

5

Estudo de Casos

5.1

Introdução

Neste capítulo são feitas aplicações da modelagem apresentada no capítulo 4 a um equipamento real em operação em uma empresa do setor elétrico. Além da comparação com os resultados obtidos com as metodologias PROMETHEE e F-PROMETHEE, são também comparados os resultados obtidos com o método de priorização utilizado pelo Sistema DianE.

Sabendo-se que a metodologia apresentada é aplicável a todos os tipos de equipamentos, optou-se por escolher um tipo específico para fazer o estudo de casos. Considerando-se que os transformadores de potência são equipamentos que merecem maior atenção devido a sua importância estratégica dentro das empresas do setor elétrico, além da complexidade e custos elevados associados a tais equipamentos, estes foram escolhidos para o estudo de casos.

Com o objetivo de ilustrar a aplicação do modelo desenvolvido, foi elaborada a aplicação do processo RCM na parte ativa de transformadores de potência. A parte ativa dos transformadores de potência pode ser considerada a parte mais crítica destes equipamentos, uma vez que a maioria dos modos de falha e evidências de anormalidade operativa (defeitos) que podem gerar indisponibilidade ou mesmo explosão do equipamento ocorre neste subsistema. Os modos de falha identificados neste subsistema estão apresentados no Apêndice 2.

O transformador utilizado para o estudo de casos apresentado a seguir pertence à empresa Eletronorte e está instalado na usina de Tucuruí (UHE Tucuruí) (NASCIMENTO et al, 2007).

O sistema DianE foi utilizado como referência para obter a lista de causas possíveis a ser priorizada pelos métodos PROMETHEE e F-PROMETHEE.

Através do estudo de casos será mostrado como a modelagem proposta pode ser fundamental para determinar uma intervenção pró-ativa em equipamentos em operação.

5.2

Caso de Estudo: Transformador 58599

Para obter um diagnóstico da parte ativa do transformador 58599, apresentado na Figura 22, foram inseridos os resultados dos ensaios de cromatografia gasosa deste transformador no sistema DianE.



Figura 22 – Transformador 58599 – Caso de Estudo

Fonte: NASCIMENTO et al (2007)

Analisando estes dados através de métodos de análise, o sistema DianE apresentou um indicativo de Sobreaquecimento na parte ativa (SC), conforme indica a Figura 23. O grau de defeito apresentado é igual a 0,70, com confiança nesse grau igual a 0,76 (dentro de uma escala de 0-1). Não foram indicados problemas associados diretamente com arco elétrico (AE) e descargas parciais (DP).

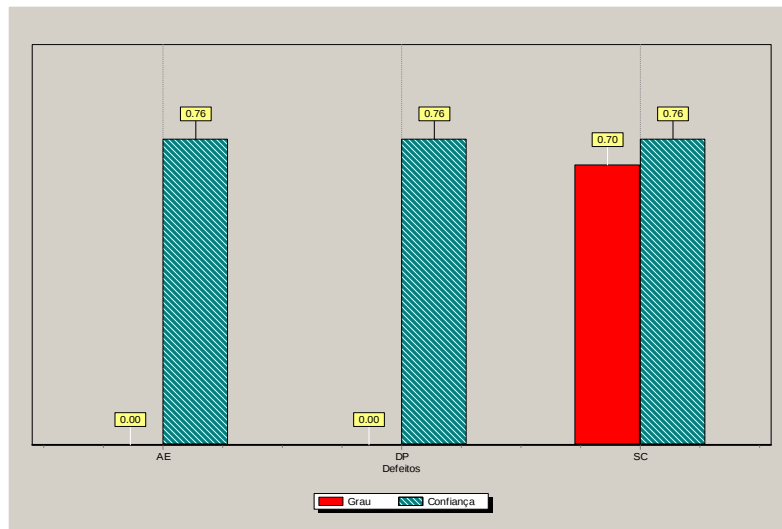


Figura 23 – Sobreaquecimento na parte ativa

Os resultados apresentados na Figura 23 de grau e confiança resultaram da integração de quatro métodos de análise: ABNT, Dornenburg, Rogers e IEC60599. Conforme visto na Figura 24, todos os métodos concordaram com as evidências, fornecendo o mesmo grau e confiança, ou seja, não há conflito de opinião entre os diferentes métodos.

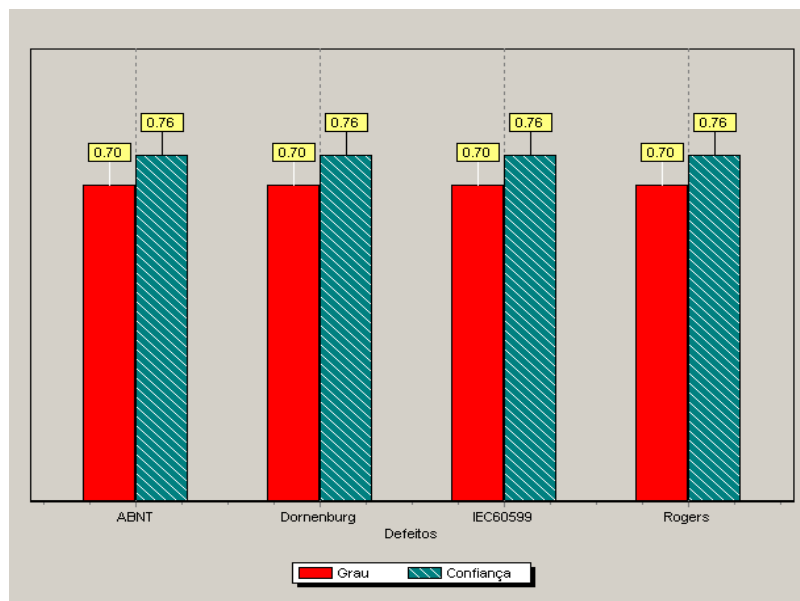


Figura 24 – Métodos de análise de defeitos

A partir desta evidência de defeito, o sistema Diane utiliza o processo RCM para fornecer o diagnóstico deste equipamento, apresentando uma lista ordenada de causas possíveis associadas ao defeito evidenciado.

A lista de causas possíveis a ser apresentada pelo sistema DianE no diagnóstico do equipamento é variável em função do tipo de equipamento, do

subsistema analisado, dos defeitos evidenciados e dos métodos de análise utilizados. Esta lista de causas deve ser priorizada, visando ajudar os gestores da manutenção na tomada de decisão.

O sistema DianE apresenta a lista de causas priorizada pelo maior GO x S (risco). Em caso de empate no valor do risco, o sistema prioriza respectivamente pelo maior CI, S e GO.

A necessidade de uma metodologia de ordenação que considere as avaliações em todos os critérios simultaneamente, de forma que as causas a serem priorizadas tenham seus desempenhos maximizados sob o conjunto de critérios considerado, levou ao desenvolvimento do modelo proposto neste trabalho. Os métodos PROMETHEE e F-PROMETHEE são utilizados para alcançar tal objetivo.

A lista de causas possíveis identificadas e priorizadas pelo sistema DianE para o transformador e o defeito em estudo é apresentada na Tabela 17.

Tabela 17 – Causas identificadas e priorizadas pelo sistema DianE

Ordem DianE	Causa		
	Falha Funcional	Componente	Modo de Falha
1	Apresenta elevação de temperatura no óleo do tanque e enrolamentos	Conector bucha / parte ativa	Mau contato elétrico
2	Apresenta elevação de temperatura no óleo do tanque e enrolamentos	(R) Condutor dos taps	Má fixação
3	Apresenta degradação térmica acelerada do papel isolante ocorrendo com correntes menores que as especificadas	Enrolamento / Bobina	Canais internos de óleo bloqueados
4	Apresenta elevação de temperatura no óleo do tanque e enrolamentos	Condutor de enrolamento	Mau dimensionamento inicial
5	Apresenta elevação de temperatura no óleo do tanque e enrolamentos	Enrolamento / Bobina	Mau dimensionamento inicial
6	Apresenta sobreaquecimento superficial elevado (devido fluxo de dispersão magnética)	Núcleo	Deficiência na isolamento dos parafusos passantes de fixação que atravessam pelas lâminas
7	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Conector bucha / parte ativa	Problema de montagem
8	Apresenta redução localizada de isolamento na parte ativa	Conector bucha / parte ativa	Má fixação com o enrolamento

Ordem DianE	Causa		
	Falha Funcional	Componente	Modo de Falha
9	Apresenta redução localizada de isolamento na parte ativa	Isolação sólida (papel+óleo)	Rompimento do papel isolante
10	Não permite nenhuma circulação de corrente elétrica	Chave de derivação sem tensão (CDST)	Rompimento total da conexão
11	Transforma tensões com erro de transformação excessivo	Condutor de enrolamento	Curto-circuito entre espiras ou camadas
12	Transforma tensões com erro de transformação excessivo	Isolação sólida (papel+óleo)	Rompimento do papel isolante
13	Não transforma as tensões	Isolação sólida (papel+óleo)	Rompimento do papel isolante
14	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Conector bucha / parte ativa	Efeito resultante da vibração natural
15	Apresenta elevação de temperatura no óleo do tanque e enrolamentos/condutores inconsistente com o carregamento aplicado e a classe de temperatura	Enrolamento / Bobina	Canais internos de óleo bloqueados
16	Apresenta perdas elétricas anormais no núcleo	Núcleo	Magnetoestricção (contrações e alongamentos das lâminas)
17	Não permite nenhuma circulação de corrente elétrica	Conector bucha / parte ativa	Má fixação
18	Apresenta perdas elétricas anormais nos enrolamentos	Enrolamento / Bobina	Curto-circuito entre espiras ou camadas
19	Apresenta elevação de temperatura no óleo do tanque e enrolamentos/condutores inconsistente com o carregamento aplicado e a classe de temperatura	Núcleo	Frouxo
20	Não suporta sobrecorrentes elevadas nos enrolamentos	Conector bucha / parte ativa	Má fixação
21	Apresenta redução localizada de isolamento na parte ativa	Enrolamento / Bobina	Campo elétrico excessivo gerando centelhamento
22	Apresenta redução localizada de isolamento na parte ativa	Núcleo	Lâminas em curto-circuito
23	Apresenta sobreaquecimento localizado na conexão de aterramento de núcleo	Conector de aterramento do núcleo	Má fixação
24	Apresenta sobreaquecimento localizado na conexão de aterramento de núcleo	Conector de aterramento do núcleo	Mau dimensionamento inicial
25	Apresenta perdas elétricas anormais no núcleo	Núcleo	Erro na montagem
26	Apresenta perdas elétricas anormais no núcleo	Núcleo	Má fixação de lâminas durante a montagem
27	Apresenta sobreaquecimento superficial elevado (devido fluxo de dispersão magnética)	Núcleo	Fluxo de dispersão magnética localizado

Ordem DianE	Causa		
	Falha Funcional	Componente	Modo de Falha
28	Apresenta ruído / vibração excessiva na parte ativa	Calços/Pressilhas/ Parafusos passantes de fixação do núcleo/enrolament os	Má fixação
29	Apresenta má conexão elétrica ou mau contato mecânico	Conector de aterramento do núcleo	Problema de montagem
30	Apresenta má conexão elétrica, não aterrando eficientemente o núcleo magnético	Conector de aterramento do núcleo	Má fixação

A Tabela 18 mostra as avaliações das causas apresentadas na Tabela 17 sob cada um dos critérios.

Tabela 18 – Avaliações das causas

Ordem DianE	Risco (GO*S)	CI	S	GO	SE	SO	SS	SA	SG (fuzzy)
1	0.54	0.69	0.85	0.63	4	3	4	3	0.80
2	0.54	0.38	0.85	0.63	4	4	4	4	0.80
3	0.54	0.19	0.85	0.63	3	3	2	2	0.70
4	0.54	0.19	0.85	0.63	5	3	2	3	0.76
5	0.54	0.19	0.85	0.63	4	3	3	3	0.76
6	0.54	0.08	0.85	0.63	3	3	1	1	0.61
7	0.52	0.19	1	0.52	4	4	4	4	0.80
8	0.52	0.19	1	0.52	4	4	5	4	0.91
9	0.52	0.19	1	0.52	5	5	5	4	0.91
10	0.52	0.19	1	0.52	5	5	5	3	0.92
11	0.52	0.19	1	0.52	4	4	5	4	0.91
12	0.52	0.19	1	0.52	4	5	4	4	0.80
13	0.52	0.08	1	0.52	5	5	5	4	0.91
14	0.44	0.57	0.85	0.52	4	3	3	3	0.76
15	0.44	0.08	0.85	0.52	3	3	2	2	0.70
16	0.44	0.01	0.85	0.52	5	4	1	1	0.80
17	0.35	0.19	1	0.35	5	5	5	4	0.91
18	0.35	0.08	1	0.35	5	5	5	4	0.91
19	0.3	0.38	0.85	0.35	4	4	3	2	0.80
20	0.3	0.38	0.85	0.35	3	3	3	3	0.76
21	0.3	0.19	0.85	0.35	4	3	3	2	0.76
22	0.3	0.19	0.85	0.35	4	4	3	3	0.80
23	0.3	0.19	0.85	0.35	2	2	3	1	0.60
24	0.3	0.08	0.85	0.35	3	4	3	1	0.76
25	0.17	0.08	0.5	0.35	1	0	0	0	0.20
26	0.17	0.08	0.5	0.35	1	0	0	0	0.20
27	0.17	0.01	0.5	0.35	1	2	0	0	0.35
28	0.14	0.19	0.85	0.17	3	3	3	3	0.76
29	0.09	0.19	0.5	0.17	3	3	4	2	0.80
30	0.09	0.19	0.5	0.17	2	3	4	2	0.72

Deve ser destacado que somente as colunas GO*S, CI, S e GO são as utilizadas atualmente pelo DianE. O valor de S corresponde a uma estimativa global dada pelo especialista. De forma a melhorar essa estimativa, o critério S foi desmembrado em vários critérios, SE, SO, SS, SA, com valores estimados individualmente por especialistas de acordo com as interpretações definidas nas Tabelas 11, 12, 13 e 14. As avaliações dos modos de falha pelo critério SG (fuzzy), apresentado na Tabela 18, representam os graus de severidade global de cada causa obtidos através do sistema de inferência fuzzy apresentado no capítulo 4. Ou seja, através das avaliações de cada causa pelos critérios SE, SO, SS e SA, utiliza-se o sistema de inferência fuzzy construído, para a obtenção da severidade global, SG.

Como exemplo de utilização deste sistema de inferência considere-se a causa 4 (Tabela 18) com as seguintes avaliações: SE=5; SO=3; SS=2; SA=3. A estimativa para a severidade global deste modo de falha é $SG = 0.756$, conforme a Figura 25.

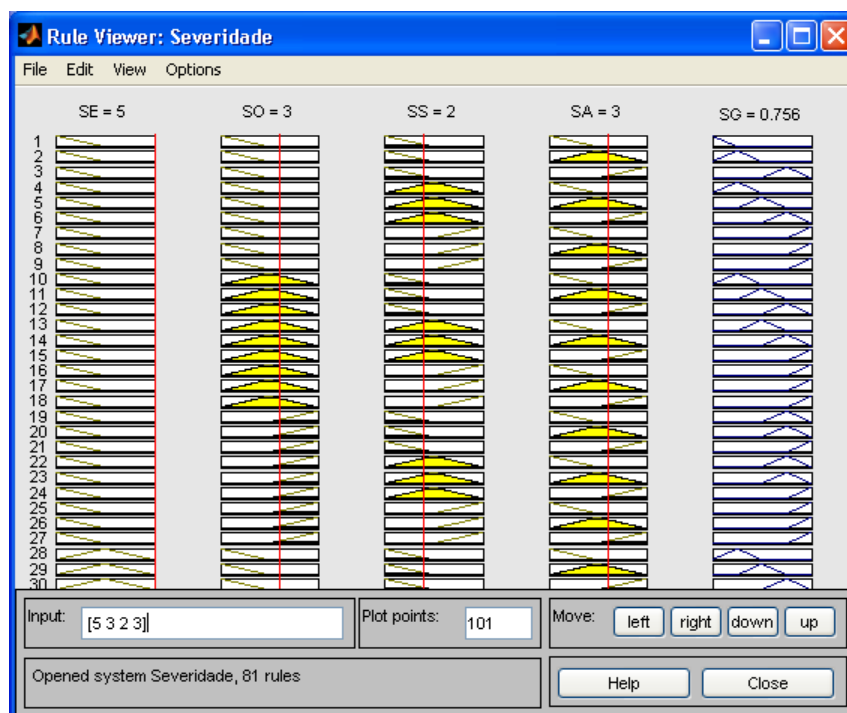


Figura 25 – Obtenção da variável de saída severidade global

Diante da matriz de avaliações dos modos de falha (Tabela 18), a próxima etapa no estudo de casos foi fazer uma análise de sensibilidade aplicando-se os métodos PROMETHEE e F-PROMETHEE para a ordenação da lista de causas.

Foram consideradas diferentes configurações para as combinações de critérios. As configurações analisadas foram comparadas à metodologia de priorização utilizada no sistema DianE, sendo em seguida analisadas as vantagens e desvantagens de cada modelo proposto.

5.3

Análise de Sensibilidade

Utilizando-se como ferramenta o programa desenvolvido em C++ Builder, apresentado no capítulo 4, onde os métodos PROMETHEE e F-PROMETHEE foram implementados, foi feita uma análise de sensibilidade utilizando-se os métodos com diferentes combinações de critérios. O programa desenvolvido permite que sejam feitas diferentes combinações de critérios, assim como diferentes configurações em cada critério de decisão, onde o decisor poderá escolher o peso de cada critério, a função de preferência aplicada com os respectivos parâmetros de preferência e indiferença, e se este critério deverá ser maximizado ou minimizado, conforme foi detalhado no capítulo 4.

Na análise de sensibilidade descrita a seguir foram considerados todos os critérios com pesos iguais e a função de preferência utilizada foi a do Tipo III apresentada na Tabela 6, com $p=1$. As Tabelas 19 a 21 apresentam as diferentes combinações de critérios utilizadas em cada método para a análise de sensibilidade.

Tabela 19 – Modelo 1 e 2

Modelo 1	Modelo 2
<i>Método: Diane</i>	<i>Método: DianE</i>
GO	GO
CI	CI
S	SG
Risco = GO x S	Risco = GO x SG

Tabela 20 – Modelos 3 e 4

Modelo 3	Modelo 4
<i>Método: PROMETHEE</i>	<i>Método: PROMETHEE</i>
GO	GO
CI	CI
Risco = GO x S	Risco = GO x SG

Tabela 21 – Modelos 5 e 6

Modelo 5	Modelo 6
<i>Método: PROMETHEE</i>	<i>Método: F-PROMETHEE</i>
GO	$\tilde{GO}$
CI	-
Risco Econômico (RE) = GO x SE	Risco Econômico ($\tilde{RE}$) = $\tilde{GO}$ x SE
Risco Operacional (RO) = GO x SO	Risco Operacional ($\tilde{RO}$) = $\tilde{GO}$ x SO
Risco de Segurança (RS) = GO x SS	Risco de Segurança ($\tilde{RA}$) = $\tilde{GO}$ x SS
Risco Ambiental (RA) = GO x AS	Risco Ambiental ($\tilde{RS}$) = $\tilde{GO}$ x SA

A Tabela 22 mostra as ordenações obtidas utilizando-se os métodos descritos nas Tabelas 19 a 21. O Modelo 1 é utilizado como referência para a ordem das alternativas (Tabela 18).

Tabela 22 – Ordenações obtidas através dos Modelos 1, 2, 3, 4, 5 e 6

Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
1	1	1	1	1	9
2	2	2	2	2	13
3	5	14	14	9	1
4	4	3	4	10	10
5	3	4	5	13	2
6	6	5	3	8	8
7	10	6	10	11	11
8	8	7	8	12	12
9	9	8	9	4	17
10	11	9	11	5	18
11	13	10	7	14	7
12	12	11	12	7	4
13	7	12	6	3	5
14	14	13	13	17	14
15	15	15	19	18	22
16	16	19	20	6	3
17	17	20	15	16	16
18	18	16	16	15	19
19	19	17	17	19	15
20	20	21	22	20	21
21	22	22	21	22	20
22	21	23	23	21	24
23	23	18	18	24	6
24	24	24	24	23	28
25	25	25	25	29	29
26	26	26	26	28	30
27	27	27	29	30	23
28	28	28	28	27	27
29	29	29	27	25	25
30	30	30	30	26	26

Analisando-se as Tabelas 18 e 22 pode-se perceber que através do método de priorização utilizado no Modelo 1, ocorreu um empate entre as seguintes causas:

- 3, 4 e 5;
- 7, 8, 9, 10, 11 e 12;
- 19 e 20;
- 21, 22, e 23;
- 25 e 26;
- 29 e 30.

Não sendo possível portanto ser estabelecida a prioridade entre elas. No Modelo 1, as causas pertencentes a cada um dos grupos citados acima têm prioridade iguais (riscos GO*S , CI, S e GO iguais) . Isto pode não refletir a realidade, uma vez que, analisando-se a Tabela 18 pode-se identificar diferentes SE, SO, SS, SA, entre as causas de cada grupo. Por exemplo, a causa quatro apresenta um impacto econômico maior que as causas 3 e 5, enquanto que a causa 5 apresenta impacto de segurança maior que as causas 3 e 4. Entretanto, estas três causas apresentam severidades (S) iguais geradas pelo especialista. Percebe-se, portanto, que a avaliação de um S pelo especialista pode não ser capaz de medir estes conflitos entre os impactos SE, SO, SS e SA das diferentes causas. Além disso, podem haver incoerências de determinação no S quando existirem muitas causas a serem analisadas.

A criação de um SG através do sistema fuzzy, considerando-se um conjunto de regras geradas por especialistas, pode vir a suprir estas dificuldades. Isto pode ser visto no Modelo 2. Neste modelo, ao utilizar o SG houve um desempate entre algumas das alternativas anteriormente empatadas, pois o sistema de inferência conseguiu gerar diferentes SG's para tais causas, fazendo com que, por exemplo, as causas 4 e 5 fossem priorizadas em relação à causa 3. As causas 7 a 12 também estavam empatadas e, através do SG, a causa 10 conseguiu ser priorizada em relação às demais, subindo três posições, enquanto que a causa 7 tornou-se menos priorizada descendo seis posições. Dependendo do modo de falha, isto pode ser bastante significativo para o diagnóstico. As causas 21 e 22 também trocaram suas posições pelo mesmo motivo citado anteriormente; elas estavam empatadas pelo critério S, e através do SG fuzzy foi possível a identificação da prioridade entre

elas. Este resultado nos mostra que a utilização de um sistema de inferência fuzzy para calcular a severidade de cada modo de falha é útil, pois através dele consegue-se melhor representar as sutis diferenças entre as severidades dos diferentes modos de falha que o especialista, em uma avaliação global, não consegue medir. O cálculo de SG através de um sistema de inferência fuzzy, devido à características intrínsecas de um sistema fuzzy, também pode identificar as possíveis incoerências geradas nas avaliações dos especialistas.

Utilizando-se o método PROMETHEE no modelo 3, é possível perceber uma maior mudança nas posições das causas. A causa 14 subiu onze posições, tornando-se a terceira mais priorizada no *ranking*. Isto se deve ao fato dela apresentar uma diferença muito mais significativa nas avaliações do critério CI do que no critério de Risco em relação às causas que estavam anteriormente priorizadas. Os modelos 1 e 2, que utilizavam a priorização pelo risco, não enxergavam a avaliação do CI, já que os riscos eram diferentes e os demais critérios utilizados apenas para desempate. Pelo mesmo motivo, as avaliações 16 e 17 caíram duas posições e a 18 caiu cinco posições.

O modelo 4 diferencia-se do 3 pela utilização do SG fuzzy. Neste caso, agregando-se às mudanças do modelo 3, houve mudanças de posições das causas devido ao fato de que algumas causas empatadas pela utilização do S especialista puderam ter suas prioridades melhor identificadas através da utilização do SG fuzzy. Isto pode ser observado na causa 3, que caiu duas posições. Neste modelo a causa 6 teve uma mudança significativa de posição, caindo seis posições em relação ao modelo 3.

No modelo 5, utilizou-se a metodologia PROMETHEE e os riscos RE, RO, RS e RA como critérios independentes, causando mudanças mais significativas em relação aos modelos anteriores. A vantagem da utilização deste modelo está no fato de não se necessitar, para sua aplicação de um conjunto de regras geradas por especialistas para a obtenção do SG global para cada modo de falha. Uma desvantagem associada ao modelo 5 vem do fato de nele se estar considerando como independentes 4 critérios que na verdade representam um único critério, o risco. Isto leva a uma tendência de priorização pelo risco, desfavorecendo os critérios GO e CI. Porém, esta desvantagem pode ser contornada explorando-se a flexibilidade do PROMETHEE em atribuir diferentes pesos aos critérios.

No modelo 6 utilizou-se o F-PROMETHEE. Este modelo apresenta adicionalmente a vantagem de considerar a incerteza dos dados. Nesse caso, como GO é tratado como um número fuzzy, a incerteza representada por CI será também associada a cada um dos riscos RE, RO, RS e RA. As demais vantagens e possível desvantagem citadas para o modelo 5 podem ser aplicadas ao modelo 6.

As Figuras 26 a 31 mostram a dispersão entre os modelos. As ordenadas e abscissas dos gráficos são o número das alternativas conforme a Tabela 22.

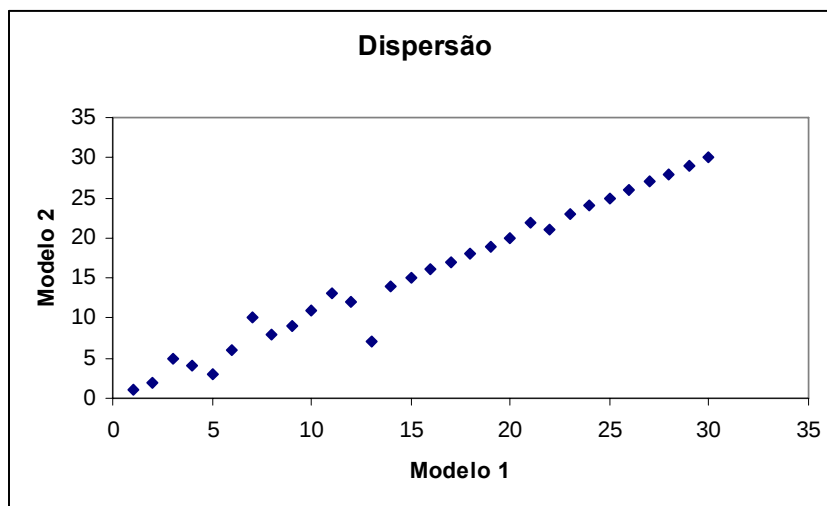


Figura 26 – Dispersão Modelo 1 x Modelo 2

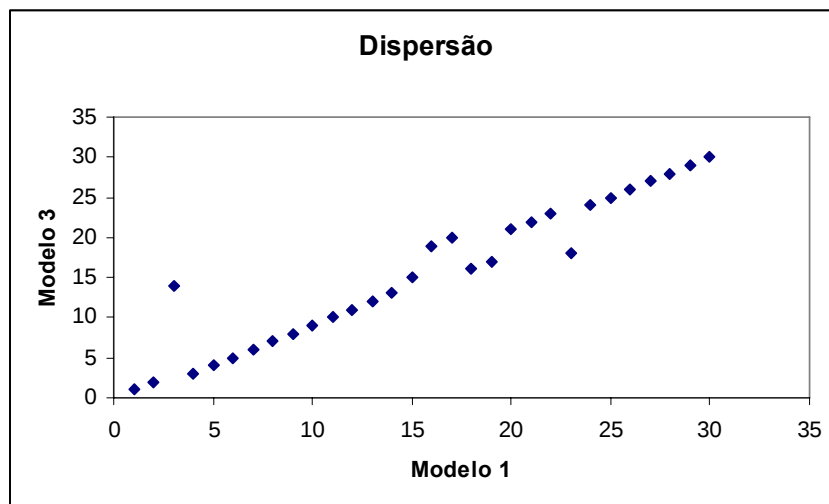


Figura 27 – Dispersão Modelo 1 x Modelo 3

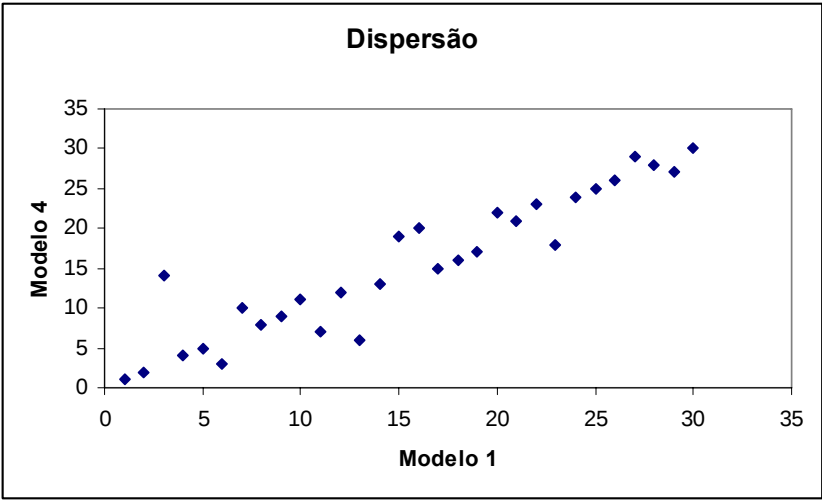


Figura 28 – Dispersão Modelo 1 x Modelo 4

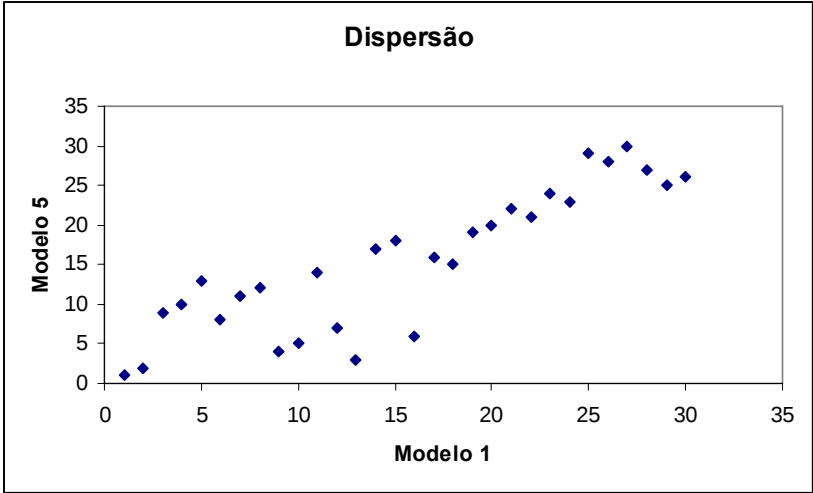


Figura 29 – Dispersão Modelo 1 x Modelo 5

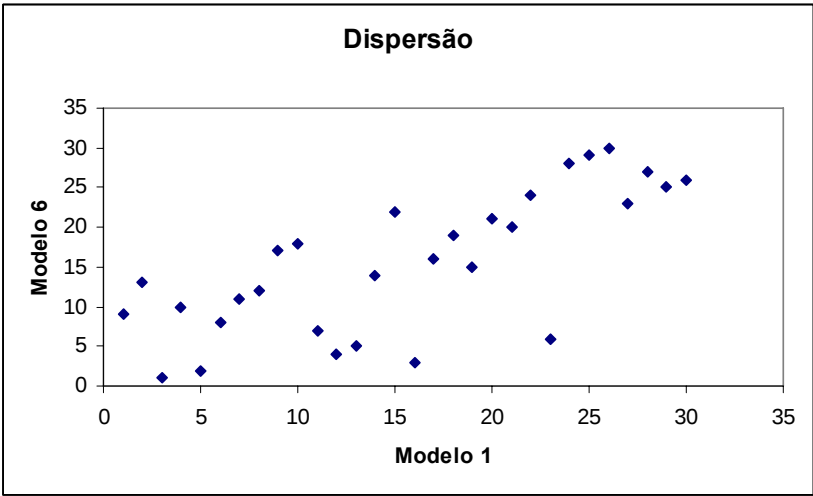


Figura 30 – Dispersão Modelo 1 x Modelo 6

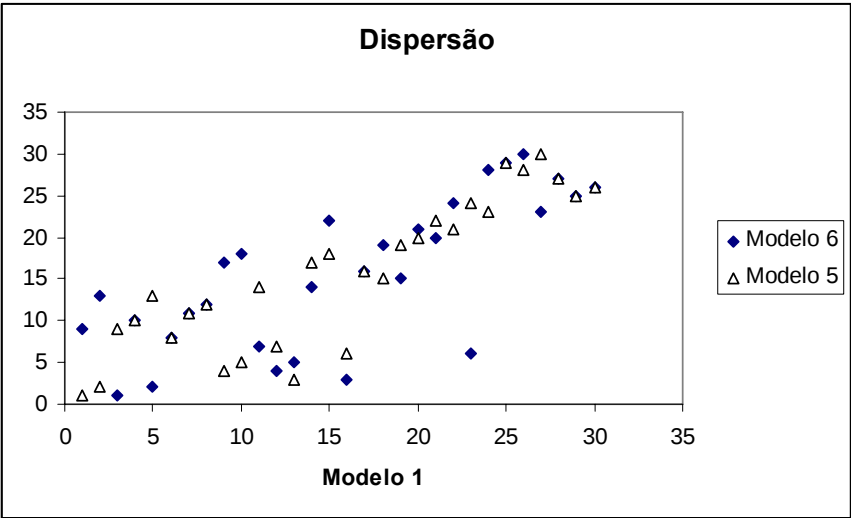


Figura 31 – Dispersão Modelo 1 x Modelo 5, 6

Através das Figuras 26 a 31 pode-se verificar o que foi discutido anteriormente: os Modelos 2 e 3 apresentam pouca dispersão em relação ao Modelo 1, o qual é utilizado no sistema DianE. O Modelo 3 apresenta uma dispersão mais significativa, já os Modelos 5 e 6 apresentam uma dispersão muito maior em relação ao Modelo 1.

As Figuras 32 a 35 apresentadas a seguir mostram as ordenações obtidas pelos Modelos 3, 4, 5 e 6 através do programa computacional desenvolvido em C++ apresentado no capítulo 4, o qual foi utilizado para a análise de sensibilidade apresentada, o fluxo líquido obtido para cada alternativa através deste programa computacional é apresentado na Tabela 23.

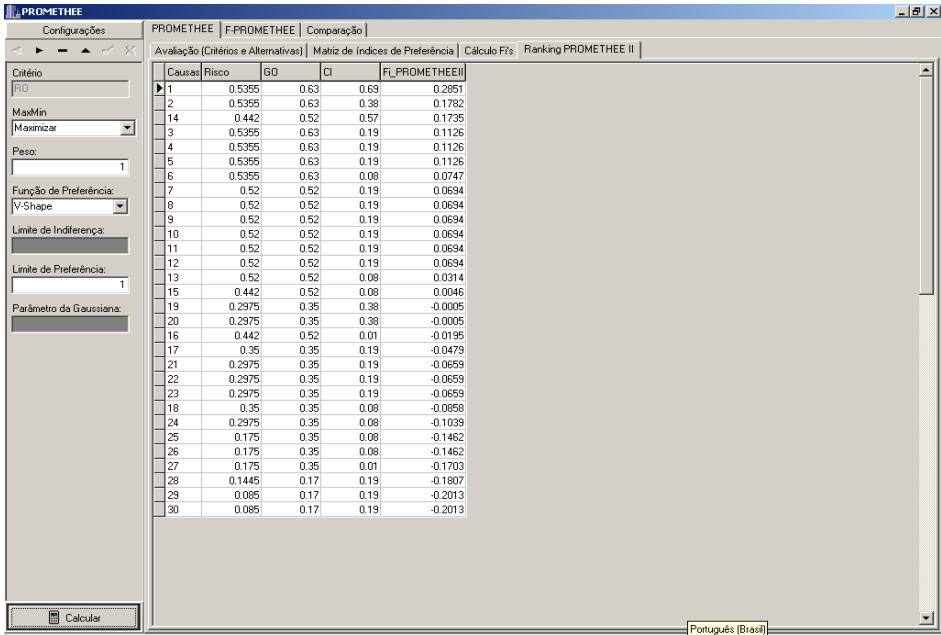


Figura 32 – Ordenação das causas pelo Modelo 3

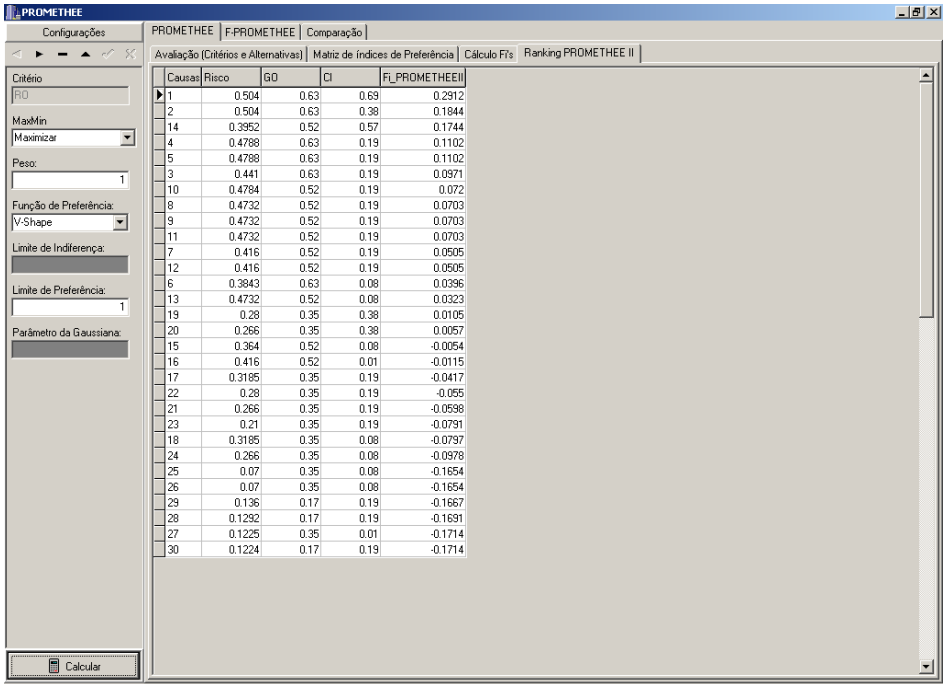


Figura 33 – Ordenação das causas pelo Modelo 4

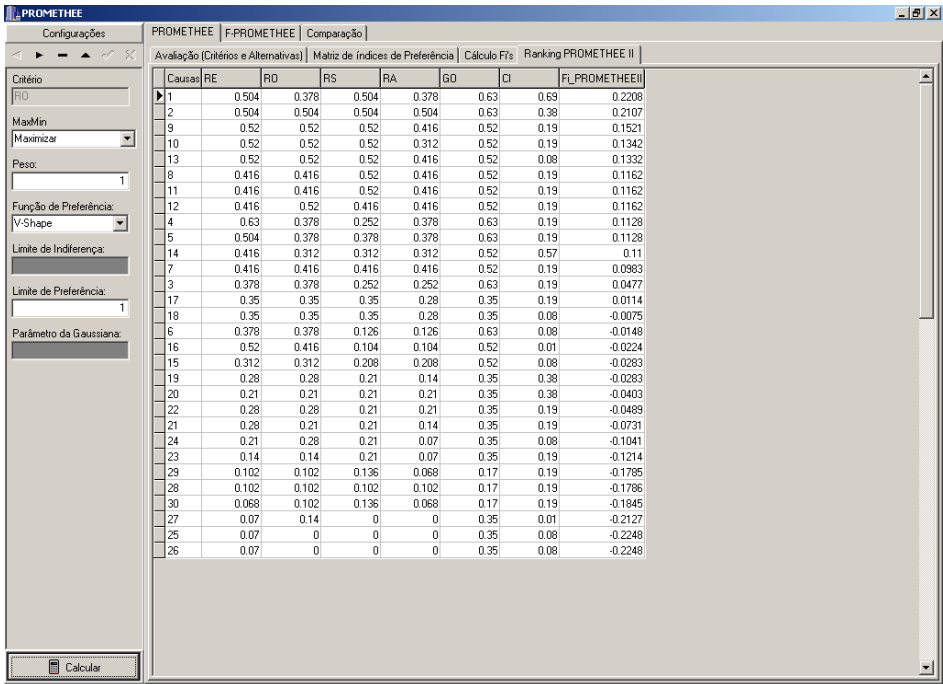


Figura 34 – Ordenação das causas pelo Modelo 5

The screenshot shows the PROMETHEE software interface. The sidebar on the left contains configuration options: 'Critério' (set to 'Fl'), 'MaxMin' (set to 'Maximizar'), 'Peso' (set to 1), 'Função de Preferência' (set to 'V-Shape'), 'Limite de Indiferença' (set to 1), and 'Parâmetro da Gaussiana'. The main window displays a table with columns: 'Causas', 'RE', 'RO', 'RS', 'RA', 'GO', 'FL PROMETHEE II', and 'Yager'. The table lists 30 causes with their respective preference values and Yager scores.

Figura 35 – Ordenação das causas pelo Modelo 6

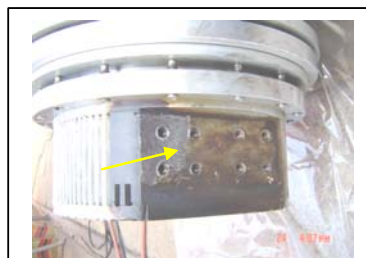
Tabela 23 – Fluxos líquidos calculados dos modelos 3, 4, 5 e 6

Causas	Fluxos Líquidos (ϕ)				
	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6	
				ϕ	Yager
1	0.2851	0.2912	0.2208	(0.14, 0.56, 0.49)	0.12
2	0.1782	0.1844	0.2107	(0.19, 0.82, 0.56)	0.10
3	0.1126	0.0971	0.0477	(0.05, 0.68, 0.48)	-0.012
4	0.1126	0.1102	0.1128	(0.12, 0.75, 0.52)	0.04
5	0.1126	0.1102	0.1128	(0.12, 0.75, 0.51)	0.04
6	0.0747	0.0396	-0.0148	(0, 0.63, 0.45)	-0.06
7	0.0694	0.0505	0.0983	(0.10, 0.73, 0.64)	0.07
8	0.0694	0.0703	0.1162	(0.13, 0.76, 0.66)	0.10
9	0.0694	0.0703	0.1521	(0.17, 0.8, 0.69)	0.13
10	0.0694	0.072	0.1342	(0.14, 0.77, 0.68)	0.11
11	0.0694	0.0703	0.1162	(0.13, 0.76, 0.66)	0.10
12	0.0694	0.0505	0.1162	(0.13, 0.76, 0.65)	0.09
13	0.0314	0.0323	0.1332	(0.17, 0.8, 0.69)	0.13
14	0.1735	0.1744	0.11	(0.04, 0.62, 0.56)	0.02
15	0.0046	-0.0054	-0.0283	(0, 0.63, 0.54)	-0.03
16	-0.0195	-0.0115	-0.0224	(0.01, 0.64, 0.56)	-0.02
17	-0.0479	-0.0417	0.0114	(0.02, 0.65, 0.56)	0.08
18	-0.0858	-0.0797	-0.0075	(0.02, 0.65, 0.84)	0.08
19	-0.0005	0.0105	-0.0283	(0.06, 0.57, 0.68)	-0.02
20	-0.0005	0.0057	-0.0403	(-0.07, 0.56, 0.65)	-0.04
21	-0.0659	-0.0598	-0.0731	(-0.07, 0.56, 0.67)	-0.03
22	-0.0659	-0.055	-0.0489	(-0.05, 0.58, 0.73)	0
23	-0.0659	-0.0791	-0.1214	(-0.12, 0.51, 0.58)	-0.1
24	-0.1039	-0.0978	-0.1041	(-0.09, 0.54, 0.65)	0.05
25	-0.1462	-0.1654	-0.2248	(-0.22, 0.41, 0.42)	-0.22
26	-0.1462	-0.1654	-0.2248	(-0.22, 0.41, 0.42)	-0.22
27	-0.1703	-0.1714	-0.2127	(-0.18, 0.45, 0.47)	-0.17
28	-0.1807	-0.1691	-0.1786	(-0.18, 0.45, 0.78)	-0.07
29	-0.2013	-0.1667	-0.1785	(-0.18, 0.45, 0.78)	-0.07
30	-0.2013	-0.1714	-0.1845	(-0.19, 0.44, 0.75)	-0.09

5.4

Análise dos Resultados

A seguir serão apresentadas as fotografias do transformador em estudo quando aberto para manutenção.



Flanges da bucha de BT
apresentando carbonização,
corrosão e fusão de materiais

Figura 36 – Detalhe da flange da bucha

Fonte: NASCIMENTO et al (2007)



Flanges dos links de interligação
apresentando carbonização,
corrosão e fusão

Figura 37 – Detalhe dos links de interligação

Fonte: NASCIMENTO et al (2007)



Interligação dos terminais do cabo AT e do comutador de apresentando carbonização, corrosão e fusão

Figura 38 – Detalhe dos terminais de AT

Fonte: NASCIMENTO et al (2007)



O terminal de conexão do cabo de AT encontrava-se totalmente corroído

Figura 39 – Detalhe de conexão de AT

Fonte: NASCIMENTO et al (2007)

Pode-se perceber, através da Tabela 17, que a causa listada como 1 pode ser interpretada como indicando o modo de falha identificado nas Figuras 36 e 37. Além disso, a causa listada como 2 está indicando o modo de falha mostrado nas Figuras 38 e 39. Estas causas aparecem como prioritárias nos modelos 1, 2, 3, 4 e 5. Enquanto que no modelo 6 elas aparecem em terceiro e quinto lugar na lista, respectivamente. Este fato acontece devido ao modelo 6 considerar a imprecisão dos dados, fazendo com que dados com incerteza muito alta sejam mais priorizados em relação a outros com incerteza menores. Isto é coerente, pois um modo de falha com grau de ocorrência GO igual a 0,5 e confirmação CI igual a

0,2 poderá ter, considerando a equação (30), graus de ocorrência variando no intervalo de 0 a 1, e isto poderá ser mais crítico que um modo de falha com $GO=0,6$ e $CI=0,7$, onde a confirmação neste caso é muito mais elevada.

As Figuras 36 a 39 comprovam que a lista de causas identificadas levaria os gestores da manutenção à identificação das causas do problema. De fato, até o momento de abrir o equipamento realizando uma inspeção detalhada, o que existe disponível ao mantenedor é uma lista ordenada de possibilidades que deve ser utilizada como orientativa para facilitar a identificação final do problema e a definição da ação corretiva mais adequada. Espera-se de um bom sistema de diagnósticos que consiga colocar o modo de falha real atingindo o equipamento em um subconjunto de alternativas mais próximas do topo da lista. A decisão de quando agir, desenergizando e abrindo o equipamento para inspeção, irá depender de cada empresa. Algumas aceitarão conviver em um ambiente com riscos mais elevados, outras poderão ser mais conservadoras e admitirão limites de risco menores.