

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM TRANSFORMADOR MONOFÁSICO COMO FERRAMENTA DE ENSINO E APROFUNDAMENTO DOS CONCEITOS DO ELETROMAGNETISMO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4661

Laiza Costa Santos Nascimento - laizacs nascimento@gmail.com
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia

Rennan Souza Ribeiro - rennanribeiro15@hotmail.com
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia

Rhailan Fernandes Ataíde - rhailanf@gmail.com
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia

Emerson Gean Sousa Vieira - emersom.gean002@gmail.com
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia

POLYANE ALVES SANTOS - polyane@ifba.edu.br
INSTITUTO FEDERAL DA BAHIA

Resumo: Este artigo apresenta o projeto de um transformador, utilizando materiais reciclados de transformadores antigos, visando tornar o projeto mais acessível e sustentável para fins educacionais na área de Engenharia. A metodologia envolveu a coleta e preparação de materiais reciclados, dimensionamento do transformador com base nas propriedades dos materiais reciclados, montagem criteriosa do transformador e realização de testes e medições. Os resultados demonstraram a viabilidade do uso de materiais reciclados, destacando as oportunidades e os desafios associados a essa abordagem. O projeto proporcionou aos alunos a oportunidade de desenvolver habilidades práticas, promovendo a consciência ambiental e o valor da reutilização de recursos.

Palavras-chave: engenharia elétrica, projeto de transformadores, reciclagem de materiais, engenharia educacional, aprendizado prático.

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM TRANSFORMADOR MONOFÁSICO COMO FERRAMENTA DE ENSINO E APROFUNDAMENTO DOS CONCEITOS DO ELETROMAGNETISMO

1 INTRODUÇÃO

Contemporaneamente, observa-se o cenário presente de evasão nas instituições de ensino de Engenharia, a partir dos índices de abandono, transferência e jubramento, ou quaisquer eventos que não a conclusão da graduação do discente. Fazendo uma análise direcionada ao curso de Engenharia Elétrica, a evasão desenvolve-se, sobretudo, a partir da não identificação inicial com o curso, uma vez que a grade curricular da primeira metade deste, se pauta em conhecimento teórico aprofundado e de grande carga horária demandada. Logo, torna-se fundamental o desenvolvimento de projetos práticos, que acompanhem o aluno desde o início do curso, motivando-o a partir da atuação prática atrelada a sua futura profissão, e conseqüentemente, instigando-o ao aprofundamento teórico para reprodução real daquilo desenvolvido ao longo da graduação.

Quanto a Engenharia Elétrica, o eletromagnetismo, a partir da correlação dos fenômenos elétricos e magnéticos, é um dos conhecimentos teóricos fundamentais difundidos ao longo do curso. Com Michael Faraday, o aprofundamento destes princípios se tornou possível graças sua descoberta da indução eletromagnética, permitindo a construção dos primeiros transformadores. O protótipo inaugural desta máquina, criado por Faraday, apresentava os conceitos básicos de transformação de tensões, tendo-se como objetivo proporcionar uma corrente elétrica, gerada por meio de um campo magnético variável, além de permitir que por uma relação de proporcionalidade se obtivesse uma tensão/corrente de saída diferente da aplicada na entrada. Portanto, com base nas relações de transformação das grandezas, tem-se um aumento ou redução proporcional da tensão e corrente de saída, sendo fundamental na solução de problemas de transmissão de energia a longa distância.

Em razão disso, o projeto apresentado, incide na construção de um transformador monofásico com tensão nominal 220/24V e potência de saída 60VA. Assim, ao longo do artigo, é evidenciado a teoria posta em sala de aula, direcionando-a aos passos para a construção de um transformador. Ademais, é estabelecida uma comparação entre a fundamentação teórica com os valores práticos, para se constatar a proximidade dos resultados, associando-a diretamente à eficiência do dispositivo desenvolvido. Por meio disso, busca-se instigar os discentes a contínua assimilação teórica e prática, a partir de projetos propostos ao longo das disciplinas da Engenharia como ferramenta de aprendizagem ao desenvolver científico, assim como estratégias ao professor para o transcorrer dos assuntos abordados (UNIPAMPA, 2016), ampliando a reflexão do aluno para os fenômenos ocorrentes a sua volta.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Exclusivamente utilizados em corrente alternada, o desenvolvimento dos transformadores foi de grande auxílio na solução de problemas de transmissão de energia. Anteriormente, a distribuição se restringia apenas a pequenas distâncias, em razão da alta

intensidade das correntes necessárias à transmissão, pois para que se obtivesse baixas tensões, precisar-se-ia elevar as correntes. Porém, com o advento dos transformadores, tornou-se realidade a possibilidade de aumentar as distâncias, afinal, a partir destes, elevadas tensões já não eram mais uma problemática que afetaria as concessionárias de energia.

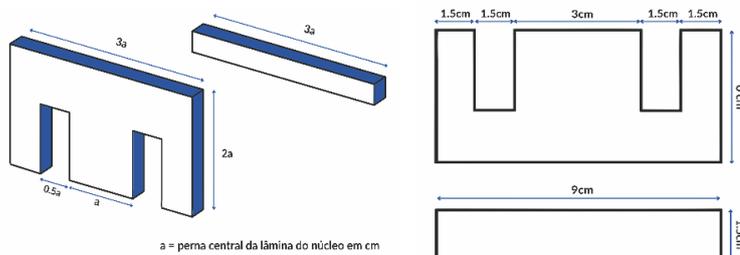
No geral, descreve-se a relação entre os enrolamentos de um transformador através da indução gerada entre eles. O lado primário possui uma quantidade N_1 de espiras, gerando a indução para o lado secundário, o qual detém uma quantidade N_2 de enrolamentos. Posto isso, ao se estabelecer uma proporção adequada entre o número de espiras do primário e do secundário, praticamente qualquer relação de tensões, ou relação de transformação, pode ser obtida para um transformador monofásico (UMANS, 2014), sendo esta denotada por uma constante de proporcionalidade $\alpha = N_1 / N_2$. Com relação ao regime de trabalho, caso se esteja lidando com um transformador elevador, α é menor que a unidade (IRVING L., 1982), e o lado primário será o lado de baixa, $V_1 = V_2 / \alpha$ recebendo menores tensões e elevando-as. Por outro lado, caso o transformador analisado seja abaixador, o processo ocorre de forma inversa, nesse caso, o lado de alta é o primário, $V_1 = V_2 \cdot \alpha$, e para esta configuração, a relação de transformação α é maior que a unidade.

Desta forma, considerando-se a fundamentação teórica estudada, e sendo assimilada a teoria desenvolvida ao longo da disciplina de Conversão Eletromecânica, sugeriu-se a construção de um transformador monofásico, a fim de se alcançar a plena compreensão dos discentes, ao conteúdo, tornando-os capazes de descrever o funcionamento desta máquina elétrica, e de efetuarem os cálculos de todos os parâmetros que a constituem. Por livre escolha dos alunos considerou-se a proposta de construção de um transformador monofásico 220V/24V, com potência de saída equivalente a 60VA, o que em acréscimo ao emprego de um núcleo proveniente da sucata de um transformador monofásico de baixa potência, como base para o enrolamento primário e secundário, desenvolveu a atuação consciente e criativa, partindo-se de materiais reutilizáveis como analogia as possibilidades de se contornar os contratempus no desenvolver do curso de Engenharia, e a posterior atuação no mercado de trabalho.

2.1 Parâmetros principais

A princípio, para projeção do transformador, determinaram-se os parâmetros principais seguindo a literatura (MARTIGNONI, 2007), como mostrado em sala. Portanto, partiu-se das medições das lâminas de ferro, expostas na Figura 1.

Figura 1 - Dimensões das lâminas de ferro



Fonte: Autoria própria

Considerando as equações (1), (2), (3) e (4), determinam-se os parâmetros referentes ao núcleo, respectivamente, Seção da Janela (S_j), Área frontal (A), Volume do núcleo (V), e Peso de 1cm de núcleo (P/cm), sendo as lâminas padronizadas nº 3.

$$S_j = 0,75a^2 \quad (1)$$

$$A = 6a^2 \quad (2)$$

$$V = 5,4a^2 \quad (3)$$

$$\frac{P}{cm} = 42,12a^2 \quad (4)$$

Em sequência, a partir da adoção de dados iniciais ao projeto, como a potência do secundário ($W_2=60W$), tensão do primário ($V_1=220V$), tensão do secundário ($V_2 =24V$), e a frequência de trabalho ($f=60hz$), determinaram-se os parâmetros quantitativos do transformador, a partir das equações (5), (6) e (7) referentes a corrente do secundário (I_2) em Ampere (A), a potência do primário (W_1), e por fim a corrente do primário (I_1).

$$I_2 = \frac{W_2}{V_2} \quad (5)$$

I_2 = Corrente no secundário;
 W_2 = Potência no secundário;
 V_2 = Tensão no secundário;

$$W_1 = W_2 \cdot 1,1 \quad (6)$$

W_1 = Potência no primário;
 W_2 = Potência no secundário;

$$I_1 = \frac{W_1}{V_1} \quad (7)$$

I_1 = Corrente no primário;
 W_1 = Potência no primário;
 V_1 = Tensão no primário;

Continuando o dimensionamento do transformador, calculou-se a seção dos condutores do enrolamento primário e secundário, a partir do valor da Densidade de Corrente Elétrica (d). Esta constante tem relação direta com a Potência em VA, logo tomando-se como referência a Tabela 1, adotou-se para este projeto $d=3$.

Tabela 1 - Relação entre Potência e Densidade de Corrente.

Potência (VA)	Densidade de Corrente (A/mm ²)
500	3
500 - 1000	2,5
1000 - 3000	2

Fonte: Autoria própria

Desta forma, associando esta constante (d) à corrente do primário e secundário, aplicou-se respectivamente a equação (8) e (9) para estabelecer o valor da seção do condutor a ser utilizada para o enrolamento do primário ($S1$), e do secundário ($S2$).

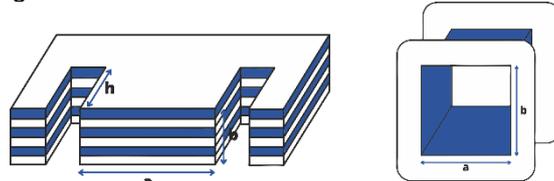
$$S1 = \frac{I1}{d} \quad (8)$$

$$S2 = \frac{I2}{d} \quad (9)$$

$S1$ = Seção do condutor primário;
 $S2$ = Seção do condutor secundário;
 d = Densidade de corrente elétrica;

Para o cálculo da Seção geométrica do núcleo (Sg), avaliaram-se diretamente as dimensões do carretel utilizado neste projeto, logo com base na Figura 2, e aplicando a equação (10) o valor deste parâmetro foi definido.

Figura 2 - Dimensionamento do Núcleo e Carretel



Fonte: Autoria própria

$$Sg = ab \quad (10)$$

Sg = Seção geométrica do núcleo;
 a = Perna central da lâmina do núcleo;
 b = Empilhamento de lâminas.

Contudo, a Seção Geométrica não representa diretamente a Seção Magnética do ferro (Sm), uma vez que existe uma fina camada isolante que separa uma lâmina de outra. Portanto, considerando-se a influência desta isolamento, a Seção Magnética é reduzida de 10% em relação à Seção Geométrica, o que pode ser visto da equação (11).

$$Sm = \frac{Sg}{1,1} \quad (11)$$

No que tange à determinação do número de espiras do primário ($N1$) e do secundário ($N2$), aplicam-se as equações (12) e (13), respectivamente, tendo elas relação com a Seção Magnética (Sm), destacando-se o acréscimo de 10% para o secundário devido à queda de tensão neste.

$$N1 = \frac{\sqrt{2} \cdot V1}{2 \cdot \Pi \cdot f \cdot Bm \cdot Sm} \quad (12)$$

$$N2 = 1,1 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot V2}{2 \cdot \Pi \cdot f \cdot Bm \cdot Sm} \quad (13)$$

- Sm = Seção magnética;
- f = Frequência de trabalho;
- $V1$ = Tensão do primário;
- $N1$ = Número de espiras do primário;
- Bm = Indução máxima de ferro;
- $N2$ = Número de espiras do secundário;
- $V2$ = Tensão do secundário;

Considerando-se os números de espiras de cada enrolamento e relacionando respectivamente à seção dos fios, calculou-se a seção total do cobre enrolado (Scu) mediante a equação (14).

$$Scu = N1 \cdot S1 + N2 \cdot S2 \quad (14)$$

2.2 Parâmetros secundários

Finalizando os cálculos, definiram-se os parâmetros adicionais relacionados ao peso, e as perdas do transformador. Portanto, a princípio, aplicou-se a equação (15) para estabelecer o peso do ferro.

$$Pfe = \frac{kg}{cm} \cdot b \quad (15)$$

Para determinação do peso total do cobre enrolado (Pcu), partiu-se do comprimento da espira média (lm), dado a partir da equação (16). E relacionando este parâmetro com a seção do cobre (Scu), o peso total do cobre foi definido através da equação (17).

$$lm = 2a + 2b + 0,5 \cdot a \cdot \pi \quad (16)$$

$$Pcu = Scu \cdot lm \cdot 8,9 \quad (17)$$

No que tange às perdas no ferro (W_{fe}), primeiramente se calcula as perdas específicas das lâminas (w_{fe}). Para isto, considerou-se o parâmetro fixo de indução magnética (B_m) = 11300 Gauss, e o valor já citado de frequência (f) = 60Hz. Assim, substituindo na equação (18), pode-se calcular as perdas nas lâminas.

$$w_{fe} = 1,35 \cdot \frac{f}{50} \cdot \left(\frac{B_m}{10^4}\right)^2 \quad (18)$$

Associando-se a expressão acima com o peso ao ferro (P_{fe}), e acrescentando-se 15% devido às perdas específicas, o valor de (W_{fe}) é definido a partir da equação (19).

$$W_{fe} = 1,15 \cdot w_{fe} \cdot P_{fe} \quad (19)$$

Finalizando o cálculo das perdas, calcularam-se também as perdas relacionadas ao cobre (W_{cu}). Desta forma necessitou-se do parâmetro auxiliar de perda específica deste elemento (w_{cu}), sendo o mesmo obtido pela equação (20).

$$w_{cu} = 2,43(dm)^2 \quad (20)$$

Relacionado às perdas específicas (w_{cu}) à densidade de corrente (dm) dada pela equação (21) pode-se determinar as perdas no cobre (W_{cu}) com a equação (22).

$$dm = \frac{d1 + d2}{2} \quad (21)$$

- $d1 = I1/S1$
- $d2 = I2/S2$

$$W_{cu} = w_{cu} \cdot P_{cu} \quad (22)$$

Portanto, a partir do equacionamento descrito, e considerando-se os dados de tensão destinados ao transformador proposto, além das dimensões das chapas laminadas, definiram-se os parâmetros primários e secundários ao transformador, de forma a possibilitar a construção física deste. Logo, a Tabela 2 exibe os resultados direcionados ao projeto.

Tabela 2 - Dados projetados no primário e secundário do transformador.

$W1(W)$	$I1(A)$	$W2(W)$	$I2(A)$	$N1$	$N2$	$S1(mm^2)$	$S2(mm^2)$
66	0,3	60	2,5	596	72	0,1	0,83

Fonte: Autoria própria

Com relação ao peso do transformador, a Tabela 3 exibe o peso esperado nos enrolamentos de cobre, e ao ferro das chapas laminadas.

Tabela 3 - Peso calculado ao ferro e ao cobre do transformador.

Peso do ferro – P_{fe} (kg)	Peso do cobre – P_{cu} (kg)
1,71	0,2088

Fonte: Autoria própria

Por fim, a Tabela 4 exibe os dados associados às perdas específicas nas lâminas e nos enrolamentos, assim como as perdas no ferro e no cobre.

Tabela 4 - Perdas dimensionadas ao ferro e cobre, e rendimento esperado.

w_{fe} (W/kg)	W_{fe} (W)	w_{cu} (W/kg)	W_{cu} (W)
2,069	4,06	208,808	4,567

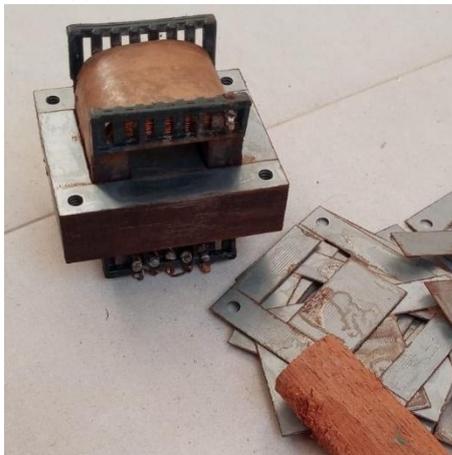
Fonte: Autoria própria.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste projeto consistiu em etapas para garantir uma abordagem sistemática e organizada, porém, antes do dimensionamento em si, inicialmente, por encargo dos alunos, definiu-se para execução às condições iniciais do transformador, sendo este de configuração abaixadora, com tensão de entrada de 220V, e 24V como saída. A potência de 60W foi estabelecida à saída, considerando-se a operação na frequência de 60Hz.

Devido ao cunho educacional do projeto, este se desenvolveu, sobretudo, a partir do uso de materiais de sucata de transformadores antigos, visando torná-lo mais acessível e sustentável, logo, partindo disso, a primeira etapa consistiu na busca de transformadores obtidos em sucatas, solicitando-os quando encontrados, dos locais de reciclagem ou oficinas de conserto. A partir das opções, escolheu-se o transformador em melhores condições físicas, para desmonte, a fim de se reutilizar o núcleo de ferro-silício. A Figura 3 retrata o transformador e seus componentes desmontados, para separação das chapas laminadas e da base plástica, a serem destinados ao projeto.

Figura 3 - Componentes do transformador sendo desmontados.



Fonte: Autoria própria.

Considerando as dimensões físicas do núcleo do transformador desmontado, a segunda etapa se caracterizou pelos cálculos de dimensionamento do transformador

proposto, a partir da base teórica desenvolvida, destinando os resultados à sua posterior construção. Logo, após cálculos, além dos materiais reciclados já citados, necessitou-se da aquisição de outros componentes fundamentais para execução do projeto, sendo estes, Fios de cobre esmaltados (AWG 27 - Diâmetro = 0.10\mm) e (AWG 18 - Diâmetro = 0.82\mm); 12 Parafusos e 04 Porcas; 01 Placa de MDF e 01 Placa de acrílico; 04 Conectores Banana; 01 Cabo de vassoura; 01 metro de Fio - 2,5\mm; Papel Madeira; Fita Crepe; Instrumentos de medição, como balança de precisão e 02 multímetros adequadamente configurados.

Em sequência, iniciou-se a terceira parte do projeto, efetivamente relacionada a construção do transformador, a partir do enrolamento dos condutores no núcleo. Para isto, partiu-se do lado de alta tensão (220V), em que foram enroladas 596 espiras do fio AWG – 27, de forma manual, cuidando-se para que o preenchimento do carretel se desse de forma uniforme, e com menor espaçamento possível. Devido a abundante quantidade de espiras, o aplicativo online (Contador Numérico, 2022) serviu de auxílio, sendo que a cada volta dada por um dos componentes, outro registrava no aplicativo para não ocorrer erros na contagem. Finalizando o enrolamento do lado de alta, foi enrolado sob este, algumas voltas de fita crepe branca para envolvimento de todos os fios. Além disso, acima desta camada colocou-se uma tira de papel madeira fixando-a no enrolamento com mais fita crepe para dar sequência a este processo, agora com o lado de baixa tensão. Na Figura 4 esta etapa pode ser verificada.

Figura 4 - Transformador como enrolamento primário pronto e isolado.



Fonte: Autoria própria.

Com o fio AWG – 18, foram enroladas mais 72 voltas para compor o enrolamento do secundário. E após sua finalização, isolaram-se os fios da mesma forma já descrita para o primário. Portanto, sendo esse processo de enrolamento e isolamento elétrico concluído, posicionaram-se as lâminas de ferro silício encaixando-as de forma intercalada, e após a disposição de todas as lâminas, fixou-as com quatro parafusos, e realizou-se a raspagem dos fios dos enrolamentos, dois do lado de alta tensão, e dois do de baixa tensão, para os posteriores testes.

Para fins organizacionais, bem como praticidade para realização das medidas teóricas, foi construído um suporte para o transformador com MDF, acrílico, cabo de vassoura e conectores do tipo banana. Logo, na Figura 5 é exposto o transformador finalizado e disposto no suporte, para posteriores medições.

Figura 5 - Transformador finalizado e fixado no suporte.



Fonte: Autoria própria

Por último, após a montagem, referente à metodologia prática, a etapa quatro do projeto consistiu nos testes experimentais ao transformador, como forma de validar o desenvolver teórico assimilado no ambiente educacional. Portanto, realizou-se como principal ensaio a medição da relação de transformação, a partir da tensão primária e secundária, sendo para isto necessário o uso dos aparelhos de medição adequados, como voltímetro e amperímetro, responsáveis por medir a tensão e corrente elétrica do transformador, e um Variac, fornecendo a tensão de entrada equivalente a 220V.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados apresentados pela Figura 6, assim como a Tabela 5 foram obtidos para o ensaio realizado com o transformador operando na condição de abaixador.

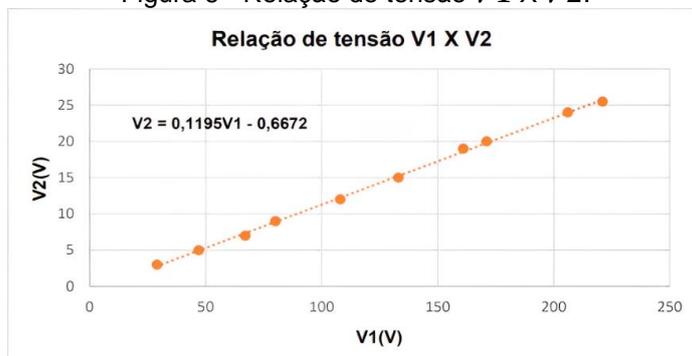
Tabela 5 - Relação de tensão $V1 \times V2$.

Tensão Primário	Tensão Secundário	α	α Médio
29	3	9,667	8,967
47	5	9,400	
67	7	9,571	
80	9	8,889	
108	12	9,000	
133	15	8,867	
161	19	8,474	
171	20	8,550	
206	24	8,583	
221	25,5	8,667	

Fonte: Autoria própria.

Pode-se notar que o valor da constante α se altera durante as medições, sendo essa divergência maior no início deste processo, em que o valor de tensão aplicada ao primário se distancia do valor nominal equivalente a 220V. Porém, verifica-se que a partir de $V1=133V$, o valor da constante α tende a ficar relativamente fixo.

Figura 6 - Relação de tensão $V1 \times V2$.



Fonte: Autoria própria.

Somado a isso, pode-se avaliar a reta de regressão linear para o ensaio do transformador atuando como abaixador. Desta forma, observando-se a Figura 6, é possível afirmar que boa parte dos pares ordenados, gerados pela relação de $V1$ e $V2$, estão sob a reta, porém ainda assim, há um número mínimo destes mais na lateral da reta, identificando assim certa dispersão com que se era esperado. No entanto, de forma geral pode-se concluir a linearidade dos pontos, e conseqüentemente a relação proporcional entre $V1$ e $V2$, uma vez que todos os pontos em conjunto tendem a um comportamento linear.

Tabela 6 - Comparação da Tensão nominal e da relação de transformação α .

$V1$ Exp (V)	$V1$ Teo (V)	$V2$ Exp (V)	$V2$ Teo (V)	α Médio Exp	α Teo
221	220	25,5	24	8,967	9,167
Erro Percentual Primário (%)		Erro Percentual Secundário (%)		Erro Percentual α (%)	
0,4545		6,25		2,178	

Fonte: Autoria própria

Para as tensões observa-se uma taxa de erro praticamente irrisória no lado primário denotado por $V1$, reforçando desse modo a proximidade com a teoria e demonstrando a precisão do transformador projetado. Porém, o lado secundário, $V2$, apresenta um erro de aproximadamente 6,25%, o que ainda é aceitável, mas diverge do que se era esperado. A discrepância pode ser justificada devido às perdas no cobre em cada enrolamento, estas descritas na Tabela 4, o que resulta em níveis de tensão diferentes do desejado.

Já se avaliando o erro referente à relação de transformação α , quando se comparado ao valor teórico desta ao seu experimental, tem-se um erro de 2,178%. Ainda assim tem-se proximidade entre os dados, e portanto pode-se enfatizar a validade do transformador construído.

Por fim, outro aspecto qualitativo avaliado ao projeto se deu através da comparação entre o peso do transformador, teórico e experimental, em que para a medição experimental, utilizou-se uma balança de precisão. A Tabela 7, disposta abaixo, exhibe os resultados a este parâmetro.

Tabela 7 - Comparação do peso para o transformador

Peso Total Teórico (Kg)	Peso Total Experimental (Kg)	Erro Percentual (%)
1,917	1,767	7,852

Fonte: Autoria própria

Constatou-se que o método utilizado para calcular o peso expressou um erro de 7,852%, sendo uma taxa percentual moderada. Por isso, pode-se concluir que a metodologia teórica para cálculo do peso não apresentou ser efetiva em relação ao peso prático deste projeto, podendo ser então necessário o acréscimo de uma margem de erro no cálculo teórico deste parâmetro, a fim de que o mesmo se aproxime do valor experimental. Uma explicação cabível a isto pode ser dada pela diferença do peso do ferro do transformador, especificamente suas lâminas. Isto porque, como o projeto foi desenvolvido a partir de um transformador usado, tem-se o desgaste de seus componentes devido ao tempo de uso, e à exposição ao ambiente, consequentemente afetando o peso das lâminas, e portanto, validando-se o menor em valor prático deste em relação ao teórico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por intermédio dos processos executados, a partir da construção do transformador monofásico, foram realizados ensaios da medição da relação de transformação. Diante disso, observou-se que o transformador, na função abaixador de tensão, apresentou inicial discrepância nos valores de α , que se regularizaram à medida que os valores de tensão se aproximaram do nominal, conforme exibido na Tabela 5. Além disso, a partir da análise do gráfico da Figura 6, "Relação de tensão $V1 \times V2$ ", e aplicando-se o ajuste linear da reta obteve-se uma equação capaz de correlacionar estes parâmetros. Por fim, outro aspecto associado à análise gráfica é o coeficiente angular da equação da reta, em que se percebeu sua equivalência ao inverso da relação de transformação α , ou seja, $\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{18,967} = 0,1115$, usando o α médio para se ter uma aproximação mais exata.

Com relação à comparação dos valores nominais, experimental e teórico, verifica-se na Tabela 6 o erro de 0,4545% em $V1$ e 6,25% em $V2$, resultados esses que estão em concordância com o esperado no que se refere a base teórica. Para a mesma referência, Tabela 6, a comparação dos valores de α resulta em um pequeno erro percentual, o que contribui para a conclusão da eficiência do transformador projetado, tendo-se, em análise geral, erros inferiores à taxa de 10%.

Ao realizar os ensaios e medições, como verificada a partir da relação de transformação, assim como a análise dos erros do transformador construído, os estudantes têm a oportunidade de aprimorar suas habilidades experimentais, bem como formar uma compreensão mais profunda dos conceitos teóricos. Logo, a proposta e acompanhamento dos discentes para projetos práticos, como o desenvolvido, caracteriza-se como fundamental aliado a correlação teórica e prática, ao longo do curso de Engenharia Elétrica, tornando este processo mais dinâmico e, ao mesmo tempo, envolvente e motivador. Ademais, em cenários de desafios, como os inerentes à construção deste transformador, os estudantes são sujeitos a desenvolverem habilidades essenciais para a prática da Engenharia, como o trabalho em equipe, a resolução de problemas, a tomada de decisões e a comunicação efetiva, características essas fundamentais na vida profissional.

Portanto, a construção do transformador no contexto de ensino da área proposta, oferece uma oportunidade valiosa para os estudantes, assim como aos professores. A

aplicação dos conhecimentos difundidos em sala, em conjunto a execução prática e criativa de projetos que os convalidem, contribuem para o desenvolvimento do aluno, a partir de uma consciência crítica objetivando os melhores resultados, e conseqüentemente cooperando ao dinamismo em sala de aula. Ademais, atingem-se contribuições ao futuro profissional, a partir do progredir em competências fundamentais do mercado de trabalho, como o desenvolver criativo e sustentável, enriquecendo as possibilidades ao se enfrentar desafios reais da Engenharia Elétrica.

REFERÊNCIAS

IRVING L., Kosow. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 4 ed, Globo, 1982.

MARTIGNONI, Alfonso. **Transformadores**. 1 ed, Globo, 2007.

PiliApp. **Contador Numérico**. 2022. Disponível em: <https://pt.piliapp.com/counter/> . Acesso em: 01 de nov. 2022.

Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA. **LEVANTAMENTO SOBRE A IMPORTÂNCIA DE AULAS PRÁTICAS PARA O ENSINO SUPERIOR DE ENGENHARIA**. 2016. Disponível em: <https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/84976>. Acesso em: 01 de jul. 2023.

UMANS, Stephen D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley**. 7 ed, [S.l.]: AMGH Editora, 2014.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SINGLE-PHASE TRANSFORMER AS A TEACHING TOOL AND DEVELOPMENT OF THE CONCEPTS OF ELETROMAGNETISM – COBENGE 2023

Abstract: *This article presents the design of a transformer using recycled materials from old transformers, aiming to make the project more accessible and sustainable for educational purposes in the field of Engineering. The methodology involved the collection and preparation of recycled materials, dimensioning the transformer based on the properties of the recycled materials, careful assembly of the transformer, and conducting tests and measurements. The results demonstrated the feasibility of using recycled materials, highlighting the opportunities and challenges associated with this approach. The project provided students with the opportunity to develop practical skills while promoting environmental awareness and the value of resource reuse.*

Keywords: *electrical engineering, transformer project, material recycling, educational engineering, hands-on learning.*