

Caracterização de um transformador monofásico

Pedro Ribeiro,^{*} Luis Macedo,[†] and Samuel Balula[‡]

Instituto Superior Técnico
Mestrado em Engenharia Física Tecnológica
Complementos de Electrónica
 (Dated: 20 de Outubro de 2014)

Neste trabalho laboratorial determinam-se as características eléctricas do transformador monofásico, analisam-se as propriedades magnéticas do material do núcleo e analisa-se o comportamento do transformador em carga. Os parâmetros, do modelo de Steinmetz, são determinados por ensaios em vazio e curto circuito.

I. INTRODUÇÃO

I.1./II Relações entre o primário e o secundário

Conhecem-se as seguintes relações para um transformador ideal:

$$\frac{U_{pri}}{U_{sec}} = \frac{n_{pri}}{n_{sec}} \quad (1)$$

$$n_{pri}I_{pri} = n_{sec}I_{sec} \Rightarrow \frac{I_{sec}}{I_{pri}} = \frac{n_{pri}}{n_{sec}} \quad (2)$$

No entanto, os transformadores com núcleo de ferro possuem não-idealidades, pelo que se utiliza o esquema equivalente de Steinmetz, que pode ser visto na figura 1, para o modelizar. Para estudar este tipo de transformador vamos supor duas condições: uma em que o secundário se encontra em vazio (isto é $R_{LOAD} = \infty$) e outra em que o secundário já possui uma resistência de carga bem definida no secundário.

Para o primeiro caso, tem-se a seguinte condição:

$$i_2 = i'_2 = 0 \quad (3)$$

Logo se não passa corrente em i'_2 , toda a corrente irá passar pela resistência r_{fe} e pela bobine l_{11} $\cos \phi_{fe}$. Logo:

$$\overline{U}_s = \overline{I}_s(r_1 + r_{fe} + j\omega(l_{11} \cos \phi_{fe} + \lambda_{11})) \quad (4)$$

$$\overline{U}'_2 = \overline{I}_s(r_{fe} + j\omega l_{11} \cos \phi_{fe}) \quad (5)$$

A partir destas equações, tem-se:

$$\overline{U}_2 = \frac{n_{sec}}{n_{pri}} \frac{r_{fe} + j\omega l_{11} \cos \phi_{fe}}{r_1 + r_{fe} + j\omega(l_{11} \cos \phi_{fe} + \lambda_{11})} \overline{U}_s \quad (6)$$

Para o caso em que o enrolamento secundário se encontra fechado através de uma resistência de carga (R_{LOAD}), visto que $r_{fe} \gg r_2$ e que vai existir agora corrente a passar em i'_2 , pode-se então admitir:

$$i_{r_{fe}} \ll i_2 \Rightarrow -i'_2 \approx i_1 = i, \quad i_{r_{fe}} \approx 0 \quad (7)$$

Utilizando esta aproximação, tem-se, determinando a equação de circulação no primário:

$$\overline{U}_s = \overline{I}_s(r_1 + r'_2 + j\omega(\lambda_{11} + \lambda'_{22})) + \overline{U}'_2 \quad (8)$$

Para conseguir expressar $\overline{U}_2 = \overline{U}_2(\overline{U}_s)$ é necessário determinar qual a impedância na bobine do primário. Recorrendo às equações 1 e 2 e à lei de Ohm, chega-se a:

$$\frac{\overline{U}'_2}{\overline{U}_2} = \frac{n_{pri}}{n_{sec}} \Rightarrow \frac{Z'_2}{Z_2} = \left(\frac{n_{pri}}{n_{sec}} \right)^2 \quad (9)$$

Visto que $Z_2 = R_{LOAD}$, pode-se escrever 8 como:

$$\overline{U}_s = \overline{I}_s(r_1 + r'_2 + R_{LOAD} \left(\frac{n_{pri}}{n_{sec}} \right)^2 + j\omega(\lambda_{11} + \lambda'_{22})) \quad (10)$$

Da mesma maneira que no exercício anterior, fazendo:

$$\overline{I}_s = \frac{\overline{U}'_2}{R_{LOAD} \left(\frac{n_{pri}}{n_{sec}} \right)^2} \quad (11)$$

Chega-se à relação final da tensão em carga:

$$\overline{U}_2 = \frac{\left(\frac{n_{pri}}{n_{sec}} \right) R_{LOAD}}{(r_1 + r'_2 + R_{LOAD} \left(\frac{n_{pri}}{n_{sec}} \right)^2 + j\omega(\lambda_{11} + \lambda'_{22}))} \overline{U}_s \quad (12)$$

Recorrendo à expressão 10, sabendo que $\overline{U}_2 = R_{LOAD} \overline{I}_2$ e substituindo em , obtém-se a relação de correntes:

$$\overline{I}_2 = \left(\frac{n_{pri}}{n_{sec}} \right) \overline{I}_s \quad (13)$$

A relação de impedâncias é dada por:

$$Z_s = Z_{cc} + \left(\frac{n_{pri}}{n_{sec}} \right)^2 Z_2 \quad (14)$$

Em que $Z_2 = R_{LOAD}$ e

$$Z_{cc} = r_1 + r'_2 + j\omega(\lambda_{11} + \lambda'_{22}) \quad (15)$$

Por fim a eficiência pode ser calculada fazendo:

$$\eta = \frac{P_{20}}{P_{10}} = \frac{\text{Re}(U_2 I_2)}{\text{Re}(U_1 I_1)} \quad (16)$$

Através da lei de ohm e das expressões 10 e 13, obtém-se finalmente:

$$\eta = \frac{\left(\frac{n_{pri}}{n_{sec}} \right)^2 R_{LOAD}}{r_1 + r'_2 + R_{LOAD} \left(\frac{n_{pri}}{n_{sec}} \right)^2} \quad (17)$$

^{*} 73221, pedro.q.ribeiro@tecnico.ulisboa.pt

[†] 73633, luis.macedo@tecnico.ulisboa.pt

[‡] 72735, samuel.balula@tecnico.ulisboa.pt

I.2. Determinação da característica magnética do núcleo do transformador

Conforme a nomenclatura da figura 3, podem determinar-se os campos B e H em função dos valores de tensão medidos no osciloscópio.

$$\oint_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = n_1 i_1 \quad (18)$$

$$H \approx \frac{n_1 i_1}{l} = \frac{n_1 Y_1}{R_1 l} \quad (19)$$

$$u_2 = \frac{d\phi_2}{dt} \approx n_2 S \frac{dB}{dt} \quad (20)$$

$$u_2 = u_c + RC \frac{du_c}{dt} \approx RC \frac{du_c}{dt} \quad (21)$$

$$B \approx \frac{R_2 C_1}{n_2 S} Y_2 \quad (22)$$

$$r_{fe} = \frac{P_{21}}{I_{2ef}^2 \frac{n_2}{n_1}} \quad (28)$$

$$r'_2 = \frac{P_2}{\left(I_{2ef} \frac{n_2}{n_1}\right)^2} - r_{fe} \quad (29)$$

$$l_{11} = \frac{U_{1ef}}{\frac{n_2}{n_1} I_{2ef} \omega} \quad (30)$$

$$\phi_{fe} = \text{Arcsin} \frac{r_{fe}}{\omega l_{11}} \quad (31)$$

$$\lambda'_{22} = \sqrt{\frac{\left(\frac{U_{2ef}}{I_{1ef}}\right)^2 \frac{1}{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^4} - (r'_2 + r_{fe})^2}{\omega^2}} - l_{11} \cos(\phi_{fe}) \quad (32)$$

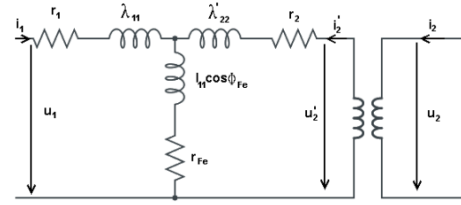


Figura 1. I.3. Esquema equivalente de Steinmetz

I.3. Ensaio em vazio do transformador

O objectivo deste ponto é determinar as impedâncias internas do transformador. A representação do transformador de acordo com o esquema equivalente de Steinmetz encontra-se na figura figura 1. Começando por estudar o secundário em vazio é possível determinar $r_1, \lambda_{11}, r_{fe}, l_{11} * \cos(\phi_{fe})$, a partir de $I_{1ef}, U_{2ef}, P_{10} = \langle u_1 i_1 \rangle$ e $P_{12} = \langle u_2 i_1 \rangle$ utilizando as seguintes relações

$$r_{fe} = \frac{P_{12}}{\frac{n_2}{n_1} I_{1ef}^2} \quad (23)$$

$$r_1 = \frac{P_{10}}{I_{1ef}^2} - r_{fe} \quad (24)$$

$$l_{11} = \frac{U_{2ef}}{I_{1ef} \frac{n_2}{n_1} \omega} \quad (25)$$

$$\phi_{fe} = \text{Arcsin} \frac{P_{12}}{U_{2ef} I_{1ef}} \quad (26)$$

$$\lambda_{11} = \sqrt{\frac{\left(\frac{U_{1ef}}{I_{1ef}}\right)^2 - (r_1 + r_{fe})^2}{\omega^2}} - l_{11} \cos(\phi_{fe}) \quad (27)$$

Estudando agora o primário em vazio é possível determinar $r'_2, \lambda'_{22}, r_{fe}, l_{11} \cos(\phi_{fe})$ a partir de $I_{2ef}, U_{1ef}, P_2 = \langle u_2 i_2 \rangle$ e $P_{21} = \langle u_1 i_2 \rangle$, utilizando as relações

I.4. Ensaio em curto-circuito do transformador

Neste estudo do transformador com o secundário em curto-circuito assume-se que nenhuma corrente passa por r_{fe} e $l_{11} \cos(\phi_{fe})$. Neste caso é possível determinar $r_1 + r'_2$ e $\lambda_{11} + \lambda'_{22}$ a partir de U_{1ef} e de $P_{10} = \langle u_1 i_1 \rangle$ utilizando as seguintes relações

$$r_1 + r'_2 = \frac{P_{10}}{I_{1ef}^2} \quad (33)$$

$$\lambda_{11} + \lambda'_{22} = \sqrt{\frac{\left(\frac{U_{1ef}}{I_{1ef}}\right)^2 - (r_1 + r'_2)^2}{\omega^2}} \quad (34)$$

II. EXPERIÊNCIA REALIZADA

Apresentam-se na tabela I os componentes utilizados.

Tabela I. Lista dos componentes utilizados

Descrição	Modelo/Valor	Qt.
Transformador		1
Cond. cerâmico	1 μ F	1
Resistência 10W	1 Ω	1
Resistência 10W	10 Ω	2
Resistência 2.5W	10K Ω	4
Potenciometro	12 Ω	1

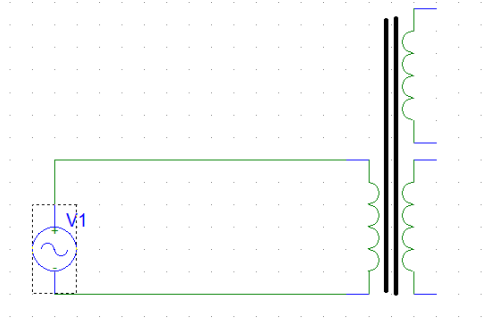


Figura 2. I.1. Circuito utilizado na determinação da relação de espiras entre primário e secundário

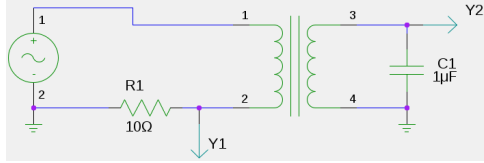


Figura 3. I.2. Circuito utilizado na determinação da característica magnética do núcleo do transformador

Para se fazer o estudo do transformador com o secundário em vazio utilizou-se o circuito representado na figura 4

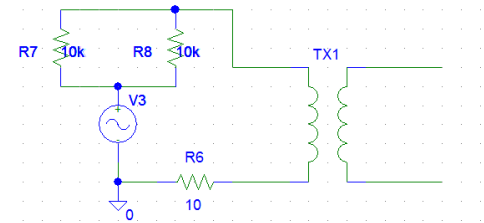


Figura 4. I.3. Circuito utilizado no estudo do transformador com o secundário em vazio

Utilizaram-se as duas resistências de 10K Ω para que fosse possível medir a tensão no osciloscópio, uma vez que se aplicaram cerca de 220V.

Para estudar o transformador com o primário em vazio e o transformador com o secundário em curto circuito utilizaram-se os circuitos representados nas figuras 5 e 6, respectivamente.

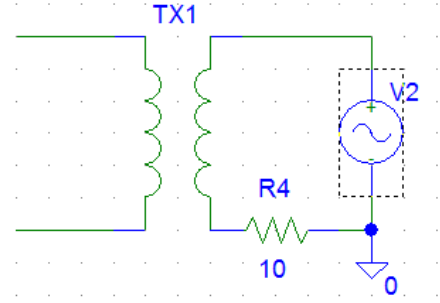


Figura 5. I.3. Circuito utilizado no estudo do transformador com o primário em vazio

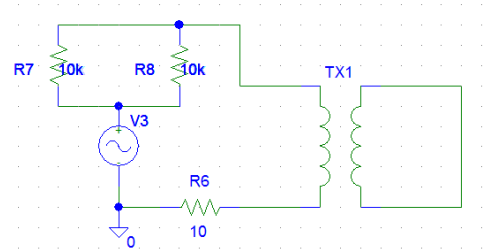


Figura 6. I.4. Circuito utilizado no estudo do transformador com o secundário em curto circuito

III. RESULTADOS

I.1 Determinação do número de espiras

Os valores de tensão obtidos nesta parte da experiência apresentam-se na tabela II.

$U_{pri}(V)$	$U_5(mV)$	$U_{sec}(V)$
15,03 \pm 0,03	120,5 \pm 0,2	1,723 \pm 0,005
30,57 \pm 0,04	246,3 \pm 0,2	3,54 \pm 0,01
45,01 \pm 0,04	361,5 \pm 0,3	5,195 \pm 0,005
60,16 \pm 0,05	486,0 \pm 0,5	6,96 \pm 0,01
75,26 \pm 0,02	602,5 \pm 0,7	8,65 \pm 0,03
90,4 \pm 0,1	726,0 \pm 0,8	10,45 \pm 0,01
105,1 \pm 0,3	848,3 \pm 0,5	12,17 \pm 0,01
120,5 \pm 0,1	971 \pm 1	13,94 \pm 0,02
135,0 \pm 0,1	1084 \pm 2	15,62 \pm 0,02
149,8 \pm 0,2	1203 \pm 3	17,34 \pm 0,03

Tabela II. Valores de tensão obtidos nos enrolamentos primário, secundário e no enrolamento de 5 espiras (U_5)

I.2. Determinação da característica magnética do núcleo do transformador

Apresentam-se na figura 7 e na tabela III os resultados experimentais.

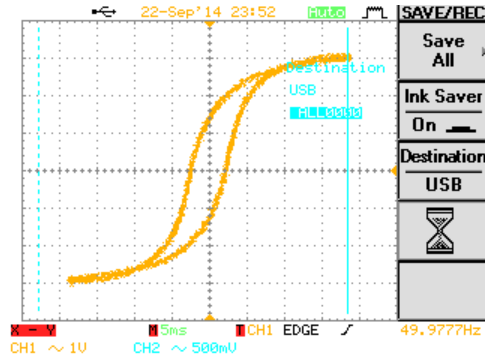


Figura 7. Característica Y2(Y1) do núcleo do transformador. Não foi possível converter os dados de tensão para unidades de campo por os dados exportados pelo osciloscópio não serem coerentes com a figura observada, não sendo portanto válidos

Tabela III. Parâmetros do núcleo do transformador

Parâmetro	Valor	Unidades
comprimento	8.70 ± 0.05	cm
largura	3.95 ± 0.05	cm
altura	10.50 ± 0.05	cm
espessura	1.70 ± 0.05	cm
+B saturação	$2.976 \pm .041$	T
-B saturação	-2.935 ± 0.041	T
+B remanescente	$1.447 \pm .041$	T
-B remanescente	$-1.323 \pm .041$	T
+H coercivo	128.5 ± 1.2	Am^{-1}
-H coercivo	-134.4 ± 1.2	Am^{-1}
μ increm.	1.81 ± 0.09	TmA^{-1}

I.3. Ensaio em vazio do transformador

Neste ponto considerou-se que o erro das grandezas dadas pelo software de aquisição era de 0,5% do valor da grandeza. Os resultados fornecidos pelo software para o estudo do transformador com o secundário e primário em vazio estão representados nas tabelas IV e V.

Tabela IV. Dados recolhidos do software para o estudo do transformador com o secundário em vazio

Posição	a	b
$V1_{ef}(ac)(V)$	$218,139 \pm 1,091$	$25,705 \pm 0,129$
$V2_{ef}(ac)(V)$	$0,840 \pm 0,004$	$0,857 \pm 0,004$
$< v1 * v2 > ac(V^2)$	$54,555 \pm 0,273$	$-6,475 \pm 0,032$
$< v1 > (V)$	$-5,609 \pm 0,028$	$-0,059 \pm 0,001$
$< v2 > (V)$	$2,989 \pm 0,015$	$0,0248 \pm 0,001$

Tabela V. Dados recolhidos do software para o estudo do transformador com o primário em vazio

Posição	a	b
$V1_{ef}(ac)(V)$	$219,047 \pm 1,095$	$28,983 \pm 0,145$
$V2_{ef}(ac)(V)$	$7,202 \pm 0,036$	$7,069 \pm 0,035$
$< v1 * v2 > ac(V^2)$	$52,047 \pm 0,260$	$110,506 \pm 0,552$
$< v1 > (V)$	$-4,150 \pm 0,021$	$-0,025 \pm 0,001$
$< v2 > (V)$	$0,175 \pm 0,001$	$0,236 \pm 0,001$

Sendo que a posição *a* corresponde à ponta de prova do osciloscópio a medir a tensão no primário e a posição *b* corresponde à ponta de prova do osciloscópio a medir a tensão no secundário. É de notar que era pretendido obter o mesmo estado de magnetização para ambas as situações, sendo que para tal, aquando do estudo do transformador com o primário em vazio, se impôs uma tensão no secundário semelhante à tensão obtida no secundário em vazio, imponto no primário cerca de 220V

I.4. Ensaio em curto-circuito do transformador

Os dados obtidos pelo software para o estudo do transformador em curto-circuito encontram-se na tabela VI

Tabela VI. Dados recolhidos do software para o estudo do transformador em curto-circuito

$V1_{ef}(ac)(V)$	$33,403 \pm 0,167$
$V2_{ef}(ac)(V)$	$0,837 \pm 0,004$
$< v1 * v2 > ac(V^2)$	$21,176 \pm 0,106$
$< v1 > (V)$	$-0,240 \pm 0,001$
$< v2 > (V)$	$0,024 \pm 0,001$

Neste ponto impôs-se uma corrente de cerca de $I_{1ef} = 820mA$ visto que a corrente nominal do transformador é de $818mA$.

IV. ANÁLISE DE RESULTADOS

I.1. Determinação da relação de espiras

A relação entre o número de espiras de dois enrolamentos e as suas tensões é linear, pelo que se pode ajustar uma função do tipo:

$$y = ax + b \quad (35)$$

Sendo que a vai representar a relação entre espiras. Para determinar a relação entre espiras do primário e do secundário e o número aproximado de espiras em cada enrolamento, fazendo relação com um enrolamento com um número conhecido de espiras. Efectuando o ajuste linear aos dados obtidos obtiveram-se os gráficos 8, 9 e 10. Para a relação

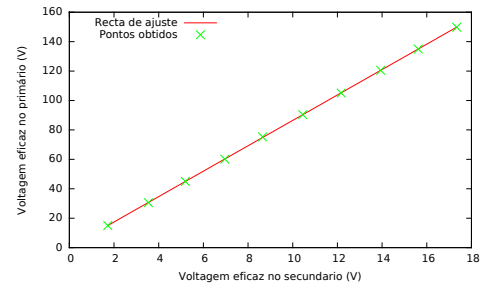


Figura 8. Ajuste obtido para a relação entre primário e secundário

entre primário e secundário obteve-se $a = \frac{n_{pri}}{n_{sec}} = 8.63 \pm 0.01$.

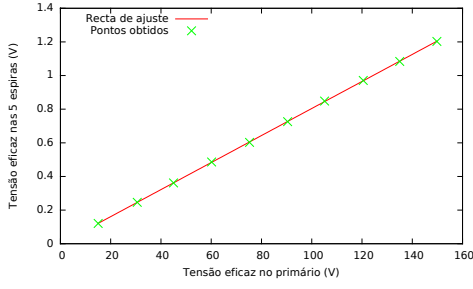


Figura 9. Ajuste obtido para a relação entre primário e o enrolamento de 5 espiras

Para a relação entre o enrolamento de 5 espiras e o enrolamento primário obteve-se $a = \frac{n_5}{n_{pri}} = 0.008 \pm 0.001$, o que implica que o número de espiras no enrolamento primário deverá ser $n_{pri} = 621.89 \pm 0.01$.

Para a relação entre o enrolamento de 5 espiras e o enrola-

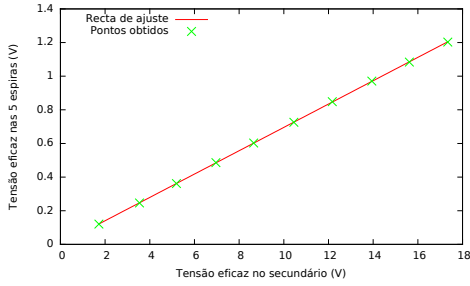


Figura 10. Ajuste obtido para a relação entre o secundário e o enrolamento de 5 espiras

mento secundário obteve-se $a = \frac{n_5}{n_{sec}} = 0.0694 \pm 0.001$ o que implica que o número de espiras no enrolamento secundário deverá ser $n_{sec} = 72.05 \pm 0.01$.

Para confirmar, pode-se dividir o valor obtido através do ajuste com o número de espiras do secundário e do primário, o que resulta em:

$$\frac{n_{pri}}{n_{sec}} = \frac{621.89}{72.05} = 8.63 \approx a_{ajuste} \quad (36)$$

O que implica que o valor da relação de espiras foi bem determinado.

I.2. Determinação da característica magnética do núcleo do transformador

O transformador encontra-se bem dimensionado para a tensão normal de trabalho (230V), já que para estas tensões a sua característica B(H) não se apresenta na região de saturação.

I.3. Ensaio em vazio do transformador

Os dados obtidos para o estudo do transformador em vazio encontram-se na tabela IX, sendo que a situação A corresponde ao transformador com o secundário em vazio e a situação B corresponde ao transformador com o primário em vazio.

Tabela VII. Dados obtidos para o estudo do transformador em vazio

Casos	A	B
$I_{1ef}(A)$	$0,084 \pm 0,001$	—
$I_{2ef}(A)$	—	$0,720 \pm 0,003$
$P_{12}(W)$	$0,647 \pm 0,003$	—
$P_{21}(W)$	—	$5,205 \pm 0,026$
$P_{10}(W)$	$5,455 \pm 0,027$	$11,051 \pm 0,055$
$P_{20}(W)$	—	$11,051 \pm 0,055$
$r_{fe}(\Omega)$	$791,982 \pm 11,959$	$86,609 \pm 1,308$
$r_1(\Omega)$	$-18,813 \pm 23,556$	—
$r'_2(\Omega)$	—	$1500,465 \pm 25,433$
ϕ_{fe}	$17,449 \pm 0,005$	$1,891 \pm 0,001$
$\cos(\phi_{fe})$	$0,953 \pm 0,001$	$0,999 \pm 0,001$
$l_{11}(H)$	$8,406 \pm 0,085$	$8,356 \pm 0,084$
$\lambda_{11}(H)$	$-0,129 \pm 8,949$	—
$\lambda_{22}(H)$	—	$-0,257 \pm 0,360$

Note-se que para estes cálculos se utilizou $I_{ef} = \frac{U_R}{R}$, sendo U_R a tensão aos terminais da resistência $R = 10\Omega$. O pretendido neste ponto era obter um estado de magnetização semelhante com o secundário em aberto e com o primário em aberto. Isso é alcançado se os valores de r_{fe} , ϕ_{fe} e l_{11} forem semelhantes. Analisando os resultados obtidos conclui-se que os valores de l_{11} são bastante próximos mas que todos os outros valores apresentam uma grande discrepância. Dado que o valor dos parâmetros do esquema equivalente de Steinmetz variam com as tensões aplicadas e com o estado de magnetização, em particular l_{11} , e tendo em conta que os valores de l_{11} obtidos são semelhantes conclui-se que os estados de magnetização para ambas as situações são semelhantes. Note-se que alguns parâmetros têm valores negativos, mas os erros englobam valores positivos, pelo que uma interpretação possível é que os valores sejam tão pequenos que se tenham obtido valores negativos.

Pode-se comparar os dados obtidos com a previsão teórica, fazendo o módulo da fórmula 6. Os resultados obtidos estão na tabela IX.

I.4. Ensaio em curto-circuito do transformador

Os dados obtidos para o estudo do transformador em curto-circuito encontram-se na tabela VIII. Os valores de corrente, impedância e eficiência apresentam-se na tabela X. Utilizando o módulo das relações obtidas nas fórmulas presentes na introdução teórica, pode-se prever teoricamente as tensões, correntes e impedâncias no secundário. Utilizou-se como tensão no primário a tensão medida no multímetro, visto esta ser mais precisa que a obtida através do osciloscópio. Os resultados apresentam-se na tabela XI.

Os desvios à exactidão dos vários valores experimentais estão apresentados na tabela XII.

II. Ensaio em carga do transformador

Os dados obtidos para várias resistências de carga apresentam-se na tabela XI.

Tabela VIII. Dados obtidos para o transformador em carga

	R=20Ω		R=15Ω		R=10Ω	
	Primário	Secundário	Primário	Secundário	Primário	Secundário
V1ef(ac)	223,517±1.11	25,01±0.13	225,693±1.12	24,957±0.12	225,367±1.12	24,474±0.12
V2ef(ac)	1,817±0.009	1,821±0.009	2,089±0.010	2,086±0.010	3,314±0.017	3,314±0.017
<v1xv2>(ac)	353,221±12.611	39,659±0.183	425,83±2.129	47,222±0.236	720,513±3.603	78,67±0.393
<v1>	-4,4±0.1	-0,12±0.01	-3,3±0.01	-0,112±0.001	-3,97±0.01	-0.093±0.002
<v2>	0.037±0.01	4.56±0.01	0.044±0.01	0.052±0.01	0.054±0.01	0.067±0.01
multímetro	220±1.1	220±1.1	222,6±1.1	222,3±1.1	222.6±1.1	222,6±1.1

	Tensão (V)
V1 _{ef} imposto	219±1
V2 _{ef} teórico	25.29±2.67
Desvio à exactidão (%)	14.5%

Tabela IX. Valores obtidos teoricamente para o secundário em vazio.

	R=20Ω	R=15Ω	R=10Ω
I2 _{ef} experim. (A)	1.25±0.01	1.66±0.01	2.45±0.01
Z _s teórico (Ω)	1230±19	1080±15	680±6
Eficiência (%)	88.54	73.13	41.57

Tabela X. Valores obtidos experimentalmente para a eficiência, corrente no secundário e impedância

gou à relação de $\frac{n_{pri}}{n_{sec}} = 8,63 \pm 0,01$. Este valor é fiável uma vez que o resultado obtido através do ajuste linear e através da divisão do número de espiras são compatíveis. Observou-se uma curva de histerese do núcleo do transformador de acordo com o esperado. No estudo em vazio do transformador conseguiram-se estados de magnetização semelhantes, para a fonte aplicada no primário e secundário. Os valores obtidos para os parâmetros do esquema equivalente de Steinmetz são plausíveis, conforme discutido na análise de

	R=10Ω	R=15Ω	R=20Ω
V1 _{ef} imposta (V)	220.0±1.1	222.6±1.1	222.6±1.1
V2 _{ef} teórica (V)	24.81±0.27	25.14±0.27	25.40±0.27
I2 _{ef} teórica (V)	2.851±0.089	1.803±0.089	1.572±0.088
Z _s teórico (Ω)	774±2	1146±3	1518±4
η teórico (%)	96.2	97.5	98

Tabela XI. Valores obtidos para a previsão teórica das tensões, correntes e impedâncias

Desvio à exactidão (%)	R=10Ω	R=15Ω	R=20Ω
V2 _{ef}	1.3	0.7	1.3
I2 _{ef}	14	8	17
Z _s	12	6	19
η	9	25	57

Tabela XII. Desvios à exactidão das várias grandezas do transformador obtidas

I.4. Ensaio em curto-circuito do transformador

Os dados obtidos para o estudo do transformador em curto-circuito encontram-se na tabela XIII

Tabela XIII. Dados recolhidos do software para o estudo do transformador em curto-circuito

I1 _{ef} (A)	0,837 ± 0,004
U2 _{ef} (ac)(V)	32,774 ± 0,164
P10(V)	20,339 ± 0,101
r1 + r2'(Ω)	29,026 ± 0,435
λ11 + λ22(H)	0,084 ± 0,003

Comparando os resultados obtidos no ponto 4 com os obtidos no ponto 3 conclui-se que os resultados mais fidedignos são os obtidos no ponto 4, uma vez que os erros das grandezas obtidas para este caso são menores.

V. CONCLUSÕES E CRÍTICAS

Na primeira parte do trabalho determinou-se a relação entre as espiras do transformador utilizado, sendo que se che-

resultados. Os valores teóricos comparados com os experimentais para os ensaios com o secundário em aberto e em carga são próximos, com desvios à exactidão de cerca de 10% à excepção da eficiência, que para um resistência de $R = 10\Omega$ apresenta um desvio de 57%. Para valores baixos da resistência de carga, os valores da resistência das ligações eléctricas (algo instáveis na montagem experimental), da mesma ordem de grandeza, podem influenciar os resultados obtidos.

-
- [1] Apontamentos das aulas teóricas. João Figueinhas.
[2] Adel S. Sedra. *Microelectronic Circuits*. Oxford University Press, 2004.