



XXV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

4735
GTM/06

Grupo de Estudo de Transformadores, Reatores, Materiais e Tecnologias Emergentes-GTM

MODELAGEM, UTILIZANDO O MÉTODO AHP, PARA DETERMINAR A PRIORIZAÇÃO NA SUBSTITUIÇÃO DE TRANSFORMADORES DE TRANSMISSÃO COM A VIDA ÚTIL REGULAMENTAR EXAURIDA.

**ANTÔNIO TADEU DE BRITO(1); ALZETE MARTINS QUADROS(2); FELIPE LUIS PROBST(3);
ELETROSUL(1);ELETROSUL(2);ELETROSUL(3);**

RESUMO

Este trabalho apresenta a aplicação do método AHP para classificar a ordem de substituição de transformadores da rede básica que possuem idade superior a 35 anos, visando munir a alta administração da Eletrosul com mais uma ferramenta para auxiliar as tomadas de decisões.

A principal vantagem do método é a propriedade de ser facilmente replicado, após a definição dos critérios, para condições similares, visto que as definições são totalmente analíticas.

Ao final do estudo, é possível verificar de forma clara e objetiva a aplicabilidade do método, bem como a facilidade de sua aplicação.

PALAVRAS-CHAVE

AHP; Substituição de Transformadores, Rede Básica.

1.0 - INTRODUÇÃO

A busca cada vez maior pela eficiência na administração das empresas de energia focando a maximização da rentabilidade do negócio requer que a Alta Administração esteja munida de subsídios técnicos para que a tomada de decisão na renovação do seu parque de equipamentos seja cada vez mais assertiva. De forma a propor um planejamento de curto e médio prazo e visando a manutenção da confiabilidade do sistema aliada ao retorno dos investimentos, garantindo-se assim a viabilidade econômica do negócio, foi realizado este estudo, baseado no método conhecido como AHP, onde foram avaliados os 36 transformadores da rede básica com idade superior a 35 anos para estabelecer uma ordem de prioridade de substituição.

Neste trabalho, por questões de confidencialidade, serão apresentados os dados de apenas 3 transformadores que fizeram parte do trabalho original, todavia, será possível compreender a metodologia apresentada bem como o resultado final do mesmo.

2.0 - MÉTODO AHP

O método AHP (Analytic Hierarchy Process) foi desenvolvido na década de 1970 pelo Prof. Thomas Saaty e é um método que visa auxiliar as pessoas na tomada de decisões complexas. Mais do que determinar qual a decisão correta, o AHP auxilia a escolher e a justificar a sua escolha baseada em matemática e na expertise de um grupo de profissionais com ampla experiência sobre o assunto a ser analisado.

O método AHP possui como principal vantagem a facilidade de se replicar o estudo a qualquer momento, visto que os critérios utilizados são solidamente definidos e, matematicamente, de difícil contestação.

2.1 Sistemática de Avaliação

A partir da decomposição dos problemas em subproblemas, analisando-os um a um de forma independente, é possível ordená-los e, desta forma, "qualificá-los" quanto à importância destes no sistema em estudo.

A determinação da contribuição de cada critério no resultado final é calculada a partir do vetor de prioridade ou vetor de Eigen. Os valores deste vetor definem qual a importância de uma característica sobre as demais.

Após a definição do vetor de Eigen, é realizada outra avaliação matemática visando verificar a consistência dos valores, chamada de taxa de consistência. O valor desta taxa deve ser inferior a 10% para que a análise da importância das características seja considerada válida. Realiza-se a hierarquização dos dados avaliados, neste caso dos transformadores de força, para cada uma das características definidas. Com isso, é possível classificá-los em ordem de importância.

Consultando a literatura de trabalhos já realizados na Eletrosul, experiência dos colegas e literatura técnica, foram definidos os critérios, que estão apresentados na Tabela 1, para aplicação do método AHP.

Tabela 1 – Descrição das características e sub características.

ITEM	CARACTERÍSTICA	ITEM	SUB-CARACTERÍSTICA
1	Idade dos Transformadores		
2	Obsolescência dos Equipamentos	2.1	Parte Ativa
		2.2	Buchas
		2.3	Comutador em carga
		2.4	Acessórios
3	Importância Sistêmica		
4	Valor da RAP (Receita Anual Permitida);		
5	Envelhecimento do papel ¹		

Como se verifica na Tabela 1, dividiu-se a característica "obsolescência dos equipamentos" em 4 subgrupos de componentes que são a parte ativa, que envolve todo o núcleo, as buchas capacitivas, o comutador em carga e os acessórios, componentes que não estão listados nos subgrupos anteriores.

3.0 - APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

Os critérios de hierarquização de uma característica sobre a outra foram atribuídos conforme apresentados na Tabela 2, que descreve a escala de importância para a relação entre as características.

Tabela 2 - Atribuição dos valores para o método AHP.

ESCALA	AValiação	RECÍPROCO	COMENTÁRIO
Igual importância	1	1	Os dois critérios contribuem igualmente para os objetos
Importância Moderada	3	1/3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre o outro
Mais importante	5	1/5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente sobre o outro
Muito importante	7	1/7	Um critério é fortemente favorecido em relação ao outro e pode ser demonstrado na prática
Importância extrema	9	1/9	Um critério é favorecido em relação a outro com mais alto grau de certeza

A partir da análise das características e realização das comparações entre elas, chegou-se aos resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação entre as características primárias.

	ENVELHECIMENTO DO PAPEL ISOLANTE	IDADE	RAP	IMPORTÂNCIA SISTÊMICA	OBSOLESCÊNCIA DOS ACESSÓRIOS
ENVELHECIMENTO DO PAPEL ISOLANTE	1	7	3	1	5
IDADE	1/7	1	1/5	1/7	1/3
RAP	1/3	5	1	1/3	3
IMPORTÂNCIA SISTÊMICA	1	7	3	1	5
OBSOLESCÊNCIA DOS ACESSÓRIOS	1/5	3	1/3	1/5	1
TOTAL (T)	2,68	23,00	7,53	2,68	14,33

¹ 2FAL: Método utilizado para verificar o grau de envelhecimento do papel isolante do transformador.

Define-se, para cada par, o valor da importância da característica apresentada na linha em relação à apresentada na coluna. Como exemplo, considerou-se o envelhecimento do papel 7 vezes mais importante do que a idade do equipamento.

O total "T" é obtido somando-se os índices constantes individualmente em cada coluna. Como exemplo, para a coluna do envelhecimento do papel, o total é calculado de acordo com a equação (1).

$$T_{EP} = 1 + \frac{1}{7} + \frac{1}{3} + 1 + \frac{1}{5} = 2,68 \quad (1)$$

Onde:

T_{EP} – Valor total do Envelhecimento do Papel.

Após a avaliação, utiliza-se o valor calculado para a normalização da respectiva coluna dividindo cada célula pelo Total da coluna. O vetor de Eigen é obtido, então, a partir da média dos valores obtidos por linha. A Tabela 4 apresenta a obtenção da tabela normalizada e o vetor de Eigen para a característica "Envelhecimento do papel isolante".

Tabela 4 - Tabela comparativa normalizada.

	ENVELHECIMENTO DO PAPEL ISOLANTE	IDADE	RAP	IMPORTÂNCIA SISTÊMICA	OBSOLESCÊNCIA DOS ACESSÓRIOS	VETOR DE EIGEN
ENVELHECIMENTO DO PAPEL ISOLANTE	$\frac{1}{2,68}$	$\frac{7}{23}$	$\frac{3}{7,53}$	$\frac{1}{2,68}$	$\frac{5}{14,33}$	$\left(\frac{1}{2,68} + \frac{7}{23} + \frac{3}{7,53} + \frac{1}{2,68} + \frac{5}{14,33} \right) / 5 = 0,3597$

[FLP1] Comentário: Estava faltando dividir por 5 para dar a média.

Realizando-se os cálculos para as demais características, obtêm-se os valores expressos na Tabela 5.

Tabela 5 - Tabela normalizada.

	ENVELHECIMENTO DO PAPEL ISOLANTE	IDADE	RAP	IMPORTÂNCIA SISTÊMICA	OBSOLESCÊNCIA DOS ACESSÓRIOS	VETOR DE EIGEN
ENVELHECIMENTO DO PAPEL ISOLANTE	0,37	0,30	0,40	0,37	0,35	35,97%
IDADE	0,05	0,04	0,03	0,05	0,02	4,00%
RAP	0,12	0,22	0,13	0,12	0,21	16,17%
IMPORTÂNCIA SISTÊMICA	0,37	0,30	0,40	0,37	0,35	35,97%
OBSOLESCÊNCIA DOS ACESSÓRIOS	0,07	0,13	0,04	0,07	0,07	7,88%

O Valor principal, utilizado para o cálculo da taxa de consistência, é obtido a partir da soma dos produtos das colunas, conforme apresentado na equação (2).

$$VP = 0,3597 \times 2,68 + 0,04 \times 23 + 0,1617 \times 7,53 + 0,3597 \times 2,68 + 0,0788 \times 14,33$$

$$VP = 5,19 \quad (2)$$

O resultado final do vetor de Eigen e o Valor principal (VP) da matriz são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Vetor de Eigen e Valor Principal da matriz.

	ENVELHECIMENTO DO PAPEL ISOLANTE	IDADE	RAP	IMPORTÂNCIA SISTÊMICA	OBSOLESCÊNCIA DOS ACESSÓRIOS
Vetor de Eigen	35,97%	4,00%	16,17%	35,97%	7,88%
Total da Matriz	2,68	23,00	7,53	2,68	14,33
Valor Principal (VP)	5,19				

Para se chegar à avaliação final, deve-se então verificar, pela dimensão da matriz (DM) de critérios, o valor do índice de consistência aleatória (RI). Neste caso, o valor de DM é 5 e o valor de RI é 1,12, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Valor do Índice de consistência aleatória.

Dimensão da Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor de RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

A partir dos valores de DM e RI, calcula-se então a taxa de consistência (TC), de acordo com a equação (3).

$$TC = \frac{\left(\frac{VP - DM}{DM - 1}\right)}{RI} = \frac{\left(\frac{5,19 - 5}{5 - 1}\right)}{1,12} \quad (3)$$

$$TC = 0,04312 = 4,312 \%$$

Como se observa na equação (3), o valor obtido para a taxa de consistência foi de 4,31%, portanto inferior ao limite de 10% definido pelo método, o que permite afirmar que as considerações estão consistentes.

Aplicou-se também o método AHP para as sub características do critério “Obsolescência dos Equipamentos”, sendo que o desenvolvimento para estes itens seguiu a mesma metodologia.

Os valores do vetor de Eigen obtidos para as características e sub-características são os apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Hierarquização primária.

CARACTERÍSTICA	VETOR DE EIGEN		
ENVELHECIMENTO DO PAPEL ISOLANTE	35,97%		
IDADE	4,00%		
RAP	16,17%		
IMPORTÂNCIA SISTÊMICA	35,97%		
OBSELECENCIA DOS ACESSÓRIOS	7,88%	COMUTADOR	22,51%
		BUCHA	22,51%
		PARTE ATIVA	51,45%
		ACESSÓRIOS	3,54%

4.0 - ORDENAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS PARA CADA CRITÉRIO

As fórmulas utilizadas para obtenção dos valores atribuídos aos equipamentos avaliados para cada uma das características são baseadas na equação da reta, onde o equipamento que possui a característica de maior valor recebe o valor 100 enquanto que o que possui o menor valor recebe o valor 0, conforme apresentado na Figura 1.

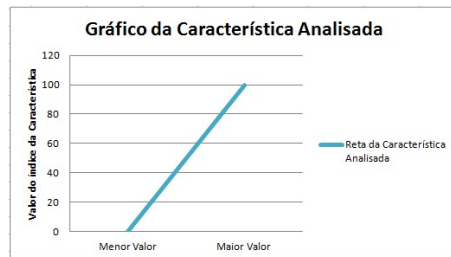


Figura 1 – Gráfico da Equação da reta genérica utilizada para avaliação das características.

O valor obtido a partir da classificação sequencial representada pela reta apresentada na Figura 1 é multiplicado pelo peso da característica e pela respectiva sub-característica, caso esta exista para o critério em avaliação, formando-se assim o índice da característica, conforme a equação (4).

$$I_{carac} = \frac{100 \times (CARACT_E - MCARACT)}{MCARACT - mCARACT} \times PC \times PSC \quad (4)$$

Onde:

- I_{carac} - Índice da característica em avaliação;
- $CARACT_E$ - Valor da Característica do equipamento em análise;
- $MCARACT$ - Maior valor da característica entre os equipamentos avaliados;
- $mCARACT$ - Menor valor da característica entre os equipamentos avaliados;
- PC - Peso da característica conforme vetor de Eigen;
- PSC - Peso da sub-característica conforme vetor de Eigen.

5.0 - CLASSIFICAÇÃO DE PRIORIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE TRANSFORMADORES

Neste capítulo é apresentada a aplicação da metodologia para definir a ordenação proposta para substituição dos transformadores com vida útil regulamentar superada.

5.1 Envelhecimento do Papel

Para avaliação do papel, devido ao fato dos equipamentos avaliados não possuírem papel termo estabilizado, optou-se pela utilização do método de 2 furaldeído (2FAL), que possibilita uma avaliação do estado médio de degradação do papel isolante dos transformadores. A fórmula empregada está apresentada na equação (5).

$$I_{2FAL} = \frac{100 \times (2FAL_E - M2FAL)}{M2FAL - m2FAL} \times PC1 \quad (5)$$

Onde:

- I_{2FAL} - Índice do envelhecimento do papel do transformador;
- $2FAL_E$ - Furfuraldeído do papel do equipamento em análise;
- $M2FAL$ - Maior 2FAL entre os equipamentos avaliados;
- $m2FAL$ - Menor 2FAL entre os equipamentos avaliados;
- $PC1$ - Peso da Característica "envelhecimento do papel", que é igual a 0,3597 conforme definido na Tabela 8.

A Tabela 9 apresenta o peso para cada equipamento após a avaliação do papel isolante.

Tabela 9 - Cálculo referente ao envelhecimento do papel do equipamento (I_{2FAL}).

Equipamento	2FAL	m2FAL	M2FAL	I_{2FAL}	Peso da Característica (I_{2FAL})
Trafo 1	1,3	0,43	3,4	$\frac{100 \times (1,3 - 0,43) \times 0,3597}{3,4 - 0,43}$	4,74
Trafo 2	3,4			$\frac{100 \times (3,4 - 0,43) \times 0,3597}{3,4 - 0,43}$	
Trafo 3	0,43			$\frac{100 \times (0,43 - 0,43) \times 0,3597}{3,4 - 0,43}$	

5.2 Idade dos Transformadores

O resultado para definição do valor da característica "idade dos transformadores" de cada equipamento será obtido aplicando-se a equação (6).

$$I_{IT} = \frac{100 \times (IE - 36)}{MIT - 36} \times PC2 \quad (6)$$

Onde:

- I_{IT} - Índice da idade do transformador;
- IE - Idade do equipamento em estudo;
- MIT - Maior Idade entre os equipamentos avaliados;
- $PC2$ - Peso da Característica "idade dos transformadores", que é igual a 0,04 conforme definido na Tabela 8.

O cálculo exemplificado é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Cálculo referente à idade do equipamento.

Equipamento	Idade (IE)	MIT	Peso da Característica (I_{IT})
Trafo 1	37	45	0,44
Trafo 2	45		4,00
Trafo 3	40		1,78

5.3 Receita Anual Permitida

Outro critério utilizado foi o da Receita Anual Permitida (RAP), valor pelo qual a ANEEL remunera a empresa pela manutenção e operação do transformador enquanto o mesmo executa a sua função requerida. O Critério adotado para esta característica foi similar ao da idade, e pode ser calculado aplicando a equação (7).

$$I_{RAP} = \frac{100 \times (RAP_E - mRAP)}{MRAP - mRAP} \times PC3 \quad (7)$$

Onde:

- I_{RAP} - Índice da RAP do transformador;
- RAP_E - RAP do equipamento em análise;
- MRAP - Maior RAP entre os equipamentos avaliados;
- mRAP - Menor RAP entre os equipamentos avaliados;
- PC3 - Peso da Característica "valor da RAP", que é igual a 0,1617 conforme definido na Tabela 8.

A Tabela 11 apresenta o cálculo referente à importância do equipamento quanto à sua RAP.

Tabela 11 - Cálculo referente à RAP do equipamento (I_{RAP}).

Equipamento	RAP	mRAP	MRAP	Peso da Característica (I_{RAP})
Trafo 1	925.285,44	925.285,44	2.990.183,40	0
Trafo 2	2.990.183,40			16,17
Trafo 3	2.990.183,40			16,17

5.4 Obsolescência dos Equipamentos

Conforme já citado, a avaliação da obsolescência dos equipamentos, de peso 7,88% foi dividida em sub-características que possuem pesos próprios e são multiplicados pelo peso da característica principal. A análise individual de cada sub-característica é apresentada a seguir.

5.4.1 Parte Ativa

Foram avaliados como características a serem pontuadas na parte ativa problemas crônicos como:

- Eletrização estática;
- Enxofre corrosivo.

A fórmula que resulta na classificação desta sub-característica está apresentado na equação (8).

$$I_{PA} = \frac{100 \times (PA_E - mPA)}{MPA - mPA} \times PC4 \times PC41 \quad (8)$$

Onde:

- I_{PA} - Índice da parte ativa;
- PA_E - Parte ativa do equipamento em análise;
- MPA - Maior valor da parte ativa entre os equipamentos avaliados;
- mPA - Menor valor da parte ativa entre os equipamentos avaliados;
- PC4 - Peso da característica "obsolescência dos acessórios", que é igual a 0,0788 conforme definido na Tabela 8;
- PC41 - Peso da sub-característica "parte ativa", que é igual a 0,5145 conforme definido na Tabela 8.

Para esta característica verificou-se que o Trafo 2 apresenta o problema crônico de eletrização estática que fez com que ao mesmo fosse atribuído nota máxima, conforme ilustrado na Tabela 12. Os demais transformadores não apresentavam problemas crônicos.

Tabela 12 - Cálculo referente à parte ativa (IPA).

Equipamento	PA	mPA	MPA	Peso da Característica (IPA)
Trafo 1	0	0	100	0,00
Trafo 2	100			4,05
Trafo 3	0			0,00

5.4.2 Computador em Carga

Ao analisar o histórico de manutenções dos transformadores, verificou-se que comutador do Trafo 1, apresenta trincas na isolação de seu comutador e também possui a necessidade de substituição de cordoalhas e do contato principal que está se aproximando do limite aceitável de desgaste. Tais atividades exigiriam o desembolso de moderado valor financeiro em um equipamento que já exauriu a sua vida útil regulamentar. A fórmula aplicada para a classificação destes problemas é apresentada na equação (9) **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

$$I_{OLTC} = \frac{100 \times (OLTC_E - mOLTC)}{MOLTC - mOLTC} \times PC4 \times PC42 \quad (9)$$

Onde:

- I_{OLTTC} - Índice do comutador;
- $OLTCE$ - Comutador do equipamento em análise;
- $MOLTTC$ - Maior valor do comutador entre os equipamentos avaliados;
- $mOLTTC$ - Menor valor do comutador entre os equipamentos avaliados;
- $PC4$ - Peso da característica "obsolescência dos acessórios", que é igual a 0,0788 conforme definido na Tabela 8;
- $PC42$ - Peso da sub-característica "comutador em carga", que é igual a 0,2251 conforme definido na Tabela 8.

Baseado nestes problemas, os transformadores foram assim classificados na Tabela 13.

Tabela 13 - Classificação quanto à sub-característica comutador (IOLTTC).

Equipamento	OLTCE	mOLTTC	MOLTTC	Peso da Característica (IOLTTC)
Trafo 1	100	0	100	1,77
Trafo 2	0			0,00
Trafo 3	0			0,00

5.4.3 Buchas

Em relação às buchas, verificou-se que o Trafo 1 apresenta suas buchas em final de vida útil e sua reposição requer elevado investimento. Além disso, houve a explosão de duas buchas em transformadores idênticos que possuíam a mesma idade.

A fórmula para a classificação destes problemas é apresentada na equação (10).

$$I_{BU} = \frac{100 \times (BU_E - mBU)}{MBU - mBU} \times PC4 \times PC43 \quad (10)$$

Onde:

- I_{BU} - Índice da contribuição da Bucha na categorização;
- BU_E - Bucha do equipamento em análise;
- MBU - Maior valor da Bucha entre os equipamentos avaliados;
- mBU - Menor valor da Bucha entre os equipamentos avaliados;
- $PC4$ - Peso da característica "obsolescência dos acessórios", que é igual a 0,0788 conforme definido na Tabela 8;
- $PC43$ - Peso da sub-característica "buchas", que é igual a 0,2251 conforme definido na Tabela 8.

A Tabela 14 apresenta a classificação dos transformadores para o critério de buchas.

Tabela 14 - Categorização AHP em relação às buchas (IBU).

Equipamento	BU	mBU	MBU	Peso da Característica (IBU)
Trafo 1	100	0	100	1,77
Trafo 2	0			0,00
Trafo 3	0			0,00

5.4.4 Acessórios

A avaliação dos acessórios levou em consideração o critério de obsolescência dos equipamentos no que tange à dificuldade mercadológica de reposição e, por consequência, o preço dos mesmos. Outro fato considerado foi a crescente curva de falhas dos mesmos, como por exemplo, vazamento em bombas do sistema de filtragem ou refrigeração, danos na isolação de cabos de *potencial device*, entre outros.

Os equipamentos com histórico de defeitos críticos em acessórios, neste caso o Trafo 1 e Trafo 3, receberam a nota máxima para este critério conforme apresentado na Tabela 15, que apresenta a hierarquização dos equipamentos de acordo com os critérios de defeitos em acessórios.

Tabela 15 - Categorização AHP em relação aos acessórios (IAC).

Equipamento	ACE	mAC	MAC	Peso da Característica (IAC)
Trafo 1	100	0	100	0,28
Trafo 2	0			0,00
Trafo 3	100			0,28

5.5 Importância Sistêmica

Para este estudo, a importância sistêmica adquiriu um peso significativo. O nível de importância desta característica foi de 35,97%. Para classificar os transformadores, cada equipamento foi submetido a 5 questionamentos e, conforme a resposta, recebeu os valores descritos na Tabela 16.

Tabela 16 - Questões para avaliação da importância sistêmica.

QUESTÕES		RESPOSTA	VALOR
1	A PERDA DESTE EQUIPAMENTO OCASIONA EM CORTE DE CARGA	Sim	100
		Não	0
2	O RESERVA ESTÁ INSTALADO NA SUBESTAÇÃO, EM OUTRA SUBESTAÇÃO OU NÃO POSSUI RESERVA.	Não possui Reserva	100
		Outra Subestação	50
		Local	0
3	A POTÊNCIA DO RESERVA É INFERIOR À POTÊNCIA DO TITULAR?	Sim	100
		Não	0
4	TEMPO DE RECOMPOSIÇÃO DA FUNÇÃO [DIAS]	Recomposição ≥ 40	100
		$15 \leq \text{Recomposição} < 40$	10
		$3 \leq \text{Recomposição} < 15$	4,64
		Recomposição < 3	3,16
5	ENVOLVE GRANDE REPERCUÇÃO A PERDA DESTE EQUIPAMENTO?	Sim	100
		Não	0

A contabilização da criticidade do equipamento está na somatória das notas atribuídas a cada equipamento. Os valores que classificam os transformadores quanto à importância sistêmica estão apresentados na Tabela 17

Tabela 17.

Tabela 17 - Categorização dos transformadores quanto à importância sistêmica.

EQUIPAMENTO		RESPOSTAS [VALOR DA RESPOSTA]		
		TF1	TF2	TF3
QUESTÕES	A PERDA DESTE EQUIPAMENTO OCASIONA CORTE DE CARGA	NÃO [0]	NÃO [0]	SIM [100]
	O RESERVA ESTÁ INSTALADO NA SUBESTAÇÃO (LOCAL) OU FORA (OUTRA SUBESTAÇÃO) OU NÃO POSSUI RESERVA (SEM RESERVA)	LOCAL [0]	LOCAL [0]	LOCAL [0]
	A POTÊNCIA DO RESERVA É INFERIOR À POTÊNCIA DO TITULAR?	NÃO [0]	NÃO [0]	NÃO [0]
	TEMPO DE RECOMPOSIÇÃO DA FUNÇÃO [dias]	2 [3,16]	1 [3,16]	1 [3,16]
	ENVOLVE GRANDE REPERCUÇÃO A PERDA DESTE EQUIPAMENTO?	NÃO [0]	NÃO [0]	SIM [100]
SOMATÓRIA		3,16	3,16	203,16

Aplicando-se a equação (11), calcula-se o valor final da importância sistêmica.

$$I_{IS} = \frac{100 \times (I_{SE} - mIS)}{MIS - mIS} \times PC5 \quad (11)$$

Onde:

- I_{IS} - Índice da contribuição da importância sistêmica na categorização;
- I_{SE} - Importância Sistêmica do equipamento em análise;
- MIS - Maior valor da importância sistêmica entre os equipamentos avaliados;
- mIS - Menor valor da importância sistêmica entre os equipamentos avaliados;
- PC5 - Peso da característica "importância sistêmica", que é igual a 0,3597 conforme definido na Tabela 8.

A Tabela 18 apresenta a classificação dos transformadores para o critério de importância sistêmica.

Tabela 18 - Tabela de índice da importância sistêmica (IIS).

Equipamento	ISE	Mis	MIS	Peso da Característica (IIS)
Trafo 1	3,16	3,16	203,16	0,00
Trafo 2	3,16			0,00
Trafo 3	203,16			35,97

5.6 Definição da Ordem de Prioridade de Substituição dos Transformadores sob Estudo

Consolidando os dados apresentados anteriormente, define-se por fim a ordem sugerida para substituição dos transformadores. A Tabela 19 apresenta o resultado final da aplicação do método AHP para os transformadores de transmissão objetos deste trabalho, onde se verifica os valores obtidos para cada critério, bem como a soma total, que indicará uma ordem de prioridade de substituição.

Tabela 19 – Hierarquia para substituição dos transformadores de força pelo método AHP.

EQUIPAMENTO		Trafo 3	Trafo 2	Trafo 1		
CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	IDADE	(IIT)	1,78	4,00	0,44	
	RAP	(IRAP)	16,17	16,17	0,00	
	ENVELHECIMENTO DO PAPEL	(I2FAL)	0,00	16,17	4,74	
	OBSOLECÊNCIA	PARTE ATIVA	(IPA)	0,00	4,05	0,00
		COMUTADOR	(IOLTC)	0,00	0,00	1,77
		BUCHAS	(IBU)	0,00	0,00	1,77
		ACESSÓRIOS	(IAC)	0,28	0,00	0,28
	IMPORTÂNCIA SISTÊMICA	(IIS)	35,97	0,00	0,00	
TOTAL			54,20	40,39	9,01	

É possível verificar que o Trafo 3, pelo estudo, possui a prioridade de substituição em relação ao Trafo 2 e Trafo 1, respectivamente.

6.0 - CONCLUSÃO

A partir da entrada em vigor da resolução normativa ANEEL nº 643/2014, as empresas concessionárias de transmissão podem substituir ou recapacitar os equipamentos em final de vida útil ou com desempenho insatisfatório, obtendo a reposição do valor investido para estes fins.

Dessa forma, entende-se que a substituição de equipamentos em final de vida útil por novos é a melhor solução empresarial, devido à atualização tecnológica, melhoria da confiabilidade sistêmica e aumento da remuneração dos ativos. Todavia, sabe-se que, a curto prazo, o montante necessário para a substituição de transformadores é bastante expressivo e, por isso, é importante que se tenha um plano de ação para a revitalização dos ativos utilizando-se de metodologia sólida e amplamente aplicada para tomada de decisões complexas.

A partir dos dados apresentados e as avaliações realizadas neste trabalho, é possível indicar uma ordem de prioridade de substituição dos transformadores de força com a vida útil regulamentar superada.

7.0 - BIBLIOGRAFIA

- ABNT – NBR 7274:2012 - **Interpretação da Análise dos Gases de Transformadores em Serviço**;
- Eletrosul - DEEL 02/2005 – **Trabalho de Classificação de Estado dos Transformadores de Transmissão Sistema Eletrosul** – SETTI;
- MILASCH, Milan – **Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante** – Edgard Blucher – 1984;
- SAATY, T. L - **The Analytic Hierarchy Process**. N. York, USA - McGraw-Hill - 1980
- SAATY, T. L - **Theory and applications of the Analytic Network Process. Decision making with benefits, opportunities, costs, and risks**. Pittsburgh, USA - RWS - 2005

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Antônio Tadeu de Brito – Engenheiro Eletricista formado pelo CEFET-PR, atual UTFPR, Especialista em Sistemas Elétricos Industriais Latu Sensu – também pelo CEFET-PR. Funcionário da Eletrosul, onde desde 2010 trabalha na Engenharia de Manutenção de Equipamentos, na área de transformadores de potência e reatores.

[FLP2] Comentário: Acho que vale a pena incluir alguma bibliografia referente ao método AHP, visto que este é o tema central do trabalho.