

# Análise da Capitalização das Perdas de Energia em Transformadores de Distribuição

Alessandro Finkler

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias - DCEEng  
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio  
Grande do Sul - UNIJUÍ  
Santa Rosa, Brasil  
finkler.alessandro@gmail.com

Sandro André Haas

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias - DCEEng  
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio  
Grande do Sul - UNIJUÍ  
Santa Rosa, Brasil  
sandrohaas@hotmail.com

Laura Lisiane Callai dos Santos

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias - DCEEng  
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio  
Grande do Sul - UNIJUÍ  
Santa Rosa, Brasil  
laura.santos@unijui.edu.br

Silvana Zauza

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias - DCEEng  
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio  
Grande do Sul - UNIJUÍ  
Santa Rosa, Brasil  
silvana.zauza@gmail.com

Mauro Fonseca Rodrigues

Departamento de Ciências Exatas e Engenharias - DCEEng  
Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio  
Grande do Sul - UNIJUÍ  
Santa Rosa, Brasil  
mauro.rodrigues@unijui.edu.br

**Resumo**— Os transformadores são fundamentais para a operação dos sistemas elétricos em corrente alternada, são estes equipamentos que rebaixam as tensões de alta e média tensão para as tensões de utilização pelos consumidores. Entretanto, os transformadores apresentam perdas de energia intrínsecas ao seu funcionamento, sendo então necessárias análises que possibilitam otimizar a utilização destes equipamentos. Uma forma de reduzir as perdas nos sistemas de distribuição é utilizar transformadores de distribuição com maiores níveis de eficiência, para isso, deve-se realizar um estudo de viabilidade financeira do custo benefício entre equipamentos de diferentes níveis de eficiência. Sendo assim, este trabalho tem por objetivo desenvolver um estudo de caso da análise de viabilidade econômica da utilização de transformadores de distribuição de diferentes níveis de eficiência.

**Palavras-chave**— Transformadores de Distribuição; Perdas em Transformadores; Avaliação de Perdas de Energia; Capitalização de Perdas de Energia.

## I. INTRODUÇÃO

Basicamente, os transformadores são constituídos de um núcleo magnético, enrolamento primário e enrolamento secundário [1]. São equipamentos importantes no atual cenário dos sistemas elétricos de potência, os transformadores são responsáveis pela adequação, seja elevação ou redução, da tensão ao longo do sistema elétrico [2].

Porém, no processo de conversão da tensão pelos transformadores, seja elevação ou redução, ocorrem perdas de energia que estão intrínsecas a este processo. Segundo Fowler

[3], todo processo de conversão de energia envolve o consumo de energia em perdas.

Segundo Picanço [4], os transformadores são responsáveis por cerca de 33,3% das perdas de energia nos sistemas de distribuição. Visto isso, sabe-se que as perdas em transformadores podem ser divididas em dois tipos: as perdas fixas e as perdas variáveis [5].

As perdas fixas, ou também perdas a vazio como são chamadas, ocorrem no núcleo do transformador e se referem as perdas devido a magnetização do núcleo ferromagnético, em geral ocorrem em função dos efeitos de histerese magnética e de correntes de Foucault. Estas perdas são inerentes ao equipamento e são fixas durante todo o período em que o equipamento está em operação, independente das condições de carregamento do mesmo [5].

Já as perdas variáveis, ou também perdas sob carga, ocorrem principalmente por efeito Joule nos enrolamentos do transformador em função da resistência ôhmica dos enrolamentos. As perdas variáveis são dependentes da corrente que circula nos enrolamentos do transformador, logo a sua variação esta atrelada ao carregamento exigido do equipamento [5].

Apesar dos transformadores apresentarem grande representatividade nas perdas dos sistemas de distribuição de energia elétrica, eles são extremamente essenciais no funcionamento destes. Com isso, surge a preocupação em melhorar a eficiência energética na utilização destes

equipamentos, a gestão do carregamento dos transformadores é um método considerável na redução das perdas técnicas em sistemas de distribuição, visto que, o dimensionamento inadequado de transformadores contribui para o aumento das perdas [6].

Surge como alternativa para redução do impacto dos transformadores nas perdas do sistema elétrico a utilização de equipamentos com melhores níveis de eficiência energética [6]. Porém, sabe-se que transformadores com maiores níveis de eficiência tendem a possuir valor de compra mais elevado em comparação a equipamentos menos eficientes. Com isso, surge o questionamento: Como avaliar economicamente a utilização de transformadores mais eficientes nos sistemas de distribuição de energia?

Tendo em vista a avaliação do custo benefício na compra de transformadores com melhores níveis de eficiência, deve-se fazer o comparativo de preços entre equipamentos considerando os custos envolvidos na operação, ou seja, o custo das perdas de energia [7]. Este método se denomina capitalização das perdas, que consiste em agregar ao valor de compra do equipamento os valores consumidos em perdas de energia por determinado período de tempo [7].

Com base nisso, este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia para o cálculo do custo de transformadores considerando a capitalização das perdas de energia em diferentes cenários de carregamento. Além disso, o trabalho também tem como objetivo apresentar estudo de caso desenvolvido com a metodologia para comparar o valor capitalizado transformadores de diferentes níveis de eficiência.

## II. METODOLOGIA

Na Fig. 1 está sintetizada a metodologia desenvolvida no estudo, sendo dividida em cinco principais etapas.

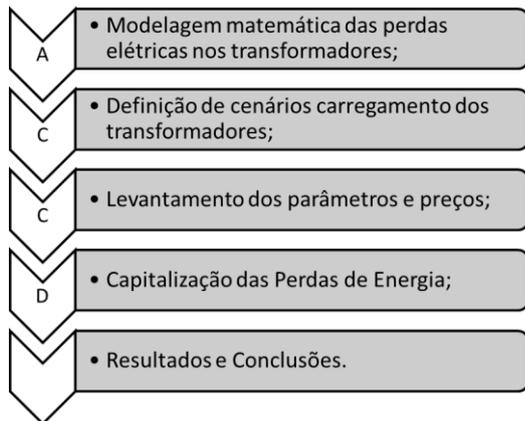


Fig. 1 – Etapas desenvolvidas na metodologia.

### A. Modelagem Matemáticas das Perdas em Transformadores

Para determinar os custos referentes as perdas em transformadores, deve-se modelar matematicamente as equações que descrevem o comportamento destas. De forma que, em posterior levantamento de dados se tenha

conhecimento dos parâmetros necessários para obtenção dos resultados.

Conforme Kosow [8], as perdas totais de um transformador são determinadas com base na soma da perda fixa (perdas no núcleo) com as perdas variáveis (perdas nos enrolamentos), conforme apresentado em (1).

$$P_{TOTAL} = P_{FIXA} + P_{VARIÁVEIS} \quad (1)$$

Onde,

$P_{TOTAL}$  – Perdas totais do transformador;

$P_{FIXA}$  – Perdas fixas do transformador (perdas no núcleo);

$P_{VARIÁVEIS}$  – Perdas variáveis no transformador (perdas nos enrolamentos).

As perdas fixas nos transformadores referem-se as perdas que ocorrem no núcleo do equipamento, em função de correntes parasitas e histerese magnética durante a magnetização do núcleo do transformador. Estas perdas são apuradas a partir do ensaio de circuito aberto do transformador [8].

Já as perdas variáveis referem-se as perdas em função da resistência ôhmica dos condutores dos enrolamentos do transformador, devido a circulação de corrente no transformador ocorrem as perdas por efeito Joule [8]. Sendo estas calculadas a partir de (2).

$$P_{VARIÁVEIS} = I_2^2 * Re2 \quad (2)$$

Onde,

$P_{VARIÁVEIS}$  – Perdas variáveis no transformador (perdas nos enrolamentos);

$I_2$  – Corrente no secundário do transformador;

$Re2$  – Resistência referida ao secundário.

A resistência referida ao secundário ( $Re2$ ), apresentada em (2), refere-se a uma resistência equivalente a resistência total dos enrolamentos do transformador, para determinar as perdas e regulação do transformador somente com a utilização da corrente no secundário [8]. Sendo a resistência refletida ao secundário expressa em (3).

$$Re2 = r2 + r1/\alpha^2 \quad (3)$$

Onde,

$Re2$  – Resistência referida ao secundário;

$r2$  – Resistência dos enrolamentos secundários;

$r1$  – Resistência dos enrolamentos primários;

$\alpha$  – Relação de transformação.

Kosow [8] define a relação de transformação expressa em (3), sendo a relação entre as tensões primária e secundária, dessa forma pode ser expressa a partir de (4).

$$\alpha = V_1 / V_2 \quad (4)$$

Onde,

$\alpha$  – Relação de transformação;

$V_1$  – Tensão nominal do primário;  
 $V_2$  – Tensão nominal do secundário.

Com base em (1) e (2), faz-se a substituição das perdas variáveis em (1), de forma a modelar uma equação de perdas totais no transformador em função da corrente no secundário, dessa forma se obtém (5) [8].

$$P_{TOTAL} = P_{FIXA} + I_2^2 * Re_2 \quad (5)$$

Com o intuito de comparar as perdas de energia de diferentes transformadores e com base as equações anteriormente apresentadas, podem-se estabelecer os parâmetros necessários a se obter para cada transformador a ser analisado.

Para determinar a perda total em um transformador através de (5) é necessário ter conhecimento das perdas a vazio e a resistência refletida ao secundário do equipamento analisado [8]. Sendo que  $Re_2$  pode ser determinado através da relação entre perdas variáveis no transformador para determinada condição de carregamento.

### B. Definição dos Cenários de Carregamento dos Transformadores

A análise das perdas de energia de um transformador de distribuição depende de conhecer a carga conectada ao secundário deste equipamento.

Com base nisso, foi realizado o levantamento da curva de carga de um transformador real, instalado no perímetro rural da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, sendo este equipamento pertencente ao sistema elétrico da permissionária COOPERLUZ. O transformador real da qual foi levantada a curva de carga média é trifásico, de potência nominal de 30 kVA, classe de tensão 15 kV [10]. Na Fig. 2 está representada a curva de carregamento levantada para o transformador analisado.

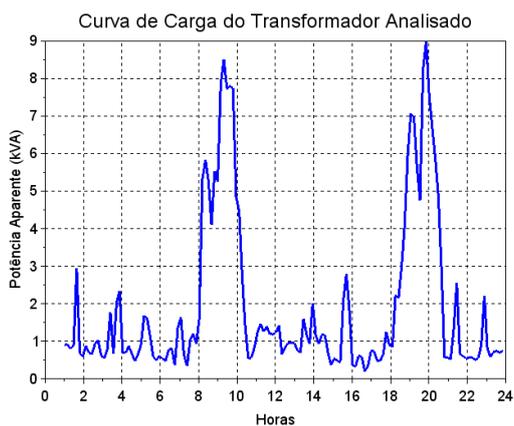


Fig. 2 - Curva de carregamento do transformador analisado.

Porém, para avaliar de forma mais concisa as perdas nos transformadores, serão considerados diversos cenários de

carregamento para o transformador. Sendo que serão analisados os seguintes cenários:

- 1 - Carregamento de transformador real;
- 2 - Carregamento médio de 25%;
- 3 - Carregamento médio de 50%;
- 4 - Carregamento médio de 75%;
- 5 - Carregamento de 25% por 4hs, 50% por 8hs, 75% por 8hs e 100% por 4hs [11].

Sendo as curvas de carga diárias dos cenários analisados, expressas em percentual do carregamento do transformador, apresentadas na Fig. 3 para os cenários de carregamento 2, 3, 4 e 5.

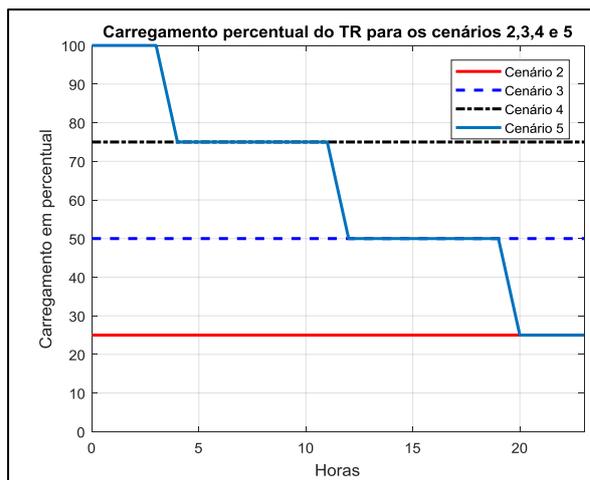


Fig. 3 - Curva de carga dos cenários 2, 3, 4 e 5.

Em função dos cenários 2, 3 e 4 estarem baseados em um valor de carregamento médio, aplicado para todo o período da curva de carga diária, como forma de facilitar o comparativo direto entre os cenários, fez-se a média das curvas de carga dos cenários 1 e 5. Assim, obteve-se os valores médios de cerca de 20% e 63%, respectivamente para os cenários 1 e 5.

Tendo por base o transformador real do qual foi obtida a curva de carga, serão levantados os parâmetros de transformadores de mesma característica: trifásicos, classe 15 kV e potência nominal 30 kVA.

Assim, para avaliar o impacto nas perdas produzidas por transformadores de diferentes níveis de eficiência foram obtidos na norma técnica NBR 5440, as perdas fixas e com carga de transformadores com as mesmas características descritas previamente, porém com diferentes níveis de eficiência.

### C. Levantamento dos Parâmetros e Perdas de Energia dos Transformadores

Os parâmetros dos transformadores foram obtidos através dos valores padronizados a partir da norma técnica NBR 5440, na qual são normatizados valores de perda a vazio, perda total, entre outros parâmetros para diferentes potências nominais, classe de tensão e níveis de eficiência [9].

TABELA I. LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS DOS TRANSFORMADORES ANALISADOS

V1 (V)	V2 (V)	Pot. Nom. (kVA)	Nível de Eficiência	Perda Total	Perda Vazio	I2 (A) (I2 = 1pu)	Perdas Variáveis (Careg. = 100%)	Re2
13800	380	30	C	560	110	45,58	450	0,21660
		30	D	630	130		500	0,24067
		30	E	695	150		545	0,26233

A partir dos parâmetros apresentados na Tabela I, juntamente com os equacionamentos anteriormente embasados, pode-se determinar as equações de perdas totais dos transformadores em função do carregamento.

Sendo as equações de perda de potência ativa em função do carregamento do transformador, definidas conforme os níveis de eficiência C, D e E, expressas respectivamente nas equações (6), (7) e (8).

$$P_{TOTAL\_C} = 110 + I_2^2 \cdot 0,21660 \quad (6)$$

$$P_{TOTAL\_D} = 130 + I_2^2 \cdot 0,24067 \quad (7)$$

$$P_{TOTAL\_E} = 150 + I_2^2 \cdot 0,26233 \quad (8)$$

Considerando que os transformadores analisados são trifásicos, as equações descritas em (6), (7) e (8) determinam a perda de potência trifásica, tendo em vista que a resistência do enrolamento é calculada a partir da perda total trifásica do transformador.

Para a análise comparativa da capitalização das perdas de energia entre diferentes níveis de eficiência de transformadores, foram considerados somente os níveis de eficiência C, D e E. Tendo em vista que não foram obtidos dados reais do valor de compra de transformadores com estas especificações de eficiência, sendo assim, os preços de compra dos equipamentos para os demais níveis de eficiência estão apresentados na Tabela II.

TABELA II. LEVANTAMENTO DOS PREÇOS DOS TRANSFORMADORES DE DIFERENTES NÍVEIS DE EFICIÊNCIA

Classe de Tensão	Tipo	Pot. Nom. (kVA)	Nível de Eficiência	Valor
15 kV	Trifásico	30	C	R\$ 5.192,00
			D	R\$ 4.410,00
			E	R\$ 4.225,00

Os valores de compra dos equipamentos apresentados na Tabela 2 foram obtidos juntamente a permissionária COOPERLUZ, sendo estes levantados a partir de uma cotação para aquisição de transformadores.

#### D. Capitalização das Perdas de Energia

Com base no ANEXO F (informativo) da norma técnica ABNT NBR 5440/2014, na avaliação de transformadores é recomendado analisar o valor final do equipamento com base no valor de compra deste e as perdas de energia que ocorrem durante a vida útil do transformador [9].

Na avaliação de investimentos, tais como de equipamentos, faz-se a análise do custo total do equipamento composto pelo custo de aquisição somado aos custos futuros de operação corrigidos para o momento da aquisição do bem. Logo, na comparação entre transformadores devem ser capitalizados para o instante da aquisição do equipamento os valores monetários referentes as perdas de energia do mesmo. Sendo a expressão que define o custo total do transformador apresentada em (9) [9].

$$C_{TOTAL} = C_{COMPRA} + C_{W0} + C_{WL} \quad (9)$$

Onde,

$C_{TOTAL}$  – Custo total do transformador (R\$);

$C_{COMPRA}$  – Custo de aquisição do transformador (R\$);

$C_{W0}$  – Custo das perdas fixas (R\$);

$C_{WL}$  – Custo das perdas variáveis (R\$);

Para capitalizar os valores de energia consumida em perdas fixas, considera-se que estas ocorrem durante todo tempo de operação do equipamento. Sendo então, capitalizadas com base no valor de aquisição da energia por parte da distribuidora, aplicada uma taxa de desconto anual durante o período de vida útil do transformador, conforme descrito na equação (10).

$$C_{W0} = 8760 \cdot TE \cdot W_0 \cdot \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \right] \quad (10)$$

Onde,

$C_{W0}$  – Custo das perdas fixas (R\$);

TE – Custo de aquisição da energia (R\$/kWh);

$W_0$  – Perda fixa de potência do transformador (kW);

$i$  – taxa de desconto anual;

$n$  – tempo de vida útil considerado na análise (anos).

Já para as perdas variáveis, tem-se a contribuição do carregamento do transformador, que apresenta comportamento variável ao longo do dia. A determinação das perdas de energia em carga pode ser feita através da integralização das perdas de potência para determinada curva de carga. Para o cálculo de capitalização das perdas, será utilizado o tempo na unidade de anos e uma taxa de desconto anual, logo, as perdas em carga devem corresponder ao valor das perdas de energia anuais, de forma a possibilitar a aplicação da equação (11).

$$C_{WL} = TE \cdot W_L \cdot \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \right] \quad (11)$$

Onde,

$C_{WL}$  – Custo das perdas variáveis (R\$);

TE – Custo da energia (R\$/kWh);

$W_L$  – Perda variável de energia anual (kWh/ano);

$i$  – taxa de desconto anual;

$n$  – tempo de vida útil considerado na análise (anos).

Com base nos métodos apresentados, foram obtidas as perdas de energia a vazio e em carga, para os respectivos cenários apresentados. Posteriormente, foram definidos os parâmetros para a avaliação econômica das alternativas de transformadores analisadas. Sendo os resultados obtidos através de tais métodos apresentados no item III.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De forma a obter os dados necessários para a obtenção do custo total dos transformadores analisados, custo de aquisição somado aos custos das perdas de energia. Inicialmente, foram determinados os montantes de energia consumidos anualmente, para cada transformador e também para cada um dos cenários de carregamento considerados.

Na Tabela III está apresentada a energia consumida em perdas anualmente por cada transformador analisado, nos respectivos cenários de carregamento.

TABELA III. PERDA DE ENERGIA ANUAL PARA OS TRANSFORMADORES ANALISADOS NOS RESPECTIVOS CENÁRIOS DE CARREGAMENTO

Nível de Eficiência	C	D	E
Perdas fixas (kWh/ano)	963,60	1138,80	1314,00
Perdas variáveis (Cenário 1) - (kWh/ano)	316,64	350,88	381,47
Perdas variáveis (Cenário 2) - (kWh/ano)	229,80	254,40	276,30
Perdas variáveis (Cenário 3) - (kWh/ano)	958,80	1064,40	1159,20
Perdas variáveis (Cenário 4) - (kWh/ano)	2173,80	2414,40	2630,70
Perdas variáveis (Cenário 5) - (kWh/ano)	1728,30	1919,40	2091,15

A Tabela III apresenta os valores de perdas, expressos em kWh por ano, vê-se que as perdas variáveis estão apresentados valores de energia para cada transformador nos diferentes cenários de carregamento analisados. Já para as perdas fixas, não há diferença entre os cenários de carregamento, visto que esta independe do carregamento, logo só há diferença de perdas fixas entre os transformadores de diferentes níveis de eficiência.

Para realizar a avaliação econômica entre os três níveis de eficiência de transformadores nos cenários de carregamento pré-definidos, é preciso também determinar a taxa de desconto a ser aplicada e a tarifa de aquisição da energia.

A tarifa de energia a ser aplicada para estimar o custo das perdas de energia deve ser a tarifa de aquisição da energia pela distribuidora. No caso, a Cooperluz, possui como supridora a concessionária RGE em um ponto de conexão classificada no subgrupo A3, sendo o valor da tarifa de energia R\$ 261,25/MWh, conforme determinado pela Resolução Homologatória nº 2.426, de 24 de julho de 2018 [13].

Para a análise econômica, foi considerada uma taxa de desconto de 10% ao ano. A vida útil dos transformadores foi definida conforme a resolução normativa nº 674/2015 da ANEEL, que estipula uma vida útil de 25 anos para os transformadores de distribuição [12].

Na Tabela IV estão apresentados os valores obtidos através da aplicação das equações (10) e (11), para cada um dos cenários de carregamento analisados.

TABELA IV. RELAÇÃO DOS CUSTOS ASSOCIADOS A CADA TRANSFORMADOR ANALISADO NOS DISTINTOS CENÁRIOS DE CARREGAMENTO.

Nível de Eficiência	C	D	E
Custo de Aquisição	R\$ 5.192,00	R\$ 4.410,00	R\$ 4.225,00
Custo Capitalizado das Perdas a Vazio (Cwo)	R\$ 2.495,19	R\$ 2.948,86	R\$ 3.402,53
Custo das Perdas em Carga Cenário 1 (CwL)	R\$ 819,91	R\$ 908,59	R\$ 987,79
Custo das Perdas em Carga Cenário 2 (CwL)	R\$ 595,05	R\$ 658,75	R\$ 715,46
Custo das Perdas em Carga Cenário 3 (CwL)	R\$ 2.482,76	R\$ 2.756,20	R\$ 3.001,68
Custo das Perdas em Carga Cenário 4 (CwL)	R\$ 5.628,93	R\$ 6.251,95	R\$ 6.812,05
Custo das Perdas em Carga Cenário 5 (CwL)	R\$ 4.475,34	R\$ 4.970,18	R\$ 5.414,92

Verifica-se que em todos os cenários de carregamento, inclusive nas perdas em vazio, o custo das perdas é superior para o transformador de menor eficiência analisado, neste caso, o transformador de nível de eficiência E.

Porém, um maior custo das perdas não reflete que este transformador não será adequado para o suprimento de determinada carga, deve-se somar os valores destas perdas ao custo de aquisição do equipamento, para então comparar as alternativas.

Destá forma, na Tabela V estão apresentados os preços totais dos três transformadores analisados, para os cinco cenários de carregamento considerados. Sendo que para cada cenário foram somados o valor de aquisição, custo das perdas a vazio e o custo das perdas em carga do respectivo cenário.

TABELA V. CUSTO TOTAL DOS TRANSFORMADORES ANALISADOS.

Nível de Eficiência	C	D	E
Custo Capitalizado do Transformador - Cenário 1	R\$8.507,10	<b>R\$8.267,45</b>	R\$8.615,32
Custo Capitalizado do Transformador - Cenário 2	R\$8.282,24	<b>R\$8.017,61</b>	R\$8.342,99
Custo Capitalizado do Transformador - Cenário 3	R\$10.169,95	<b>R\$10.115,06</b>	R\$10.629,21
Custo Capitalizado do Transformador - Cenário 4	<b>R\$13.316,12</b>	R\$13.610,81	R\$14.439,58
Custo Capitalizado do Transformador - Cenário 5	<b>R\$12.162,52</b>	R\$12.329,04	R\$13.042,44

Com base nos resultados apresentados na Tabela V, pode-se então definir para cada cenário de carregamento dos transformadores analisados, qual equipamento é mais economicamente viável, ou seja, determina-se o transformador

que atende à demanda da carga com os menores custos para a distribuidora durante o período analisado.

A partir da Tabela V, é possível identificar que o transformador de nível de eficiência E é economicamente ineficiente para a distribuidora considerando os parâmetros utilizados na avaliação econômica. Visto que, o transformador de nível de eficiência E se apresenta em todos os cenários o equipamento com maior custo total.

Em análise do transformador de nível de eficiência D, este se apresentou viável em três dos cinco cenários analisados. Apresentando viabilidade econômica para os cenários de menor carregamento analisados, os cenários 1, 2 e 3, que apresentam carregamentos médios de 20%, 25% e 50%, respectivamente.

Já o transformador de nível de eficiência C, apresenta-se viável economicamente em dois dos cinco cenários. Apresentando maior viabilidade para os cenários com alto carregamento médio do transformador, os cenários 4 e 5, em que os transformadores são submetidos a carregamentos médios de 63% e 75%.

#### IV. CONCLUSÕES

A valoração de um transformador no momento de sua aquisição envolve diversas variáveis, porém em diversas distribuidoras utilizam-se somente seu valor de compra no momento da aquisição destes equipamentos. Este procedimento pode ser negativo economicamente para a empresa, visto que os custos operacionais do equipamento (perdas de energia) são uma parcela considerável no valor final do mesmo.

Este trabalho apresentou uma metodologia relevante para as distribuidoras de energia elétrica, visto que a partir dela, podem-se realizar planejamentos para a compra de transformadores com menores custos, além da redução das perdas técnicas do sistema de distribuição a partir da avaliação das perdas de energia no momento da compra de transformadores.

Com o estudo de caso apresentado, será possível a distribuidora atender a demanda com menores custos operacionais, podendo assim rever os procedimentos de compra de transformadores visando uma maior eficiência técnica e econômica no sistema elétrico.

A metodologia apresentada pode ser utilizada pelas distribuidoras tomando por base o carregamento dos transformadores de acordo com as curvas típicas de cada região, sendo assim o carregamento do equipamento considerado na análise será mais realista.

Tendo em vista a constante busca por melhorias, podem-se desenvolver novos estudos visando complementar a metodologia abordada. O estudo de caso baseou-se em uma curva de carga levantada a campo e em outros cenários hipotéticos, porém se sugere estudos baseados em curvas típicas de carga. Além disso, podem ser previstos cenários com a variação da tarifa de aquisição da energia, a partir de dados históricos da variação de preços, de forma a representar

o dinamismo do setor elétrico e aproximar o valor calculado ao valor real.

Entretanto, a metodologia de capitalização das perdas de energia pode ser aplicada para outros equipamentos dos sistemas de distribuição de energia, tais como os reguladores de tensão e condutores. Sendo que para isso, basta a adaptação da modelagem matemática quanto ao cálculo das perdas de energia anuais consumidas por tais componentes do sistema elétrico.

#### REFERÊNCIAS

- [1] S. D. Umans, Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley; tradução de Anatólio Laschuk. 7ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.
- [2] G. A. D. Figueiredo, Caracterização das Perdas na Rede de Distribuição de Média Tensão, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Dissertação de Mestrado do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia. Porto, 2012, p. 15.
- [3] R. Fowler, Fundamentos de Eletricidade; tradução de Rafael Silva Alípio. 7ª ed. São Paulo: AMGH, v.1, 2013.
- [4] A. F. Picanço, M. L. B. Martinez, P. C. Rosa, E. G. Costa, E. W. T. Neto, Uma Metodologia de Busca Otimizada de Transformadores de Distribuição Eficiente para qualquer Demanda. In: Seminário Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE 2010, Belém – PA. Anais do Seminário Brasileiro de Sistemas Elétricos – SBSE 2010, 2010.
- [5] W. D. A. S. Wijayapala, S. R. K. Gamage, H. M. L. S. L. G. Bandara, Determination of Capitalization Values for No Load Loss and Load Loss in Distribution Transformers. Journal of the Institute of Engineers, Sri Lanka, vol. XLIX, no. 03, Colombo, 2016.
- [6] L. M. O. Queiroz, Estimção e Análise das Perdas Técnicas na Distribuição de Energia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Tese de Doutorado apresentado a Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Campinas, 2010, p. 14.
- [7] W. V. Calil, Determinação de Fator de Correção para Cálculo de Perdas Magnéticas em Núcleos de Transformadores de Potência pelo Método de Elementos Finitos, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado apresentado a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009, p. 55.
- [8] I. L. Kosow, Máquinas Elétricas e Transformadores; tradução de Felipe Luís Daiello e Percy Antônio Soares. Porto Alegre, Globo, 1982.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), ABNT NBR 5440 – Transformadores para redes aéreas de distribuição – Requisitos. Terceira edição, Rio de Janeiro, 2014.
- [10] A. Finkler, L. L. C. d. Santos, M. P. Hoss, S. A. Haas, Analysis of losses on distribution transformers applied to supply energy to rural consumers, 2018 *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)*, Niterói, 2018.
- [11] A. N. Araújo, E. C. Couto, F. W. D. Carvalho, W. V. D. Souza, Histórico da Evolução de Perdas em Transformadores de Distribuição no Brasil e Uma Visão de Futuro, In: Seminário Internacional sobre Gestão de Perdas, Eficientização Energética e Proteção da Receita no Setor Elétrico – V CIERTEC, Maceió. Anais do Seminário Internacional sobre Gestão de Perdas, Eficientização Energética e Proteção da Receita no Setor Elétrico, 2005.
- [12] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Resolução Normativa nº 674/2015 – ANEXO A: Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico - MCPSE. Brasília, 2015.
- [13] Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Resolução Homologatória nº 2.426, de 24 de julho de 2018. Brasília, 2018.