



**Guilherme Jorge Lima de Almeida**

Licenciado em Ciências da Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

# SITRAFO-Desenvolvimento de um simulador didático para estudo de transformadores monofásicos

Dissertação para Obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Professora Doutora Anabela Monteiro  
Gonçalves Pronto, Faculdade de Ciências e  
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: Mestre Nuno Manuel Gonçalves Vilhena,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa



## **SITRAFO-Desenvolvimento de um simular didático para estudo de transformadores monofásicos**

Copyright © Guilherme Jorge Lima Almeida, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



Á minha família pelo apoio e paciência

Ao meu avô



# Agradecimentos

Quero, em primeiro lugar, agradecer à minha orientadora Professora Anabela Pronto e coorientador Mestre Nuno Vilhena pela ajuda e disponibilidade na elaboração desta dissertação. Aos vários professores do Departamento de Engenharia Eletrotécnica por me ajudarem em vários campos da engenharia e me facilitaram este processo.

Um agradecimento especial à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa por contribuir para a minha formação enquanto pessoa e profissional.

Aos meus colegas e amigos do laboratório de controlo e aerodinâmica do DEE, pelo companheirismo, oportunidade de colaboração em alguns dos seus projetos e simpatia. Agradecimentos especial aos meus colegas, Vasco Brito, Alexandre Brito, Luís Alves e André Quintanova pela ajuda e apoio incondicionais durante todo o meu percurso académico.

Quero também agradecer aos meus amigos Tiago Moura, Tiago Ferreira, Nelson Pato, Ana Margarida Cardoso, Joana Simões, Alexandra Silva, entre outros. Sem eles esta jornada teria sido ainda mais difícil.

Quero agradecer especialmente à minha família que nunca desistiu de mim, incentivando as minhas venturas académicas, e que sempre me incentivou a continuar o meu percurso universitário.

Por fim, mas não menos importante, um agradecimento muito especial à minha namorada Carina Dias pela paciência, pelo apoio incondicional e pelo suporte emocional.



# Resumo

Atualmente os transformadores são utilizados em inúmeras aplicações em eletrotécnica, pelo que a percepção do seu funcionamento é fundamental para qualquer engenheiro eletrotécnico. Nesta dissertação será desenvolvido um simulador didático em que o aluno escolhe um transformador usado comercialmente, tendo conseqüentemente de responder a várias perguntas de modo a retirar os valores dos parâmetros do esquema equivalente de Steinmetz do transformador e podendo posteriormente estudar o funcionamento do transformador em carga. Tudo isto será implementado numa plataforma *web* conectada a uma base de dados onde o administrador terá várias opções de manipulação tanto do simulador bem como dos alunos registados. No final serão apresentados casos de estudo, que demonstram que o simulador funciona nas condições pretendidas e sem erros.

Termos-chave: Transformador monofásico, Simulador, Parâmetros do transformador, Website, Ensaios do transformador.



# Abstract

Nowadays the transformers are used in numerous applications in energy, so the perception of how it works, is fundamental for any electrical engineer. In this dissertation a didactic simulator will be developed, in which the user chooses a commercially used transformer and consequently has to answer several questions in order to obtain the values of the parameters of the equivalent Steinmetz electrical circuit of the single phase transformer and can later study the operation of the transformer under load. All this will be implemented in a web platform connected to a database where the administrator will have several options of manipulation of both the simulator as well as the registered users. At the end, case studies will be presented, demonstrating that the simulator works under the desired conditions and without errors.

Key terms: Single-phase transformer, Simulator, Transformer parameters, Website, Transformer tests.



# Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>vii</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>ix</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xi</b>
<b>Índice</b> .....	<b>1</b>
<b>Simbologia</b> .....	<b>xvii</b>
<b>Notações</b> .....	<b>xix</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>xxi</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>xxv</b>
<b>1 Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivação .....	1
1.2 Objectivos.....	2
1.3 Contribuições Originais.....	3
<b>2 Enquadramento Teórico</b> .....	<b>5</b>
2.1 Transformador Monofásico .....	5
2.1.1 Ensaio em Vazio .....	7
2.1.2 Ensaio em Curto-Circuito .....	9
2.1.3 Transformador em Carga .....	10
2.2 Gamas de Tensão .....	12
2.2.1 Baixa Tensão.....	12
2.2.2 Média Tensão.....	14
2.3 Perdas no transformador.....	16
2.3.1 Perdas no Cobre .....	16

2.3.2	Perdas no Ferro .....	18
2.4	Regulação de Tensão .....	19
2.5	Impedância de Curto-Circuito do Transformador .....	20
2.6	Estado da Arte do Simulador de Transformador .....	21
<b>3</b>	<b>Arquitetura de Software .....</b>	<b>25</b>
3.1	Arquitetura do Website .....	25
3.1.1	Utilizadores .....	27
3.1.2	Arquitetura do simulador didático .....	30
3.2	Arquitetura de Sistemas de Banco de Dados .....	31
3.2.1	Registo dos Utilizadores .....	32
3.2.2	Registo dos Transformadores .....	32
<b>4</b>	<b>Software e Implementação .....</b>	<b>35</b>
4.1	Linguagens utilizadas .....	35
4.1.1	HTML/CSS .....	35
4.1.2	PHP .....	36
4.1.3	Javascript .....	36
4.1.4	SQL .....	36
4.2	Segurança .....	36
4.3	Implementação do Simulador Didático .....	37
4.3.1	Seleção do transformador .....	37
4.3.2	Ensaio em Vazio .....	39
4.3.3	Ensaio em Curto-Circuito .....	41
4.3.4	Transformador em Carga .....	44
<b>5</b>	<b>Alguns casos de estudo: Resultados e Análise .....</b>	<b>49</b>
5.1	Caso de estudo 1 .....	49
5.2	Caso de estudo 2 .....	52

5.3	Implementações do administrador.....	54
<b>6</b>	<b>Conclusão e Trabalhos Futuros .....</b>	<b>57</b>
	<b>Referências .....</b>	<b>61</b>
	<b>Anexo .....</b>	<b>63</b>
<b>1</b>	<b>Descrição das variáveis das tabelas .....</b>	<b>63</b>
<b>2</b>	<b>Páginas do Website.....</b>	<b>65</b>
<b>3</b>	<b>Código do Website.....</b>	<b>69</b>



# Simbologia

	<b>Descrição</b>	<b>Unidades</b>
$I_0$	Valor eficaz da corrente elétrica do ensaio em vazio	A
$\bar{I}_1$	Fasor da corrente elétrica no primário	A
$\bar{I}_2$	Fasor da corrente elétrica no secundário	A
$\bar{I}'_2$	Fasor da corrente elétrica no secundário referida ao primário	A
$\bar{I}_{10}$	Fasor da corrente elétrica de magnetização referida ao primário	A
$I_{cc}$	Valor eficaz da corrente elétrica do ensaio em curto-circuito	A
$\bar{I}_m$	Fasor da corrente elétrica na reactância de magnetização do ferro	A
$\bar{I}_p$	Fasor da corrente elétrica na resistência de perdas no ferro	A
$m$	Relação de transformação	Adim.
$P_0$	Potência ativa do ensaio em vazio	W
$P_{cc}$	Potência ativa do ensaio em curto-circuito	W
$P_{Cu}$	Perdas no cobre	W
$P_{Fe}$	Perdas no ferro	W
$R_0$	Resistência de perdas no ferro	$\Omega$
$r_1$	Resistência elétrica da bobina do primário do transformador	$\Omega$
$r_2$	Resistência elétrica da bobina do secundário do transformador	$\Omega$
$r'_2$	Resistência elétrica do secundário referida ao primário	$\Omega$
$U_0$	Valor eficaz da tensão do ensaio em vazio	V
$\bar{U}_{10}$	Fasor da tensão de magnetização	V
$\bar{U}_1$	Fasor da tensão no primário do transformador	V

$\bar{U}'_2$	Fasor da tensão no secundário, referida ao primário	V
$U_{cc}$	Valor eficaz da tensão do ensaio em curto-circuito	V
$X_1$	Reactância de dispersão do primário	$\Omega$
$X_2$	Reactância de dispersão do secundário	$\Omega$
$X'_2$	Reactância de dispersão do secundário, referida ao primário	$\Omega$
$X_m$	Reactância de magnetização do ferro	$\Omega$
$\bar{Z}_c$	Impedância de carga	$\Omega$
$\bar{Z}'_c$	Impedância de carga, referida ao primário	$\Omega$
$\bar{Z}_{eq}$	Impedância equivalente	$\Omega$

# Notações

AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
CSS	Cascading Style Sheets
Ddos	Distributed Denial of Service
DER	Diagrama Entidade-Relacionamento
FP	Fator de Potência
HTML	HyperText Markup Language
IP	Internet Protocol
MT	Média Tensão
PHP	PHP: Hypertext Preprocessor
SGBDR	Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional
SQL	Structured Query Language
UML	Unified Modeling Language
WWW	World Wide Web



# Lista de Figuras

Figura 2.1 - Esquema do transformador monofásico .....	5
Figura 2.2 - Esquema de Steinmetz reduzido ao primário.....	6
Figura 2.3 - Simplificação do ensaio em vazio.....	7
Figura 2.4 - Montagem para o ensaio em vazio.....	8
Figura 2.5 - Simplificação do ensaio em curto-circuito.....	9
Figura 2.6 - Montagem para o ensaio em curto-circuito.....	9
Figura 2.7- Circuito equivalente do ensaio em carga .....	10
Figura 2.8 - Simulador de transformador com cálculo das chapas.....	22
Figura 2.9 - Simulador de transformador monofásico da Universidade de Valladolid ..	23
Figura 2.10 - Simulador de transformador didático da <i>Sudan University of Science &amp; Technology</i> .....	24
Figura 3.1- Arquitetura típica cliente-servidor .....	25
Figura 3.2- Fluxograma do funcionamento do <i>website</i> .....	26
Figura 3.3 - Diagrama UML Use Case funcionalidades do aluno.....	29
Figura 3.4 – Diagrama de fluxo do simulador didático .....	31
Figura 3.5 - DER dos utilizadores .....	32
Figura 3.6 – DER dos transformadores .....	33
Figura 4.1- Plataforma de escolha de transformador .....	38
Figura 4.2- Pergunta A1.....	39
Figura 4.3- Pergunta B1 .....	39
Figura 4.4- Pergunta B2.....	41

Figura 4.5- Pergunta C1 .....	41
Figura 4.6- Pergunta C2.....	43
Figura 4.7- Pergunta C3.....	43
Figura 4.8- Pergunta D1.....	45
Figura 4.9- Pergunta D2.....	46
Figura 4.10- Pergunta D3.....	47
Figura 4.11- Pergunta D4.....	47
Figura 4.12- Pergunta D5.....	48
Figura 4.13- Pergunta D6.....	48
Figura 5.1 - Resultado da pergunta B1 com resposta correta à pergunta A1 .....	50
Figura 5.2 – Resultado final com todas as respostas corretas.....	50
Figura 5.3 – Resultado do teste com todas as respostas corretas.....	51
Figura 5.4 - Resultados de todas as respostas corretas visto do administrador .....	52
Figura 5.5 - Resultado ao errar à primeira tentativa na pergunta A1.....	52
Figura 5.6 - Resultado final com algumas respostas erradas .....	53
Figura 5.7 - Resultado do teste com algumas respostas corretas.....	53
Figura 5.8 - Resultados de algumas respostas corretas visto do administrador.....	54
Figura 5.9 - Ficheiro Excel retirado do Clip.....	54
Figura 5.10 - E-mail de acesso ao simulador.....	55
Figura 5.11 - Visualização da base de dados importada.....	55
Figura 5.12 - Transferência da base de dados em Excel.....	56
Figura A.2.1 - login.php.....	65
Figura A.2.2 - register.php.....	66
Figura A.2.3 - index.php.....	66
Figura A.2.4 - template para question.php (exemplo question1.php).....	67

Figura A.2.5 - final.php .....	67
Figura A.2.6 - home.php .....	68
Figura A.2.7 - home.php (continuação) .....	68
Figura A.2.8 - create_user.php.....	69



# Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Valores de transformadores monofásicos de baixa tensão .....	13
Tabela 2.2 - Valores típicos de transformadores monofásico de media tensão .....	15
Tabela 2.3 - Valores típicos de perdas no cobre .....	17
Tabela 2.4 - Valores típicos das perdas no núcleo.....	18
Tabela 2.5 - Valores típicos das perdas no núcleo (continuação).....	19
Tabela 2.6 - Valores da impedância de curto-circuito MT/BT.....	20
Tabela 2.7 - Valores da impedância de curto-circuito MT/BT (continuação).....	21
Tabela 3.1 - Descrição das funcionalidades do administrado.....	27
Tabela 3.2 - Descrição das funcionalidades do administrado (continuação).....	28
Tabela 4.1- Intervalos das perdas em vazio e corrente em vazio .....	40
Tabela 4.2- Intervalos das perdas em curto-circuito e da tensão em curto-circuito .....	42
Tabela 4.3- Intervalo do transformador em carga.....	45
Tabela A.1.1 - Descrição da tabela users.....	63
Tabela A.1.1.2 - Descrição da tabela answers .....	64
Tabela A.1.3 - Descrição da tabela <i>trans_range</i> .....	64
Tabela A.1.4 - Descrição da tabela <i>trans_pri_sec</i> .....	64
Tabela A.1.5 - Descrição da tabela <i>trans_pot</i> .....	65



# Capítulo 1

## 1 Introdução

### 1.1 Motivação

Nos dias de hoje os transformadores são utilizados em inúmeras aplicações em eletrotécnica, pelo que a percepção do seu funcionamento é fundamental para qualquer engenheiro eletrotécnico. Como tal, a existência de um simulador que ajude o aluno a conseguir retirar os parâmetros do transformador, de maneira a perceber o seu funcionamento, facilitará a compreensão do mesmo.

O conhecimento do esquema equivalente de Steinmetz do transformador, permite prever o comportamento dos transformadores monofásicos para várias potências e níveis de tensão. O simulador será uma maneira prática de verificar o funcionamento do transformador, não substituindo, no entanto, a componente experimental em laboratório que é essencial. Após a extração de valores no simulador, estes dados poderão vir a ser verificados experimentalmente, tornando-o numa completa valência pedagógica fundamental ao desenvolvimento das competências técnicas.

Na Faculdade de Ciências e Tecnologia, este simulador é maioritariamente necessário na disciplina de Eletrotécnica Teórica onde são lecionados os conteúdos sobre transformadores, de modo a ser utilizado como um auxiliar na aprendizagem sobre estes dispositivos. No entanto, este simulador poderá ser usado não só nesta faculdade e disciplina, como noutras faculdades e disciplinas que dele necessitem. Visto isto, a construção deste simulador é uma forma de tentar proporcionar aos alunos uma dinâmica importante no desenvolvimento da sua formação e capacidade de se tornarem, a longo prazo, melhores profissionais.

## 1.2 Objectivos

O principal objetivo desta dissertação é desenvolver um simulador didático, para o estudo dos transformadores monofásicos que permita aproximar-se ao ensaio laboratorial, não o substituindo, no entanto. O simulador visará a determinação de vários parâmetros e, conseqüentemente a precisão do seu funcionamento em carga. Para tal, será feita uma pesquisa sobre transformadores monofásicos no mercado, de modo a que o aluno ensaie transformadores cujas gamas de tensão existam comercialmente, fazendo com que este tenha uma percepção mais realista sobre os dispositivos existentes. De modo a tornar este simulador o mais didático possível, o utilizador terá de completar uma série de passos com introdução de diversos valores, (corrente nominal, resistência de perdas no ferro, reactância de dispersão do primário, etc), de maneira a conseguir prosseguir com a simulação, até extrair os valores que procura. Depois de introduzidos os valores, o simulador verifica se a resposta está correta e com isso o utilizador poderá prosseguir na simulação de três maneiras, ou acertou e segue para a pergunta seguinte, ou falha e ainda lhe restam 2 tentativas para acertar, ou falhou as tentativas todas e ser-lhe-á dado o valor correto para prosseguir a simulação.

De modo a tornar este simulador o mais prático e individual possível, utilizar-se-ão valores aleatórios, para cada utilizador, dentro de um intervalo de valores reais (corrente de curto-circuito, tensão em vazio, etc), sendo estes os utilizados comercialmente.

Depois de desenvolvido o simulador, será feita uma interface para o administrador, onde será possível verificar as respostas dos alunos. O software será testado para verificar a atribuição de valores corretos nas respostas do simulador, que o seu funcionamento é o mais rápido possível em processamento, ao nível do código, e que é o mais seguro possível. Para cumprir os objetivos serão executadas diferentes tarefas, nomeadamente:

- Estudo aprofundado do transformador e dos seus ensaios;
- Determinação das várias gamas de tensão e respetivos valores de perdas em transformadores monofásicos usados comercialmente;
- Projeção da arquitetura do software para o simulador e a sua interface;
- Construção do simulador para os ensaios do transformador e precisão do funcionamento em carga.

Assim, é expectável conseguir um simulador que reflita valores o mais perto da realidade possível. Com a utilização deste simulador espera-se contribuir para a aprendizagem dos alunos no que toca a valores obtidos do transformador real.

## 1.3 Contribuições Originais

As contribuições originais presentes nesta dissertação consistem no desenvolvimento de um simulador didático do esquema equivalente de Steinmetz de transformadores monofásicos, integrado numa plataforma *web* que permite ao utilizador interagir com o simulador.

## 1.4 Estrutura da dissertação

A dissertação organiza-se em 6 capítulos, nomeadamente:

- **Capítulo 1:** Introdução  
Neste capítulo, são explanadas as motivações para o desenvolvimento do simulador, quais os seus objetivos, as contribuições originais bem como a estruturação da dissertação.
- **Capítulo 2:** Enquadramento Teórico  
Apresenta o funcionamento do transformador monofásico e os seus ensaios, as várias gamas de tensão e perdas nos transformadores e por fim o estado de arte.
- **Capítulo 3:** Arquitetura de Software  
Exibe as arquiteturas do website, do funcionamento do simulador, e do sistema de base de dados.
- **Capítulo 4:** Software e Implementações  
Neste capítulo são apresentadas as linguagens utilizadas para o desenvolvimento do simulador e todas as implementações feitas nele, como as perguntas feitas ao utilizador.
- **Capítulo 5:** Alguns casos de estudo: Resultados e Análises  
Apresentam-se dois casos de estudo, um onde o utilizador responde corretamente a todas as perguntas na primeira tentativa e o outro onde o utilizador falha algumas perguntas e acerta outras após não ter acertado na primeira tentativa. Também é demonstrada a possibilidade de manipulação da plataforma.
- **Capítulo 6:** Conclusão e Trabalhos Futuros  
Neste capítulo, apresentam-se as conclusões retiradas do desenvolvimento do simulador e por fim algumas sugestões para trabalhos futuros.



# Capítulo 2

## 2 Enquadramento Teórico

### 2.1 Transformador Monofásico

Os transformadores são dispositivos usados para transferir energia elétrica para um circuito elétrico, que poderá ter uma tensão superior ou inferior à recebida pelo transformador. Este é um equipamento que funciona em corrente alternada e tem como base a lei geral da indução de Faraday. Esta lei (2.1) afirma que se existir um fluxo magnético variável no tempo, ao atravessar uma bobina com  $N$  espiras, induz na bobina uma força eletromotriz.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1)$$

Um transformador é constituído por dois elementos fundamentais: enrolamentos (bobinas normalmente de cobre) e o núcleo (material ferromagnético), como ilustra a figura 2.1.

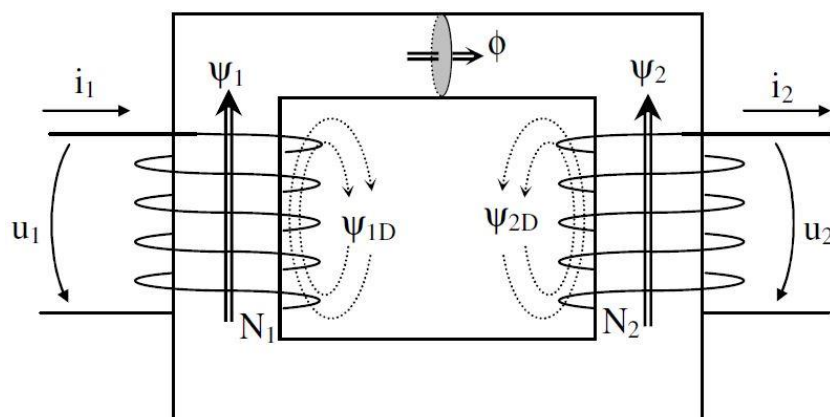


Figura 2.1 - Esquema do transformador monofásico (Ventim Neves, 2014)

Na figura 2.1 , tal como num transformador ideal, o transformador possui apenas duas bobinas e o núcleo não tem entreferros, correspondendo assim a um circuito magnético que representa a configuração clássica para estudo de transformadores monofásicos. Um transformador ideal não apresenta fluxo de dispersão nos enrolamentos, não apresenta perdas de Joule nas bobinas e não tem perdas por histerese e correntes de Foucault no núcleo. Para além destas características, um transformador ideal possui um núcleo com permeabilidade magnética relativa infinita de maneira a que a força magnetomotriz necessária para produzir fluxo seja nula. Embora esta representação ideal seja uma representação bastante satisfatória para um conhecimento básico do transformador, ao longo deste trabalho não irá ser utilizado o esquema de transformador ideal, mas sim o real (com perdas), de modo a construir um simulador que se aproxime o mais possível do dispositivo real.

O transformador monofásico é caracterizado pelas suas equações gerais que podem ser expressas pelo seu circuito elétrico equivalente, mais conhecido por esquema de Steinmetz. Na figura 2.2 está representado esse esquema reduzido ao primário onde os parâmetros no secundário são substituídos por uma relação com os parâmetros do primário (Ventim Neves, 2014). O ramo de magnetização deste circuito elétrico equivalente pode ser apresentado em paralelo ou em série.

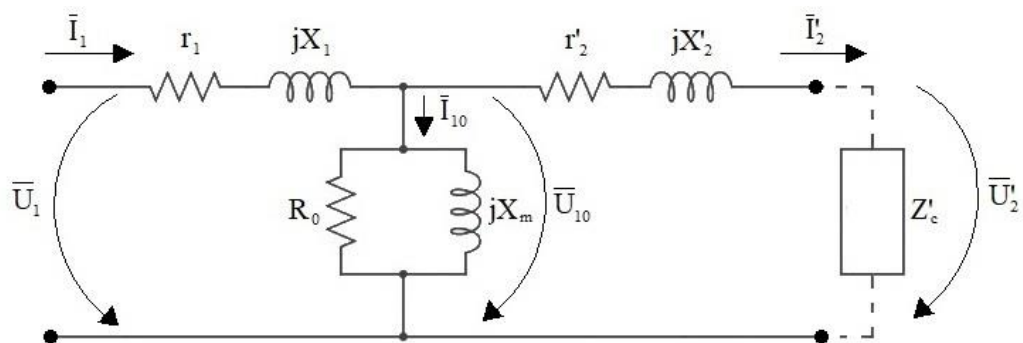


Figura 2.2 - Esquema de Steinmetz reduzido ao primário

Para determinar os parâmetros do circuito equivalente são feitos dois tipos de ensaio, o ensaio em vazio e o ensaio em curto-circuito. Estes dois tipos de ensaio são essenciais na construção de um simulador e serão discutidos em pormenor em capítulo próprio.

Atualmente existem diversos tipos de transformadores monofásicos disponíveis no mercado. Após pesquisa em catálogos de vários fabricantes destes transformadores monofásicos (ABB, Siemens, HPS, entre outros), conclui-se que a maioria dos transformadores, podem ser classificados quanto ao seu uso em:

- Transformador de controlo industrial;
- Transformador de uso geral;
- Transformador de distribuição.

Apesar de existirem mais tipos de transformadores, estes são os mais catalogados pelos fabricantes. Além de serem classificados em relação ao seu uso, os transformadores também podem ser classificados quanto ao seu meio de isolamento sendo estes:

- Transformadores isolados a óleo. São isolados a óleo mineral ou a óleo sintético à base de silicone.
- Transformadores isolados a seco. Estes são arrefecidos implementando várias técnicas, tendo todas elas em comum a circulação de ar.

### 2.1.1 Ensaio em Vazio

No ensaio em vazio o secundário é posto em aberto logo a corrente  $I_2$  é nula. Ao ser inserido uma tensão nominal  $U_{1n}$ , pode verificar-se pelo esquema equivalente que a corrente do circuito é totalmente percorrida no ramo de magnetização. Com a corrente de magnetização  $I_{10}$  muito inferior a corrente nominal  $I_{1n}$ .

Podemos observar na figura 2.3, o esquema equivalente em vazio e a sua simplificação.

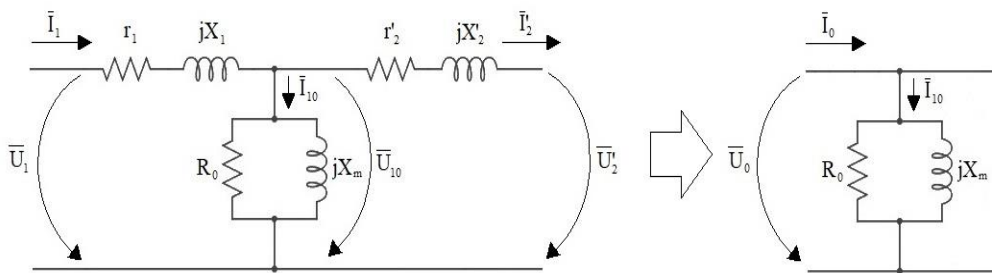


Figura 2.3 - Simplificação do ensaio em vazio

Para efetuar este ensaio são necessários vários aparelhos de medida, nomeadamente: um voltímetro, um amperímetro e um wattímetro. A montagem está representada na figura 2.4.

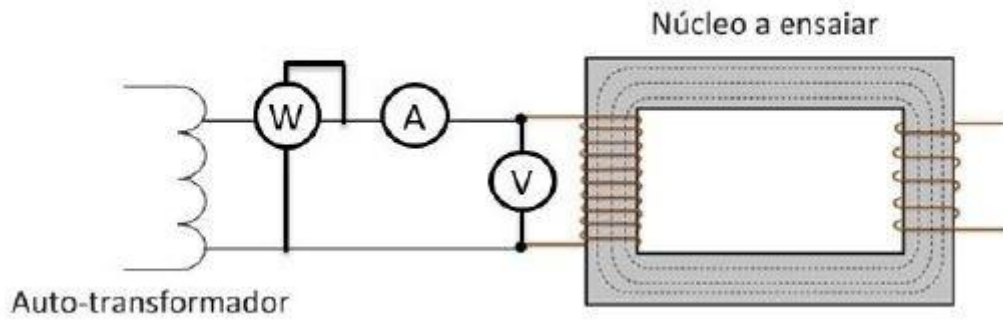


Figura 2.4 - Montagem para o ensaio em vazio (Figueira, 2013)

Para determinar o argumento da impedância do ensaio em vazio (2.3), retira-se o fator de potência (FP) (2.2) do circuito:

$$FP = \cos(\phi) = \frac{P_0}{U_0 \cdot I_0} \quad (2.2)$$

$$\phi = \cos^{-1} \frac{P_0}{U_0 \cdot I_0} \quad (2.3)$$

Concluindo, obtém-se os valores da resistência (2.4) e reactância (2.5) do ramo transversal, que representa o circuito magnético do transformador:

$$R_0 = \frac{U_0}{I_0 \cdot \cos \phi} \quad (2.4)$$

$$X_m = \frac{U_0}{I_0 \cdot \sin \phi} \quad (2.5)$$

## 2.1.2 Ensaio em Curto-Circuito

Neste ensaio, ao curto-circuitar um dos enrolamentos, aplica-se uma tensão alternada crescente até que a corrente atinja o seu valor nominal. A tensão de curto-circuito para manter a corrente nominal será muito menor que a tensão nominal. Com a tensão de curto-circuito muito menor que a tensão nominal, a magnetização do núcleo é desprezável e sabendo que a impedância de magnetização é muito superior à impedância transversal, conclui-se que, a corrente de magnetização é nula.

Pode observar-se na figura 2.5, a simplificação do esquema equivalente do ensaio em curto-circuito.

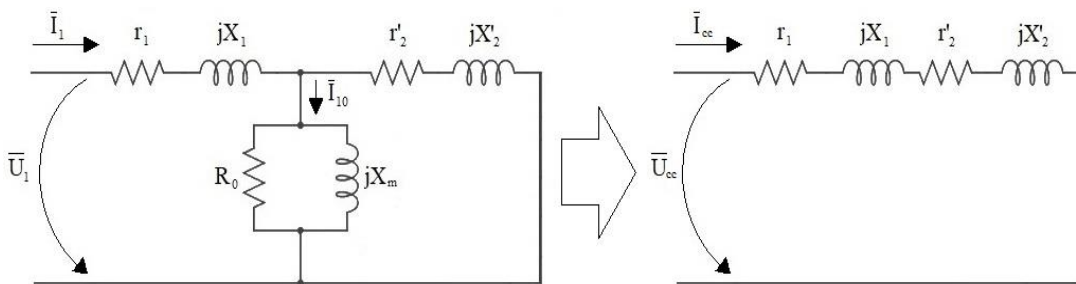


Figura 2.5 - Simplificação do ensaio em curto-circuito

Para a execução do ensaio, será indispensável: um voltímetro, um amperímetro e um wattímetro. O ensaio será realizado conforme a montagem da figura 2.6.

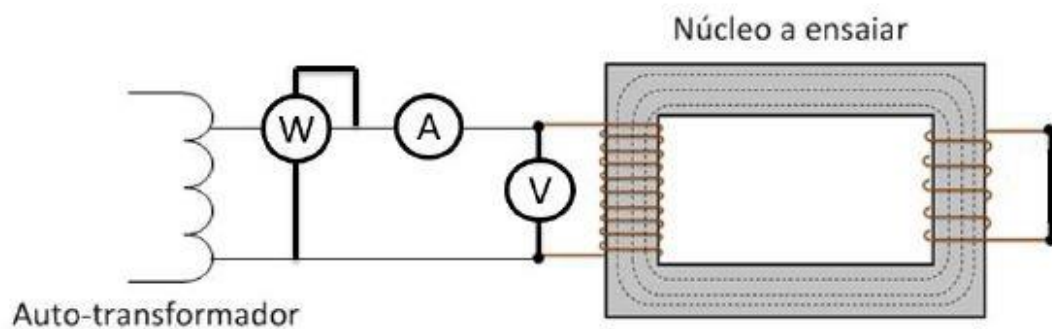


Figura 2.6 - Montagem para o ensaio em curto-circuito (Figueira, 2013)

O argumento da impedância de curto circuito (2.7), pode ser definido sabendo o fator potência (2.6) do ensaio, logo:

$$FP = \cos(\phi) = \frac{P_{cc}}{U_{cc} \cdot I_{cc}} \quad (2.6)$$

$$\phi = \cos^{-1} \frac{P_{cc}}{U_{cc} \cdot I_{cc}} \quad (2.7)$$

A partir destas equações, retira-se a amplitude complexa da impedância (2.8):

$$\bar{Z}'_{eq} = \frac{U_{cc}}{I_{cc}} \angle \phi \quad (2.8)$$

Com estas equações, finalmente obtêm-se os valores das resistências (2.9) e reactâncias dos enrolamentos (2.10):

$$r_1 = r'_2 = \frac{|\bar{Z}'_{eq}|}{2} \cdot \cos \phi \quad (2.9)$$

$$X_1 = X'_2 = \frac{|\bar{Z}'_{eq}|}{2} \cdot \sen \phi \quad (2.10)$$

### 2.1.3 Transformador em Carga

O estudo do transformador em carga é importante para prever o seu comportamento para várias situações de serviço. A partir deste conhecimento, é possível retirar o rendimento e a regulação de tensão do transformador com determinada carga. Neste tipo de experiência, regula-se a tensão no primário do transformador com o intuito de obter a tensão nominal no secundário. O circuito equivalente ao funcionamento em carga, está representado na figura 2.7.

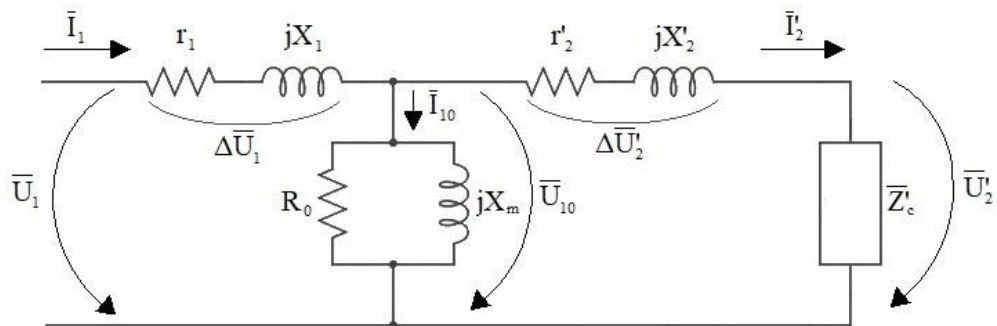


Figura 2.7- Circuito equivalente do transformador em carga

Sabendo  $\bar{Z}'_c$ ,  $\bar{U}'_2$  e os parâmetros que definem o circuito equivalente de Steinmetz, podem calcular-se os valores dos fasores das correntes e tensões deste circuito. Para tal, é necessário saber a corrente  $\bar{I}'_2$ , definida por (2.11):

$$\bar{I}'_2 = \frac{\bar{U}'_2}{\bar{Z}'_c} \quad (2.11)$$

Com o valor da corrente  $\bar{I}'_2$ , pode determinar-se  $\Delta\bar{U}'_2$ ,  $\bar{U}_{10}$  e  $\bar{I}_{10}$ , como indicam as equações (2.12), (2.13) e (2.14):

$$\Delta\bar{U}'_2 = \bar{I}'_2 \cdot (r'_2 + jX'_2) \quad (2.12)$$

$$\bar{U}_{10} = \Delta\bar{U}'_2 + \bar{U}'_2 \quad (2.13)$$

$$\bar{I}_{10} = \frac{\bar{U}_{10}}{R_0} + \frac{\bar{U}_{10}}{jX_m} = \bar{I}_p + \bar{I}_m \quad (2.14)$$

Conhecendo  $\bar{I}_{10}$  é possível determinar  $\bar{I}_1$  (2.15) e a tensão de entrada  $\bar{U}_1$  (2.17):

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_{10} + \bar{I}'_2 \quad (2.15)$$

$$\Delta\bar{U}_1 = \bar{I}_1 \cdot (r_1 + jX_1) \quad (2.16)$$

$$\bar{U}_1 = \Delta\bar{U}_1 + \bar{U}_{10} \quad (2.17)$$

Neste caso pode fazer-se uma previsão das tensões, correntes e perdas, para uma dada carga no secundário.

## 2.2 Gamas de Tensão

Existem muitos tipos de transformadores, mas todos têm algo em comum para os caracterizar e isso é a gama de tensão. Atualmente os transformadores operam em três gamas de tensão:

- Baixa Tensão (BT);
- Média Tensão (MT);
- Alta Tensão (AT).

No caso dos transformadores monofásicos, estes normalmente operam em baixa e média tensão. Dentro destas gamas de tensão estes equipamentos podem-se dividir entre relação primário/secundário:

- BT/BT;
- MT/BT;

### 2.2.1 Baixa Tensão

Nos transformadores de baixa tensão normalmente são considerados valores de tensão menores ou iguais a 600 V. No entanto, a definição da baixa tensão segundo a norma da EUR-Lex - 32014L0035 (European, 2014) é de 50 V a 1000 V para tensão alternada e 75 V a 1500 V para tensão contínua. Contudo esses valores podem ser inferiores a 50 V, nos transformadores de uso doméstico utilizados para carregar pequenos dispositivos. Um exemplo são os transformadores de telemóveis, que transformam a tensão nominal normalmente usada nos domicílios, para valores de tensão compatíveis com o dispositivo.

O rendimento desta gama de transformadores depende de muitos fatores como por exemplo, a classe de isolamento ou a potência nominal a que este opera. Quanto maior a sua potência, maior será o valor das perdas, mas maior será também o seu rendimento.

Na tabela 2.1 serão apresentados os valores típicos de potências aparentes, tensões no primário e tensões no secundário de alguns dispositivos BT/BT e seus fabricantes.

Tabela 2.1 - Valores de transformadores monofásicos de baixa tensão

FABRICANTES	POTÊNCIA APARENTE (KVA)	TENSÃO NO PRIMÁRIO (V)	TENSÃO NO SECUNDÁRIO (V)	CATEGORIA
<b>JEFFERSON ELECTRIC, SIEMENS, INDUSUL, TRAFOMODERN</b>	0.05/0.1/0.2/0.25/0.3/0.5/0.75	120x240	24	Transformador de controle industrial
<b>JEFFERSON ELECTRIC, SIEMENS, INDUSUL, TRAFOMODERN</b>	0.05/0.1/0.2/0.25/0.3/0.5/0.75	240x480	24	Transformador de controle industrial
<b>SCHNEIDER, HPS</b>	3/5/10/15/25/50/75/100/167	208	120/240	Transformador de uso geral
<b>JEFFERSON ELECTRIC, SCHNEIDER ELECTRIC, HPS, INDUSUL, TRAFOMODERN</b>	1/5/10/15/25/50/75/100/200/250/300	240x480	120/240	Transformador de uso geral
<b>JEFFERSON ELECTRIC, SCHNEIDER ELECTRIC, HPS, TRAFOMODERN</b>	15/25/50/75/100/200/300	600	120/240	Transformador de uso geral

Referências dos catálogos: Transformadores de baixa tensão, Tamuro Indusul; Dry Type Transformers, Jefferson Electric; Instrumental Control Transformers, Schneider; Transformer produc catalog, HPS; Single-phase control, isolating and safety transformers, Trafomodern.

### 2.2.2 Média Tensão

O conceito de média tensão pode variar de acordo com cada contexto, mas geralmente quando se discute média tensão considera-se que este é um intervalo de tensões entre 1 kV e 35kV, segundo a norma IEC 60038 (International Electrotechnical Commission, 2005).

Considerando a afirmação anterior sabe-se que um transformador de energia para média tensão deve trabalhar usando esse intervalo de valores de tensão, garantindo assim a eficiência do funcionamento da rede elétrica. É fundamental que o dimensionamento do transformador para média tensão seja preciso e efetuado com recurso a cálculos que possam comprovar qual a tensão necessária para cada aplicação. Visto isto conclui-se que o uso de um transformador de potência acima das necessidades poderá resultar num prejuízo não só económico como ainda de perdas elétricas não desprezáveis, enquanto que o uso de um transformador de menor potência coloca em risco a viabilidade do sistema, podendo levar também a prejuízos financeiros.

Na tabela 2.2 são apresentados os valores típicos de transformadores de média tensão MT/BT, mais comumente utilizados na prática comercial atual.

Tabela 2.2 - Valores típicos de transformadores monofásico de media tensão

<b>FABRICANTES</b>	<b>POTÊNCIA APARENTE (KVA)</b>	<b>TENSÃO NO PRIMÁRIO (V)</b>	<b>TENSÃO NO SECUNDÁRIO (V)</b>	<b>CATEGORIA</b>
<b>HPS, ACME ELECTRIC, EATON, ABB</b>	15/25/50/75/100/167/250/333/500	2400	120/240	Transformador de distribuição
<b>HPS, ACME ELECTRIC, EATON, ABB</b>	15/25/50/75/100/167/250/333/500	4160	120/240	Transformador de distribuição
<b>ACME ELECTRIC</b>	15/25/50/75/100/167/250/333/500	4800	120/240/480/600	Transformador a seco
<b>EATON, ACTOM</b>	5 – 167	2400 - 34500	120 - 240	Transformador de distribuição

Referências dos catálogos: Single phase overhead distribution transformers, ABB; Medium Voltage Transformers, ACME Electric; Volume 2 - Commercial Distribution, Eaton; Distribution Transformers, ACTOM; Transformer produc catalog, HPS.

## 2.3 Perdas no transformador

Num mundo ideal, um transformador poderia ser utilizado para alterar tensões perfeitamente sem diminuição da tensão total. Mas na realidade, o transformador não se comporta de maneira ideal porque existem algumas perdas que são inevitáveis. Essas perdas são divididas em duas categorias: perdas no cobre e perdas no ferro.

Percebe-se então o que rendimento é definido como a relação entre a potência de saída e a potência de entrada. Este rendimento é definido pela equação (2.18).

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} = \frac{P_{saída}}{P_{saída} + P_{ferro} + P_{cobre}} \quad (2.18)$$

### 2.3.1 Perdas no Cobre

As perdas no cobre, também conhecidas por perdas nos enrolamentos, perdas em curto-circuito e *load losses*, e aparecem devido ao aquecimento das bobinas. Para determinar essas perdas provenientes dos enrolamentos, deve ter-se em conta que estas dependem da carga elétrica alimentada pelo transformador. Isto sugere que se estabeleça um ponto de funcionamento para determinar essa potência por perdas nos enrolamentos primário e secundário. Para isso é preciso fixar o seu funcionamento nos valores nominais do transformador (Cogo, 1984).

A partir do ensaio em curto-circuito, determinam-se os parâmetros das resistências dos enrolamentos, podendo assim calcular-se as perdas no cobre. Estas perdas são expressas pela equação (2.19):

$$P_{Cu} = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 \quad (2.19)$$

Os valores típicos das perdas nos transformadores monofásicos de baixa tensão, segundo a sua relação primário/secundário e a sua potência (do catálogo transformadores de baixa tensão, Tamuro Indusul), descritos na tabela 2.3, têm como especificação uma classe de temperatura 'B'(130°C/ΔT: 80°C) para potências até 1.5 kVA, e 'F'(155°C/ΔT: 80°C) para as restantes potências.

Tabela 2.3 - Valores típicos de perdas no cobre

<i>Potência Aparente (kVA)</i>	<i>Perdas no cobre (W)</i>
0.05	4
0.1	5
0.3	12
0.75	15
1	30
2	90
5	235
10	300
15	500
25	810
50	1130
75	1300
100	1500

### 2.3.2 Perdas no Ferro

As perdas no núcleo também conhecidas por perdas no ferro, *no-load losses*, perdas em vazio, ou perdas magnéticas, são constituídas por perdas de histerese  $P_h$  (ocorre devido a variação da magnetização no núcleo do transformador), perdas por correntes de Foucault clássicas  $P_{cl}$  (variação temporal do campo de indução magnética no material) e perdas por correntes de Foucault excedentes  $P_{exc}$  (resulta do movimento em larga escala das paredes de domínios e respetiva rotação dos domínios magnéticos que ocorre na zona do joelho da curva de magnetização). Estas perdas são caracterizadas pela equação (2.20).

$$P_{Fe} = P_h + P_{cl} + P_{exc} \quad (2.20)$$

Com vista à otimização do rendimento do transformador, a determinação destas perdas, é de extrema importância, não se podendo descurar também a sua origem, os fatores que as afetam e o modo como podem ser minimizadas. Tendo em conta estas perdas pode-se minimizar as perdas magnéticas que provocam o envelhecimento do transformador através do seu aquecimento e por consequência diminuição do rendimento, aumentando assim o seu tempo de vida útil (Pronto, 2010).

Pela equação (2.21) retirada do ensaio em vazio, pode obter-se o valor das perdas no núcleo:

$$P_{Fe} = R_0 \cdot I_p^2 = \frac{U_{10}^2}{R_0} \quad (2.21)$$

Na tabela 2.4 estão representados os valores típicos das perdas no núcleo em transformadores monofásicos de baixa tensão segundo o catálogo transformadores Tamuro Indusul.

Tabela 2.4 - Valores típicos das perdas no núcleo

Potência Aparente (kVA)	Perdas no núcleo (W)
0.05	3
0.1	5
0.3	10

Tabela 2.5 - Valores típicos das perdas no núcleo (continuação)

<i>Potência Aparente (kVA)</i>	<i>Perdas no núcleo (W)</i>
0.75	23
1	25
2	40
5	95
10	120
15	150
25	190
50	370
75	500
100	750

## 2.4 Regulação de Tensão

Devido às resistências dos enrolamentos e reactâncias de dispersão existe queda de tensão interna no transformador. Consequentemente, a tensão de saída em condições de carga é diferente da tensão de saída em condições de vazio. Esta mudança de tensão é conhecida como regulação de tensão. A regulação da tensão é definida como a mudança na tensão secundária quando a carga nominal num fator de potência específico é removida, assumindo valores constantes de tensão primária (Todorovski, 2014). Esta regulação é determinada pela diferença na intensidade da tensão sem carga,  $U_{20}$ , e o seu valor com carga,  $U_2$ , dividida por  $U_2$  com tensão primária constante, como se indica na equação (2.22).

$$\Delta u(\%) = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100 = \frac{U_1 - U'_2}{U'_2} \cdot 100 \quad (2.22)$$

Com esta equação, pode medir-se a capacidade de fornecer tensão constante numa ampla gama de condições de carga.

## 2.5 Impedância de Curto-Circuito do Transformador

A impedância de curto-circuito é numericamente igual ao valor percentual da tensão nominal primária que deve ser aplicado no transformador, com o secundário em curto-circuito, para que se obtenha a corrente nominal no primário e no secundário.

Sendo que a impedância de curto-circuito representa a impedância interna do transformador, deduz-se a sua extrema importância no ensaio de curto-circuito. A impedância de curto-circuito aumenta na mesma ordem em que a regulação de tensão aumenta, enquanto que à medida que a impedância de curto-circuito diminui, a corrente de curto-circuito aumenta. Tendo em conta a impedância de curto-circuito pode determinar-se as seguintes características: regulação de tensão devido a carga do transformador e a corrente de curto-circuito (Zanini, 2016).

Na norma IEC 60076 (International Electrotechnical Commission, 2005) estão indicados os valores típicos da impedância de curto-circuito dos transformadores, em relação à sua potência. A norma dá a conhecer os requisitos mínimos para os transformadores serem capazes de sustentar, sem dano, correntes de curto-circuito provenientes de fontes externas. Os valores típicos de impedância para transformadores MT/BT estão representados na tabela 2.6 segundo a norma IEC 60076 (Mendonça, 2012).

Tabela 2.6 - Valores da impedância de curto-circuito MT/BT

Potência Nominal (kVA)	Impedância mínima de curto-circuito (%)
25 a 630	4
631 a 1250	5
1251 a 2500	6
2501 a 6300	7

Tabela 2.7 - Valores da impedância de curto-circuito MT/BT (continuação)

Potência Nominal (kVA)	Impedância mínima de curto-circuito (%)
6301 a 25000	8
40001 a 63000	10
63001 a 100000	11
>100000	12

## 2.6 Estado da Arte do Simulador de Transformador

O Estado da Arte desta dissertação tem como objetivo apresentar os simuladores existentes e analisar as suas características. Com isto pretende dar-se uma informação geral sobre os simuladores disponíveis atualmente, de modo a poder comparar com o simulador a desenvolver neste trabalho.

Existem inúmeros simuladores de transformadores, mas todos eles negligenciam o aspeto didático, visto que dão de imediato ao utilizador os valores dos parâmetros do circuito equivalente. Outros simuladores não mostram estes parâmetros, no entanto fornecem a medida das chapas e o número de espiras do primário e secundário, diminuindo também assim a sua possível função didática. Este exemplo de simulador está representado na figura 2.8.

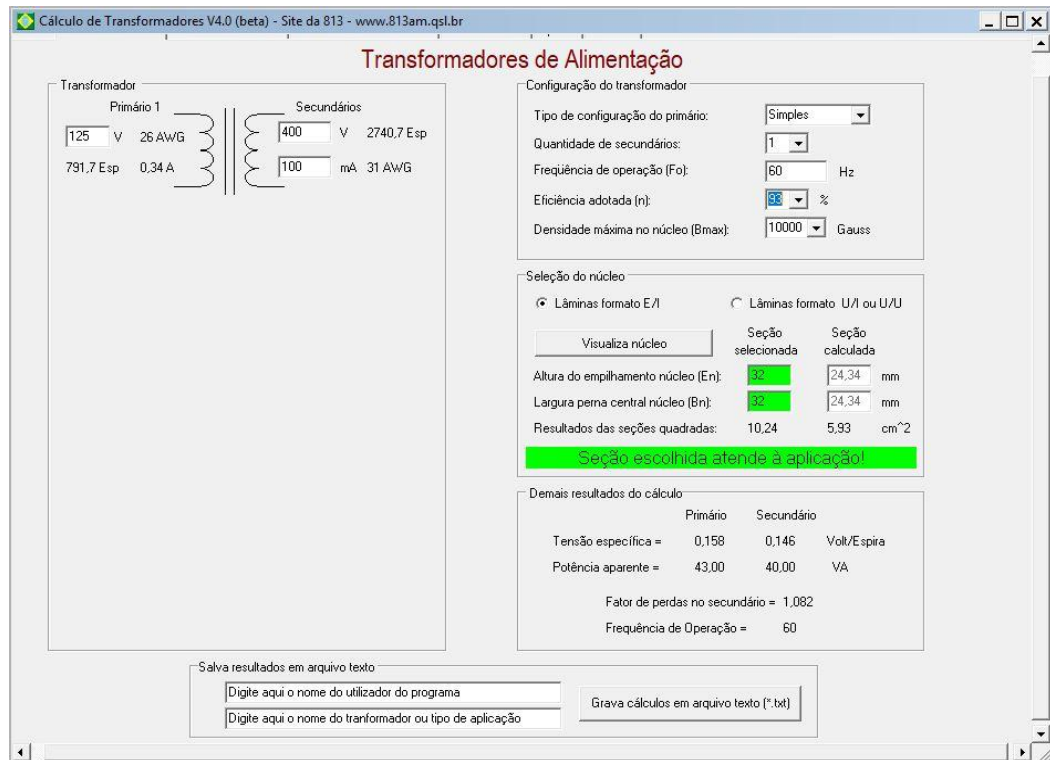


Figura 2.8 - Simulador de transformador com cálculo das chapas (Stabile, 2008)

Noutro tipo de simuladores fornecendo a tensão no primário, tensão no secundário, frequência e potência aparente, mostram imediatamente o valor das impedâncias em curto-circuito e em vazio. Ao fornecerem imediatamente os dados referidos anteriormente, estes simuladores diminuem a vertente pedagógica no que toca à possibilidade de o aluno perceber o funcionamento do transformador monofásico e como retirar os parâmetros do mesmo.

No simulador representado na figura 2.9, desenvolvido pela Universidade de Valladolid, após inserido o fasor da tensão no primário do transformador, parâmetros do esquema de Steinmetz, impedância de carga e frequência, este fornece os valores das correntes e tensões do circuito equivalente de Steinmetz.

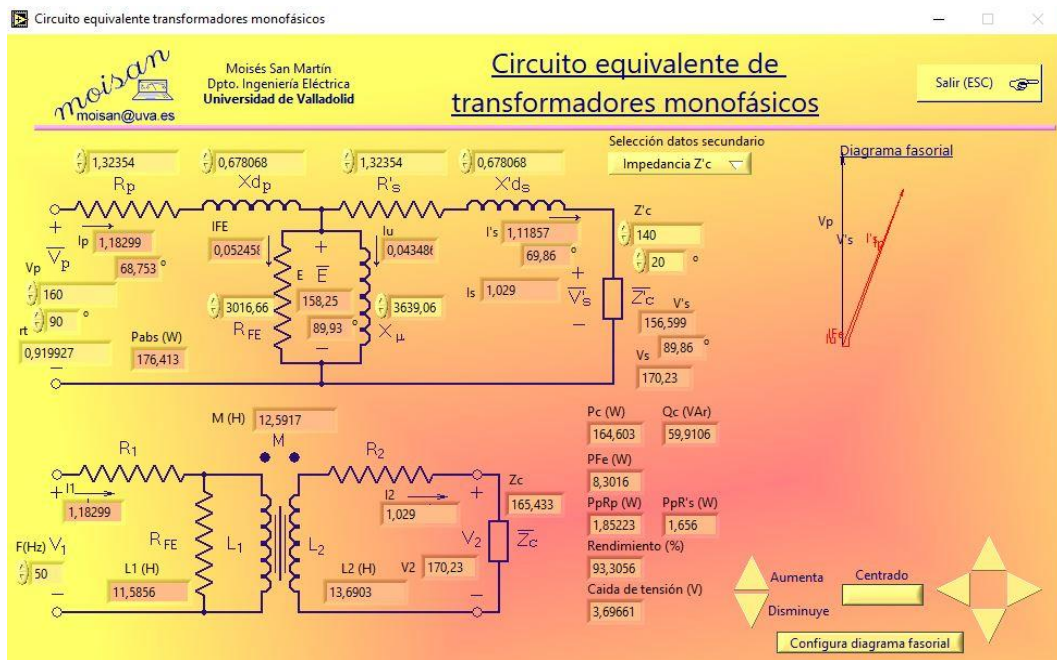


Figura 2.9 - Simulador de transformador monofásico da Universidade de Valladolid (San Martín, 2003)

O simulador existente cujo funcionamento está mais próximo daquele apresentado nesta dissertação foi feito pela *Sudan University of Science & Technology - College of Engineering*. Este simulador não está acessível ao público em geral, existindo apenas a fundamentação teórica do mesmo.

Este simulador requer a inserção das tensões nominais, potência aparente nominal e fator de potência. Depois de inseridos também os valores da potência, tensão e corrente dos ensaios em vazio e em curto-circuito, ao carregar no botão de circuito aberto e curto-circuito, o simulador mostrará os valores das impedâncias, rendimento e regulação da tensão segundo os ensaios (Bashier *et al.*, 2013). Representa-se na figura 2.10 a interface deste simulador.

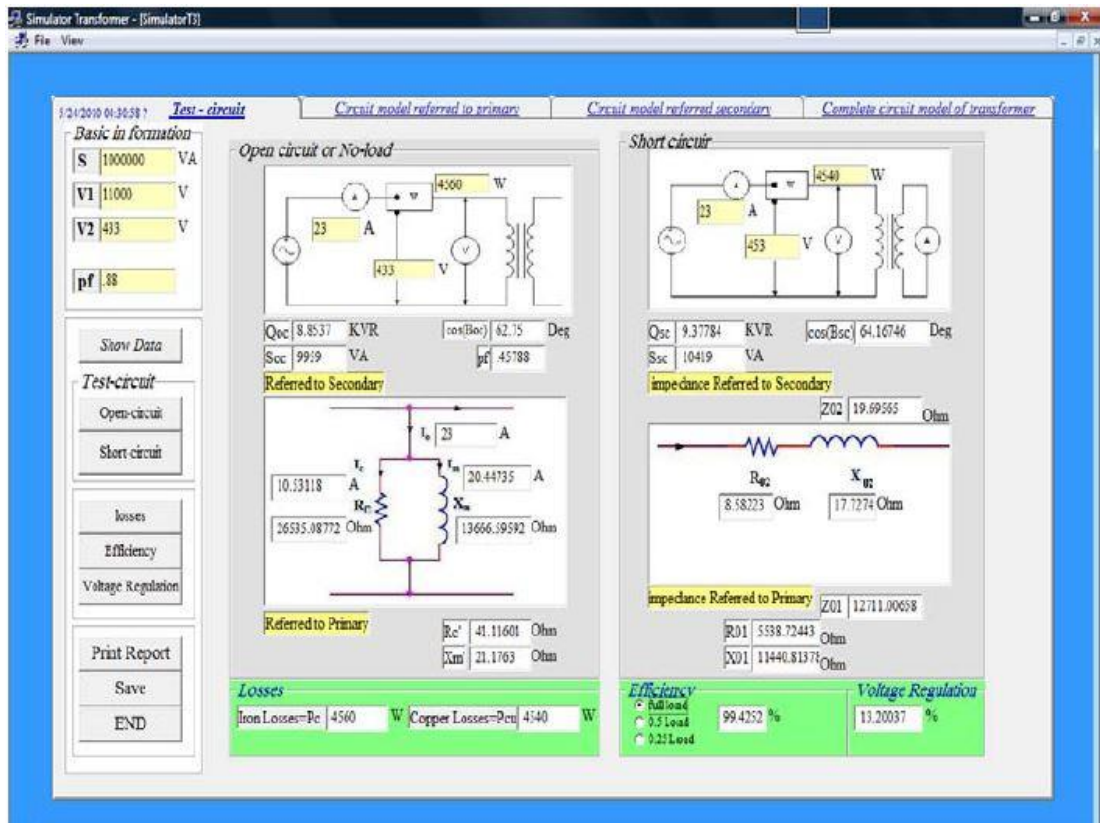


Figura 2.10 - Simulador de transformador didático da *Sudan University of Science & Technology* (Bashier *et al.*, 2013)

Com isto conclui-se que os simuladores existentes atualmente e acessíveis ao público em geral, são ou muito simples, ou tecnicamente muito complexos, perdendo assim a sua potencialidade didática para o aluno.

# Capítulo 3

## 3 Arquitetura de Software

Para melhor percepção do simulador e da plataforma onde este está inserido, neste capítulo serão explicados todos os processos de análise a nível de arquitetura. Também será explicada a arquitetura da base de dados e como é feita a atribuição de entidades, atributos e relacionamentos.

### 3.1 Arquitetura do Website

Atualmente o *website* é a forma mais comum de divulgar e mostrar conteúdo a um grande número de pessoas. Com o objetivo de desenvolver um simulador didático com base num *website*, é importante desenhar uma arquitetura para cada um dos níveis de abstração. Em primeiro lugar tem-se a arquitetura típica de cliente-servidor onde, de modo muito breve, o servidor efetua tarefas solicitadas e envia uma resposta ao cliente, que se traduz nos dados que o cliente pediu. Por outro lado, o cliente solicita uma tarefa através do envio de uma mensagem ao servidor (Panta, 2009). Na figura 3.1 pode ver-se como é efetuada a comunicação cliente-servidor.

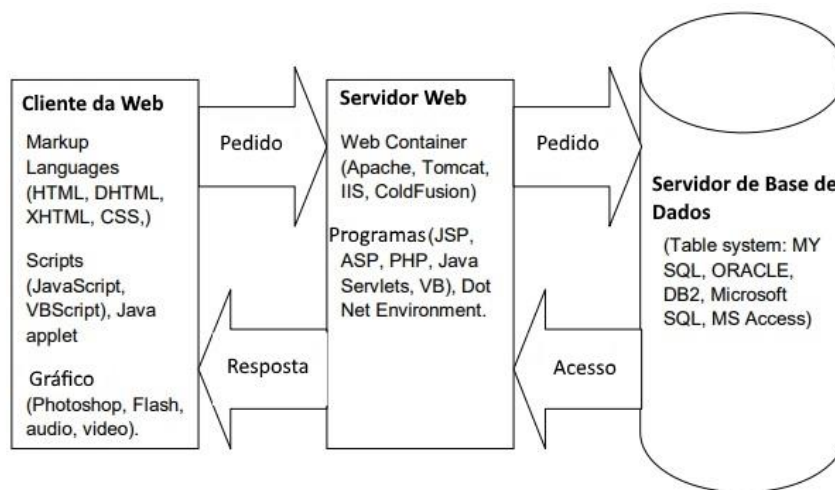


Figura 3.1- Arquitetura típica cliente-servidor (Panta, 2009)

Quanto à arquitetura do *website* em si, existem duas vertentes, a de administrador e a de aluno, cada qual apresentará diferenças ao nível de página *web*. Estas diferenças são notórias principalmente na página de *login* onde, dependendo da hierarquia (administrador versus aluno), o utilizador será dirigido à página principal do administrador (Home.php), ou então à página inicial do simulador didático (Index.php). Com esta descrição, torna-se mais fácil perceber a arquitetura do *website*, como pode ver-se na figura 3.2.

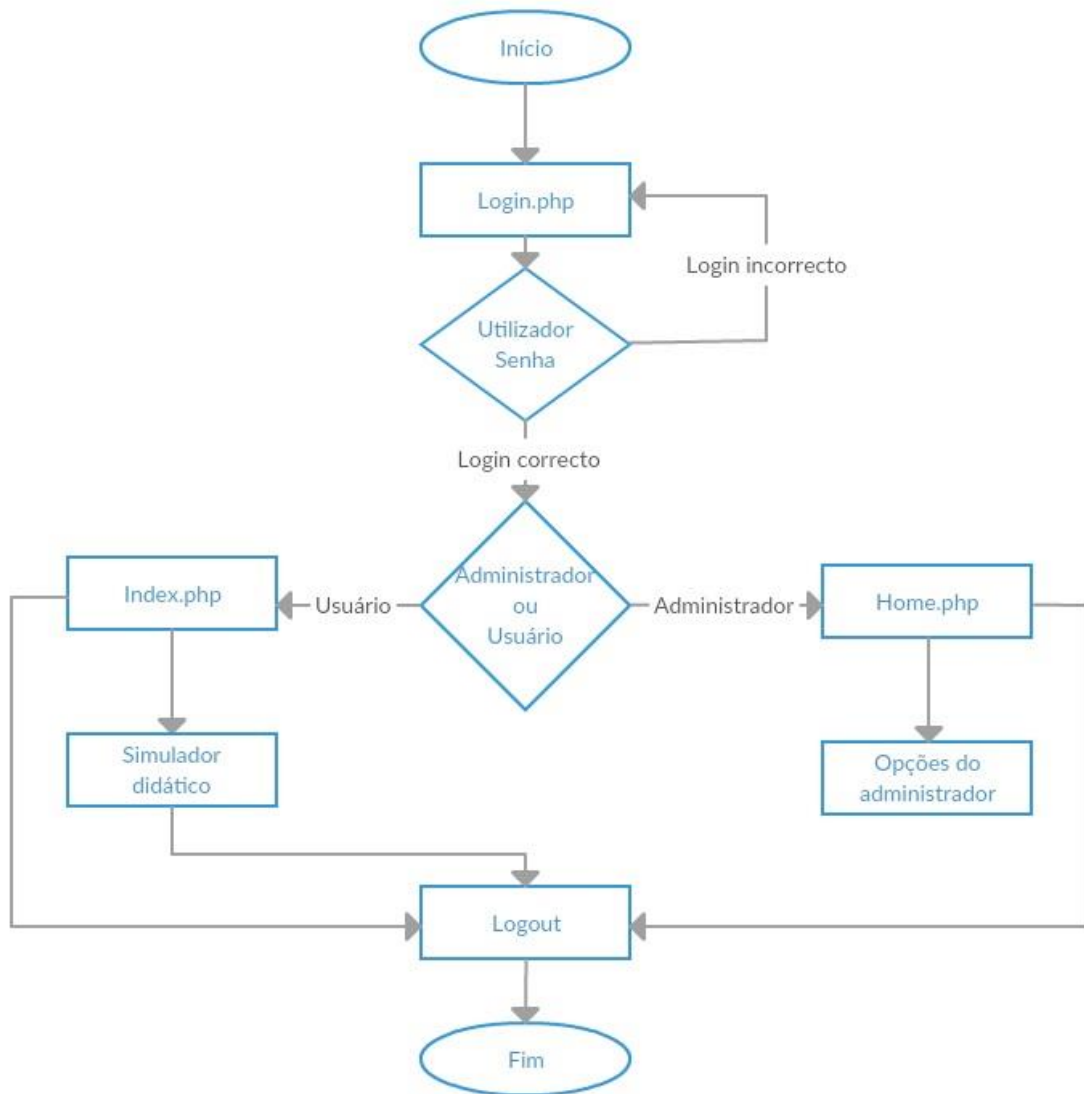


Figura 3.2- Fluxograma do funcionamento do *website*

### 3.1.1 Utilizadores

Nesta plataforma existem dois tipos de utilizadores, administrador e aluno. Para evitar dificuldades de interpretação daqui para a frente administrador e alunos são considerados utilizadores. Para cada um deles foram definidos diferentes graus de liberdade dentro da plataforma considerando as funcionalidades que possam usufruir sendo, neste caso, o administrador quem terá mais opções de interação com o *website*. Para o aluno, sendo o beneficiário mais importante deste simulador, o simulador terá em conta a eficácia, eficiência e viabilidade. Para interpretação da arquitetura será utilizado *Unified Modeling Language (UML) Use Case Diagrams* e fluxogramas, para um alto nível de abstração de melhor compreensão.

#### 3.1.1.1 Administrador

O administrador terá controlo sobre o que os alunos realizam no simulador, entre outras funcionalidades que serão descritas na tabela 3.1. Este utilizador é o módulo com o conteúdo mais complexo a nível de funcionalidades, onde o objetivo é ter uma interface extremamente intuitiva. Estas opções que têm em vista todas as funcionalidades desenvolvidas, foram pensadas de modo a otimizar o controlo de toda a plataforma a partir da página do administrador, desde transferir a base de dados, à adição de novos transformadores na mesma.

Tabela 3.1 - Descrição das funcionalidades do administrado

<b>FUNCIONALIDADES</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>TRANSFERIR BASE DE DADOS</b>	É possível exportar toda a base de dados dos alunos em Excel, com toda a informação, nomeadamente, número de respostas certas, número de vezes que errou e em que pergunta, e quantas vezes acedeu ao simulador.
<b>IMPORTAR EXCEL</b>	O administrador pode importar os dados dos alunos diretamente da plataforma CLIP, para a base de dados em formato Excel. Com suporte nesta base de dados irá ser formulado o nome de utilizador (neste caso o número de aluno) e uma senha aleatória de oito caracteres (gerada por um algoritmo). Depois de inserido na base de dados é enviado um e-mail para o aluno com o nome de utilizador e senha necessários para poder aceder à plataforma.

<b>ELIMINAR BASE DE DADOS</b>	Elimina a base de dados mantendo os utilizadores de tipo administrador.
-------------------------------	---

Tabela 3.2 - Descrição das funcionalidades do administrador (continuação)

<b>FUNCIONALIDADES</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>ATIVAÇÃO <i>LOGIN</i> E/OU REGISTO</b>	Na plataforma do administrador é possível ativar ou desativar o botão de <i>login</i> e/ou registo.
<b>DATA LIMITE DO <i>LOGIN</i></b>	O utilizador pode datar o dia em que a plataforma fica inacessível para os alunos.
<b>ADICIONAR TRANSFORMADOR</b>	É possível adicionar um transformador à base de dados e ficar instantaneamente acessível aos alunos.
<b>PESQUISA DE ALUNO</b>	Para facilitar a pesquisa de um determinado aluno, está implementada uma <i>droplist</i> onde, ao seleccionar os alunos, o site mostra quantas perguntas acertou, o número de vezes que errou e em que pergunta, e por fim quantas vezes acedeu ao simulador.
<b>VISUALIZAÇÃO DA BASE DE DADOS</b>	Mostra uma lista de todos os alunos registados na base de dados, quantas respostas corretas deram no simulador e quantas vezes utilizaram o simulador.

Com todas estas funcionalidades pode concluir-se que o administrador tem bastante controlo sobre o que é feito na plataforma e também na base de dados. Este tipo de utilizador, tendo este nível de controlo sobre esta plataforma, está pensado para poder gerir toda a plataforma eficazmente, tornando-se assim uma ferramenta didáctica adaptável às necessidades tanto do administrador como do aluno.

### 3.1.1.2 Aluno

O utilizador do tipo aluno possui muito menos opções que o administrador, ao nível de manipulação da plataforma.

Este tipo de utilizador tem acesso apenas ao *login*/registo (caso estejam acessíveis) e interação com o simulador. Esta interação será feita a partir de perguntas. À medida que o aluno acerta ou falha, o simulador prosseguirá até que este tenha respondido a todas as questões ou tenha saído do simulador. Todos os dados em relação às perguntas, como quantas vezes falhou ou se acertou, serão guardados na base de dados do aluno assim que são respondidas. Outro fator muito importante é o facto de que o aluno só poderá utilizar a plataforma 2 vezes. Após exceder o número de tentativas de utilização do simulador, o aluno será interdito de entrar na plataforma. Para facilitar a resposta do aluno, ao arredondar a resposta ao que é pedido, a caixa de resposta obriga a que este use no máximo o valor do arredondamento pedido, ou seja, se o arredondamento pedido for de duas casas decimais, a caixa de resposta apenas permite a introdução dessas mesmas duas casas decimais. Também é importante salientar que, quando o aluno quiser abandonar o simulador a meio do questionário, aparecerá uma mensagem de aviso que ao sair, isso contará como tentativa. No diagrama da figura 3.3, apresenta-se a arquitetura por detrás das funcionalidades do aluno.

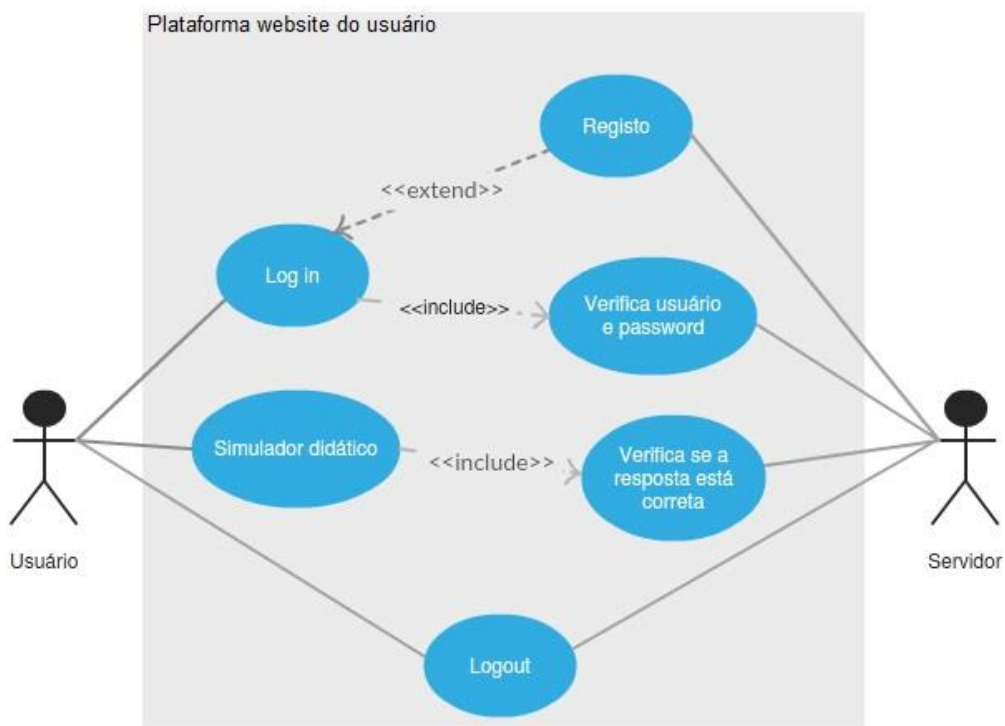


Figura 3.3 - Diagrama UML Use Case funcionalidades do aluno

Assim, embora este utilizador tenha menos controlo sobre a plataforma que o administrador, é a peça fundamental desta. Será através da ótica destes utilizadores que será possível melhorar e alterar esta plataforma. Uma das possibilidades de continuidade deste projeto será a adição de funcionalidades que este tipo de utilizadores achar benéfica e proveitosa.

### 3.1.2 Arquitetura do Simulador Didático

A arquitetura explicada neste capítulo é parte fundamental desta dissertação, pois o funcionamento do simulador didático só é possível seguindo a arquitetura base em que foi desenvolvido. A partir deste fluxograma, desenvolveu-se um algoritmo com o intuito de saber quantas vezes o aluno errou numa pergunta. Caso este tenha errado três vezes, ser-lhe-á dado o resultado de modo a poder prosseguir a simulação. Cada vez que o aluno falha o resultado, será guardado na base de dados, permitindo ao administrador verificar quantas vezes o utilizador errou em determinada parte do simulador. Numa fase inicial o aluno tem de primeiro escolher os três campos que definem o transformador, sendo estes:

- Gama de tensão;
- Potência aparente;
- Tensão primário/secundário.

Depois de escolhido o transformador, o simulador seguirá então para a primeira pergunta. Ao responder certo ou errado nesta questão e nas seguintes, o simulador comportar-se-á de uma de duas maneiras distintas. Caso o aluno acerte, o simulador prossegue normalmente e passa para a pergunta seguinte. Supondo que o aluno falhou a pergunta, também aqui existem dois caminhos possíveis: ou ainda não falhou três vezes e o aluno pode tentar mais uma vez, até chegar às três respostas erradas ou errou pela terceira vez e a resposta certa é dada para permitir prosseguir com o simulador. O diagrama de fluxo está representado na figura 3.4.

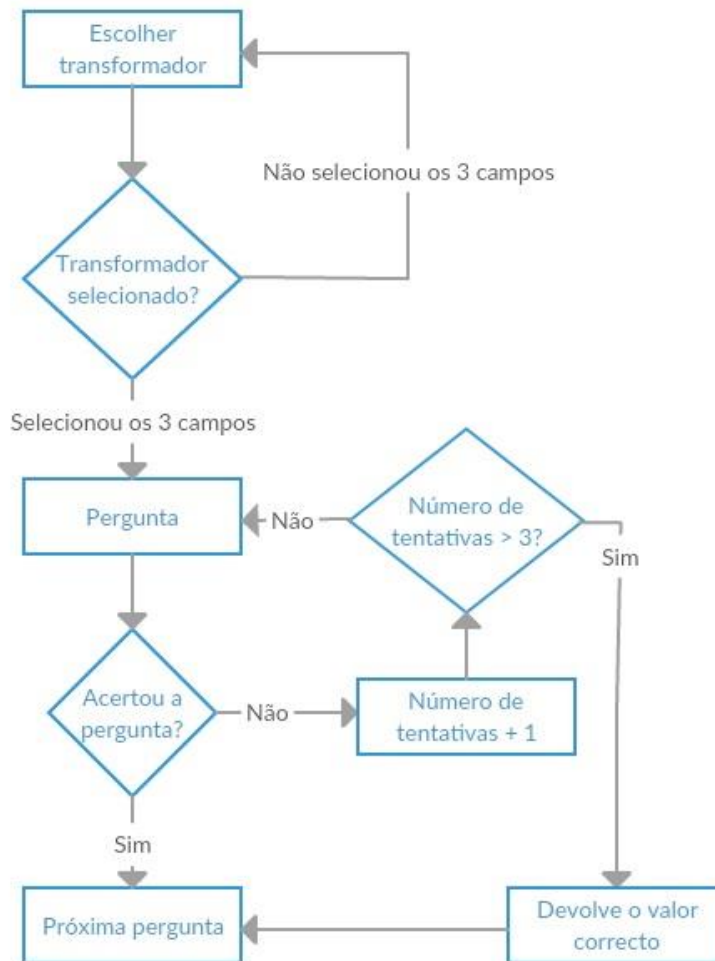


Figura 3.4 – Diagrama de fluxo do simulador didático

O esquema escolhido permite ao aluno concluir o exercício, mesmo que não encontre a resposta certa para alguma das perguntas. Oferecendo a resposta correta e não só uma resposta que permita ao aluno prosseguir, também possibilita a que este após a conclusão das perguntas tentar perceber a resolução que corresponde à resposta correta, melhorando assim o aspeto didático desta ferramenta.

### 3.2 Arquitetura de Sistemas de Base de Dados

A base de dados deste simulador tem em vista dois propósitos importantes que são auxiliar a compreensão dos dados e facilitar a comunicação dos requisitos de informação. Desenvolver um sistema de base de dados requer responder a perguntas sobre entidades, atributos e relacionamentos (Connolly, Begg and Strachan, 1999). Para melhor entendimento da arquitetura, será descrito nos subcapítulos seguintes como é executado o registo dos utilizadores e dos transformadores na plataforma.

### 3.2.1 Registo dos Utilizadores

Para registar todo o tipo de utilizadores foi desenvolvido um Diagrama de Entidades e Relacionamentos (DER) representado na figura 3.5, de maneira a especificar e definir as propriedades das entidades e estabelecer relacionamento entre elas. Tem-se a informação do utilizador para poder aceder à plataforma e agregada a esta tabela tem-se uma relação de um aluno (*users*) para uma resposta (*answers*). Na tabela *answers* está especificado quantas tentativas o aluno usou para cada pergunta (sendo o máximo 3 que significa que falhou a pergunta), quantas vezes utilizou o simulador e quantas respostas corretas teve. Apesar de para realizar a avaliação só se determinar as respostas corretas, o administrador poderá mais tarde, após importar o Excel da base de dados, verificar quais as perguntas onde os alunos mais falharam. Deste modo o administrador consegue ter maior sensibilidade às dificuldades dos alunos. Em anexo fica a descrição das variáveis das tabelas e suas correspondentes *primary key* e *foreign key*.

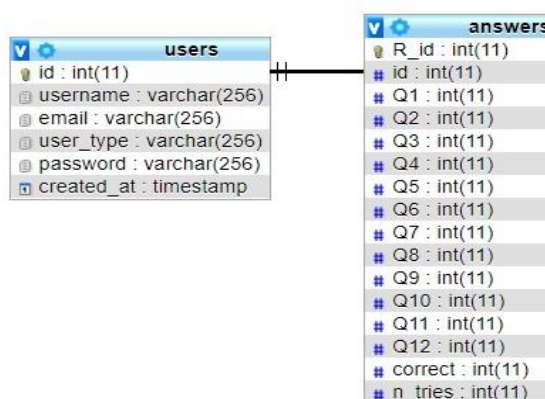


Figura 3.5 - DER dos utilizadores

### 3.2.2 Registo dos Transformadores

Com a base de dados dos transformadores é possível fazer relações entre os vários tipos de transformadores que existem no mercado. Ambas as ligações das tabelas *trans\_range* para *trans\_pri\_sec* e *trans\_pri\_sec* para *trans\_pot*, são agregadas numa relação de um para muitos, visto que uma gama de tensão tem várias relações entre primário e secundário, e para a mesma relação existem vários valores de potências. Tendo o objetivo de poder inserir um transformador na base de dados com todas as suas propriedades é possível ter um DER como se representa na figura 3.6.

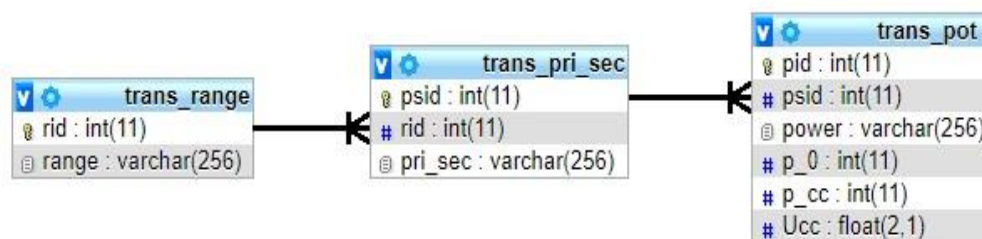


Figura 3.6 – DER dos transformadores

Pela figura 3.6 pode concluir-se que, em cada gama estão inseridos vários valores de primário/secundário de transformadores e para cada um dos primários/secundários está associada uma tabela com os valores de potência aparente, potência de curto-circuito, potência em vazio e percentagem de tensão de curto-circuito. Em anexo estarão enumeradas as variáveis das tabelas e correspondentes *primary key* e *foreign key*.



# Capítulo 4

## 4 Software e Implementação

### 4.1 Linguagens utilizadas

O *website* é desenvolvido usando tecnologias como HTML/CSS, Javascript para *frontend* (acessível ao utilizador) e PHP, SQL para *backend* (não acessível ao utilizador). Estas tecnologias são atualmente as mais utilizadas para este tipo de plataformas sendo essenciais ao bom funcionamento da mesma, tendo sido escolhidas em função das necessidades reais da plataforma.

Em anexo está demonstrado um exemplo do código da página que mostra o conteúdo ao aluno e o código com as funções feitas para verificar se a resposta esta correta.

#### 4.1.1 HTML/CSS

HTML/CSS são tecnologias muito utilizadas na área do desenvolvimento *web*. *HyperText Markup Language* (HTML) é uma linguagem que define a página do *website* e visa preparar documentos como gráficos e hiperligações de modo a serem visualizados na *World Wide Web* (WWW) a partir de um navegador (*browser*). Todos os navegadores interagem com HTML e são responsáveis por decifrar o código e expor o hipertexto. O *Cascading Style Sheets* (CSS) é uma linguagem de folha de estilo usado para definir o *design* da página *web* e torná-la apresentável. Com esta linguagem é possível descrever como os elementos são apresentados na página em HTML (Noxin, 2014).

### 4.1.2 PHP

A linguagem PHP: *Hypertext Preprocessor* (ou simplesmente PHP) é largamente utilizada para desenvolvimento *web* no lado do servidor de modo a tornar a página mais dinâmica. PHP é uma linguagem de *open source* e abrange uma conexão fácil com um enorme número de sistemas de gestão de dados como MySQL, Oracle, entre outros. Como é do lado do servidor, o utilizador ao abrir a página *web* não conseguirá ver o código que é implementado na plataforma. O código PHP é de aprendizagem fácil e simples de utilizar, capaz de gerar *scripts* de maneira simples e mais clara, do que outras linguagens mais complicadas (Noxin, 2014).

### 4.1.3 Javascript

Javascript utiliza linguagem por *scripts* que são integrados nas *tag's* HTML permitindo uma apresentação interativa nas páginas *web*. Uma das características desta linguagem é o facto de não depender de compilação para ser executada, isto é, o código é interpretado pelo *browser* tal como HTML, não necessitando a utilização dos recursos do servidor, permitindo assim uma execução imediata (Goodman, 2001).

### 4.1.4 SQL

*Structured Query Language* (SQL) é uma linguagem conhecida pela sua simplicidade e usada para definir, manipular e controlar bases de dados. Hoje em dia SQL é considerada um standard dos Sistemas de Gestão de Base de Dados Relacionais (SGBDR), por este motivo, os fabricantes integram esta tecnologia nos seus produtos. Isto indica que todos os SGBDR's fornecem uma interface para aceder ao banco de dados. Com esta linguagem o administrador pode inserir e alterar registos, gerir alunos, consultar informação, controlar transações, entre muitas outras opções. Todas estas funcionalidades do banco de dados devem ser solicitadas ao SGBDR utilizando a linguagem SQL (Connolly, Begg and Strachan, 1999).

## 4.2 Segurança

Com o desenvolvimento de qualquer tecnologia a segurança da mesma, quer para o utilizador quer para o “fabricante”, é um fator essencial do seu desenvolvimento. Para minimizar problemas de segurança a plataforma teve em conta possíveis tipo de ataques em plataforma *web*, focando-se essencialmente em:

*SQL Injection;*

*Brute Force Attack;*

Encriptação da Senha.

*SQL Injection* é a capacidade de influenciar as *queries* de uma aplicação com determinada base de dados, de modo a que o invasor possa aproveitar a sintaxe e os recursos do próprio SQL, com o intuito de afetar o que está contido na base de dados (Clarke, 2009). Para proteger, o *website* utiliza a função *mysql\_real\_escape\_string()*, na qual “escapa” os caracteres especiais numa *string*, para usar num comando SQL.

O ataque de *Brute Force Attack* consiste no invasor testar múltiplas senhas com a esperança de adivinhar corretamente. Desta maneira, para proteger deste tipo de ataque, foi desenvolvido um algoritmo em que, caso o aluno falhe cinco vezes a senha de entrada, o IP (Internet Protocol) é bloqueado durante cinco minutos. Apesar de não ser a forma mais segura de proteger contra este tipo de ataques, visto os números de IP’s serem finitos e repetitivos, é uma maneira de minimizar o problema.

Encriptar a senha é muito importante, pois a senha do utilizador é guardada na base de dados. Caso a base de dados seja transgredida, pode-se assegurar que a informação em relação às senhas dos utilizadores, estão protegidas. Para proteger, foi utilizada uma função *hash* (*password\_hash()*), que usa um algoritmo forte de encriptação, onde é fornecido um *salt* (utilizado para evitar que duas senhas idênticas produzam encriptações idênticas).

Apesar de existirem mais tipos de ataques às plataformas *web*, como por exemplo *Distributed Denial of Service* (DDoS), estes são os ataques que podem afetar diretamente a base de dados, algo que se tenta evitar o máximo possível.

### 4.3 Implementação do Simulador Didático

Na implementação do simulador didático serão explicados todos os passos que o aluno terá de realizar para poder avançar no simulador. De notar que à medida que o aluno prossegue no simulador, todos os dados são expostos numa tabela à esquerda do *website*. Assim torna-se mais simples para o utilizador rastrear os valores de todas as grandezas calculadas ou fornecidas.

Em anexo serão mostrados exemplos das páginas do *website* para o administrador e para o aluno. De modo a não ser demasiado exaustivo, serão apenas mostrados exemplos da página de controlo do administrador e de uma pergunta do aluno, visto o *template* ser comum a todas elas.

#### 4.3.1 Seleção do transformador

Antes de começar a executar algum dos ensaios essenciais para retirar os parâmetros é necessário escolher o transformador. Para isso, como já foi referido anteriormente, a partir da consulta de vários catálogos de transformadores de baixa e média tensão, escolheram-se duas variantes de gamas diferentes, inseridas na base de dados, sendo estas:

Tamuro Indusul, para baixa tensão;

ACTOM, para média tensão.

A escolha destes catálogos centrou-se nos valores por eles apresentados, pois apesar de existirem inúmeros catálogos de transformadores monofásicos, nem todos dão os valores necessários para que o simulador possa funcionar, nomeadamente os valores das perdas em vazio e curto-circuito ou da tensão de curto-circuito por unidade.

Como se pode verificar na figura 4.1, o aluno escolhe a gama, a relação de tensão primário/secundário e a potência aparente do transformador para poder prosseguir com a simulação. Na mesma página o aluno terá a informação de quais são as regras de utilização da plataforma. Se o aluno seguir as indicações fornecidas o simulador funcionará corretamente e assim o utilizador prosseguirá no simulador.



The image shows a web interface with a blue header and a white content area. The header contains the text "Escolha o Tipo de Transformador". Below the header, there is a blue box with white text. The text in the blue box is as follows:

**Gamas de Tensão**  
Selecione a Gama ▼

**Tensão Primário/Secundário[V/V]**  
Selecione primeiro a Gama ▼

**Potência Aparente[kVA]**  
Selecione primeiro a Gama ▼

Submeter

Figura 4.1- Plataforma de escolha de transformador

Depois de escolhido o transformador, a plataforma inquirir qual é o valor eficaz da corrente nominal no primário e no secundário feito pelo cálculo da potência aparente a dividir pela tensão nominal. Pode-se verificar um exemplo desta pergunta na figura 4.2.

## Pergunta A1

A relação de tensões primário/secundário é de 120 V para 24 V e a potência aparente do transformador de 0.06 kVA, calcule a corrente nominal no primário e secundário, respectivamente (**arredonde o resultado final a 2 casas decimais**)

Corrente nominal no primário ( $I_{1n}$ ) =  A

Corrente nominal no secundário ( $I_{2n}$ ) =  A

Próxima pergunta

Figura 4.2- Pergunta A1

### 4.3.2 Ensaio em Vazio

Depois de calculadas as correntes nominais no primário e secundário, para proceder ao ensaio em vazio de modo a retirar os parâmetros  $R_0$  e  $X_m$  é necessário o conhecimento de como executar este ensaio. Para tal, é posta a questão: “O transformador vai ser ensaiado em vazio pelo lado do primário. Qual a tensão a que deve ser feito o ensaio do transformador?”. Para o aluno poder prosseguir corretamente, basta responder com a tensão nominal do primário. Podemos verificar esta questão na figura 4.3.

## Pergunta B1

O transformador vai ser ensaiado em vazio pelo lado do primário.  
Qual a tensão a que deve ser feito o ensaio do transformador?

Tensão em Vazio ( $U_0$ ) =  V

Próxima pergunta

Figura 4.3- Pergunta B1

Na pergunta seguinte, é pedido o cálculo da reactância de magnetização e da resistência de perdas no ferro. Para que se possa realizar esses cálculos é necessário fornecer o valor das perdas em vazio, valor eficaz da tensão em vazio e o valor eficaz da corrente em vazio. É essencial arranjar um intervalo para os valores retirados do ensaio em vazio de modo a que  $R_0$  e  $X_m$  não sejam iguais para todos os alunos. Visto que o valor das perdas em vazio e da tensão em vazio são fornecidos pelos catálogos é necessário definir uma percentagem da corrente nominal que vai corresponder à corrente em vazio. Esses intervalos estão indicados na tabela 4.1

Tabela 4.1- Intervalos das perdas em vazio e corrente em vazio

GRANDEZAS	INTERVALOS
$P_0$	90% a 110% de $P_0$ do catálogo
$I_0$	5% a 15% de $I_{1n}$

Além dos valores de potência e corrente em vazio serem gerados a partir de um intervalo, foi necessário desenvolver uma equação para retirar o valor do fator potência em vazio, como a expressão (4.1) mostra, no qual se garante que o fator de potência não é superior a 1.

$$\frac{P_0}{U_0 \cdot I_0} \ll 1 \quad (4.1)$$

Após garantir que esta condição é executada, o aluno poderá proceder aos cálculos de  $R_0$  e  $X_m$ . Como já foi mencionado no Capítulo 2, no ensaio em vazio, pelas equações (2.2) à (2.6), o aluno conseguirá retirar ambos os valores. A questão está exemplificada na figura 4.4 onde é apresentada uma tabela com os valores do ensaio em vazio.

## Pergunta B2

Os valores obtidos no ensaio em vazio são:

$U_0$ [V]	$I_0$ [A]	$P_0$ [W]
120	0.06	6.3

A partir do ensaio, calcule a reactância de magnetização e a resistência de perdas no ferro (**arredonde os resultados finais às unidades**)

Resistência de Perdas no Ferro ( $R_0$ ) =   $\Omega$

Reactância de Magnetização ( $X_m$ ) =   $\Omega$

[Próxima pergunta](#)

Figura 4.4- Pergunta B2

Através deste procedimento o aluno poderá calcular os valores da reactância de magnetização e resistência de perdas no ferro.

### 4.3.3 Ensaio em Curto-Circuito

Com os parâmetros do ensaio em vazio já determinados, procede-se ao ensaio em curto-circuito para retirar os parâmetros  $r_1$ ,  $X_1$ ,  $r_2$  e  $X_2$  do circuito equivalente. Tal como aconteceu no ensaio em vazio a primeira pergunta feita para este ensaio feito pelo lado do primário é: “Qual a corrente a que deve ser feito o ensaio do transformador?”. Pode verificar-se a questão na figura 4.5.

## Pergunta C1

O transformador vai ser ensaiado em curto-circuito pelo lado do primário. Qual a corrente a que deve ser feito o ensaio do transformador? (**arredonde o resultado final a 2 casas decimais**)

Corrente do ensaio em Curto-Circuito ( $I_{cc}$ ) =  A

[Próxima pergunta](#)

Figura 4.5- Pergunta C1

Para o utilizador prosseguir corretamente, basta responder com o valor da corrente nominal no primário.

A pergunta seguinte é dedicada ao cálculo da resistência dos enrolamentos do primário e reactância de dispersão do primário. Para estes cálculos são necessários os valores das perdas em curto-circuito, valor eficaz da tensão em curto-circuito e valor eficaz da corrente em curto-circuito. Tanto o valor das perdas como a percentagem de tensão de curto-circuito são dados pelo catálogo do fabricante. Tal como aconteceu na implementação do ensaio em vazio, haverá um intervalo nos valores das perdas e tensão para que os cálculos não sejam iguais para todos os alunos. Estes intervalos estão indicados na tabela 4.2.

Tabela 4.2- Intervalos das perdas em curto-circuito e da tensão em curto-circuito

GRANDEZAS	INTERVALOS
$P_{cc}$	80% a 120% de $P_{cc}$ do catálogo
$U_{cc}$	75% a 125% de $U_{cc}$ do catálogo

Para além destes valores, é ainda utilizada a equação (4.2) para permitir que os valores  $r_1$ ,  $X_1$ ,  $r'_2$  e  $X'_2$  não sejam muito díspares.

$$\frac{P_{cc}}{U_{cc} \cdot I_{cc}} < \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (4.2)$$

Considerando que  $X_1 = X'_2$  e  $r_1 = r'_2$ , e pelas equações (2.9) a (2.10), podem calcular-se os valores de  $X_1$  e  $r_1$  respetivamente. Pode verificar-se a questão na figura 4.6.

## Pergunta C2

Os valores obtidos no ensaio em curto-circuito são:

$U_{cc}$ [V]	$I_{cc}$ [A]	$P_{cc}$ [W]
10.109	0.5	4

A partir do ensaio em curto-circuito e sabendo que  $r_1 = r'_2$  e  $X_1 = X'_2$ , calcule a resistência e a reactância do primário (**arredonde os resultados finais a 2 casas decimais**)

**Resistência do primário ( $r_1$ ) =**   $\Omega$

**Reactância do primário ( $X_1$ ) =**   $\Omega$

[Próxima pergunta](#)

Figura 4.6- Pergunta C2

Para verificar a compreensão do utilizador em relação às resistências e reactâncias vistas do primário e do secundário, na pergunta seguinte é perguntado quais os valores da resistência dos enrolamentos do secundário e da reactância de dispersão do secundário, como se pode observar na figura 4.7.

## Pergunta C3

Sabendo que  $r_1 = r'_2$  e  $X_1 = X'_2$ , calcule a resistência e a reactância reais do secundário (**arredonde os resultados finais a 3 casas decimais**)

**Resistência do secundário ( $r_2$ ) =**   $\Omega$

**Reactância do secundário ( $X_2$ ) =**   $\Omega$

[Próxima pergunta](#)

Figura 4.7- Pergunta C3

Para efetuar o cálculo destes valores, divide-se os valores  $r_1$  e  $X_1$  pela relação de transformação como podemos verificar na expressão (4.3) e (4.4).

$$r_2 = \frac{r_1}{m^2} = \frac{r'_2}{m^2} \quad (4.3)$$

$$X_2 = \frac{X_1}{m^2} = \frac{X'_2}{m^2} \quad (4.4)$$

#### 4.3.4 Transformador em Carga

Depois de o aluno ter os parâmetros do circuito equivalente de Steinmetz, o simulador irá proceder à simulação do transformador em carga. Neste tipo de teste, como já foi explicado em capítulo anterior, regula-se a tensão no primário do transformador com o intuito de gerar a tensão nominal no secundário. Para tal, foi desenvolvido um algoritmo que gera o fasor da impedância de carga, com um intervalo sobre a carga nominal do transformador escolhido e uma fase sobre essa mesma carga com um ângulo também aleatório, mas ambos dentro de um certo intervalo. Assim os valores para cada aluno serão distintos e não será possível forjar os resultados entre alunos. O valor do fasor da carga  $\bar{Z}_c$  é dado pela expressão (4.5).

$$\bar{Z}_c = Z_c \angle \theta_c \quad (4.5)$$

A impedância de carga nominal é dada pela expressão (4.6).

$$Z_n = \frac{U_{2n}}{I_{2n}} \quad (4.6)$$

Com a impedância da carga calculada pode observar-se os intervalos da carga e do seu argumento na Tabela 4.3.

Tabela 4.3- Intervalo do transformador em carga

GRANDEZAS	INTERVALOS
$Z_c$	70% a 130% de $Z_n$
$\phi_c$	$-90^\circ$ a $90^\circ$

Depois de dada a impedância de carga, é questionado qual o valor reduzido ao primário. Para tal é preciso a relação de transformação  $m$  tendo-se:

$$\bar{Z}'_c = \bar{Z}_c \cdot m^2 \quad (4.7)$$

Para além de se conhecer a carga reduzida ao primário é necessário saber o fasor da tensão no secundário visto do primário  $\bar{U}'_2$  e o fasor da corrente no secundário referido ao primário, para a carga calculada  $\bar{Z}'_c$ . Pela expressão (4.8) verifica-se como é calculado o valor de  $\bar{U}'_2$ .

$$\bar{U}'_2 = \bar{U}_2 \cdot m \quad (4.8)$$

Pela equação (2.11) é possível calcular o fasor da corrente elétrica no secundário referido ao primário,  $\bar{I}'_2$ . Após o aluno calcular  $\bar{Z}'_c$ ,  $\bar{U}'_2$ ,  $\bar{I}'_2$  poderá prosseguir no simulador da maneira correta. Pode verificar-se a questão na figura 4.8.

## Pergunta D1

O transformador vai alimentar uma carga  $\bar{Z}_c$  de  $12.5 \angle -2.4^\circ \Omega$ ,  
 Calcule  $\bar{Z}'_c$ ,  $\bar{U}'_2$  e  $\bar{I}'_2$  (**arredonde os resultados finais a 2 casas decimais**)

$\bar{Z}'_c =$    $\angle$    $\Omega$   
 $\bar{U}'_2 =$    $\angle$    $V$   
 $\bar{I}'_2 =$    $\angle$    $A$

Próxima pergunta

Figura 4.8- Pergunta D1

Após a realização deste cálculo é perguntado qual a tensão de magnetização reduzida ao primário,  $\bar{U}_{10}$ , e a corrente de magnetização reduzida ao primário,  $\bar{I}_{10}$ . Antes de calcular estes dois valores é necessário saber a queda de tensão  $\Delta\bar{U}'_2$  em  $r'_2$  e  $X'_2$ , parâmetros estes, retirados do ensaio em curto-circuito. Pela equação (2.12) é possível calcular esse valor.

Depois de conhecido  $\Delta\bar{U}'_2$  é exequível o cálculo da tensão  $\bar{U}_{10}$  pela equação (2.13). Finalmente pela expressão (2.14) calcula-se a corrente  $\bar{I}_{10}$  e com isso o aluno poderá prosseguir no simulador com a resposta validada. De notar que os valores  $R_0$  e  $X_m$  usados na expressão (2.16) são os valores retirados do ensaio em vazio, calculados anteriormente. A questão está representada na figura 4.9.

## Pergunta D2

Para esta condição de funcionamento, calcule a corrente e a tensão de magnetização, reduzidas ao primário. **(arredonde os resultados finais a 2 casas decimais)**

$\bar{U}_{10} =$    $\angle$   V

$\bar{I}_{10} =$    $\angle$   A

[Próxima pergunta](#)

Figura 4.9- Pergunta D2

Consequentemente, a pergunta feita de seguida é qual a tensão no primário e a corrente no primário. Para tal usam-se as equações (2.15) e (2.17). Mas antes de se calcular esses dois valores é necessário saber qual é a queda de tensão  $\Delta\bar{U}_1$  em  $r_1$  e  $X_1$ , valores estes, retirados do ensaio em curto-circuito. Usando a expressão (2.16) é calculado  $\Delta\bar{U}_1$  e assim é possível ter o resultado da tensão  $\bar{U}_1$  pela equação (2.17). Verifica-se esta questão na figura 4.10.

**Pergunta D3**

Para o ensaio em carga, calcule os fasores da corrente e tensão de entrada. **(arredonde os resultados finais a 2 casas decimais)**

$$\bar{I}_1 = \text{[input]} \angle \text{[input]} \text{ A}$$

$$\bar{U}_1 = \text{[input]} \angle \text{[input]} \text{ V}$$

Próxima pergunta

Figura 4.10- Pergunta D3

Chegando a esta etapa, de seguida é posta a questão “Calcule a impedância de entrada do transformador”. Para o aluno poder responder corretamente a esta questão é necessário recorrer a equação (4.9).

$$\bar{Z}_1 = \frac{\bar{U}_1}{\bar{I}_1} \quad (4.9)$$

A pergunta está reproduzida na figura 4.11.

**Pergunta D4**

Calcule a impedância de entrada do transformador **(arredonde os resultados finais a 2 casas decimais)**

$$\bar{Z}_1 = \text{[input]} \angle \text{[input]} \text{ } \Omega$$

Próxima pergunta

Figura 4.11- Pergunta D4

Depois de calculadas todas as grandezas do esquema equivalente de Steinmetz, procede-se ao cálculo da regulação de tensão e do rendimento do transformador. Para calcular a regulação visto termos a tensão do secundário com uma dada carga vista do primário  $\bar{U}'_2$  e a tensão do primário  $\bar{U}_1$ , pela equação (2.22) é possível retirar o valor da regulação de tensão. Na figura 4.12 está representada a pergunta presente na plataforma.

**Pergunta D5**

Calcule a regulação de tensão (**arredonde o resultado final a 2 casas decimais**)

**Regulação de Tensão ( Reg ) =**  **%**  
Próxima pergunta

Figura 4.12- Pergunta D50

Finalmente para concluir as perguntas do simulador, é questionado ao aluno qual o rendimento do transformador para a carga considerada. Para efetuar o cálculo do rendimento basta usar a equação (2.18). A pergunta está representada na figura 4.13.

**Pergunta D6**

Calcule o rendimento do transformador (**arredonde o resultado final a 1 casa decimal**)

**Rendimento (  $\eta$  ) =**  **%**  
Próxima pergunta

Figura 4.13- Pergunta D6

No final da simulação é feita uma avaliação do aluno, mostrando quantas perguntas acertou e qual a sua classificação final. Esta classificação é dividida em: muito insuficiente, insuficiente, suficiente, bom, muito bom e excelente. Para ter uma nota positiva o aluno tem de acertar em pelo menos 6 perguntas.

Desta maneira o aluno terá a percepção acerca da sua compreensão do transformador e seus cálculos.

## Capítulo 5

### 5 Alguns casos de estudo: Resultados e Análise

Neste capítulo para demonstrar que o simulador se comporta como é suposto, foram elaborados dois testes para verificar se os resultados são legítimos. O primeiro teste foi feito com o aluno a acertar todas as perguntas feitas pelo simulador e subsequentemente verificar se o administrador consegue visualizar o resultado. O outro teste foi feito com o aluno a errar algumas perguntas, acertando depois de uma ou duas tentativas. Deste modo pode verificar-se que o simulador está a funcionar como é esperado.

#### 5.1 Caso de estudo 1

Neste caso de estudo vai-se demonstrar o comportamento do simulador quando o aluno responde a todas as questões, na primeira tentativa, de forma correta. Depois de o aluno entrar no simulador, e escolher o transformador (que neste caso será de potência 0.06 kVA e tensão primário/secundário de 120 V para 24 V), este responderá à primeira pergunta como pode verificar-se na Figura 4.2. Depois de inserido o valor correto, que será 0.5 A para  $I_{1n}$  e 2.5 A para  $I_{2n}$ , o simulador passa para a questão seguinte B1, onde o aluno é notificado que acertou na pergunta A1. Como se ilustra na figura 5.1.

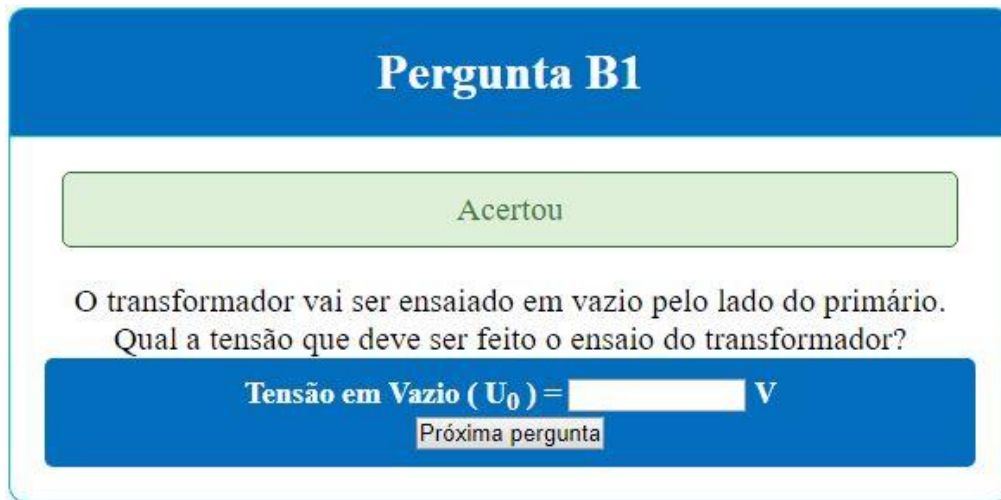


Figura 5.1 - Resultado da pergunta B1 com resposta correta à pergunta A1

Após o aluno acertar em todas as perguntas efetuadas pelo simulador, este será encaminhado para a página final (Final.php), onde é apresentado quantas perguntas o aluno acertou e qual a sua classificação final. Desta maneira o aluno consegue perceber qual é a sua percepção em relação ao conhecimento do funcionamento do transformador monofásico. Visto que o aluno pode utilizar o simulador duas vezes, este pode perceber os erros que deu na primeira tentativa e assim conseguir melhor resultado na tentativa seguinte. Na figura 5.2 pode verificar-se a avaliação final do simulador.

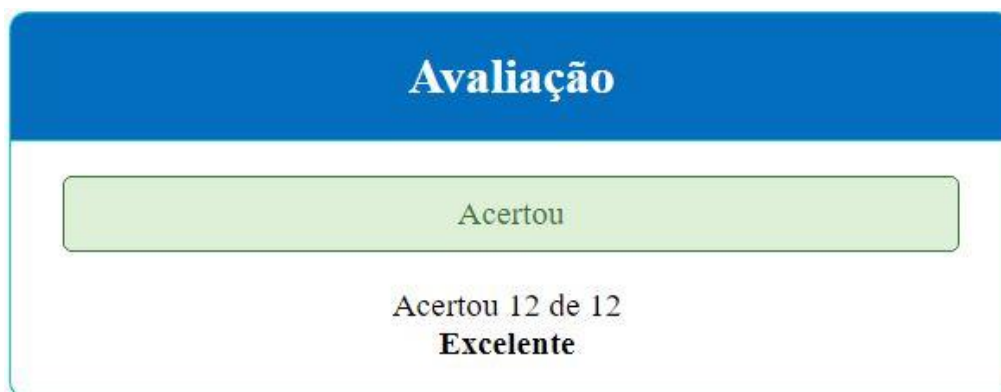


Figura 5.2 – Resultado final com todas as respostas corretas

A figura 5.3 mostra os resultados corretos de todos os cálculos feitos ou pelo simulador ou pelo aluno, que aparecem na barra lateral esquerda do simulador. Durante todo o processo e enquanto o aluno vai respondendo às perguntas, a barra é atualizada sendo uma maneira fácil de seguir o processo das perguntas. Deste modo quando o aluno necessitar de algum valor já respondido a procura deste valor será mais acessível.

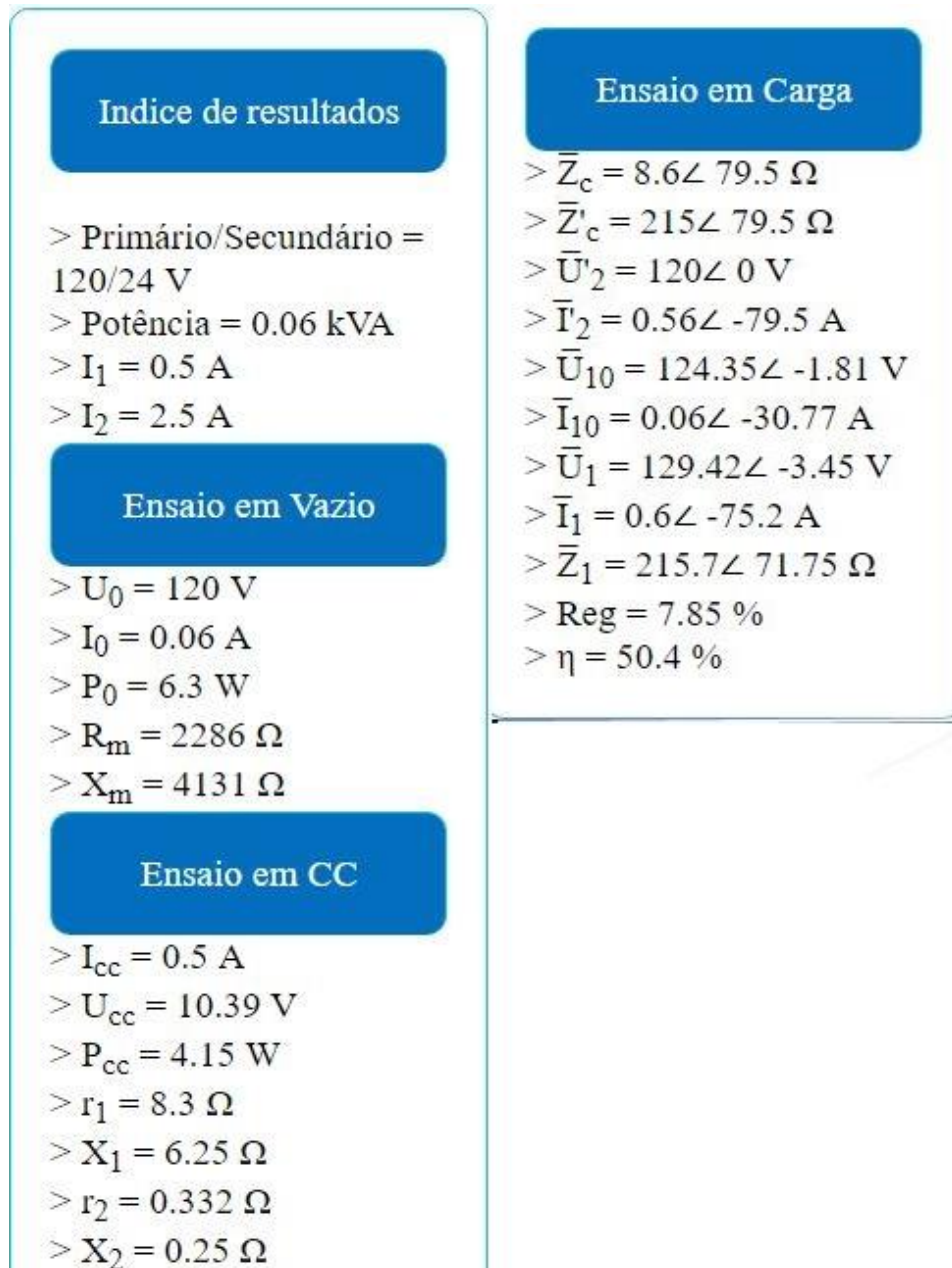


Figura 5.3 – Resultado do teste com todas as respostas corretas

Do lado do administrador ao aceder à sua plataforma (Home.php), que poderá executar várias interações com o simulador, este poderá visualizar a base de dados de todos os alunos, mas neste caso vai observar-se em concreto o aluno que acertou tudo à primeira e ver se os resultados são os esperados. Na figura 5.4 representa-se o resultado.

Pesquisa de aluno

Username	Respostas Certas	A1	B1	B2	C1	C2	C3	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Nº Tentativas
11111	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Figura 5.4 - Resultados de todas as respostas corretas visto do administrador

Pode concluir-se que os resultados são os esperados visto o aluno ter acertado todas as perguntas na primeira tentativa e a plataforma contabilizar quantas vezes ele errou (neste caso nenhuma).

## 5.2 Caso de estudo 2

Nesta situação o aluno falha algumas perguntas e acerta outras na primeira, na segunda ou na terceira tentativa. Para testar a mensagem de erro caso este falhe no valor à primeira tentativa, insere-se o valor errado na pergunta A1 e devolvendo o simulador a mensagem indicada na figura 5.5.

**Pergunta A1**

A relação de tensões primário/secundário é de 120 V para 24 V e a potência aparente do transformador de 0.06 kVA, calcule a corrente nominal no primário e secundário, respetivamente (**arredonde o resultado final a 2 casas decimais**)

Corrente nominal no primário ( $I_{1n}$ ) =  A

Corrente nominal no secundário ( $I_{2n}$ ) =  A

Errou, tentativa 2 de 3

Figura 5.5 - Resultado ao errar à primeira tentativa na pergunta A1

Neste caso, surge uma mensagem que explica ao aluno que falhou no resultado e em que tentativa está atualmente. Dessa maneira o aluno pode rastrear quantas tentativas ainda tem para responder corretamente à pergunta. Depois de responder a todas as perguntas, independentemente das vezes que errou, surge uma página final com a classificação obtida segundo as categorias já explicadas em capítulos anterior. A figura 5.6 mostra o resultado final com algumas respostas corretas.

## Avaliação

Acertou 7 de 12  
**Suficiente**

Figura 5.6 - Resultado final com algumas respostas erradas

O resultado dos cálculos deste teste está representado na figura 5.7.

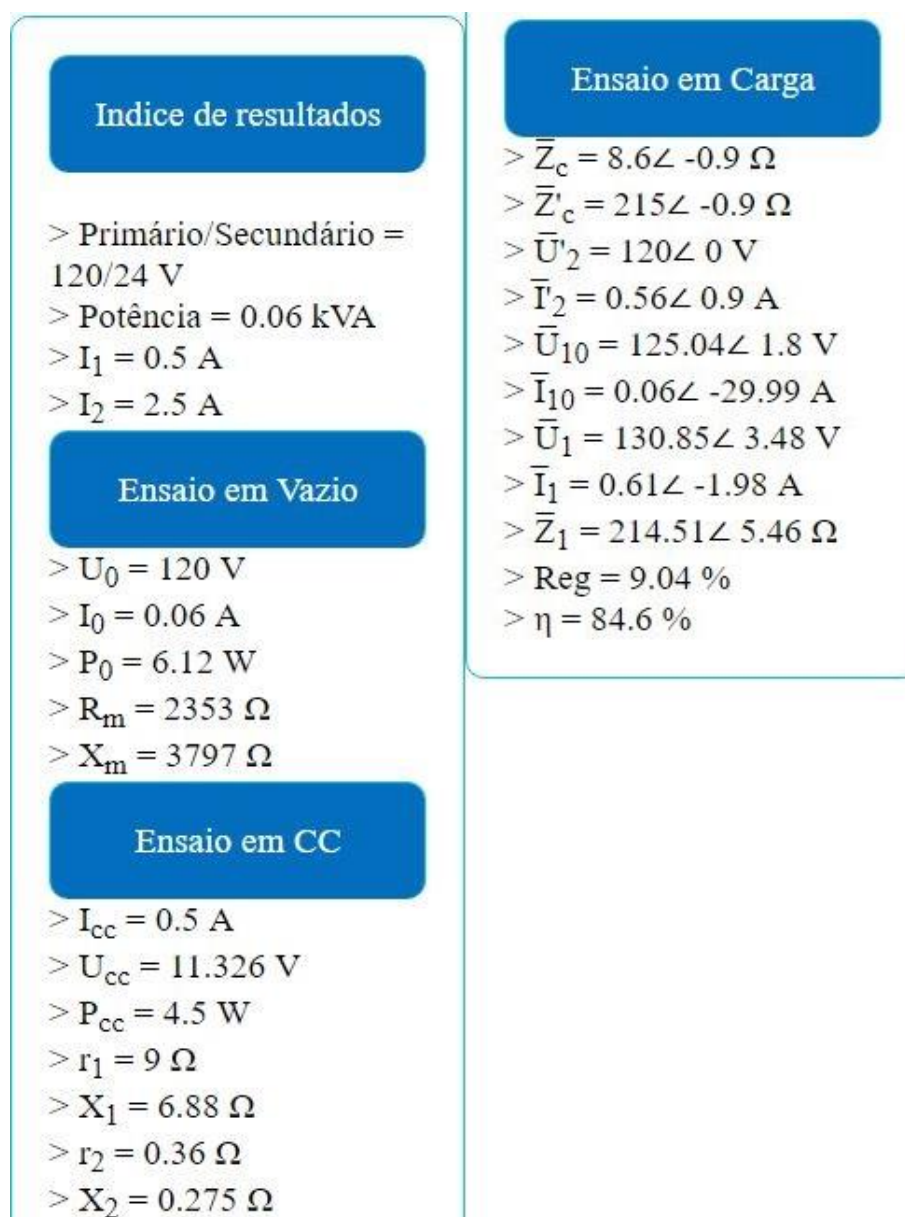


Figura 5.7 - Resultado do teste com algumas respostas corretas

Finalmente verificamos do lado do administrador a visualização das respostas dadas por este aluno, como demonstrado na figura 5.8.

Pesquisa de aluno 11111 ▾

Username	Respostas Certas	A1	B1	B2	C1	C2	C3	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Nº Tentativas
11111	7	1	0	2	0	2	3	3	3	2	0	3	3	2

Figura 5.8 - Resultados de algumas respostas corretas visto do administrador

Verifica-se também que o simulador está a funcionar como é suposto apresentando o número de respostas corretas e erradas e em qual das perguntas o aluno falhou.

### 5.3 Implementações do administrador

Como já foi referido anteriormente, o administrador tem várias possibilidades de manipulação da plataforma. Neste subcapítulo indicam-se as principais funcionalidades que este pode executar na plataforma. Não se indicam todas as funcionalidades da manipulação da plataforma de modo a não tornar este capítulo excessivamente extenso. Como tal, apresentam-se os resultados na importação do ficheiro de Excel, diretamente para a base de dados e a sua exportação depois de alguns alunos terem acedido ao simulador. Para analisar toda a página do administrador (Home.php) será inserido em anexo a página na sua totalidade para permitir uma melhor perceção do seu funcionamento e *template*.

Primeiro temos de obter o Excel dos alunos “Inscritos” no Clip como podemos verificar na figura 5.9.

	A	B	C	D	E	F	G
1		Guilherme Jorge Lima Almeida	11111	gjl.almeida	MIEEC	1ª	2ª
2	tpa	Afonso Silva	49924	a.silva	MIEEC	1ª	2ª
3		Ana Margarida Gomes	35374	am.gomes	MIEEC	2ª	3ª
4		Bruno Piedade Moreira	43169	bp.moreira	MIEEC	1ª	2ª

Figura 5.9 - Ficheiro Excel retirado do Clip

Depois de importado o ficheiro, a plataforma escolhe a terceira coluna como o nome do aluno e a quarta coluna como *e-mail*. Para isso é adicionado no final “@campus.fct.unl.pt” de modo a ser possível enviar o correio eletrónico com sucesso. Após adicionar essa última parte, é gerada uma senha com oito dígitos entre eles, números e letras, que é depois enviada para *e-mail*, sendo a senha encriptada imediatamente para a base de dados. Pode verificar-se o *e-mail* recebido pelos alunos na figura 5.10.



Figura 5.10 - E-mail de acesso ao simulador

Para concluir esta funcionalidade verifica-se se na plataforma do administrador e depois de alguns alunos teste terem acedido ao simulador, se este consegue visualizar toda a base de dados com todas as informações corretas. A figura 5.11 mostra o resultado da base de dados vista pelo administrador depois de cumpridas as condições referidas anteriormente.

Utilizadores Registados				
Nome	Email	Respostas Certas	Número de tentativas	Data do registo
11111	gjl.almeida@campus.fct.unl.pt	12/12	1/2	2018-09-09 15:28:02
49924	a.silva@campus.fct.unl.pt	7/12	1/2	2018-09-09 15:30:24
35374	am.gomes@campus.fct.unl.pt	10/12	2/2	2018-09-09 15:30:29
43169	bp.moreira@campus.fct.unl.pt	5/12	1/2	2018-09-09 15:30:33

Figura 5.11 - Visualização da base de dados importada

Com a base de dados implementada na plataforma, é feito um último teste, onde é transferida a base de dados dos alunos em formato Excel, confirmando-se que a informação da base de dados no site e a informação da base exportada é igual. Na figura 5.12 é mostrado o ficheiro transferido.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Name	Email	Resposta Certas	A1	B1	B2	C1	C2	C3	D1	D2	D3	D4	D5	D6	Tentativas
2	11111	gjl.almeida@campus.fct.unl.pt	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	49924	a.silva@campus.fct.unl.pt	7	0	0	2	0	3	0	3	0	0	3	3	3	1
4	35374	am.gomes@campus.fct.unl.pt	10	0	0	1	0	2	2	2	2	2	2	3	3	2
5	43169	bp.moreira@campus.fct.unl.pt	5	0	1	2	1	2	3	3	3	3	3	3	3	1

Figura 5.12 - Transferência da base de dados em Excel

Com a realização destes testes conclui-se que as funcionalidades foram alcançadas.

## 6 Conclusão e Trabalhos Futuros

O desenvolvimento de um simulador didático para estudo de transformadores monofásicos, foi atingido com sucesso, tendo em vista que os objetivos primários desta dissertação, foram alcançados.

De acordo com os resultados do simulador e da plataforma, conclui-se que:

- Pelos resultados apresentados a nível do aluno, o simulador comporta-se conforme seria esperado, sendo que os valores obtidos através dos testes foram os espectáveis. Através dos intervalos e dos algoritmos desenvolvidos para gerar valores aleatórios, é possível verificar que, mesmo que dois alunos escolham um transformador de relação primário/secundário e potência igual, o simulador gera valores diferentes para os ensaios em vazio e curto-circuito. De notar também que, a impedância de carga é gerada aleatoriamente para diferentes alunos.
- Ao nível de interação aluno/simulador por exemplo, este aplica todas as funcionalidades que era suposto como, indicação de número de tentativas restantes para resposta, indicação de resposta correta, aviso que caso o aluno saia a meio do simulador, os dados não serão guardados e contará como tentativa, entre outras funcionalidades;
- Relativamente à interação com o simulador por parte do administrador, as funcionalidades pretendidas, foram alcançadas com sucesso, sendo elas, importação de Excel e transferência da base de dados. Existem várias outras funcionalidades, que embora não tenham sido apresentadas, foram testadas, estando a funcionar como é suposto, como por exemplo, data limite de *login*, adicionar transformadores, entre outras.

Uma das falhas a ser colmatada numa atualização da plataforma, seria a sua melhoria a nível de segurança, especialmente ataques de *brute force* e Ddos.

Como trabalho futuro, sugere-se por exemplo:

- O simulador, apresentar o diagrama de vetores das tensões, correntes e potências, de modo a evidenciar as relações algébricas entre eles;

- Perguntar valores de potência ativa, reativa e aparente em carga;
- Novas funcionalidades de manipulação da plataforma a nível do administrador;
- Melhoramento a nível de *web design*;
- Fornecer a possibilidade de apresentar o *website* em Língua Inglesa.
- Editor de perguntas.





## Referências

- Bashier, E. *et al.* (2013) ‘Extraction of Electrical Power Transformer Parameters’, *International Journal Of Engineering And Computer Science*, pp. 188–195.
- Clarke, J. (2009) ‘SQL Injection Attacks and Defense’, *SQL Injection Attacks and Defense*, pp. 17–18. doi: 10.1016/B978-1-59749-424-3.X0001-1.
- Cogo, J. R. (1984) ‘Transformadores Teorias e ensaios’, pp. 19–20.
- Connolly, T., Begg, C. and Strachan, A. (1999) ‘Database Systems - A Practical Approach to Design Implementation and Management, Second Edition’. ADDISON-WESLEY, pp. 4–7.
- European, O. J. of the (2014) ‘Directive 2014/35/EU’, pp. 357–374.
- Figueira, P. (2013) ‘Projecto e construção de um transformador de potência supercondutor’, pp. 32–35.
- Goodman, D. (2001) ‘JavaScript Bible’, *Hungry Minds, Inc.*, pp. 4–5.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (2005) ‘IEC 60076-5’, *Power Transformer – Part 5: Ability to Withstand short circuit*, p. (MS 1787:PART 15).
- Mendonça, G. A. (2012) ‘Avaliação das Abordagens Empregadas em Estudos de Propagação Harmônica em Sistemas Elétricos’, pp. 51–52.
- Noxin, R. (2014) ‘Learning PHP, MySQL, JavaScript, CSS & HTML5 3rd Edition’. O’REILLY, pp. 45–46.
- Panta, P. (2009) ‘Web Design , Development and Security’. YOUNGSTOWN STATE UNIVERSITY, pp. 7–8.
- Pronto, A. (2010) ‘Análise de perdas em sistemas de energia que empregam materiais supercondutores de alta temperatura’. FCT-UNL, pp. 3–60..

San Martín, M. (2003) *Transformadores monofásicos - Aulamoisan*. Available at: <http://www.aulamoisan.com/software-moisan/transformadores-monofasicos>.

Stabile, M. (2008) *Programa para Cálculo de Transformadores*. Available at: [http://813am.qsl.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=24:programa-para-calculo-de-transformadores&catid=17:trafos&Itemid=77](http://813am.qsl.br/index.php?option=com_content&view=article&id=24:programa-para-calculo-de-transformadores&catid=17:trafos&Itemid=77).

Ventim Neves, M. (2014) 'Esquema equivalente do transformador Esquema aproximado do transformador'. FCT-UNL, pp. 16-18.

Zanini, B. (2016) 'Análise comparativa entre o uso de transformadores a seco e a óleo em subestações de média tensão', p. 34.

## 1 Descrição das variáveis das tabelas

Tabela A.1.1 - Descrição da tabela *users*

<b>NOME DA VARIÁVEL</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>ID (PRIMARY KEY)</b>	Identificador do utilizador
<b>USERNAME</b>	Nome do utilizador
<b>EMAIL</b>	E-mail do utilizador
<b>USER_TYPE</b>	Tipo de utilizador (user ou admin)
<b>PASSWORD</b>	Encriptação da senha
<b>CREATED_AT</b>	Data de quando foi inserido na base de dados

Tabela A.1.2 - Descrição da tabela *answers*

<b>NOME DA VARIÁVEL</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>R_ID (PRIMARY KEY)</b>	Identificador das respostas
<b>ID (FOREIGN KEY)</b>	Identificador do utilizador
<b>Q1 ATÉ Q12</b>	Número de tentativas em cada pergunta
<b>CORRECT</b>	Número de respostas corretas
<b>N_TRIES</b>	Número de utilizações do simulador

Tabela A.1.3 - Descrição da tabela *trans\_range*

<b>NOME DA VARIÁVEL</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>RID (PRIMARY KEY)</b>	Identificador da gama de tensão do transformador
<b>RANGE</b>	Gama de tensão

Tabela A.1.4 - Descrição da tabela *trans\_pri\_sec*

<b>NOME DA VARIÁVEL</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>PSID (PRIMARY KEY)</b>	Identificador da tensão primário/secundário
<b>RID (FOREIGN KEY)</b>	Identificador da gama de tensão do transformador
<b>PRIC_SEC</b>	Valores das tensões primário/secundário

Tabela A.1.5 - Descrição da tabela *trans\_pot*

NOME DA VARIÁVEL	DESCRIÇÃO
<b>PID (PRIMARY KEY)</b>	Identificador dos valores das perdas dos transformador e tensão percentual de curto-circuito
<b>PSID (FOREIGN KEY)</b>	Identificador da tensão primário/secundário
<b>POWER</b>	Valor da potência do transformador em kVA
<b>P_O</b>	Valor das perdas em vazio
<b>P_CC</b>	Valor das perdas em curto-circuito
<b>UCC</b>	Valor percentual da tensão em curto-circuito

## 2 Páginas do Website



**Simulador Didático de Transformadores Monofásicos**

Nome de utilizador

Senha

Ainda não está registado?

Copyright © 2018 - Simulador didático de transformadores monofásicos - Guilherme Almeida

Figura A.2.1 - login.php

---

### Registo

Nome de utilizador

Email

Senha

Confirmar senha

Já está registado? [Login](#)

---

Figura A.2.2 - register.php

## Simulador Didático de Transformadores Monofásicos

### Regras do Simulador Didático

- > Escolher um modelo de transformar de baixa ou média tensão;
- > Os cálculos devem ser todos feitos sempre com 5 casas decimais;
- > Os resultados finais devem ser arredondados em conformidade com o que é pedido na pergunta;
- > Tem 3 tentativas para acertar na grandeza, caso não consiga, será dado o valor para poder prosseguir;
- > Só poderá fazer login duas vezes na plataforma.

### Escolha o Tipo de Transformador

**Gamas de Tensão**  
Selecione a Gama ▼

**Tensão Primário/Secundário[V/V]**  
Selecione primeiro a Gama ▼

**Potência Aparente[kVA]**  
Selecione primeiro a Gama ▼

---

Figura A.2.3 - index.php

FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Índice de resultados

- > Primário/Secundário = 240/24 V
- > Potência = 0.1 kVA

### Simulador Didático de Transformadores Monofásicos

#### Pergunta A1

A relação de tensões primário/secundário é de 240 V para 24 V e a potência aparente do transformador de 0.1 kVA, calcule a corrente do primário e no secundário respetivamente (**arredonde o resultado final a 2 casas decimais**)

Corrente nominal no primário ( $I_{1n}$ ) =  A  
 Corrente nominal no secundário ( $I_{2n}$ ) =  A

[Próxima pergunta](#)

Figura A.2.4 - template para questions.php (exemplo: question1.php)

### Ensaio em Carga do Transformador Monofásico

#### Avaliação

Acertou

Acertou 8 de 12  
**Bom**

**11111** (User)  
[Logout](#)

Figura A.2.5 - final.php

**Admin - Home Page**



**lima** (Admin)  
[logout](#) [+ adicionar utilizador](#)

Download Base de Dados

Apagar Base de dados

**Admin Login feito com sucesso**

Importar Base de Dados  No file chosen

**Activação do login e registo**

**Datar encerramento do login: 12-09-2018**

Figura A.2.6 - home.php

**Adicionar transformador à base de dados**

Gama:    
 Primário/Secundário:  /  V  
 Potência:  kVA  
 Perdas em Vazio  W  
 Perdas em Curto-Circuito  W  
 Tensão de Curto-Circuito  %

Pesquisa de aluno    
 Escolha um aluno

**Utilizadores Registados**

Nome	Email	Respostas Certas	Número de tentativas	Data do registo
40449	guiherme_1@msn.com	0/12	0/2	2018-07-16 15:45:42
41253	alex@gmail.com	0/12	0/2	2018-07-16 15:45:44
42532	af.brito@msn.com	0/12	0/2	2018-07-16 15:45:46

Figura A.2.7 - home.php (continuação)

**Admin - Adicionar Utilizador**

Username

Email

Tipo de utilizador

Password

Confirme a password

Figura A.2.8 - create\_user.php

### 3 Código do Website

#### 3.1 Código genérico da página question.php (exemplo: question1.php)

```

<?php include('includes/question1_func.php');
if (!isLoggedIn()) {
    header('location: login.php');
}
switch($_SESSION['n_resp']){
    case "0":
        header('location: index.php');
        break;
    case "2":
        header('location: question2.php');
        break;
    case "3":
        header('location: question3.php');
        break;
    case "4":
        header('location: question4.php');
        break;
    case "5":
        header('location: question5.php');
        break;
    case "6":
        header('location: question6.php');
        break;
    case "7":
        header('location: question7.php');
        break;
    case "8":
        header('location: question8.php');
        break;
    case "9":
        header('location: question9.php');
        break;
    case "10":
        header('location: question10.php');
        break;
    case "11":
        header('location: question11.php');
        break;
}

```

```

        case "12":
            header('location: question12.php');
            break;
        case "13":
            header('location: final.php');
            break;
    }
?>

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
    <title>Bem Vindo ao Simulador Didático</title>
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="style.css">
</head>
<body>
<div class="header2">
    
</div>
    <div class="header" >
        <h2>Simulador Didático de Transformadores Monofásicos</h2>
    </div>
</div>
<div id="parent_div_1">
    <div class="header1">Índice de resultados
    </div>
<div class="child_div_1"> > Primário/Secundário = <?php
    echo $_SESSION['pri_sec']; ?> V <br>> Potência = <?php
    echo $_SESSION['potencia']; ?> kVA
</div>
</div>
<div align="left">
    <br>
</div>
    <div class="header">
        <h2>Pergunta A1</h2>
    </div>
<form method="post" action="question1.php" style="border-radius: 0px 0px 10px 10px;">
    <script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/2.1.1/jquery.min.js"></script>
    <div align="center">
        <h>A relação de tensões primário/secundário é de <?php echo $_SESSION['U1']; ?> V para <?php echo $_SESSION['U2']; ?> V e a potência aparente do transformador de
        <?php echo $_SESSION['potencia']; ?> kVA, calcule a corrente nominal no primário e secundário, respectivamente <strong>(arredonde o resultado final a 2 casas
        decimais)</strong></h>
    </div>
    <div align="center" class="btn">
    <h3>Corrente nominal no primário ( I<sub>1n</sub> ) = <input type="text" name="I1" id="I1" size="10"> A </h3>
    <h3>Corrente nominal no secundário ( I<sub>2n</sub> ) = <input type="text" name="I2" id="I2" size="10"> A </h3>
    <button type="submit" name="question1_btn">Próxima pergunta</button>
    </form>
    <?php echo display_error();?>
</div>
<script type="text/javascript">
    $(function() {
    $('input').on('input', function() {
        this.value = this.value
            .replace(/^[^d.]/g, "") // numbers and decimals only
            .replace(/^[^d]{6}/[d]/g, '$1') // not more than 2 digits at the beginning
            .replace(/(\.+)/g, '$1') // decimal can't exist more than once
            .replace(/(\.[^d]{2})/g, '$1'); // not more than 4 digits after decimal
    });
    });
</script>
</div>
    <div class="content">
        <!-- notification message -->
        <?php if (isset($_SESSION['success'])) : ?>
            <div class="error success" >
                <h3>
                    <?php
                        echo $_SESSION['success'];
                        unset($_SESSION['success']);
                    ?>
                </h3>
            </div>
        <?php endif ?>
        <!-- logged in user information -->
        <div class="profile_info">
            

```

```

        </div>
        <?php if (isset($_SESSION['user'])) : ?>
            <strong><?php echo $_SESSION['user']['username']; ?></strong>
            <small>
                <i style="color: #888;"><?php echo ucfirst($_SESSION['user']['user_type']); ?></i>
                <br>
                <button style="color: white;" class="btn" onclick="myFunction()">Logout</button>
            </small>
        <?php endif ?>
    </div>
</div>
<script>
function myFunction() {
    var r = confirm("Atenção! Sair da sessão conta como tentativa, os valores das respostas não são guardados.");
    if (r == true) {
        location.href="index.php?logout=1" ;
    }
}
</script>
<br>
<div style="font-size: 15px; margin-left:393px;" >
    Copyright &#169; 2018 - Simulador didático de transformadores monofásicos - Guilherme Almeida
</div>
</body>
</html>

```

## 3.2 Código genérico das funções question\_func.php (exemplo: question1\_func.php)

```

<?php include('includes/functions.php');
// call the question1() function if question1_btn is clicked
//Function that verify if the user answered correctly to the 1st question
if (isset($_POST['question1_btn'])) {
    question1();
}
function question1(){
    global $errors,$db;
    $_SESSION['acertou'] = "";
    // Set session variables
    $I1 = $_POST['I1'];
    $I2 = $_POST['I2'];
    $U1 = $_SESSION['U1'];
    $U2 = $_SESSION['U2'];
    $potencia = $_SESSION['potencia'];
    if($I1 != "" && $I2 != ""){
        if($I1 == round( (($potencia*1000)/$U1), 2, PHP_ROUND_HALF_UP) && $I2 == round( (($potencia*1000)/$U2),
        2, PHP_ROUND_HALF_UP)){
            $_SESSION['I1'] = $_POST['I1'];
            $_SESSION['I2'] = $_POST['I2'];
            $_SESSION['correct'] += 1;
            $_SESSION['n_resp'] = 2;
            $query_resp = "UPDATE answers SET correct=". $_SESSION['correct']." WHERE id=".$_SESSION['user']['id'];
            mysqli_query($db, $query_resp);
            if($_SESSION['n_tries'] != 0){
                $query_Q1 = "UPDATE answers SET Q1=". $_SESSION['n_tries']." WHERE
                id=".$_SESSION['user']['id'];
                mysqli_query($db, $query_Q1);
                $_SESSION['n_tries'] = 0;
            }
            $_SESSION['acertou'] = "Acertou";
            header('location: question2.php');
        }
    }
    else{
        $_SESSION['n_tries'] += 1;
        $tentativa = $_SESSION['n_tries'] +1;
        array_push($errors, "Erro, tentativa ". $tentativa. " de 3 ");
        $_POST['I1'] = "";
        $_POST['I2'] = "";
        if($_SESSION['n_tries'] == 3){
            $_SESSION['I1'] = round( (($potencia*1000)/$U1), 2, PHP_ROUND_HALF_UP);
            $_SESSION['I2'] = round( (($potencia*1000)/$U2), 2, PHP_ROUND_HALF_UP);
            $_SESSION['n_resp'] = 2;
        }
    }
}

```

```
        Squery_Q1 = "UPDATE answers SET Q1='". $_SESSION['n_tries']."' WHERE id='". $_SESSION['user']['id'];
        mysqli_query($db, Squery_Q1);
        $_SESSION['n_tries'] = 0;
        header('location: question2.php');
    }
}
else{
    array_push($errors, "Introduza os 2 valores");
}
}
?>
```