



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

LORENA JANISIA CORINGA COSTA

**UTILIZAÇÃO DO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO ORCAD COMO
FERRAMENTA PEDAGÓGICA APLICADA AO CURSO DE ENGENHARIA
ELÉTRICA**

CARAÚBAS/RN

2023

LORENA JANISIA CORINGA COSTA

**UTILIZAÇÃO DO *SOFTWARE* DE SIMULAÇÃO ORCAD COMO
FERRAMENTA PEDAGÓGICA APLICADA AO CURSO DE ENGENHARIA
ELÉTRICA**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Antônio Alisson Alencar Freitas

CARAÚBAS/RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C837u Costa, Lorena Janisia Coringa.
Utilização do software de simulação OrCAD como
ferramenta pedagógica aplicada ao curso de
Engenharia Elétrica / Lorena Janisia Coringa
Costa. - 2023.
112 f. : il.

Orientador: Antonio Alisson Alencar Freitas.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2023.

1. Educação. 2. Manual. 3. OrCAD. 4. Simulação.
5. Software. I. Freitas, Antonio Alisson Alencar
, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

LORENA JANISIA CORINGA COSTA

**UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ORCAD COMO
FERRAMENTA PEDAGÓGICA APLICADA AO CURSO DE ENGENHARIA
ELÉTRICA**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharelado em Engenharia Elétrica.

DEFENDIDA EM: 15/05/2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



ANTONIO ALISSON ALENCAR FREITAS

Data: 26/05/2023 19:51:20-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Antônio Alisson Alencar Freitas, Prof. Me. (UFERSA)

Presidente

Documento assinado digitalmente



FRANCISCO DE ASSIS BRITO FILHO

Data: 26/05/2023 18:52:59-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Francisco de Assis Brito Filho, Prof. Dr. (UFERSA)

Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



ERIKA OLIVEIRA DOS SANTOS

Data: 26/05/2023 19:37:44-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Erika Oliveira dos Santos, Engenheira Eletricista
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Vanizia da Costa Coringa e João de Deus Coringa, por todo amor, carinho, apoio e incentivo que me deram ao longo da vida. Amo vocês!

Agradeço a Vinícios, meu namorado, por todo apoio a mim dado durante os últimos anos. Obrigada pelos “puxões de orelha” para realizar esse trabalho, e pelos momentos de distração quando eu precisei esquecer ele.

Agradeço aos meus tios Maria José (Pequena) e Francisco Antônio, por se fazerem presentes durante o decorrer da graduação, me levando pra faculdade e me trazendo pra casa em segurança por um trajeto que muitos consideram tão perigoso.

Agradeço a Erika por acreditar em mim e me oferecer palavras de incentivo durante os momentos difíceis do curso, que não foram poucos. Obrigada por sua amizade! À Beatriz, Mayra e Joerdson, que se tornaram mais próximos apenas no final do curso, mas que tiveram um papel muito importante para sua conclusão.

O meu muito obrigada aos técnicos do laboratório Alex e Charles, sem vocês a execução desse trabalho seria infinitamente mais complicada. Agradeço por toda paciência, atenção e disponibilidade pra me ajudar com todos os problemas de conexão com o computador do laboratório, que ocorreram com mais frequência que o esperado.

Agradeço ao meu orientador Alisson por toda a paciência que teve comigo nos últimos anos. Obrigada por todos os direcionamentos e maravilhosas contribuições para a construção desse trabalho. Além de tudo isso, te agradeço também por todas as conversas e por me acalmar nos momentos de desespero. Sem dúvidas você teve um papel muito importante para a minha formação!

RESUMO

Ao longo da última década, dispositivos eletrônicos vêm se tornando cada vez mais presentes no cotidiano da população, estando inseridos nas mais diversas áreas de aplicação. No âmbito da educação, os computadores são bastante utilizados por possibilitarem o emprego de *softwares* educacionais em sala de aula, os quais englobam diversos tipos de programas computacionais com propósitos de ensino-aprendizagem. De acordo com a literatura, tais *softwares* apresentam inúmeros benefícios no processo de construção do conhecimento dos discentes. Dessa forma, o presente trabalho propõe a utilização do *software* de simulação OrCAD como uma ferramenta pedagógica aplicada às disciplinas do curso de Engenharia Elétrica da UFERSA Campus Caraúbas. Com o intuito de tornar mais simples a utilização do programa, esse trabalho apresenta um manual com os principais procedimentos necessários para a utilização de duas ferramentas muito úteis para a elaboração de projetos de circuitos eletrônicos: o Capture CIS e o PSpice AD. Para apresentar suas funcionalidades, além de um circuito resistivo simples, também foram montados e simulados alguns dos principais circuitos estudados na disciplina de eletrônica de potência. Através deles, foram apresentadas algumas especificações do programa de simulação, como a modelagem de componentes ideais, a edição de componentes, a resolução de problemas de convergência durante a simulação, dentre outros procedimentos considerados relevantes.

Palavras-Chave: Educação. Manual. OrCAD. Simulação. *Software*.

ABSTRACT

Over the last decade, electronic devices have become increasingly present in the daily lives of the population, being inserted in the most diverse areas of application. In the field of education, computers are widely used because they allow the use of educational software in the classroom, which include different types of computer programs with teaching-learning purposes. According to the literature, such software offers numerous benefits in the students' knowledge construction process. Thus, the present work proposes the use of the OrCAD simulation software as a pedagogical tool applied to the disciplines of the Electrical Engineering course at UFERSA Campus Caraúbas. In order to make the use of the program simpler, this work presents a manual with the main procedures necessary for the use of two very useful tools for the elaboration of electronic circuit projects: Capture CIS and PSpice AD. To present its functionalities, in addition to a simple resistive circuit, some of the main circuits studied in the discipline of power electronics were also assembled and simulated. Through them, some specifications of the simulation program were presented, such as modeling ideal components, editing components, solving convergence problems during simulation, among other procedures considered relevant.

Keywords: Education. Manual. OrCAD. Simulation. Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos <i>softwares</i> educacionais de acordo com seu objetivo.	22
Figura 2: Caminho para iniciar o Capture CIS 17.4.....	29
Figura 3: Iniciando o Capture CIS 17.4.	29
Figura 4: Tela inicial do OrCAD Capture.....	30
Figura 5: Criando novo projeto.	31
Figura 6: Criando novo projeto.	32
Figura 7: Criando um projeto em branco.	32
Figura 9: Ambiente de trabalho do Capture CIS.....	33
Figura 10: Adicionando um novo esquemático ao projeto.	34
Figura 11: Renomeando um esquemático e adicionando mais páginas de projeto.	34
Figura 12: Esquemático renomeado.....	34
Figura 13: Abrindo a Place Part.	35
Figura 14: Aba Place Part.	35
Figura 15: Adicionando bibliotecas ao projeto.	36
Figura 16: Adicionando bibliotecas ao projeto.	36
Figura 17: Menus da Place Part.....	37
Figura 18: Símbolo esquemático do resistor.	37
Figura 19: Símbolo esquemático do capacitor.	38
Figura 20: Símbolo esquemático do indutor.	38
Figura 21: Símbolo esquemático da fonte de tensão CC.	38
Figura 22: Símbolo esquemático da fonte de tensão CA.	39
Figura 23: Símbolo esquemático da fonte de tensão senoidal.	39
Figura 24: Símbolo esquemático da fonte de tensão pulsada.....	39
Figura 25: Símbolo esquemático do Diodo não comercial.	40
Figura 26: Símbolos esquemáticos dos Transistores bipolares NPN e PNP.....	41
Figura 27: Símbolos esquemáticos dos MOSFETs NMOS e PMOS.	41
Figura 28: Símbolo esquemático da chave controlada por tensão.	41
Figura 29: Circuito resistivo utilizado como exemplo.	42
Figura 30: Busca por um resistor na Place Part.	43
Figura 31: Place Ground, biblioteca CAPSYM.	43
Figura 32: a)Componente com nome GND_EARTH. b) Componente com nome 0.	44
Figura 33: Componentes adicionados ao esquemático.	44

Figura 34: Acessando a Modeling Application.....	45
Figura 35: Janela Modeling Application.....	45
Figura 36: Janela para a modelagem de transformadores.	46
Figura 37: Janela para a modelagem de fontes independentes.....	46
Figura 38: Desenhando os condutores no esquemático.	47
Figura 39: Circuito com componentes devidamente conectados.	47
Figura 40: Alterando o valor de um resistor.	48
Figura 41: Janela Property Editor.....	50
Figura 42: Configuração de exibição do parâmetro AC.	51
Figura 43: Configuração dos parâmetros da fonte VSIN.....	52
Figura 44: Circuito com os devidos valores atribuídos aos componentes.	52
Figura 45: Adicionando nomes aos trechos do circuito.	53
Figura 46: Circuito com os trechos nomeados.	53
Figura 47: Criando um novo perfil de simulação.....	54
Figura 48: Nomeando o perfil de simulação.	54
Figura 49: Janela das configurações de simulação.....	55
Figura 50: Configurando as especificações da análise Bias Point.	56
Figura 51: Configurando as especificações da análise transitória.....	56
Figura 52: Configurando as especificações da análise DC Sweep.....	57
Figura 53: Configurando as especificações da análise AC Sweep/Noise.	58
Figura 54: Guia Options.....	58
Figura 55: Guia Probe Window.	59
Figura 56: Tela inicial do PSpice AD 17.4.	61
Figura 57: Realocação das janelas no PSpice AD.....	61
Figura 58: Ambiente de simulação após ajustes.	62
Figura 59: Inserindo ponteiras de medição no esquemático.	63
Figura 60: Locais padrão para inserção das ponteiras de medição.	64
Figura 61: Formas de onda obtidas através da utilização das ponteiras de medição.	64
Figura 62: Adicionando uma nova curva manualmente.....	65
Figura 63: Janela para a inserção de novas curvas.....	65
Figura 64: Criando uma nova área de plotagem.	66
Figura 65: Ambiente de simulação com duas janelas de plotagem.....	67
Figura 66: Formas de onda inseridas na janela de plotagem.....	68
Figura 67: Transportando a forma de onda para uma nova janela de plotagem.	68

Figura 68: Formas de onda em dois gráficos distintos.....	69
Figura 69: Formas de onda com escalas muito distintas.....	70
Figura 70: Adicionando um novo eixo ao gráfico.....	70
Figura 71: Adicionando um novo eixo ao gráfico.....	71
Figura 72: Atribuindo corrente ao eixo dois.	71
Figura 73: Gráfico com eixos configurados.....	72
Figura 74: Deletando um eixo.....	72
Figura 75: Iniciando a personalização dos eixos.....	73
Figura 76: Guia para edição do eixo X.	73
Figura 77: Guia para edição do eixo Y.	74
Figura 78: Guia para edição da grade do eixo Y.....	74
Figura 79: Grade do gráfico e seus tipos de linhas.	75
Figura 80: Gráficos com valores de 200 e 50 atribuídos ao parâmetro Major Spacing.....	76
Figura 81: Gráficos com valores de 2 e 5 atribuídos ao parâmetro Minor Spacing.....	76
Figura 82: Iniciando a janela de personalização dos traços.	77
Figura 83: Janela de propriedades do traço.....	77
Figura 84: Modificação das características da forma de onda.	78
Figura 85: Formas de onda com diferentes configurações de personalização.	78
Figura 86: Ativando o cursor do PSpice.	79
Figura 87: Utilização dos cursores para obter valores numéricos.....	80
Figura 88: Janela <i>Probe Window</i> contendo os valores medidos pelos cursores.	80
Figura 89: Opções para facilitar a navegação com o cursor.	81
Figura 90: Utilização da função MAX().	82
Figura 91: Forma de onda do valor máximo da tensão de entrada.	83
Figura 92: Utilização da função AVG().	83
Figura 93: Forma de onda do valor médio da tensão de entrada.....	84
Figura 94: Expressão para o cálculo do valor médio de formas de onda senoidais com simetria no eixo x.	85
Figura 95: Forma de onda do valor médio utilizando a expressão alternativa.....	85
Figura 96: Utilização da função RMS().	86
Figura 97: Forma de onda do valor eficaz da tensão de entrada.	86
Figura 98: Expressão para a plotagem da forma de onda do valor eficaz de uma onda senoidal.	87
Figura 99: Forma de onda do valor rms utilizando a expressão alternativa.....	87

Figura 100: Retificador monofásico de onda completa com transformador abaixador na entrada.	88
Figura 101: Símbolo esquemático do XFRM_LINEAR.	89
Figura 102: Editando o fator de acoplamento e as indutâncias do transformador.	90
Figura 103: Atribuindo os parâmetros calculados para o transformador.	90
Figura 104: Parâmetros padrão do modelo do Dbreak.	91
Figura 105: Parâmetros de um diodo ideal.	91
Figura 106: Circuito esquemático eletricamente correto.	92
Figura 107: Circuito esquemático eletricamente incorreto I.	93
Figura 108: Circuito esquemático eletricamente incorreto II.	93
Figura 109: Perfil de simulação do retificador com transformador na entrada.	94
Figura 110: Configurações do perfil de análise transitória.	94
Figura 111: Formas de onda das tensões apresentando deformações.	95
Figura 112: Modificando o valor do Maximum step size.	96
Figura 113: Formas de onda das tensões no primário e secundário do transformador e na carga resistiva.	96
Figura 114: Retificador trifásico de seis pulsos com filtro capacitivo.	97
Figura 115: Editando as propriedades do sistema de alimentação do circuito.	98
Figura 116: Retificador trifásico de onda completa sem filtro capacitivo.	99
Figura 117: Retificador trifásico de onda completa com filtro capacitivo.	99
Figura 118: Formas de onda da tensão de linha na entrada e da tensão na carga, bem como seus valores de pico.	100
Figura 119: Obtendo a Transformada de Fourier das ondas analisadas.	101
Figura 120: FFT da tensão de linha de entrada do circuito.	101
Figura 121: FFT da tensão de saída do circuito sem filtro capacitivo.	102
Figura 122: Janela de configurações de simulação do PSpice.	102
Figura 123: Habilitando a auto convergência.	103
Figura 124: Habilitando a auto convergência.	103
Figura 125: Formas de onda da tensão na saída do circuito, com e sem filtro capacitivo. ...	104
Figura 126: Valores de tensão de pico e médio medidos na saída com e sem a utilização de filtro capacitivo.	104
Figura 127: FFT da tensão de saída do circuito com filtro capacitivo.	105
Figura 128: Conversor Boost.	105
Figura 129: Valores padrão dos parâmetros da chave.	106

Figura 130: Valores personalizados para os parâmetros da chave.....	106
Figura 131: Parâmetros da fonte do circuito de acionamento.....	107
Figura 132: Esquemático do conversor boost.	108
Figura 133: Formas de onda das tensões de entrada e saída do conversor boost.....	108
Figura 134: Medição dos valores médios das curvas.....	109
Figura 135: Ganho do conversor boost.	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Extensões dos arquivos OrCAD.	28
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Abreviaturas das potências de base 10 no OrCAD.	49
Tabela 2: Parâmetros da guia Options.....	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
	2.1 <i>SOFTWARES</i> DE SIMULAÇÃO DE CIRCUITOS ELETRÔNICOS	24
	2.1.1 Psim	24
	2.1.2 Proteus.....	24
	2.1.3 Multisim	25
	2.1.4 OrCAD	26
	2.1.5 Proposição do trabalho.....	27
3	ORCAD	28
	3.1 CAPTURE CIS 17.4	29
	3.1.1 Criando um novo projeto no Capture CIS 17.4	31
	3.1.2 Adicionando uma biblioteca ao projeto	35
	3.1.2.1 Bibliotecas mais usuais	37
	3.1.2.1.1 Analog	37
	3.1.2.1.2 Source	38
	3.1.2.1.3 Breakout.....	40
	3.1.3 Desenhando o esquemático de um circuito	42
	3.1.3.1 Inserindo componentes no projeto	42
	3.1.3.1.1 Modeling Application.....	44
	3.1.3.2 Interligando os componentes do projeto	47
	3.1.3.3 Editando os atributos dos componentes.....	48
	3.1.3.3.1 Editando os parâmetros individualmente.....	48
	3.1.3.3.2 Editando os parâmetros a partir do Editor de propriedades.	49
	3.1.3.4 Adicionando nomes aos trechos do circuito.....	53
	3.1.4 Criando um perfil de simulação	54

3.1.4.1	Guia Analysis.....	55
3.1.4.2	Guia Options.....	58
3.1.4.3	Guia Probe Window.....	59
3.2	PSPICE AD 17.4.....	60
3.2.1	Adicionando curvas ao PSpice AD	62
3.2.1.1	Utilizando Ponteiros.....	62
3.2.1.2	Manualmente	65
3.2.2	Editando a área de simulação	66
3.2.2.1	Criando uma nova janela de plotagem	66
3.2.2.2	Adicionando um novo eixo ao gráfico	69
3.2.2.3	Personalizando eixos	72
3.2.2.4	Personalizando cores e traços	77
3.2.3	Obtendo valores a partir das formas de onda	79
3.2.3.1	Pico	82
3.2.3.2	Médio.....	83
3.2.3.3	Eficaz	85
4	APLICAÇÕES.....	88
4.1	RETIFICADOR MONOFÁSICO DE ONDA COMPLETA COM TRANSFORMADOR ABAIXADOR NA ENTRADA.....	88
4.1.1	Esquemático.....	89
4.1.1.1	Transformador	89
4.1.1.2	Diodo	91
4.1.1.3	Circuito final.....	92
4.1.2	Simulação	94
4.2	RETIFICADOR TRIFÁSICO DE ONDA COMPLETA COM E SEM FILTRO CAPACITIVO	97
4.2.1	Esquemático.....	97
4.2.1.1	Sistema de alimentação da entrada	98

4.2.1.2	Circuito final.....	99
4.2.2	Simulação.....	100
4.3	CONVERTOR BOOST	105
4.3.1	Esquemático.....	105
4.3.1.1	Chave e circuito de acionamento	106
4.3.1.2	Circuito final.....	107
4.3.2	Simulação	108
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	110
	REFERÊNCIAS.....	111

1 INTRODUÇÃO

Um projeto de engenharia, no geral, é executado visando desenvolver um sistema, que pode ser um produto, equipamento ou uma estrutura, por exemplo. Durante sua elaboração, muitas vezes são empregados métodos analíticos, nos quais são utilizadas equações matemáticas onde são inseridos valores de entrada com a finalidade de obtenção de uma ou mais variáveis de saída (ESSS, 2017).

Porém, considerando fins práticos, existe uma distância muito grande entre efetuar o projeto matemático/quantitativo, e implementá-lo de forma experimental, podendo ocasionar problemas com sobredimensionamento, fatores de segurança e maiores custos de produção, além de possíveis ferimentos dependendo da natureza do experimento.

Tais problemas ocorrem devido a alguns fatores serem considerados ideais ou mesmo ignorados ao realizar o dimensionamento, de forma que o resultado apresenta uma margem de erro bastante considerável. Embora os testes experimentais apresentem bons resultados, eles necessitam de protótipos para sua realização, muitas vezes exigindo inúmeras repetições, aumentando o custo de execução do projeto. Além disso, pode-se deparar com problemas como falta de equipamentos e componentes.

Diante disso, uma poderosa ferramenta utilizada na elaboração de projetos de engenharia são os *softwares*, que vêm apresentando uma grande contribuição para a realização de cálculos e modelagem de inúmeros tipos de sistemas.

No mercado, *softwares* de simulação são utilizados por profissionais das mais diversas áreas. Eles possibilitam a inserção de variáveis reais e a modificação de inúmeros parâmetros do projeto, de maneira que é possível reproduzir um produto ou processo real, permitindo que determinada operação seja observada antes de sua execução (CAPTERRA, 2023).

No setor de energia solar fotovoltaica, por exemplo, esses programas são utilizados para realizar a análise de sombreamento do local da instalação, permitindo que o projetista obtenha informações detalhadas a respeito das sombras presentes nesse local em diferentes momentos do dia e do ano, possibilitando realizar o projeto da maneira mais eficiente (SUNERGIA, 2019).

Outra aplicação dos *softwares* é na realização de simulações estruturais, que são importantíssimas para validar uma enorme gama de projetos, como de carros, aviões, estruturas, máquinas e equipamentos, nos quais um ensaio destrutivo muitas vezes é inviável. Assim, com a simulação é possível analisar o comportamento de componentes submetendo-os a situações que aconteceriam na prática, permitindo a criação de mecanismos de proteção para o próprio projeto e também para os indivíduos que usufruirão dele (PJ CONSULTORIA, 2023).

Os *softwares* também vêm ganhando espaço no meio acadêmico, sendo considerados grandes aliados dos discentes. Sua utilização pode contribuir com a redução dos erros advindos dos cálculos manuais realizados pelos discentes durante a graduação, que são bastante recorrentes tendo em vista a pouca experiência deles perante o dimensionamento do projeto e como deve ocorrer seu funcionamento na prática. Dessa forma, é através da simulação que o equacionamento desenvolvido pode ser validado.

Além disso, Linden (2018) e Garbin e Kampff (2021) os apontam como facilitadores da compreensão e absorção de assuntos vistos nas disciplinas teóricas, promovendo assim um aprimoramento do aprendizado dos alunos.

Eles também apresentam um impacto positivo na complementação das práticas de laboratório, tendo em vista que muitas vezes se depara com a falta de materiais e equipamentos, inviabilizando a execução de uma análise prática. Assim, a utilização de um *software* permite que o projeto seja simulado de maneira bastante eficaz.

Grande parte dos discentes da graduação de engenharia elétrica, por exemplo, faz uso de *softwares* como o *Psim*, *Multisim*, *Proteus*, *Altium Designer* e *OrCAD* para realizar simulações de circuitos eletrônicos. Dentre eles, o *OrCAD* pode ser destacado como um dos mais importantes, apresentando inúmeras ferramentas e podendo ser utilizado para o desenho de esquemas e placas de circuitos.

Portanto, esse trabalho tem como objetivo desenvolver um material de apoio didático abordando as principais ferramentas encontradas no *software OrCAD*, contribuindo como um facilitador para a realização das tarefas destinadas aos discentes do curso de Engenharia Elétrica da UFERSA Campus Caraúbas.

No capítulo 2, será apresentado um estudo bibliográfico a respeito da importância de materiais didáticos como ferramenta de ensino, bem como as contribuições observadas pela utilização de *softwares* para essa finalidade.

No capítulo 3, será apresentado o *software OrCAD*, com uma explanação a respeito das diversas ferramentas ofertadas por ele. Em seguida, o foco será dado a duas ferramentas principais, o *OrCAD Capture* e o *PSpice AD*, apresentando seus ambientes de trabalho e os procedimentos gerais utilizados para realizar o projeto do esquemático e simulação de um circuito.

No capítulo 4, serão descritas algumas aplicações utilizando as ferramentas mencionadas, de maneira que a absorção do conhecimento a respeito das ferramentas se torne mais simples.

No capítulo 5, serão encontradas as considerações finais a respeito do presente trabalho.

No capítulo 6, serão apresentadas as referências utilizadas para a realização do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Diante das constantes inovações tecnológicas e da crescente demanda por conhecimentos nas áreas de ciência e tecnologia, os computadores vêm se tornando cada vez mais presentes no cotidiano da população mundial.

Eles são apontados por Jucá (2006) como um importante instrumento de mediação tecnológica no setor educacional, e segundo Coelho (2019) eles já eram utilizados para essa finalidade antes mesmo dos avanços tecnológicos vivenciados na última década.

Sua utilização se dá principalmente por possibilitar a aplicabilidade de *softwares* categorizados como educacionais nos mais diversos níveis de ensino, do básico ao superior. De acordo com Jucá (2006) e Tavares e Silva (2017), tal categoria de *softwares* engloba tanto os desenvolvidos especificamente para serem utilizados como ferramenta de ensino-aprendizagem, quanto os elaborados para outras aplicações, mas que são empregados com a mesma finalidade.

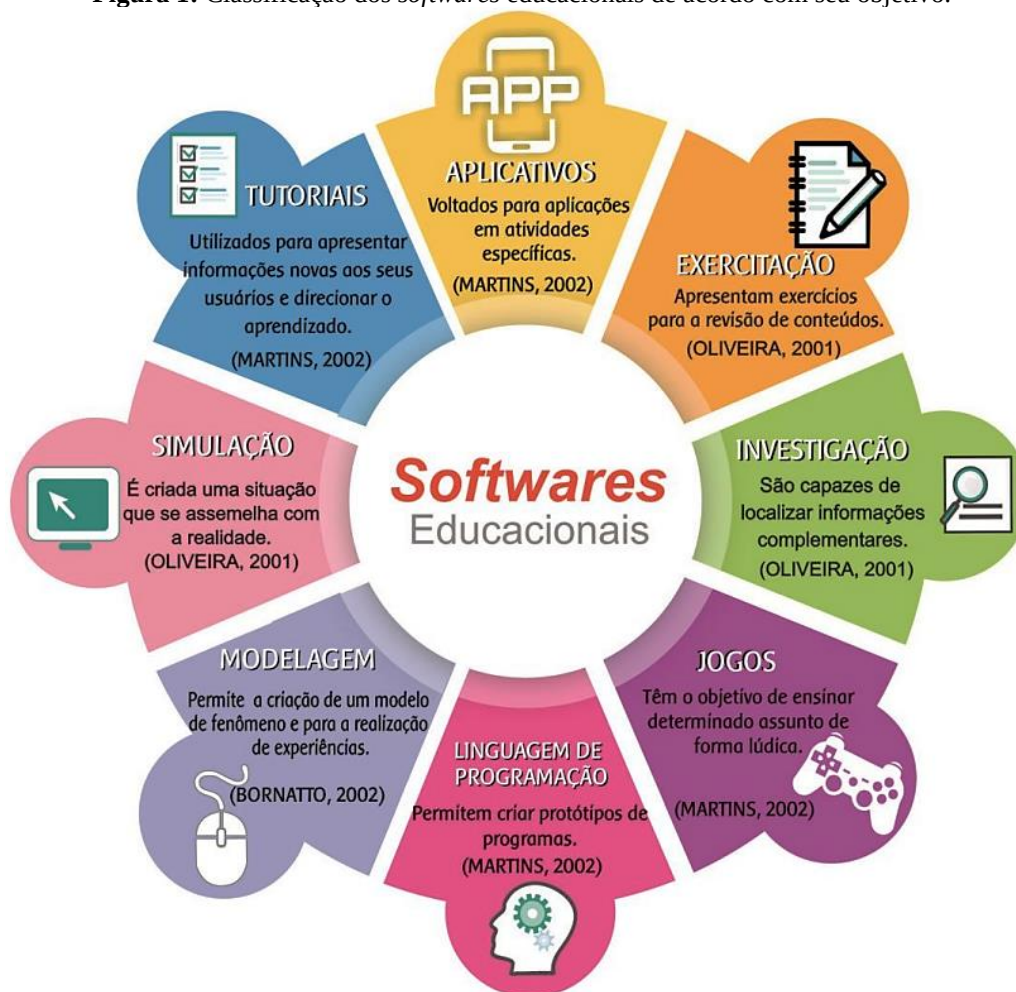
Tavares e Silva (2017) realizaram uma pesquisa bibliográfica através de diversas publicações científicas nacionais e apresentaram como resultado de seu trabalho uma classificação dos diferentes tipos de *softwares* educacionais encontrados na literatura. A Figura 1 ilustra uma síntese dos tipos de *softwares* educacionais de acordo com seus objetivos e suas respectivas descrições.

Como pode-se observar na figura, os programas computacionais foram divididos em oito categorias distintas, podendo ser classificados em *softwares* de simulação, modelagem, linguagem de programação, jogos, investigação, exercitação, aplicativos e tutoriais, e cada um deles é utilizado para um determinado objetivo.

Esses programas vêm apresentando tal relevância no âmbito educacional pois, através deles, é possível demonstrar como ocorrem processos estudados de maneira teórica, muitas vezes de difícil compreensão e visualização por apresentarem conceitos abstratos. Dessa forma, Ferreira et al. (2021) e Jucá (2006), os apontam como uma maneira de diversificar a metodologia de ensino, fazendo com que os discentes se sintam atraídos pelo conteúdo ministrado.

De acordo com Gouvêa e Nakamoto (2015), a utilização de *softwares* educativos como ferramenta pedagógica é capaz de impulsionar o processo de aprendizagem dos discentes, tendo em vista o desenvolvimento da habilidade de resolução de problemas, gerenciamento de informações, raciocínio lógico e investigação.

Figura 1: Classificação dos *softwares* educacionais de acordo com seu objetivo.



Fonte: (TAVARES E SILVA, 2017).

Na literatura, os *softwares* são mencionados como ferramenta pedagógica nas mais variadas áreas de estudo e níveis de ensino. Sousa (2022) apresenta o *Stellarium* aplicado ao estudo de astronomia no ensino fundamental. Sousa, Azevedo e Alves (2021) relatam a utilização do *software* Geogebra como recurso tecnológico no ensino de geometria analítica aplicada ao curso de licenciatura em matemática. Arruda e Guimarães (2019), apontam a utilização do MicroDEM como ferramenta didática no estudo de geografia física no ensino médio.

Em Borba (2018), o VisuAlg é apresentado como recurso didático contribuinte para o ensino de lógica de programação em um curso técnico de informática. Silveira, Melo Junior e Silva (2021) relatam a utilização do *software* Physion no ensino de física aplicado ao curso de licenciatura em física. Em Ferreira et al. (2021), o *software* Avogadro foi estudado como uma ferramenta auxiliar no ensino de química na educação básica.

Mediante informações obtidas por meio dos trabalhos citados acima, podem ser destacadas algumas vantagens comumente observadas ao empregar *softwares* como ferramentas de ensino. Dentre elas, uma maior motivação dos discentes perante o estudo dos conteúdos ministrados, o desenvolvimento de novas habilidades e uma maior autonomia no processo de construção do conhecimento.

Diante disso, a utilização dessas ferramentas pode ser considerada uma possível solução para dois problemas encontrados na educação superior, destacados por Martins et al. (2014) em seu trabalho: a evasão e a retenção dos discentes. Esses problemas apresentam como fatores contribuintes a dificuldade de adaptação ao novo contexto acadêmico, o déficit de conhecimento adquirido no ensino médio e as diferenças de metodologia utilizadas durante a ministração dos conteúdos.

Em Jucá (2006), os *softwares* de simulação são mencionados como uma opção para resolver os problemas decorrentes da ausência de recursos físicos nas universidades, como materiais e equipamentos, de maneira que os discentes podem obter o conhecimento necessário a partir da modelagem computacional de sistemas reais.

Dessa forma, além de contribuir com o desenvolvimento cognitivo dos discentes, o aprendizado obtido através da utilização dos *softwares* pode ter um papel fundamental em sua vivência profissional.

Na engenharia, o emprego de *softwares* como meio de substituição de materiais e equipamentos pode ser útil em diversas aplicações. Na engenharia elétrica, por exemplo, *softwares* de simulação são bastante utilizados nas áreas de eletrônica para a realização da análise do funcionamento de circuitos e para o projeto de placas de circuito impresso.

O autor Daniel W. Hart, em seu livro “Eletrônica de potência: análise e projetos de circuitos”, apresenta diversos exemplos de circuitos simulados através do *software* PSpice (atualmente denominado OrCAD), como forma de complementar as técnicas de solução analíticas descritas no decorrer de seu trabalho.

Segundo o autor, a simulação computacional pode ser utilizada como uma forma de favorecer o estudo a respeito do comportamento dos circuitos de eletrônica de potência, elevando o aprendizado dos alunos à uma dimensão diferente da que seria vivenciada através da manipulação de equações matemáticas.

De acordo com Hart (2012), a visualização do comportamento das formas de onda de tensão e corrente através de um *software* de simulação é capaz de proporcionar aos discentes a vivência de experiências típicas de laboratório. Além disso, o autor ressalta que o estudo dessas

ondas através de programas torna-se ainda mais eficiente que nas aulas práticas laboratoriais, sendo muito mais simples realizar alterações em componentes e parâmetros de funcionamento.

2.1 SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DE CIRCUITOS ELETRÔNICOS

Os ambientes de simulação de circuitos são ferramentas imprescindíveis para a elaboração de projetos, permitindo que uma análise seja realizada sem a execução de uma implementação física, resultando em um processo mais ágil e com custo reduzido.

Dentre os *softwares* de simulação de circuitos elétricos e eletrônicos comumente utilizados pelos discentes e profissionais de engenharia elétrica, podem ser mencionados: Psim, Proteus, Multisim e OrCAD, os quais serão descritos a seguir.

2.1.1 Psim

O *software* PSIM foi desenvolvido pela empresa Powersim no ano de 1994, e está disponível no mercado há 28 anos, apresentando como versão mais atual a 2022.1. Esse ambiente de simulação possui uma interface para a criação de esquemáticos e uma janela de visualização de formas de onda. Ele é amplamente utilizado na área de eletrônica de potência para realizar o acionamento de motores e conversão de energia, se fazendo presente na indústria e no meio acadêmico.

De acordo com a powersim (2023), o PSIM apresenta diversos módulos que permitem a simulação de sistemas robustos em diversas áreas. Algumas possibilidades de aplicação do *software* mencionadas no site do desenvolvedor são para a simulação de drives de motores, sistemas de suprimento de energia, microrredes conectadas à rede, conversores multiníveis, dispositivos não ideais e armazenamento e geração de energia.

Em Campos (2019), o *software* PSIM foi utilizado como ferramenta para realizar o controle de um conversor CC-CC com ganho de tensão de 24V para 311V. Lopatkin (2021), apresenta o PSIM na simulação das formas de onda de tensão e corrente da saída de um inversor trifásico ponte H em cascata com sete níveis. Em Vacheva e Hinov (2020), o PSIM foi utilizado para a realização da modelagem matemática e simulação de um conversor CC-CC com objetivos educacionais.

2.1.2 Proteus

O *software* Proteus Design Suite, também chamado apenas de Proteus, é utilizado por engenheiros e projetistas no desenvolvimento de projetos eletrônicos. Ele foi criado pela Labcenter Electronics Ltd, e já se encontra disponível no mercado há 35 anos, podendo ser encontrado em francês, inglês, chinês ou espanhol.

Segundo a Labcenter Electronics (2023), a versão mais atual do *software* é a 8.15, e une módulos de captura esquemática e *layout* de PCB para que seja possível projetar placas de circuito impresso de maneira profissional.

No ambiente de captura esquemática, encontram-se disponíveis ferramentas que podem ser utilizadas para a elaboração de PCBs ou mesmo para a simulação de sistemas embarcados. Já o ambiente de esquemático da PCB fornece dezenas de bibliotecas de *footprints* pré-instaladas, opção de roteamento manual ou automático e visualização 3D.

Apesar de possuir uma licença proprietária, a empresa fornece uma versão para estudantes, permitindo que discentes possam utilizá-lo de forma gratuita. Em Bich e Le (2022), o *software* Proteus foi utilizado como uma alternativa para virtualizar o curso prático sobre controle de motores elétricos, de maneira que os alunos do curso de engenharia elétrica não tivessem seu processo de aprendizagem interrompido tendo em vista a suspensão das atividades presenciais decorrentes da pandemia do COVID-19.

Já em Haidoury et al. (2022), o Proteus foi empregado na realização do projeto de um conversor boost utilizado para regular a tensão de saída de uma célula a combustível, muito utilizada em produtos como veículos elétricos.

2.1.3 Multisim

O Multisim é um *software* proprietário utilizado para o projeto e simulação de circuitos eletrônicos. Sua versão mais atual é a 14.3, e é compatível com o sistema operacional Windows, encontrando-se disponível para download em inglês e alemão. Seu ambiente de simulação apresenta ferramentas que possibilitam a realização de projetos de educação e pesquisa nas áreas de eletrônica de potência, analógica e digital (NATIONAL INSTRUMENTS, 2023).

Em Corcau et al. (2015), o Multisim foi utilizado para realizar a implementação e análise de um conversor boost com dois estágios paralelos, com entrada de 24 Vcc e saída de 48 Vcc, possibilitando que suas características fossem traçadas ao final do projeto.

Noga e Palczynska (2018) apresentam o Multisim como uma opção de laboratório virtual para que os graduandos em engenharia elétrica e eletrônica possam compreender de

forma mais simples os conteúdos ministrados nas aulas teóricas, como o processamento digital de sinais.

2.1.4 OrCAD

O OrCAD é um *software* proprietário que apresenta diversas ferramentas poderosas para a realização de projetos eletrônicos, que permitem a realização de tarefas que vão desde a criação de esquemáticos até a análise de integridade de sinais de PCBs (ORCAD, 2023).

Ele foi criado pela empresa OrCAD Systems Corporation, cujos primeiros produtos desenvolvidos foram o *Schematic Design Tools* (STD) e o *Verification and Simulation Tools* (VST), utilizados para realizar o desenho de esquemáticos e sua simulação digital, respectivamente. Posteriormente, a linha de produtos foi ampliada e passou a permitir o desenvolvimento de FPGAs.

No ano de 1997, a OrCAD se fundiu com a MicroSim, adquirindo o PSpice, *software* utilizado para realizar a simulação de sinais analógicos e mistos. Em 1999, a OrCAD e toda sua linha de produtos foi adquirida pela *Cadence Design Systems*.

Em 2005, o OrCAD foi integrado com o Allegro, um *software* de projeto de PCB da empresa Cadence, originando uma solução para resolver desafios de todos os níveis com relação ao projeto de PCB.

Uma ferramenta muito utilizada pelos projetistas é o OrCAD Capture, sendo amplamente empregada na criação e documentação de circuitos elétricos. Através de sua utilização é possível simplificar esquemáticos complexos, tendo em vista a capacidade de inserir hierarquias e utilizar projetos anteriores, além de apresentar integração direta com as ferramentas de simulação de *layout* de PCB. Sua tecnologia possibilita acelerar o desenvolvimento dos projetos e reduzir seus custos em decorrência da presença de um sistema de informações de componentes integrado, o OrCAD CIS.

Uma outra ferramenta muito importante é o OrCAD PSpice Designer, que permite ao usuário simular circuitos de alto desempenho, possibilitando a realização da análise e do refinamento de circuitos, componentes e parâmetros antes que o projeto seja submetido ao *layout* e fabricação. A tecnologia PSpice permite a visualização de formas de onda, realiza análises de temperatura, estresse, Monte Carlo e pior caso, além de apresentar convergência avançada e recursos de ajuste de curva.

Outra ferramenta disponível é o OrCAD PCB Designer, o qual possibilita aos projetistas a criação e edição de PCBs simples e complexas. Dentre os recursos disponíveis podem ser

mencionados uma planta baixa automática com posicionamento interativo e roteamento inteligente, formas dinâmicas e um sistema de restrições físicas e elétricas importantes na elaboração do design do projeto. Além disso, o *software* fornece uma visualização em 3D do projeto em desenvolvimento, apresentando diversas opções de exibição.

O *software* de simulação OrCAD foi utilizado por Darabant, Pop e Vatavu (2019) para realizar a implementação de uma nova abordagem de ensino de dispositivos não lineares. Para a realização do trabalho, foi realizada a modelagem de uma lâmpada fluorescente.

Em Castro e Fraga (2004), o OrCAD e o Multisim foram estudados como ferramentas pedagógicas aplicadas à resolução de exercícios da disciplina de circuitos elétricos I do curso de Engenharia Elétrica da Unesp. Os resultados obtidos com a utilização dos *softwares* foram muito satisfatórios, apresentando um tempo de resolução de problemas bastante reduzido em comparação com os métodos manuais.

2.1.5 Proposição do trabalho

Diante dos fatos expostos anteriormente, considerando a relevância apresentada pelos *softwares* educacionais na carreira acadêmica dos discentes e a possibilidade de utilização de um *software* de simulação para tal finalidade, esse trabalho se propõe a introduzir o OrCAD como uma ferramenta pedagógica nas disciplinas do curso de engenharia elétrica da Ufersa Campus Caraúbas, contribuindo com o processo de aprendizado dos futuros engenheiros eletricitas.

A escolha desse *software*, dentre tantos outros existentes, se deu em decorrência da parceria existente entre a UFERSA e a empresa responsável por sua comercialização, de forma que os computadores presentes nos laboratórios têm acesso ao programa devidamente licenciado, permitindo que os discentes possam executar infinitas possibilidades de projetos através de suas ferramentas.

Em decorrência do caráter pouco intuitivo da interface com o usuário e o pouco material disponibilizado para consulta (em sua grande maioria encontrado em língua estrangeira), o presente trabalho apresentará um manual de utilização do *software*, retratando os procedimentos necessários para a elaboração de projetos básicos.

3 ORCAD

Tendo em vista o caráter de apresentação inicial do *software* OrCAD como ferramenta de apoio didática às disciplinas do curso de engenharia elétrica, o presente trabalho retratará apenas as ferramentas de desenho esquemático (OrCAD Capture) e simulação (OrCAD PSpice).

Além disso, em decorrência da grande quantidade de aplicações oriundas das diversas disciplinas ofertadas pelo curso, o foco será dado a aplicações da área de eletrônica de potência, na qual são estudados diversos tipos de conversores.

Considerando um projeto criado utilizando as ferramentas citadas anteriormente, o Quadro 1 apresenta os tipos de arquivo e as respectivas extensões que cada um deles origina. Apesar de o presente trabalho não detalhar a utilização do OrCAD PCB Designer (encontrado como PCB Editor 17.4), o quadro também apresenta os arquivos originados por ele.

Quadro 1: Extensões dos arquivos OrCAD.

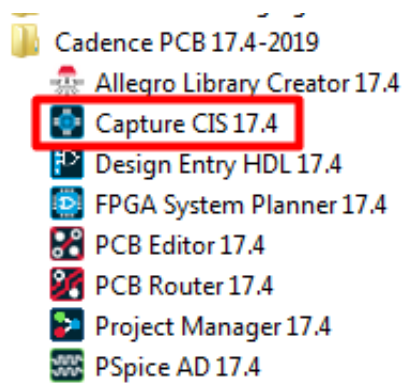
Extensão	Programa	Descrição
.opj	Capture	Arquivo de texto do projeto
.dsn	Capture	Arquivo binário do projeto
.dbk	Capture	Arquivo de <i>backup</i> , recarrega em caso de falha
*Folders	Capture	Pastas para arquivos sim
.lib	PSpice	Bibliotecas PSpice que podem ser vinculadas/incluídas
.cir	PSpice	Arquivo de circuito de nível superior do PSpice
.sim	PSpice	Arquivo de texto das configurações de simulação
.net	PSpice	<i>Netlist</i> do circuito PSpice
.prb	PSpice	Arquivo de texto de visualizações personalizadas do controle de exibição
.out	PSpice	Arquivos de simulação log, consultar configurações do sim para detalhamento.
.dat	PSpice	Arquivo de dados de simulação binária, pode ser aberto com PSpice AD ou TCL.
.pad	PCB Editor	Arquivo binário do <i>padstack</i>
.dra	PCB Editor	Arquivo binário do <i>footprint</i>
.olb	PCB Editor	Arquivo binário da biblioteca
.brd	PCB Editor	Arquivo binário do <i>layout</i> da PCB
.mdd	PCB Editor	Arquivo binário do subcircuito/template para facilitar o roteamento.

Fonte: Autoria Própria (2023).

3.1 CAPTURE CIS 17.4

O OrCAD Capture está disponível com o nome “*Capture CIS 17.4*”. Ele é utilizado para criar o projeto esquemático de circuitos. Para iniciá-lo, basta acessar o menu Iniciar do computador, em seguida Todos os Programas → *Cadence PCB 17.4 – 2019* → Capture CIS 17.4, como mostrado na Figura 2.

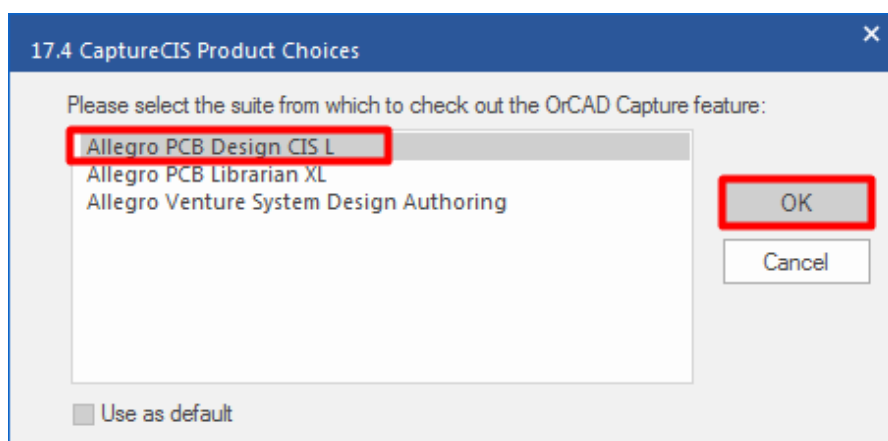
Figura 2: Caminho para iniciar o Capture CIS 17.4.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Após isso, uma janela será aberta e nela deve-se escolher a opção *Allegro PCB Design CIS L* (Figura 3).

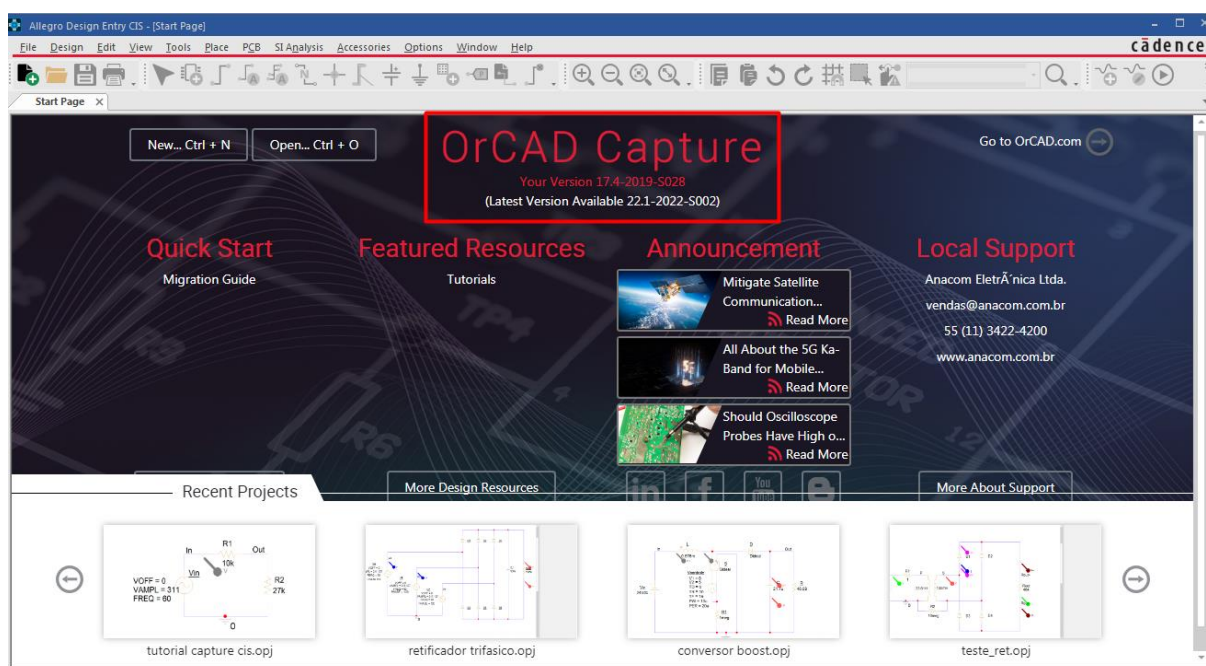
Figura 3: Iniciando o Capture CIS 17.4.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A tela inicial do Capture CIS é apresentada na Figura 4. Destacada pelo retângulo vermelho encontra-se a indicação da versão mais atual do *software* e a versão instalada no computador. Além disso, na parte inferior da página são mostrados os projetos recentes, caso o programa já tenha sido utilizado anteriormente.

Figura 4: Tela inicial do OrCAD Capture.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Na parte superior é encontrada a barra de menus do programa. Porém, só é possível utilizar a maioria de suas ferramentas quando um projeto está em execução. Algumas das funcionalidades fornecidas por esses menus serão listadas a seguir:

- **Menu File:** nesse menu são encontradas as opções de criar um novo projeto (*New* → *project*), salvar um projeto em execução (*Save*), abrir um projeto existente (*Open* → *project*), entre outras.
- **Menu Design:** menu onde é encontrada a opção de criar um novo esquemático.
- **Menu Edit:** nesse menu são fornecidas ferramentas utilizadas na edição do esquemático do circuito. Dentre elas, as ferramentas de recortar (*Cut*), copiar (*Copy*), colar (*Paste*), espelhar horizontal e verticalmente (*Mirror*) e rotacionar (*Rotate*). Além disso, também é possível desfazer uma ação (*Undo*) e refazer uma alteração desfeita (*Redo*).
- **Menu View:** Esse menu apresenta um submenu com ferramentas muito importantes para a navegação no ambiente de trabalho, que é o Toolbar. Através

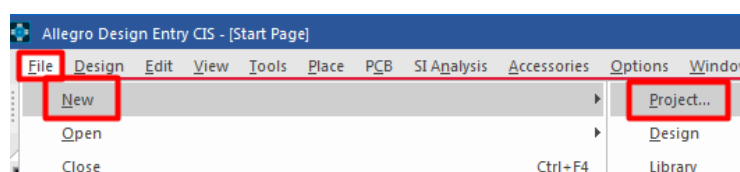
dele é possível habilitar atalhos bastante úteis para a execução do projeto. Dentre eles:

- *PSpice*: fornece atalhos utilizados para realizar a simulação, como a criação e edição de perfis de simulação, além de habilitar as ponteiros de medição de tensão, corrente e potência;
 - *View*: fornece atalhos com as diferentes opções de zoom.
 - *Edit*: habilita atalhos com as opções de edição do menu *Edit*, como cortar, copiar, colar, entre outras.
 - *File*: fornece atalhos utilizados para criar ou abrir um documento, salvar e imprimir.
 - *Draw Electrical*: habilita os principais atalhos utilizados para a criação do esquemático, como a inserção de componentes (*Place Part*), a inserção de fios para a conexão dos componentes (*Place Wire*), a criação de barramentos (*Place Bus*), entre outros.
 - *Draw Graphical*: habilita os atalhos utilizados para a criação de desenhos de diversas formas geométricas, como retângulo, elipse, arco, além de permitir a inserção de textos.
- **Menu *Place***: nesse menu são fornecidas ferramentas utilizadas na criação do esquemático, como a inserção de componentes, fios, barramentos, texto, nomeação dos nós (*Net Alias*), dentre outras.
 - **Menu *PSPice***: através desse menu é possível criar ou editar um perfil de simulação, rodar a simulação para o perfil ativo, verificar seus resultados e os arquivos de saída.
 - **Menu *Options***: são encontradas ferramentas para a edição do *layout*, no submenu “*Preferences*”. Através dele, pode-se alterar cores, configurações de grade, fontes, entre outras.

3.1.1 Criando um novo projeto no Capture CIS 17.4

Para criar um novo projeto, basta selecionar o menu *File* → *New* → *Project*, como mostrado na Figura 5.

Figura 5: Criando novo projeto.

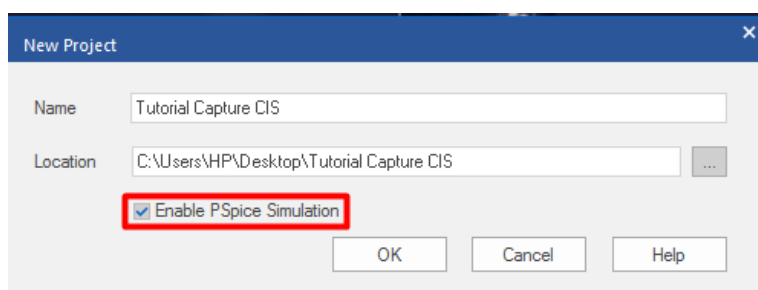


Fonte: Autoria Própria (2023).

Com isso, é aberta a caixa de diálogo ilustrada pela Figura 6. Inicialmente, é preciso nomear o projeto. No exemplo, será utilizado o nome “Tutorial Capture CIS”. Além disso, é necessário indicar onde o arquivo será salvo. Para simplificar, é indicado criar uma pasta de fácil identificação para aloca-lo. Ao salvar o projeto na pasta, ela não poderá ser renomeada, pois acarretará erros de diretório.

A opção *Enable PSpice Simulation* deve ser habilitada caso o usuário deseje simular o circuito esquemático projetado, de forma que serão criados os arquivos de simulação. Caso desabilitada, serão criados apenas os arquivos do próprio esquemático, impossibilitando a realização da simulação.

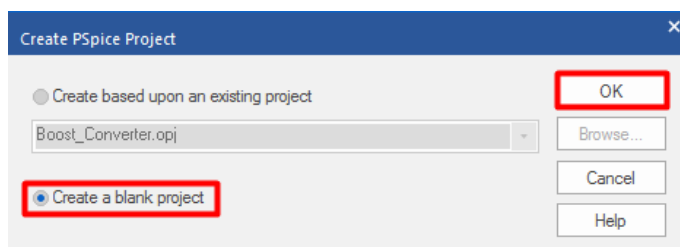
Figura 6: Criando novo projeto.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Após isso, uma nova janela é aberta, Figura 7. Dessa vez, é possível optar entre criar um projeto em branco (*Create a blank Project*) ou com base em um modelo de projeto do próprio programa (*Create based upon an existing projectc*), no qual é necessário selecionar qual o circuito desejado. No exemplo, será criado um projeto em branco. Vale salientar que, caso seja escolhido um modelo preexistente, as bibliotecas utilizadas em seu esquemático virão previamente adicionadas. No caso de um projeto em branco, é necessário adicioná-las manualmente.

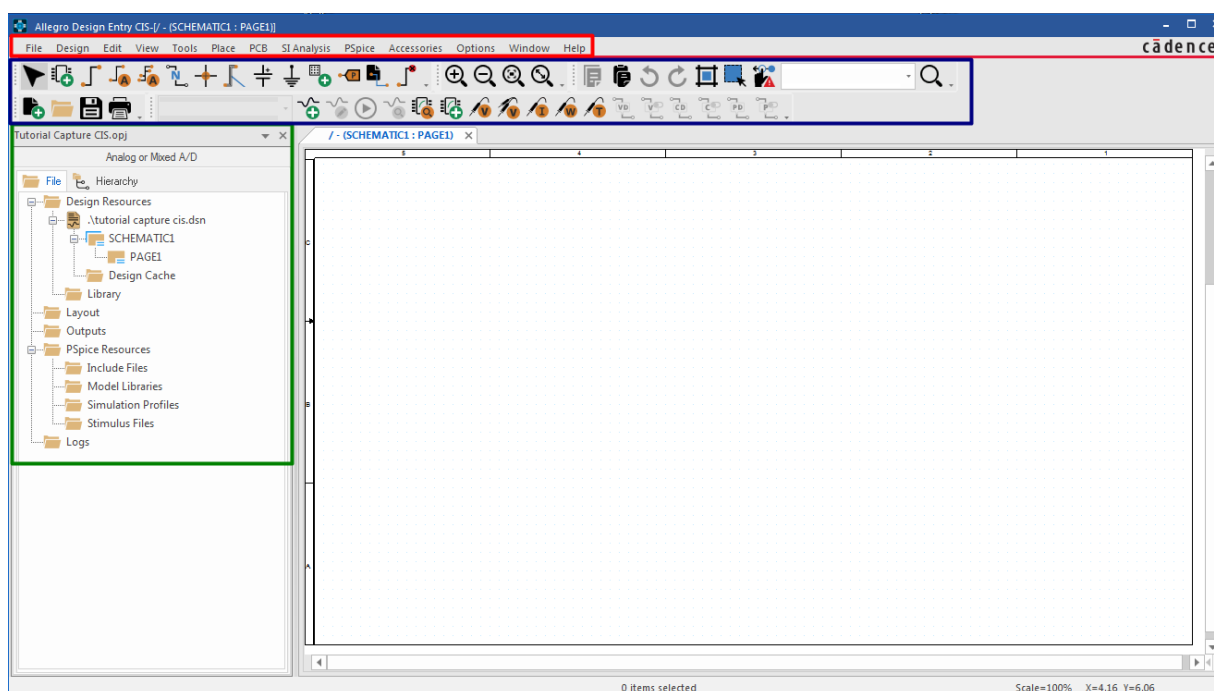
Figura 7: Criando um projeto em branco.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Com o projeto criado, é possível navegar pelo ambiente de trabalho do *OrCAD Capture*, mostrado na Figura 8.

Figura 8: Ambiente de trabalho do Capture CIS.



Fonte: Autoria Própria (2023).

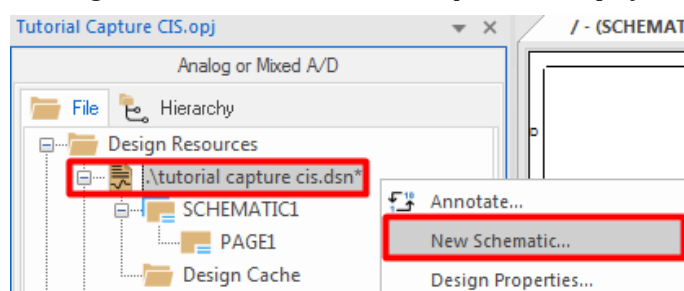
Na parte superior, destacado pelo retângulo vermelho, encontra-se a barra de menus do programa, os quais foram detalhados no subtópico anterior. Destacados pelo retângulo azul, encontram-se os atalhos habilitados através do menu *View*, os quais são utilizados para simplificar o desenho do esquemático. O ambiente de trabalho, área de cor branca, é onde serão inseridos os elementos que compõem o circuito.

Destacada pelo retângulo verde encontra-se a janela do gerenciador de projetos, com seus três diretórios principais, que são o *Design Resources*, o *Output* e o *PSpice Resources*. Em *Design Resources* estão contidos os esquemáticos e bibliotecas do projeto. Em *Output* são apresentados seus arquivos de saída e em *PSpice Resources* podem ser encontrados recursos do PSpice, como os perfis de simulação.

Na Figura 8, pode-se observar que uma pasta do projeto com extensão *.dsn, chamada *Tutorial Capture CIS*, foi criada dentro do diretório *Design Resources*. Dentro dela, está presente uma outra pasta chamada *SCHEMATIC1*, que contém uma página de esquemático denominada *PAGE1*, na qual será desenhado o esquemático do circuito.

Caso seja necessário, é possível criar vários esquemáticos diferentes dentro de um único arquivo de projeto e nomeá-los da maneira desejada. Uma forma de criar um novo esquemático é selecionando a pasta do projeto com o botão direito do mouse e escolhendo a opção *New Schematic*, como mostrado na Figura 9.

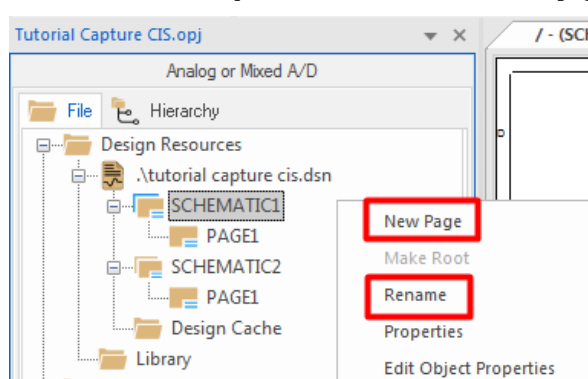
Figura 9: Adicionando um novo esquemático ao projeto.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 10 apresenta o gerenciador de projetos com o novo esquemático adicionado. Além disso, também são ilustradas as opções utilizadas para renomear um esquemático e adicionar mais páginas a ele. Para que as opções apresentadas sejam exibidas, basta selecionar o esquemático desejado com o botão direito do mouse.

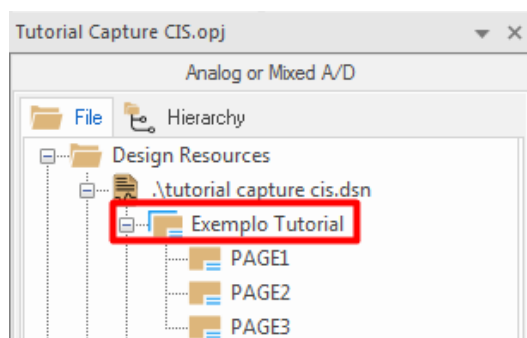
Figura 10: Renomeando um esquemático e adicionando mais páginas de projeto.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 11 ilustra o gerenciador de projetos com o esquemático 1 renomeado para *Exemplo Tutorial* e novas páginas adicionadas.

Figura 11: Esquemático renomeado



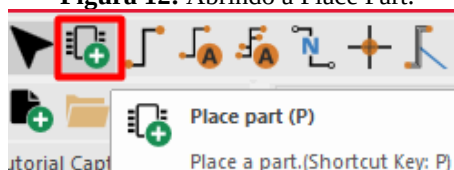
Fonte: Autoria Própria (2023).

3.1.2 Adicionando uma biblioteca ao projeto

Para desenhar o esquemático do circuito, é fundamental que as devidas bibliotecas estejam presentes no arquivo do projeto, pois nelas estão localizados os diversos componentes necessários para dar continuidade à execução do trabalho.

Para verificar se as bibliotecas estão inseridas no projeto, deve-se consultar o menu “Place Part”, localizado na barra de ferramentas (Figura 12) ou utilizar a tecla de atalho P.

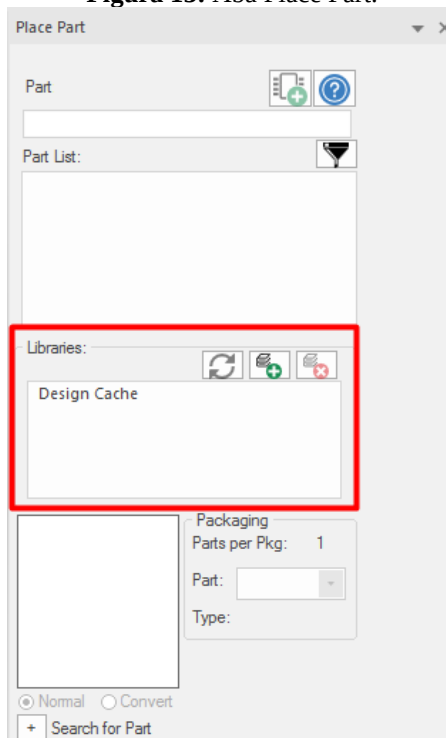
Figura 12: Abrindo a Place Part.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A aba “Place Part” é mostrada na Figura 13. As bibliotecas existentes no projeto podem ser encontradas em “Libraries”. Caso o espaço destinado a elas esteja em branco, como na figura, é necessário inseri-las manualmente. Normalmente isso ocorre ao criar um projeto em branco, como mencionado no subtópico anterior.

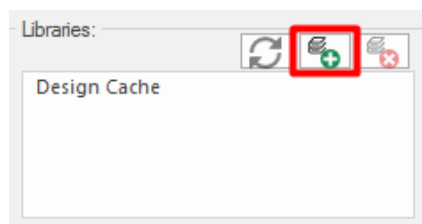
Figura 13: Aba Place Part.



Fonte: Autoria Própria (2023).

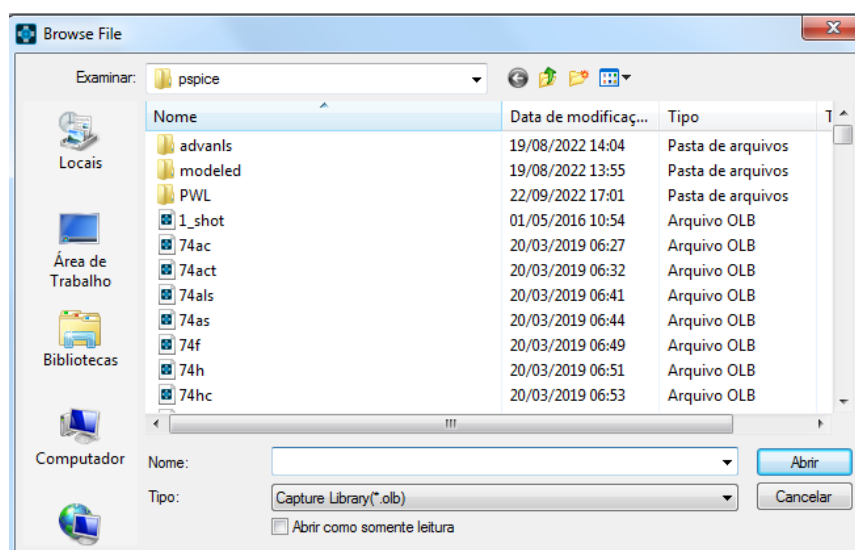
Para adicionar uma biblioteca ao projeto, é necessário clicar no botão “Add Library” (Figura 14). Após isso, será aberta uma janela que contém as bibliotecas disponíveis no OrCAD (Figura 15). Caso não exista um conhecimento prévio de onde está localizado o componente desejado, o indicado é que sejam adicionadas todas as bibliotecas. Para isso, basta selecioná-las e clicar em Abrir.

Figura 14: Adicionando bibliotecas ao projeto.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 15: Adicionando bibliotecas ao projeto.

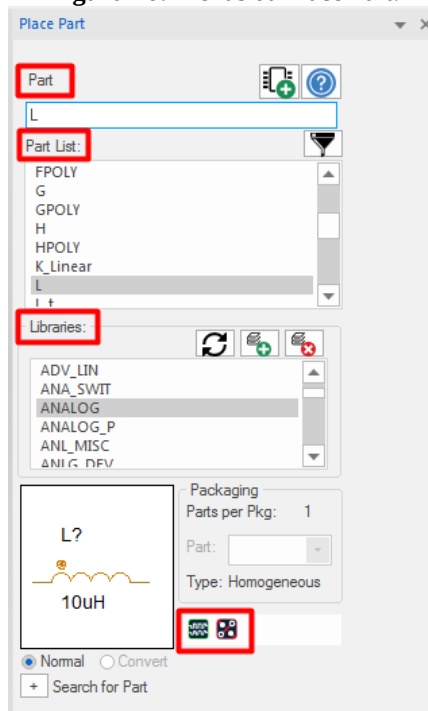


Fonte: Autoria Própria (2023).

Ao realizar esse procedimento, as bibliotecas já estarão disponíveis na aba *Place Part*, como mostrado na Figura 16. Em *Part* é possível pesquisar o nome do componente. Em *Part List*, é encontrada a lista de componentes que fazem parte da biblioteca selecionada. Em *Libraries*, agora estão listadas todas as bibliotecas inseridas no projeto. Na parte inferior, é possível observar o símbolo esquemático do componente selecionado, bem como a sinalização de que ele apresenta um modelo do PSpice (modelo numérico utilizado pelo software na simulação) e do *Layout* da PCB.

Se o símbolo do PSpice não aparecer, significa que não é possível utilizar esse componente na simulação de um circuito, pois o modelo matemático que o representa não está implementado na biblioteca.

Figura 16: Menus da Place Part.



Fonte: Autoria Própria (2023).

3.1.2.1 Bibliotecas mais usuais

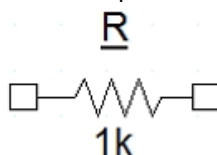
A seguir serão apresentadas bibliotecas muito utilizadas para a criação dos circuitos esquemáticos de maneira geral, que contém fontes, componentes passivos e semicondutores.

3.1.2.1.1 Analog

Na biblioteca *Analog* estão presentes componentes muito importantes para a construção de circuitos, como resistores, capacitores e indutores. A seguir, serão descritas as especificações solicitadas para cada componente, bem como seus símbolos esquemáticos.

- **Resistor (R):** É necessário inserir o valor da resistência (R), em *Ohms* [Ω].

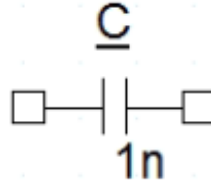
Figura 17: Símbolo esquemático do resistor.



Fonte: Autoria Própria (2023).

- **Capacitor (C):** É necessário inserir o valor da capacitância (C), em *Farad* [F].

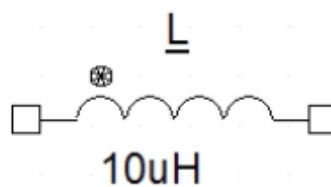
Figura 18: Símbolo esquemático do capacitor.



Fonte: Autoria Própria (2023).

- **Indutor (L):** É necessário inserir o valor da indutância (L), em *Henry* [H].

Figura 19: Símbolo esquemático do indutor.



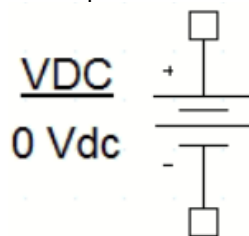
Fonte: Autoria Própria (2023).

3.1.2.1.2 Source

É na biblioteca *Source* que são encontrados os diversos tipos de fontes empregadas na realização de simulações. Dentre elas, estão presentes fontes de tensão e corrente independentes. As especificações gerais das fontes mais usuais serão descritas abaixo:

- **Fonte de tensão contínua (VDC):**

Figura 20: Símbolo esquemático da fonte de tensão CC.

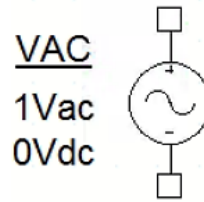


Fonte: Autoria Própria (2023).

- Vdc: Valor da tensão da fonte, em Volts [V].

- **Fonte de tensão senoidal no domínio da frequência (VAC):**

Figura 21: Símbolo esquemático da fonte de tensão CA.

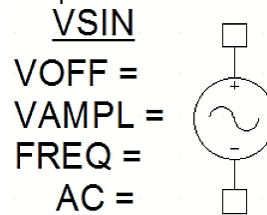


Fonte: Autoria Própria (2023).

- Vac: Valor eficaz da fonte de tensão alternada, em Volts [V].
- Vdc: Valor de offset de tensão contínua da fonte, em Volts [V].

- **Fonte de tensão senoidal no domínio do tempo (VSIN):**

Figura 22: Símbolo esquemático da fonte de tensão senoidal.

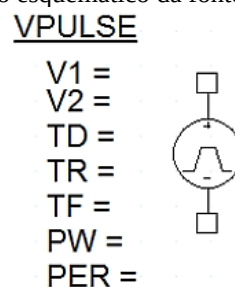


Fonte: Autoria Própria (2023).

- VOFF: Valor de offset de tensão contínua da fonte, em Volts [V].
- VAMPL: Valor da amplitude (pico) da tensão, em Volts [V].
- FREQ: Frequência da onda senoidal, em Hertz [Hz].
- AC: Amplitude da tensão para análise CA, em Volts [V].

- **Fonte de tensão pulsada (VPULSE):**

Figura 23: Símbolo esquemático da fonte de tensão pulsada.



Fonte: Autoria Própria (2023).

- V1: Valor inicial da tensão (nível baixo), em Volts [V].
- V2: Valor final da tensão (nível alto), em Volts [V].
- TD: tempo de atraso (delay)
- TR: tempo de subida de V1 para V2.
- TF: tempo de descida de V2 para V1.
- PW: Tempo ativo, largura do pulso em V2.
- PER: Período completo.

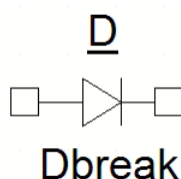
3.1.2.1.3 Breakout

Na biblioteca *Breakout* estão presentes componentes passivos e semicondutores não comerciais que apresentam um conjunto básico de parâmetros do modelo previamente definidos, porém permitem que seus modelos de simulação sejam personalizados pelo usuário, possibilitando inclusive a modelagem de dispositivos ideais.

Dentre os componentes presentes nessa biblioteca, serão apresentados a seguir os que mais se destacam, junto de seus parâmetros padrão pré-configurados pelo OrCAD. Porém, vale salientar que o *software* reconhece muitas outras especificações, desde que seus valores sejam determinados de acordo com a simbologia padronizada.

- **Diodo (Dbreak):**

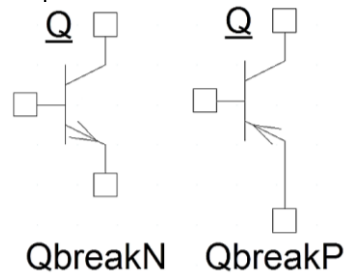
Figura 24: Símbolo esquemático do Diodo não comercial.



Fonte: Autoria Própria (2023).

- IS: Corrente de saturação, em Ampere [A].
 - CJO: Capacitância de junção PN, em Farad [F].
 - RS: Resistência parasita, em Ohm [Ω].
- **Transistor bipolar de junção (Qbreak):** Não apresentam nenhum parâmetro de modelo padrão. Dessa forma, para serem utilizados em uma simulação, deve ser adicionado o ganho estático de corrente direta (BF) ao modelo de simulação.

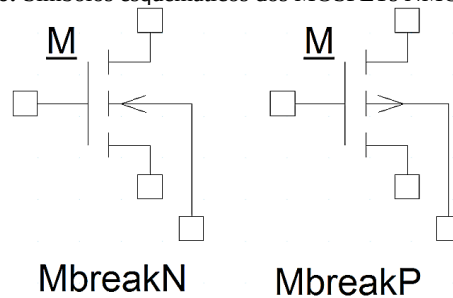
Figura 25: Símbolos esquemáticos dos Transistores bipolares NPN e PNP.



Fonte: Autoria Própria (2023).

- **Mosfet (Mbreak):** Não apresentam nenhum parâmetro de modelo padrão. Dessa forma, para serem utilizados em uma simulação, devem ser adicionados a tensão de limiar (VTO) e a constante KP ao modelo de simulação.

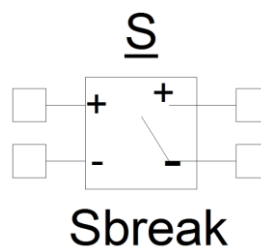
Figura 26: Símbolos esquemáticos dos MOSFETs NMOS e PMOS.



Fonte: Autoria Própria (2023)

- **Chave controlada por tensão (Sbreak):**

Figura 27: Símbolo esquemático da chave controlada por tensão.



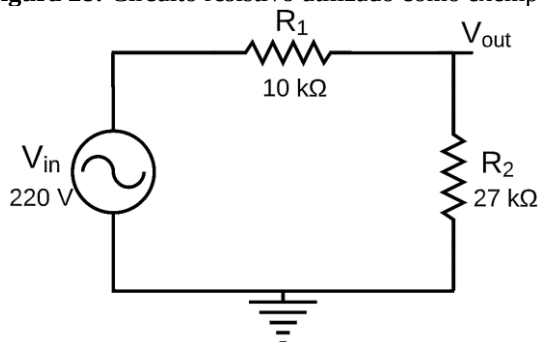
Fonte: Autoria Própria (2023).

- ROFF: Resistência “desligada”, em Ohm [Ω].
- RON: Resistência “ligada”, em Ohm [Ω].
- VOFF: Tensão de controle para estado desligado, em Volts [V].
- VON: Tensão de controle para estado ligado, em Volts [V].

3.1.3 Desenhando o esquemático de um circuito

Nesse subtópico será descrito o passo a passo utilizado para a criação de circuitos esquemáticos no *Capture CIS*. Para fins de exemplificação, o circuito resistivo ilustrado na Figura 28 será utilizado no decorrer de todo o presente capítulo.

Figura 28: Circuito resistivo utilizado como exemplo.



Fonte: Autoria Própria (2023).

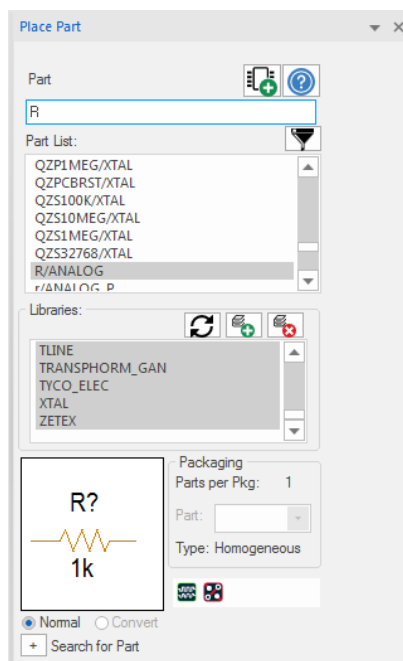
3.1.3.1 Inserindo componentes no projeto

O primeiro passo para desenhar o circuito é a inserção de seus componentes no ambiente de trabalho, sendo eles adicionados a partir das bibliotecas. Para o exemplo atual, serão utilizados apenas dois resistores e uma fonte de tensão senoidal. Como mencionado no subtópico 3.1.2.1, os resistores e a fonte são encontrados nas bibliotecas *Analog* e *Source*, respectivamente.

Caso o usuário não tenha conhecimento sobre qual biblioteca contém o elemento desejado, é possível realizar uma busca em todas elas de uma só vez. Para executar essa ação, é necessário que a *Place Part* (tecla de atalho P) esteja aberta.

A Figura 29 ilustra a realização da busca por um resistor, supondo que sua biblioteca não seja conhecida. Sendo assim, deve-se selecionar todas as bibliotecas presentes em *Libraries*. Fazendo isso, os inúmeros componentes disponíveis aparecerão em *Part List*. Tendo em vista a vasta gama de itens existentes nas bibliotecas, torna-se útil utilizar a opção *Part* para reduzir a busca. Para pesquisar o resistor, basta digitar *R* no campo de texto.

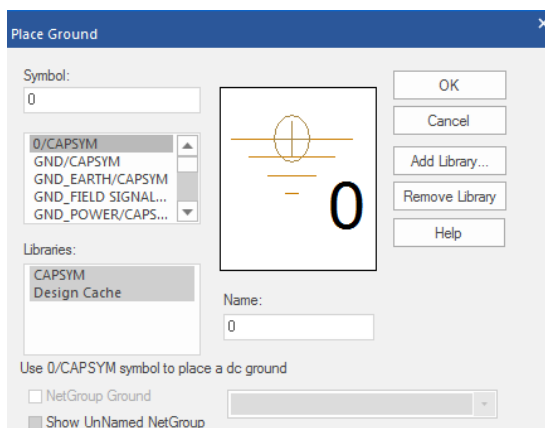
Ao encontrar o componente desejado, é possível selecioná-lo através de um duplo clique ou pressionando a tecla *Enter*. Após isso, ele estará disponível para inserção no ambiente de trabalho e se moverá seguindo o cursor do mouse. Ao posicioná-lo no local planejado, é preciso dar um clique com o botão esquerdo do mouse para adicioná-lo ao esquemático. Caso necessário, a ação de rotacionar o componente é realizada por meio da tecla *R*, e pode ser executada antes ou depois de inseri-lo no ambiente de trabalho. Para deletar um componente, basta selecioná-lo e pressionar a tecla *Del*.

Figura 29: Busca por um resistor na Place Part.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Além disso, para executar a simulação, é de suma importância que um ponto de potencial a “terra” seja atribuído ao circuito, tendo em vista que o OrCAD realiza o cálculo dos valores das tensões do circuito com relação a um potencial comum. Dessa forma, caso não seja inserido, a simulação indicará um erro em decorrência da presença de nós “flutuantes”, ou seja, que não apresentam um potencial definido.

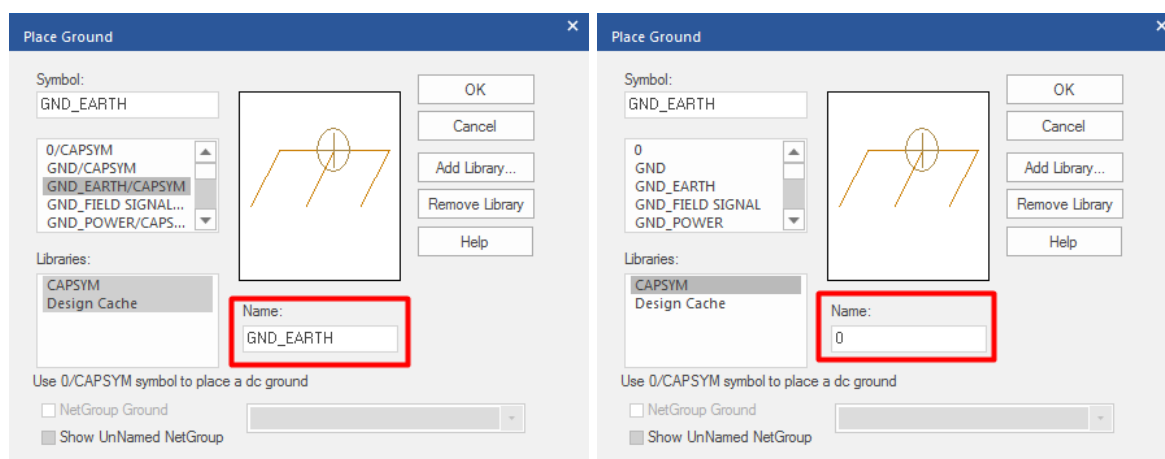
O atalho utilizado para inserir um terra no esquemático é a letra *G*, a qual abre uma janela de nome *Place Ground* (Figura 30) apresentando os componentes da biblioteca *CAPSYM*. Nela estão contidos diversos tipos de *GNDs* que podem ser atribuídos aos nós de referência do circuito. Normalmente, utiliza-se o “0/CAPSYM”.

Figura 30: Place Ground, biblioteca CAPSYM.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Uma observação importante é que se pode utilizar qualquer outro item da biblioteca CAPSYM, porém seu nome deve ser alterado para 0 (zero), caso contrário ainda ocorrerão erros de simulação decorrentes da presença de nós flutuantes. Na Figura 31a é mostrado o componente “GND_EARTH”, e na Figura 31b é indicada a mudança realizada em seu nome.

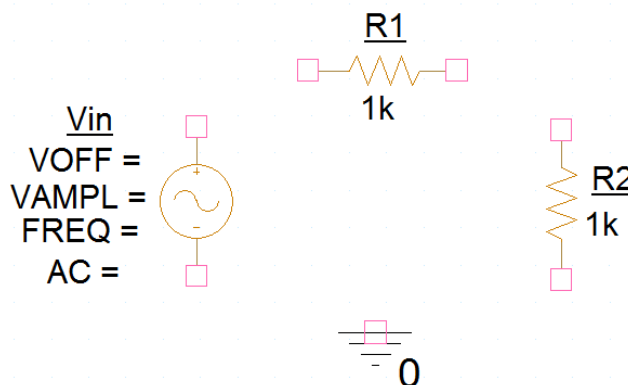
Figura 31: a) Componente com nome “GND_EARTH”. b) Componente com nome “0”.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 32 apresenta os componentes adicionados ao esquemático. Como pode-se observar, eles já apresentam valores padrão especificados, os quais podem ser alterados pelo usuário.

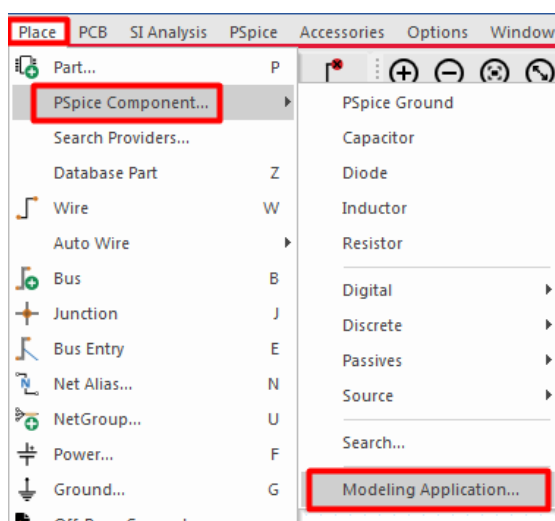
Figura 32: Componentes adicionados ao esquemático.



Fonte: Autoria Própria (2023).

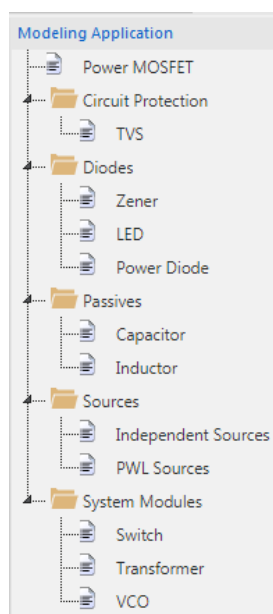
3.1.3.1.1 Modeling Application

Uma outra maneira de encontrar alguns componentes dentro do OrCAD Capture é através da janela *Modeling Application*, que pode ser acessada através do menu *Place*, como mostrado na Figura 33.

Figura 33: Acessando a *Modeling Application*.

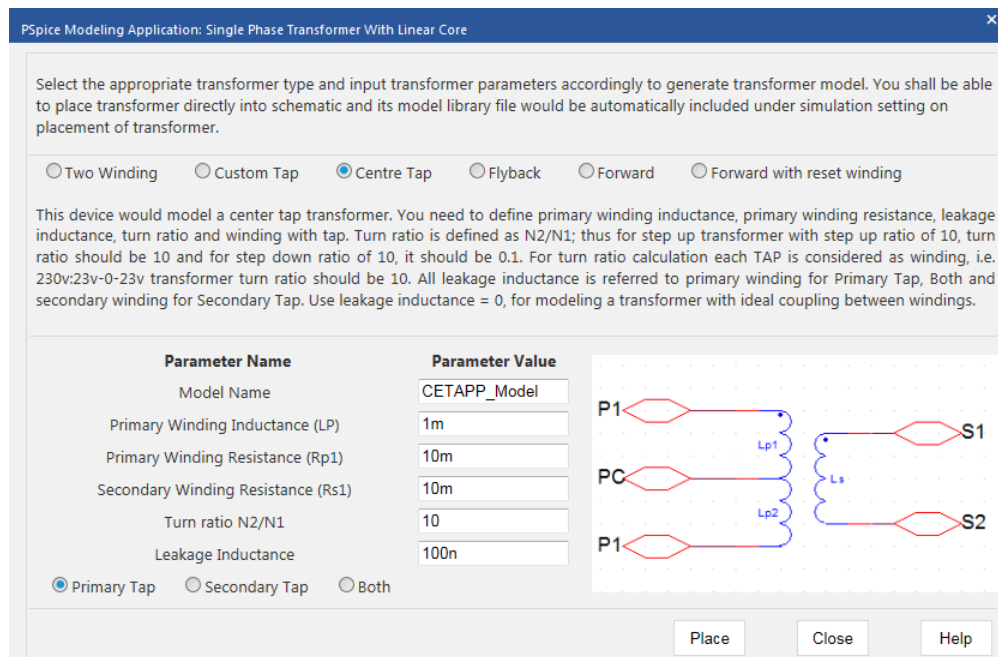
Fonte: Autoria Própria (2023).

Essa janela, mostrada na Figura 34, contém diversos componentes cujas características podem ser modeladas pelo usuário. Dentre eles, estão presentes MOSFETS de potência (canal n e canal p), diodos (Zener, LED, diodos de potência), componentes passivos (capacitores e indutores), fontes independentes, chaves, transformadores e osciladores controlados por tensão.

Figura 34: Janela *Modeling Application*.

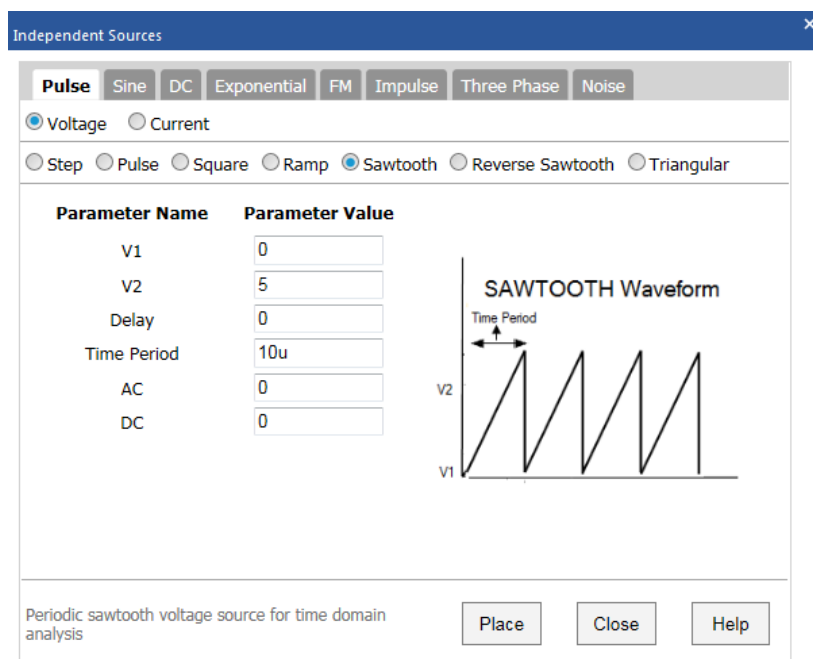
Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 35 apresenta a janela para a modelagem de transformadores. Através dela, o usuário pode optar por diversos modelos, como transformadores com dois enrolamentos, *tap* customizado, *tap* central, *Flyback*, *Forward*, e *Forward* com enrolamento de *reset*.

Figura 35: Janela para a modelagem de transformadores.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Na opção *Sources* → *Independent Sources*, são encontrados diversos tipos de fontes e suas respectivas formas de onda. É possível modelar fontes independentes de tensão e corrente pulsadas, senoidais, contínuas, exponenciais, de impulso ou com modulação de frequência. A Figura 36 ilustra a configuração de uma fonte de tensão independente pulsada com onda dente de serra.

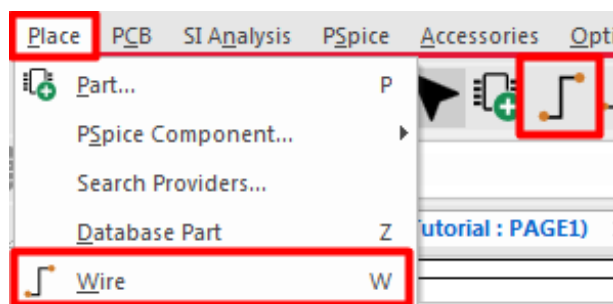
Figura 36: Janela para a modelagem de fontes independentes.

Fonte: Autoria Própria (2023).

3.1.3.2 Interligando os componentes do projeto

Em seguida, é necessário interligar os componentes do circuito. Existem três formas de inserir fios condutores no esquemático, mostradas na Figura 37. A primeira é através da guia *Place*, clicando em *Wire*. A segunda é através da barra de ferramentas, cujo símbolo está destacado na figura. Por fim, a forma mais simples é pressionando a tecla de atalho *W*. Com isso, o cursor está habilitado para realizar a ligação dos dispositivos.

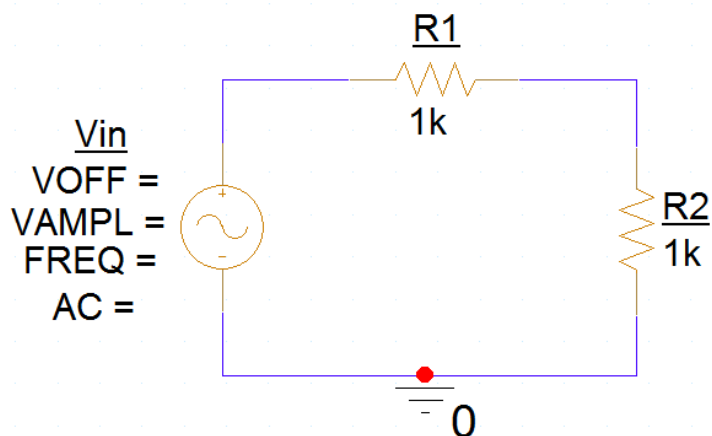
Figura 37: Desenhando os condutores no esquemático.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Como pode-se observar na Figura 32, todos os terminais de ligação apresentam pequenos quadrados. Ao conectar os componentes de maneira correta, esses quadrados devem desaparecer. Caso algum deles permaneça mesmo após a conexão, significa que a ligação não foi realizada da maneira adequada. Outra maneira de conferir a conexão é arrastando o componente. Se ele estiver realmente conectado, o fio será arrastado junto a ele. A Figura 38 apresenta o circuito com as devidas conexões.

Figura 38: Circuito com componentes devidamente conectados.



Fonte: Autoria Própria (2023).

3.1.3.3 Editando os atributos dos componentes

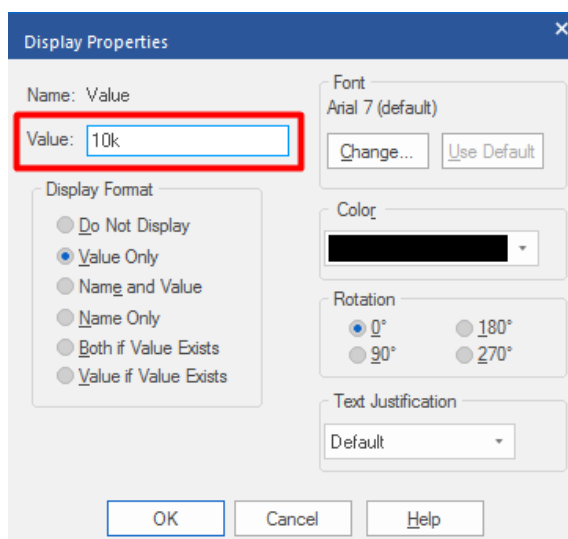
Ao adicionar os componentes ao circuito, é necessário configurá-los para que apresentem os valores desejados. Essa tarefa pode ser realizada de duas formas: alterando cada parâmetro individualmente no próprio esquemático ou editando o componente de uma só vez através da janela *property editor*.

3.1.3.3.1 Editando os parâmetros individualmente

Essa forma de edição do componente é útil quando se deseja alterar apenas suas especificações gerais, que são apresentadas no próprio esquemático. Para isso, é necessário dar um duplo clique em cima do parâmetro que se deseja alterar. Essa ação é válida para qualquer componente, seja uma fonte, resistor, capacitor, indutor, entre outros.

Como forma de exemplificar, será alterado o valor de um resistor. A Figura 39 apresenta uma janela com as propriedades do componente. Nela é possível alterar o formato, a fonte, a cor e a orientação que o parâmetro apresentará no esquemático. Em “Value” está presente o valor padrão do resistor, e é nessa caixa de texto onde se deve inserir o valor de resistência desejado. Para o exemplo, o valor inserido foi de 10 k Ω .

Figura 39: Alterando o valor de um resistor.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Vale salientar que, no OrCAD, existem algumas abreviaturas padrão para representar as potências de base 10, as quais encontram-se descritas na Tabela 1. Além disso, o *software* é *case sensitive*, ou seja, não distingue caracteres maiúsculos e minúsculos. Diante disso, é

necessário atentar para a utilização de mili e mega, pois os símbolos “m” e “M” são entendidos como o mesmo valor.

Tabela 1: Abreviaturas das potências de base 10 no OrCAD.

Símbolo	Nome	Potência de base 10
p	pico	10^{-12}
n	nano	10^{-9}
u	micro	10^{-6}
m	mili	10^{-3}
k	kilo	10^3
Meg	mega	10^6
G	giga	10^9
T	tera	10^{12}

Fonte: Autoria Própria (2023).

Uma outra observação importante é que a inserção dos nomes das unidades de grandezas físicas do SI é opcional, e pode ser feita desde que a representação não utilize as letras reservadas descritas anteriormente. Além disso, no campo de inserção não devem existir espaços em branco entre o valor e a unidade de medida. Dessa forma, 20, 20Vdc, 20A e 20Ohms representam o mesmo valor.

3.1.3.3.2 Editando os parâmetros a partir do Editor de propriedades.

Como descrito anteriormente, os componentes do OrCAD apresentam alguns parâmetros junto ao seu símbolo no esquemático. Porém, visando tornar o ambiente de trabalho menos “poluído”, nem todas as especificações dos dispositivos são apresentadas na tela.

Diante disso, quando é necessário alterar propriedades mais específicas de determinado componente, que vão além das especificações acessíveis no próprio esquemático, é possível editá-las a partir da janela de editor de propriedades (*property editor*), na qual são encontradas todas as especificações do componente. Para abrir essa janela, é necessário dar dois cliques no elemento do circuito que se deseja editar.

A Figura 40 ilustra a janela de edição das propriedades de uma fonte de tensão senoidal, utilizada para alimentar o circuito que vem sendo exemplificado. Como pode-se observar, as especificações são dispostas em duas colunas. A primeira contém o nome da propriedade, enquanto a segunda apresenta seu valor.

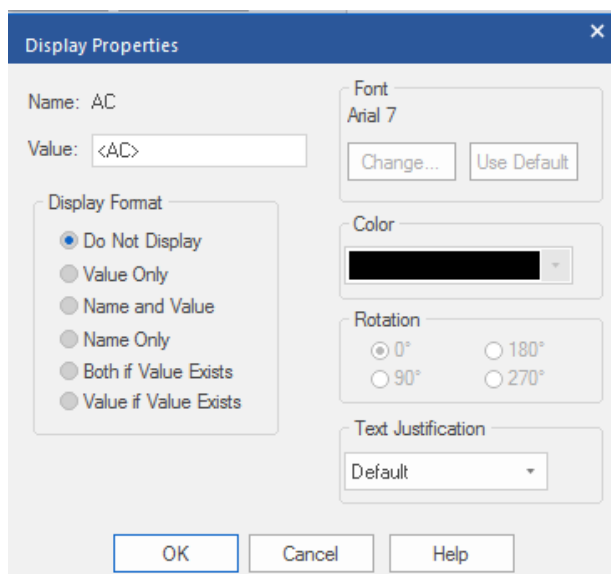
Dentre todos esses parâmetros, apenas cinco estão configurados para aparecer na janela do esquemático, que são: AC, FREQ, VAMPL, VOFF e o *Part Reference*, que corresponde ao nome atrelado ao componente no circuito. Caso o usuário deseje alterar quais especificações devem ou não aparecer na tela, basta selecionar o parâmetro com um único clique e pressionar a opção display, destacada na Figura 40.

Figura 40: Janela *Property Editor*.

A	
Exemplo tutorial : PAGE1 : Vin	
DC	
Designator	
DF	0
FREQ	
Graphic	VSIN.Normal
ID	
Implementation	
Implementation Path	
Implementation Type	PSpice Model
Location X-Coordinate	542
Location Y-Coordinate	231
Name	INS4230
Part Reference	Vin
PCB Footprint	
PHASE	0
Power Pins Visible	☐
Primitive	DEFAULT
PSpice Model Type	0011
PSpiceOnly	TRUE
PSpiceTemplate	V*@REFDES %+ %- ?DCIDC @DCJ ?ACJ
Reference	Vin
Source Library	C:\ICADENCE\SPB_17.4\TOOLS\ICA
Source Package	VSIN
Source Part	VSIN.Normal
TD	0
Value	VSIN
VAMPL	
VOFF	
AC	<AC>
Color	Default

Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 41 apresenta a janela das propriedades de exibição do parâmetro AC. Em *Display Format* estão disponíveis várias opções. Dentre elas, a de não exibir nada relativo a essa variável, exibir apenas seu valor, seu nome e valor, ou apenas o nome. Para esse exemplo, foi selecionada a primeira opção, indicando que nada deve ser mostrado.

Figura 41: Configuração de exibição do parâmetro AC.

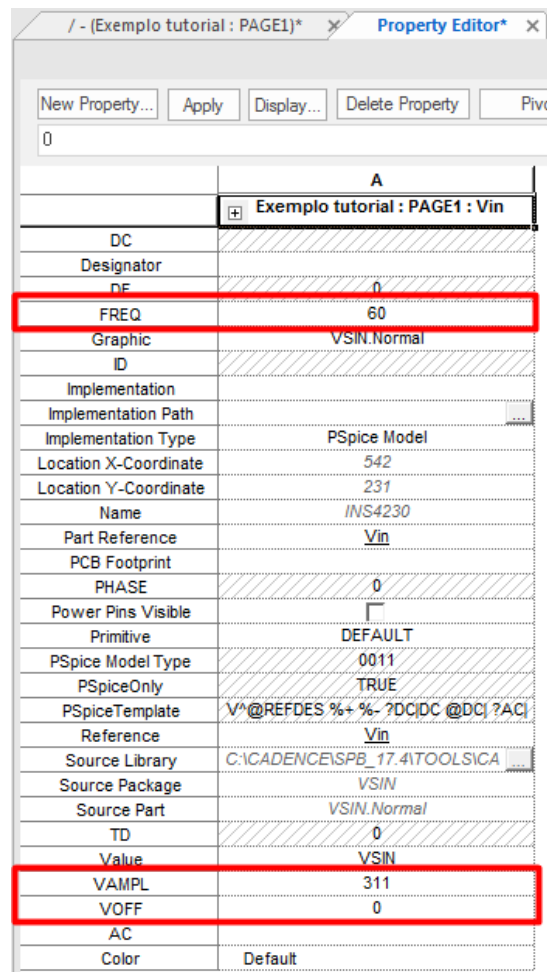
Fonte: Autoria Própria (2023).

Também estão presentes outros parâmetros que podem ser ajustados conforme a necessidade do usuário. Dentre eles, o valor de fase (PHASE) da senoide, cujo padrão é zero; o *time delay* (TD), que é o tempo que a senoide espera em seu valor inicial antes de começar a oscilar, cujo padrão também é zero; o *damping fator* (DF), que é o fator de amortecimento da senoide cujo valor padrão é zero, e faz com que a amplitude da senoide seja contínua ao longo do tempo.

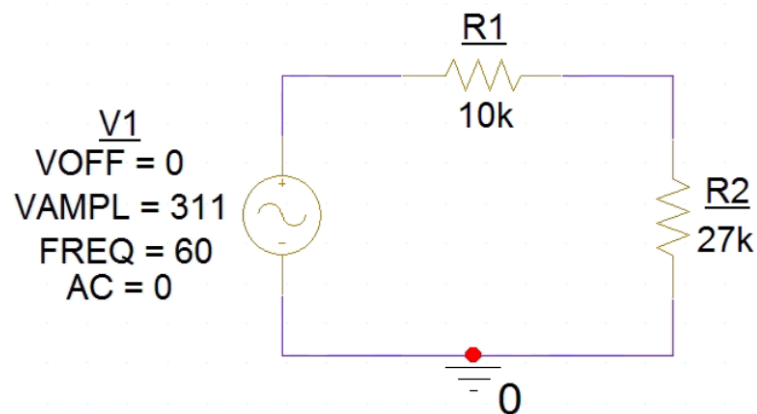
Para esse exemplo, foram alterados os valores da amplitude da tensão, a tensão de *offset* e a frequência da onda, os demais foram mantidos com os valores padrão. A tensão de offset foi adotada como 0 V e a frequência inserida foi de 60Hz. Como deseja-se fornecer ao circuito uma onda com tensão eficaz de 220V, o valor da amplitude deve ser de 311V.

Além disso, é importante ressaltar que, ao aplicar no projeto as alterações realizadas no editor de propriedades, as informações utilizadas para desfazer/refazer ações na janela do esquemático serão apagadas, de forma que não será possível modificar ações realizadas no circuito anteriores a essa edição.

A Figura 42 apresenta a configuração dos parâmetros da fonte, enquanto a Figura 43 ilustra o circuito com os devidos valores atribuídos a todos os componentes.

Figura 42: Configuração dos parâmetros da fonte VSIN.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 43: Circuito com os devidos valores atribuídos aos componentes.

Fonte: Autoria Própria (2023).

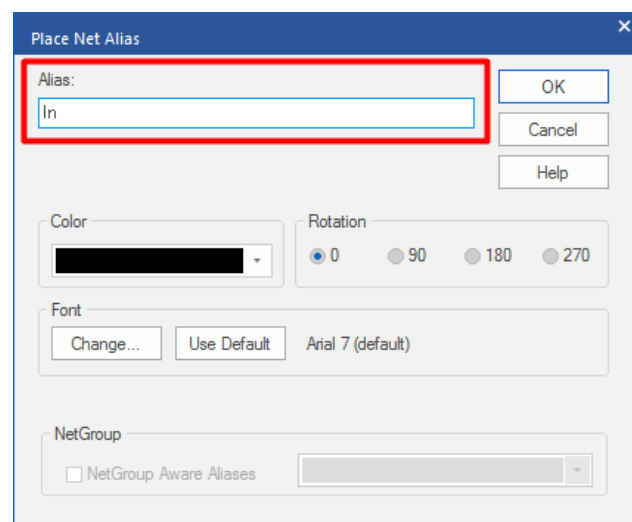
Vale ressaltar que todos os componentes do circuito apresentam suas próprias características na janela do editor de propriedades, porém as configurações são realizadas de maneira análoga aos procedimentos descritos no decorrer do tópico.

3.1.3.4 Adicionando nomes aos trechos do circuito

Para tornar mais simples a identificação dos trechos do circuito na hora de plotar os gráficos de simulação, é possível atribuir nomes aos locais desejados. Isso é realizado por meio da tecla de atalho *N*, que abre a janela *Place Net Alias*, Figura 44.

Na caixa de texto *Alias* deve ser inserido o nome que será atribuído ao trecho do circuito. Para sua inserção no esquemático, o usuário deve posicioná-lo sobre o segmento de fio desejado, e em seguida clicar com o botão esquerdo do mouse.

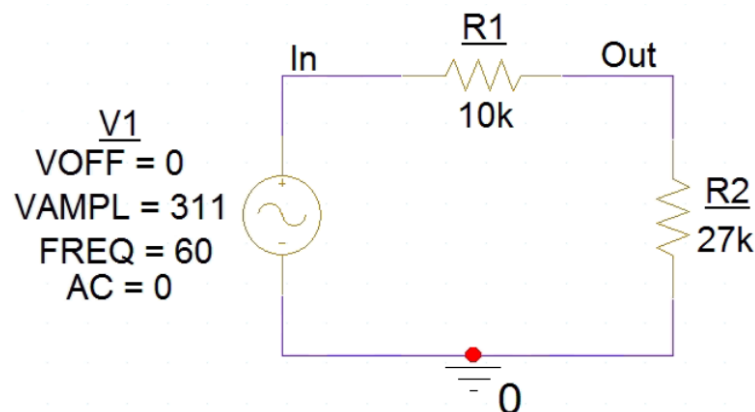
Figura 44: Adicionando nomes aos trechos do circuito.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 45 apresenta o circuito exemplificado com nomes atribuídos aos trechos de entrada (In) e de saída (Out).

Figura 45: Circuito com os trechos nomeados.

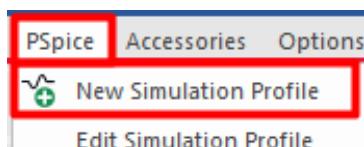


Fonte: Autoria Própria (2023).

3.1.4 Criando um perfil de simulação

O perfil de simulação é criado após a montagem do esquemático. O principal objetivo de sua criação é a possibilidade de determinar qual o tipo de análise se deseja realizar no circuito. Para isso, é necessário ir ao menu *PSpice* e selecionar a opção *New Simulation Profile*, como mostrado na Figura 46.

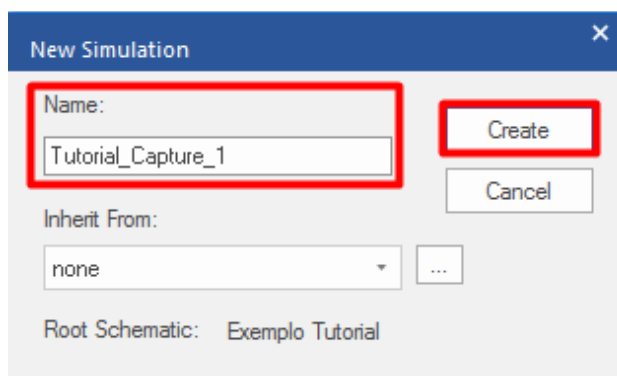
Figura 46: Criando um novo perfil de simulação.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Em seguida, é aberta uma caixa de diálogo, como mostrado na Figura 47, na qual deve ser inserido o nome desejado para o perfil. Na nomenclatura criada, não se deve utilizar caracteres especiais (símbolos matemáticos, sinais de pontuação, acentos e espaços em branco). Os caracteres válidos são 0-9, A-Z, traço baixo (*underline*) e hífen.

Figura 47: Nomeando o perfil de simulação.



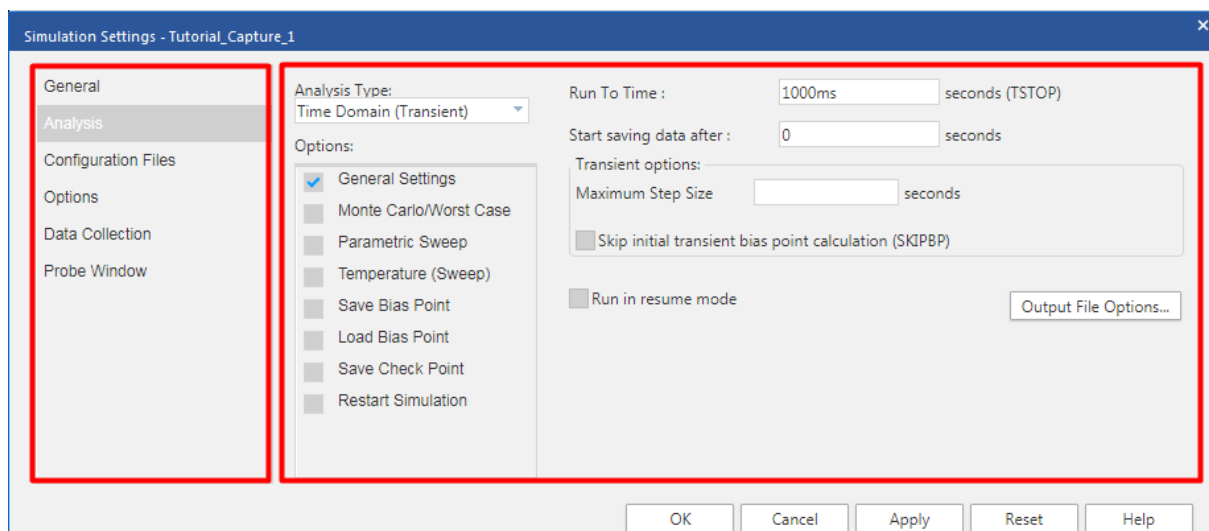
Fonte: Autoria Própria (2023).

Abaixo, em *Inherit From*, é possível atribuir ao perfil atual configurações de perfis de simulação criados anteriormente para o projeto analisado. Neste exemplo, ainda não foi criado nenhum perfil de simulação, de forma que não existem características a serem herdadas, logo será mantida a opção *none*.

Com isso, a janela de configurações da simulação é aberta, como mostrado na Figura 48. No lado esquerdo são encontradas algumas guias, dentre elas *Analysis*, *Options* e *Probe Window*, cujas especificações serão detalhadas no decorrer do tópico. Já os campos de

informação presentes no lado direito variam de acordo com a guia que está selecionada. Por exemplo, as informações da Figura 48 correspondem à seleção da guia *Analysis*.

Figura 48: Janela das configurações de simulação.



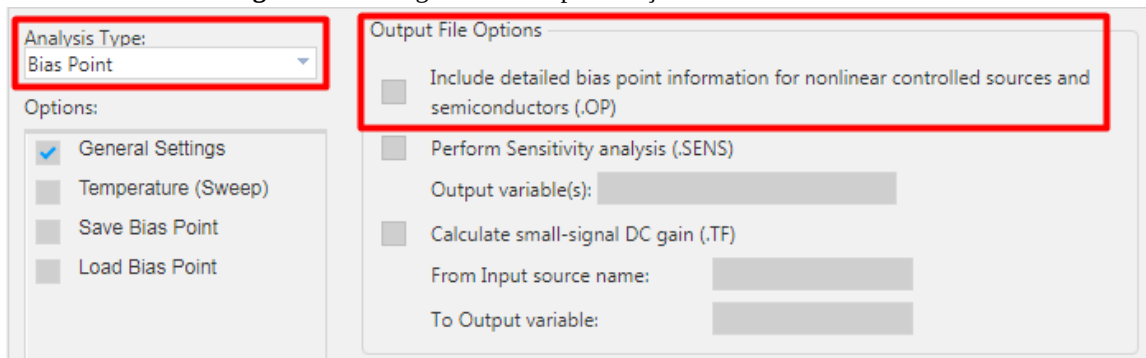
Fonte: Autoria Própria (2023).

3.1.4.1 Guia Analysis

Para realizar a simulação, é necessário determinar qual o tipo de análise será executado. Essa escolha é realizada em “*Analysis Type*”, cujas opção serão descritas a seguir.

Bias Point: Também chamada de análise de ponto de polarização CC, é utilizada para obter o ponto de operação quiescente do circuito. Durante a simulação, os indutores são tratados como curtos-circuitos e os capacitores como circuitos abertos. Como resultado dessa análise, é possível observar no próprio esquemático do circuito os valores das tensões em todos os nós, das correntes em todas as malhas, e a potência dissipada pelos dispositivos. A janela de configurações dessa análise é apresentada na Figura 49.

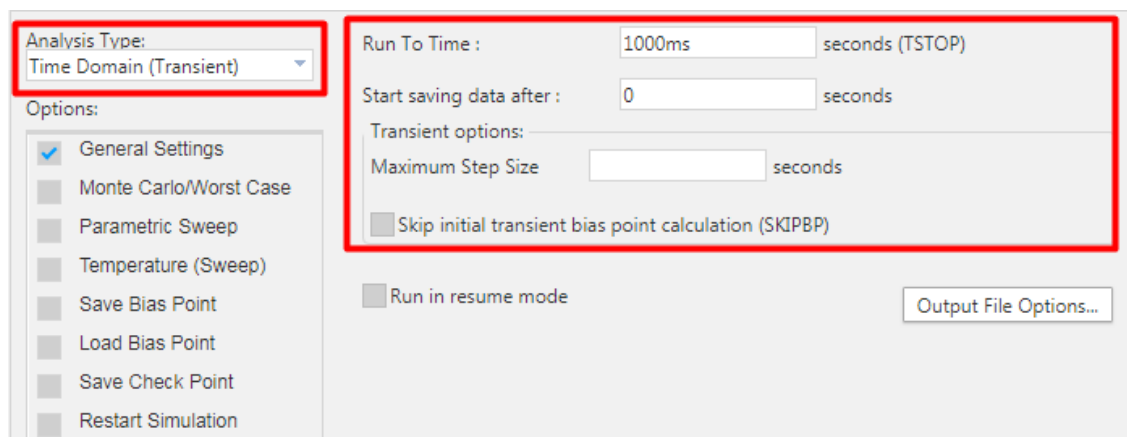
Além disso, através de configurações nas opções dos arquivos de saída (*Output File Options*), esse tipo de simulação também pode ser utilizado para fornecer informações detalhadas a respeito do ponto de polarização CC de componentes como fontes controladas não lineares e semicondutores, além de parâmetros do modelo de pequenos sinais.

Figura 49: Configurando as especificações da análise Bias Point.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Time Domain (Transient): A análise transiente é utilizada quando se deseja obter a resposta do circuito ao longo do tempo, sempre começando no tempo zero e terminando no valor final determinado pelo usuário. Antes da realização dessa análise, o OrCAD executa automaticamente a análise CC (*Bias Point*) do circuito, cujo resultado será utilizado como sendo as condições iniciais dos componentes, ou seja, o comportamento no tempo “zero”.

A janela de configurações referente a essa análise é apresentada na Figura 50. Uma especificação muito importante é a *Run To Time*, onde o usuário deve indicar por quanto tempo a simulação deve ser realizada. Em *Start saving data after* é o local onde deve ser especificado o tempo no qual se deseja iniciar a plotagem do gráfico. Em *Maximum Step Size* é inserido o valor máximo do passo da simulação. Quando se deseja pular o cálculo realizado na análise CC, deve-se habilitar a opção *SKIPBP*.

Figura 50: Configurando as especificações da análise transitória.

Fonte: Autoria Própria (2023).

DC Sweep: Realiza uma varredura em corrente contínua, calculando o ponto de polarização do circuito de acordo com a faixa de valores de uma determinada variável. Nessa

análise, é necessário definir o tipo de variável e o tipo de varredura. A janela de configurações dessa análise é apresentada na Figura 51.

Figura 51: Configurando as especificações da análise DC Sweep.

Fonte: Autoria Própria (2023).

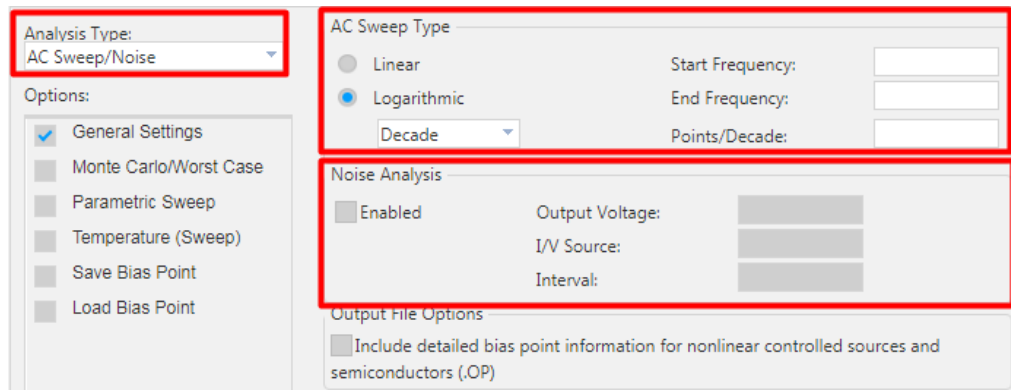
O tipo de variável sobre a qual se deseja realizar a varredura é indicado em “*Sweep Variable*”, e pode ser uma fonte de tensão ou corrente independente, um parâmetro global, um parâmetro modelo ou uma temperatura.

Já o tipo de varredura deve ser selecionado em “*Sweep type*”, podendo ser linear, logarítmica ou com uma lista de valores.

Em uma varredura linear, a variável é varrida linearmente do valor inicial ao final. O valor inicial pode ser maior ou menor que o valor final, de modo que a varredura pode ser realizada em qualquer direção. O valor do tamanho do passo (*Increment*), deve ser maior que zero.

Em uma varredura logarítmica, a variável é varrida logaritmicamente por décadas ou oitavas. O valor inicial deve ser positivo e menor que o valor final, e o número de pontos por décadas/oitavas deve ser um número inteiro.

AC Sweep/Noise: A análise *AC Sweep* é utilizada para realizar uma varredura em corrente alternada, calculando a resposta em frequência de um circuito para uma determinada faixa de frequências. A janela de configurações referente a essa análise é apresentada na Figura 52.

Figura 52: Configurando as especificações da análise AC Sweep/Noise.

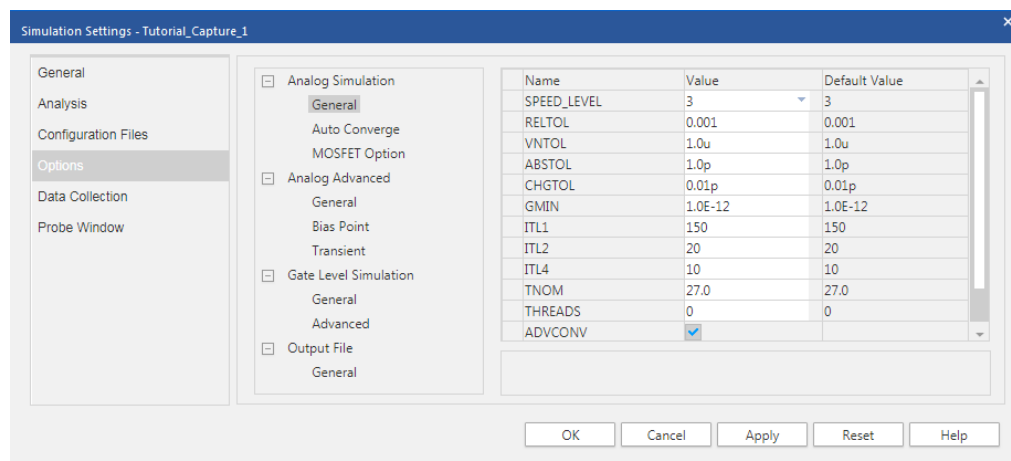
Fonte: Autoria Própria (2023).

Em “AC sweep type”, é possível definir o tipo de varredura desejado, seja ela uma varredura linear ou logarítmica. Em ambos os casos, devem ser inseridos os valores da frequência inicial e final, sendo eles maiores que zero e o final maior que o inicial. Além disso, deve ser determinado o número total de pontos de varredura caso seja escolhida uma varredura linear, e o número de pontos por década/oitava para uma varredura logarítmica.

Em conjunto com a análise AC Sweep, também é possível realizar a análise de ruído (Noise) do circuito, em “Noise analysis”. Em “Output Voltage” deve ser especificado o nó onde será realizada a análise. Também é necessário inserir o nome da fonte de tensão ou corrente (I/V Source) para qual o ruído de entrada equivalente será calculado. Em “Interval” deve ser especificada a frequência na qual os dados da análise serão gravados no arquivo de saída.

3.1.4.2 Guia Options

Na guia *Options*, Figura 53, estão presentes opções utilizadas para configurar limites e parâmetros de controle do simulador.

Figura 53: Guia Options.

Fonte: Autoria Própria (2023).

A Tabela 2 apresenta diversos parâmetros encontrados nas abas *Analog Simulation* e *Analog Advanced* dessa guia, seguidos por suas respectivas descrições. Os valores padrão do *software* para cada parâmetro são apresentados na tela do programa, em *default value*.

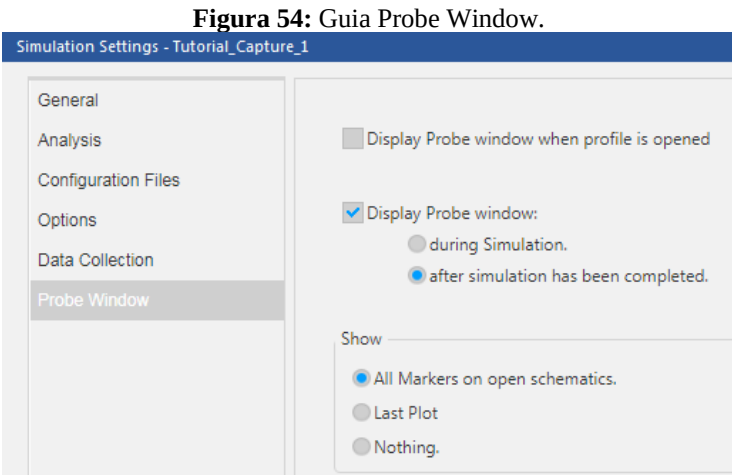
Tabela 2: Parâmetros da guia Options.

PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
ABSTOL	Melhor precisão de correntes
CHGTOL	Melhor precisão de cargas
DEFAD	Área de dreno padrão do MOSFET
DEFAS	Área de fonte padrão do MOSFET
DEFL	Comprimento padrão do MOSFET
DEFW	Largura padrão do MOSFET
GMIN	Condutância mínima utilizada para qualquer ramo
PIVREL	Magnitude relativa necessária para o pivô na resolução da matriz
PIVTOL	Magnitude absoluta necessária para o pivô na resolução da matriz
RELTOL	Tolerância relativa de tensão e corrente.
TNOM	Temperatura nominal padrão na qual os parâmetros do modelo foram medidos
VNTOL	Melhor precisão de tensões

Fonte: Autoria Própria (2023).

3.1.4.3 Guia Probe Window

Na guia *Probe Window*, Figura 54, são encontradas opções utilizadas para configurar a exibição da janela de plotagem da simulação.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Por meio dela é possível determinar se as alterações nos gráficos podem acontecer durante a simulação (*during simulation*) ou apenas quando a simulação estiver completa (*after simulation has been completed*). Um exemplo é a inserção de uma nova ponteira de medição ao circuito. Caso as alterações possam ocorrer durante a simulação, a forma de onda correspondente à nova ponteira aparece instantaneamente no gráfico. Porém, caso as alterações só ocorram com a simulação concluída, é necessário rodar a simulação novamente.

Além disso, também é possível determinar o que será mostrado ao abrir a janela de simulação. Dentre as opções, estão a de apresentar as formas de onda de todas as ponteiras inseridas no esquemático (*all markers on open schematics*), apresentar a última plotagem (*last plot*) ou não apresentar nada (*nothing*).

A opção de apresentar a última plotagem é muito útil para casos onde não estão sendo utilizadas ponteiras, de forma que as formas de onda desejadas devem ser inseridas manualmente a cada vez que a simulação é refeita. Dessa forma, ao escolher essa opção, as formas de onda selecionadas na simulação anterior já aparecem no gráfico de maneira automática.

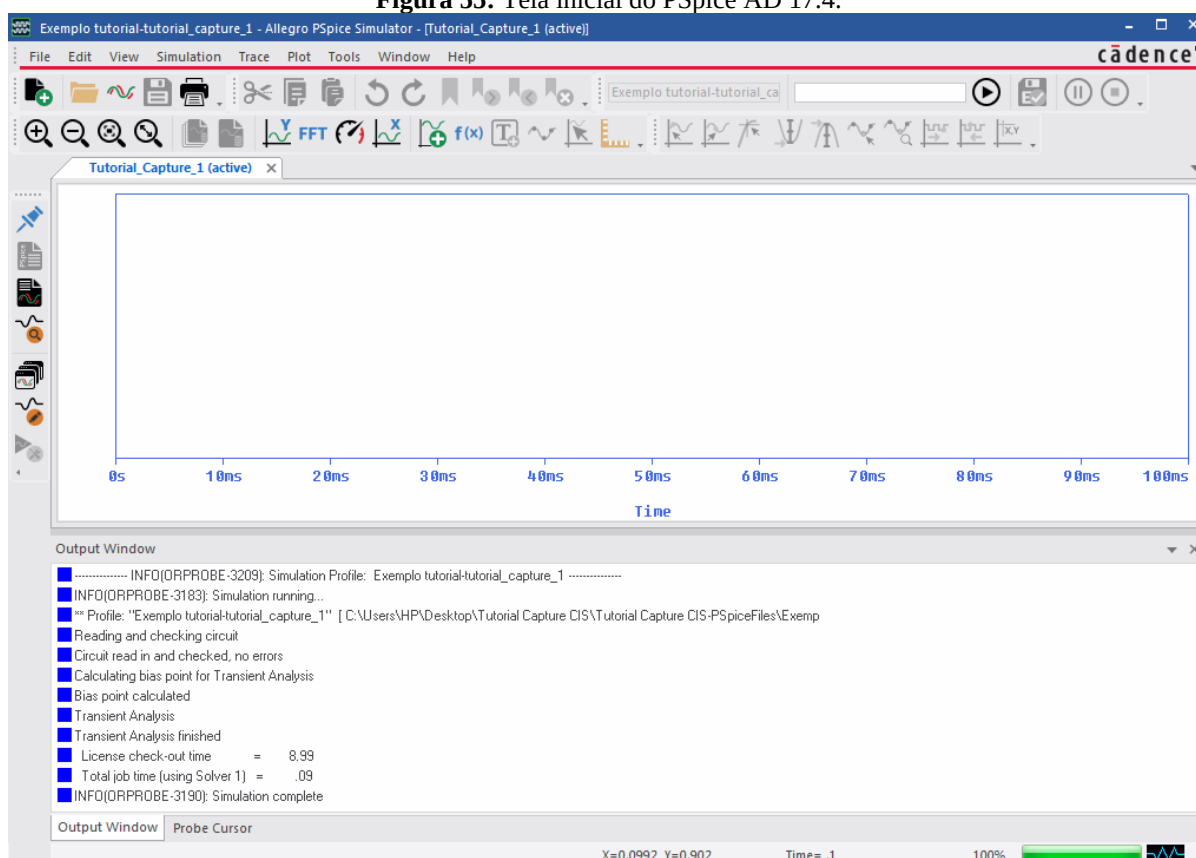
3.2 PSPICE AD 17.4

O OrCAD PSpice está disponível com o nome “*PSpice AD 17.4*”. Ele é utilizado para realizar a simulação do circuito projetado no OrCAD Capture. Sua inicialização é realizada no ambiente do Capture CIS, a partir do menu *PSpice* → *Run*, ou pela tecla de atalho F11, que dá início à execução da simulação, a qual segue as diretivas presentes no perfil de simulação descrito no subtópico anterior. Para fins de exemplificação, o circuito resistivo montado no tópico anterior será simulado considerando uma análise transitória com duração de 100 ms.

A tela inicial do *PSpice AD* é apresentada na Figura 55. Assim como no *Capture CIS*, uma barra de menus pode ser encontrada na parte superior. A área branca é onde são plotadas as curvas da simulação. Na parte inferior, são encontradas janelas com os arquivos de saída. A janela *Output Window* apresenta informações a respeito dos procedimentos realizados e possíveis mensagens de erro, enquanto a janela *Probe Cursor* contém os valores medidos pelos cursores.

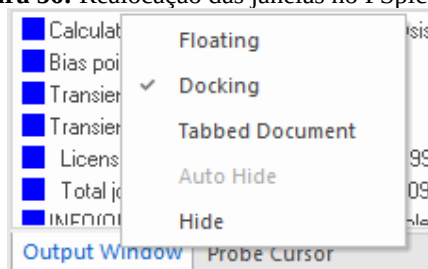
Com o intuito de tornar a área de simulação mais ampla, é possível realocar essas janelas. Para isso, basta clicar com o botão direito do mouse em cima da janela desejada, de forma que aparecerão algumas opções, como mostrado na Figura 56.

Figura 55: Tela inicial do PSpice AD 17.4.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 56: Realocação das janelas no PSpice AD.

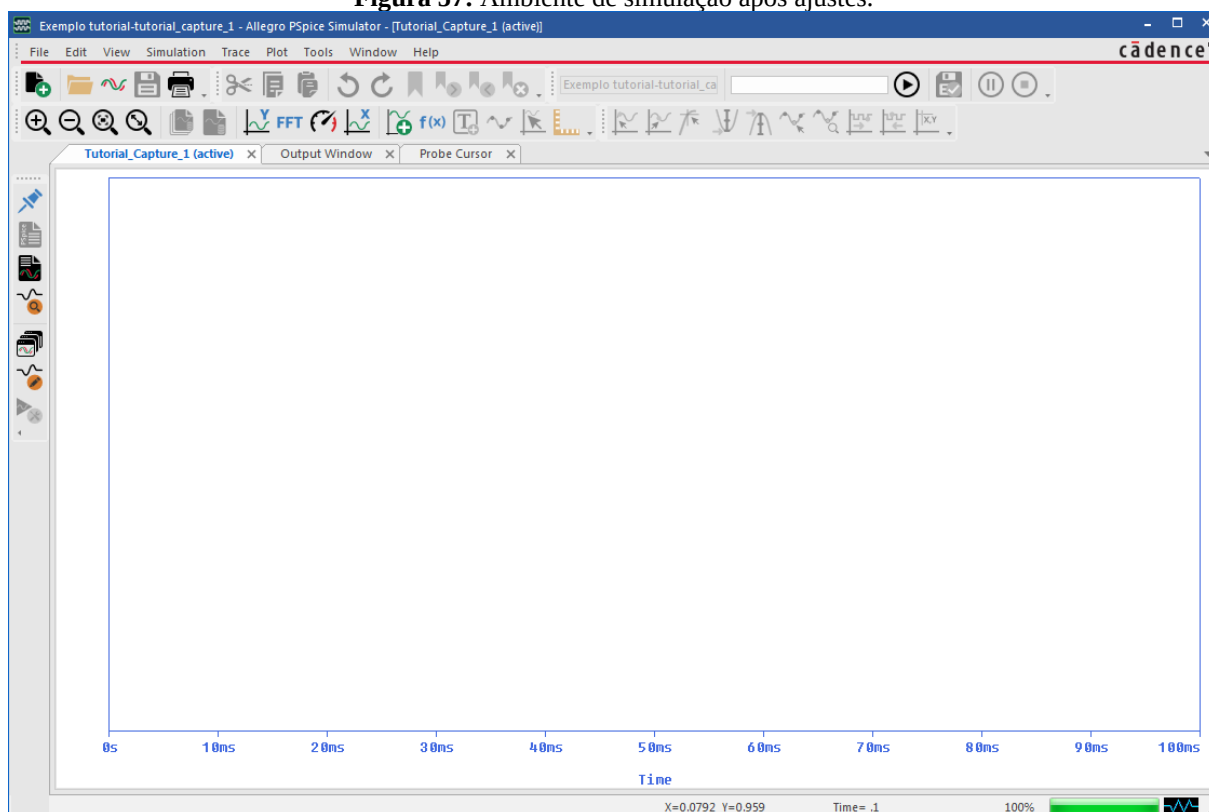


Fonte: Autoria Própria (2023).

A opção *floating* faz com a que janela fique “flutuando” na tela, permitindo que seja movida e ajustada da maneira desejada. A opção *docking* faz com que a janela permaneça na área inferior da tela, como encontra-se na Figura 55. A opção *tabbed document*, faz que com a janela saia da tela principal, mas ainda possa ser acessada de forma rápida. Por último, a opção *hide* faz com que a janela não apareça na tela.

Na Figura 57, as duas janelas foram configuradas com a opção *tabbed document*, de forma que podem ser encontradas ao lado da guia que contém a simulação ativa, nomeada como “Tutorial_Capture_1”.

Figura 57: Ambiente de simulação após ajustes.



Fonte: Autoria Própria (2023).

3.2.1 Adicionando curvas ao PSpice AD

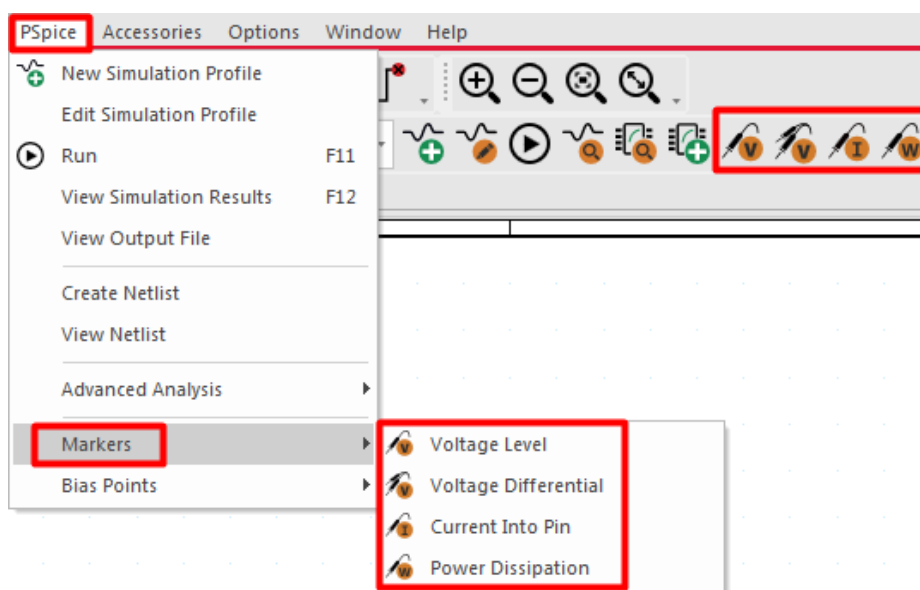
Como mencionado no subtópico 3.1.4.3, no perfil de simulação é possível configurar como será apresentada a área de curvas de simulação ao iniciar o *PSpice AD*. Dentre as opções, pode-se optar por apresentar as formas de onda oriundas das ponteiras do esquemático ou não apresentar nada.

Nesse tópico, será descrito o passo a passo para a inserção das ponteiras de medição no esquemático caso seja escolhida a primeira opção, ou como adicionar as formas de onda manualmente caso o usuário opte pela segunda opção.

3.2.1.1 Utilizando Ponteiras

É possível inserir as ponteiras de medição no esquemático de duas maneiras. A primeira é através do menu *PSpice* → *Markers* do *Capture CIS*, e a segunda é por meio da barra de ferramentas. Ambas as formas são mostradas na Figura 58, destacadas pelos retângulos vermelhos.

Figura 58: Inserindo ponteiros de medição no esquemático.



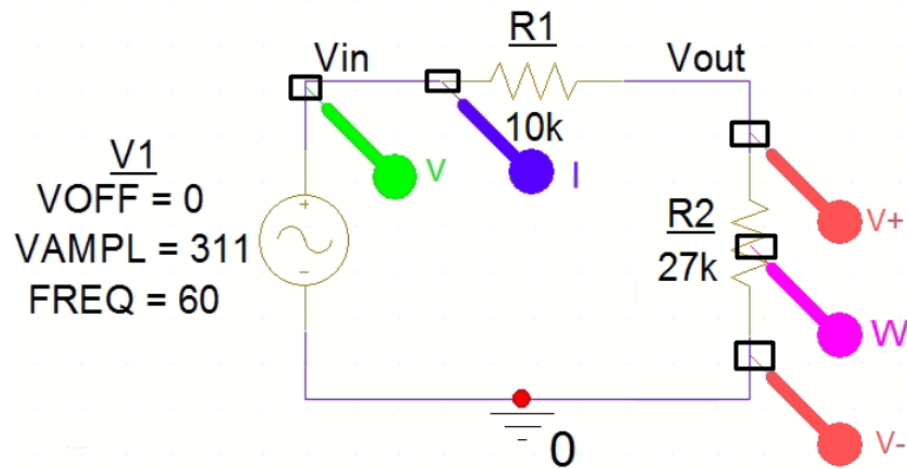
Fonte: Autoria Própria (2023).

Na figura acima, pode-se observar a presença de duas ponteiros de tensão, uma ponteira de corrente e uma de potência. A ponteira *Voltage level* é utilizada para medir o nível de tensão em um determinado ponto do circuito, enquanto a ponteira *Voltage Differential* é empregada na medição do valor da diferença de potencial entre dois pontos. A ponteira *Current Into Pin* é utilizada para medir a corrente que está entrando em um determinado pino. Já a ponteira *Power Dissipation* apresenta o valor de potência que está sendo dissipada no ponto onde foi inserida.

A Figura 59 apresenta os quatro tipos de ponteiros posicionadas no circuito resistivo utilizado como exemplo no tópico anterior. Pode-se observar que cada ponteira apresenta uma cor distinta, e corresponde à cor que a forma de onda apresentará no gráfico, facilitando sua identificação.

Além disso, vale salientar que as ponteiros apresentam algumas localizações padrão que devem ser obedecidas ao inseri-las no esquemático. As ponteiros de tensão, identificadas pela letra *V*, devem ser alocadas em cima dos fios condutores. A ponteira de corrente, identificada pela letra *I*, deve ser inserida em uma das extremidades do componente ao qual se deseja verificar a corrente que está circulando. Por último, a ponteira de potência, identificada pela letra *W*, deve ser posicionada em cima do componente em que se deseja realizar a análise da potência dissipada.

Figura 59: Locais padrão para inserção das ponteiros de medição.

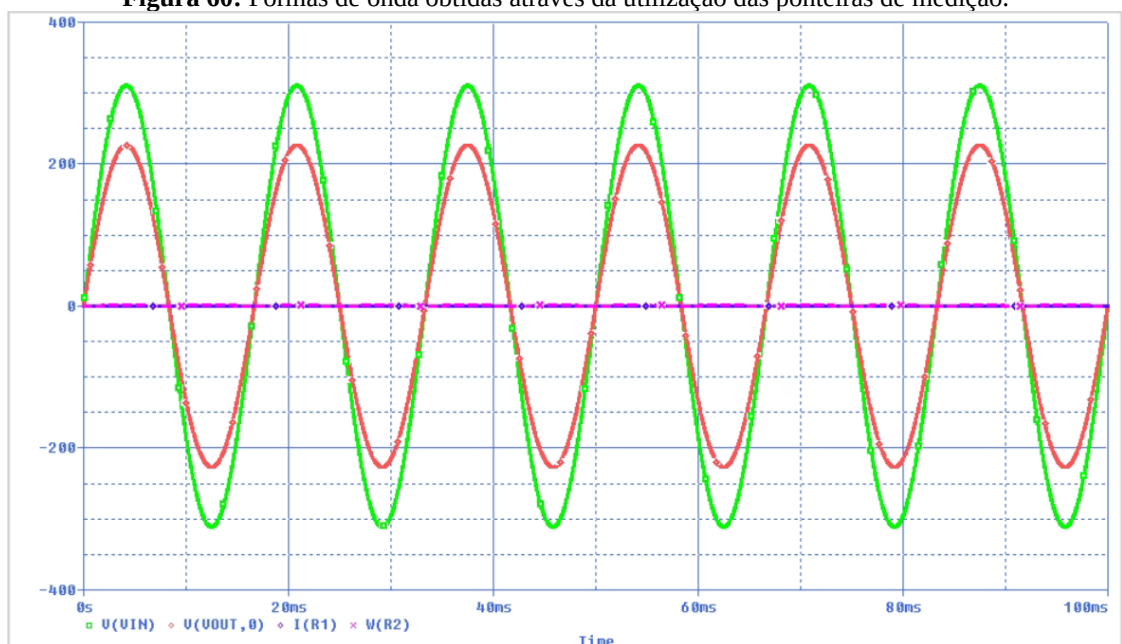


Fonte: Autoria Própria (2023).

O gráfico com as respectivas formas de onda plotadas utilizando as ponteiros de medição pode ser observado na Figura 60. Na parte inferior do gráfico encontram-se as identificações das grandezas que correspondem a cada uma delas, bem como o ponto do circuito que estão inseridas, dentro dos parênteses.

Como pode-se verificar, apesar de presentes no gráfico, as formas de onda de corrente e potência estão em uma escala muito diferente das formas de onda de tensão, impossibilitando a visualização de seu comportamento. No decorrer deste capítulo serão apresentadas maneiras para resolver este problema.

Figura 60: Formas de onda obtidas através da utilização das ponteiros de medição.

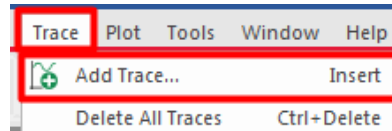


Fonte: Autoria Própria (2023).

3.2.1.2 Manualmente

Para inserir uma nova curva ao gráfico, basta acessar o menu *Trace* → *Add Trace* no ambiente de trabalho do *PSpice AD*, como mostrado na Figura 61.

Figura 61: Adicionando uma nova curva manualmente.



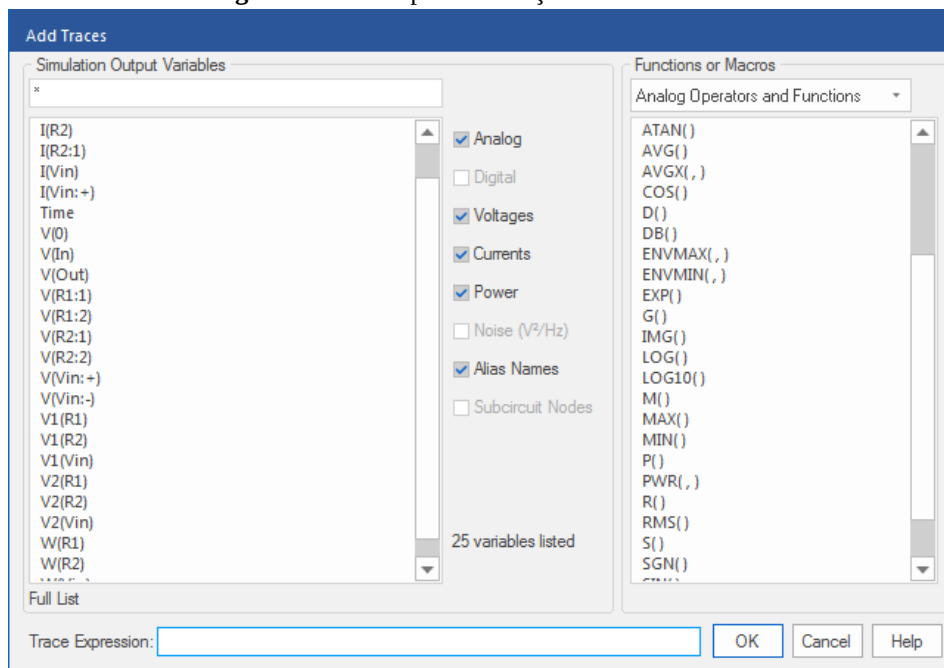
Fonte: Autoria Própria (2023).

Dessa forma, será aberta uma janela semelhante a apresentada na Figura 62. Através dela é possível definir qual grandeza (tensão, corrente, potência) deseja-se medir em qualquer um dos componentes do circuito.

No lado esquerdo da figura estão presentes diversos itens, os quais seguem um padrão de formatação. As letras I, V e W indicam que se deseja plotar a forma de uma determinada corrente, tensão ou potência, respectivamente. Dentro dos parênteses são indicados os pontos do circuito aos quais as formas de onda remeterão.

Por exemplo, a forma de onda da corrente que percorre o resistor R2 é representada por I(R2). Como pode-se observar, também estão presentes os trechos do circuito que foram nomeados como In e Out, de forma que as tensões nesses trechos correspondem aos itens V(In) e V(Out).

Figura 62: Janela para a inserção de novas curvas.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Além disso, através dos operadores e funções presentes no lado direito, também é possível plotar gráficos que ilustram os comportamentos relativos aos valores de pico, médio e eficaz da forma de onda desejada, dentre outras inúmeras possibilidades.

3.2.2 Editando a área de simulação

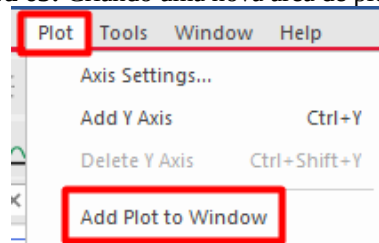
Nesse subtópico serão descritos alguns procedimentos utilizados para tornar mais fácil a visualização e análise das formas de onda plotadas durante a simulação do esquemático.

3.2.2.1 Criando uma nova janela de plotagem

Ao simular circuitos, muito vezes o usuário pode se deparar com situações nas quais é necessário plotar diversas curvas de uma única vez, ação que pode tornar a análise de seus comportamentos mais complicada em decorrência da grande quantidade de formas de onda em um único espaço. Diante disso, neste subtópico será descrito o procedimento realizado para inserir uma nova janela de plotagem na área de simulação.

Para criar uma nova área de plotagem, é necessário clicar em *Add Plot to Window*, no menu *Plot*, como mostrado na Figura 63.

Figura 63: Criando uma nova área de plotagem.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Um ambiente de simulação com duas áreas de plotagem pode ser observado na Figura 64. Como pode-se observar, do lado esquerdo da janela de plotagem existe uma sinalização “SEL>>”, indicando que aquela área está selecionada para edição.

As alterações realizadas no eixo x afetam ambas as janelas, porém o eixo y é editado individualmente, dependendo da necessidade do usuário. O procedimento para plotar uma nova forma de onda no gráfico foi descrito no subtópico anterior, utilizando a ferramenta *Add Trace*. A Figura 65 apresenta as formas de onda da entrada e saída do circuito. Como pode-se verificar, ambas as curvas foram inseridas na janela de plotagem que estava selecionada.

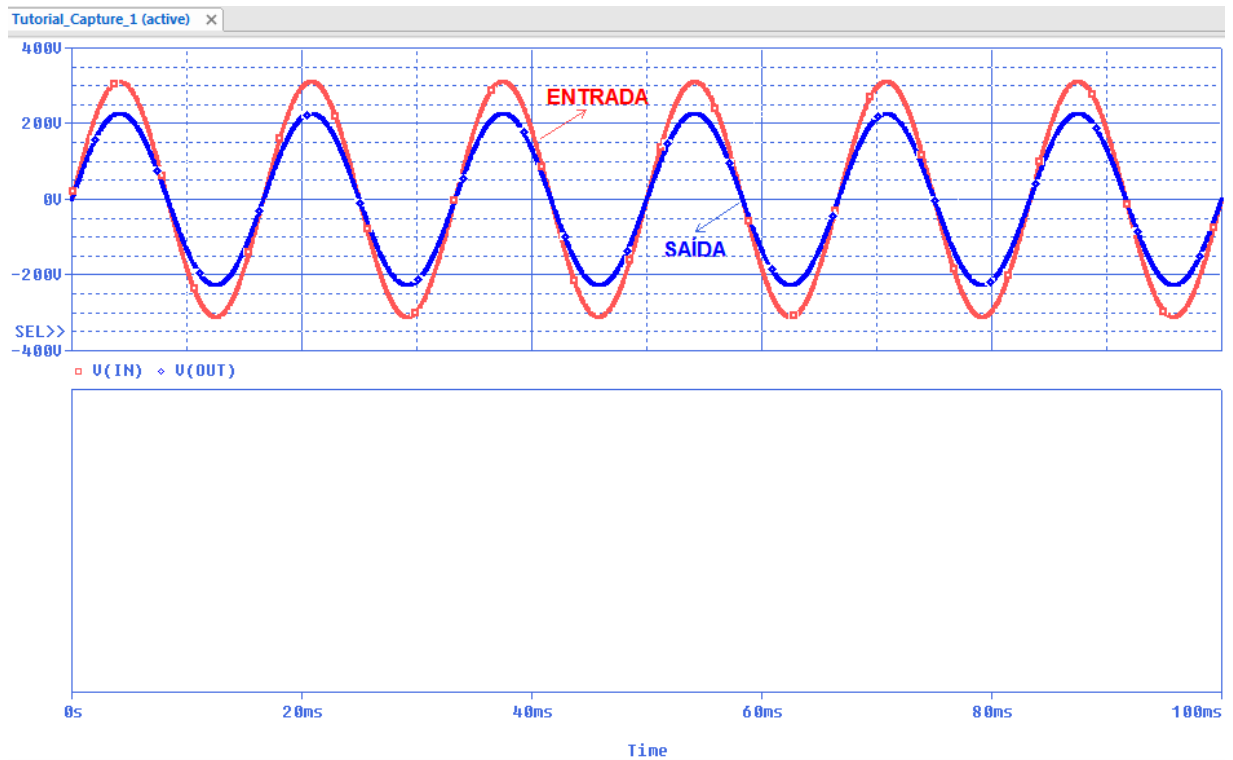
Figura 64: Ambiente de simulação com duas janelas de plotagem.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Para transportar uma forma de onda existente para outra área de plotagem, basta selecionar a variável desejada com um único clique do mouse. Nesse exemplo, a forma de onda realocada será a da tensão de saída. Ao selecioná-la, sua identificação ficará com a cor vermelha, como mostrado na Figura 66.

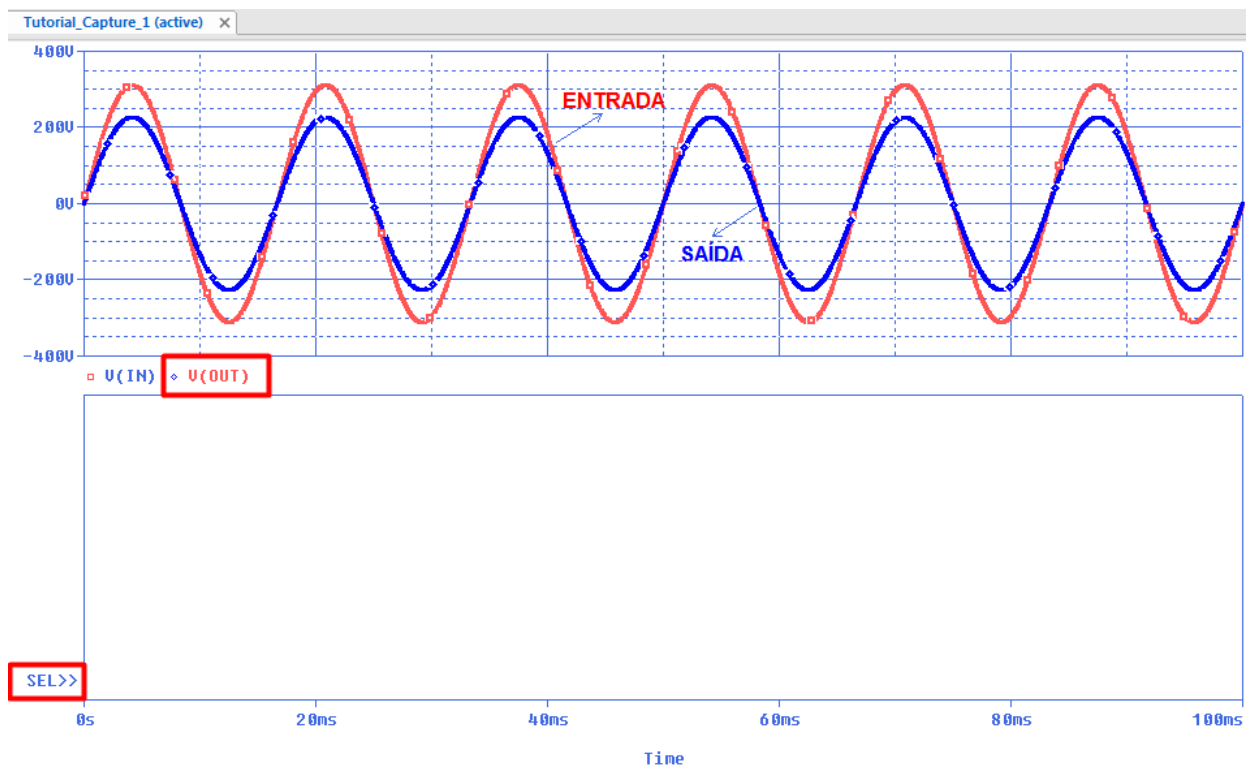
Dessa maneira, é possível executar as ações de recortar e colar a variável no novo gráfico. Para isso, basta utilizar as teclas de atalho Ctrl+X e Ctrl+V, respectivamente. Além disso, é importante selecionar a janela de plotagem para qual deseja-se mover a forma de onda. A Figura 67 apresenta as formas de onda divididas em dois gráficos distintos.

Figura 65: Formas de onda inseridas na janela de plotagem.

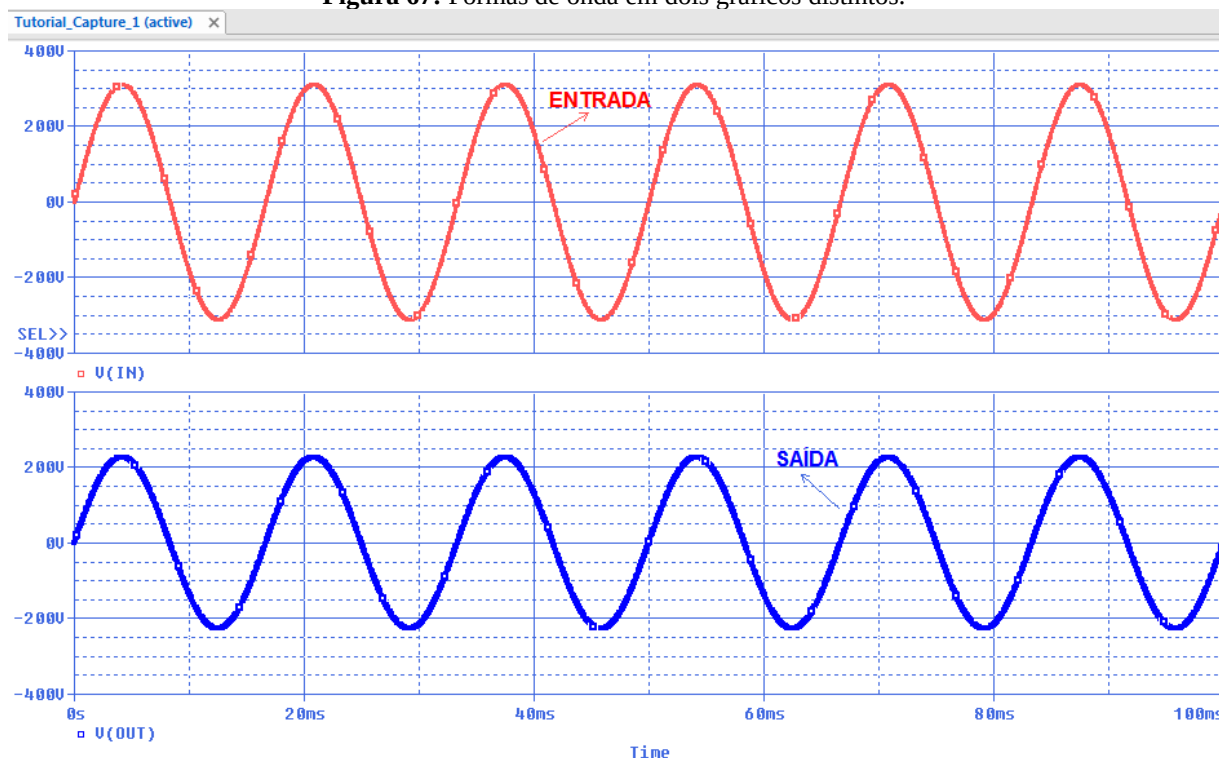


Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 66: Transportando a forma de onda para uma nova janela de plotagem.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 67: Formas de onda em dois gráficos distintos.

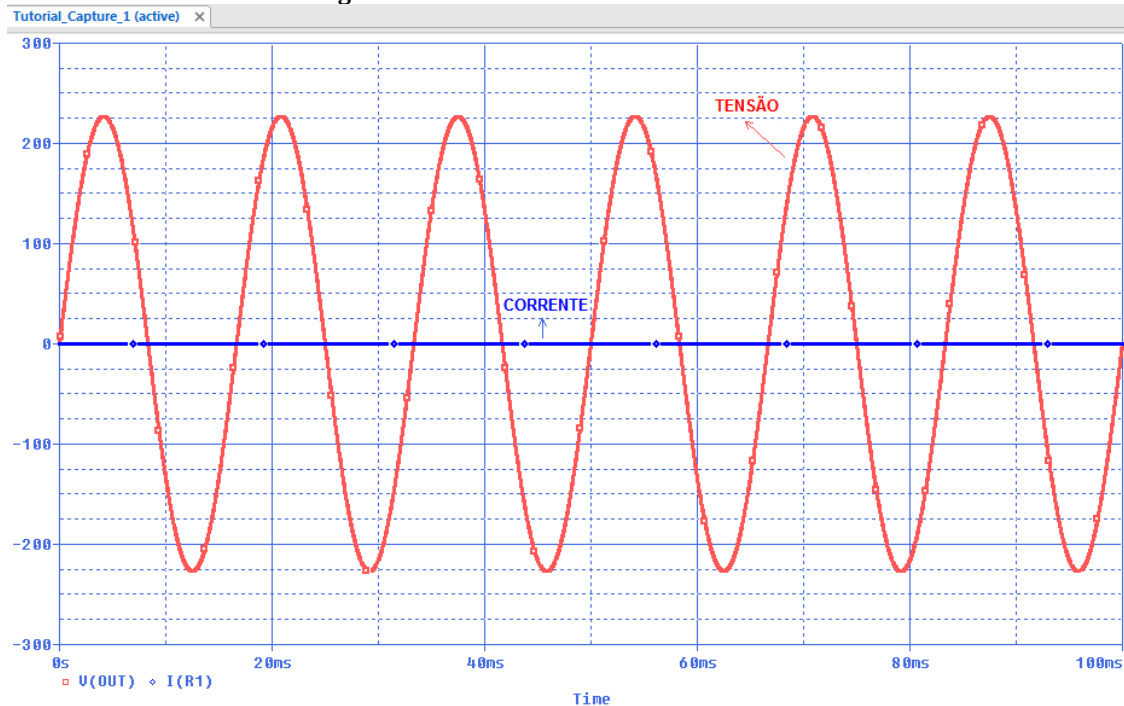
Fonte: Autoria Própria (2023).

Nesse subtópico foi mostrado o procedimento pra criar duas janelas de plotagem na área de simulação, porém o passo a passo pode ser replicado para inserir quantos gráficos forem necessários.

3.2.2.2 Adicionando um novo eixo ao gráfico

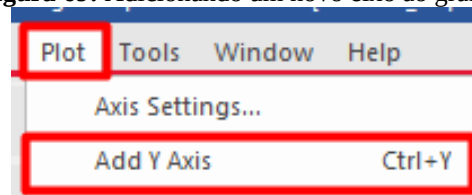
Muitas vezes, ao analisar gráficos de diferentes grandezas, como tensões e correntes, o usuário pode se deparar com situações nas quais é praticamente impossível analisar visualmente o comportamento das formas de onda ao mesmo tempo, tendo em vista a grande diferença na escala de valores das variáveis.

A Figura 68 ilustra a situação descrita acima, apresentando as formas de onda da tensão em cima do resistor R2 e da corrente que circula no circuito série. Como pode-se verificar, a forma de onda da corrente encontra-se representada como uma linha reta, tendo em vista que seu valor é medido em uma escala muito menor que a da tensão, impossibilitando verificar seu comportamento ao longo do tempo.

Figura 68: Formas de onda com escalas muito distintas.

Fonte: Autoria Própria (2023).

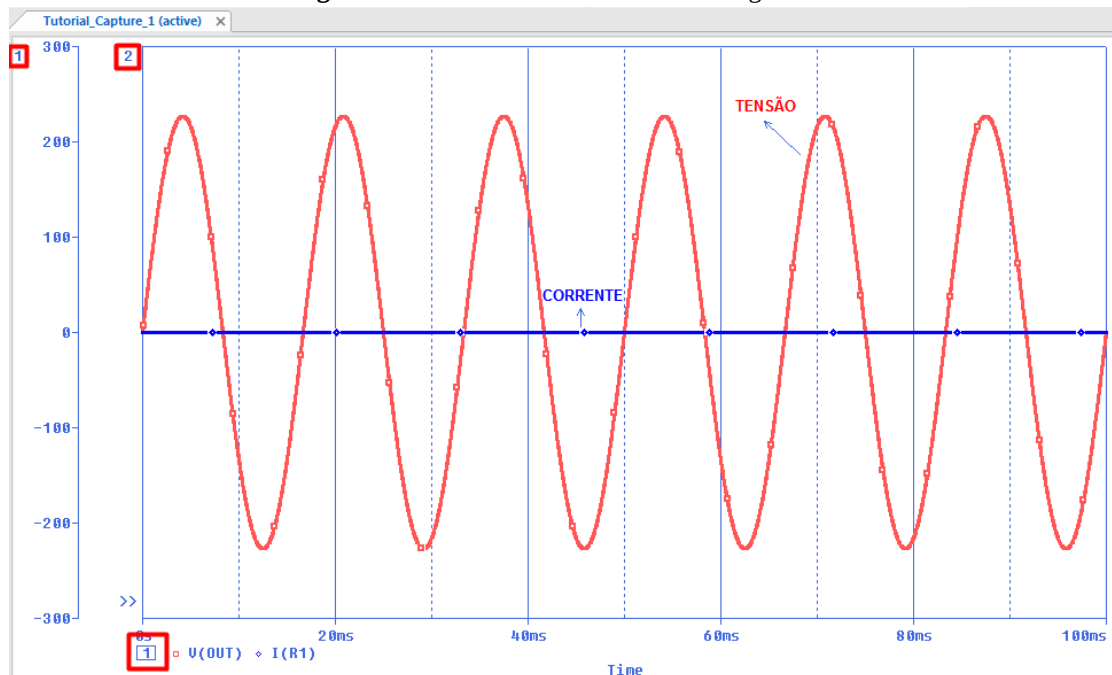
Uma maneira de solucionar esse problema é adicionando um novo eixo ao gráfico. Para isso, é necessário clicar em *Add Y Axis*, no menu *Plot*, como mostrado na Figura 69, ou apenas utilizar as teclas de atalho *Ctrl+Y*.

Figura 69: Adicionando um novo eixo ao gráfico.

Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 70 apresenta o gráfico com um novo eixo adicionado. Como pode-se observar, os novos eixos apresentam numerações (1 e 2). O primeiro eixo está configurado com a escala antiga, enquanto o segundo ainda não possui uma escala configurada. Na parte inferior, pode-se constatar que ambas as formas de onda estão atribuídas ao eixo 1, e por isso não apresentaram nenhuma mudança.

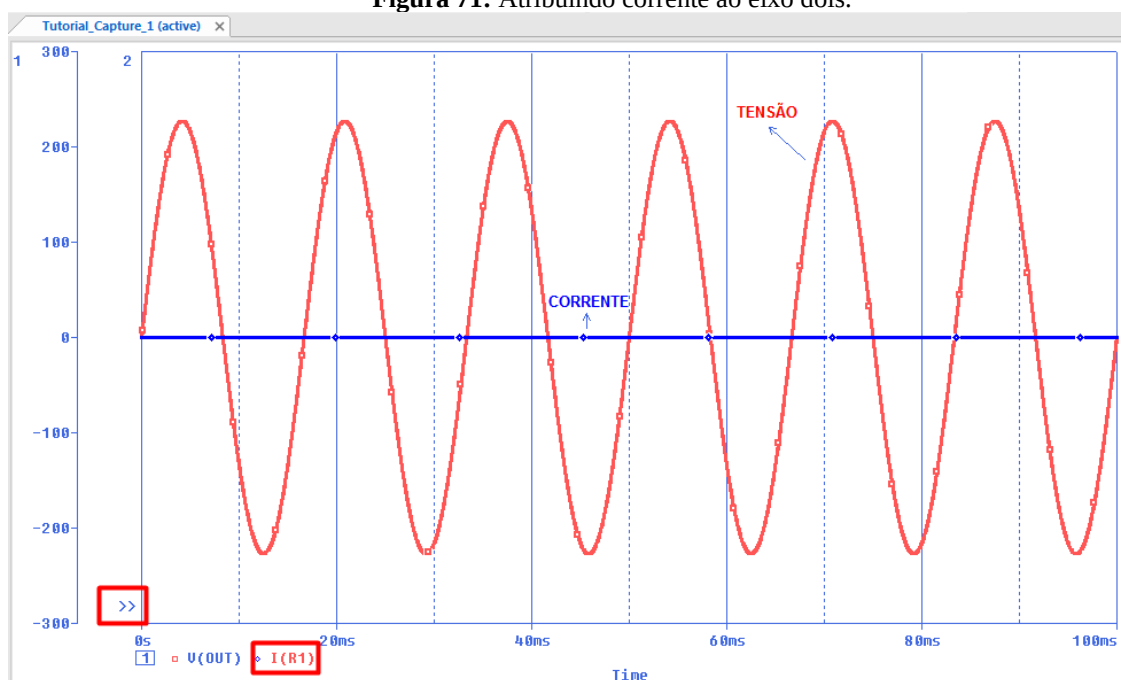
Figura 70: Adicionando um novo eixo ao gráfico.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Dessa forma, é necessário atrelar uma das formas de onda ao segundo eixo. Tendo em vista que o eixo número 1 encontra-se com uma escala inadequada para a corrente, ela será a grandeza movida. É importante verificar se o segundo eixo está selecionado. Com isso, deve-se selecionar a variável $I(R1)$, como mostrado na Figura 71, e pressionar as teclas de atalho $Ctrl+X$ e $Ctrl+V$.

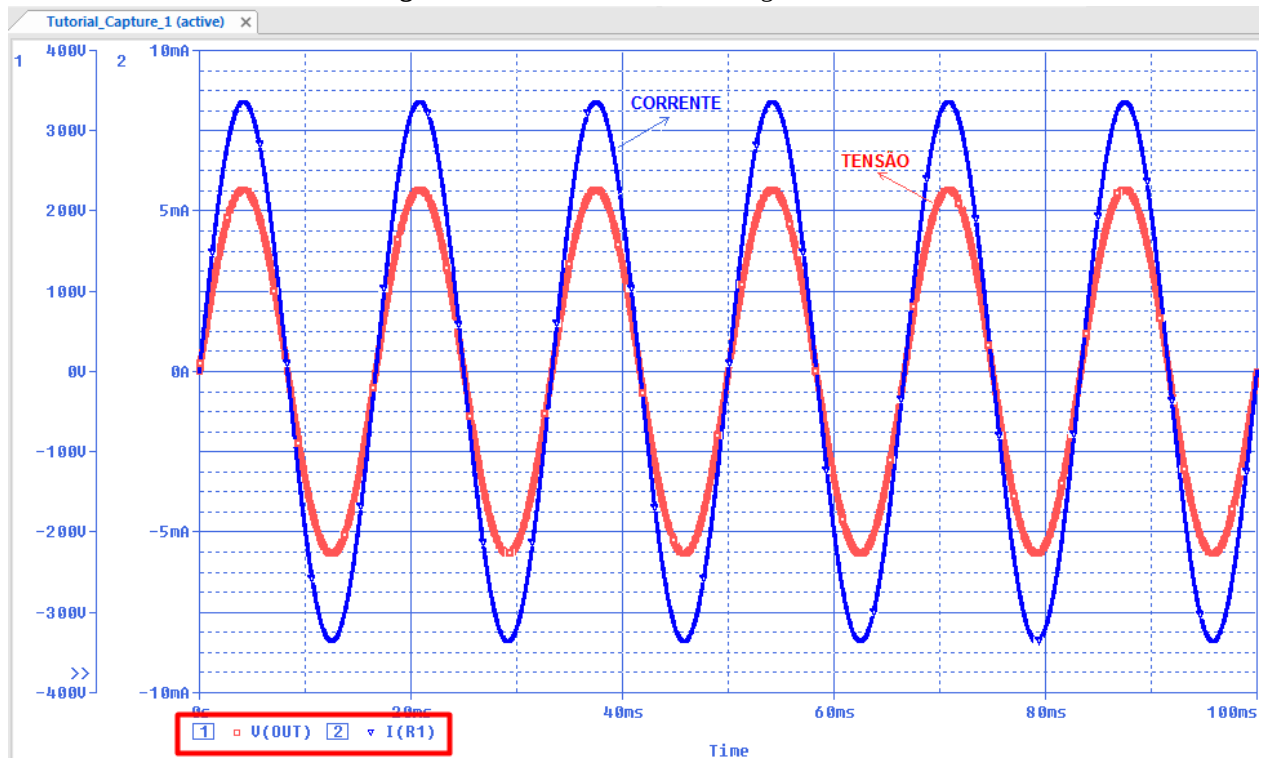
Figura 71: Atribuindo corrente ao eixo dois.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 72 ilustra o gráfico obtido. Como pode-se observar, o *software* configura os eixos automaticamente, alterando as escalas e unidades de medida conforme as grandezas atreladas a eles. O eixo 1 apresenta o comportamento da tensão de saída, expressando seus valores em Volts [V]. Já o eixo 2 é caracterizado por um sinal de corrente, de forma que sua escala de valores agora encontra-se em miliampère [mA].

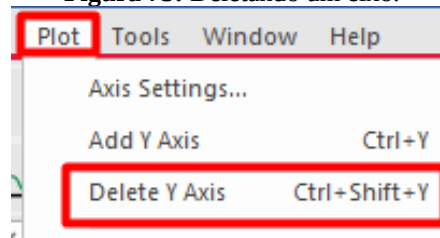
Figura 72: Gráfico com eixos configurados.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Para deletar um eixo, basta selecioná-lo e pressionar as teclas de atalho *Ctrl+Shift+Y*, ou clicar em *Delete Y Axis* no menu *Plot*, como mostrado na Figura 73.

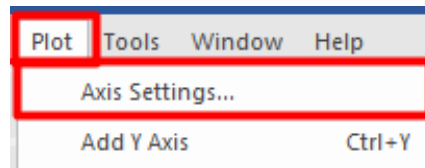
Figura 73: Deletando um eixo.



Fonte: Autoria Própria (2023).

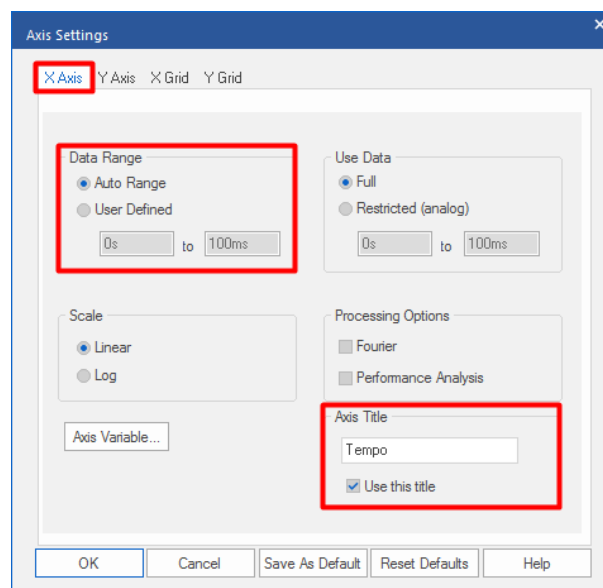
3.2.2.3 Personalizando eixos

A edição dos eixos do gráfico de simulação pode ser iniciada clicando em *Add Plot to Window*, no menu *Plot*, como mostrado na Figura 74.

Figura 74: Iniciando a personalização dos eixos.

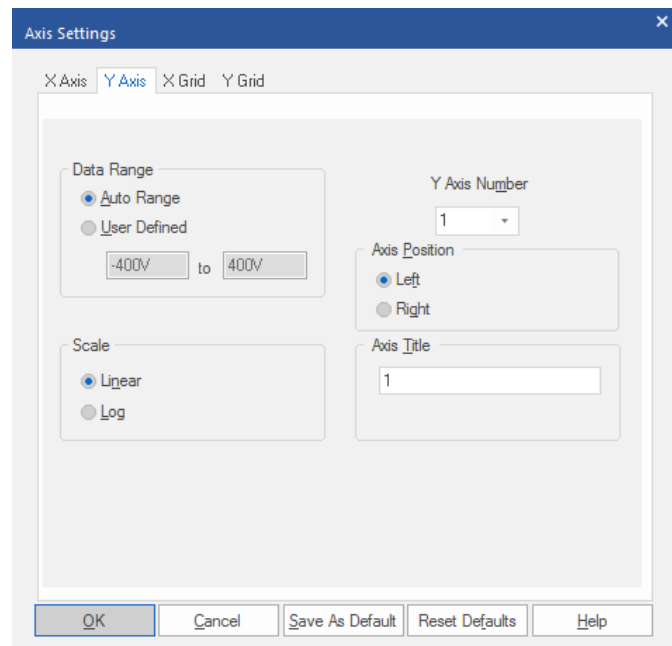
Fonte: Autoria Própria (2023).

Na guia *X Axis* (Figura 75) podem ser ajustadas as configurações do eixo X. Em *Data Range* são definidos seus valores de início e fim. Caso seja selecionada a opção *Auto Range*, o intervalo será correspondente ao indicado no perfil de simulação (0 a 100 ms, neste exemplo). No entanto, utilizando a opção *User Defined*, os valores inicial e final do intervalo podem ser ajustados conforme o interesse do usuário. Em *Axis Title* pode ser inserido um nome para o eixo.

Figura 75: Guia para edição do eixo X.

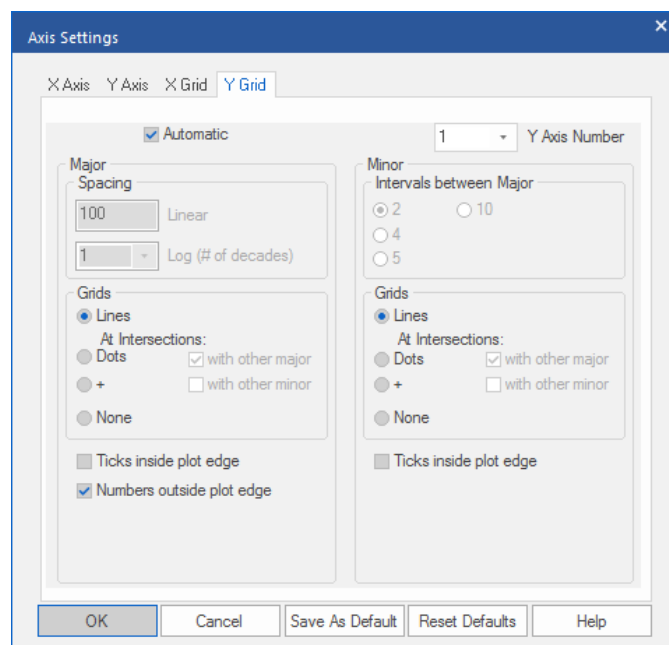
Fonte: Autoria Própria (2023).

Na guia *Y Axis* (Figura 76) podem ser ajustadas as configurações do eixo Y. Os intervalos do eixo Y são ajustados em *Data Range* (-400 V a 400 V, neste exemplo). Em *Axis Position* é possível escolher em qual lado do gráfico o eixo será posicionado, no esquerdo ou no direito. A caixa de texto *Axis Title* é utilizada para renomeá-lo. Caso um novo eixo Y tenha sido inserido no gráfico, é importante observar a opção *Y Axis Number*, que indica qual eixo está sendo configurado no momento.

Figura 76: Guia para edição do eixo Y.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Nas guias *X Grid* e *Y Grid*, é possível configurar a exibição das linhas que constituem as grades dos gráficos. As linhas horizontais são atreladas aos valores do eixo Y, enquanto as linhas verticais correspondem aos intervalos do eixo X. Ambas as guias contêm as mesmas configurações gerais, de forma que apenas a guia *Y Grid* (Figura 77) será apresentada.

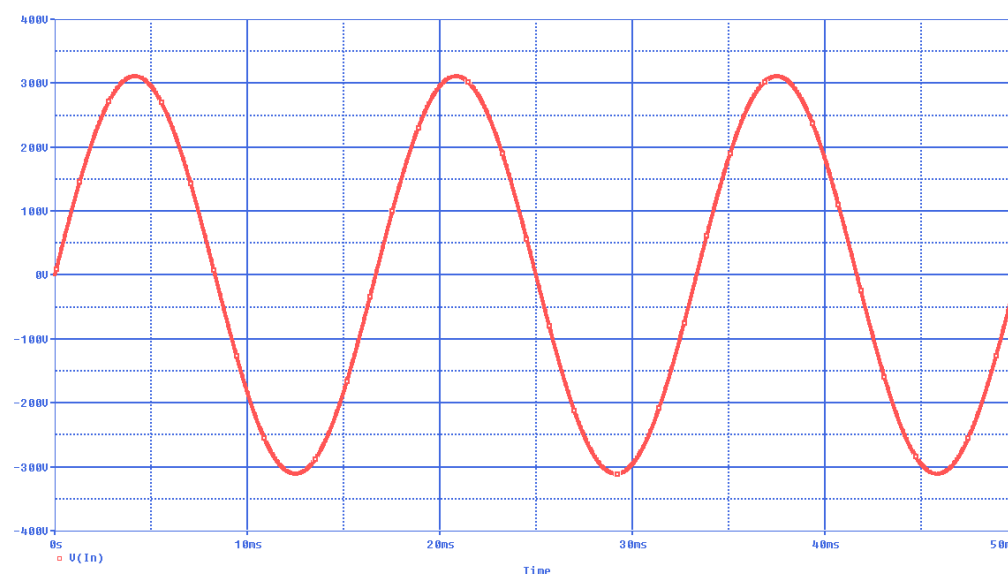
Figura 77: Guia para edição da grade do eixo Y.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Ao plotar os gráficos, as grades são apresentadas conforme a configuração automática do *software*. Dessa forma, caso o usuário deseje realizar modificações nessas configurações, é necessário que a opção *Automatic* esteja desabilitada.

Como pode-se verificar através da Figura 78, a grade é constituída por linhas contínuas e pontilhadas. As linhas contínuas são as principais, e em suas extremidades são indicados os valores que elas representam em seus respectivos eixos.

Figura 78: Grade do gráfico e seus tipos de linhas.



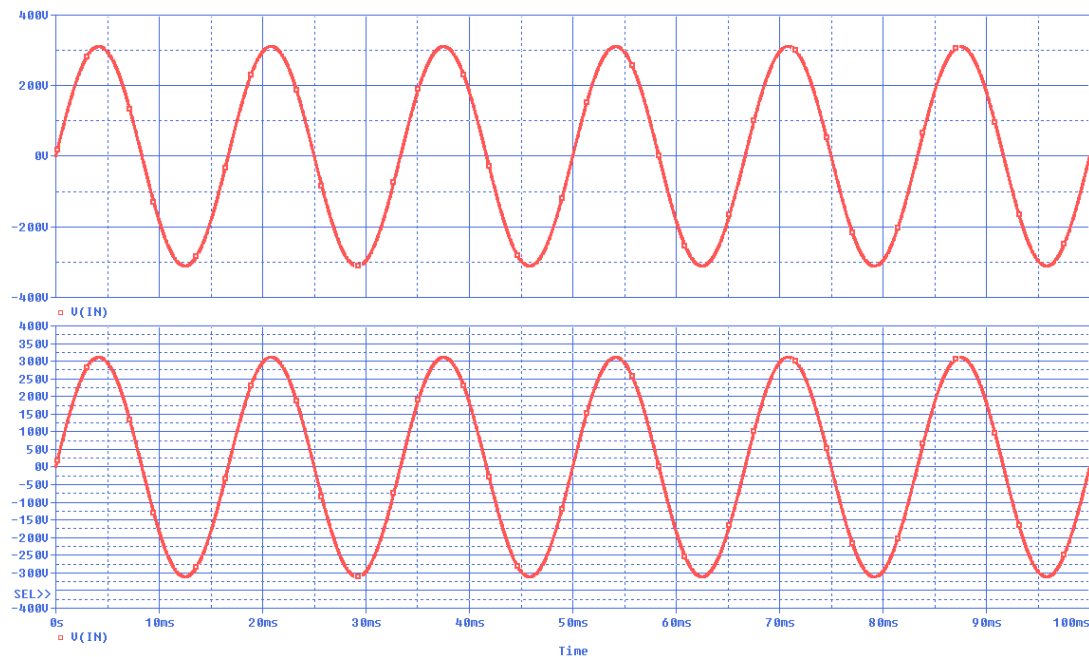
Fonte: Autoria Própria (2023).

Em *Major Spacing* pode ser determinado o espaçamento entre as linhas principais (contínuas) da grade. Na Figura 79 são apresentados dois gráficos cujos eixos Y apresentam valores de 0 a 400 V, porém o espaçamento de suas grades foi configurado com dois valores distintos.

A grade do gráfico superior foi configurada para apresentar seus valores com um espaçamento de 200 V, de forma que o eixo Y apresenta apenas quatro linhas, desconsiderando o valor zero. Já o gráfico inferior foi modificado para um espaçamento de 50 V, de maneira que o número de linhas de grade aumentou para dezesseis. Pode-se constatar que, quanto menor o valor inserido, maior a quantidade de valores apresentados no eixo Y.

A mesma configuração é válida para o eixo X. Porém, diferentemente das alterações realizadas no eixo Y, que interferem apenas na janela de plotagem selecionada, as modificações implementadas no eixo X apresentam impacto em todas elas. Na figura, o valor atribuído ao *Major Spacing* do eixo X é de 10m.

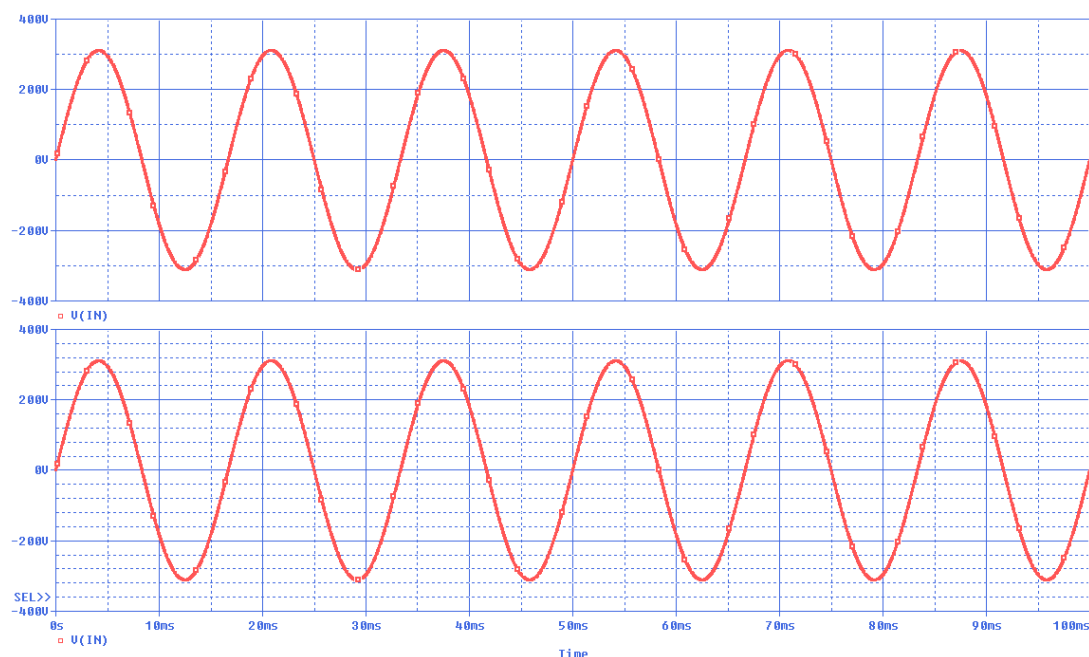
Figura 79: Gráficos com valores de 200 e 50 atribuídos ao parâmetro Major Spacing.



Fonte: Autoria Própria (2023).

As linhas pontilhadas são configuradas em *Minor Spacing*, sendo possível definir quantas divisões o usuário deseja que sejam dispostas entre as linhas principais da grade. Na Figura 80, o *Minor Spacing* foi alterado para os valores de 2 e 5, respectivamente. Dessa maneira, a primeira forma de onda pode ser analisada considerando 100 V por divisão, enquanto o segunda apresenta 40 V por divisão.

Figura 80: Gráficos com valores de 2 e 5 atribuídos ao parâmetro Minor Spacing.

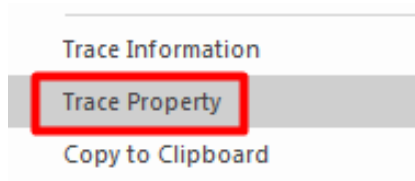


Fonte: Autoria Própria (2023).

3.2.2.4 Personalizando cores e traços

Além da personalização de eixos e grades do gráfico, também é possível editar características dos traços das formas de onda. Para isso, basta selecionar a forma de onda desejada e clicar com o botão esquerdo do mouse. Em seguida, clicar em *Trace Property*, como apresentado na Figura 81.

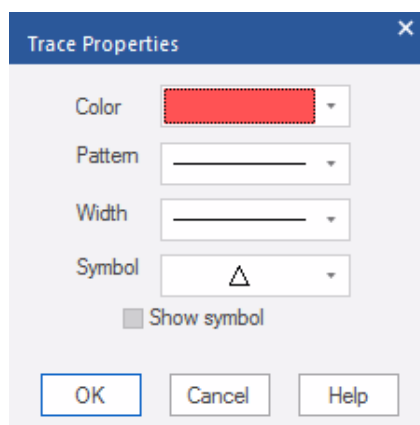
Figura 81: Iniciando a janela de personalização dos traços.



Fonte: Autoria Própria (2023).

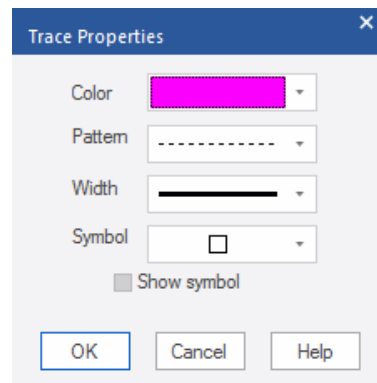
Fazendo isso, será aberta a janela que contém as propriedades do traço selecionado, apresentada na Figura 82. Nela é possível editar a cor da forma de onda, o estilo do traço (contínuo, tracejado, pontilhado), sua espessura e o símbolo presente ao longo do traço, que também representará a forma de onda na legenda do gráfico.

Figura 82: Janela de propriedades do traço.



Fonte: Autoria Própria (2023).

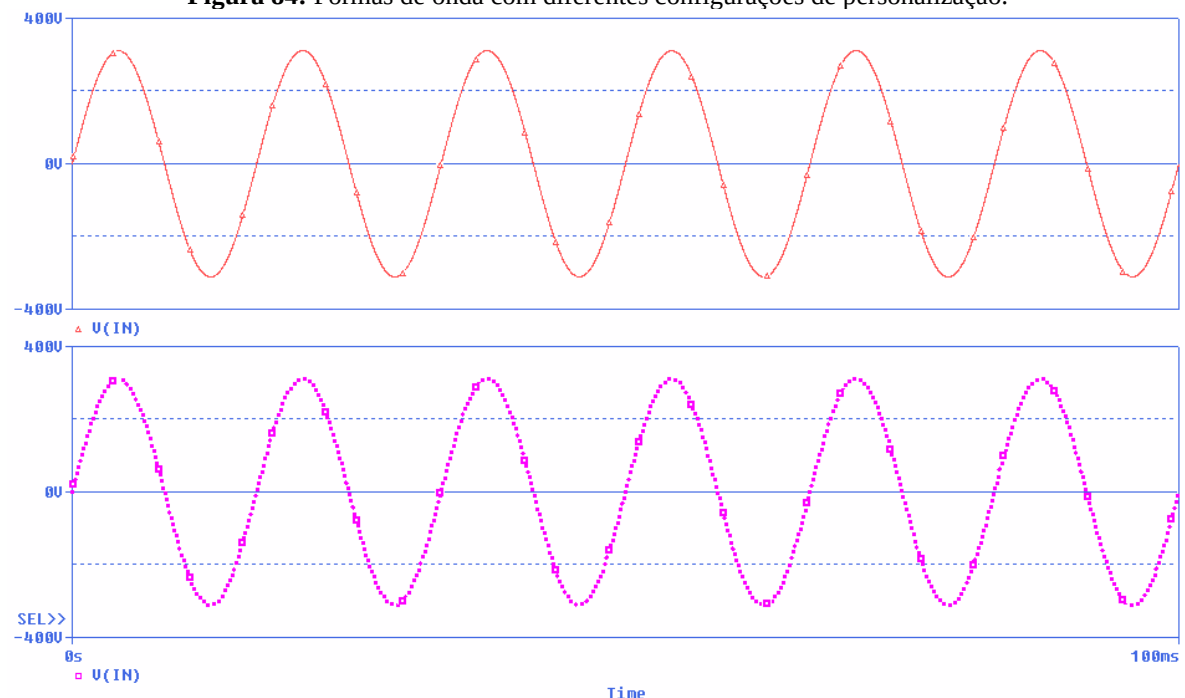
Para exemplificar a influência dessas propriedades na forma de onda, foram realizadas algumas alterações conforme apresentadas na Figura 83. Como pode-se observar, todos os parâmetros presentes na janela foram modificados a fim de ilustrar o que a mudança de cada um deles representa de fato no estilo do traço.

Figura 83: Modificação das características da forma de onda.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Abaixo, na Figura 84, são apresentados dois gráficos contendo a forma de onda da tensão de entrada, $V(IN)$. No gráfico superior, a forma de onda encontra-se personalizada conforme as configurações apresentadas na Figura 82, enquanto o gráfico inferior contém a forma de onda que foi personalizada de acordo com a Figura 83, ou seja, que ilustra o traço com as novas configurações.

Como pode-se observar, a primeira forma de onda é representada pela cor vermelha, apresenta um traço contínuo, fino e com pequenos triângulos ao longo de seu formato. Já a segunda apresenta uma cor rosa, traço pontilhado, uma maior espessura e pequenos quadrados ao longo de sua estrutura.

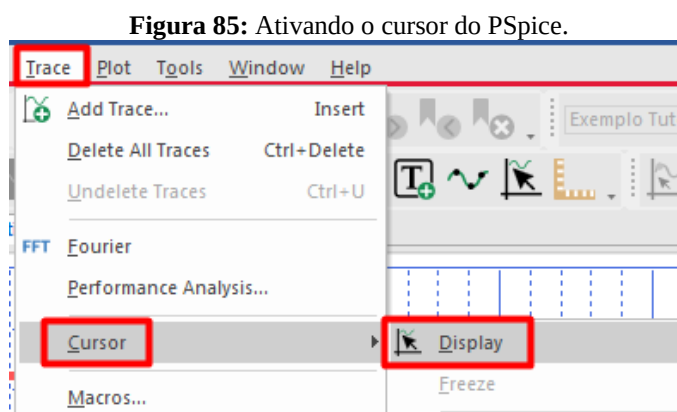
Figura 84: Formas de onda com diferentes configurações de personalização.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Como mencionado, os símbolos correspondentes a cada forma de onda podem ser observados na legenda do gráfico, e possuem a mesma cor do traço ao qual foi atribuído. Dessa forma, pode-se verificar na Figura 84 que a forma de onda do gráfico superior é representada na legenda por um triângulo vermelho, enquanto a inferior apresenta um quadrado cor de rosa.

3.2.3 Obtendo valores a partir das formas de onda

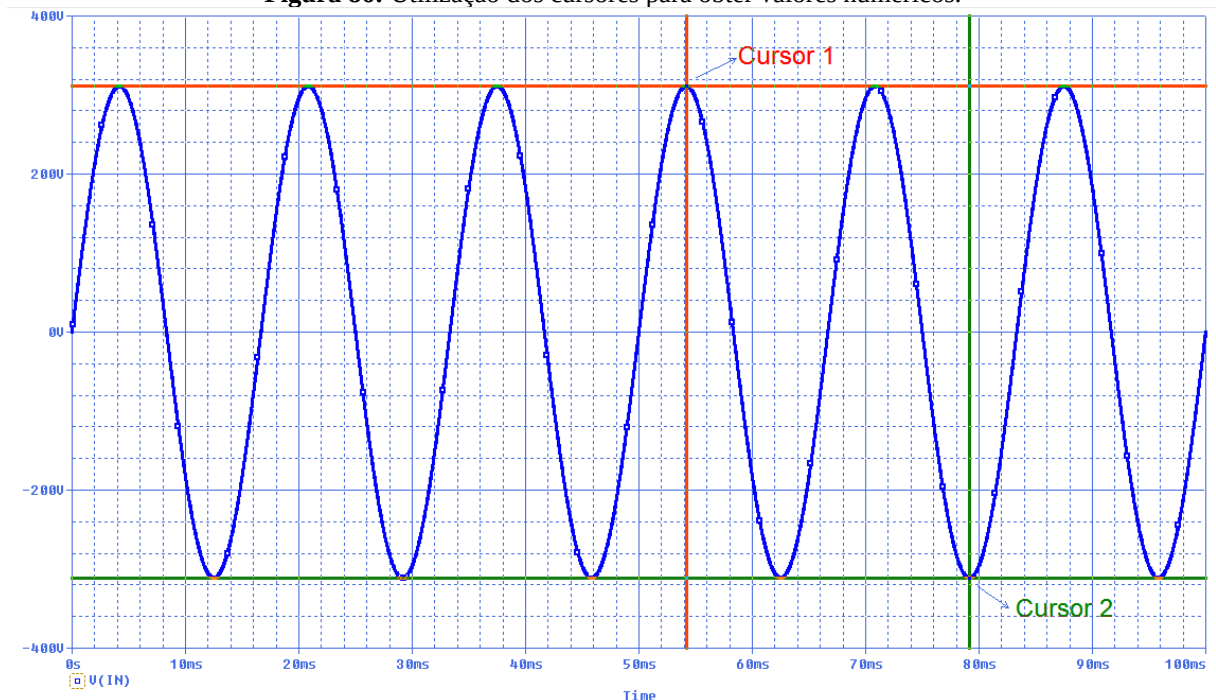
Ao simular circuitos, além da visualização do comportamento das grandezas ao longo do tempo, também busca-se obter informações a respeito de seus valores numéricos. Uma maneira utilizada para realizar a aquisição desses valores é a partir do cursor do PSpice. Para ativá-lo, é necessário seguir o seguinte caminho: menu *Trace* → *Cursor* → *Display*, como apresentado na Figura 85.



Fonte: Autoria Própria (2023).

O PSpice dispõe de dois cursores, cujos valores obtidos são expostos na janela *Probe Cursor*. O cursor 1 é controlado pelo botão esquerdo do mouse, enquanto o botão direito é responsável pelo controle do cursor 2.

Para exemplificar a análise dos dados contidos na janela *Probe Cursor*, será utilizada a forma de onda da tensão na entrada do circuito, ilustrada na Figura 86. Além disso, através da figura também podem ser observados os dois cursores inseridos no ambiente de simulação. O cursor 1 possui a cor vermelha e o cursor dois possui a cor verde.

Figura 86: Utilização dos cursores para obter valores numéricos.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Os valores medidos pelos cursores encontram-se organizados em dois quadros na janela *Probe Cursor*, como apresentado pela Figura 87.

Figura 87: Janela *Probe Window* contendo os valores medidos pelos cursores.

Probe Cursor											
	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2	Y1(Cursor1) - Y2(Cursor2)		622.000			
		X Values	54.166m	79.168m	-25.002m	Y1 - Y1(Cursor1)	Y2 - Y2(Cursor2)	Max Y	Min Y	Avg Y	
	CURSOR 1:2	V(IN)	311.000	-311.000	622.000	0.000	0.000	311.000	-311.000	15.259u	

Fonte: Autoria Própria (2023).

Na primeira e na segunda coluna do primeiro quadro são indicadas a cor e o nome da forma de onda cujos dados serão apresentados nas colunas seguintes. Nesse caso, a forma de onda analisada é a tensão de entrada V(IN), representada pela cor azul. Caso existissem mais formas de onda no ambiente de simulação, seus nomes e cores estariam dispostos nas linhas seguintes.

Ao lado, na terceira e quarta coluna, são descritos os valores medidos pelos cursores 1 e 2, respectivamente. Na linha de *X Values*, são indicados os pontos nos quais os cursores tocam o eixo X, que são 54,166 m e 79,168 m, respectivamente. Abaixo, na linha correspondente à

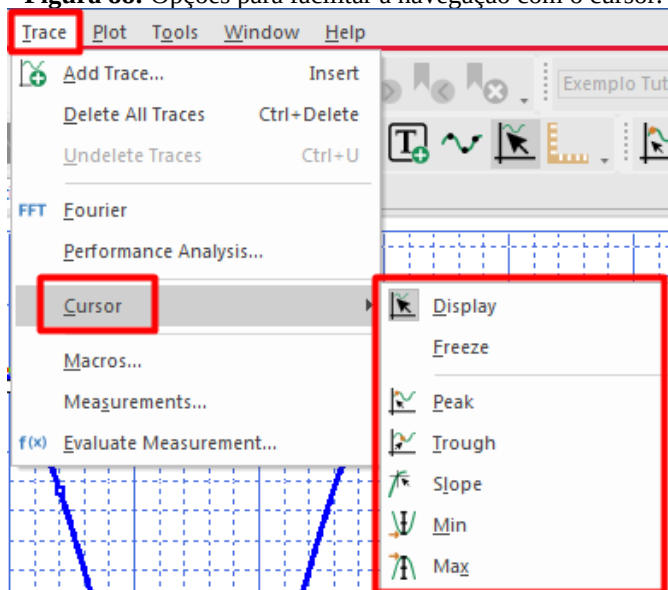
variável analisada, são apresentados os valores obtidos quando os cursores interceptam o eixo Y, que são 311 V e -311 V.

Na quinta coluna, o *software* apresenta a subtração realizada entre os valores medidos pelos cursores, o que pode ser útil durante alguns tipos de análise. Porém, deve-se atentar aos sinais dos termos, pois valores negativos no subtraendo acarretam na realização de uma soma, como ocorreu nesse caso, obtendo um valor de 622 V, correspondente ao valor de pico a pico da tensão.

No segundo quadro também são apresentados os valores máximo e mínimo do eixo Y medidos pelo cursor. Além deles, na última coluna no quadro, o *software* apresenta o resultado da média calculada entre esses dois valores. Nesse caso, o valor médio foi muito próximo de zero (15,259 μV), como esperado para uma onda senoidal com simetria no eixo X.

Para facilitar o encontro de pontos específicos da forma de onda, como os picos e vales, o *software* fornece algumas ferramentas para que o próprio cursor realize a busca. A Figura 88 apresenta as opções disponibilizadas.

Figura 88: Opções para facilitar a navegação com o cursor.



Fonte: Autoria Própria (2023).

As funções *Min* e *Max* são utilizadas para que o cursor indique o menor e o maior valor do gráfico. Já as funções *Peak* e *Trough* realizam a movimentação do cursor para o próximo ponto de pico e vale, respectivamente. Além disso, a função *Freeze* faz com que o cursor fique “congelado” na tela de simulação, permitindo que o usuário realize ações no gráfico sem que a posição dos cursores seja afetada.

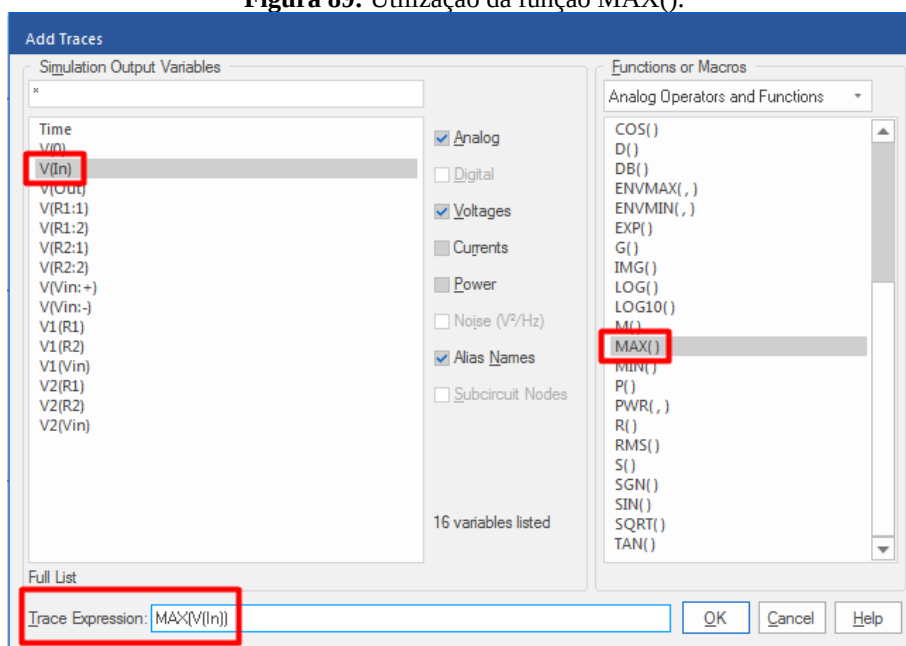
Outros dados que se busca analisar durante o projeto de circuitos elétricos e eletrônicos são os valores de pico, médio e eficaz das formas de onda plotadas. O OrCAD, em *Trace* → *Add Trace*, fornece diversas funções que podem ser utilizadas no processo de aquisição desses valores, e seus modos de utilização serão apresentados a seguir.

3.2.3.1 Pico

Como mencionado anteriormente, o valor de pico de uma onda pode ser obtido por meio do próprio cursor. Porém, uma outra maneira para determinar esse valor é através da utilização da função `MAX()`.

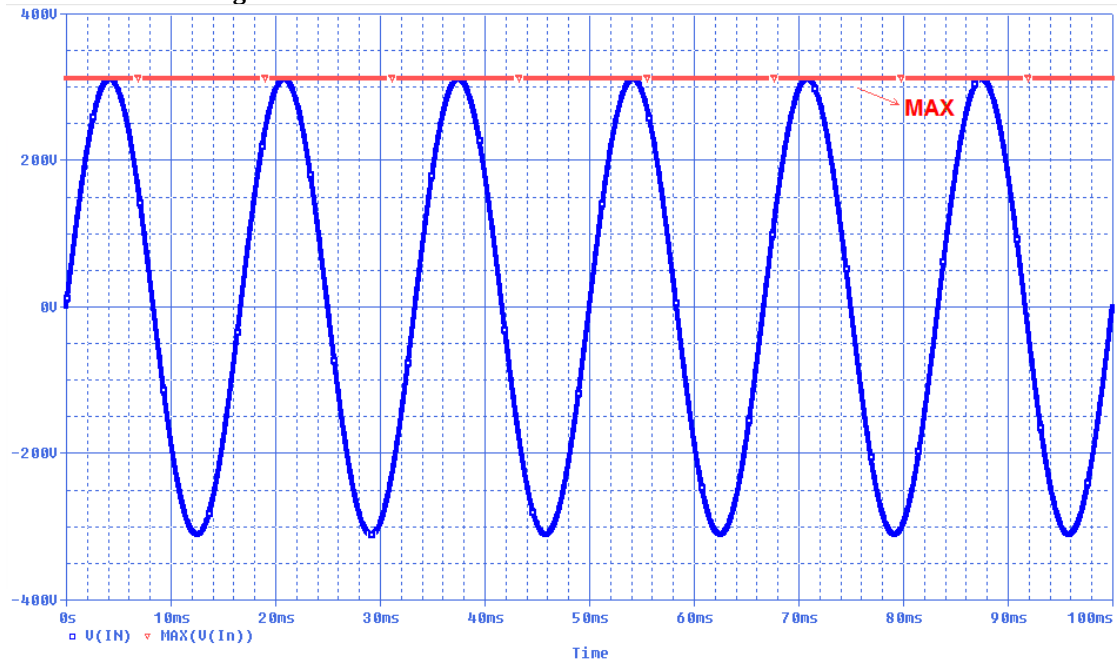
A Figura 89 apresenta a escrita da expressão matemática que emprega a função `MAX()` para a obtenção do valor de pico da tensão de entrada do circuito (`V(In)`). Como pode-se observar, a expressão utilizada para gerar a curva desejada é inserida na caixa de texto *Trace Expression*. Ao escrevê-la, deve-se atentar para a utilização adequada dos parênteses.

Figura 89: Utilização da função `MAX()`.



Fonte: Autoria Própria (2023).

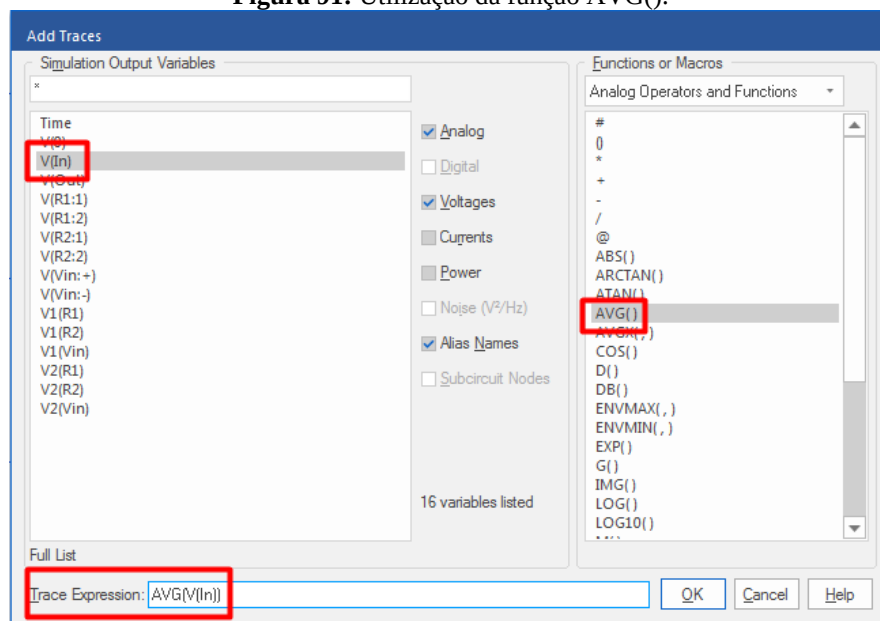
Com isso, a nova forma de onda é inserida no gráfico, como apresentado na Figura 90. Como pode-se observar, o novo traço apresenta um comportamento constante e equivale ao pico da onda senoidal, como esperado. Na legenda do gráfico, a forma de onda é nomeada com a expressão utilizada para sua plotagem, ou seja, `MAX(V(In))`.

Figura 90: Forma de onda do valor máximo da tensão de entrada.

Fonte: Autoria Própria (2023).

3.2.3.2 Médio

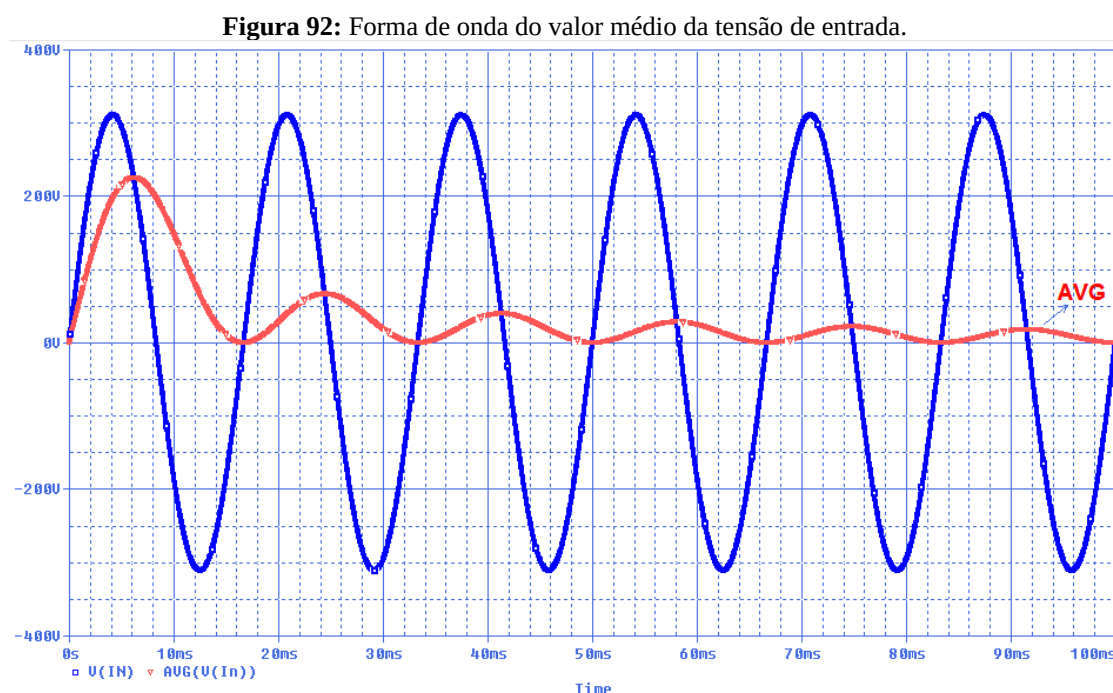
O valor médio de uma forma de onda pode ser obtido através da utilização da função `AVG()`, apresentada na Figura 91. Para exemplificar sua funcionalidade, a tensão de entrada foi novamente utilizada. Como pode-se observar, a expressão empregada para a plotagem da forma de onda do valor médio encontra-se na caixa de texto *Trace Expression*, `AVG(V(In))`.

Figura 91: Utilização da função `AVG()`.

Fonte: Autoria Própria (2023).

A curva plotada pela utilização da função `AVG()` é ilustrada na Figura 92. Como pode-se verificar, diferentemente da curva obtida para o valor de pico, a curva do valor médio não apresenta um comportamento constante.

Para uma onda senoidal com simetria no eixo x, como no exemplo, o valor médio deve ser zero. Ao observar o comportamento da forma de onda plotada, verifica-se que seu valor tende a zero conforme o tempo de simulação transcorre. Diante disso, para que o usuário possa obter um valor adequado, deve-se inserir um maior tempo de simulação, de forma que os cálculos realizados pelo *software* possam convergir para o valor final. Assim, é indicado que a medição seja executada no limite final da simulação, quando a resposta do circuito se encontra estabilizada.



Fonte: Autoria Própria (2023).

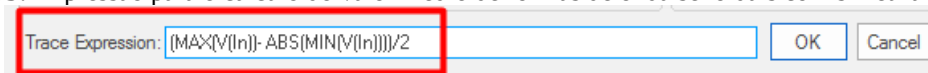
Além disso, em casos nos quais o usuário conhece a expressão matemática utilizada para calcular determinados valores da forma de onda, é possível inseri-la em *Trace Expression*. Dessa maneira, o *software* realiza a plotagem de uma onda com comportamento constante, através da qual é possível medir um valor mais preciso.

O cálculo do valor médio de uma forma de onda com formato senoidal e simetria no eixo x pode ser realizado utilizando a Equação 1, sendo q uma variável arbitrária inserida apenas para tornar mais fácil a adaptação da expressão para o exemplo atual.

$$Valor\ médio(q) = \frac{(valor\ máximo(q) - |valor\ mínimo(q)|)}{2} \quad (1)$$

Dessa forma, a expressão utilizada no OrCAD é apresentada na Figura 93. Como pode-se verificar, a variável q foi substituída pela nomenclatura da forma de onda desejada, que é a tensão de entrada $V(IN)$. Para os valores máximo e mínimo foram utilizadas as funções $MAX()$ e $MIN()$, respectivamente. O módulo é representado pela função $ABS()$. Além disso, pode-se verificar a utilização da barra “/” como operador matemático de divisão.

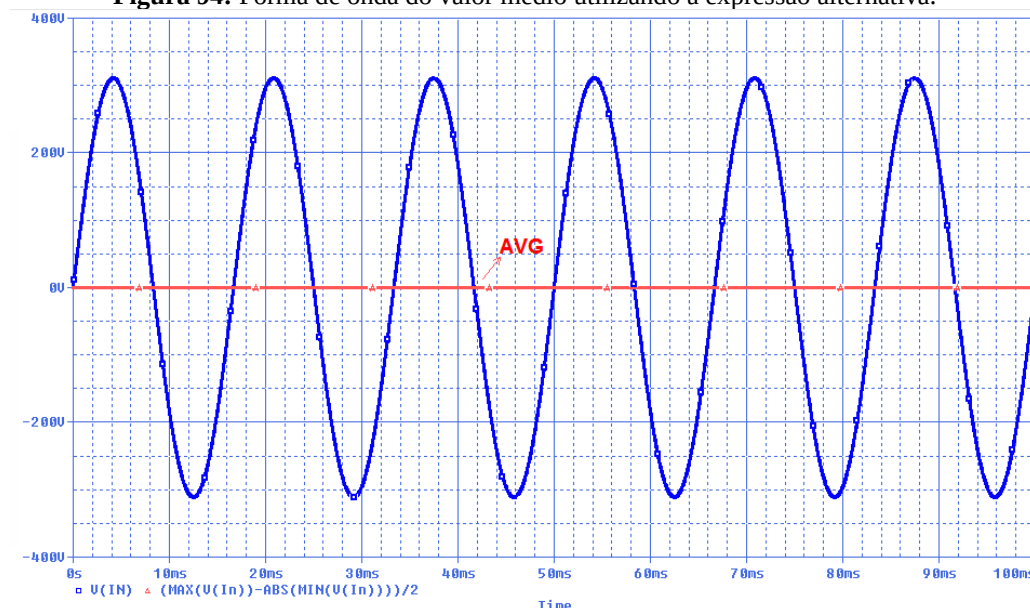
Figura 93: Expressão para o cálculo do valor médio de formas de onda senoidais com simetria no eixo x.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A forma de onda obtida é apresentada na Figura 94. Como pode-se verificar, ela apresenta um comportamento constante, com valor nulo conforme o esperado.

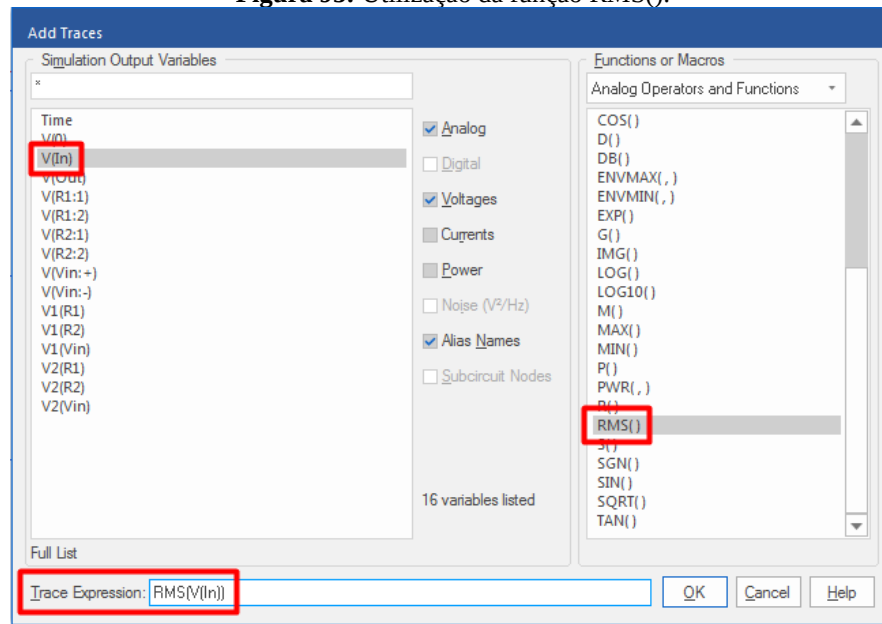
Figura 94: Forma de onda do valor médio utilizando a expressão alternativa.



Fonte: Autoria Própria (2023).

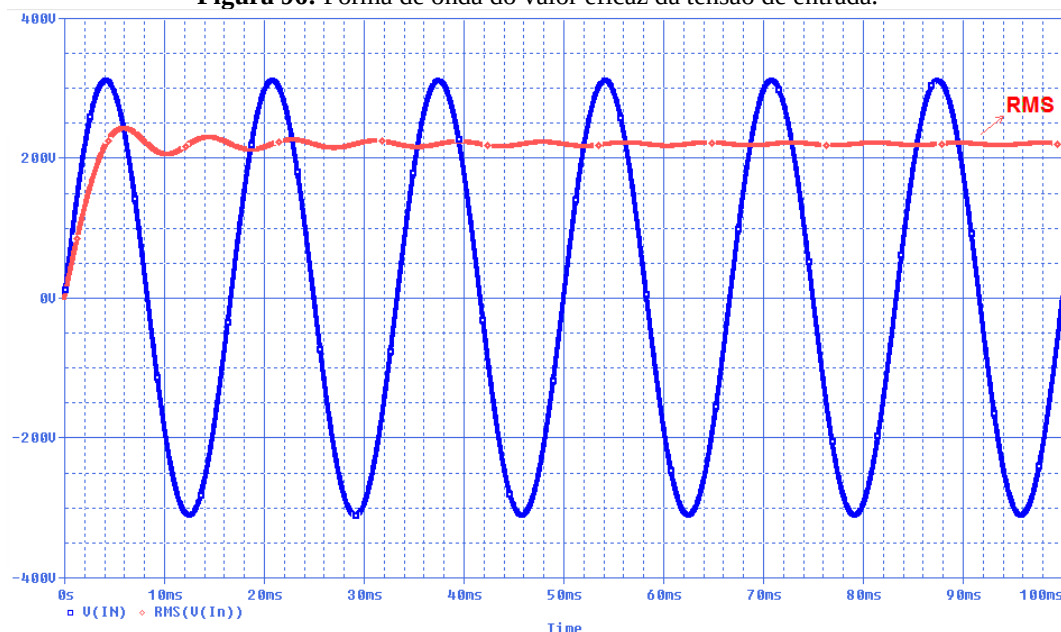
3.2.3.3 Eficaz

O valor eficaz (ou *rms*) de uma forma de onda pode ser obtido através da utilização da função $RMS()$, apresentada na Figura 95. Assim como no subtópico anterior, sua funcionalidade será exemplificada através da utilização da tensão de entrada. Como pode-se verificar, a expressão empregada para a plotagem da forma de onda do valor eficaz encontra-se em *Trace Expression*, $RMS(V(IN))$.

Figura 95: Utilização da função RMS().

Fonte: Autoria Própria (2023).

A curva plotada por meio da função RMS() é ilustrada na Figura 96. Como pode-se verificar, assim como a curva do valor médio que utiliza a função AVG(), a função RMS() também não fornece uma forma de onda com um comportamento constante, necessitando de um tempo maior de simulação para que o cálculo seja realizado de maneira adequada. Diante disso, o valor rms analisado pelo usuário deve ser obtido no final do eixo x, quando os valores calculados pelo *software* apresentam uma melhor convergência.

Figura 96: Forma de onda do valor eficaz da tensão de entrada.

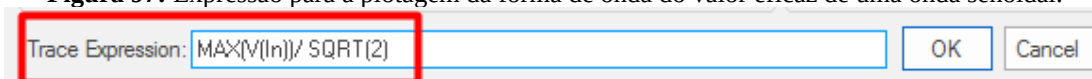
Fonte: Autoria Própria (2023).

Para ondas senoidais, uma outra forma de plotar a curva RMS é apresentada na Figura 97, cuja expressão matemática é baseada na Equação 2. De maneira análoga ao procedimento realizado para a obtenção do valor médio, a letra q é apenas uma variável arbitrária utilizada para fins didáticos.

$$Valor\ rms(q) = \frac{(valor\ máximo(q))}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

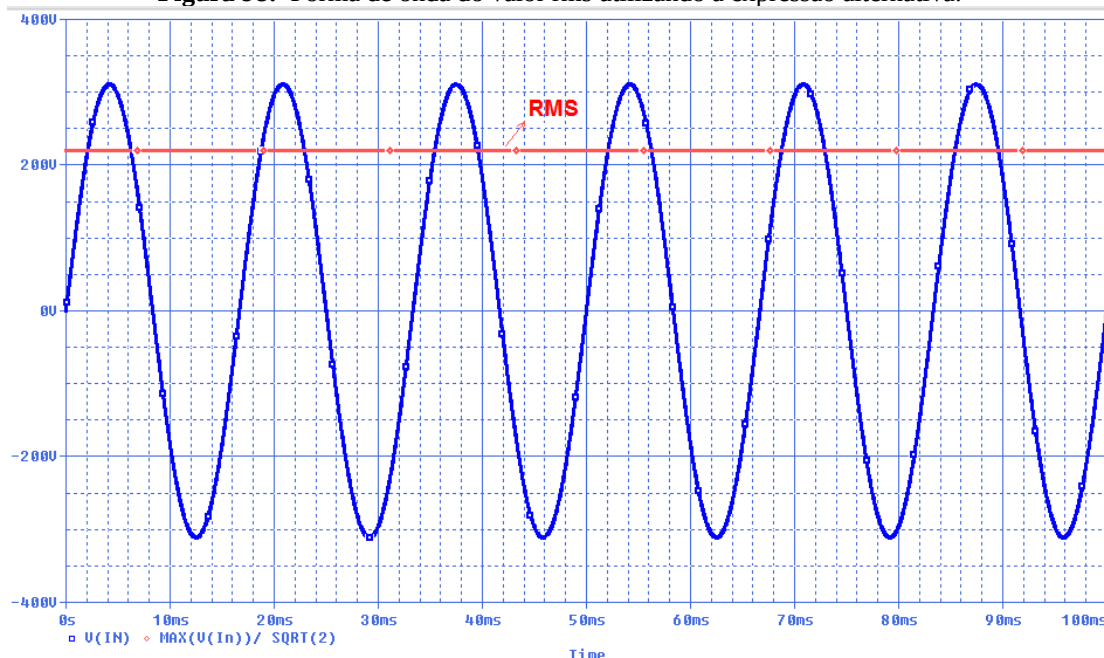
Como pode-se verificar na Figura 97, a variável q foi substituída pela tensão de entrada $V(IN)$. O valor máximo foi representado pela função $MAX()$ e a raiz quadrada pela função $SQRT()$. A forma de onda obtida é apresentada na Figura 98 e, como pode-se verificar, apresenta um comportamento constante com valor rms adequado.

Figura 97: Expressão para a plotagem da forma de onda do valor eficaz de uma onda senoidal.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 98: Forma de onda do valor rms utilizando a expressão alternativa.



Fonte: Autoria Própria (2023).

4 APLICAÇÕES

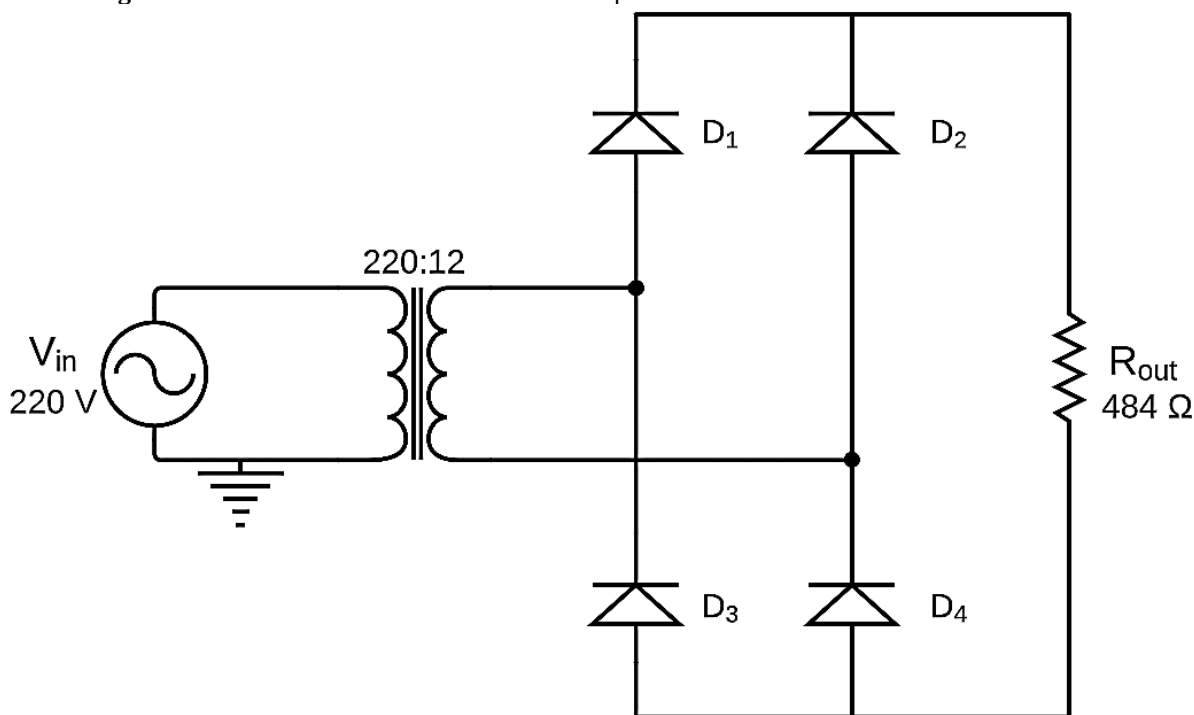
A seguir serão descritos os procedimentos utilizados para realizar o projeto do esquemático e simulação de algumas aplicações, como forma de tornar mais clara a execução das etapas dos projetos utilizando o *software* estudado.

Vale salientar que todos os exemplos de circuitos que serão apresentados foram previamente dimensionados, de forma que o presente trabalho não se propõe a detalhar essa etapa dos projetos.

4.1 RETIFICADOR MONOFÁSICO DE ONDA COMPLETA COM TRANSFORMADOR ABAIXADOR NA ENTRADA

O primeiro circuito exemplificado será um retificador monofásico de onda completa com transformador abaixador na entrada, cujo esquemático encontra-se ilustrado na Figura 99. Como pode-se observar, o transformador utilizado é responsável por abaixar uma tensão alternada de 220V eficazes fornecida pelo primário, entregando 12V no secundário. Além disso, a resistência de carga apresenta um valor de 484 Ω .

Figura 99: Retificador monofásico de onda completa com transformador abaixador na entrada.



Fonte: Autoria Própria (2023).

4.1.1 Esquemático

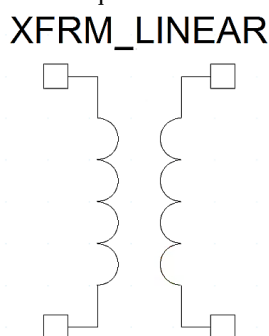
Neste subtópico serão descritas informações consideradas relevantes para a montagem do esquemático. Tais informações dizem respeito às especificações do transformador e adequações no circuito para que a simulação decorresse da maneira esperada, além da modelagem do diodo *Dbreak* para representar um diodo ideal.

Os demais componentes do circuito apresentam uma configuração simples, sendo necessário apenas inseri-los no ambiente de trabalho e alterar seus valores, conforme descrito no subtópico 3.1.3.3. Como mencionado no subtópico 3.1.2.1.1, a fonte de entrada (VSIN) encontra-se disponível na biblioteca *Source*, os resistores fazem parte da biblioteca *Analog*.

4.1.1.1 Transformador

O OrCAD não apresenta um modelo de transformador ideal, porém ele pode ser representado através da utilização de um par de bobinas acopladas disponível na biblioteca *Analog*, o XFRM_LINEAR (Figura 100).

Figura 100: Símbolo esquemático do XFRM_LINEAR.

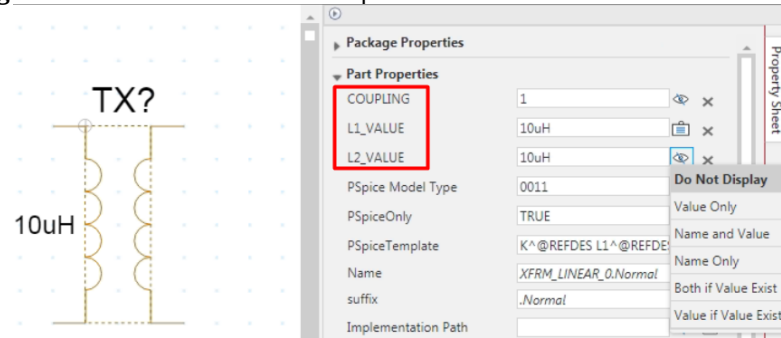


Fonte: Autoria Própria (2023).

Para editar esse componente, é necessário selecioná-lo e pressionar o botão direito no mouse. Em seguida, clicar em *Edit Part*. Com isso, será aberta uma nova janela, através da qual é possível editar as propriedades do transformador.

Na Figura 101 encontram-se destacados os parâmetros que serão alterados nesse exemplo, sendo eles os valores do fator de acoplamento (*COUPLING*) e das indutâncias do primário (*L1_VALUE*) e do secundário (*L2_VALUE*). Ao lado de cada especificação está presente o símbolo de um olho, que é responsável por habilitar a possibilidade de visualização desses parâmetros no esquemático. Como pode-se observar, o valor de L1 foi habilitado, de forma que ele está sendo apresentado ao lado de sua respectiva bobina no desenho do transformador.

Figura 101: Editando o fator de acoplamento e as indutâncias do transformador.



Fonte: Autoria Própria (2023).

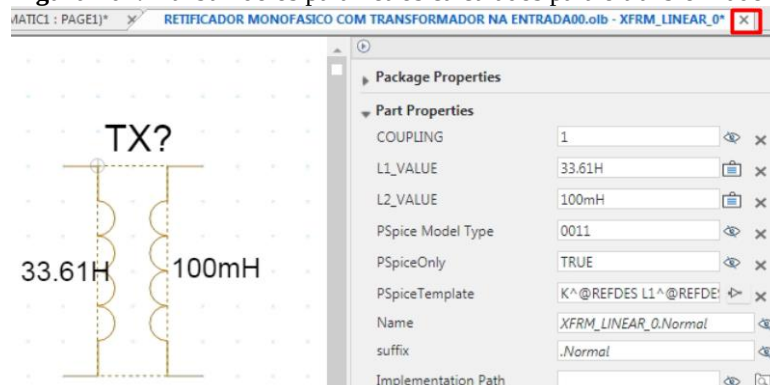
Para um transformador ideal, o fator de acoplamento será igual a 1, descrevendo um sistema com máxima eficiência, sem perdas de energia. O valor das indutâncias é determinado de acordo com o número de espiras de cada bonina. Por sua vez, o número de espiras está relacionado diretamente com as tensões do primário e do secundário. Assim, o cálculo das indutâncias pode ser realizado através da Equação 3.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{L_2}} \quad (3)$$

, onde V é a tensão, N o número de espiras e L o valor das indutâncias. Os subscritos 1 e 2 correspondem a primário e secundário, respectivamente.

Dessa forma, tendo em vista que o transformador abaixador do exemplo apresenta uma tensão de 220V no primário e 12V no secundário, as indutâncias obtidas foram de 33,61H e 100mH, respectivamente. Após realizar a alteração dos valores, conforme apresentado na Figura 102, basta fechar a janela.

Figura 102: Atribuindo os parâmetros calculados para o transformador.



Fonte: Autoria Própria (2023).

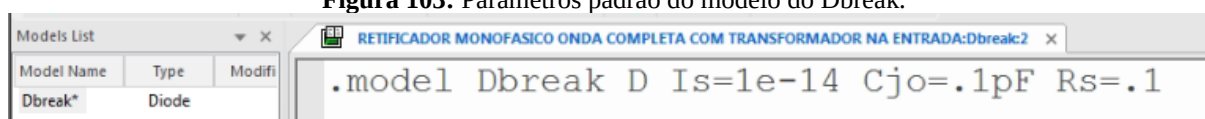
4.1.1.2 Diodo

De acordo com Hart (2012), quando as tensões de um circuito eletrônico de potência forem muito maiores que a queda de tensão direta de um diodo em condução, é conveniente considerar que o diodo apresente características ideais, pois sua utilização não implica em distorções significativas no resultado final.

O OrCAD não fornece um diodo ideal em suas bibliotecas, porém o componente *Dbreak*, disponível na biblioteca *breakout* do *software* em questão, pode ter seus parâmetros personalizados de forma que ele seja modelado como um diodo ideal. Por padrão, o fator de idealidade (n) de um diodo no *software* é igual a 1. Porém, para um diodo ideal, esse valor deve ser reduzido para 0,001.

Dessa forma, para editar os parâmetros do modelo de simulação do diodo *Dbreak*, o primeiro passo é inseri-lo no ambiente de trabalho. Após isso, com o componente selecionado, dá-se um clique com o botão direito do mouse e seleciona a opção *Edit PSpice Model*. Com isso, será aberta uma nova janela (Figura 103).

Figura 103: Parâmetros padrão do modelo do *Dbreak*.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Como pode-se observar, nessa janela são apresentados os parâmetros do *Dbreak* pré-estabelecidos pelo *software*. Como mencionado no subtópico 3.1.2.1.3, por padrão são determinados os valores da corrente de saturação, da capacitância de junção e da resistência parasita para este modelo.

Figura 104: Parâmetros de um diodo ideal.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 104 apresenta as alterações realizadas para representar um diodo ideal. Como pode-se verificar, apenas corrente de saturação foi mantida e junto a ela foi adicionado o fator de idealidade do diodo, com o valor de 0,001. Além disso, também foi realizada uma modificação no nome do componente, de forma que as alterações realizadas não sejam atribuídas ao modelo original.

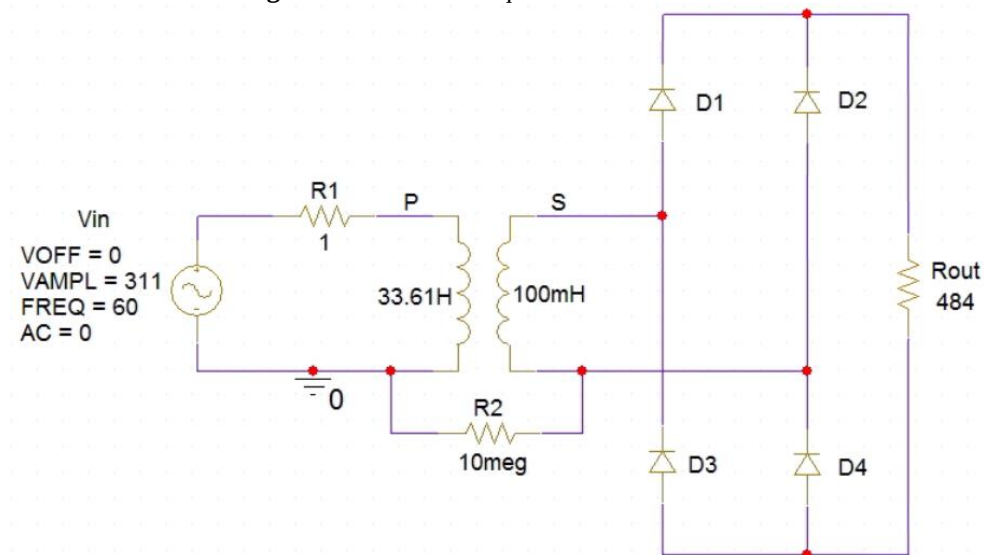
Vale ressaltar que o modelo nomeado como *Dideal* só poderá ser utilizado dentro do esquemático no qual foi criado, podendo ser copiado e colado em outras áreas do circuito. Isso ocorre pois o componente não foi adicionado a uma biblioteca, de maneira que o *software* não o reconhece e não permite sua inserção em outros arquivos.

4.1.1.3 Circuito final

O esquemático final é mostrado na Figura 105. Como pode-se observar, o circuito apresenta dois resistores adicionais. O primeiro se encontra no primário do transformador e possui um valor muito baixo, sendo inserido apenas para fins de simulação, tendo em vista que uma não utilização acarreta em erros envolvendo a fonte de tensão e a bobina do primário do transformador.

Além disso, para que o *software* não indique erros decorrentes de nós flutuantes no circuito, o segundo resistor é utilizado para interligar o secundário do transformador ao potencial terra do primário. Seu valor deve ser bastante elevado, de forma que a isolamento entre as bobinas seja.

Figura 105: Circuito esquemático eletricamente correto.



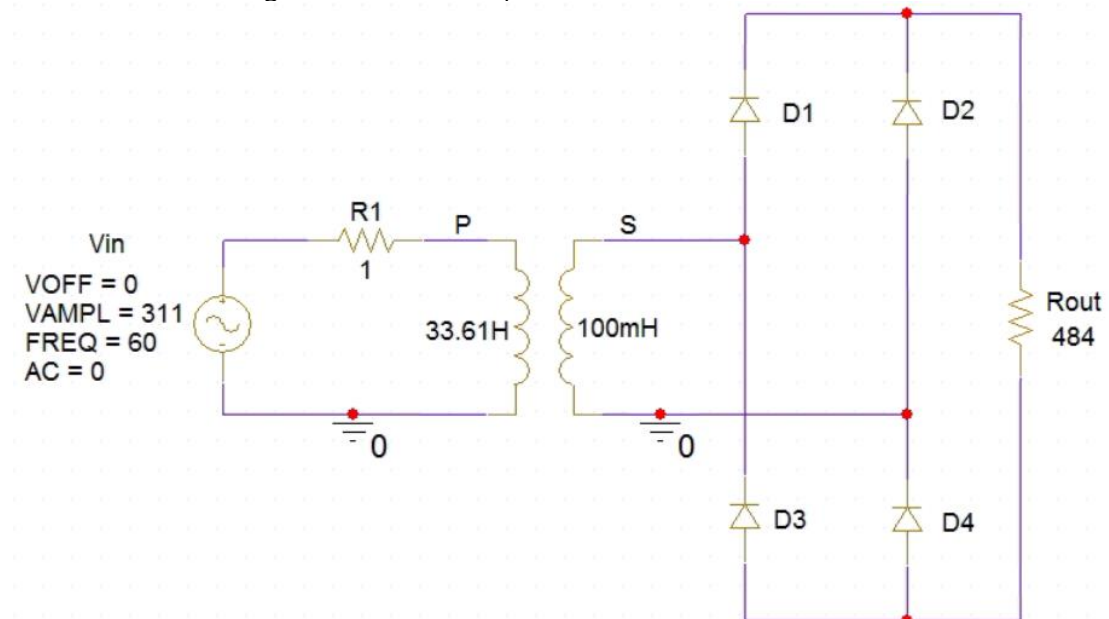
Fonte: Autoria Própria (2023).

Os circuitos ilustrados através das Figuras 106 e 107 foram montados a fim de verificar sua funcionalidade durante a simulação, obtendo os mesmos resultados que o circuito anterior. Porém, vale ressaltar que, apesar de ambos os circuitos não apresentarem erros de convergência durante a simulação, as ligações realizadas entre os terminais primário e secundário do

transformador provavelmente implicam em uma perda de isolamento eletromagnética deste dispositivo.

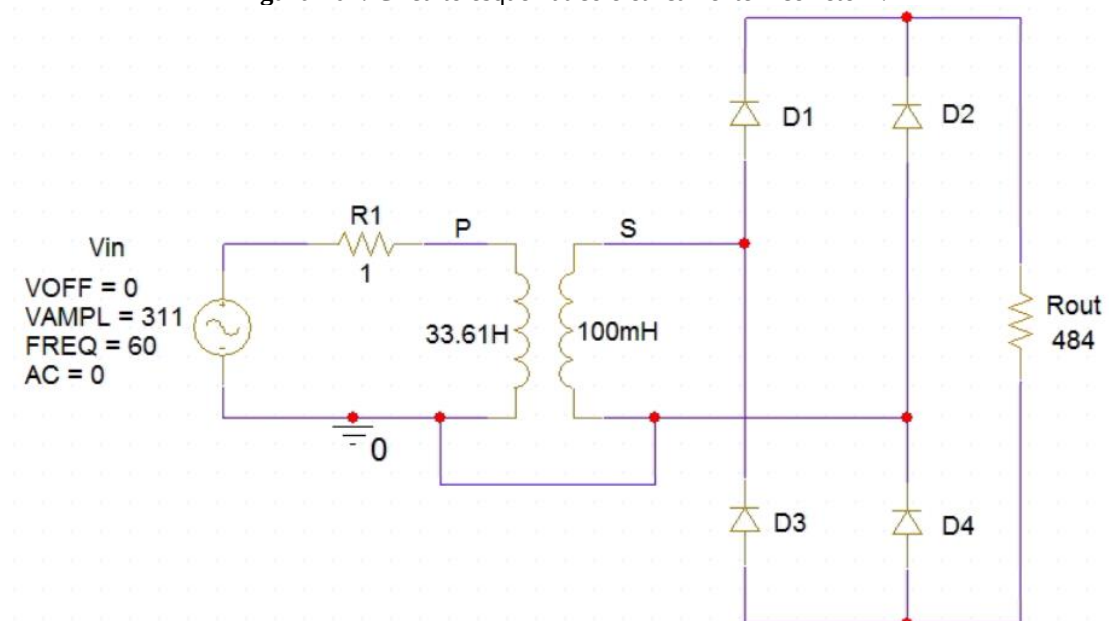
Este trabalho não irá se propor a fazer esses testes, mas é recomendado que, para análise de curto circuitos e/ou harmônicos com transformadores no OrCAD, essa avaliação seja aprofundada.

Figura 106: Circuito esquemático eletricamente incorreto I.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 107: Circuito esquemático eletricamente incorreto II.



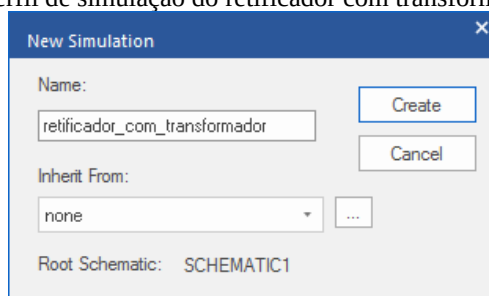
Fonte: Autoria Própria (2023).

4.1.2 Simulação

Neste subtópico será ilustrada a importância que o parâmetro *Maximum Step Size* apresenta com relação à uma boa qualidade de visualização da forma de onda gerada pelo *software*.

Para simular o circuito, o primeiro passo é a criação do perfil de simulação. Para esse exemplo, o perfil criado foi nomeado como “retificador_com_transformador”, como mostrado na Figura 108.

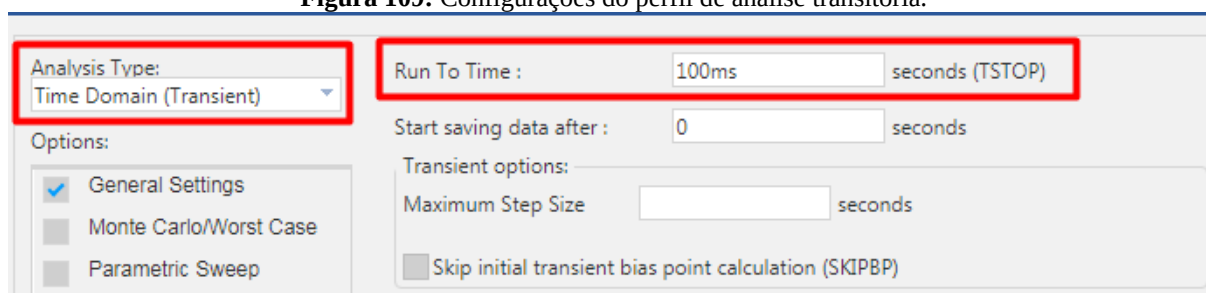
Figura 108: Perfil de simulação do retificador com transformador na entrada.



Fonte: Autoria Própria (2023).

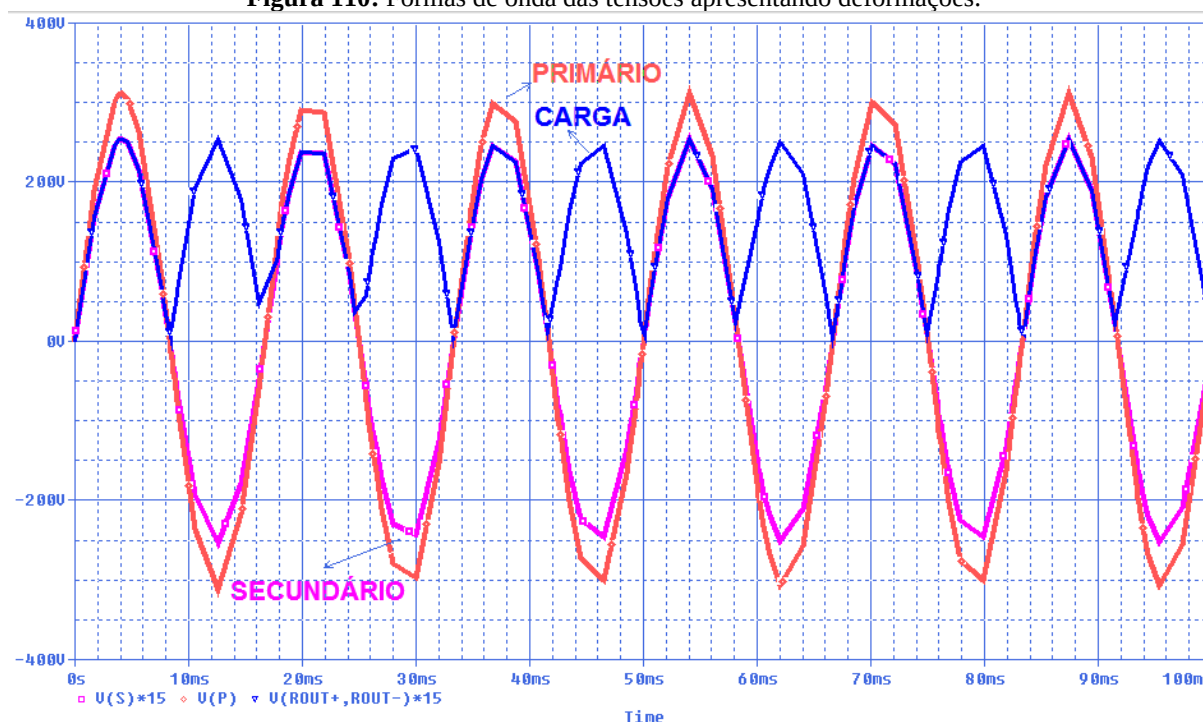
Para verificar seu funcionamento ao longo do tempo, o tipo de análise realizada será a transitória. O tempo de simulação atribuído foi de 100ms, que permitirá a visualização de 6 períodos da onda. As configurações realizadas são apresentadas na Figura 109.

Figura 109: Configurações do perfil de análise transitória.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 110 apresenta as formas de onda das tensões no primário e secundário do transformador, além da tensão na carga resistiva. Tendo em vista que o transformador abaixador apresenta como característica uma redução nos valores medidos no circuito a partir de seu enrolamento secundário, as formas de onda obtidas através da simulação foram multiplicadas por um fator de 15, com exceção da tensão do primário, possibilitando uma melhor visualização de seus comportamentos.

Figura 110: Formas de onda das tensões apresentando deformações.

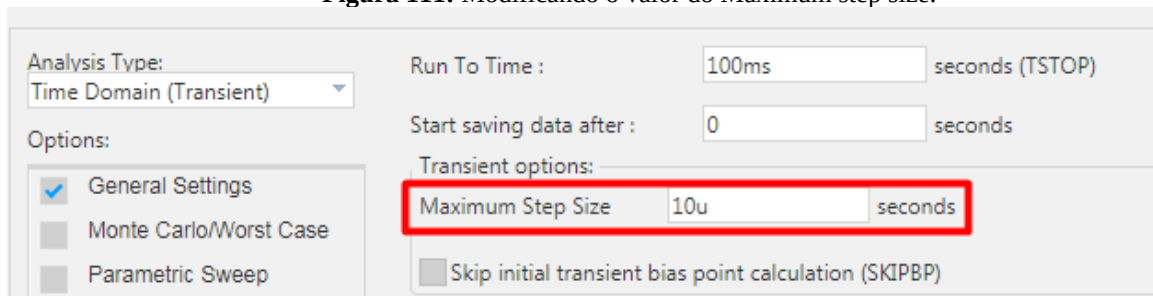
Fonte: Autoria Própria (2023).

Como pode-se observar, as formas de onda presentes na figura apresentam deformações ao longo de todo seu comprimento, de maneira que o formato puramente senoidal esperado não está sendo apresentado. Ao se deparar com esses vários trechos de retas ao longo da onda, o usuário pode imaginar que algo foi projetado ou montado de maneira errônea. Porém, na verdade, essa má formação observada tem relação com o parâmetro *Maximum step size*.

Ela ocorre pois o *software* utiliza métodos numéricos para chegar aos resultados, os quais utilizam passos de integração. Ao deixar o parâmetro *Maximum step size* sem especificação, com o campo vazio, o *software* atribui um passo de integração maior que o necessário.

Diante disso, é preciso editar o perfil de simulação e atribuir um valor a esse parâmetro, de maneira que o passo de simulação fique razoavelmente pequeno e a simulação se torne mais precisa. Porém, vale ressaltar que quanto menor o valor do *Maximum step size*, maior a quantidade de cálculos que o *software* realizará, tornando a simulação mais demorada. A Figura 111 apresenta o valor atribuído ao *Maximum step size*, que foi de $10\ \mu\text{s}$.

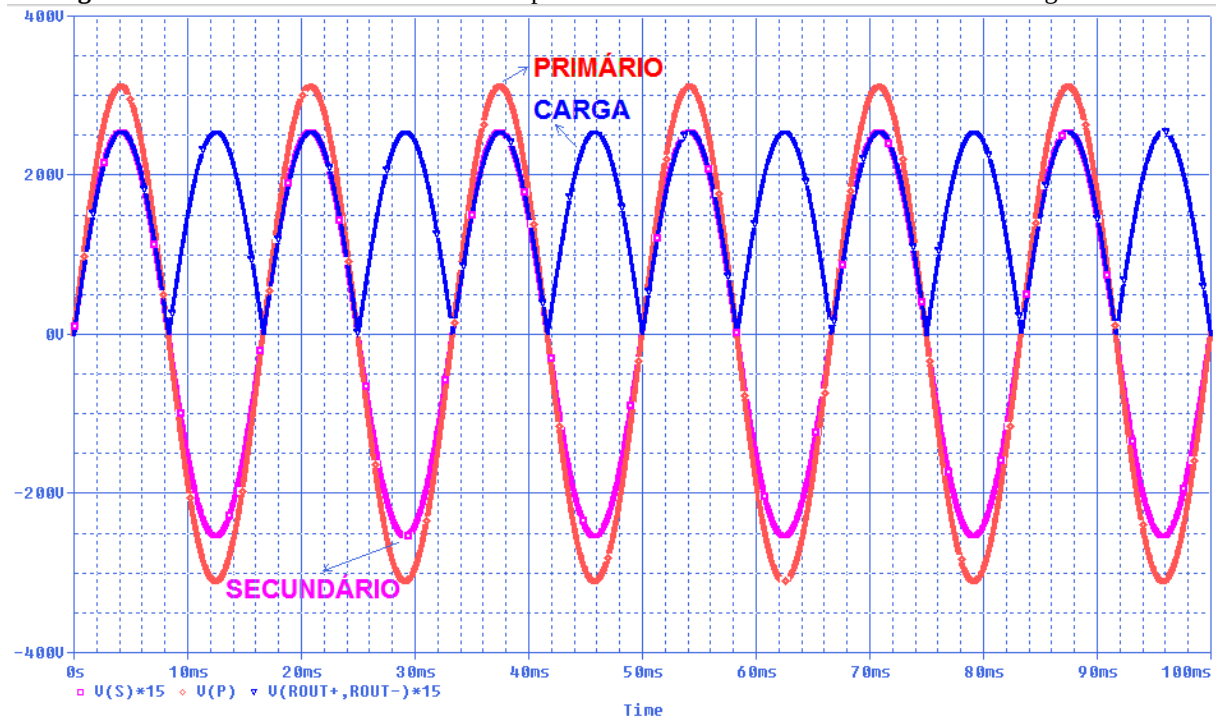
Figura 111: Modificando o valor do Maximum step size.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 112 apresenta as formas de onda após a atribuição do valor de $10\ \mu\text{s}$ ao passo de simulação. Com a alteração realizada, agora é possível observar que as formas de onda apresentam o comportamento senoidal esperado.

Figura 112: Formas de onda das tensões no primário e secundário do transformador e na carga resistiva.

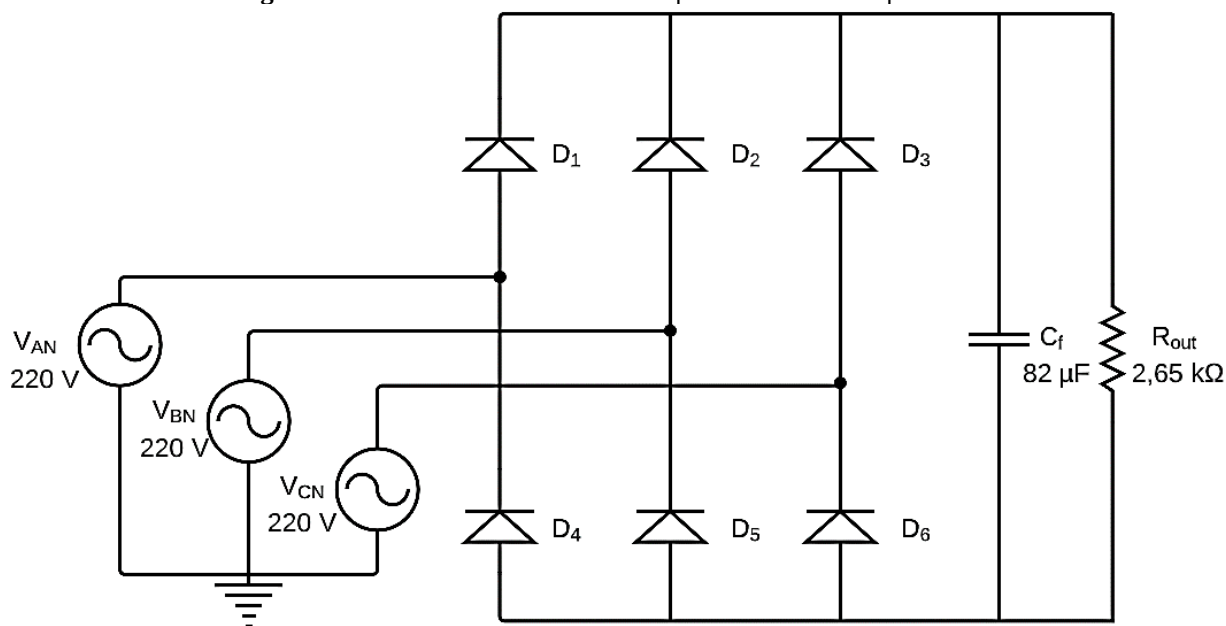


Fonte: Autoria Própria (2023).

4.2 RETIFICADOR TRIFÁSICO DE ONDA COMPLETA COM E SEM FILTRO CAPACITIVO

A próxima aplicação exemplificada será um retificador trifásico de seis pulsos com e sem filtro capacitivo na saída. A Figura 113 ilustra o esquemático do circuito com a presença do capacitor de filtragem. Na entrada pode ser observado um sistema de alimentação trifásico, o qual apresenta níveis eficazes de 220 V/ 380 V, com uma frequência fundamental de 60 Hz. A resistência de carga possui um valor de 2,65 k Ω , e o filtro capacitivo é de 82 μ F.

Figura 113: Retificador trifásico de seis pulsos com filtro capacitivo.



Fonte: Autoria Própria (2023).

4.2.1 Esquemático

Neste subtópico serão descritas informações a respeito de ajustes realizados nas fontes de entrada, tendo em vista a necessidade de alteração dos ângulos de fase para que o sistema trifásico utilizado apresente o balanceamento adequado.

Os demais componentes do circuito foram inseridos e configurados de acordo com os procedimentos descritos no decorrer do trabalho, tendo seus parâmetros ajustados em conformidade com o indicado na Figura 113. O diodo utilizado foi o *Dbreak*, o qual teve seus parâmetros alterados de maneira que apresentasse o comportamento de um diodo ideal, conforme detalhado na aplicação anterior.

4.2.1.1 Sistema de alimentação da entrada

Um sistema trifásico equilibrado é constituído por três tensões com características senoidais que apresentam as mesmas amplitudes e frequências, além de um defasamento de 120° entre elas. Diante disso, a alimentação do circuito foi implementada utilizando três fontes de tensão senoidais (VSIN), as quais foram nomeadas como VA, VB e VC. Suas especificações foram configuradas como apresentado na Figura 114, por meio do editor de propriedades descrito no subtópico 3.1.3.3.2. Para que as três fontes sejam apresentadas na janela simultaneamente, basta seleccioná-las e apenas em seguida abrir o editor de propriedades.

Figura 114: Editando as propriedades do sistema de alimentação do circuito.

	A	B	C
	SCHEMATIC1 : PAGE1 : VA	SCHEMATIC1 : PAGE1 : VB	SCHEMATIC1 : PAGE1 : VC
DC			
Designator			
DF	0	0	0
FREQ	60	60	60
Graphic	VSIN.Normal	VSIN.Normal	VSIN.Normal
ID			
Implementation			
Implementation Path	...	...	...
Implementation Type	PSpice Model	PSpice Model	PSpice Model
Location X-Coordinate	217	294	371
Location Y-Coordinate	512	511	512
Name	INS11298	INS11326	INS11354
Part Reference	VA	VB	VC
PCB Footprint			
PHASE	0	-120	120
Power Pins Visible			
Primitive	DEFAULT	DEFAULT	DEFAULT
PSpice Model Type	0011	0011	0011
PSpiceOnly	TRUE	TRUE	TRUE
PSpiceTemplate	V*@REFDES %* %- ?DCDC @DC	V*@REFDES %* %- ?DCDC @DC	V*@REFDES %* %- ?DCDC @DC
Reference	VA	VB	VC
Source Library	C:\CADENCE\SPB_17.4\TOOL	C:\CADENCE\SPB_17.4\TOOL	C:\CADENCE\SPB_17.4\TOOL
Source Package	VSIN	VSIN	VSIN
Source Part	VSIN.Normal	VSIN.Normal	VSIN.Normal
TD	0	0	0
Value	VSIN	VSIN	VSIN
VAMPL	311.127	311.127	311.127
VOFF	0	0	0
AC			
Color	Default	Default	Default

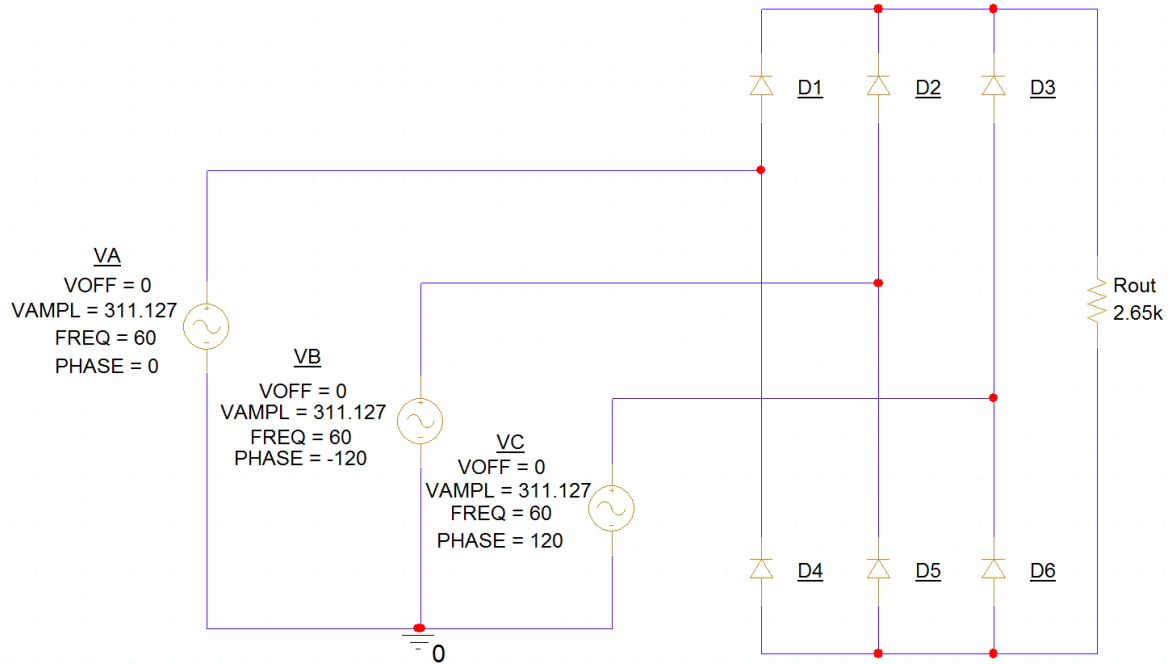
Fonte: Autoria Própria (2023).

Uma vez que se deseja representar um sistema trifásico equilibrado, à cada uma das fontes foi atribuída uma frequência de 60 Hz, uma tensão de offset de 0 V e uma amplitude de 311,127 V, que corresponde ao valor de pico de uma onda com 220 V eficazes. Com relação às fases, foram atribuídos os valores de 0° , -120° e 120° , respectivamente.

4.2.1.2 Circuito final

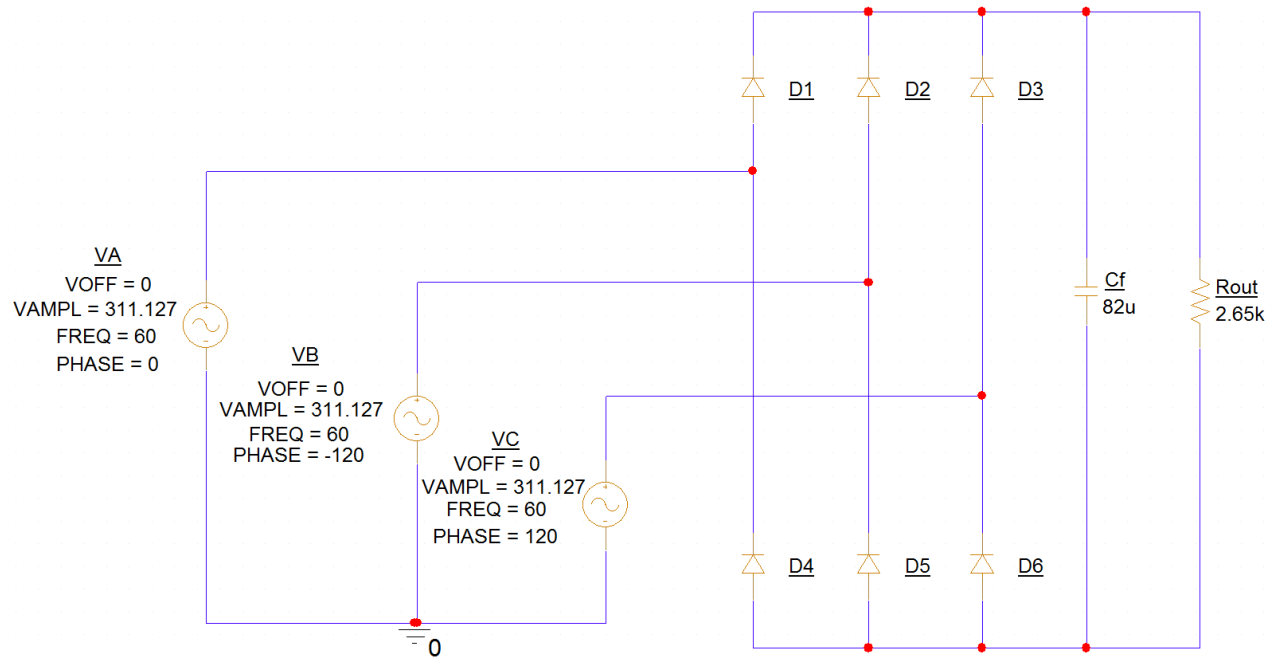
Os circuitos finalizados são apresentados nas Figuras 115 e 116. Como pode-se verificar, além das especificações gerais, agora cada fonte apresenta seu ângulo de fase correspondente.

Figura 115: Retificador trifásico de onda completa sem filtro capacitivo.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 116: Retificador trifásico de onda completa com filtro capacitivo.



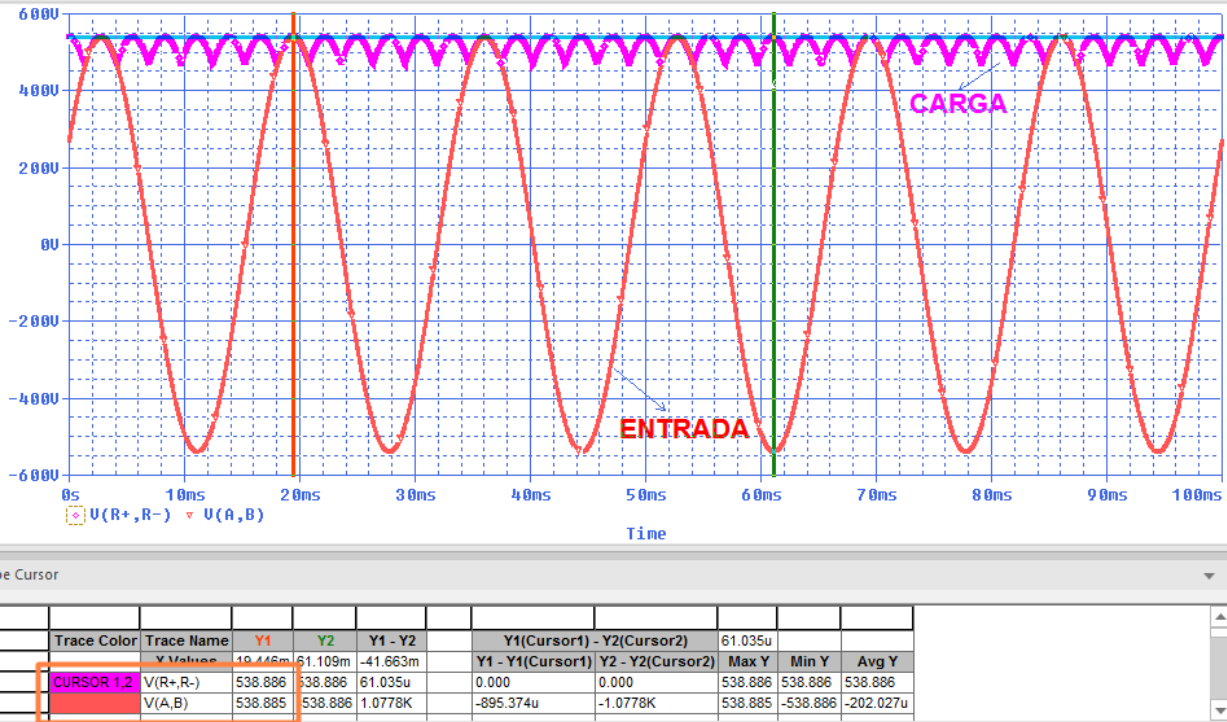
Fonte: Autoria Própria (2023).

4.2.2 Simulação

Neste subtópico, os retificadores serão utilizados para exemplificar o procedimento de plotagem da FFT das ondas de entrada e saída dos circuitos, além de explicar como realizar a análise dos valores obtidos. Além disso, o circuito com filtro será utilizado para detalhar um passo a passo que pode ser empregado para solucionar os problemas de convergência oriundos da inserção do capacitor de filtragem.

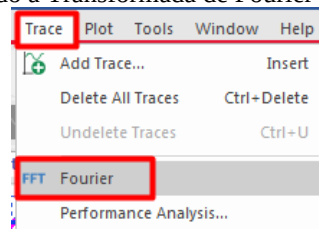
O perfil de simulação foi configurado para realizar uma análise transitória com duração de 100 ms e um passo máximo de 10 μ s. A Figura 117 apresenta as formas de onda da tensão de linha na entrada do circuito e a tensão na carga. Além disso, também podem ser observados os cursores utilizados para medir os valores de pico de ambas as curvas. Na parte inferior da figura, os valores obtidos são apresentados na janela Probe Cursor, destacados pelo retângulo laranja. As duas curvas analisadas apresentaram valores de pico de 538,88 V.

Figura 117: Formas de onda da tensão de linha na entrada e da tensão na carga, bem como seus valores de pico.



Fonte: Autoria Própria (2023).

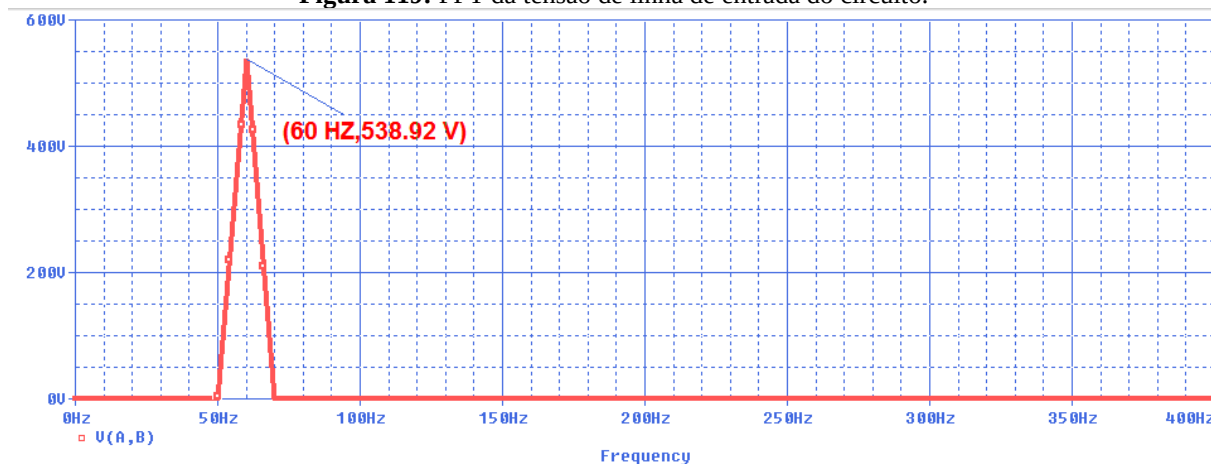
Para obter a Transformada de Fourier (FFT) dessas ondas, é necessário acessar o menu *Trace* → *Fourier*, conforme ilustrado pela Figura 118.

Figura 118: Obtendo a Transformada de Fourier das ondas analisadas.

Fonte: Autoria Própria (2023).

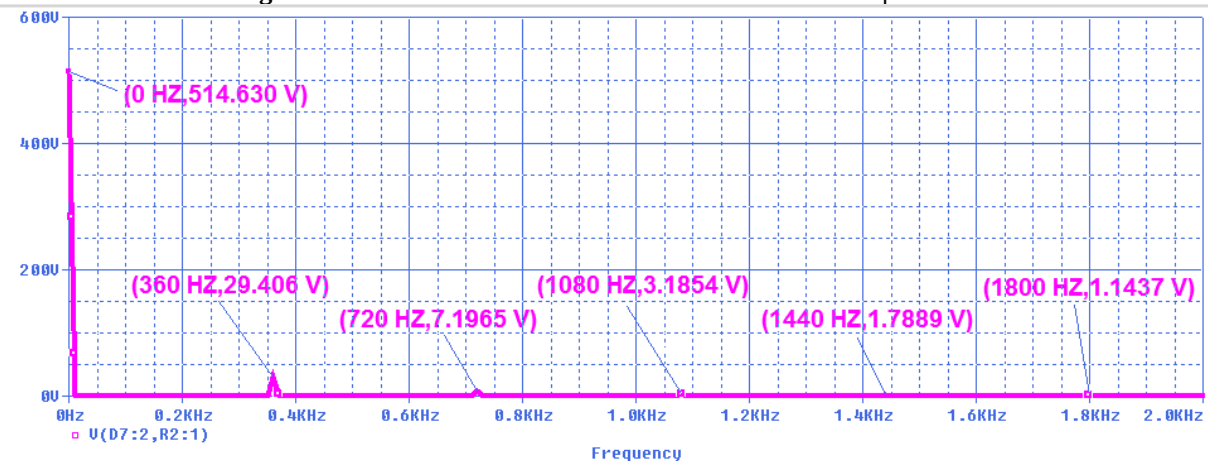
A FFT da tensão de entrada é apresentada na Figura 119. Como é possível verificar, o eixo x que antes representava o domínio do tempo, agora passou a representar o domínio da frequência. A varredura foi realizada na faixa de 0 a 400 Hz.

Por meio dela pode-se verificar um valor de pico de 538,92 V na frequência fundamental da tensão de entrada, 60 Hz. Como pode-se observar, o espectro de tensão não apresenta harmônicos, indicando um comportamento senoidal puro na entrada do sistema.

Figura 119: FFT da tensão de linha de entrada do circuito.

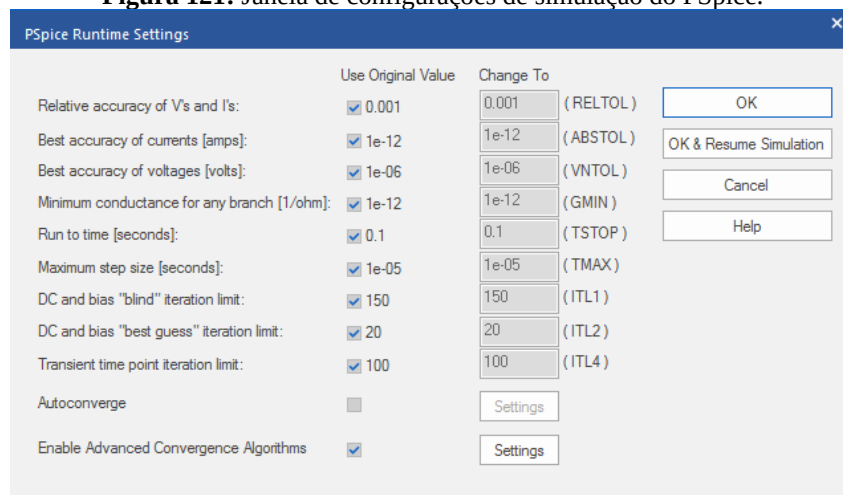
Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 120 apresenta a FFT da tensão de saída do circuito retificador. Como pode-se verificar, a componente contínua de 514,63 V se encontra da frequência de 0 Hz, e a componente alternada de 29,406 V se encontra na frequência fundamental de 360 Hz, como deve ocorrer em um retificador trifásico de seis pulsos. Além disso, o espectro apresenta algumas componentes harmônicas com valores de amplitude mais baixos em 720, 1080, 1440 e 1800 Hz.

Figura 120: FFT da tensão de saída do circuito sem filtro capacitivo.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Em seguida, foi realizada a simulação do circuito retificador trifásico com filtro capacitivo na saída. Porém, ao prosseguir com o procedimento, o PSpice apresentou uma notificação de erro de convergência, que ocorre quando os cálculos realizados pelo *software* não podem ser realizados dentro das tolerâncias definidas. Diante disso, a janela *PSpice Runtime Settings* (Figura 121) é ativada automaticamente.

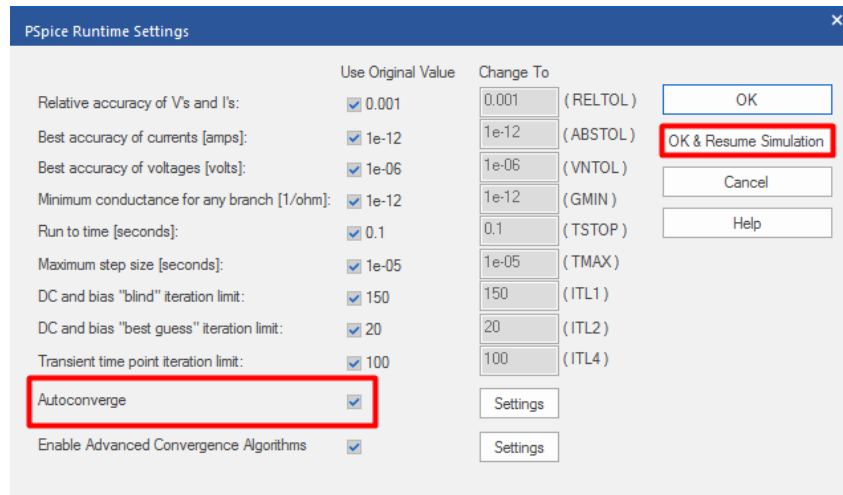
Figura 121: Janela de configurações de simulação do PSpice.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Como pode-se observar, nela estão presentes diversos parâmetros de tolerâncias que podem ser alterados para possibilitar a convergência da simulação. Porém, é difícil determinar quais valores devem ser ajustados. Diante disso, o *software* fornece uma função chamada *AutoConverge*, que determina como ajustar as tolerâncias para que a convergência seja atingida.

Com isso, deve-se habilitar essa opção e clicar em *OK & Resume Simulation*, como indicado pela Figura 122.

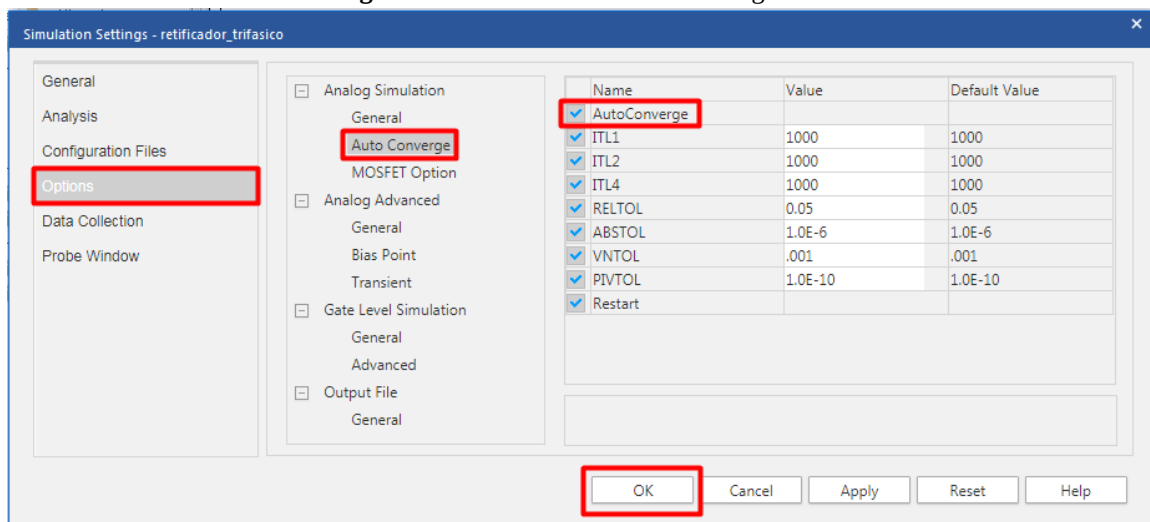
Figura 122: Habilitando a auto convergência.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Em seguida, de volta ao Capture CIS, deve-se selecionar *PSpice* → *Edit Simulation Profile*. Na guia *Options*, é necessário habilitar a função *AutoConverge*, como mostrado na Figura 123, e clicar em *OK*.

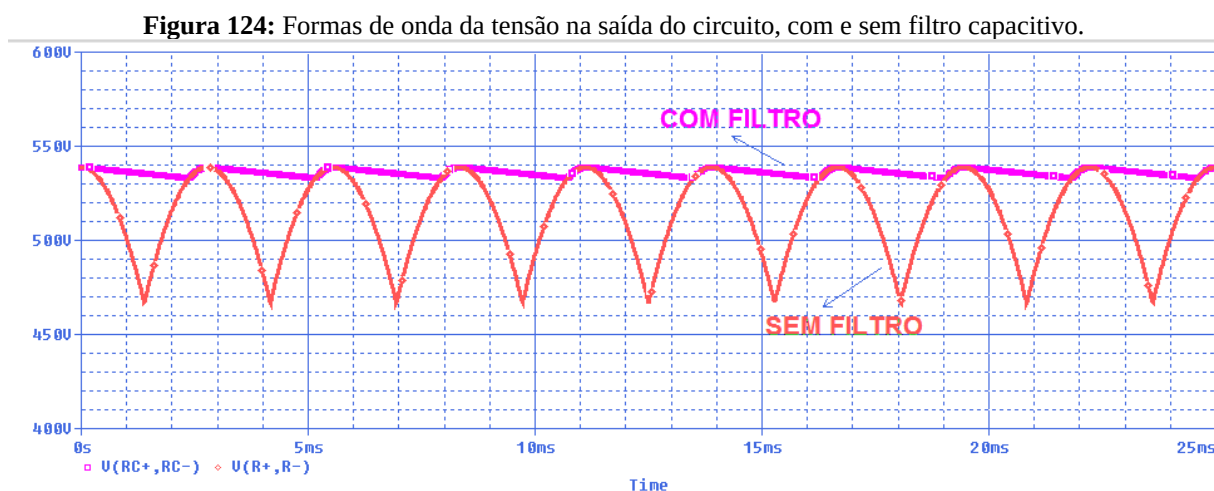
Figura 123: Habilitando a auto convergência.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Após a realização dessa configuração, pode-se dar prosseguimento à simulação da maneira habitual. Caso a janela de nome *Simulation Mensagens* abra durante esse processo, deve-se selecionar “Não” para visualizar os resultados da simulação.

Diante disso, a Figura 124 apresenta as formas de onda da tensão de saída com e sem filtro capacitivo. Para uma melhor visualização das curvas, o eixo x foi configurado para apresentar apenas 25 ms de simulação. Na legenda, a nomenclatura RC foi utilizada para indicar o terminal da carga cujo circuito apresenta o filtro capacitivo, enquanto R indica a ausência do capacitor de filtragem.



Fonte: Autoria Própria (2023).

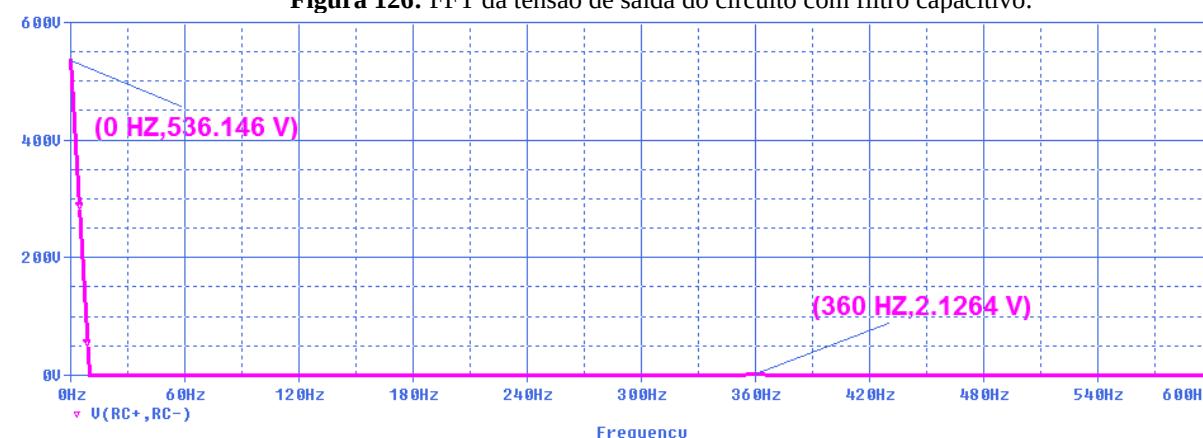
A Figura 125 apresenta os valores de pico e médios obtidos para as formas de onda do gráfico anterior. Ambas as curvas apresentaram um valor de pico de 538,886 V. O valor médio da tensão sem a presença do filtro capacitivo é 514,598 V. Com o filtro, esse valor foi elevado para 536,113 V.

Figura 125: Valores de tensão de pico e médio medidos na saída com e sem a utilização de filtro capacitivo.

Trace Color	Trace Name	Y1
	X Values	97.221m
CURSOR 1,2	V(R+,R-)	538.886
	AVG(V(R+,R-))	514.598
	V(RC+,RC-)	538.886
	AVG(V(RC+,RC-))	536.113

Fonte: Autoria Própria (2023).

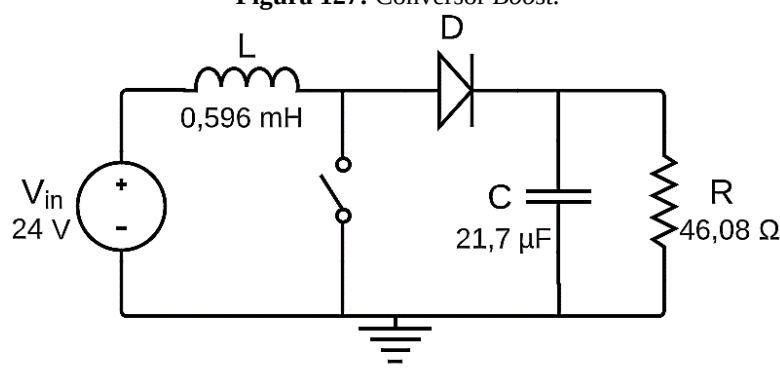
Através da Figura 126 é possível observar a FFT da tensão de saída do circuito com a presença do filtro capacitivo. Como pode-se observar, a componente contínua presente na frequência de 0 Hz agora vale 536,146 V, enquanto a componente alternada medida na frequência fundamental de 360 Hz teve seu valor reduzido para 2.1264 V. Vale salientar que o capacitor de filtragem eliminou as componentes harmônicas que estavam presentes no circuito anterior.

Figura 126: FFT da tensão de saída do circuito com filtro capacitivo.

Fonte: Autoria Própria (2023).

4.3 CONVERSOR BOOST

O terceiro circuito exemplificado será um conversor *boost*, cuja estrutura é apresentada na Figura 127. O conversor apresenta 24 V em sua entrada e deve fornecer 48 V na saída. Por meio dele, serão discutidas informações a respeito dos semicondutores de potência, além de características do chaveamento.

Figura 127: Conversor *Boost*.

Fonte: Autoria Própria (2023).

4.3.1 Esquemático

Neste subtópico serão descritas informações consideradas relevantes para a montagem do esquemático. Tais informações dizem respeito às especificações da chave e do circuito de acionamento.

A fonte de entrada (VDC) foi encontrada na biblioteca *Source* e os componentes passivos foram adicionados a partir da biblioteca *Analog*, tendo seus parâmetros ajustados de acordo com o indicado na Figura 127. Já o diodo (Dbreak) foi inserido a partir da biblioteca *Breakout*,

e teve seus parâmetros alterados conforme o procedimento descrito no subtópico 4.1.1.2, de maneira que apresentasse o comportamento de um diodo ideal.

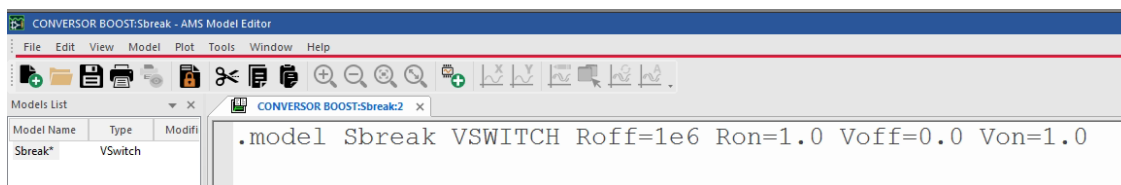
4.3.1.1 Chave e circuito de acionamento

Em circuitos de eletrônica de potência, as chaves são modeladas utilizando transistores. Segundo Hart (2012), em análises simulacionais esses componentes podem ser idealizados, podendo ser representados através do emprego de chaves controladas por tensão, que são resistências com valores estabelecidos por uma tensão de controle.

Como mencionado no subtópico 3.1.2.1.3, o OrCAD apresenta uma chave controlada por tensão chamada *Sbreak*, disponível na biblioteca *Breakout*, a qual pode ser modelada com uma resistência de valor elevado para representar uma chave aberta, e uma resistência de baixo valor para representar uma chave fechada, emulando o comportamento de transistores ideais.

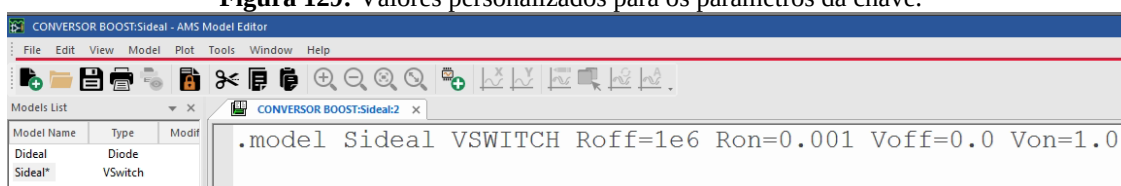
Dessa forma, A Figura 128 apresenta os parâmetros padrão do modelo oferecido pelo software, enquanto a Figura 129 descreve os parâmetros atribuídos ao modelo da chave para este projeto.

Figura 128: Valores padrão dos parâmetros da chave.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 129: Valores personalizados para os parâmetros da chave.



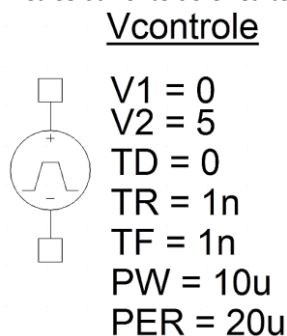
Fonte: Autoria Própria (2023).

Como pode-se observar, a resistência padrão no estado desligado (R_{off}) apresenta um valor de $10\text{ M}\Omega$, que pode ser considerado um circuito aberto, de maneira que teve seu valor mantido. Já a resistência no estado ligado (R_{on}) deve ser um valor bastante baixo, praticamente um curto circuito. Dessa forma, seu valor foi alterado para $0,001\text{ }\Omega$. As tensões de controle do

estado desligado (V_{off}) e ligado (V_{on}) tiveram seus valores padrão mantidos em 0 V e 1 V, respectivamente.

O circuito de acionamento para essa aplicação utiliza uma fonte de tensão pulsada VPULSE, encontrada na biblioteca *Analog*, a qual é utilizada para ligar e desligar a chave. A Figura 130 apresenta as especificações da fonte.

Figura 130: Parâmetros da fonte do circuito de acionamento.



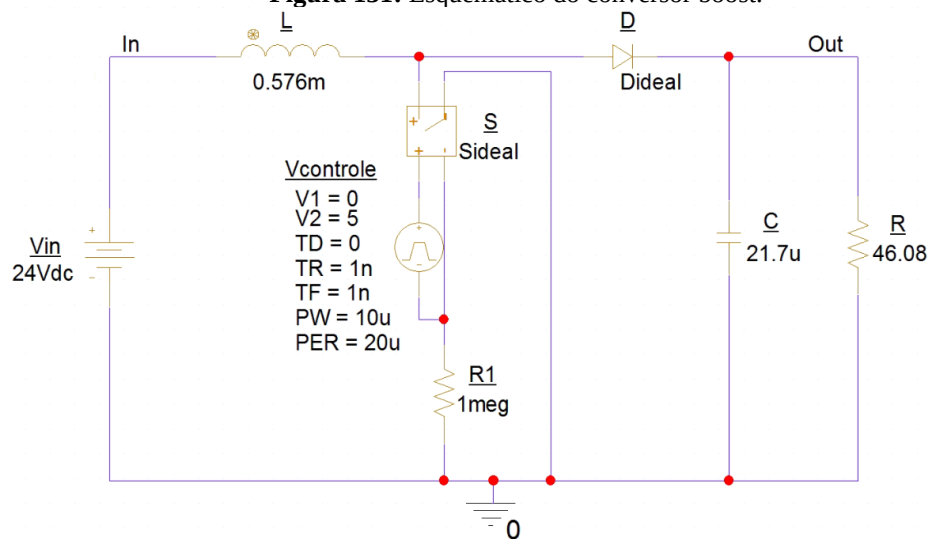
Fonte: Autoria Própria (2023).

Como pode-se verificar, os valores inicial e final da tensão ($V1$ e $V2$) foram especificados como 0 e 5 V, de forma que os níveis de tensão dos estados desligado e ligado (0 e 1 V) da chave são alcançados. Os tempos de subida e descida (TR e TF) apresentam valores baixos quando comparados ao valor da largura de pulso (PW) e do período (PER).

O chaveamento do circuito é realizado com uma frequência de 50 kHz, de forma que o período deve ser de 20 μs . Além disso, tendo em vista que o *boost* deve elevar uma tensão de 24 V para 48 V, o ciclo de trabalho (D) do conversor deve ser de 0,5. Dessa forma, o tempo ativo deve ser de metade do período da onda, ou seja, 10 μs .

4.3.1.2 Circuito final

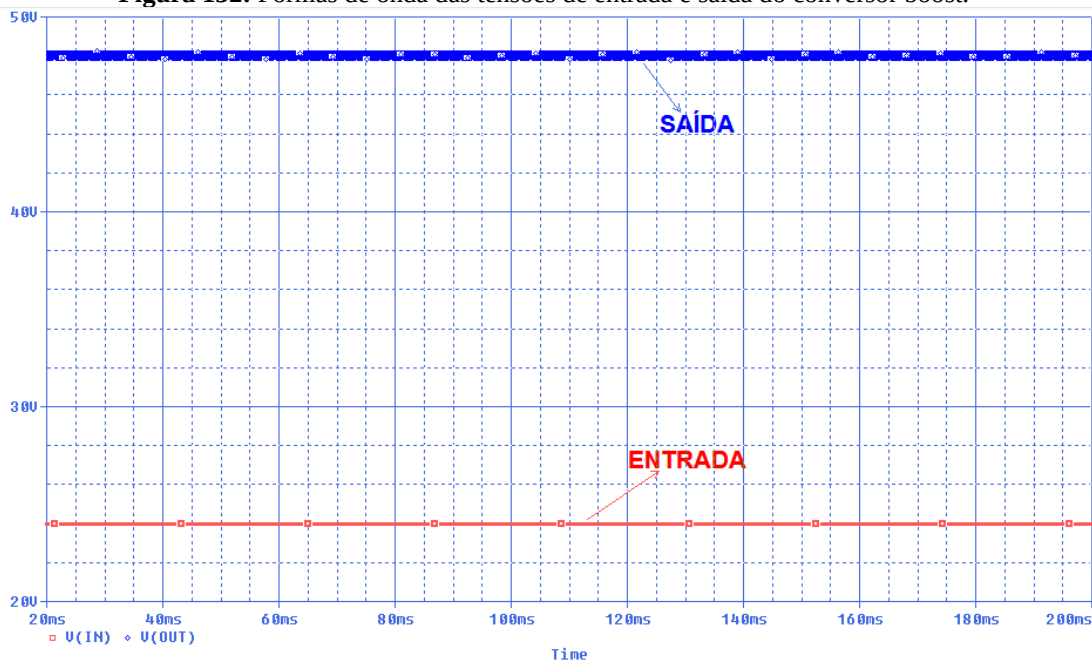
O esquemático final é mostrado na Figura 131. Como pode-se observar, a chave controlada por tensão apresenta quatro terminais, sendo dois positivos e dois negativos. O primeiro par de terminais é utilizado para realizar a conexão da chave com o circuito, conforme a estrutura apresentada na Figura 127. Por sua vez, o segundo par de terminais é utilizado para ligar a chave ao circuito de acionamento. Um resistor de 1 $M\Omega$ foi utilizado para realizar a conexão do circuito de acionamento com o potencial terra do circuito de potência, de forma que eles fiquem isolados entre si.

Figura 131: Esquemático do conversor boost.

Fonte: Autoria Própria (2023).

4.3.2 Simulação

O perfil de simulação foi configurado para realizar uma análise transitória com período de 200 ms. As formas de onda das tensões de entrada e saída do conversor *boost* são apresentadas na Figura 132. Como pode-se observar, o gráfico tem início em 20 ms, configuração realizada para que seja plotado apenas seu comportamento durante o regime estacionário.

Figura 132: Formas de onda das tensões de entrada e saída do conversor boost.

Fonte: Autoria Própria (2023).

Os valores médios dessas ondas foram medidos utilizando os cursores, e encontram-se na Figura 133. Como pode-se verificar, o valor de tensão da entrada do circuito é de 24 V, conforme atribuído à fonte de tensão contínua. Já a tensão de saída apresenta valores máximos e mínimos de 48.028 V e 48.017 V, respectivamente, com um valor médio de 48.023 V.

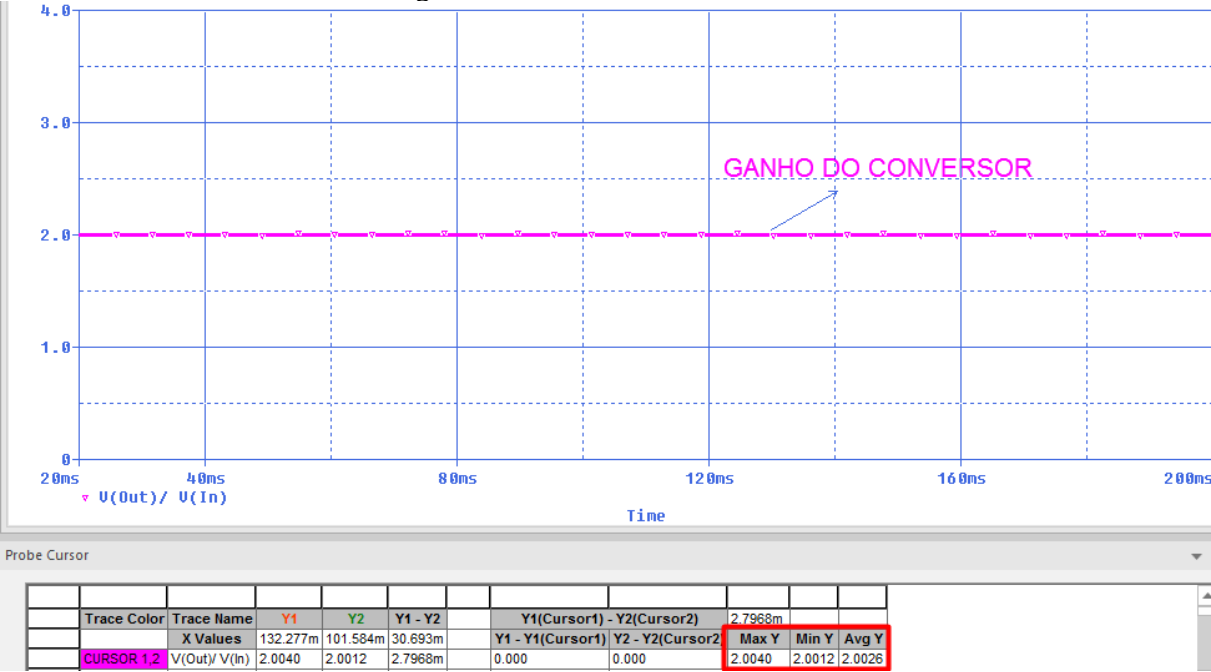
Figura 133: Medição dos valores médios das curvas.

Probe Cursor										
	Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2		Y1(Cursor1) - Y2(Cursor2)	0.000		
		X Values	79.408m	95.644m	-16.236m		Y1 - Y1(Cursor1)	Y2 - Y2(Cursor2)	Max Y	Min Y
	CURSOR 1,2	V(IN)	24.000	24.000	0.000		0.000	0.000	24.000	24.000
		V(OUT)	48.028	48.017	10.777m		24.028	24.017	48.028	48.017
									48.023	

Fonte: Autoria Própria (2023).

O ganho de tensão do conversor elevador pode ser encontrado na Figura 134. Como pode-se verificar, a curva do ganho foi plotada através da expressão matemática $V(OUT)/V(IN)$. O valor numérico obtido é mostrado na janela *Probe Cursor*, e seu valor médio equivale a 2,0026.

Figura 134: Ganho do conversor boost.



Fonte: Autoria Própria (2023).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo dos últimos anos, os *softwares* vêm sendo cada vez mais empregados no âmbito acadêmico e sua utilização acarreta em inúmeros benefícios para os discentes, apresentando um papel importantíssimo em seu processo de formação.

Diante disso, o presente estudo apontou a possibilidade de utilização do *software* de simulação OrCAD como uma ferramenta pedagógica aplicada ao curso de engenharia elétrica. Tendo em vista a grande variedade de disciplinas e áreas abordadas no decorrer do curso, o trabalho teve como foco aplicações na área de eletrônica de potência.

O trabalho consistiu em reunir e apresentar, de maneira didática, informações a respeito do modo de utilização das ferramentas de captura esquemática (Capture CIS) e simulação (PSpice AD) do *software* em questão, de tal forma que o leitor consiga implementar os projetos apresentados seguindo o passo a passo descrito, e que obtenha informações pertinentes para a criação de qualquer projeto posteriormente.

Durante a execução do estudo, buscou-se apresentar desde características básicas necessárias para criação de circuitos eletrônicos, como o simples procedimento de iniciar um novo projeto, até características mais específicas, como a modelagem de componentes ideais e a resolução dos problemas de convergências que podem ocorrer durante o processo de simulação.

Dessa forma, através do manual disponibilizado neste trabalho, espera-se que os discentes possam usufruir das ferramentas do *software* de simulação em seus estudos, tornando o processo de aprendizado mais simples, dinâmico e eficaz, fazendo com que o aluno se torne um agente ativo de seu conhecimento. Dessa maneira, o mercado de trabalho contará com um engenheiro eletricitista mais qualificado e com senso crítico melhor desenvolvido.

Apesar de o atual trabalho ter reunido um grande número de informações relevantes a respeito do Capture CIS e do PSpice AD, ainda existem muitos procedimentos a serem estudados. Em trabalhos futuros, pode-se discutir aplicações da análise de temperatura, Monte Carlo, varredura paramétrica e outras características do *software*.

Além disso, um outro ponto a ser considerado é a implementação de um manual do OrCAD PCB Editor, programa utilizado para realizar o projeto de placas de circuito impresso. Dessa forma, após a montagem do esquemático e realização da simulação os discentes teriam uma orientação básica a respeito de como iniciar a elaboração da etapa seguinte dos projetos.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, Italo Rodrigo Paulino; GUIMARÃES, Tháís de Oliveira. O uso do *software* microdem como ferramenta para o ensino de geografia física. **Revista Ensino de Geografia (Recife)**, V. 2, Nº 3, set./dez. 2019. ISSN 2594-9616.

BICH, Mai Nguyen Thi; LE, Ngoc Thien. Digitalizing the Speed Control Circuit of Three-Phase Induction Motor Based on Pulse-Width Modulation using Proteus Software. **2022 International Conference On Engineering And Emerging Technologies (Iceet)**, [S.L.], 27 out. 2022. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iceet56468.2022.10007306>.

BORBA, Fabrício Hartmann. **O *software* visualg como recurso didático no ensino da lógica de programação**. 2018. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pesquisa em Recursos, Tecnologias e Ferramentas no Ensino., Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2018.

CAMPOS, Pedro Sérvulo de Paulo. **Uso do *software* PSIM® como ferramenta de sintonia no cálculo dos parâmetros das malhas de controle**. 2019. 49 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Campus de Sobral, Sobral, 2019.

CAPTERRA. Tudo sobre *software* de simulação. Capterra, 2023. Disponível em: <https://www.capterra.com.br/directory/30607/simulation/software?page=2#buyers-guide>. Acesso em: 01 de fev de 2023.

CASTRO, Marcelo C. de; FRAGA, José R. C. P. ORCAD PSPICE X EWB MULTISIM – comparações e análise como ferramentas pedagógicas. **Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, COBENGE**. 14-17 set. 2004.

COELHO, Raelson Lima. **Softwares/simuladores virtuais como recursos didáticos no ensino de física**. 2019. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Ciências: Matemática e Física, Universidade Federal do Amazonas, Coari - AM, 2019.

CORCAU, Jenica-Ileana et al. Multisim Implementation and Analysis of a DC to DC boost Converter with two Parallel Stages. **International Conference on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE)**. 21-23 set. 2015. IEEE. Disponível em: <https://www.ni.com/pt-br/support/downloads/software-products/download.multisim.html#452133>. Acesso em: 13 abr. 2023.

DARABANT, Laura; POP, Ovidiu; VATAVU, Cristina. Adaptive OrCAD Simulation Approach in Teaching Non Linear Devices. **8th International Conference on Modern Power Systems (MPS)**. 2019. IEEE.

ESSS. Método numérico, analítico e experimental: concorrentes ou complementares na engenharia?. ESSS, 2017. Disponível em: <https://www.esss.co/blog/simulacao-numerica-metodo-analitico-experimental-concorrentes-ou-complementares-na-engenharia/>. Acesso em: 30 de jan de 2023.

FERREIRA, Wellington de Souza *et al.* ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO SOFTWARE EDUCACIONAL: avogadro como ferramenta didática no ensino de química.. **International Journal Education And Teaching (PDVL) ISSN 2595-2498**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 52-67, 30 ago. 2021. International Journal Education and Teaching. <http://dx.doi.org/10.31692/2595-2498.v4i2.165>.

GARBIN, Fernanda Gobbi de Boer; KAMPFF, Adriana Justin Cerveira. Uso da simulação para o ensino de engenharia: aplicações em cursos de graduação brasileiros. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 49., 2021, Minas Gerais. DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2021.3568.

GOUVÊA, Marianna Centeno Martins; NAKAMOTO, Paula Teixeira. **Avaliação de software educacional**: uma oportunidade de reflexão da educação na sociedade do conhecimento. In: VIII Encontro de pesquisa em educação. III Congresso Internacional Trabalho docente e processos educativos, 2015, Uberaba, MG. ISSN 2237-8022.

HAIDOURY, Mohamed et al. Design of a Boost DC/DC Converter Controlling a Fuel Cell System Under Proteus. **2022 International Conference On Microelectronics (Icm)**, [S.L.], 4 dez. 2022. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icm56065.2022.10005332>.

HART, Daniel W. **Eletrônica de Potência**: análise e projetos de circuitos. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2012. 480 p.

JUCÁ, S. C. S. A relevância dos *softwares* educativos na educação profissional. **Ciências & Cognição**, Fortaleza, Ceará, v. 8, 15 ago. 2006. ISSN 1806-5821.

LABCENTER ELETRONICS. Proteus. 2023. Disponível em: <https://www.labcenter.com/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

LINDEN, Lélia Van Der. **Desenvolvimento de uma interface gráfica para o ensino de transistores bipolares de junção no laboratório de dispositivos eletrônicos**. Orientador: Gutemberg Gonçalves dos Santos Júnior. 2018. 40 p. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18897/3/L%C3%89LIA%20VAN%20DER%20LINDEN%20-%20TCC%20ENG.%20EL%C3%89TRICA%202018.pdf>. Acesso em: 25 de jan de 2023.

LOPATKIN, Nikolay N.. Output Voltage and Current Waveforms' PSIM Simulation of Three-Phase Seven-Level Cascaded H-Bridge Inverter. **2021 International Conference On Electrotechnical Complexes And Systems (Icoecs)**, [S.L.], 16 nov. 2021. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/icoecs52783.2021.9657223>.

MARTINS, Tatiane Agostinho et al. Avaliação das condicionantes de retenção dos alunos de engenharia da UTFPR: bases para propostas interventivas. **IV CLABES**. 2014.

NATIONAL INSTRUMENTS. Multisim. 2023.

NOGA, Krystyna Maria; PALCZYNSKA, Beata. The Simulation Laboratory Platform Based on Multisim for Electronic Engineering Education. **International Conference On Signals And Electronic Systems (ICSSES)**. Cracóvia, Polônia, 10-12 set. 2018. IEEE.

ORCAD. All Products. 2023. Disponível em: <https://www.orcad.com/all-products>. Acesso em: 13 abr. 2023.

PJ CONSULTORIA. Qual a importância da simulação estrutural?. 2023. Disponível em: <https://pjufmg.com.br/qual-a-importancia-de-uma-simulacao-estrutural/>. Acesso em: 02 de fev de 2023.

POWERSIM. PSIM 2022.1. 2023. Disponível em: <https://powersimtech.com/products/psim/capabilities-applications/>. Acesso em: 13 abr. 2023.

PSPICE. Model Library. 2020. Disponível em: <https://www.pspice.com/discrete#block-system-main>. Acesso em: 03 de mar de 2023.

SILVEIRA, Bruno Giovanni Mendes da; MELO JUNIOR, Eloi Benicio de; SILVA, Marcelo Castanheira da. *Software Physion: uma aplicação no ensino de física*. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. e21082, 2021. DOI: 10.26571/reamec.v9i3.12439. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/reamec/article/view/12439>.

SOUSA, Alex Kelson de Lima. **O software Stellarium como ferramenta didática para o ensino da astronomia**. 2022. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Naturais – Química, Universidade Federal do Maranhão, São Bernardo, 2022.

SOUSA, Renata Teófilo de; AZEVEDO, Italandia Ferreira de; ALVES, Francisco Régis Vieira. Engenharia didática e Teoria das Situações Didáticas: um contributo ao ensino de geometria analítica com o *software* geogebra. **Revista Binacional Brasil-Argentina Diálogo Entre As Ciências**, [S.L.], v. 10, n. 01, p. 357-379, 7 jun. 2021. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/Edicoes UESB. <http://dx.doi.org/10.22481/rbba.v10i01.8447>.

SUNERGIA. Simulação 3D para sombreamento em sistema solar fotovoltaico. Sunergia, 2019. Disponível em: <https://sunergia.com.br/blog/simulacao-3d-para-sombreamento-em-sistema-solar-fotovoltaico/>. Acesso em: 01 de fev de 2023.

TAVARES, Jéssika Lima; SILVA, Lebiám Tamar Gomes. Tipos e classificações de *softwares* educacionais. In: IV Congresso Nacional de Educação, 2017, João Pessoa.

VACHEVA, Gergana Ilieva; HINOV, Nikolay Lyuboslavov. Mathematical Modeling and Simulations of DC/DC Converter in PSIM Environment. **XI National Conference with International Participation "Electronica 2020"**. Sofia, Bulgaria. 23-24 jul. 2020. IEEE.