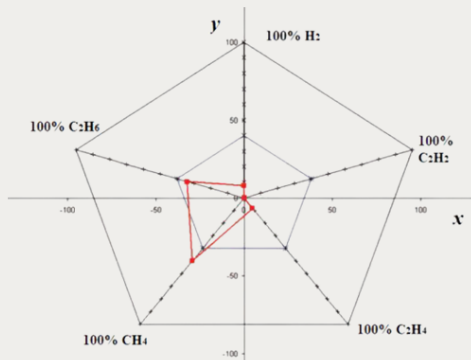


Fig. 3. Área do Polígono no Pentágono de Duval

- Otimização através de código computacional para plotar centroide e definição das zonas limitrofes;

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{n-1} (X_i * Y_{i+1} - X_{i+1} * Y_i) \\ C_x &= \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (X_i - X_{i+1}) * (X_i * Y_{i+1} - X_{i+1} * Y_i) \\ C_y &= \frac{1}{6A} \sum_{i=0}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1}) * (X_i * Y_{i+1} - X_{i+1} * Y_i) \end{aligned}$$

Equação (3)

- Processo de **identificação rápido e preciso**;
- Apresentação de zona de falha de maneira **textual**, otimizando **tempo na análise**;

ESTUDO DE CASO E METODOLOGIA PROPOSTA



Implementação de método de convergência por 3 métodos de diagnóstico de maneira excludente

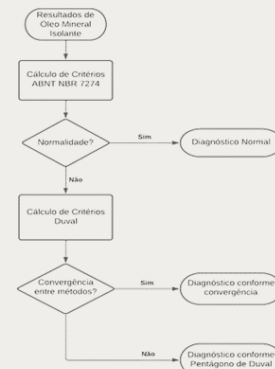


Fig. 4. Fluxograma da metodologia proposta

DEFINIÇÃO DE PRIORIDADE



- Implementação de um método **multicritério** de análise de decisão para **priorização de manutenção** nos equipamentos;
- **Teoria de Utilidade Multiatributo (MAUT)**:
 - Taxa de Gases Combustíveis;
 - ABNT NBR 7274;
 - Triângulo de Duval;
 - Pentágono de Duval.
- Definição de descritores (quantitativos e qualitativos) e **Trade-Off** através do **Método de Análise Hierárquica (AHP)** com apoio de especialista.

- Definição de valor econômico para cada nível de um descritor e hierarquização;

Fig. 5. Percentual de importância relativa [%] e função de valor econômico de utilidade, $v(\cdot)$.



cigre
For power system expertise

- ### Cromatografia

AUTOTRANSFORMADOR

DATA	HIDROGÊNIO (H2)	OXIGÊNIO (O2)	MONÓXIDO DE CARBÔNIO (CO)	DIÓXIDO DE CARBÔNIO (CO2)	ETANO (C2H6)	ETILENO (C2H4)	ACETILENO (C2H2)	HC	TC
04/10/2022	5	23,70	22,30	16	842	2.962	1	0	26.420,00
26/04/2022	6	2.005	15.000	11	390	1.800	1	2	18.020,00
21/03/2022	7	10.300	34.700	21	529	2.100	1	0	40.810,00
10/04/2022	13	7.100	40.700	29	1.140	4.410	2	3	35.400,00
21/03/2020	7	4.700	17.300	17	514	2.220	2	0	29.940,00
04/04/2020	6	4.500	32.700	14	575	2.100	1	0	42.080,00
07/05/2019	7	3.700	44.100	21	840	3.180	1	2	35.400,00
02/04/2019	7	3.800	42.300	13	879	2.720	1	0	32.520,00
24/09/2018	28	6.100	34.100	24	718	3.070	3	2	40.400,00
23/03/2018	7	7.000	33.000	9	561	2.330	1	1	42.080,00
21/09/2017	7	7.100	33.000	14	800	2.170	2	1	43.460,00
16/04/2017	8	4.300	10.100	2	180	1.700	0	0	22.420,00

Cromatografia Gases Combustíveis

AUTOTRANSFORMADOR

DATA	HIDROGÊNIO (H2)	ETANO (C2H6)	MONÓXIDO DE CARBÔNIO (CO)	ETANO (C2H6)	ETILENO (C2H4)	ACETILENO (C2H2)	TC
09/05/2017	51	7	264	0	3	11	356,00
25/05/2017	48	5	208	0	2	10	273,00
21/07/2017	46	6	186	0	2	10	234,00
28/06/2017	3	0	23	0	0	0	26,00
10/04/2017	6	10	232	0	0	0	248,00
16/04/2017	25	20	1.872	1	5	4	1.927,00

Valores em ppm

● Hidrogênio (H2) ● Etano (C2H6) ● Monóxido de Carbono (CO)

● Etano (C2H6) ● Etano (C2H6) ● Acetileno (C2H2)

484

Unidade de Medição de Carbono (CO2)

0 Mínimo
1 1.234 Máximo

1

Média de Etano (C2H6)

0 Mínimo
1 21 Máximo

2

Média de Etano (C2H6)

0 Mínimo
1 21 Máximo

11

Média de Hidrogênio (H2)

0 Mínimo
1 21 Máximo

Fig. 7-(b). Relação de Gases Combustíveis

RESULTADOS



- **Dashboard** interativo dinâmico com detalhamento de histórico de análises, diagnóstico e dados de frota de equipamentos;

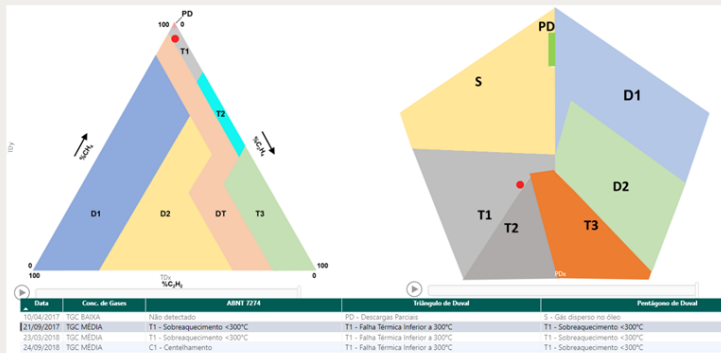


Fig. 8-(a). Aplicação dos métodos de diagnóstico

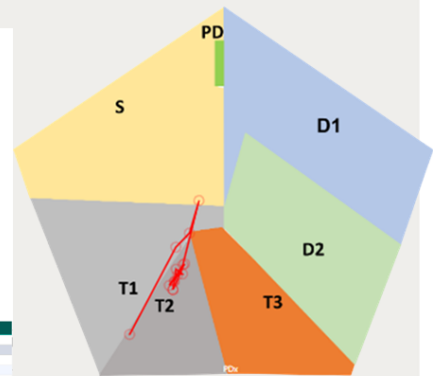


Fig. 8-(b). Interatividade do comportamento histórico

RESULTADOS



- Aplicação do método **multiatributo** de determinação de prioridade como **Sistema de Suporte à Decisão**;



Fig. 9. Aplicação do modelo multiatributo normalizado com nível de prioridade

5 níveis de prioridade:

- 1 - Rotina de manutenção padrão;
- 2 - Nova amostragem em 30 dias;
- 3 - Nova amostragem em 10 dias;
- 4 - Nova amostragem < 24 horas;
- 5 - Manutenção imediata.

CONCLUSÃO



- Análise de convergência de diagnósticos pela **ABNT NBR 7274**;
- **Automatização** de diagnóstico para métodos complementares;
- Implementação de Metodologia **Multiatributo**;
- Priorização de ações **preventivas** para redução de intervenções **corretivas** e perdas e **receita** a partir de manutenções **preditivas**;
- Aplicação de metodologias de **Rogers** e/ou **Doenerburg** como melhoria para permitir maior robustez ao modelo.



INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina
Câmpus Florianópolis

OBRIGADO!



cigre
For power system expertise

Bruno Mateus Chiarello dos Santos
Everthon Taghori Sica

brunomchiarello@gmail.com
sica.eng@gmail.com

ANEXOS

ANEXO A – Folder de chamada do congresso

BOLETIM 3



xixeriatic

XIX Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE
A Bienal do CIGRE na Ibero-América

Mais que um Encontro, o
XIX ERIAC será um grande
Reencontro.

21 a 25 de maio de 2023 | Foz do Iguaçu, Brasil



Usina Hidrelétrica de Itaipu – vertedouro. Foto: Rubens Fraulini / Acervo Itaipu Binacional

Colaboram

Comitês Nacionais
Argentino, Chileno,
Colombiano, Espanhol,
Mexicano, Peruano,
Paraguaio e Português.

Promoção



Apoio Organizacional





MENSAGEM DE BOAS-VINDAS DO CIGRE-BRASIL AOS PARTICIPANTES DO XIX ERIAC

É com muita satisfação que damos as boas-vindas a todos os participantes do XIX ERIAC – Encontro Regional Ibero-Americano do CIGRE, que é o Seminário internacional mais importante da RIAC – Região Ibero-Americana do CIGRE. É, pois, uma grande honra para nós do CIGRE-Brasil sediarmos mais uma vez este grande evento.

O ERIAC é realizado a cada dois anos na tríplice fronteira, tendo nascido no ano de 1986 como ERLAC – Encontro Regional Latino-Americano do CIGRE. Este lugar, que é especialmente atrativo por suas belezas naturais, facilita a participação de profissionais dos três países fronteiriços da área – Brasil, Argentina e Paraguai –, que alternadamente sediam, nessa ordem, a organização do evento.

Estamos na 19ª Edição do ERIAC e coube ao Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – CIGRE-Brasil a promoção e à ITAIPU Binacional o apoio organizacional do evento, que será realizado nesta bela e agradável cidade de Foz do Iguaçu, no período de 21 a 25 de maio de 2023.

Com o XIX ERIAC, a Região Ibero-Americana do CIGRE tem por objetivo continuar consolidando as inovações que vem implantando com êxito desde o XVI ERIAC, que fazem com que o evento atenda cada vez mais a exigente qualidade dos seus participantes. Para isso, participam ativamente da organização do ERIAC, além da Argentina, Brasil e Paraguai, seis outros Comitês Nacionais Ibero-Americanos do CIGRE: Chile, Colômbia, Espanha, México, Peru e Portugal.

Ressaltamos que o processo seletivo do XIX ERIAC recebeu 784 propostas de resumos, tendo sido aprovados 446 artigos técnicos, que serão apresentados e debatidos nas 110 Sessões Técnicas programadas para o evento.

Adicionalmente, na Sessão de Abertura teremos a palestra intitulada “Integração elétrica regional – transição energética e o aumento da participação de renováveis nas matrizes energéticas do Cone Sul”.

Salientamos que durante a Cerimônia de Abertura, pela primeira vez, será realizada a entrega de prêmios aos Membros de Destaque da RIAC.

Outro momento especial será a realização do Fórum das Nações no dia 24 de maio, o qual contará com a participação de renomados palestrantes nacionais e internacionais e abordará o tema “A evolução dos sistemas energéticos da Ibero-América rumo ao cenário Net Zero em 2050”.

Igualmente importantes são as oportunidades de realizar visitas à Itaipu Binacional, maior usina renovável do mundo na produção de energia elétrica, bem como à Subestação Conversora HVDC de Furnas. As visitas estão programadas para o dia 25 de maio. Além da parte técnica, consta uma programação social com a realização do Jantar de Confraternização, onde teremos a oportunidade de reforçar os laços de amizade entre os participantes de todos os países presentes no evento.

**SEJAM BEM-VINDOS A FOZ DO IGUAÇU
E UM BOM XIX ERIAC A TODOS OS PARTICIPANTES**

► PROGRAMAÇÃO							
HORÁRIO	SÁBADO 20/05	DOMINGO 21/05	SEGUNDA-FEIRA 22/05	TERÇA-FEIRA 23/05	QUARTA-FEIRA 24/05	QUINTA-FEIRA 25/05	
9h - 10h30	Montagem ExpoERIAC	Reunião Ordinária RIAC Parte 2	Sessões técnicas (4 x 15' apresentações + 30' debates)			Visita à Itaipu e à Subestação Conversora HDVC de Furnas	
10h30 - 11h			Intervalo				
11h - 12h30			Sessões técnicas (4 x 15' apresentações + 30' debates)				
12h30 - 13h30			Almoço	Almoço	Almoço		
13h30 - 14h							
14h - 15h			Sessões técnicas (4 x 15' apresentações + 30' debates)			Visita à Itaipu e à Subestação Conversora HVDC de Furnas	
15h - 15h30			Intervalo				
15h30 - 16h			Intervalo	Intervalo	Intervalo		
16h - 16h30	Reunião Ordinária RIAC Parte 1	Inscrições Acreditações	Reunião do Comitê Técnico	Sessões técnicas (4 x 15' + 30')		Fórum das Nações	
16h30 - 17h							
17h - 17h30							
17h30 - 18h							
18h - 18h30							
18h30 - 19h			Palestras Técnicas / Painéis NGN e WiE	Palestras Técnicas	Cerimônia de Encerramento Entrega de Prêmios do ERIAC		
19h - 19h45		Cerimônia de Abertura	Autoridades				
19h45 - 20h15			Conf. Téc.				
20h15 - 20h30		Abertura ExpoERIAC					
20h30 - 21h		Coquetel de Boas-vindas					
21h - 21h45							
21h45 - 23h					Jantar de Confraternização		
23h - 23h30							

* Os 446 artigos técnicos serão apresentados e debatidos em cada um dos 16 Comitês de Estudo do CIGRE em 10 salas simultâneas. As Sessões Técnicas com duração de 90 minutos serão compostas de apresentações consecutivas de até 4 artigos, com duração de 15 minutos cada, seguidas ao final de 30 minutos de debates. De forma similar serão realizadas algumas Sessões Técnicas compostas de apresentações consecutivas de até 5 artigos. Idiomas oficiais: português e espanhol, sendo permitido excepcionalmente o inglês.

Notas:

- Reunião Ordinária da RIAC e Reunião do Comitê Técnico – para autoridades da RIAC.
- Painel NGN – Next Generation Network / Painel WiE – Women in Energy
Segunda-feira, dia 22/05/2023 das 18:00 às 19:30 horas

AUTORIDADES DO XIX ERIAC

Presidente do XIX ERIAC

Saulo José Nascimento Cisneiros

Presidente Honorário do XIX ERIAC e Presidente da RIAC

Pablo Rodríguez Herrerías

Presidente do Comitê de Organização do XIX ERIAC

José Henrique Machado Fernandes

Comitê Assessor da RIAC para o ERIAC (CARE)

PRESIDENTE: Pablo Rodríguez Herrerías (ES)

MEMBROS: Jorge Nizovoy (AR), Félix Gallego (AR), Saulo José Nascimento Cisneiros (BR), Antonio Simões Pires (BR), Iony Patriota de Siqueira (BR), José Henrique Machado Fernandes (BR), Antonio Carlos Barbosa Martins (BR), María Nohemí Arboleda Arango (CO), Liliana M. Pineda Hernandez (CO), Carlos Vanegas (CO), Jaime Alejandro Zapata (CO), Guillermo Rodríguez Gaya (ES), Enrique Ramon Chaparro Viveros (PY); Carolina Montserrat Villasanti Lopez (PY), Jaime Guerra Montes De Oca (PE), Pedro Cabral (PT).

Comitê Técnico do XIX ERIAC (CTE)

COORDENADOR: Antonio Carlos Barbosa Martins (CN Brasileiro)

VICE COORDENADORA: María Nohemí Arboleda Arango (CN Colombiano)

SECRETÁRIO: Flavio Rodrigo de Miranda Alves (CN Brasileiro)

MEMBROS

Argentina: Alejandro Cannatella; Ezequiel González; Daniel Alejandro Nieto; Fernando Werner Seybold; Leonardo Ariel Medaglia; Germán Gustavo Lorenzón; Fabián Corasaniti; Enrique Dufour; Pablo Roberto Perez; Juan Pablo Mirable; Maria Beatriz Barbieri; Fernando Issouribehere; Marcos Sebastian Benetti; Mauricio Eduardo Samper; Leonardo Catalano; Ariel Campos.

Brasil: Fernando Souza Brasil; Roberto Asano Júnior; Daniel Sinder; Daniel Bento; Marcos Cesar Araujo; Marta Lacorte; Trevor Matheus C. V. do Carmo Dobbin; Pablo Húmeres Flores; Marcos Vinicius G. da Silva Farinha; Antonio Carlos Barbosa Martins; André Luiz Mustafá; Angelica da Costa Oliveira Rocha; João Carlos Oliveira Mello; Alexandre Rasi Aoki; Alain François Sanson Levy; Rodrigo Leal de Siqueira.

Colômbia: Enrique Ciro Quispe Oqueña; Diego García; Alejandro Ramirez Manuel; José Daniel Soto; Elkin Ceballos; Jorge Wilson Gonzalez; Fabio Hernandez; Carlos Arturo Vanegas Vesga; Natalia Mejía Luz; Ernesto Perez Gonzalez; Martha Maria Gil Zapata; Eduardo Gómez; Diego Andrés Zuluaga Urrea.

Espanha: Alfredo Gómez; Carlos Vila; Aitor Hernández; Alexandra Burgos; Antonio Useros; Jesús Besteiro; Silvia Sanz; David Peña; Belén Díaz-Guerra; Jorge Hidalgo; Rodrigo San Millán; Sergio Santos; Juan Bogas; Iker Urrutia; Pedro Llovera; Bruno Peralta.



México: Reyes-Martinez Oscar; Espinosa Reza Alfredo.

Paraguai: Rodrigo Eduardo Chaparro Moraes; Maria Alicia Arevalos Burró; Maria Jose Martinez Piñanez; Manuel Sosa Rios; Enrique Ramon Chaparro Viveros; Carolina Montserrat Villasanti Lopez.

Peru: Roberto Ramirez Arcelles, Alberto Muñante, Luis Valdivia, Francisco Torres, Jaime Guerra Montes de Oca, Mario Venero, Eduardo Antunez, Daniel Vaillant.

Portugal: José Ramos; Luís Almeno Fernandes; Ana Pereira; Pedro Nunes; Vítor Fernandes; Antonio Canhoto; Carlos Moreira; Rogério Paulo; Pedro Carola; José Miguel Bernardo; Francisco Moreira; Andreia Leiria; Rui Pestana; Clara Gouveia; Mónica Fialho; João Pedro.

Comissão de apoio organizacional do XIX ERIAC

COORDENAÇÃO-GERAL E EXECUTIVA: Rodrigo Gonçalves Pimenta

SECRETARIA EXECUTIVA: Renato Boiarski Vieira

COORDENAÇÃO ADMINISTRATIVA E DE CONTRATOS: Priscilla da Costa Guimarães

COORDENAÇÃO FINANCEIRA: Bruno Amadio Troiano

COORDENAÇÃO TÉCNICA: Robson Almir de Oliveira; Alexandre Cezario Pereira

COORDENAÇÃO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO: Teresinha Arnauts Hachisuca

COORDENAÇÃO DE COMUNICAÇÃO SOCIAL: Rebecca Bonomo Montanheiro

CERIMÔNIA DE ABERTURA – PALESTRA TÉCNICA

“Integração elétrica regional – transição energética e o aumento da participação de renováveis nas matrizes energéticas do Cone Sul”

Palestrante: Dr. João Carlos de Oliveira Mello, CEO da Thymos Energia

CERIMÔNIA DE ABERTURA – ENTREGA DE PRÊMIOS

Ocorrerá, pela primeira vez, a entrega de prêmios aos Membros de Destaque da RIAC.

FÓRUM DA NAÇÕES

A evolução dos sistemas energéticos da Ibero-América rumo ao cenário Net Zero em 2050

Moderador: Marcio Szechtman (Brasil) – Diretor de Transmissão da Eletrobras e Presidente do Comitê Técnico do CIGRE.

Palestra nº1: A visão da Península Ibérica e da Europa

Palestrante: Pedro Ávila – Diretor de Sustentabilidade Operacional da REN – Portugal

Palestra nº 2: A visão da Península Ibérica e da Europa

Palestrante: Eva Pagán – Directora Corporativa de Sostenibilidad y Estudios de Redeia – Espanha

Palestra nº3: A visão da Latinoamérica

Palestrante: María Nohemí Arboleda Arango – Gerente Geral da XM, Colômbia.

Palestra nº4: A visão da Regulação do Setor Elétrico Brasileiro

Palestrante: Agnes Maria de Aragão da Costa – Diretora da ANEEL, Brasil.

VISITA TÉCNICA EM ITAIPU

As inscrições aos participantes serão efetuadas previamente no local do evento, no Stand da Itaipu Binacional, até o limite das vagas disponíveis.

VISITA TÉCNICA À SUBESTAÇÃO CONVERSORA HVDC DE FURNAS

As inscrições aos participantes serão efetuadas previamente na secretaria do evento e até o limite de vagas disponíveis.

CERTIFICADOS

Os certificados de participação serão emitidos através do site do evento e estarão disponíveis a partir de 25/05/2023.

ARTIGOS TÉCNICOS

Os Artigos Técnicos estarão disponíveis para os inscritos no evento a partir do dia 21/05/2023.

AUTORES

Todos os autores deverão enviar pelo site do evento o **Termo de Cessão de Direitos Autorais** assinado pelo Autor Responsável até o dia 15/05/2023.

ISBN DOS ARTIGOS DO XIX ERIAC

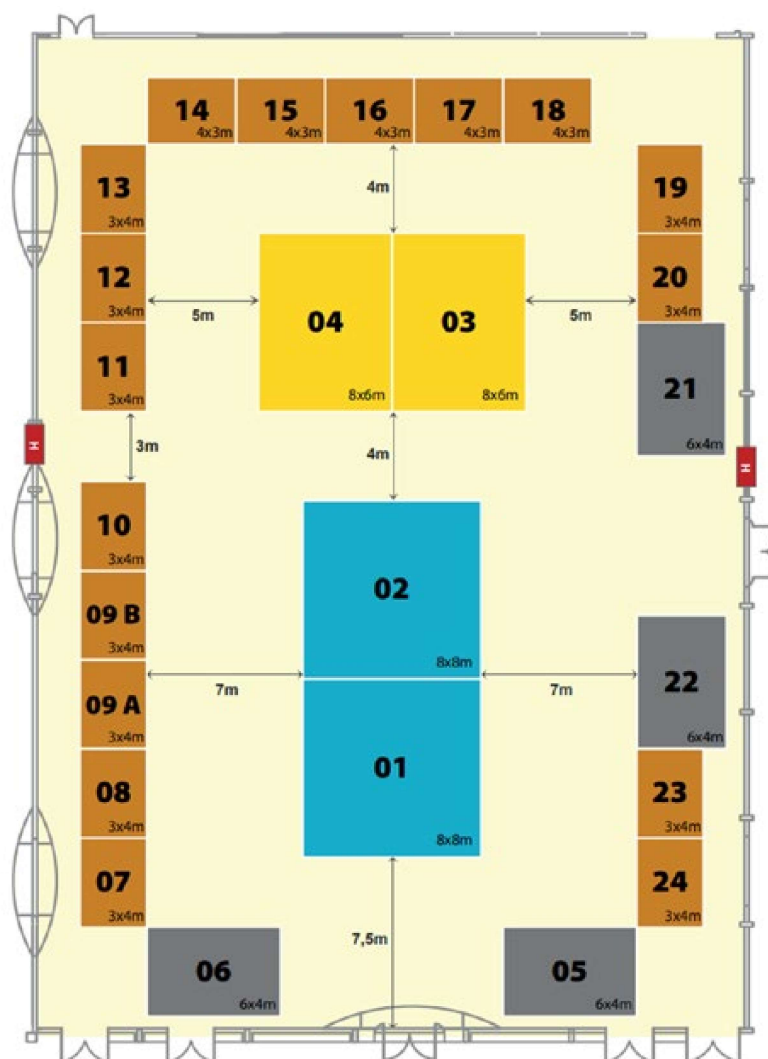
O Número de ISBN (International Standard Book Number) dos artigos técnicos aprovados no XIX ERIAC é 978-65-00-63038-1.

INTERVALO PARA ALMOÇO

Haverá venda antecipada para o almoço e a opção de lanches rápidos nas áreas indicadas pelo hotel. O valor do almoço será de R\$ 60,00 por pessoa/dia.



RAFAIN EXPOCENTER III



- | | | | |
|----------------------|-------------|-----------------|---------------|
| 1. Shemar | 8. IM3 | 14. ZIV | 21. AESA |
| 2. Itaipu Binacional | 9A. OPAL-RT | 15. Smart Wires | 22. ONS |
| 3. CIGRE-Brasil | 9B. OTN | 16. | 23. Digsilent |
| 4. | 10. Entegra | 17. AQTech | 24. Salenge |
| 5. Hitachi | 11. Salvi | 18. AP Sensing | |
| 6. ISA CTEEP | 12. PTI | 19. State Grid | |
| 7. IEB | 13. Redeia | 20. CEPEL | |



XIX ERIAC – PROGRAMAÇÃO DE APRESENTAÇÃO DE ARTIGOS TÉCNICOS

DIA/SALA	HORÁRIO	SALA 1	SALA 2	SALA 3	SALA 4	SALA 5	SALA 6	SALA 7	SALA 8	SALA 9	SALA 10
SEGUNDA - FEIRA 22/05/2023	9:00 - 10:30	C2-01 a 04	C4-01 a 04	B2-01 a 04	D2-01 a 04	B5-01 a 04	C1-01 a 04	C5-01 a 04	A1-01 a 04	B3-01 a 04	C6-01 a 04
	10:30 - 11:00	INTERVALO									
	11:00 - 12:30	C2-05 a 08	C4-05 a 08	B2-05 a 08	D2-05 a 08	B5-05 a 08	C1-05 a 08	C5-05 a 08	A1-05 a 08	B3-05 a 08	C6-05 a 08
	12:30 - 14:00	ALMOÇO									
	14:00 - 15:30	C2-09 a 11	C4-09 a 12	B2-09 a 12	D2-09 a 12	B5-09 a 12	C1-09 a 12	C5-09 a 12	A1-09 a 12	B3-09 a 12	C6-09 a 12
	15:30 - 16:00	INTERVALO									
	16:00 - 17:30	C2-12 a 14	C4-13 a 16	B2-13 a 17	D2-13 a 17	B5-13 a 16	C1-13 a 16	C5-13 a 16	A1-13 a 16	B3-13 a 17	C6-13 a 17
TERÇA - FEIRA 23/05/2023	9:00 - 10:30	C2-15 a 17	C4-17 a 20	B2-18 a 21	D2-18 a 21	B5-17 a 20	C1-17 a 20	C5-17 a 20	A1-17 a 20	B3-18 a 21	C6-18 a 21
	10:30 - 11:00	INTERVALO									
	11:00 - 12:30	C2-18 a 21	C4-21 a 24	B2-22 a 25	D2-22 a 25	B5-21 a 24	C1-21 a 24	C5-21 a 24	A1-21 a 24	B3-22 a 25	C6-22 a 25
	12:30 - 14:00	ALMOÇO									
	14:00 - 15:30	C2-22 a 25	C4-25 a 28	B2-26 a 29	D2-26 a 29	B5-25 a 28	C1-25 a 28	C5-25 a 28	A1-25 a 28	B3-26 a 30	B4-01 a 04
	15:30 - 16:00	INTERVALO									
	16:00 - 17:30	C2-26 a 29	C4-29 a 32	B2-30 a 34	D2-30 a 34	B5-29 a 33	D1-01 a 04	A2-01 a 04	A1-29 a 32	A3-01 a 04	B4-05 a 08
QUARTA - FEIRA 24/05/2023	9:00 - 10:30	C2-30 a 33	C4-33 a 36	B2-35 a 38	D2-35 a 38	B5-34 a 37	D1-05 a 08	A2-05 a 08	C3-01 a 04	A3-05 a 08	B4-09 a 12
	10:30 - 11:00	INTERVALO									
	11:00 - 12:30	C2-34 a 37	C4-37 a 39	B1-01 a 05	C1-29 a 32	C5-29 a 32	D1-09 a 12	A2-09 a 12	C3-05 a 09	A3-09 a 12	B4-13 a 16
	12:30 - 14:00	ALMOÇO									
	14:00 - 15:30	C2-38 a 41	A1-33 a 36	B1-06 a 09	C1-33 a 36	C5-33 a 36	D1-13 a 16	A2-13 a 15	C3-10 a 14	A3-13 a 16	B4-17 a 20

Atenção para os CEs **A1**, **C1** e **C5**, que mudam de sala na quarta-feira:

A1 → da sala 8 para a sala 2

C1 → da sala 6 para a sala 4

C5 → da sala 7 para a sala 5



Comitê A2 - Transformadores e Reatores				
ID	Autor (Representante) País	Título	Sala/Data/Hora	Sessão
A2.01_2213	Valdemir Sales Matias Junior (Brasil)	Aplicação de aprendizado de máquina na predição do índice de integridade de transformadores de potência	Sala 7 Terça-Feira 23/05/2023 16:00 às 17:30	Sessão 1
A2.02_2032	Assis Carlos Barbosa Valente (Brasil)	Utilização de Ferramentas de Business Intelligence para diagnosticar equipamentos do Sistema Elétrico de Potência - SEP		
A2.03_1792	Yair Federico Rochetta (Argentina)	Desarrollo de un Indicador del estado para el sistema aislante de transformadores de potencia utilizando lógica difusa		
A2.04_1767	Diego M. Robalino (Argentina)	Proceso de evaluación de la condición electromecánica del devanado del transformador: Práctica de campo		
A2.05_1768	Leonardo Ezequiel Melo (Argentina)	Desarrollo de herramienta para la determinación de las capacidades serie y en derivación de los arrollamientos de transformadores de potencia para su utilización en el modelado de la respuesta inicial al impulso de estos.	Sala 7 Quarta-Feira 24/05/2023 09:00 às 10:30	Sessão 2
A2.06_2235	Eduardo Velázquez Castillo (Paraguay)	Integração de ferramentas e tecnologias aplicadas na melhoria da eficiência e confiabilidade dos transformadores de potência		
A2.07_1996	Henrique Borges Zaninelli (Brasil)	Análise em Elementos Finitos de Reatores de Núcleo a Ar usando modelagem 2D e 3D		
A2.08_2265	Odirlan Iaronka (Brasil)	Utilização de ferramentas de simulação numérica para otimização do cálculo e projeto de transformadores especiais		
A2.09_2326	Gilberto Amorim Moura (Brasil)	Experiência Com a Implantação de um Sistema de Monitoramento e Gestão Inteligente de Transformadores de Potência na Equatorial Energia	Sala 7 Quarta-Feira 24/05/2023 11:00 às 12:30	Sessão 3
A2.10_1999	Bruno Mateus Chiarello dos Santos (Brasil)	Um estudo de caso da análise de convergência de métodos de diagnóstico de óleo mineral isolante em transformadores da Rede Básica para determinação de modos de falha		
A2.11_1724	Afonso César Tavares (Brasil)	Ferramentas Contra Falhas Incipientes de Buchas de Alta Tensão Com Cargas Não Lineares		
A2.12_1978	Frederico Tassi de Souza Silva (Brasil)	Transformação Digital Aplicada na Gestão de Ativos Críticos do Sistema Elétrico: Caso Prático De Monitoramento Online de um Transformador de Potência		
A2.13_2179	Julio Antonio Salheb do Nascimento (Brasil)	Verificação de descargas parciais em transformadores e reatores de potência por meio do ensaio de Emissão Acústica.	Sala 7 Quarta-Feira 24/05/2023 14:00 às 15:30	Sessão 4
A2.14_1866	Camila da Silva Oliveira (Brasil)	Solução econômica para monitoramento térmico e controle de paralelismo de bancos de autotransformadores		
A2.15_2131	João Ricardo da Mata Soares de Souza (Brasil)	Avaliação do fluxo magnético residual em transformadores monofásicos a partir de registros oscilográficos de energizações		



SUGESTÕES DE PASSEIOS PARA ACOMPANHANTES

Cataratas do Iguaçu

BR 469, Km 18, Foz do Iguaçu/PR - Brasil
(45) 3521-4400 / cataratasdoiguacu.com.br

Parque das Aves

Av. das Cataratas, Km 17,1, Foz do Iguaçu/PR - Brasil
(45) 3529-8282 / parquedasaves.com.br

Marco das 3 Fronteiras

Av. General Meira, S/N - Jd. Eldorado - Foz do Iguaçu - Brasil
(45) 3132-4100 / contato@marcodastresfronteiras.com.br / marcodastresfronteiras.com.br

SUGESTÃO DE SERVIÇO DE TRANSPORTE PARA PASSEIOS TURÍSTICOS E TRASLADOS AOS PAÍSES VIZINHOS

Loumar Turismo

Televentas (45) 3521-4000
Whatsapp: (45) 3521-4001
Website: www.loumarturismo.com.br

— PATROCÍNIO —

DIAMANTE



PRATA



BRONZE



APOIO PLUS:



APOIO:



PROMOÇÃO:



APOIO ORGANIZACIONAL:

