UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA

Afonso Guilherme Norberto

ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA DE UM TRANSFORMADOR DE 75 kVA EM UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NA CIDADE DE ITAPORÃ

DOURADOS/MS
2024

Afonso Guilherme Norberto

ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA DE UM TRANSFORMADOR DE 75 kVA EM UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NA CIDADE DE ITAPORÃ

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora da Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Bessa Gibelli

DOURADOS/MS

2024

AFONSO GUILHERME NORBERTO

ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA DE UM TRANSFORMADOR DE 75 kVA EM UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NA CIDADE DE ITAPORÃ

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.05-3 Máquinas Elétricas e Dispositivos de Potência, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Energia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Gerson Bessa Gibelli Assinatura:_____

Membro: Etienne Biasotto Assinatura:_____

Membro: Orlando Moreitra Júnior Assinatura:_____

DOURADOS-MS

12 DE JULHO DE 2024

RESUMO

Devido à crescente demanda por sistemas fotovoltaicos, estão sendo necessários novos estudos a fim de aumentar a eficiência energética e produção de energia, desta forma, neste trabalho é analisado o impacto energético que o transformador de acoplamento tem na produção e no consumo de energia. Neste estudo foi evidenciado que o impacto energético é de 660 kWh por mês, ou 6,6 % da produção média de energia e quando em vazio o transformador registrou perdas da ordem de 1,34 % da potência nominal.

Palavras-chave: Consumo em vazio, Consumo em carga, Transformador de acoplamento.

ABSTRACT

Due to the growing demand for photovoltaic systems, new studies are needed in order to increase energy efficiency and energy production, in this work the energy impact that the coupling transformer has on energy production and consumption was analyzed, the study shows that the energy impact is 660 kWh per month, or 6.6 % of the average energy production, when at no load the transformer recorded losses of the order of 1.34 % of the nominal power.

Keywords: No load consumption, Load consumption, Coupling transformer.

Universidade Federal da Grande Dourados

ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA DE UM TRANSFORMADOR DE 75 kVA EM UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA NA CIDADE DE ITAPORÃ

Afonso Guilherme Norberto[1]; Gerson Bessa Gibelli[2]

Discente do curso de Engenharia de Energia[1]; Docente do curso de Engenharia de Energia[2];
afonsognorberto@gmail.com[1]; gersongibelli@ufgd.edu.br[2];

RESUMO – Devido à crescente demanda por sistemas fotovoltaicos, estão sendo necessários novos estudos a fim de aumentar a eficiência energética e produção de energia, desta forma, neste trabalho é analisado o impacto energético que o transformador de acoplamento tem na produção e no consumo de energia. Neste estudo foi evidenciado que o impacto energético é de 660 kWh por mês, ou 6,6 % da produção média de energia e quando em vazio o transformador registrou perdas da ordem de 1,34 % da potência nominal.
Palavras-chave: Consumo em vazio, Consumo em carga, Transformador de acoplamento.

ABSTRACT – Due to the growing demand for photovoltaic systems, new studies are needed in order to increase energy efficiency and energy production, in this work the energy impact that the coupling transformer has on energy production and consumption was analyzed, the study shows that the energy impact is 660 kWh per month, or 6.6 % of the average energy production, when at no load the transformer recorded losses of the order of 1.34 % of the nominal power.
Keywords: No load consumption, Load consumption, Coupling transformer.

1 INTRODUÇÃO

Devido a popularização de Sistemas Fotovoltaicos, diversas questões que não eram abordadas no início desta tecnologia começaram a se tornar relevantes, principalmente eficiência energética e produção de energia. Ao ser efetuado o cálculo da produção de energia, as empresas levam em consideração somente a energia injetada na rede pelo inversor fotovoltaico sem considerar as perdas com o uso do transformador, quando necessário.

Este trabalho foi elaborado com o objetivo de compreender o quanto de energia é perdida durante a utilização do transformador de acoplamento.

A Geração Distribuída (GD) no Brasil foi regulamentada em 2012 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) através da Resolução Normativa 482/2012, estabelecendo critérios para a conexão da GD à rede de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Embora regulada em 2012, somente em 2015 com a revisão da Resolução Normativa 687/2015 que a Geração Distribuída ampliou significativamente a quantidade de sistemas conectados (ANEEL, 2015). A partir desta normativa os sistemas conectados à rede elétrica puderam aderir ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) onde toda energia exportada para a concessionária gera créditos de energia com 60 meses de validade e podem ser utilizados no local de geração ou em qualquer outro local, desde que seja do mesmo titular e esteja na mesma área de concessão.

De acordo com dados da ANEEL (2023a), dentre as fontes de energia na Geração Distribuída, a energia Solar Fotovoltaica é a que ganhou mais adeptos, sendo responsável por cerca de 98 % das instalações.

Com a lei 14.300 de 2022 houve um aumento expressivo na quantidade de sistemas instalados ao longo do ano, por conta disso, a geração distribuída alcançou mais de 1,9 milhão de unidades consumidoras com geração distribuída e potência instalada de 20,8 GW até maio de 2023 (ANEEL, 2023a).

A Geração Distribuída é benéfica tanto para o meio ambiente quanto para o consumidor que deseja produzir sua própria energia, sendo possível reduzir o valor da conta de energia a partir do SCEE e também de maneira indireta por evitar o acionamento das termelétricas cuja energia produzida é mais dispendiosa quando comparada com a energia produzida nas hidrelétricas (SALLES, 2021).

Como a maior parte das termelétricas são acionadas por gás natural, evitar seu

acionamento é benéfico para o meio ambiente pois impede a emissão de gases de efeito estufa (IEMA, 2022).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil por ser um país de dimensões continentais possui diversas concessões de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2023b), tendo diferentes tensões elétricas dependendo da localidade, embora a maior parte do país seja atendida em 220 V (Fase-Fase) alguns estados como Goiás e Distrito Federal são atendidos em 380 V (Fase-Fase) (ANEEL, 2023c). A maioria dos inversores fotovoltaicos trifásicos têm a tensão nominal em 380 V (Fase-Fase) (BORGES, 2022).

Quando a tensão local é compatível com a tensão do inversor este pode ser conectado direto na rede de energia disponibilizada, mas quando a tensão local é 220 V (Fase-Fase) é necessário acoplar um transformador para rebaixar a tensão de saída do inversor para tensão da rede local.

Embora necessários para a conexão do sistema, os transformadores, consomem parte da energia durante a transformação, sendo este o consumo das perdas em carga. Ressalta-se que além de consumir energia durante o processo de transformação, este também consome energia durante o período que a usina solar não está produzindo energia, sendo este o consumo das perdas em vazio.

A usina em estudo possui o inversor trifásico com potência nominal de 75 kW e 380 V como tensão de saída, o transformador acoplado da fabricante Kraper tem a potência de 75 kVA e relação de transformação de 380/220 V. As características elétricas foram fornecidas pela fabricante e são expostas no item 2.6.

2.1 TIPOS DE PERDAS NO TRANSFORMADOR

As perdas em um transformador podem ser divididas principalmente em perdas no núcleo e perdas no cobre.

As perdas no núcleo ocorrem devido as correntes parasitas induzidas no núcleo do transformador e efeito de histerese, que resultam em uma dissipação de energia sob a forma de calor. Essas perdas são proporcionais à frequência da corrente elétrica que flui pelos enrolamentos. As perdas no núcleo são geralmente medidas como a impedância do núcleo (FITZGERALD, 2010).

As perdas no cobre (ôhmicas) ocorrem devido à resistência elétrica dos enrolamentos de cobre (ou alumínio) do transformador, que resultam em uma dissipação de energia sob a forma de calor. Essas perdas são proporcionais à corrente

elétrica que flui pelos enrolamentos do transformador e, portanto, aumentam com a carga (FITZGERALD, 2010).

As perdas no núcleo e no cobre (ôhmicas) em um transformador podem ser obtidas através dos dados do fabricante do transformador e, com base na classe dos transformadores podem ser estimadas a partir do material que compõe o núcleo. Como exemplo, tem-se o metal amorfo entre 0,85 % e 1 %; aço-silício 1,5 % e 2 %; transformador padrão 2 % e 3 % (OLIVEIRA, 2017).

2.2 PERDAS EM VAZIO

As perdas em vazio são as perdas constantes em um transformador, ou seja, as perdas que independem da carga, essas perdas estão associadas ao efeito de magnetização do núcleo do transformador, como efeito de histerese e correntes parasitas (OLIVEIRA, 2017).

As perdas no núcleo podem alcançar até 2 % da potência nominal quando o transformador opera em vazio (OLIVEIRA, 2017).

2.3 MEDIÇÃO DAS PERDAS EM VAZIO

A norma ABNT NBR 5356-1:2007 no item 11.5 refere-se ao método de medição de perdas em vazio do transformador, que segundo a norma, essa medição pode ser realizada tanto no lado de derivação principal quanto no lado com derivação secundária. As medidas devem ser feitas na tensão nominal da derivação e na frequência nominal em que foi projetado o transformador. Ao medir em uma derivação a outra deve estar em circuito aberto (ABNT, 2007).

2.4 PERDAS EM CARGA

As perdas em carga são compostas pelas perdas no cobre e perdas no núcleo que ocorrem quando o transformador está operando com carga elétrica. As perdas no cobre são causadas pela resistência elétrica do enrolamento de fios de cobre, enquanto as perdas no núcleo são causadas pelos fenômenos magnéticos que ocorrem no núcleo.

2.5 MEDIÇÃO DAS PERDAS EM CARGA:

A norma ABNT NBR 5356-1:2007 estabelece os procedimentos para medição das perdas em carga em um transformador de potência. Para fazer a medição das perdas em carga, deve-se seguir os seguintes passos:

Preparação do transformador: O transformador deve ser conectado a uma fonte de energia elétrica e à carga elétrica apropriada para a medição das perdas em carga. A frequência deve ser nominal do transformador e a tensão deve ser praticamente senoidal.

Medição das perdas em carga: A medição das perdas em carga é descrita no Anexo E da norma, o Wattímetro a ser utilizado deve ser de baixo fator de potência (Fator de potência de 5 % ou 10 %) para se obter leituras satisfatórias. Esta norma também fornece o diagrama de ligação para efetuar as medições das perdas em carga.

Tem-se que a perda em carga de um transformador trifásico é aproximadamente a soma das perdas em cada fase, assim pode ser feita a medida para cada enrolamento separadamente. A norma também traz uma metodologia de cálculo para as perdas em cada enrolamento separadamente, no entanto como será feita a medida das perdas para cada fase separadamente, não será utilizado essa etapa.

É importante levar em consideração a temperatura do transformador no ensaio, pois a mesma tem considerável influência nas perdas e a norma traz uma tabela de correção de acordo com a temperatura de ensaio do transformador. Considerando que o interesse deste trabalho está nas perdas obtidas no ambiente de trabalho do transformador e o mesmo estará em uma temperatura de equilíbrio entre a geração de calor proveniente das perdas e a perda de calor para o ambiente, não será necessária a correção pela tabela, visto que o transformador sempre estará aquecido.

Para a medição da resistência de enrolamento segue-se o item 11.2 no qual o teste deve ser feito em corrente contínua e na derivação com a tensão mais elevada, deve-se registrar a temperatura dos enrolamentos. As perdas relacionadas ao cobre são proporcionais ao quadrado da corrente e podem ser calculadas conforme a Equação 2.1.

$$P = I^2 * R \qquad (2.1)$$

Onde *P* representa a potência perdida no cobre, *I* a corrente que flui pelos enrolamentos e *R* a resistência elétrica dos enrolamentos.

2.6 DADOS DO FABRICANTE

As medições fornecidas pelo fabricante do transformador, descritas na Tabela 1, contemplam as perdas em vazio, em carga e resistência de enrolamento.

Tabela 1. Características elétricas.

Características elétricas	
Perdas em vazio (W)	292
Perdas em carga (W)	1805
Resistência X1-X2 (Ω)	0,0387
Resistência X1-X3 (Ω)	0,0394
Resistência X2-X3 (Ω)	0,0396
Resistência H1-H2 (Ω)	0,0273
Resistência H1-H3 (Ω)	0,0281
Resistência H2-H3 (Ω)	0,0284

Fonte: (Kraper, 2023).

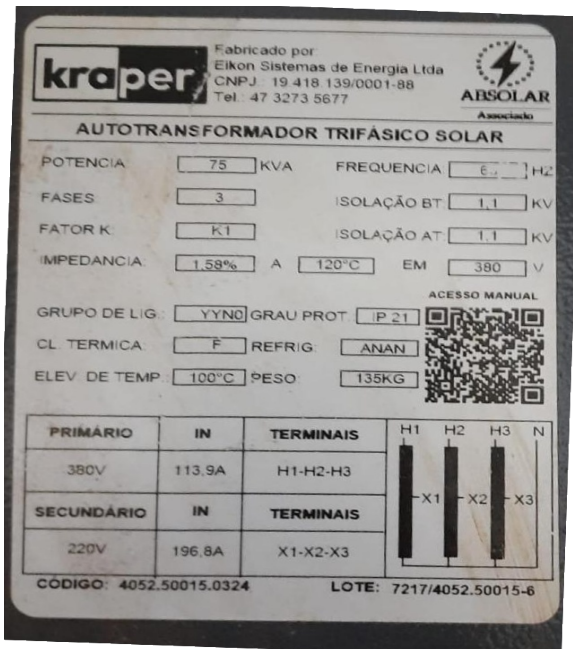
3 METODOLOGIA

Neste tópico é apresentada a metodologia utilizada para a medição, cálculo da energia perdida em vazio, em carga e o custo utilizando a tarifa de energia local.

3.1 METODOLOGIA DE MEDIÇÃO

Foi analisado um transformador do fabricante Kraper, com a potência de 75 kVA e tensão de 380 V (Fase-Fase) no primário, instalado em uma Usina Fotovoltaica na cidade de Itaporã-MS em conjunto com o inversor do fabricante Growatt na potência de 75 kW e tensão de saída em 380 V (Fase-Fase). Os dados de placa do transformador são apresentados na Figura 1.

Figura 1. Dados de placa do transformador 75kVA.



Fonte: Próprio autor.

Para a medição do consumo em vazio foi utilizado o alicate Wattímetro Minipa ET-4080, com a capacidade de medir, potência ativa, reativa e aparente true RMS, o mesmo também mede distorções harmônicas até a 25° Ordem.

As medições foram realizadas utilizando, como base, a norma ABNT NBR 5356-1:2007 e o manual de instruções do aparelho.

3.2 METODOLOGIA DE CÁLCULO DAS PERDAS

Para facilitar os cálculos das perdas de energia foi feita a seguinte aproximação: o transformador passa em média 12 horas em vazio. Durante o período de trabalho, das 6 horas às 10 horas e das 14 horas às 18 horas foi feita uma média de potência com base nessas medidas multiplicadas por 8 horas, visto que das 6 horas às 10 horas a potência é crescente e das 14 horas às 18 horas a potência é decrescente.

Durante o período das 10 horas às 14 horas foi feita uma média das potências com base nesses horários multiplicadas por 4 horas, visto que das 10 horas às 12 horas a potência é crescente e das 12 horas às 14 horas a potência é decrescente. A metodologia de cálculo das perdas de energia está baseada na aproximação dos dados

contidos no gráfico de produção de energia da Figura 2 obtida através do sistema de monitoramento da usina.

Figura 2. Gráfico energia produzida.

Fonte: (Server Growatt, 2023).

Assim a perda total será a soma das perdas médias horárias, em 3 potências médias multiplicadas pelo número de horas respectivas.

3.2 CUSTO DA ENERGIA

Como este cliente teve sua usina montada em agosto de 2022 a lei n° 14.300/2022 o isenta do fio B, assim 100 % da energia injetada na rede é compensada, sendo integral o valor compensado, incluindo impostos como PIS, COFINS e ICMS (BRASIL, 2022). De acordo com a ANEEL (2008) o cálculo dos impostos deve ser feito conforme a Equação 3.1:

$$Valor_{Tarifa} = \frac{Tarifa\,de\,aplicação}{1-(PIS+COFINS+ICMS)} \quad (3.1)$$

Para o valor do ICMS cobrado, deve-se verificar o Decreto estadual n° 16.073/2022 de 29 de dezembro de 2022 que altera a lei n° 1.810 de 1997, e no artigo 41 as seguintes cobranças de ICMS para a energia elétrica, conforme apresentado na Tabela 2, esse decreto é válido de 1 de janeiro até 31 de dezembro de 2023 (MATO GROSSO DO SUL, 2022).

Tabela 2. Cobrança de ICMS.

Consumo	ICMS
Até 200 kWh	17%
200 a 500 kWh	20%
Acima de 500 kWh	25%

Fonte: (OLIVEIRA A. C., 2022).

A distribuidora de energia local é a ENERGISA e em seu site é possível conferir o valor do PIS e COFINS dos últimos 12 meses para obter a média e efetuar o cálculo do valor do kWh (ENERGISA, 2023a), como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Alíquota PIS e COFINS.

ALÍQUOTA PIS / COFINS			
ANO	**MÊS**	**PIS**	**COFINS**
2023	MAIO	1,08	5
2023	ABRIL	1,08	5
2023	MARÇO	1,08	5
2023	FEVEREIRO	1,08	5
2023	JANEIRO	1,05	4,83
2022	DEZEMBRO	0,76	3,49
2022	NOVEMBRO	1,08	5
2022	OUTUBRO	1,08	5
2022	SETEMBRO	1,08	5
2022	AGOSTO	1,08	5
2022	JULHO	0,67	3,07
2022	JUNHO	0,82	3,77

Fonte: (ENERGISA, 2023a).

Para a tarifa base da ENERGISA, considerando o grupo B3, a Tabela 4 apresenta o valor por kWh sem encargos para TUSD+TE, reajustada em abril de 2023 (ENERGISA, 2023b).

Tabela 4. Valor da tarifa convencional.

TARIFA CONVENCIONAL BAIXA TENSÃO		TUSD + TE
TARIFA	**CLASSES**	**CONSUMO (R$/KWH)**
B3	COMERCIAL SERVIÇOS E OUTROS	0,88047
	INDUSTRIAL	0,88047
	PODERES PÚBLICOS	0,88047
	SERVIÇO PÚBLICO	0,88047

Fonte: (ENERGISA, 2023b).

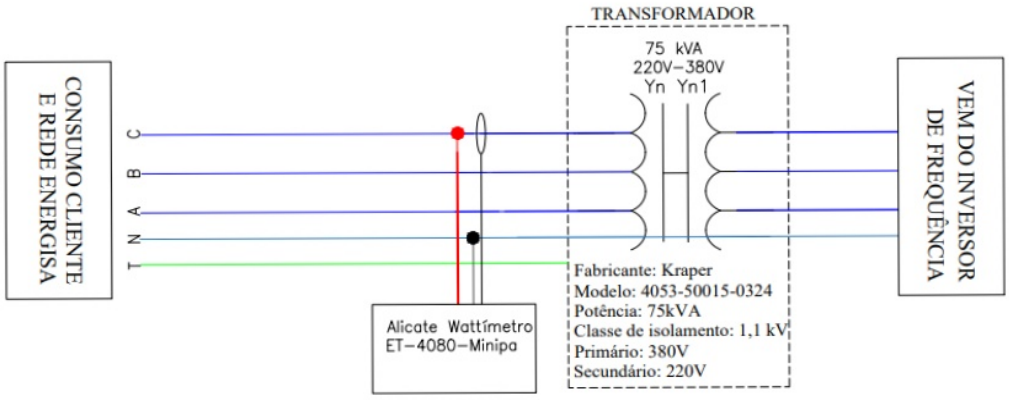
Com isso é possível calcular o custo por kWh, a fim de quantificar as perdas ocasionadas pelo uso do transformador.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo foram analisados os dados coletados com o transformador energizado em vazio, em carga e também foi calculado o consumo e a tarifa de energia local da ENERGISA-MS conforme apresentado pela Equação 3.1.

A Figura 3 apresenta o diagrama multifilar de medição para a fase C, o mesmo foi repetido com as fases A e B e na Figura 4 tem-se o local de instalação do sistema contendo o inversor, transformador e o quadro de proteção.

Figura 3. Diagrama multifilar de medição.



Fonte: Próprio autor.

Figura 4. Local de instalação do sistema.

Fonte: Próprio autor.

4.1 MEDIDAS EM VAZIO

A medição das perdas em vazio foi feita a partir do secundário do transformador, visto que esta é a tensão da Energisa. A Tabela 5 contempla as medidas em vazio do transformador de 75 kVA.

Tabela 5: Medidas em vazio.

FASES	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	P.Ativa (kW)	P.Aparente (kVA)
FASE 1-N	124,6	4,7	0,46	0,52
FASE 2-N	125,6	5,8	0,27	0,73
FASE 3-N	124,5	3,0	0,28	0,39
Total			1,01	1,64

Fonte: Próprio autor.

Somando a potência ativa nas 3 fases tem-se consumo de 1,01 kW o que equivale a 1,34 % da potência nominal do inversor. Esse valor é 4 vezes maior que o informado pelo fabricante, mas está dentro dos valores esperados pela referência, onde foi descrito que os valores podem chegar a 2 % da potência do inversor.

Desta forma, considerando que o transformador passará em média 12 horas por dia trabalhando em vazio é possível calcular o consumo de energia a partir da Equação 4.1, no qual resulta no consumo de 12,12 kWh/dia.

$$Consumo_T = 12\frac{h}{dia} * 1,01\,kW \qquad (4.1)$$

Considerando o período mensal de 30 dias, tem-se o consumo em vazio mensal do transformador a partir da Equação 4.2:

$$12,12\frac{kWh}{dia} * 30\frac{dias}{mes} = 363,6\frac{kWh}{mês} \qquad (4.2)$$

A partir dos cálculos o consumo em vazio do transformador é de 363,6 kWh/mês.

4.2 MEDIDAS EM CARGA

As Medidas em carga do transformador de 75 kVA foram coletadas com 25 % e 67 % de carga respectivamente. Nas Tabelas 6 e 7 podem ser vistos os valores medidos no primário e no secundário do transformador com 20 kW ou 25 % da carga.

Tabela 6: Primário do transformador.

PRIMÁRIO				
FASES	TENSÃO (V)	CORRENTE (A)	P. Ativa (kW)	P. Aparente (kVA)
FASE1-N	219,5	31,3	6,86	6,87
FASE2-N	220,4	29,5	6,5	6,502
FASE3-N	219,6	30,4	6,68	6,676
Total			20,04	20,048

Fonte: Próprio autor.

Tabela 7: Secundário do transformador.

Secundário				
Fases	Tensão (V)	Corrente (A)	P. Ativa (kW)	P. Aparente (kVA)
Fase1-N	127,5	51,4	6,53	6,554
Fase2-N	126,8	52,5	6,66	6,657
Fase3-N	126,9	49	6,12	6,218
Total			19,31	19,429

Fonte: Próprio autor.

A diferença entre as potências de entrada e saída para 25 % de carga é de 0,73 kW esse valor equivale a 0,97 % da potência nominal do transformador.

Nas Tabelas 8 e 9 são demonstradas as medidas executadas com 50 kW ou 66,7 % da potência nominal do transformador.

Tabela 8: Medidas 50kW.

Primário				
Fases	**Tensão (V)**	**Corrente (A)**	**P. Ativa (kW)**	**P. Aparente (kVA)**
Fase1-N	220,5	77,6	16,88	17,111
Fase2-N	222	73,6	16,1	16,339
Fase3-N	221,3	74,7	16,53	16,531
Total			49,51	49,981

Fonte: Próprio autor.

Tabela 9: Medidas 50kW.

Secundário				
Fases	**Tensão (V)**	**Corrente (A)**	**P. Ativa (kW)**	**P. Aparente (kVA)**
Fase1-N	127,9	128,8	16,47	16,474
Fase2-N	127,5	125,2	15,92	15,963
Fase3-N	126,6	127,3	16,11	16,116
Total			48,5	48,553

Fonte: Próprio autor.

A diferença entre a potência de entrada e de saída com 67 % de carga, é de 1,01 kW este valor equivale 1,34 % da potência nominal do transformador.

Para calcular a perda de energia associada ao transformador em carga, a curva Gaussiana (Figura 2) é dividida em retângulos baseados na potência e assim são estimadas as perdas em carga do transformador.

Para fins de cálculo foram considerados 3 períodos de 4 horas cada, com potências de 20 kW, 50 kW e 20 kW respectivamente. A Tabela 10 contempla os cálculos de perda de energia a partir dos dados obtidos através das medições feitas em carga.

Tabela 10: Soma das perdas.

Horário	**Perdas (kW)**	**Tempo (horas)**	**Perdas (kWh)**
6:00-10:00	0,73	4	2,92
10:00-14:00	1,01	4	4,04
14:00-18:00	0,73	4	2,92
Total			9,88

Fonte: Próprio autor.

Assim, as perdas diárias em carga são da ordem de 9,88 kWh por dia, equivalente a 296,4 kWh por mês.

4.3 CUSTOS COM ELETRICIDADE

Considerando o consumo do cliente médio de 10 mil kWh, é possível calcular o custo por kWh consumido e o impacto financeiro do transformador, a partir da Equação 4.3:

$$Custo\,kWh = \frac{Tarifa\,sem\,impostos}{1-(PIS+COFINS+ICMS)} \quad (4.3)$$

Onde o ICMS é obtido da Tabela 2 e o PIS e COFINS são obtidos pela média anual a partir da Tabela 3.

Assim, apresenta-se o cálculo por meio da Equação 4.3:

$$CustokWh = \frac{0,88047}{1-(0,00995+0,046+0,25)}$$

$$CustokWh = 1,27 \frac{R\$}{kWh}$$

A partir do custo por kWh é possível calcular o impacto financeiro mensal do uso do transformador, conforme apresentado na Equação 4.4.

$$Custo_T = Custo_{kWh} * Consumo_T \qquad (4.4)$$

$$Custo_T = 1,27 \frac{R\$}{kWh} * (363,6+296,4) \frac{kWh}{mês}$$

$$Custo_T = 838,20 \frac{R\$}{mês}$$

Portanto as perdas energéticas do transformador equivalem a 660 kWh (perdas em carga + perdas em vazio) ou 6,6 % da produção total de energia elétrica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As medições realizadas mostraram que as perdas no transformador quando o mesmo tem uma carga de 20 kW equivalem a 0,97 % da potência nominal valor inferior ao registrado quando o mesmo está em vazio, quando o mesmo registrou perdas da ordem de 1,34 % da potência nominal, para a carga registrada de 50 kW o transformador registrou perdas da ordem de 1,34 % da potência nominal, estes valores estão próximos aos esperados para o transformador com o núcleo de aço silício (entre 1,5 % e 2 %).

Como o transformador passa em média 12 horas por dia trabalhando em vazio o consumo de energia se torna expressivo, sendo assim, desligá-lo no período noturno trará uma economia de energia significativa, é possível fazer esse desligamento de forma automática, a partir de uma chave de transferência automática ou contatores e um relé fotoelétrico.

As perdas em energia calculadas mostraram que o transformador tem um consumo médio de 660 kWh por mês este consumo equivale a cerca de 6,6 % da produção média anual de energia elétrica. De acordo com os valores atualizados do custo da energia elétrica esse consumo equivale a uma perda de R$838,20 equivalente em energia elétrica.

Para trabalhos futuros é interessante verificar a viabilidade da troca do inversor solar utilizado na usina, por algum modelo de inversor que tenha a saída em 127/220 V a fim de não utilizar o transformador ou o desligamento noturno do transformador a

partir de uma chave de transferência automática.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 5356-1:2007. **Transformadores Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ANEEL. **Geração distribuída.** ANEEL, 2023a. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiY2VmMmUwN2QtYWFiOS00ZDE3LWI3NDMtZDk0NGI4MGU2NTkxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9>. Acesso em: 13 de set. de 2023.

ANEEL. **Área de atuação.** ANEEL, 2023b. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNDI4ODJiODctYTUyYS00OTgxLWE4MzktMDczYTlmMDU0ODYxIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOjR9&pageName=ReportSection>. Acesso em: 13 de set. de 2023.

ANEEL. **Tensão de aplicação.** ANEEL, 2023c. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/srd/frmConcessionaria.cfm>. Acesso em: 13 de set. de 2023.

ANEEL. **Por dentro da conta de luz: informação de utilidade pública.** 4. ed. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: <https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/196285?guid=1721761790193&returnUrl=%2fresultado%2flistar%3fguid%3d1721761790193%26quantidadePaginas%3d1%26codigoRegistro%3d196285%23196285&i=47>. Acesso em: 13 de set. de 2023.

ANEEL. REN N° 482 de 17 de abr. de 2012 (revogada) – **Agência nacional de energia elétrica**. ANEEL, 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 04 de nov. de 2023.

ANEEL. REN N° 687 de 24 de nov. de 2015 (revogada) – **Agência nacional de energia elétrica**. ANEEL, 2015. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 15 de set. de 2023.

BORGES, V. **Vantagens na utilização de inversores trifásicos de baixa tensão (127/220).** Canal Solar, 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/vantagens-na-utilizacao-de-inversores-trifasicos-de-baixa-tensao-127-220v/#:~:text=Os%20inversores%20trif%C3%A1sicos%20mais%20comuns,redes%20trif%C3%A1sicas%20com%20essa%20tens%C3%A3o>. Acesso em: 13 de set. de 2023.

BRASIL. Lei Nº 14.300 de 06 de janeiro de 2022. Presidência da República—**Marco Legal da microgeração e minigeração distribuída**. BRASIL, 2022. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm>. Acesso em: 04 de nov. de 2023.

ENERGISA**. Impostos e outros encargos**. ENERGISA, 2023a. Disponível em: <https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/impostos-outros-encargos.aspx>. Acesso em: 13 de set. de 2023.

ENERGISA. **Tipos de tarifas.** ENERGISA, 2023b. Disponível em:

<https://www.energisa.com.br/paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>. Acesso em: 13 de set. de 2023.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C.; UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas: com Introdução à Eletrônica de Potência**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. ISBN 978-85-60031-04-7.

IEMA. **Emissões de gases de efeito estufa de usinas termelétricas cresceram 75%.** IEMA, 2022. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-de-usinas-termeletricas-cresceram-75-20221215>. Acesso em: 13 de set. de 2023.

KRAPER. **Transformadores: Linha solar**. Disponível em: <https://www.kraper.com/linha-solar>. Acesso em: 04 de nov. de 2023.

MATO GROSSO DO SUL. Lei Nº 1810 de 22 de dezembro de 1997—**Tributos de competência do estado de mato grosso do sul**. (MATO GROSSO DO SUL, 2022) Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=135698 >. Acesso em: 04 de nov. de 2023.

OLIVEIRA, A. C. **ICMS/MS—Definida a aplicação de alíquotas nas operações com energia elétrica e serviços de comunicação no exercício de 2023.** Disponível em: < https://asisprojetos.com.br/spednews/icms-ms-definida-a-aplicacao-de-aliquotas-nas-operacoes-com-energia-eletrica-e-servicos-de-comunicacao-no-exercicio-de-2023/>. Acesso em: 13 de set. de 2023.

OLIVEIRA, L. G. M. **Avaliação de fatores que influenciam na estimativa da geração e operação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.

SALLES, S. **Entenda por que a dependência das térmicas pesa tanto na conta de luz.** CNN, 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/entenda-por-que-a-dependencia-das-termicas-pesa-tanto-na-conta-de-luz/#:~:text=As%20usinas%20termel%C3%A9tricas%20t%C3%AAm%20contribu%C3%ADdo,pela%20Ag%C3%AAncia%20Nacional%20de%20Energia>. Acesso em: 13 de set. de 2023.

SERVER GROWATT**, Dashboard.** Disponível em: <https://server.growatt.com>**.** Acesso em: 04 de nov. de 2023.