

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Letícia Carvalho Pivetta

**SISTEMA DE PROJETOS OTIMIZADOS DE
CONVERSORES ESTÁTICOS (POCE) USANDO
ALGORITMOS GENÉTICOS**

Santa Maria, RS, Brasil
2017

Leticia Carvalho Pivetta

**SISTEMA DE PROJETOS OTIMIZADOS DE CONVERSORES ESTÁTICOS (POCE)
USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração Sistemas de Potência, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Elétrica.**

Orientador: Prof. Dr. José Renes Pinheiro

Santa Maria, RS
2017

Carvalho Pivetta, Leticia
SISTEMA DE PROJETOS OTIMIZADOS DE CONVERSORES
ESTÁTICOS (POCE) USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS / Leticia
Carvalho Pivetta.- 2017.
250 p.; 30 cm

Orientador: José Renes Pinheiro
Coorientador: Hamilton Confortin Sartori

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica, RS, 2017

1. Conversores Estáticos 2. Otimização 3. Sistema
Computacional 4. Algoritmos Genéticos I. Renes Pinheiro,
José II. Confortin Sartori, Hamilton III. Título.

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Leticia Carvalho Pivetta. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Pinheiro Rocha, nº 60, São Francisco de Assis, RS, 97610-000

Fone (+55) 55 3252.1837; Endereço eletrônico: leticia_pivetta@yahoo.com.br

Leticia Carvalho Pivetta

**SISTEMA DE PROJETOS OTIMIZADOS DE CONVERSORES ESTÁTICOS (POCE)
USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração Sistemas de Potência, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Elétrica.**

Aprovada em 27 de março de 2017:

José Renes Pinheiro, Dr.
(Presidente/Orientador)

Hamilton Sartori, Dr. (URI)
(Coorientador)

Carlos A. Tenório de Carvalho Júnior, Dr. (UNIR)

Eduardo Kessler Piveta, Dr. (UFSM)

José Eduardo Baggio, Dr. (UFSM)

Yales Rômulo de Novaes, Dr. (UDESC)

Santa Maria, RS
2017

DEDICATÓRIA

*Às minhas filhas, Flávia e Thayna, e ao meu esposo, Ahmed, pelos incentivos,
companheirismo e amor recebidos.*

AGRADECIMENTOS

Ao professor José Renes Pinheiro, por sua dedicação e esforços empregados para levar o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) para Rondônia, pela colaboração e por me conceder a oportunidade de realizar este trabalho sob sua orientação.

Ao professor Hamiltom Confortin Sartori, coorientador deste trabalho, pela sua paciência, colaboração e pelos conhecimentos a mim transmitidos.

Ao professor Tenório da Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR) pelos seus esforços e dedicação para realização do DINTER UNIR-UFSM e pela constante colaboração para concretização deste trabalho.

Ao Instituto Federal de Rondônia (IFRO), pela oportunidade a mim concedida para realização deste trabalho.

Aos professores do PPGEE da UFSM, em especial aos que estiveram em RO, transmitindo valiosos conhecimentos.

Aos professores membros da comissão examinadora pelas valiosas contribuições para este trabalho.

Aos colegas do GEPOC, do DINTER e do IFRO, pelo companheirismo e disponibilidade em auxiliar-me, sempre que solicitados.

À UFSM, UNIR, IFRO, CAPES e ao CNPq pelo apoio financeiro indispensável para a realização de uma pesquisa de qualidade.

Aos meus pais, José Luiz e Maria Conceição, pelos ensinamentos, pela confiança, incentivo e pelo amor a mim dedicados.

Às minhas filhas, Flávia e Thayna, pelo infinito amor que me oportunizam sentir, o qual se converte em coragem e determinação para enfrentar todos os desafios.

Ao meu esposo, Ahmed Ali, pelo apoio, confiança, companheirismo e amor a mim dedicados.

A Deus.

Sejamos como um pássaro pousado por um instante no ramo mais frágil, que sente tremer o galho e, no entanto, canta, porque sabe que tem asas.

(Sully Prudhomme)

RESUMO

SISTEMA DE PROJETOS OTIMIZADOS DE CONVERSORES ESTÁTICOS - POCE

AUTORA: Letícia Carvalho Pivetta
ORIENTADOR: Professor Dr. José Renes Pinheiro
COORIENTADOR: Dr. Hamiltom Confortin Sartori

Atualmente há uma crescente necessidade da utilização racional e eficiente de energia gerada, seja ela de fontes tradicionais ou renováveis. A eletrônica de potência realiza a interface entre a geração e o consumo, permitindo explorar todo o potencial da maioria dos recursos energéticos, pois conversores eletrônicos de potência executam a interface entre a geração e o consumo, convertendo e controlando o fluxo de energia, permitindo o uso de todo o potencial da maioria das fontes de energia. Esforços são empregados na busca de algoritmos, métodos e técnicas de construção de conversores estáticos, explorando questões como a otimização com relação ao volume. Um volume reduzido significa o uso de uma menor quantidade de matéria prima, que, muito provavelmente, resulta em um custo menor e muitas vezes em maior eficiência. O objetivo geral deste trabalho é o desenvolvimento de uma tecnologia computacional para realizar de forma rápida e eficaz o projeto otimizado de conversores estáticos visando atender requisitos de perdas, volume e custo. Cada projeto de conversor é realizado de forma global, tendo como referência o ponto de operação ($\Delta i @ fs$), onde Δi é a ondulação da corrente de entrada e fs é a frequência de comutação. A ferramenta computacional construída permite, além da criação de projetos para diferentes pontos de operação, a criação de diferentes projetos para um mesmo ponto de operação, os quais variam de acordo com as tecnologias de componentes empregadas. Isto é, fixando-se um ponto de operação é possível obter projetos compostos por diferentes diodos, chaves, núcleos magnéticos, capacitores, etc. Para cada projeto gerado é possível observar seu volume, perdas e custo. Os componentes utilizados nos projetos devem estar organizados em um banco de dados, o que permite a fácil inclusão de novos componentes para geração de novos projetos. O sistema possibilita não apenas a visualização de detalhes de projetos de conversores com perdas, volume e custos reduzidos, mas também a visualização de diferentes gráficos relacionando frequência de comutação, ondulação da corrente de entrada, perdas, volume, rendimento e custos. Foi desenvolvido um protótipo de um sistema computacional, denominado Sistema POCE (Projetos Otimizados de Conversores Estáticos), onde o projeto de um conversor estático é realizado a partir da escolha da topologia, da seleção dos parâmetros de construção e de um banco de dados de componentes. Foram implementados diferentes algoritmos para pesquisar o espaço de soluções, entre eles: um de varredura completa e outros que utilizam algoritmos genéticos. O protótipo desenvolvido permite, inicialmente, que sejam gerados conversores das topologias Boost PFC, Boost CC/CC e Buck CC/CC. O trabalho apresenta resultados obtidos através da utilização do protótipo, o qual foi desenvolvido em linguagem Java 8 e usando o sistema de gerenciamento de banco de dados PostgreSQL.

Palavras-Chave: Conversores estáticos. Otimização. Sistema computacional.

ABSTRACT

ADVANCED DESIGN SYSTEM FOR POWER CONVERTERS (ADPC) USING GENETIC ALGORITHMS

AUTHOR: Leticia Carvalho Pivetta
RESEARCH SUPERVISOR: Professor Dr. José Renes Pinheiro
RESEARCH CO-SUPERVISOR: Hamiltom Confortin Sartori

Nowadays, there is a growing need for rational and efficient use of energy generated, be it traditional or renewable sources. Power electronics performs the interface between generation and consumption, allowing explore the full potential of the majority of energy resources, because power converters execute the interface between generation and consumption, converting and controlling the flow of energy, allowing the use of the full potential of most energy sources, transferring or connecting the storage system for later use. Efforts are employed in search algorithms, methods and techniques of static converters construction, exploring issues such as optimization concerning respect to volume. A volume reducing means using a smaller amount of raw material which, most probably, results in a lower cost and often greater efficiency. The objective of this work is the development of computer technology to perform quickly and efficiently optimized design of static converters to in order to answer losses, volume and cost requirements. Each converter project is carried out globally, with reference to the operating point ($\Delta i @ f_s$), where Δi is the ripple of the input current and f_s is the switching frequency. The computational tool allows, in addition to creating designs for different operating points, the creation of different projects for the same operating point, varying with respect to the components (technologies). This is, setting an operating point it is possible to obtain designs composed of different diodes, switches, magnetic cores, etc. For each generated design is possible to observe its volume, losses and cost. The components used in the projects must be organized in a database, which allows easy inclusion of new components for the generation of new projects. The system should enable not only the detail view of losses, volume and reduced costs converters projects, but also to display different graphics relating switching frequency ripple of the input current, losses, volume, income and costs. To date a prototype of a computer system was developed, called POCE System (Optimized Project Static Converters), where the design of a power converter is carried from the choice of topology, choice of construction parameters and a of component database. Different algorithms were implemented to search the space of solutions, among them: one of complete scanning and others that use genetic algorithms. The developed prototype allows, initially, that are generated converters topologies PFC Boost, DC/DC Boost and DC/DC Buck. This work also contains some results obtained through the use of the prototype, which was developed in JAVA 8 language and using the PostgreSQL database management system.

Keywords: Power electronic converters. Optimization, Computer system.

Lista de Figuras

Figura 1 — Modelo básico do processamento do conversor estático.	24
Figura 2 — Principais funções dos conversores estáticos.....	25
Figura 3 — Conversor Boost: (a) com uma chave ideal; (b) com chave em condução; (c) com a chave bloqueada.....	25
Figura 4 — Fluxograma da metodologia de projetos.....	33
Figura 5 — Método da prototipação evolucionária.....	37
Figura 6 — Casos de uso do sistema POCE.....	49
Figura 7 — Modelo de classes do sistema POCE.....	50
Figura 8 — Modelo do banco de dados do sistema POCE.....	51
Figura 9 — Etapas do projeto de conversores estáticos realizado no POCE.....	52
Figura 10 — Passos de um algoritmo genético.....	62
Figura 11 — Estrutura (a) e exemplo (b) do cromossomo utilizado pelo AG para projetos de conversores.....	63
Figura 12 — Algoritmo da Roleta.....	64
Figura 13 — Algoritmo de seleção por torneio.....	64
Figura 14 — Algoritmo de Cruzamento.....	65
Figura 15 — Máscara de cruzamento e exemplo de utilização do algoritmo de cruzamento..	65
Figura 16 — Relação de dominância no espaço de soluções, considerando-se dois objetivos (η e ρ).....	67
Figura 17 — Algoritmo de definição de dominância - retorna verdadeiro caso solução u domina a solução v	67
Figura 18 — Soluções classificadas em níveis de não-dominância.....	68
Figura 19 — Algoritmo da ordenação não-dominada.....	69
Figura 20 — Distância de aglomeração no espaço de soluções, considerando-se dois objetivos (η e ρ).....	69
Figura 21 — Algoritmo de cálculo da distância de aglomeração.....	70
Figura 22 — Algoritmo de indicação de nó mais apto para o NSGA II.....	71
Figura 23 — Algoritmo – NSGA II.....	72
Figura 24 — Fluxograma com o algoritmo do NSGA II.....	73
Figura 25 — Ilustração do procedimento NSGA II.....	74
Figura 26 — Diagrama das Classes para implementação dos AGs.....	75
Figura 27 — Gráfico da evolução da média da adaptação da população Pop1, a partir da população inicial ao longo das gerações.....	78
Figura 28 — Gráfico da evolução da média da adaptação da população Pop2, a partir da população inicial ao longo das gerações.....	78
Figura 29 — Gráfico de (a) volume e (b) densidade volumétrica de potência em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = HF, MMF = MPP, D = IDH065G65C5, Ch = SSP17N80C3 e D = HS 6524.....	85
Figura 30 — Gráfico de (a) perdas e (b) rendimento em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = HF, MMF = MPP, D = 15ETH06, Ch = SSP17N80C3 e D = HS 7624.....	86

Figura 31 — Gráfico de (a) custo e (b) custo relativo em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = Kool $M\mu$, MMF = Kool $M\mu$, D = 15ETH06, Ch = IPP60R385CP e D = HS 6524	87
Figura 32 — Gráficos de (a) frequências por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 3.	88
Figura 33 — Gráficos de (a) ondulações de corrente de entrada (<i>ripple</i>) por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 3.	89
Figura 34 — Gráfico de potência por rendimento para o projeto de melhor rendimento, variando-se a potência de entrada para o projeto de melhor rendimento.	89
Figura 35 — Fronteira de Pareto de diferentes AGs.	94
Figura 36 — Gráfico de (a) volume e (b) densidade volumétrica de potência em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = HF, D = RURG5060, Ch = FCH043N60 e D = HS12132	100
Figura 37 — Gráfico de (a) perdas e (b) rendimento em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = MPP, D = RURG5060, Ch = FCH043N60 e D = HS 7624	101
Figura 38 — Gráfico de perdas em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = kool $M\mu$, D = RURG5060, Ch = FCH043N60 e D = HS12132	102
Figura 39 — Gráficos de (a) frequências por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 11.	103
Figura 40 — Gráficos de (a) ondulações de corrente de entrada (<i>ripple</i>) por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 11.	104
Figura 41 — Gráfico de potência por rendimento para o projeto de melhor rendimento, variando-se a potência de entrada para o projeto de melhor rendimento.	105
Figura 42 — Gráfico de (a) volume e (b) densidade volumétrica de potência em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = MPP, D = 15ETH06, Ch = IPP65R045C7 e D = HS7624	107
Figura 43 — Gráfico das (a) perdas e (b) rendimento em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = HF, D = 15ETH06, Ch = IPP65R045C7 e D = HS7624, se necessário	108
Figura 44 — Gráfico do (a) custo e (b) custo relativo em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = Kool $M\mu$, D = 15ETH06, Ch = IPP65R190P6 e D = HS7624	109
Figura 45 — Gráficos de (a) frequências por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 13.	110
Figura 46 — Gráficos de (a) ondulações de corrente de entrada (<i>ripple</i>) por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 13.	111
Figura 47 — Gráfico de potência por rendimento para o projeto de melhor rendimento, variando-se a potência de entrada para o projeto de melhor rendimento.	112

Lista de Tabelas

Tabela 1 — Conjuntos de Parâmetros de Testes do AG	76
Tabela 2 — Tempo de Execução e Média das adaptações Médias dos Conjuntos de Parâmetros de Testes do AG	77
Tabela 3 — Parâmetros de entrada, componentes e tecnologias para o projeto do Conversor Boost PFC.....	82
Tabela 4 — Valores obtidos para diferentes projetos de conversores a partir dos dados da Tabela 3.	84
Tabela 5 — Valores obtidos para diferentes projetos de conversores a partir dos dados da Tabela 3, porém com a potência de entrada igual a 500W.....	90
Tabela 6 — Valores obtidos para diferentes projetos de conversores a partir dos dados da Tabela 3, porém com a potência de entrada igual a 100 W.....	91
Tabela 7 — Resultados do AG com função objetivo Max (η_{conv}).....	92
Tabela 8 — Resultados do AG com função objetivo Max (ρ_{conv}).....	93
Tabela 9 — Projetos de conversores da fronteira de Pareto obtidos pelo AG com função agregada δ_{Conv}	95
Tabela 10 — Projetos de conversores da fronteira de Pareto obtidos pelo NSGA II.....	96
Tabela 11 — Parâmetros de entrada, componentes e tecnologias para o projeto do Conversor da topologia Boost CC/CC.	98
Tabela 12 — Valores obtidos para diferentes projetos de conversores a partir dos dados da Tabela 11.	99
Tabela 13 — Parâmetros de entrada, componentes e tecnologias para o projeto do Conversor da topologia Buck CC/CC.	105
Tabela 14 — Valores obtidos para diferentes projetos de conversores a partir dos dados da Tabela 13.	106
Tabela 15 — Parâmetros e resultados dos testes de execução	112
Tabela 16 — Número de projetos e tempos de execução dos diferentes algoritmos do sistema POCE.....	114

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

$(\Delta i @ f_s)$	Ponto de operação
Δi	Ondulação da corrente (<i>Ripple</i>) da corrente de entrada do indutor de pico a pico
δ_{conv}	Função ponderada agregada do rendimento e densidade volumétrica de potência de um projeto de conversor
η_{conv}	Função rendimento de um projeto de conversor
ρ_{conv}	Função densidade volumétrica de potência de um conversor
AGs	Algoritmos genéticos
AWG	Escala americana normalizada (do inglês <i>American Wire Gauge</i>)
CA	Corrente Alternada
Case	Engenharia de software assistida por computador (do inglês <i>Computer-Aided Software Engineering</i>)
CC	Corrente Contínua (ou DC do inglês <i>direct current</i>)
CDS	Capacitância entre dreno e source
CGD	Capacitância entre gate e dreno
CGS	Capacitância entre gate e source
Ch	Chave
CP	Chave primária
D	Diodo
EMC	Compatibilidade eletromagnética (do inglês <i>electromagnetic compatibility</i>)
EMI	Interferência eletromagnética (do inglês <i>electromagnetic interference</i>)
FET	Transistores de efeito de campo
f_{rede}	Frequência da rede
f_s	Frequência de comutação
GNU	Licença Pública Geral (do inglês <i>General Public License</i>)
HF	<i>High Flux</i>
I_d	Corrente Média no Diodo
J	Densidade de corrente
JDBC	Conectividade entre o Java e o Banco de Dados (do inglês <i>Java Database Connetivity</i>)
JVM	Máquina Virtual Java (do inglês <i>Java Virtual Machine</i>)
MER	Modelo Entidade-Relacionamento
MMF	Material magnético do filtro de EMI
MMI	Material magnético do indutor

MPP	<i>Molypermalloy</i>
NN	Não Nulo
NSGA II	Algoritmo genético de classificação não-dominada II, do inglês <i>fast nondominated sorting genetic algorithm II</i>
PD	Perfil do dissipador de calor
Perdas _($\Delta i @ fs$)	Perdas totais do Conversor
Perdas_EMI _($\Delta i @ fs$)	Perdas no Filtro EMI
Perdas_Semicond _($\Delta i @ fs$)	Soma das Perdas no Transistor e no Diodo
PFC	Correção de Fator de Potência (do inglês <i>power-factor correction</i>)
P _{in}	Potência de entrada
<i>P_{out}</i>	Potência de saída
POCE	Projetos Otimizados de Conversores Estáticos
RMS	Raiz do valor quadrático médio (do inglês <i>root mean square</i>)
SGDB	Sistema de Gerenciamento de Banco de dados
T _a	Temperatura ambiente
T _j	Temperatura de junção
UML	Linguagem de Modelagem Unificada (do inglês <i>Unified Modeling Language</i>)
V _{in}	Tensão de entrada
V _o	Tensão do barramento
Vol _($\Delta i @ fs$)	Volume total do Conversor
Vol_Diss _($\Delta i @ fs$)	Soma dos Volumes do Dissipador, Transistor e Diodo
Vol_EMI _($\Delta i @ fs$)	Volume do Filtro EMI
Vol_L _($\Delta i @ fs$)	Volume do Indutor Boost

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	MOTIVAÇÃO	17
1.2	OBJETIVO	18
1.3	CONTRIBUIÇÕES	18
1.4	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	20
2	ESTUDO E ANÁLISE DO SISTEMA DESENVOLVIDO PARA O PROJETO DE CONVERSORES ESTÁTICOS FAZENDO USO DE UMA METODOLOGIA DE MINIMIZAÇÃO DE VOLUME/PERDAS/CUSTO	23
2.1	INTRODUÇÃO	23
2.2	CONCEITOS INTRODUTÓRIOS E QUESTÕES DE PROJETO DOS CONVERSORES ESTÁTICOS	23
2.3	ESTADO DA ARTE DE OTIMIZAÇÕES REALIZADAS EM PROJETOS DE CONVERSORES.....	27
2.4	METODOLOGIA E ALGORITMOS DE EMBASAMENTO PARA AS IMPLEMENTAÇÕES REALIZADAS	33
2.5	CONCLUSÃO	36
3	ESCOLHA DAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS.....	37
3.1	INTRODUÇÃO	37
3.2	METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE.....	37
3.3	FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO	39
3.3.1	Ferramentas de Construção de Modelos	39
3.3.2	Ferramentas de Implementação.....	41
3.4	CONCLUSÃO	45
4	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA.....	47
4.1	INTRODUÇÃO	47
4.2	ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE	47
4.3	MODELOS DO SISTEMA	48
4.3.1	Diagramas de Casos de Uso do Sistema	49
4.3.2	Diagramas de Classes.....	50
4.3.3	Modelo do Banco de Dados	51
4.4	O SISTEMA POCE	52
4.4.1	Objetivos Intrínsecos do Sistema POCE.....	53
4.4.2	Compromissos de Projetos	55
4.4.3	Desempenho do Sistema POCE	56

4.5 CONCLUSÃO.....	57
5 PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO, ALGORITMOS METAHEURÍSTICOS E ALGORITMOS GENÉTICOS	59
5.1 INTRODUÇÃO.....	59
5.2 PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO E ALGORITMOS METAHEURÍSTICOS	59
5.3 ALGORITMOS GENÉTICOS.....	61
5.3.1 Criação da População Inicial	62
5.3.2 Avaliação	63
5.3.3 Seleção.....	64
5.3.4 Cruzamento.....	64
5.3.5 Mutação	65
5.3.6 Atualização	66
5.3.7 Critério de Parada	66
5.4 ALGORITMO GENÉTICO DE CLASSIFICAÇÃO NÃO-DOMINADA (NSGA-II). 66	
5.4.1 Conceito de Dominância.....	66
5.4.2 Ordenação Não-dominada	67
5.4.3 Distância de Aglomeração	68
5.4.4 Algoritmo do NSGA II	71
5.5 MODELOS E DEFINIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO DOS AGs	74
5.5.1 Modelos do Algoritmo Genético	74
5.5.2 Principais Parâmetros dos AGs	75
5.6 CONCLUSÃO.....	79
6 RESULTADOS OBTIDOS PELA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA POCE	81
6.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	81
6.1.1 Projeto de um Boost PFC	82
6.1.2 Projeto de um Boost CC/CC.....	97
6.1.3 Projeto de um Buck CC/CC.....	105
6.2 DESEMPENHO DO PROTÓTIPO	112
6.2.1 Desempenho do Algoritmo Tradicional	112
6.2.2 Desempenho dos AGs.....	113
6.3 CONCLUSÃO.....	115
7 CONCLUSÃO	117
7.1 TRABALHOS FUTUROS.....	119
REFERÊNCIAS.....	121

APÊNDICE A – NOTAÇÃO DE DIAGRAMAS UML E DE ENTIDADE- RELACIONAMENTO	127
APÊNDICE B – DETALHES DOS DIAGRAMAS E MODELOS SISTEMA POCE.....	135
APÊNDICE C – CÓDIGO SQL DO BANCO DE DADOS DO SISTEMA POCE.....	161
APÊNDICE D – COMPONENTES UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DE PROJETOS NO SISTEMA POCE	167
APÊNDICE E – CÓDIGO FONTE DO SISTEMA POCE	177
APÊNDICE F - APRESENTAÇÃO DOS SISTEMA POCE	187
APÊNDICE G – AJUDA PARA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA POCE	203
APÊNDICE H – GRÁFICOS E RELATÓRIOS DISPONÍVEIS NO SISTEMA POCE.....	207
ANEXO A – METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DE PROJETO DE CONVERTOR COM BASE NO PONTO DE OPERAÇÃO.....	229

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

O consumo global de energia elétrica cresce continuamente e a cada dia novos equipamentos elétricos e eletrônicos são inseridos no cotidiano, englobando aplicações domésticas e industriais. Conforme dados da Empresa de Pesquisa Energética (2016), publicados no Balanço Energético Nacional, o consumo total de energia (fontes primárias) cresceu de 227.180 tep (toneladas equivalentes de petróleo) em 2006 para 281.249 tep no ano de 2015, o que representa um aumento, apenas no Brasil, de aproximadamente 24 % em dez anos. O desenvolvimento industrial atualmente é baseado em recursos energéticos não renováveis, trazendo efeitos colaterais indesejáveis pelo uso dos combustíveis fósseis, sendo que as reservas de combustíveis fósseis estão bastante empobrecidas, com uma expectativa de produção não superior a algumas centenas de anos. Conforme Goldemberg e Lucon (2007), já se explorou metade das reservas de petróleo do planeta e o restante deve se esgotar em 50 anos. Além disso o gás natural, que é uma interessante alternativa, deve se esgotar em cerca de 60 anos e as reservas de carvão podem garantir o suprimento por mais 250 anos, mas geram altos níveis de poluição. Para suprir o aumento do consumo global de energia, novas fontes de energia são exploradas, resultando em um complexo sistema de geração-transmissão-consumo. Fatores como estes evidenciam a necessidade da utilização racional e eficiente de energia produzida.

No contexto acima descrito, a eletrônica de potência permite explorar todo o potencial da maioria dos recursos energéticos, pois conversores eletrônicos de potência executam a interface entre a geração e o consumo, convertendo e controlando o fluxo de energia, permitindo o uso de todo o potencial da maioria das fontes de energia. Os conversores realizam, por exemplo, a transmissão da potência disponível em uma fonte renovável, conectando-a na rede elétrica ou armazenando-a para ser utilizada em outro lugar ou em outro momento, quando a fonte primária não se encontra disponível.

Objetivando o aumento da eficiência e da densidade volumétrica de potência dos conversores estáticos, novas tecnologias de componentes têm surgido nos últimos anos. Estas novas tecnologias podem ser empregadas nas mais diversas aplicações. A escolha da melhor associação de tecnologias de componentes não é uma tarefa simples, podendo levar a muitas interações e testes para se chegar a um bom resultado.

Engenheiros e projetistas têm empregado esforços nas pesquisas por algoritmos/métodos/técnicas de construção de conversores estáticos, explorando questões como a otimização com relação a perdas, volume e/ou custos. Um volume reduzido, por exemplo, pode resultar uma melhor relação custo-benefício.

1.2 OBJETIVO

Observando o contexto acima descrito, o objetivo geral do presente trabalho é o desenvolvimento de uma tecnologia computacional para realizar de forma rápida e eficaz o projeto otimizado de conversores estáticos visando atender requisitos de perdas, volume e custo reduzidos.

Cada projeto de conversor é realizado de forma global, tendo como referência o ponto de operação ($\Delta i @ fs$), em que Δi é a ondulação da corrente de entrada e fs é a frequência de comutação. Conforme Sartori (2013), o ponto de operação ($\Delta i @ fs$) apresenta uma influência direta nos níveis de tensões e correntes (RMS, média e de pico), os quais estão envolvidos em todo sistema de conversores de potência. A partir destes níveis de tensões e correntes e das tecnologias envolvidas nos projetos, os componentes físicos dos conversores, seu volume, perdas e custos podem ser definidos de acordo com os modelos em restrições de projeto.

1.3 CONTRIBUIÇÕES

As principais contribuições deste trabalho para o projeto de conversores estáticos são apresentadas como segue:

1 – Criação de uma ferramenta computacional específica para o auxílio à criação de projetos de conversores estáticos pelo pré-dimensionamento dos componentes do circuito de potência. Foi desenvolvido um protótipo de um sistema computacional, denominado Sistema POCE (Projetos Otimizados de Conversores Estáticos), onde o projeto de um conversor estático é realizado a partir da escolha da aplicação, da seleção da melhor topologia e de um banco de dados de componentes. O protótipo desenvolvido permite que sejam gerados conversores das topologias Boost PFC, Boost CC/CC e Buck CC/CC. Os parâmetros de entrada são Potência de Entrada, Tensão de Entrada, Tensão de Saída, Frequência da Rede (somente para Boost PFC), Temperatura Ambiente, Temperatura de Junção, Densidade de Corrente, Topologia do Filtro (somente para Boost PFC), valores iniciais e finais para intervalos de frequência de comutação e de ondulação de corrente de entrada. Os

componentes estão organizados em um banco de dados e são núcleos magnéticos, diodos, chaves e dissipadores de calor.

A ferramenta computacional permite, além da geração de projetos para diferentes pontos de operação, a criação de diferentes projetos para um mesmo ponto de operação, os quais variam com respeito aos componentes. Isto é, fixando-se um ponto de operação é possível obter projetos compostos por diferentes diodos, chaves, núcleos magnéticos, capacitores, etc. Para cada projeto gerado é possível observar seu volume, perdas e custo.

Além disso, o sistema possibilita a visualização de detalhes de projetos de conversores, como perdas, volume e custos especificados por componentes, quantidade e medidas (comprimento do fio, número de enrolamento, quantidade de fios em paralelo) do cobre utilizado nos projetos de indutores, comprimento dos dissipadores, além de outras medidas, tais como capacitância, indutância, etc. Está disponível a visualização de diferentes gráficos relacionando frequência de comutação, ondulação da corrente de entrada do indutor, perdas, volume, rendimento, densidade volumétrica de potência, custos e custos relativos (W/\$).

2 – Organização dos componentes e tecnologias em um banco de dados, com armazenamento e acesso através de um SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados). Os componentes (núcleos magnéticos, diodos, chaves, etc.), cuja utilização está disponível para os projetos, são organizados em um banco de dados. Isto permite a fácil inclusão de novos componentes para geração de novos projetos. Os projetos de conversores gerados também podem ser armazenados no banco de dados, assim, uma vez que um determinado projeto tenha sido criado para um determinado ponto de operação e conjunto de componentes, não há necessidade que os cálculos sejam refeitos, basta que se consulte o banco de dados. Assim o projeto de um conversor não é apenas uma resposta do sistema, mas torna-se outro componente disponível no banco de dados. Outra vantagem de se armazenar os projetos de conversores em um banco de dados é a possibilidade de efetuar diferentes comparações entre os projetos gerados, por exemplo, para uma mesma tecnologia e diferentes pontos de operação, ou entre diferentes tecnologias para um mesmo ponto de operação. Ainda, o banco de dados pode ser compartilhado por diferentes usuários, partilhando informações sobre componentes e projetos. Entre os trabalhos pesquisados, apesar de mencionarem a utilização de bancos de dados de componentes, não há menção à utilização de um SGBD.

3 - Uso de algoritmos metaheurísticos, os algoritmos genéticos (AGs), para realização do projeto. Foram implementados dois tipos de algoritmo para encontrar projetos de conversores no sistema POCE: um de varredura completa do espaço de busca e outros que

utilizam algoritmos genéticos. O uso dos AGs permitiu restringir a busca por resultados a áreas mais promissoras do espaço de soluções, bem como a pesquisa considerando-se múltiplos e contraditórios objetivos, tais como volume e perdas. Projetar conversores considerando múltiplos objetivos contraditórios significa que, por exemplo, buscando-se um maior rendimento (menores perdas), penaliza-se a densidade volumétrica de potência e, do mesmo modo, buscando-se o conversor de maior densidade volumétrica de potência (menor volume), penaliza-se o rendimento. Desta forma, o protótipo apresenta como resultados três projetos de conversores: conversor de menor volume, conversor de menores perdas, conversor com perdas e volume ponderados. Tais projetos podem ser obtidos por quaisquer um dos tipos de algoritmos. Além disso, o protótipo também apresenta a fronteira de Pareto, com as soluções não-dominadas para o problema em questão, disponibilizando ao projetista alternativas para que ele selecione a mais adequada.

Durante a pesquisa realizada nesta tese, obteve-se como resultado uma inovação tecnológica envolvendo as áreas de informática aplicada em engenharia elétrica, sendo os principais destaques:

- Usar e tratar do desenvolvimento de novos conceitos e metodologias de projetos de sistemas eletrônicos de alto desempenho.
- Desenvolvimento focado na obtenção de uma ferramenta computacional que objetiva encontrar uma solução ótima para o projeto de sistemas eletrônicos, a qual leva em consideração a eficiência energética, diferentes tecnologias de componentes e sistemas, quantidade de materiais e custos.
- A ferramenta em desenvolvimento, além de apoiar o engenheiro eletricista durante o projeto de um conversor estático, pode servir como material didático instrucional, nos cursos da área da engenharia elétrica.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A fim de atingir os objetivos acima propostos, o presente trabalho contém, além deste capítulo introdutório, os seguintes capítulos:

Capítulo 2 - contém o embasamento teórico relativo aos conversores estáticos, abrangendo conceitos básicos e questões de projeto. O capítulo 2 também apresenta o estado da arte dos processos de construção de conversores estáticos com foco na otimização e os algoritmos utilizados nas implementações realizadas no presente trabalho.

Capítulo 3 – contém a descrição da metodologia e ferramentas utilizadas na construção do sistema computacional, objeto deste trabalho, bem como as justificativas para as escolhas feitas.

Capítulo 4 – apresenta os modelos e diagramas relativos ao Sistema POCE, evidenciando as suas funcionalidades e facilidades de usos. O desenho geral do sistema é apresentado, evidenciando-se suas funções objetivo e compromissos de projetos. Além disso, são realizadas considerações sobre o desempenho dos algoritmos implementados.

Capítulo 5 – trata da problemática de projetar conversores como um problema de otimização que pode ser resolvido através dos algoritmos genéticos, os quais são apropriados para solução de problemas complexos e buscam um equilíbrio entre o tempo de execução e qualidade das soluções apresentadas. Neste capítulo há uma descrição geral dos AGs, além dos detalhes de implementação adotados neste trabalho.

Capítulo 6 – apresenta os resultados obtidos pelo uso protótipo do Sistema POCE, através da construção de projetos de conversores estáticos para os três tipos de topologia de conversores disponíveis no sistema: Boost PFC, Boost CC/CC e Boost PFC. Além disso, apresenta um comparativo que evidencia a eficiência do protótipo desenvolvido na pesquisa pela solução ótima a partir da combinação de diferentes tecnologias.

Ao final do trabalho são apresentadas as conclusões e as referências bibliográficas.

2 ESTUDO E ANÁLISE DO SISTEMA DESENVOLVIDO PARA O PROJETO DE CONVERSORES ESTÁTICOS FAZENDO USO DE UMA METODOLOGIA DE MINIMIZAÇÃO DE VOLUME/PERDAS/CUSTO

2.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo contém o embasamento teórico relativo aos conversores estáticos. Inicialmente são apresentados os conceitos básicos relativos aos conversores estáticos e questões de projeto. A seguir é apresentado o estado da arte dos processos de construção de conversores estáticos com foco na otimização. E, por fim, são detalhados os algoritmos utilizados nas implementações realizadas.

2.2 CONCEITOS INTRODUTÓRIOS E QUESTÕES DE PROJETO DOS CONVERSORES ESTÁTICOS

O consumo global de energia elétrica está crescendo continuamente e há uma demanda constante para expandir a capacidade de energia gerada, conforme Engineering e Committee (2002). Tais fatos são devidos a expansão da população mundial e a existência de uma sociedade de alta tecnologia (sociedade da informação), onde a cada dia novos equipamentos elétricos e eletrônicos são inseridos no cotidiano das pessoas, englobando aplicações domésticas e industriais. Ainda, depois de mais de dois séculos de desenvolvimento industrial com base em fontes de energia não renováveis, a sociedade tem agora de enfrentar as consequências dos efeitos colaterais acumulados da utilização de combustíveis fósseis, como a poluição, gases de efeito estufa provocadas pelo homem e outros efeitos colaterais de geração de energia que prejudicam o meio ambiente. Agravando mais esta situação, algumas reservas de combustíveis fósseis estão agora completamente esgotadas, com uma expectativa de que a produção não vai durar mais do que algumas dezenas de anos. Para quebrar este ciclo vicioso de desenvolvimento com a degradação do meio ambiente e também para acomodar a crescente demanda de energia elétrica, sem o risco de falta de energia, a sociedade está indo em direção a fontes de energia renováveis. Assim, para suprir o aumento do consumo global de energia, novas fontes de energia são exploradas, resultando em um complexo sistema de geração-transmissão-consumo.

Considerando a perspectiva acima descrita, a eletrônica de potência, pelo uso de conversores estáticos, realiza a interface entre a geração e a distribuição, permitindo o uso de

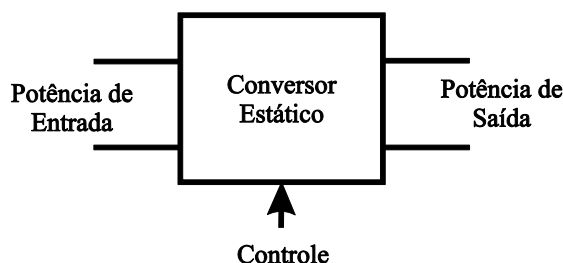
todo o potencial da maioria das fontes de energia, convertendo e controlando o fluxo de potência, adequando os níveis de tensões e correntes e respeitando as características dos sistemas aos quais se destinam, tais como volume, peso, custo, etc. Isso pode ser entendido por transformar a máxima energia disponível em energia elétrica. Para que isso seja alcançado, os conversores devem atingir o máximo rendimento possível de acordo com as tecnologias disponíveis. Assim, a eletrônica de potência desempenha um papel importante, já que é a tecnologia que permite explorar todo o potencial da maioria dos recursos renováveis, em que características elétricas podem variar muito em níveis de tensão e corrente.

Erickson (2000) diz que a eletrônica da potência trata do processamento da energia elétrica usando dispositivos eletrônicos, os conversores, sendo que o alto rendimento é essencial em qualquer aplicação de processamento de energia. O rendimento (η) de um conversor é dado pela relação entre potência de saída (P_{out}) e potência de entrada (P_{in}) (ERICKSON, 2000):

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1)$$

Os conversores apresentam, de uma forma geral e simplificada, duas entradas: energia e controle/modulação; e uma saída: energia. A energia, proveniente de fontes estáticas (banco de baterias) ou de fontes dinâmicas (geradores), é convertida através do chaveamento de dispositivos semicondutores de potência e de cargas e descargas de elementos armazenadores de energia, podendo resultar em uma saída em alta ou baixa tensão (CC ou CA) e em diferentes frequências (CA), conforme a Figura 1.

Figura 1 — Modelo básico do processamento do conversor estático.



Fonte: Adaptado de Erickson (2000)

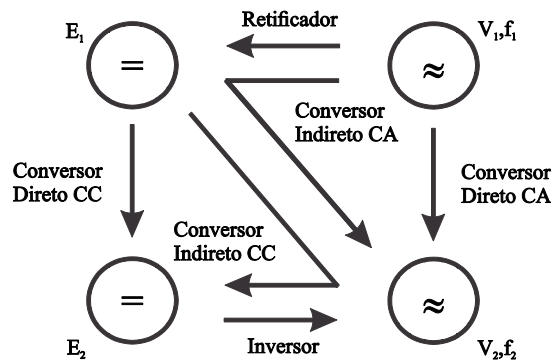
Os semicondutores podem ser considerados como chaves, podendo estar no estado fechado (ou conduzindo) e aberto ou (bloqueado), dependendo do circuito de potência e/ou de

um sinal externo. Operando como chave, o semiconductor apresenta dois tipos de perdas de energia, as perdas em condução e as perdas em comutação.

Os elementos armazenadores de energia são os indutores e capacitores. O indutor acumula energia através de um campo magnético. O Capacitor ou condensador é um componente que armazena cargas elétricas num campo elétrico, acumulando um desequilíbrio interno de cargas elétricas.

Os conversores podem ser classificados quanto à forma de conversão de energia, conforme a Figura 2, em CC-CC (pulsador), CA-CC (retificador), CC-CA (inversor) ou CA-CA (gradador/cicloconversor).

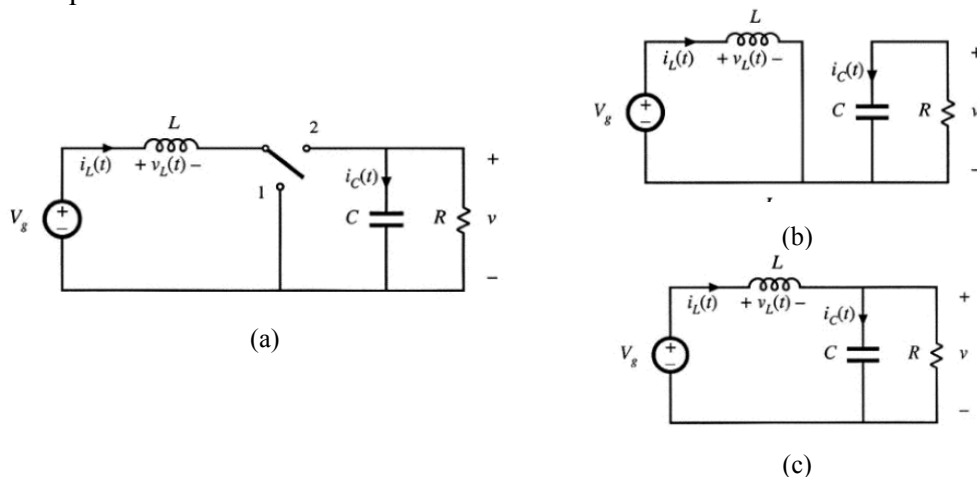
Figura 2 — Principais funções dos conversores estáticos



Fonte: Adaptado de Barbi (2005)

Um exemplo de conversor é o Boost, apresentado na Figura 3. O conversor Boost é capaz de produzir uma saída com tensão maior que a de entrada, Rashid (1993).

Figura 3 — Conversor Boost: (a) com uma chave ideal; (b) com chave em condução; (c) com a chave bloqueada.



Fonte: Adaptado de Rashid (1993)

São exemplos de conversores Buck, Boost, Buck-Boost, Sepic, Full Bridge, Half Bridge, Flyback, entre outros. Os conversores podem incluir transformadores, sendo empregados em equipamentos de uso residencial, comercial e industrial. Isto ocorre, segundo Sartori (2013), por operarem com elevado rendimento e permitirem o isolamento galvânico com transformadores de alta frequência. No entanto, a inclusão do transformador pode tornar o conversor mais volumoso e caro a partir de determinados níveis de potências. Ainda, conforme Rashid (1993), aplicações de eletrônica de potência têm um desafio quanto à qualidade da energia a ser entregue.

A operação dos dispositivos semicondutores resulta ainda em perdas de energia dissipada na forma de calor. Quanto maior a frequência de chaveamento, maiores as perdas oriundas nas comutações. Como a vida útil de tais dispositivos está intimamente relacionada com a temperatura dos mesmos (temperatura de junção), faz-se necessária a utilização de sistemas semicondutor/dissipador. Considerando-se que quanto maiores são as perdas, mais volumosos serão os dissipadores térmicos necessários para dissipá-las.

Conforme supracitado, existe uma crescente tendência mundial na utilização de conversores estáticos, resultando no emprego de esforços de engenheiros e projetistas na busca pela otimização de matéria prima (volume) e custo (maior quantidade de matéria prima resulta em um maior custo) destes conversores. Conforme afirmado em Sartori (2013), há a tendência de que um menor volume provavelmente acarrete em uma maior eficiência.

De maneira geral, os semicondutores, os elementos magnéticos (como indutores e transformadores), os elementos de transferência de calor (dissipadores), e os *drivers* têm maior relevância quando se busca otimização de conversores estáticos (SARTORI, 2013). Assim, o projeto de um conversor, quando realizado com foco na redução de volume, perdas e custos, deve considerar uma minuciosa escolha destes componentes:

- Os elementos magnéticos como os indutores, tem volume inversamente proporcional à frequência de comutação, ou seja, quanto mais alta a frequência de comutação menor será o volume destes elementos.

- A operação em alta frequência, buscando a diminuição do volume dos componentes magnéticos, ocasiona um aumento das perdas de comutação e modificam as perdas por histerese.

- Maiores perdas nos semicondutores conduzem a um aumento de volume e custo do sistema de transferência de calor para manter a temperatura de junção dentro dos limites estabelecidos pelos fabricantes (confiabilidade).

- A frequência de comutação também influencia o projeto do filtro de EMI (interferência eletromagnética). A frequência de comutação afeta de forma não linear a ordem e frequência do harmônico crítico, assim pequenas variações nos valores de frequência podem resultar em grandes diferenças de volume.

- Com o aumento da ondulação da corrente de entrada ocorre também o aumento do valor eficaz da corrente, este efeito faz com que as perdas por condução nos transistores de efeito de campo (FET) sejam consideravelmente elevadas.

2.3 ESTADO DA ARTE DE OTIMIZAÇÕES REALIZADAS EM PROJETOS DE CONVERSORES

Algumas considerações importantes sobre os estudos realizados com respeito ao projeto de conversores estáticos são descritas em Sartori (2013), cuja metodologia, descrita no tópico 2.4, será adotada no desenvolvimento do presente trabalho. Entre tais importantes considerações, é possível citar que:

- o projeto global otimizado de conversores estáticos deve relacionar os projetos individuais e todos os componentes físicos do sistema em um único parâmetro, transformando o conversor todo em um único ‘super’ dispositivo;

- o ponto de operação do conversor, dado pelo par ondulação da corrente de entrada e frequência de comutação, tem influência nas tensões e correntes pertinentes ao projeto. Assim, a partir das tensões e correntes, os componentes físicos de um conversor podem ser definidos, determinando volume, perdas e custos envolvidos;

- a maioria dos trabalhos estudados em Sartori (2013) considera os efeitos da frequência de comutação nos projetos de um ou dois componentes do conversor, porém negligenciam a ondulação da corrente de entrada;

- alguns dos trabalhos desenvolvidos que levam em consideração a variação do ponto de operação do conversor, não abordam os impactos ocasionados por tais variações no volume dos dissipadores. Tais variações podem chegar, segundo Damasceno et al (2005), apud Sartori (2013), a 80% do volume final do conversor, dependendo das tecnologias envolvidas.

A otimização global de conversores estáticos, como em Sartori (2013), é explorada por Sartori, Hey e Pinheiro (2009), Sartori, Beltrame e Pinheiro (2011), Sartori et al. (2013a), Sartori et al (2013b), Sartori et al. (2015). Semelhante metodologia é apresentada por

Beltrame et al. (2014), porém são consideradas questões específicas do domínio de sistemas fotovoltaicos.

Além dos trabalhos citados acima, pesquisou-se, entre aqueles que mencionam otimização de conversores estáticos, os trabalhos relacionados logo a seguir.

Neugebauer (1999) apresentou o projeto de conversores CC/CC para aplicações do domínio automobilístico. O foco do trabalho foi a otimização do custo, peso e volume. Neugebauer (1999) desenvolveu uma ferramenta chamada TIMCAD e utilizou a técnica de otimização chamada Monte Carlo (estatística para análise de incertezas). A ferramenta utilizada para o desenvolvimento do trabalho foi o Microsoft Access.

Busquets-Monge (2001) tratou de técnicas de otimização aplicadas ao projeto de Boost PFC. Neste trabalho o custo foi otimizado, considerando-se restrições geométricas, de temperatura, de EMI, entre outras. Foi utilizado os algoritmos genéticos (AGs), onde cada projeto de conversor era composto de uma String de inteiros representando os componentes e, também, uma String de números reais correspondendo à frequência de comutação, ao número de enrolamento do fio do indutor e à resistência térmica do dissipador. Busquets-Monge (2001) utilizou o Matlab para desenvolver OPES (Optimization of Power Electronics Systems). Trabalho semelhante foi desenvolvido em Hertz (2001), onde realizou-se a modelagem térmica e de EMI de um Boost PFC com o auxílio dos AGs.

Damasceno (2006) apresentou uma metodologia de projeto de conversores Boost para correção de fator de potência aplicada a sistemas ininterruptos de energia. O indutor, filtro de EMI, controlador e dissipadores são especificados para diferentes pontos de operação. O foco do trabalho foi a minimização do volume e a ferramenta utilizada para desenvolvimento foi o MATLAB®.

Uma abordagem de dimensionamento de conversores DC-DC é apresentada em Ejjabraoui et al. (2009), onde o projeto de um conversor Boost para o domínio automotivo é realizado em dois passos. No primeiro passo há a escolha da arquitetura do conversor e das tecnologias (capacitores, indutores e chaves) a serem utilizadas. As tecnologias que representam um volume mínimo para cada um dos componentes são selecionadas a partir de um banco de dados. No segundo passo, a otimização pode ser realizada ou não, caso o volume desejado tenha sido obtido no primeiro passo. Para o processo de otimização, considera-se as tecnologias selecionadas no primeiro passo e pesquisa-se pela combinação que resulta em um volume mínimo, de acordo com as restrições de volume (do indutor e do dissipador), térmicas (estimando a temperatura de junção dos semicondutores), de eficiência (considera as perdas nos semicondutores) e eletromagnéticas do projeto.

Em Ejjabraoui et al. (2012) é apresentada outra abordagem de dimensionamento de conversores CC-CC, com aplicação no domínio automobilístico, semelhante a anterior, porém realizada em três passos. No primeiro passo é realizada a definição da arquitetura e componentes do conversor em função das especificações de entrada (ondulação da tensão de entrada e saída, ondulação da corrente de entrada e saída, frequência de chaveamento, tensão de entrada e de saída, potência de saída) organizadas em um banco de dados; no segundo passo é realizada uma otimização em relação ao volume dos projetos obtidos no primeiro passo, considerando restrições físicas múltiplas, tais como elétricas, térmicas e de eficiência; O terceiro passo otimiza o acondicionamento dos semicondutores no dissipador de calor, tendo como restrição a temperatura de junção e considerando a distância entre os componentes ativos (chave e diodo) e comprimento do dissipador. Um estudo de caso sobre um conversor DC-DC Buck é apresentado em Ejjabraoui et al. (2012), onde são utilizados o MATLAB® para implementação do algoritmo de otimização (algoritmos genéticos) e o COMSOL (software para simulações de domínios multifísicos).

Tanto o trabalho de Ejjabraoui et al. (2009), quanto o trabalho de Ejjabraoui et al. (2012) são aplicações específicas para o domínio automobilístico, assim sendo possuem as restrições inerentes ao domínio para o qual foram desenvolvidos. Além disso, ambos os projetos são desenvolvidos em ferramentas genéricas e não há evidências de que algum aplicativo tenha sido desenvolvido e possa ser usado por outros projetistas. Os trabalhos ainda evidenciam que os projetos de conversores são realizados com base na experiência do projetista e que o dimensionamento, a arquitetura do conversor e suas tecnologias de componentes não são conhecidos com antecedência. Tal citação evidencia a carência de ferramentas e métodos para auxiliar o projeto de conversores de forma global.

Em Larouci, Boukhifer e Chaibet (2010) foi proposto o projeto otimizado de um conversor AC/DC-DC sob restrições multifísicas, com aplicação para um conversor Flyback. O trabalho propõe a construção de modelos que servem para avaliar os aspectos que envolvem volume, restrições de EMI, perdas, temperatura e restrições de controle. Inicialmente são definidos os parâmetros de otimização (indutância, capacitância, frequência de chaveamento, resistência térmica do dissipador de calor, etc.) e são especificados os parâmetros de projeto (potência de saída, tensão de saída, etc.). A partir de tais elementos um modelo de controle é desenvolvido. A seguir os valores das correntes RMS e máxima são estimados e usados para avaliar o volume dos componentes passivos e do dissipador de calor, com base as folhas de dados dos componentes. Modelos para as perdas do capacitor, dos componentes magnéticos e semicondutores são desenvolvidos, permitindo a obtenção de um

modelo térmico para semicondutores e componentes magnéticos. A partir do modelo do sistema controlado, um espectro para EMC é obtido, permitindo que restrições de EMC sejam incluídas de acordo com alguma norma específica. O modelo das perdas é usado para otimizar a eficiência. Considerando-se o modelo térmico e as folhas de dados dos componentes envolvidos, é possível restringir a temperatura de junção dos semicondutores e a temperatura dos componentes passivos. O modelo do volume é usado como função objetivo, podendo, segundo os autores, também incluir restrições de perdas, custos ou ponderações destas. A otimização foi realizada com auxílio da ferramenta específica, o ProDesign, com um algoritmo de gradiente determinístico adaptado para a fase de dimensionamento do conversor, considerando-se aspectos de tempo de computação e precisão de resultados. As simulações relativas à EMI foram realizadas no software PSpice.

O trabalho de Raggl et al. (2009) apresenta um projeto completo de um Boost PFC monofásico com foco na obtenção de alta densidade de potência, onde diferentes pontos de operação (número de estágios do Boost, frequência de comutação e modo de operação) para o projeto são identificados e comparados. Inicialmente há o projeto relativo à indutância do Boost, o qual inclui uma conexão térmica com dissipador ou placa fria. A seguir há a escolha do capacitor de saída de forma garantir uma alta densidade de potência. Os semicondutores são selecionados entre as tecnologias disponíveis, considerando-se as perdas. A seguir o projeto do filtro de EMI é realizado, onde filtros otimizados para o modo comum e modo diferencial são concebidos. Ao final, volume e perdas para os diferentes modos de operação são observados e um protótipo para o projeto ótimo foi desenvolvido. Vários aspectos foram considerados de forma combinada no projeto do conversor, tais como o número de células de Boost intercaladas, a frequência de comutação, o material dos semicondutores, o número de estágios do filtro de entrada, e também os aspectos térmicos (em particular para o projeto do indutor do Boost). Assim, o trabalho demonstra que a observação combinada de tais questões é importante para conseguir um sistema global otimizado, da mesma forma como foi considerado em Sartori (2013).

Uma ampla pesquisa sobre o desenvolvimento de conversores de energia, entre os anos de 2002 e 2013, pode ser encontrada em De León-Aldaco, Calleja e Alquicira (2015), onde o foco foi explorar otimização por métodos metaheurísticos. Tal pesquisa diz que 91% dos trabalhos explorados utilizaram métodos metaheurísticos e 9% utilizaram métodos de otimização clássicos. Sendo que os algoritmos evolucionários correspondem a 68% dos métodos metaheurísticos empregados. A pesquisa ainda menciona que a maioria dos trabalhos

otimiza apenas parte do projeto dos conversores, considerando diferentes variáveis a serem otimizadas, as quais figuram principalmente em três categorias:

- Conversores: tipos de semicondutores, razão cíclica, frequência de comutação, ângulos de chaveamento e formas de onda, comprimento do dissipador, etc.
- Componentes magnéticos: tamanho do núcleo, densidade do fluxo magnético, densidade decorrente, área de enrolamento, etc.
- Filtro: capacitância e indutância.

Ainda, entre os trabalhos pesquisados em De León-Aldaco, Calleja e Alquicira (2015), 74% envolvem funções objetivo relacionadas à qualidade da energia e forma de onda, 18% são relativos ao circuito (peso, volume, área, eficiência e custo) e 8% otimizam ajustes de controle. O foco dos trabalhos figurou na melhoria de projetos de conversores desenvolvidos para topologias existentes e não na criação de novas topologias. O autor ainda menciona que os problemas da área de eletrônica de potência, geralmente, são multiobjetivos e envolvem variáveis contraditórias, porém a maioria dos problemas pesquisados é formulado com apenas uma função objetivo (76%).

Lefranc, Jannot e Dessante (2012), apresentam uma proposta de prototipação virtual e metodologia de pré-dimensionamento de conversores Buck CC/CC usando algoritmos genéticos. Foram abordados múltiplos objetivos, tais como: maximizar a eficiência e minimizar o volume externo. Entre as variáveis a serem otimizadas estão a frequência de comutação, capacitor, núcleo, fio, comprimento do dissipador, entre outras. A otimização se dá sob diferentes restrições, tais como operação em modo contínuo, densidade de corrente $J < 10 \text{ A mm}^{-2}$, temperatura do indutor inferior a 80°C , entre outras. O trabalho menciona que a eficiência do conversor depende claramente do ponto de operação e apresenta diferentes possibilidades de solução, sob o formato de fronteira Pareto, para um dado problema. São usados os algoritmos evolucionários multiobjetivos, conforme apresentados em Zitzler, Deb e Thiele (2000) e Deb et al. (2002). Os autores chegaram à conclusão que a escolha da melhor solução depende da observação do domínio de aplicação do conversor. Em aplicações automotivas, por exemplo, é preciso observar o custo, já em aplicações para sistemas de aeronave é importante observar o peso. Além disso, concluíram que, em aplicações de produtos industriais, o passo de pré-dimensionamento é importante, porque dá uma visão geral da viabilidade do sistema.

Meza (2014) apresenta uma técnica holística para ajuste de controladores mediante otimização multiobjectivo, empregando algoritmos evolutivos multiobjetivos. São abordados

multiobjetivos contraditórios e, da mesma forma que concluído por Lefranc, Jannot e Dessante (2012), considera que devido a impossibilidade de se obter a melhor solução que contemple todos os objetivos, várias soluções Pareto ótimas podem ser apresentadas, permitindo-se a posterior escolha da mais adequada.

Burkart (2016) define uma metodologia para otimização multiobjetivo de conversores estáticos em relação à eficiência, volume, peso e custos. São modelados componentes típicos do conversor, como semicondutores, indutores, capacitores, sistemas de resfriamento e placas de circuito impresso, em relação às medidas de desempenho selecionadas. Além dos modelos de componentes, são desenvolvidos outros modelos que descrevem o comportamento do conversor e as formas de onda de corrente e tensão resultantes no sistema, dependendo do esquema de modulação empregado e do ponto de operação. O trabalho também recorre à técnica da fronteira de Pareto. Burkart (2016) especifica que as implantações foram realizadas em MATLAB® e que a principal desvantagem são tempos de execução lentos, já que o código MATLAB® é interpretado, e não compilado em código binário nativo, para posterior (e mais eficiente) execução. Para compensar esta desvantagem, foram incorporados a computação paralela e código C compilado, mais eficiente computacionalmente.

Ainda, diferentemente dos demais trabalhos consultados, Burkart (2016) especifica e implementa questões relativas ao custo, mencionando os desafios enfrentados, tais como:

- Custos não representam uma quantidade física e, portanto, não podem ser explicados com leis físicas nem obtidos por meio de medições experimentais. Assim, os custos devem ser obtidos junto a fabricantes e vendedores, que geralmente não divulgam abertamente tais valores.

- A fabricação de componentes geralmente envolve uma ampla mistura de diferentes materiais, diversos processos de fabricação e mão de obra. Modelar tais fatores é desafiador e requer um amplo conjunto de dados de custo.

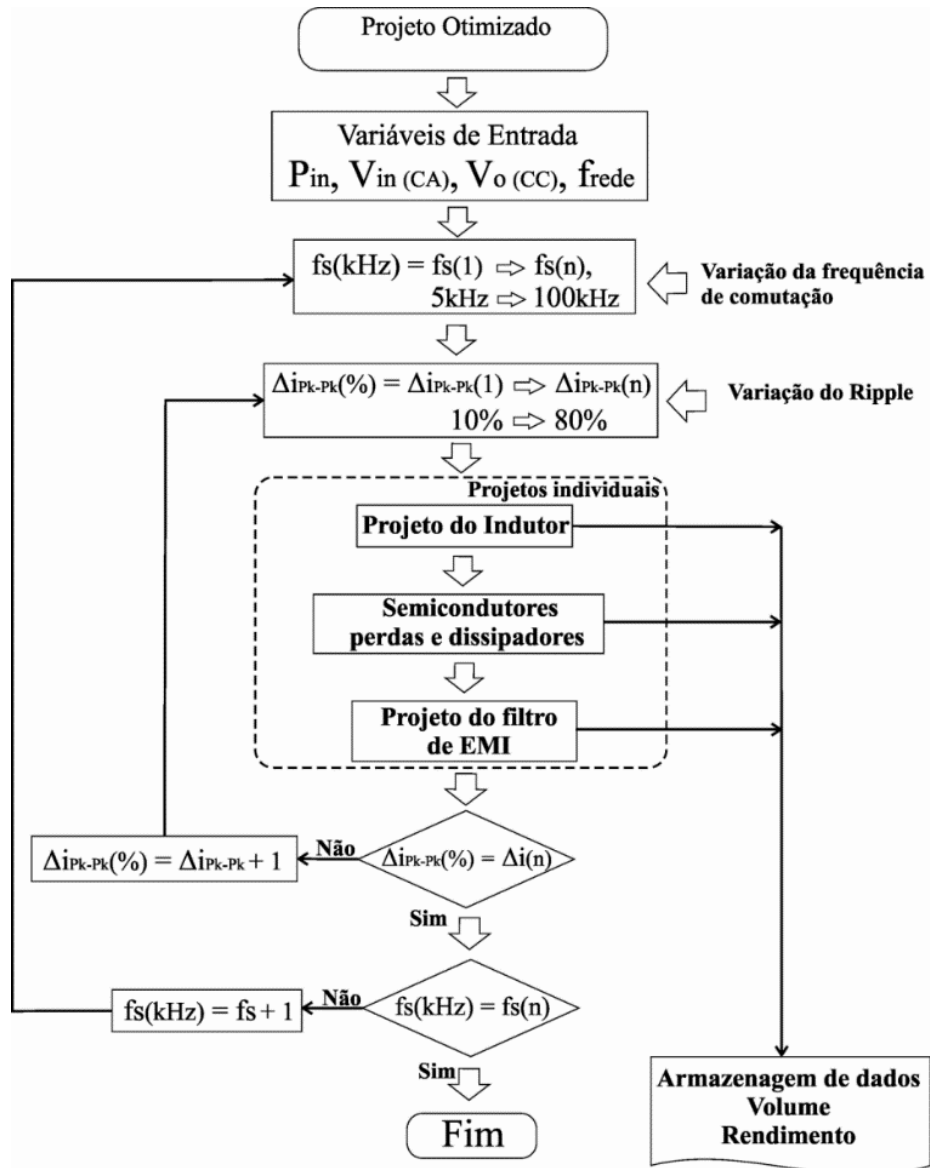
- Há fatores relacionados ao custo que não dependem diretamente do produto em si, tais como quantidade mínima para aquisição, o local de fabricação e da entrega, moeda e negociações do preço entre o vendedor e comprador.

- Os custos dos componentes variam com o tempo e devem ser verificados e atualizados regularmente.

2.4 METODOLOGIA E ALGORITMOS DE EMBASAMENTO PARA AS IMPLEMENTAÇÕES REALIZADAS

A seguir a metodologia desenvolvida e apresentada em Sartori (2013), que serviu de base para o presente trabalho, é brevemente descrita. O foco da metodologia é a busca pelo ponto de operação (f_s - frequência de comutação e Δi - ondulação da corrente de entrada) de volume e rendimento ótimos. Para demonstrar a utilização da metodologia foi realizado um estudo de caso para o Conversor Boost PFC. Um fluxograma contendo a metodologia é apresentado na Figura 4.

Figura 4 — Fluxograma da metodologia de projetos



Fonte: Sartori (2013)

As etapas de projeto do conversor Boost PFC (SARTORI 2013) são:

Primeira Etapa – Os parâmetros de construção do conversor são especificados de acordo com a aplicação, sendo eles: potência de entrada (P_{in}), tensões de entrada (V_{in}) e do barramento (V_o), frequência da rede (f_{rede}), temperaturas ambiente (T_a) e de junção (T_j) dos semicondutores além de normatizações. São definidos os semicondutores, os materiais magnéticos e perfis de dissipadores que serão utilizados. Além disso, são estabelecidos os pontos de operação ($\Delta i@fs$), especificando-se as faixas de *ripple* e frequência para as quais serão criados diferentes projetos de conversores.

Segunda Etapa – Para cada um dos pontos de operação definidos na etapa anterior, há o cálculo de indutância, permitindo a seleção do núcleo magnético do indutor, em função do valor da energia, considerando os valores encontrados nos catálogos das tecnologias disponíveis, tais como Calálogo HS Dissipadores (2011) e Magnetics (2015). A seguir é feito o cálculo do número de espiras. Para tecnologias de materiais magnéticos do tipo pó de ligas metálicas, deve-se determinar a indutância mínima através da análise da variação da permeabilidade efetiva. A indutância será mínima quando a corrente de entrada for máxima. Nestes casos, para o total controle da ondulação de corrente de entrada, o projeto deve ser realizado para sua amplitude máxima, desta forma o número de espiras é reajustado para que a ondulação da corrente de entrada não exceda os limites de amplitudes máximas.

Terceira etapa - Nesta etapa é realizado o projeto do controlador. A transformada Z é usada para discretização do conversor. São modeladas as etapas de operação do conversor (ver Figura 4): diodo conduzindo; transistor conduzindo. Um compensador proporcional integral foi utilizado para o controle. Os ganhos são calculados considerando-se a função de transferência simplificada da malha de corrente do conversor. O controlador é influenciado pela indutância e esta, por sua vez, é função do ponto de operação. Assim, o controlador deverá ser sintonizado para cada um dos pontos de operação considerados.

Quarta etapa – Nesta etapa há a simulação da corrente de entrada do conversor, através dos seguintes elementos: razão cíclica, número de pontos de simulação por período de chaveamento e da condição de andamento do conversor (diodo conduzindo ou interruptor conduzindo).

Quinta etapa - A partir da simulação da corrente de entrada, calculados na etapa anterior, é possível encontrar, para os semicondutores utilizados, os valores de corrente média, RMS e de pico. A seguir é possível calcular as perdas nos semicondutores e projetar dissipadores.

Sexta etapa – Nesta etapa há o projeto do filtro de EMI. Inicialmente é necessário encontrar o harmônico crítico através da Transformada de Fourier Discreta.

Sétima etapa – Nesta etapa é realizado o projeto do capacitor de saída, dependente apenas da energia armazenada.

Etapa Final – Nesta etapa é realizado o agrupamento dos projetos do indutor Boost, capacitor de saída, filtro EMI e dissipadores térmicos em função do ponto de operação, determinando-se o conversor de volume mínimo ou máximo rendimento.

Os volumes dos conversores referentes a cada um dos pontos de operação ($\Delta i @ fs$) são calculados de acordo com a Equação (1):

$$\text{Vol}_{(\Delta i @ fs)} = \text{Vol_L}_{(\Delta i @ fs)} + \text{Vol_Diss}_{(\Delta i @ fs)} + \text{Vol_EMI}_{(\Delta i @ fs)} \quad (1)$$

Onde:

$\text{Vol}_{(\Delta i @ fs)}$ - Volume total do Conversor

$\text{Vol_L}_{(\Delta i @ fs)}$ – Volume do Indutor Boost

$\text{Vol_Diss}_{(\Delta i @ fs)}$ – Soma dos Volumes do Dissipador, Transistor e Diodo

$\text{Vol_EMI}_{(\Delta i @ fs)}$ – Volume do Filtro EMI

As perdas dos conversores referentes a cada um dos pontos de operação ($\Delta i @ fs$) são calculadas de acordo com a seguinte Equação (2):

$$\text{Perdas}_{(\Delta i @ fs)} = \text{Perdas_L}_{(\Delta i @ fs)} + \text{Perdas_Semicond}_{(\Delta i @ fs)} + \text{Perdas_EMI}_{(\Delta i @ fs)} \quad (2)$$

Onde:

$\text{Perdas}_{(\Delta i @ fs)}$ – Perdas totais do Conversor

$\text{Perdas_Semicond}_{(\Delta i @ fs)}$ – Soma das Perdas no Transistor e no Diodo

$\text{Perdas_EMI}_{(\Delta i @ fs)}$ – Perdas no Filtro EMI

A partir deste ponto é possível encontrar o projeto de conversor que apresenta menor volume, bem como as suas respectivas especificações. Também é possível analisar, com respeito ao volume e às perdas e para determinadas especificações de entrada, o comportamento/adequação de cada uma das tecnologias envolvidas nos projetos. Maiores detalhes sobre a metodologia, incluindo o projeto/seleção dos componentes ativos e passivos do conversor podem ser consultados em Sartori (2013) e também no Anexo A deste trabalho. O projeto foi implementado com a utilização da ferramenta MATLAB.

Um algoritmo para implementação de um Boost CC/CC também é implementado no presente trabalho. Tal algoritmo segue uma sequência de passos semelhantes à descrita para o Boost PFC, exceto por não incluir um controlador, e um filtro e por alterações nos cálculos das correntes, realizado na quarta etapa.

2.5 CONCLUSÃO

O presente capítulo abordou alguns conceitos básicos e questões relativas ao projeto de conversores estáticos, as quais permitem concluir que o projeto de conversores é uma tarefa complexa, que envolve inúmeras variáveis, cálculos e etapas, os quais são do conhecimento do engenheiro eletricitista. Abordou-se também o estado da arte das pesquisas realizadas em relação ao projeto otimizado de conversores estáticos e, ao fim, apresentou-se a metodologia de projeto de conversores que será utilizada no presente trabalho. Assim, foi possível observar que boa parte das pesquisas realizadas na área tem foco na otimização dos componentes individuais do conversor e, além disso, são desenvolvidas para objetivos ou domínios específicos. Aqueles que trabalham com domínios mais genéricos, oferecem respostas no formato de fronteira de Pareto. Há trabalhos que empregam algoritmos metaheurísticos para obtenção de resultados e, entre estes, os algoritmos evolutivos são os mais usados. Os softwares usados para realizações dos projetos são de cunho genérico, tais como MATLAB, e não especificamente para o propósito de projetar um conversor. Alguns autores mencionam o uso de um banco de dados, que pode se tratar apenas do uso de tabelas (implementadas no formato de matrizes) para organizar as informações, já que não há citações sobre a utilização de um SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados) nos trabalhos consultados.

3 ESCOLHA DAS FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

3.1 INTRODUÇÃO

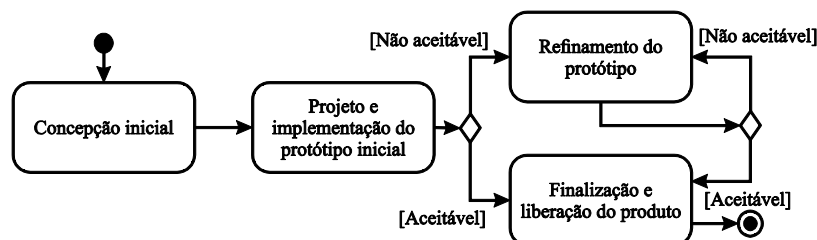
Tomando como base a visão do domínio do problema, conforme descrita no Capítulo 2, além da implementação (realizada em MATLAB) de um projeto de conversor estático Boost PFC fazendo uso de uma metodologia de minimização de volume/perdas/custo (SARTORI, 2013), os requisitos iniciais do sistema de software foram identificados. A partir dos requisitos iniciais é possível estabelecer a metodologia e as ferramentas a serem utilizadas no desenvolvimento do software proposto.

Inicialmente é explanada a metodologia de desenvolvimento do software. A seguir são enumeradas e descritas as ferramentas de desenvolvimento aqui adotadas e também são apresentadas as justificativas quanto às seleções realizadas.

3.2 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

A metodologia de desenvolvimento de software diz respeito a um conjunto de práticas para obtenção de um produto de software. Adotou-se, como metodologia para o desenvolvimento do sistema proposto neste trabalho, o Modelo de Prototipação Evolucionária, conforme descrito em Wazlawick (2013), considerando-se a abordagem *cornerstone*, que significa pedra fundamental. Em tal metodologia protótipos são usados para determinar aspectos do sistema, entender requisitos e reduzir riscos do sistema. Na abordagem aqui adotada, o protótipo evoluirá e se tornará parte da versão final do sistema. Ainda, segundo Wazlawick (2013), outra abordagem para a prototipação é a *throw-away*, que significa descartável, neste caso os protótipos construídos são descartados. A Figura 5 contém as etapas presentes na metodologia da Prototipação Evolucionária, conforme encontrado em Wazlawick (2013).

Figura 5 — Método da prototipação evolucionária.



Fonte: Wazlawick (2013).

Inicialmente, conforme Figura 5, há a concepção inicial do sistema onde funcionalidades básicas e primordiais do software podem ser priorizadas. Após há o projeto e a implementação do protótipo inicial seguidos de uma avaliação. Caso o protótipo seja aceitável, há a finalização e liberação do produto; caso contrário, o protótipo será refinado até ser considerado aceitável.

O domínio do problema, conforme observado no Capítulo 2, é um tanto complexo, requerendo que sua construção seja incremental, pois é também paralela à compreensão do problema como um todo. Os conversores estáticos têm seu processo de projeto e desenvolvimento sob a responsabilidade de um engenheiro eletricitista, cujo conhecimento permite seguir caminhos promissores na obtenção do conversor desejado. O engenheiro eletricitista detém o conhecimento sobre quais são os elementos (tecnologias disponíveis, tais como diodos, transistores, núcleos magnéticos, filtros EMI, etc.) necessários para construir o conversor, bem como conhece as características de tais elementos. Além disso, também entende, em suas minúcias, as etapas e os cálculos que devem ser realizados para o projeto de um conversor. Quando se deseja informatizar tal processo, faz-se necessário a interação com o engenheiro de modo a descobrir a sequência de passos, os cálculos realizados, as variáveis envolvidas e os critérios de seleção dos componentes para construção de um conversor. A partir destas descobertas é possível dar início à construção do sistema de computação para auxiliar o projeto de conversores.

A prototipação evolucionária se dá de forma incremental, não sendo necessário estar de posse de um planejamento completo para iniciar a construção do sistema. Desta forma o software vai sendo desenvolvido aos poucos e sendo apresentado aos interessados, o que permite que ajustes e correções sejam feitos, paralelamente à descoberta de novos requisitos. Em um domínio complexo, como o aqui abordado, o conhecimento será, aos poucos, transferido do engenheiro para o analista/programador e o protótipo auxiliará tanto o engenheiro, pois visualizará o produto antecipadamente, quando o analista/programador, pois facilitará a obtenção e o entendimento de novos requisitos.

Os incrementos iniciais do sistema, segundo Sommerville (2007), podem ser destinados a implementar funcionalidade de maior prioridade do sistema, porém neste trabalho, o desenvolvimento do sistema segue uma sequência de etapas intrínsecas ao problema de projetar um conversor, sendo que as diferentes funcionalidades já são apresentadas na sequência em que devem ser desenvolvidas.

Outra vantagem desta metodologia é o constante contato entre desenvolvedor (analista/projetista) e cliente (engenheiro), permitindo que mudanças e melhorias possam ser realizadas mais rapidamente e, conseqüentemente, com um menor custo.

A equipe de trabalho é pequena, já que se trata de uma tese de doutorado, realizada por uma pessoa, que deverá concretizar todas as etapas de desenvolvimento do software, em colaboração com os engenheiros eletricitas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFSM, que detém o conhecimento do domínio do problema e orientam (ou coorientam) o trabalho.

3.3 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

As ferramentas a serem utilizadas para o desenvolvimento do sistema foram divididas em duas categorias: construção de modelos e implementação.

3.3.1 Ferramentas de Construção de Modelos

Entre as ferramentas para construção de modelos estão as Linguagens de Modelagem e a Ferramentas *Case*. A utilização de uma ferramenta *case* está intimamente associada à linguagem de modelagem a ser usada para expressar os modelos do sistema e vice-versa. A seguir são abordadas a linguagem de modelagem e ferramenta *case* utilizadas neste trabalho.

3.3.1.1 Linguagem de Modelagem Unificada – UML

Linguagens de modelagem são linguagens que fornecem construções, comumente notações gráficas, para explicar a construção e o funcionamento de um software. Modelos servem para compreender melhor o sistema em construção, muitas vezes expondo oportunidades de simplificação e reaproveitamento, conforme Booch, Rumbaugh e Jacobson (2005). Além de serem úteis para gerir o risco. Já as Ferramentas *CASE* (*computer-aided software engineering*) são ferramentas de software usadas para engenharia de software assistida por computador, Engineering e Committee (2002).

As linguagens orientadas a objetos, conforme Sebesta (2009), são uma evolução das linguagens estruturadas e procedurais em direção às linguagens naturais. Considerando-se o fato de que as implementações computacionais baseadas em linguagens naturais não estão consolidadas e difundidas, assim, a modelagem e o desenvolvimento do presente trabalho farão uso de linguagens orientadas a objetos. Além disso, conforme Booch, Rumbaugh e

Jacobson (2005), a maioria das linguagens contemporâneas, sistemas operacionais e ferramentas são orientados a objetos de alguma forma. Entre as linguagens de modelagem orientadas a objetos está a linguagem de modelagem unificada (UML).

A linguagem de modelagem unificada (UML, do inglês *Unified Modeling Language*) foi construída no início dos anos 1990 por James Rumbaugh, Grady Booch e Ivar Jacobson, que combinaram características de cada dos seus métodos, previamente construídos, obtendo uma linguagem que contém uma notação robusta para modelagem e desenvolvimento de sistemas orientados a objetos. A UML tornou-se padrão da indústria no que diz respeito ao desenvolvimento orientado a objetos, conforme Pressman (2006).

Entre os artefatos disponíveis na UML para a modelagem de software destacam-se, neste trabalho o diagrama de casos de usos e o diagrama de classes, usados para construção do modelo global do sistema e para a descrição da cada uma das funcionalidades do sistema. O Apêndice A contém uma descrição dos artefatos da UML adotados para modelagem do sistema POCE.

3.3.1.2 Modelagem do Banco de Dados Relacional

Os bancos de dados orientados a objetos ainda não são tão difundidos e utilizados como as linguagens de programação orientadas a objetos. Já banco de dados relacionais são amplamente difundidos e utilizados, por isso serão aqui adotados. O processo de construção de um banco de dados inicia pela modelagem conceitual, que é seguida da modelagem lógica, Heuser (2000). O modelo conceitual descreve o banco de dados independentemente da SGDB (Sistema de Gerenciamento de Banco de dados) que será usado para implementação. Este modelo evidencia os dados e não como eles serão armazenados. O projeto lógico é a descrição da representação dos dados e depende do tipo de SGDB que será usado. O modelo lógico dos dados, no caso de um SGBD relacional, é descrito através de tabelas.

A modelagem do banco de dados do sistema proposto neste trabalho é apresentada através de um diagrama de banco de dados. O Modelo Entidade-Relacionamento (MER), desenvolvido por Peter Chen (CHEN, 1990), está descrito no Apêndice A para facilitar o entendimento dos modelos de banco de dados apresentados neste trabalho.

3.3.1.3 Ferramentas Case

A partir da escolha da linguagem a ser utilizada para modelagem do sistema é possível elencar as ferramentas *case* que dão suporte para criação dos modelos. Entre as ferramentas *case* para modelagem orientada a objetos é possível citar: o *Astah Professional*, o *IBM*

Rational Rose Developer for Java e o *Enterprise Architect*. Após instalação e utilização das versões disponíveis gratuitamente, o *Astah Professional* (de licença gratuita para estudantes) foi a ferramenta escolhida, pois:

- Possui suporte a orientação a objetos.
- Tem suporte para desenvolvimento dos diagramas propostos no presente trabalho: diagrama de caso de uso e diagrama de classes.
- Permite modelagem para banco de dados relacionais.
- Possui verificação de consistência através de regras simples.
- Gera relatórios de acompanhamento.
- Está disponível uma versão profissional, com licença gratuita para estudantes.
- Apresenta vasto material de apoio, encontrado em Astah (2014).
- É de instalação e utilização simples.

Além dos motivos citados acima, o desenvolvimento do software será realizado por apenas um analista/programador, que possui conhecimentos mais expressivos com relação à ferramenta *Astah Professional*. Ainda, a instalação e utilização das outras ferramentas não evidenciaram características que tornassem a sua utilização mais fácil, produtiva ou eficiente em relação à escolhida.

A modelagem de banco de dados pode ser realizada em programas que dão suporte para criação de modelos de dados lógicos e físicos, tais como o *DBDesigner*, o *ERWin*, ou o *brModelo*. A escolha da ferramenta *Astah Professional*, dispensa o uso de uma ferramenta específica para modelagem de dados, já que esta funcionalidade está inclusa na própria ferramenta *case*, que ainda permite a geração automática de código para construção do banco de dados.

3.3.2 Ferramentas de Implementação

As ferramentas de implementação são aquelas que dão suporte para criação, teste e execução de códigos computacionais. As ferramentas de implementação utilizadas no presente trabalho são: linguagem de programação (e ambiente de programação), sistema gerenciador de banco de dados, pacotes para mapeamento objeto-relacional e ferramenta para geração de gráficos.

3.3.2.1 Linguagem de Programação

Linguagem de programação é um conjunto de comandos padronizados que permitem comunicar instruções ao computador. É a linguagem de escrita dos códigos computacionais que compõem o sistema. Ex.: C, C++, Java, Python, C#, entre outras.

Apesar da linguagem C/C++ ser amplamente utilizada no domínio da engenharia, a linguagem Java SE 8 (JAVA 8 SE, 2014), foi adotada para as implementações do sistema proposto neste trabalho, pois:

- É orientada a objetos.
- É gratuita – possui licença GNU.
- Java foi criado a partir do C++, buscando-se o aperfeiçoamento dos pontos que continham desvantagens em sua precursora, criando-se assim uma linguagem mais simples e voltada para atender às necessidades do desenvolvimento de aplicações em ambientes distribuídos e heterogêneos.
- Tem um número de desenvolvedores superior ao C++.
- Proporciona desenvolvimento de aplicativos para uma grande variedade de ambientes, sendo independente de plataforma – JVM.
- Java é mais confiável, pois não permite a manipulação direta de endereços de memória como C/C++, prevenindo erros em tempo de execução.
- Possui mecanismos de tratamento de exceção mais efetivo que o C++, pois toda exceção é um objeto e pode ser tratado.
- A memória alocada em Java é liberada automaticamente pelo *Garbage Collector*, tal atividade é dependente do comando do programador em C++.
- Java mapeia e localiza classes a serem utilizadas facilmente, sem a necessidade de pré-processador para resolver diretivas de inclusão de arquivos externo, por exemplo.
- Possui mecanismos que permitem a construção de programas com processamento em paralelo de instruções.
- O Java 8 incorpora conceitos das linguagens funcionais, com a LISP, facilitando a manipulação de coleções de dados, tais como as listas. Contém mecanismos de comparação, ordenação em paralelo eficientes e de fácil utilização.

Além disso, Java fornece extensa biblioteca ou pacotes de classes, que são elementos para adicionar funcionalidades à linguagem de programação escolhida, tais como:

- Criar gráficos e outras interfaces: JFreeChart (JFREECHART, 2014), JMathPlot (JMATHPLOT, 2014);
- Gerar relatórios: JasperReport (JASPERREPORT, 2014), iReport (IREPORT, 2014);
- Implementar construções matemáticas elaboradas: JMathArray (JMATHARRAY, 2014), MatlabControl (MATLABCONTROL, 2014) (que possibilita executar o MATLAB® a partir do código Java).

3.3.2.2 Ambiente de Programação

Um ambiente de programação é um conjunto de ferramentas utilizadas no desenvolvimento de software, conforme Sebesta (2009), tais como um sistema de arquivos, um editor de texto, um ligador, um compilador, um depurador, um controlador de versão, as quais são acessadas através de uma interface uniforme. Ambiente de Programação são ambientes para escrita de programas computacionais. Ex.: NetBeans, BlueJ, Eclipse, DEV+++, Borland C++, C++ Builder. Ao se adotar a linguagem Java para implementação, os ambientes de programação ficam restritos àqueles que suportam tal linguagem. Entre os mais utilizados e conhecidos ambientes para implementações em Java é possível destacar o Eclipse (ECLIPSE LUNA, 2014) e Netbeans (NETBEANS, 2014). Qualquer um dos dois ambientes fornece características e funcionalidades equivalentes. A opção foi realizada pela familiaridade e facilidade de uso do desenvolvedor em relação ao ambiente, neste caso o Netbeans é a ferramenta escolhida. Considerando-se o fato de que o ambiente de programação é um acelerador/facilitador para a criação do código, podendo, em termos, ser dispensado, usar um ambiente equivalente, porém desconhecido, acarretaria em um atraso, que seria resultante do tempo de familiarização com o novo ambiente.

3.3.2.3 Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados

Um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), conforme Silberschatz, Korth e Sudarshan (2006), é uma coleção de dados inter-relacionados e um conjunto de programas para acessar esses dados, cujo objetivo é recuperar informações de modo eficiente.

SGBD são aplicativos responsáveis pela administração e gerenciamento de uma ou mais base de dados, cujo principal objetivo é gerenciar o acesso, manipulação e organização dos dados. Ex.: MySQL (MYSQL, 2014), PostgreSQL (POSTGRESQL, 2014), Firebird (FIREBIRD, 2014), Oracle (ORACLE DATABASE, 2014).

Um ambiente para administrar o banco de dados é uma ferramenta que oferece interface gráfica para realizar todas as tarefas necessárias para o suporte e manutenção do banco de dados. Ex.: IBExpert, pgAdmin, entre outros.

A interação entre o Java e o SGBD é facilitada pelo JDBC (*Java Database Connetivity*), o que é um mecanismo para comunicação entre o banco de dados e a linguagem Java. A maioria dos desenvolvedores/empresas de SGBDs oferece o JDBC para o seu respectivo banco de dados.

Entre os SGBD mais utilizados estão o MySQL e o PostgreSQL, ambos são gratuitos e possuem JDBC disponível para ser utilizado em aplicações Java. Assim, diante das semelhanças entre os SGBDs, optou-se por utilizar o PostgreSQL. Entre os motivos, é possível citar: a familiaridade da equipe de implementação com o mesmo, poupando tempo de aprendizagem do MySQL; e não foram identificadas desvantagens comprometedoras ao trabalho, se comparado ao MySQL.

Associado ao uso do PostgreSQL, será utilizado o pgAdmin III (PGADMIN, 2014), que é um sistema de concepção e gestão de banco de dados PostgreSQL, disponível gratuitamente para sistemas Unix e Windows.

3.3.2.4 Mapeamento Objeto-Relacional

Conforme mencionado anteriormente, os bancos de dados orientados a objetos ainda não são tão difundidos e utilizados como as linguagens de programação orientadas a objetos. Já banco de dados relacionais são amplamente difundidos e utilizados. Desta forma o armazenamento e a recuperação de objetos em um banco de dados não são realizados diretamente, e necessita de um tratamento. Ferramentas de ORM (mapeamento objeto relacional, do inglês *Object Relational Mapping*) facilitam a vida do desenvolvedor ao converterem automaticamente objetos nos dados que eles representam. A necessidade do uso de ferramenta deste tipo é devida ao grau de dificuldade do domínio em questão (projetos de conversores), associada a metodologia adotada para o desenvolvimento (prototipação evolucionária). Isto ocorre porque, a cada ciclo da metodologia, novos requisitos podem ser identificados, ou os anteriormente conhecidos podem ser modificados, ocasionando alterações custosas nos modelos de dados. Ao se optar por uma ferramenta de ORM, as alterações realizadas nos objetos passaram a ser facilmente refletidas (mapeadas) no banco de dados, já que este passou a ser obtido automaticamente.

A ferramenta utilizada foi o ORMLite (Mapeamento Objeto Relacional Leve, do inglês *Lightweight Object Relational Mapping*) (ORMLITE, 2016), que é uma ferramenta

simples, poderosa e que evita a complexidade e sobrecarga da maioria dos pacotes ORM padrão. ORMLite é facilmente incorporada ao código Java e suporta conexões com o PostgreSQL, MySQL, entre outros. As classes são configuradas para serem persistentes em um banco de dados usando anotações OrmLite. A anotação `@DatabaseTable` é usada para configurar algumas classes para persistirem em tabelas de banco de dados. Da mesma forma, as anotações `@DatabaseField` mapeiam alguns campos nessas classes para as colunas do banco de dados. Desta forma, é possível obter o modelo de dados (tabelas e relacionamentos) a partir dos modelos de objetos (as classes).

3.3.2.5 Geração de Gráficos

O Gnuplot (GNU PLOT, 2016) foi o sistema escolhido para geração de gráficos. O Gnuplot é um utilitário de linha de comando para diferentes plataformas como Linux, OS / 2, MS Windows, OSX, VMS e outros. O código-fonte é protegido por direitos autorais, mas livremente distribuído. Ele foi originalmente criado para visualizar funções matemáticas e dados interativamente, mas evoluiu e suporta muitos usos não-interativos, como um mecanismo de plotagem para aplicativos de terceiros, como é aqui usado. Java possui um método para fazer uma chamada ao sistema operacional e facilmente rodar algum outro programa, como por exemplo o GNU PLOT, que, desta forma, pode ser utilizado para construção de gráficos a partir de diretivas criadas dentro do código Java. Os gráficos disponibilizados no sistema POCE, em sua maioria, são construídos com a ferramenta Gnuplot (GNU PLOT, 2016).

3.4. CONCLUSÃO

O presente capítulo contém as informações sobre a metodologia, ferramentas e tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do Sistema de Projetos Otimizados de Conversores Estáticos – POCE, além das justificativas para as escolhas realizadas. Foram selecionados:

- Prototipação Evolucionária, como metodologia para o desenvolvimento software.
- UML 2, como linguagem para modelagem do sistema.
- Astah Professional 6.8.0, como ferramenta case para criação dos modelos do sistema e do banco de dados.
- Java SE 8 e Neatbeans IDE 8.2, como linguagem e ambiente de programação.

- PostgreSQL 9.2.4 e pgAdmin III 1.16.1, como sistemas de gerenciamento de bando de dados e interface gráfica para operação do SGBD.
- ORMLite para realizar o mapeamento objeto-relacional.
- GNUPLOT para geração de gráficos.

4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

4.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo descrever as etapas que foram cumpridas para o desenvolvimento do sistema, seguindo o método Prototipação Evolucionária, conforme descrito no Capítulo 4 e representado na Figura 5. Também são apresentados os principais modelos do sistema, os quais foram construídos com o auxílio da ferramenta *Astah Professional*. Devido aos seus aspectos particulares, as metodologias e modelos relacionados aos algoritmos genéticos serão tratados no capítulo 5. Ao final é apresentado um fluxograma que resume o funcionamento do sistema em suas principais características e objetivos. Detalhes sobre o desenvolvimento e a implementação do sistema POCE podem ser consultados em Pivetta, Sartori e Pinheiro (2015a, 2015b, 2016a, 2016b).

4.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

As etapas de desenvolvimento do software foram realizadas de acordo com o método Prototipação Evolucionária, conforme descrito logo a seguir.

Etapa 1 – Concepção Inicial do Sistema - A concepção inicial do sistema a ser desenvolvido foi obtida através de dois instrumentos, a tese de doutorado intitulada Projeto de Conversores Estáticos Fazendo Uso de uma Metodologia de Minimização de Volume/Perdas/Custo, da autoria de Hamiltom Confortin Sartori (SARTORI, 2013) e o programa computacional desenvolvido na ferramenta MATLAB® que implementa o algoritmo descrito na tese. A partir da leitura e entendimentos de tais instrumentos foi possível esboçar o caso de uso principal do sistema: Geração dos Projetos de Conversores.

Etapa 2 – Projeto e Implementação do Protótipo Inicial - O protótipo inicial do sistema foi desenvolvido em linguagem Java, utilizou o SGBD PostgreSQL e permitia apenas o projeto de conversores da topologia Boost PFC.

Etapa 3 – Refinamento do Protótipo - Os sucessivos refinamentos do protótipo foram possíveis a partir de elucidações sobre o domínio de solução do problema, resultantes de testes do protótipo disponibilizado na etapa anterior. Tais elucidações foram possíveis a partir

de reuniões semanais com os interessados no projeto, durante os meses de julho/2014, setembro/2014, outubro/2014, janeiro/2015 e dezembro/2015 até janeiro/2017. Nas reuniões foi possível apresentar e discutir o sistema em construção, corrigir erros/falhas, bem como obter novos requisitos do sistema, constituindo-se a etapa de Refinamento do Protótipo. Tal etapa deve se alongar até que o sistema se torne aceitável, resultando na finalização e liberação do produto para o cliente/usuário.

O espaço de busca explorado pelo POCE é formado pelas possíveis combinações entre diferentes pontos de operação, materiais magnéticos, diodos, chaves (transistores) e perfis de dissipadores de calor. O número de combinações entre tais elementos será referenciado aqui pelo termo “instância do problema”. Por exemplo, ao projetar um conversor, caso o projetista explore um conjunto de 400 pontos de operação e, além disso, tenha disponível para uso: 3 tecnologias de materiais para núcleos magnéticos do indutor, 5 diodos, 10 chaves (transistores), 3 tecnologias de materiais para núcleos magnéticos do indutor do filtro de EMI e 2 perfis de dissipador; o número de possíveis projetos (ou combinações) seria de 360.000, isto é, a instância deste problema seria de 360.000. Caso acrescentássemos ao banco de dados apenas mais um diodo, por exemplo, a instância do problema (o número de possíveis projetos) passaria para 432.000. O tempo de computação para percorrer o espaço aumenta proporcionalmente à instância do problema.

Uma importante constatação sobre a aceitação do software foi realizada em uma das verificações, a qual diz respeito ao tempo de execução necessário para chegar aos resultados finais. Ao realizar testes, dependendo da instância do problema, a execução tornava-se lenta e os usuários desistiam de aguardar pelos resultados finais. Este foi um indicativo da necessidade de aplicação de uma técnica para restringir o espaço de busca, evitando locais onde as soluções não apresentam a qualidade mínima desejada. Entre tais técnicas estão os métodos metaheurísticos de computação evolucionária, tais como os algoritmos genéticos.

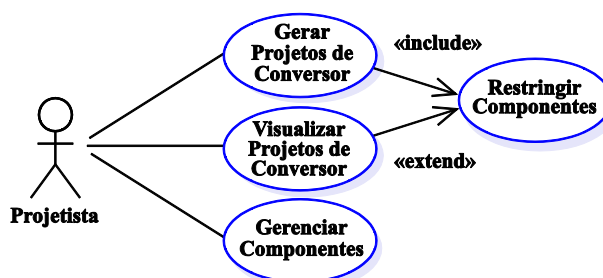
4.3 MODELOS DO SISTEMA

Os diagramas de casos de uso, diagrama de classes e modelo de dados que representam o sistema POCE são descritos logo a seguir.

4.3.1 Diagramas de Casos de Uso do Sistema

A Figura 6 contém o diagrama de casos de uso do sistema POCE. A seguir são apresentados cada um dos casos de uso, conforme notação descrita no apêndice A. Os casos de uso podem ser consultados em suas versões detalhadas no Apêndice B.

Figura 6 — Casos de uso do sistema POCE



O caso de uso Gerar Projetos de Conversor é responsável por gerar diferentes projetos de conversores estático criados a partir da escolha da topologia do conversor (Boost CC/CC, Boost PFC ou Buck CC/CC), dos parâmetros de entrada (Potência de Entrada, Tensão de entrada e saída, temperaturas ambiente e de junção, etc.) e de um conjunto de componentes (diodos, chaves, etc.). Além disso, são selecionados os pontos de operação desejados pelo projetista. Os projetos gerados poderão ser armazenados para consulta posterior. O caso de uso detalhado é apresentado no Apêndice B. Os componentes utilizados neste trabalho podem ser consultados no Apêndice D

O caso de uso Restringir Componentes permite que o projetista selecionar quais componentes deseja que componham os projetos no momento de sua geração ou consulta. O sistema POCE, por exemplo, apresenta ao projetista um conjunto de chaves e permite que ele escolha aquelas que devem ser consideradas para os projetos. Isto acontece para os diodos, materiais magnéticos e perfis de dissipadores.

O caso de uso Visualizar Projetos de Conversor permite que o projetista visualize os projetos de conversores através de gráficos e relatórios. Primeiramente o projetista deve escolher a topologia dos projetos que deseja consultar, posteriormente, ele seleciona os parâmetros básicos, tais como: potência de entrada, tensão de entrada, tensão de saída, frequência da rede (somente para Boost PFC), temperatura ambiente, temperatura de junção, densidade de corrente, etc. Além disso, o projetista pode restringir quais os componentes

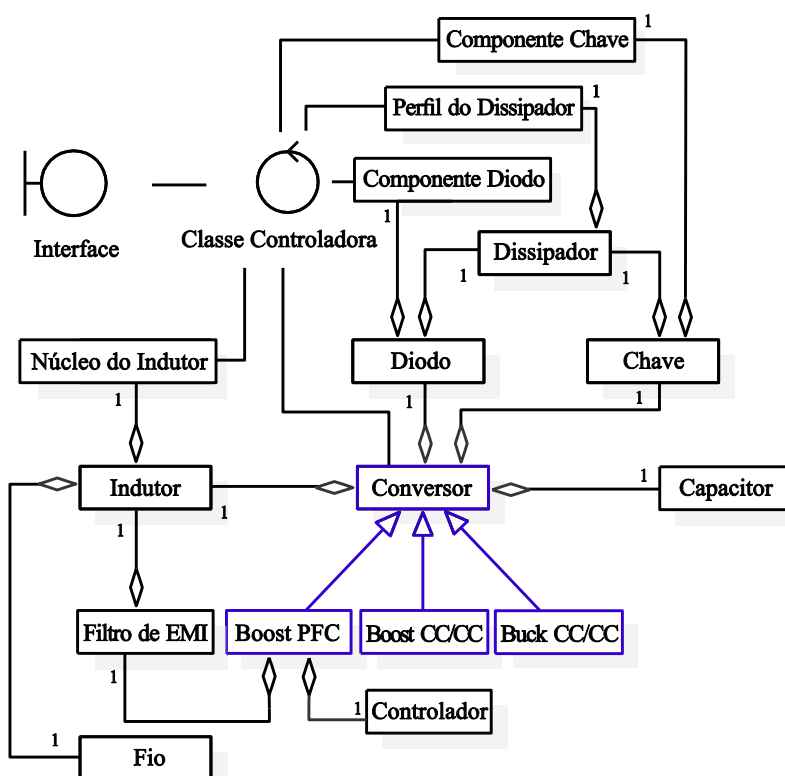
estarão presentes nos projetos. Os projetos podem ser visualizados na forma de gráficos e relatórios.

O caso de uso Gerenciar Componentes permite que o projetista gere as informações armazenadas sobre os componentes disponíveis para geração dos projetos de conversores. É possível incluir novos componentes, visualizar os componentes e excluir componentes, desde que eles não tenham sido utilizados em nenhum dos projetos.

4.3.2 Diagramas de Classes

O modelo de classes do Sistema POCE é apresentado na Figura 7, onde os métodos e os atributos foram suprimidos para facilitar a leitura do diagrama. Os atributos de cada uma das classes podem ser consultados em seus detalhes no Apêndice B. As associações entre as classes são do tipo agregação, indicada pela figura de um diamante, já que um conversor é composto de elementos (diodo, chave, etc.), podendo estes, por sua vez, serem compostos de outros elementos. Assim, podemos ler o diagrama da seguinte forma, por exemplo, um conversor é composto de um indutor, um diodo, por sua vez, é composto de um núcleo e de um fio.

Figura 7 — Modelo de classes do sistema POCE

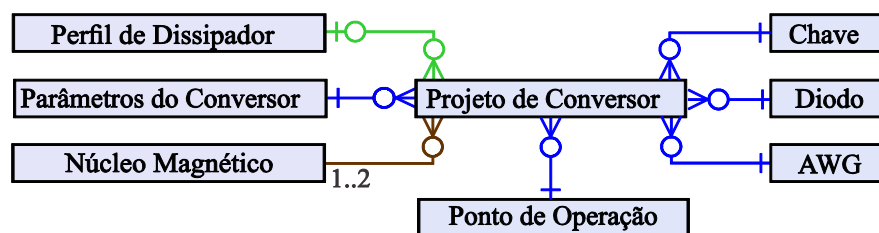


As classes que compõem o sistema são: Conversor que generaliza (indicado na cor azul) as classes Boost PFC, Boost CC/CC e Buck CC/CC. Desta forma todos os elementos da classe Conversor são herdados pelas classes Boost PFC, Boost CC/CC e Buck CC/CC. A classe Conversor é uma agregação das classes Indutor, Diodo, Chave, Capacitor e Dissipador. A classe Boost PFC, além daquilo que herda da classe Conversor, também agrega as classes Controlador e Filtro de EMI. A classe Indutor agrega a classe Núcleo de Indutor. A classe Filtro de EMI agrega a classe Indutor, que por sua vez, agrega a classe Núcleo de Indutor. A classe Indutor agrega a classe Fio. As classes são apresentadas em toda a sua extensão no Apêndice B e Apêndice E. O Apêndice E ainda contém as classes auxiliares utilizadas para implementação do sistema, tais como classes do algoritmo genético, classes do mapeamento pelo ORMLite, classes de interface de entrada (formulários e telas) e saída de dados (relatórios e gráficos), classes com métodos para manipulação de conjuntos de dados (listas e vetores), classes com métodos para realizar operações matemáticas elaboradas (transformada de Fourier, ajuste de curvas), classe com operações de banco de dados.

4.3.3 Modelo do Banco de Dados

O modelo do banco de dados da Figura 8 é constituído das entidades: Chave, Dissipador, Projeto de Conversor, Diodo, Núcleo Magnético e AWG.

Figura 8 — Modelo do banco de dados do sistema POCE



Realizando-se a leitura da Figura 8, é possível concluir que um determinado Projeto de Conversor pode conter nenhum ou um Perfil Dissipador e um determinado Dissipador pode estar relacionado com nenhum ou vários Projetos de Conversores e, ainda, que um determinado Projeto de Conversor contém um Diodo e determinado Diodo se relaciona com nenhum ou vários Conversores. Chave e AWG possuem relacionamentos com Projetos de Conversores da mesma forma que o Diodo. Já entidade Núcleo Magnético se relaciona com nenhum ou vários Projetos de Conversores, e um Projeto de conversor pode se relacionar com

no mínimo 1 e no máximo 2 Núcleos Magnéticos. No caso do Boost PFC, o projeto de conversor possui o núcleo magnético do indutor e, também, o núcleo magnético do indutor do filtro.

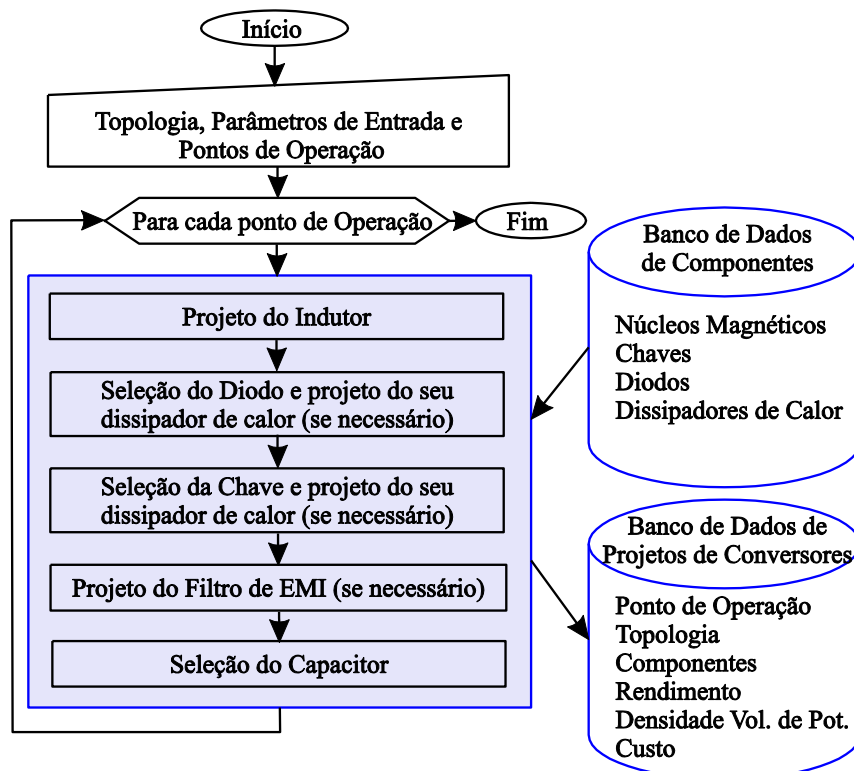
A Figura 8 contém as entidades (tabelas) e os relacionamentos do modelo de dados do presente trabalho. Para facilitar a leitura e apresentação do diagrama da Figura 8, os atributos são elucidados em seus detalhes no Apêndice B. Apêndice A contém a descrição da linguagem para leitura do diagrama da Figura 8. O Apêndice C contém o código SQL de criação das tabelas do banco de dados do Sistema POCE.

4.4 O SISTEMA POCE

Conforme mencionado anteriormente, o algoritmo do sistema POCE executa a concepção global de um conversor em função do ponto de operação, conforme observado na

Figura 9, onde: as topologias são Boost PFC, Boost CC/CC e Buck CC/CC; os parâmetros de entrada são potência de entrada, tensões de entrada e saída, densidade de corrente, temperaturas ambiente e de junção; e os pontos de operação são os pares ($\Delta i @ f_s$).

Figura 9 — Etapas do projeto de conversores estáticos realizado no POCE.



O algoritmo da Figura 9 percorre todo espaço de busca e apresenta como resposta três projetos de conversores: o de maior rendimento (menores perdas), o de maior densidade de potência (menor volume) e outro com rendimento e densidade volumétrica de potência ponderados. Além disso, todos os projetos construídos estão disponíveis ao projetista através de gráficos e relatórios, sendo armazenados em um banco de dados. Para melhor compreensão do problema aqui explorado, algumas considerações sobre o POCE serão efetuadas nos próximos tópicos.

4.4.1 Objetivos Intrínsecos do Sistema POCE

A seguir são apresentados os objetivos intrínsecos do sistema POCE, os quais estão embasados em Sartori, Hey e Pinheiro (2009), Sartori, Beltrame e Pinheiro (2011), Sartori (2013), Sartori et al. (2013a), Sartori et al (2013b), Sartori et al. (2015), conforme detalhado no capítulo 2.

4.4.1.1 Rendimento (%)

O rendimento é obtido através do cálculo das perdas do conversor (P_{Conv}), as quais são provenientes do indutor, dos semicondutores, do filtro de EMI e também dos capacitores. As perdas são expressas em *Watt* (W) pela equação (2).

$$P_{Conv} = P_I + P_D + P_{Ch} + P_{Cap} + P_{EMIF} \quad (2)$$

- Perdas do Indutor (P_I) é a soma das perdas no cobre e no núcleo do indutor.
- Perdas do Diodo (P_D) é a soma das perdas de condução e comutação do diodo.
- Perdas da Chave (P_{Ch}) é a soma das perdas de condução e comutação da chave.
- Perda do Capacitor (P_{Cap}) são as perdas do capacitor.
- Perdas do Filtro de EMI (P_{EMIF}) é a soma das perdas do indutor e dos capacitores do filtro de EMI.

O rendimento (η_{Conv}) é expresso em percentual (%) e é apresentado em (3):

$$\eta_{Conv} = \frac{\text{Potência de Entrada} - P_{Conversor}}{\text{Potência de Entrada}} \quad (3)$$

4.4.1.2 Densidade Volumétrica de Potência (W/cm^3):

A densidade volumétrica de potência é obtida a partir do cálculo do volume do conversor (V_{Conv}), cujo valor é somatório do volume do núcleo do indutor, dos dissipadores de calor do diodo e da chave (transistor), do capacitor e do filtro de EMI, conforme a equação (4).

$$V_{Conv} = V_I + V_D + V_{Ch} + V_{Cap} + V_{EMIF} \quad (4)$$

- Volume do Indutor (V_I) é o volume do núcleo do indutor.
- Volume do Diodo (V_D) é o volume do dissipador do diodo.
- Volume da Chave (V_{Ch}) é o volume do dissipador da chave.
- Volume do Capacitor (V_{Cap}) é o volume do capacitor.
- Volume do Filtro de EMI (V_{EMIF}) é a soma do volume do indutor e dos capacitores do filtro.

A densidade volumétrica de potência (ρ_{Conv}) é expressa em Watt por centímetro cúbico (kW/cm^3) e é apresentada em (5):

$$\rho_{Conv} = \frac{\text{Potência de Entrada}}{V_{Conv}} \quad (5)$$

4.4.1.3 Ponderação entre Rendimento e Densidade Volumétrica de Potência:

A solução ponderada é uma alternativa às anteriores quando o projetista trabalha em um domínio onde não é fundamental obter o conversor mais eficiente (menores perdas) ou de maior densidade volumétrica de potência (menor volume). Nestes casos, o domínio do problema permite que seja adotada outra solução com um rendimento próximo ao ótimo, porém de maior densidade volumétrica de potência; ou uma solução próxima a de maior densidade volumétrica de potência, porém de rendimento pouco menor. Método semelhante é proposto em Beltrame e Pinheiro (2011). A solução ponderada é calculada através de uma função objetivo que agrega densidade volumétrica de potência e rendimento, conforme os passos a seguir:

- **Passo 1** - Para um conjunto de projetos de conversores que solucionam um determinado problema, obtém-se os valores de menor rendimento ($\eta_{Conv Min}$), maior rendimento ($\eta_{Conv Max}$), menor densidade volumétrica de potência ($\rho_{Conv Min}$) e maior densidade volumétrica de potência ($\rho_{Conv Max}$).

- **Passo 2** - Para cada projeto de conversor, com rendimento η_{Conv1} e densidade volumétrica de potência ρ_{Conv1} , são calculados η_{Conv2} e ρ_{Conv2} , através das equações (6) e (7):

$$\eta_{Conv2} = \frac{(\eta_{Conv1} - \eta_{ConvMin})}{(\eta_{ConvMax} - \eta_{ConvMin})} \quad (6)$$

$$\rho_{Conv2} = \frac{(\rho_{Conv1} - \rho_{ConvMin})}{(\rho_{ConvMax} - \rho_{ConvMin})} \quad (7)$$

- **Passo 3** - A partir dos valores calculados no Passo 2, obtém-se o valor ponderado (δ_{Conv}), pela equação (8), onde $W_{\eta_{Conv}}$ é o peso do objetivo rendimento e $W_{\rho_{Conv}}$ é o peso do objetivo densidade volumétrica de potência:

$$\delta_{Conv} = \eta_{Conv2} \cdot W_{\eta_{Conv}} + \rho_{Conv2} \cdot W_{\rho_{Conv}} \quad (8)$$

- **Passo 4** - A solução ponderada é aquela que encontrar o maior valor para δ_{Conv} .

4.4.2 Compromissos de Projetos

Além dos objetivos intrínsecos, o sistema POCE também apresenta valores relativos ao custo do conversor. O custo, aqui detalhado, contempla apenas os valores relacionados com os valores da aquisição dos componentes considerados no projeto, excluindo os custos envolvidos com questões operacionais, financeiras, de fabricação e outras, e foi pesquisado junto aos fornecedores em 2016.

4.4.2.1 Custo Relativo (kW/\$)

O custo relativo do conversor é calculado a partir do custo dos componentes do conversor (C_{Conv}), que é expresso em dólar americano (US\$) e consiste na soma dos custos do núcleo e cobre do indutor, do capacitor, do filtro de EMI, do diodo, da chave e seus respectivos dissipadores de calor, como na equação (9).

$$C_{Conv} = C_I + C_D + C_{Ch} + C_{Cap} + C_{EMIF} \quad (9)$$

- Custo do Indutor (C_I) é o custo do volume do cobre acrescido ao custo do núcleo magnético presentes no indutor.
- Custo do Diodo (C_D) é o custo do diodo adicionado ao custo do seu respectivo dissipador de calor.
- Custo da Chave (C_{ch}) é o custo da chave acrescido do custo do seu respectivo dissipador de calor;
- Custo do Capacitor (C_{Cap}) é o custo do capacitor;
- Custo do Filtro de EMI (C_{EMIF}) é o custo do indutor acrescido do custo de cada um dos capacitores que compõem o filtro de EMI.

O custo relativo do conversor (χ_{Conv}) é expresso em quilowatt por Dólar Americano (kW/US\$) e é apresentado em (10):

$$\chi_{Conv} = \frac{\text{Potência de Entrada}}{C_{Conv}} \quad (10)$$

4.4.3 Desempenho do Sistema POCE

O espaço de busca explorado pelo sistema POCE é formado pelas possíveis combinações entre diferentes pontos de operação, materiais magnéticos, diodos, chaves e perfis de dissipadores de calor. O número de combinações, conforme mencionado anteriormente, é referenciado aqui pelo termo “instância do problema”. Por exemplo, ao projetar um conversor, caso o projetista explore um conjunto de quatrocentos (400) pontos de operação e, além disso, tenha disponível para uso: três (3) tipos de materiais para núcleos magnéticos do indutor, cinco (5) diodos, dez (10) chaves, três (3) tipos de materiais para núcleos magnéticos do indutor do filtro de EMI e dois (2) perfis de dissipador; o número de possíveis projetos (ou combinações) seria de trezentos e sessenta mil (360.000), isto é, a instância deste problema seria de trezentos e sessenta mil (360.000). Caso acrescentássemos ao banco de dados apenas mais um diodo, por exemplo, a instância do problema (o número de possíveis projetos) passaria a quatrocentos e trinta e dois mil (432.000). O tempo de computação para percorrer o espaço aumentaria proporcionalmente. Testes de execução realizados para o sistema POCE (quando executado em um processador Intel® Core™ i7-4510U CPU @2.00GHz 2.60 GHz, 8GB RAM e Sistema Operacional Windows 10

Professional 64-bit) indicam que tempo de computação para projetos de conversores da topologia Boost PFC (Power Factor Correction), é em média de oitenta e seis milésimos de segundo (0,086'). Para executar trezentos e sessenta mil (360.000) projetos, o POCE levaria oito horas e trinta e seis minutos (8h36'). Já para executar quatrocentos e trinta e dois mil (432.000) projetos, o POCE levaria o tempo de dez horas, dezenove minutos e doze segundos (10h19'12"). Significa que, ao se acrescentar apenas um componente ao banco de dados, o tempo de computação aumenta em vinte por cento (20%). Desta forma, conclui-se que bancos de dados com um número expressivo de componentes resultarão em um tempo de computação proibitivamente grande. Assim, torna-se clara a necessidade de aplicação de métodos de busca que evitam percorrer todo o espaço de solução, tais como, algoritmos genéticos.

4.5 CONCLUSÃO

O presente capítulo descreveu as etapas que já foram cumpridas para o desenvolvimento do sistema, apresentou os principais modelos construídos, e apresentou o fluxograma geral do sistema POCE. O sistema foi projetado e implementado com o auxílio das ferramentas descritas no capítulo 3 e encontra-se em versão beta, pois ainda está em desenvolvimento e sob testes. Atualmente o sistema está sendo disponibilizado para que os usuários possam testar e, eventualmente, reportar erros ou falhas para o desenvolvedor. As informações obtidas devem permitir a correção de erros/falhas, bem como os acréscimos/supressões de funcionalidades do sistema. Entre as principais verificações realizadas estão aquelas que indicam a necessidade de utilização de uma técnica para restringir o espaço de busca, evitando locais onde as soluções não apresentam a qualidade mínima desejada. Entre tais técnicas estão os métodos metaheurísticos de computação evolucionária, tais como os algoritmos genéticos, que serão detalhados no capítulo 5.

5 PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO, ALGORITMOS METAHEURÍSTICOS E ALGORITMOS GENÉTICOS

5.1 INTRODUÇÃO

Após a caracterização do problema de projetar conversores, realizada no capítulo anterior, foi possível observar que determinadas características desse tipo de problema permitem que o mesmo seja abordado sob estratégias alternativas de solução, que não as convencionais, que buscam exaustivamente por respostas e podem, em determinados casos, conduzir a tempos proibitivos de execução.

No caso específico de projetar conversores, conforme definido aqui, observou-se dois aspectos. O primeiro diz respeito a quantidade de componentes e tecnologias que poderão ser usadas nos projetos dos conversores. Testar todos os componentes e tecnologias disponíveis no banco de dados pode ser extremamente custoso, com respeito ao tempo de execução. O segundo aspecto diz respeito ao tempo gasto para realizar um único projeto, como no caso específico da topologia Boost PFC, que apresenta variação da corrente no indutor em $i_l = I_{pico} \cdot \sin(\omega t)$, (IEC 61000-3-2), resultando em maior tempo de processamento. Além disso, necessita de filtro de EMI para atender normas (CISPR-22) aumentando o número de componentes e, por consequência, o seu algoritmo de projeto tem maior número de iterações.

Para lidar com tais aspectos e também evitar pesquisas em locais do espaço de soluções de qualidade inferior, este capítulo trata da solução de problemas de otimização através de algoritmos metaheurísticos, como os algoritmos genéticos e suas variações.

5.2 PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO E ALGORITMOS METAHEURÍSTICOS

Problemas de otimização caracterizam-se por pesquisar a melhor forma de usar (ou alocar) os recursos disponíveis sem violar possíveis restrições. O problema de projetar conversores constitui-se em um problema de otimização, com restrições e recursos específicos. Os recursos podem ser caracterizados através do vasto conjunto de componentes e tecnologias fornecidos pela indústria de semicondutores, materiais magnéticos e outros. É possível adicionar ao conjunto de recursos as inúmeras e diferentes topologias que podem ser empregadas para melhor organizar tais componentes. Como restrições, tem-se as caracterizações da energia oriunda de fonte e aquela necessária na carga, bem como normas,

limites tecnológicos, eficiência, volume e custos, todos inerentes à aplicação a qual o conversor se destina.

Problemas de otimização podem ser resolvidos por métodos clássicos, tais como Newton-Raphson (NR), o método de otimização estocástico de Newton, entre outros. Porém, estes métodos não são adequados para problemas complexos, sendo os métodos metaheurísticos (algoritmos genéticos, redes neurais, colônia de formigas, etc.) mais apropriados e desenvolvidos para este fim (DE LÉON-ALDACO; CALLEJA e ALQUICIRA, 2015). O termo metaheurístico foi cunhado por Glover (1986) e se aplica a algoritmos que visam encontrar uma solução suficientemente boa em um tempo de computação que é suficientemente pequeno, ou seja, há uma busca pelo equilíbrio entre tempo de computação e qualidade da solução (SORENSEN e GLOVER, 2013).

É importante lembrar que ao projetar conversores buscando-se maior rendimento (menores perdas), penaliza-se a densidade volumétrica de potência e, do mesmo modo, buscando-se o conversor de maior densidade volumétrica de potência (menor volume), penaliza-se o rendimento. Desta forma, otimizar o rendimento e a densidade volumétrica de potência, torna-se um problema complexo, pois, além de tratar-se de um problema multiobjetivo, envolve objetivos contraditórios. Tal característica é um ponto indicativo da necessidade de utilização de métodos metaheurísticos para se encontrar uma solução, ou mesmo diferentes soluções, para este tipo de problema.

A solução de problemas multiobjetivos se dá ao encontrar um vetor de variáveis de decisão que satisfaça as restrições e otimize uma função vetorial cujos elementos representam as funções multiobjetivos. Tais funções são uma descrição matemática dos critérios de desempenho que geralmente estão em conflito uns com os outros. Desta forma, otimizar significa encontrar uma determinada solução que forneça valores a todas as funções objetivos e, além disso, sejam aceitáveis para o projetista, (COELHO, 2000).

Conforme o descrito em Coelho (2000) e Meza (2014), entre as opções desenvolvidas para resolução de problemas multiobjetivos estão duas estratégias: o estabelecimento de uma função que agrega todos os objetivos; e a geração de diferentes soluções para posterior seleção. A função que agrega os múltiplos objetivos é uma forma tradicional de resolver o problema, a qual faz uso de um vetor de pesos para indicar a importância de cada um dos objetivos. É responsabilidade do projetista definir os pesos. Tal método é computacionalmente eficiente, porém existe a dificuldade de determinação dos pesos adequados para os diferentes objetivos, conforme Coelho (2000). De acordo com Meza (2014), devido a impossibilidade de se obter a melhor solução que contemple todos os

objetivos, várias soluções podem ser apresentadas, permitindo-se a posterior escolha da mais adequada. Soluções Pareto ótimas são, geralmente, um conjunto de soluções chamadas soluções não-inferiores ou não-dominadas. Diz-se que uma solução é Pareto ótima se, quando comparada às demais, é melhor em um ou mais objetivos. A fronteira de Pareto é a imagem das soluções não-dominadas no espaço dos objetivos. O conceito de soluções Pareto ótimas foi formulado por Vilfredo Pareto no século XIX, constituindo-se na origem das pesquisas de otimização multiobjetivo, (COELHO, 2000). Os AGs são métodos metaheurísticos que podem ser utilizados para encontrar soluções englobando ambas as estratégias, pois trabalham com populações de indivíduos, as quais contêm diferentes soluções para um problema. E, também, fazem uso de uma função objetivo, a qual indica o quão bem cada indivíduo soluciona o problema.

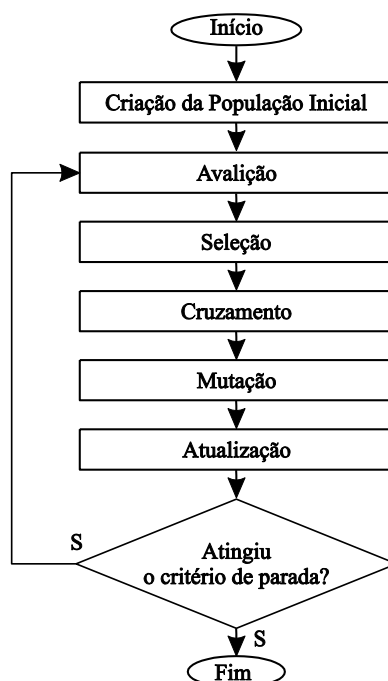
Ainda, os métodos metaheurísticos referem-se a uma de forma genérica para resolver problemas de otimização (normalmente da área de otimização combinatória), buscando um equilíbrio entre o tempo de computação e a qualidade da solução. Os algoritmos genéticos, conforme Lefranc, Jannot e Dessante (2012), são apropriados para resolverem problemas com as seguintes características: são complexos; envolvem variáveis mistas (discretas e contínuas); possuem funções objetivo não lineares; buscam um ótimo global. Tais características são as mesmas encontradas nos problemas que envolvem projetos de conversores estáticos.

5.3 ALGORITMOS GENÉTICOS

Entre os métodos metaheurísticos figuram aqueles são baseados na seleção natural, como os algoritmos evolucionários (HOLLAND, 1975; GOLDBERG, 1989; MITCHELL 1997). Os algoritmos genéticos (AGs) são algoritmos evolucionários e foram inventados por Holland no princípio dos anos 1970, baseados no princípio da seleção natural, proposto por Darwin em 1858, (HOLLAND, 1975; GOLDBERG, 1989; MITCHELL 1997).

Os AGs atuam sobre uma população de indivíduos (cromossomos). Os indivíduos são compostos por genes. Cada gene corresponde a uma variável a ser otimizada. Cada indivíduo é avaliado por uma função objetivo que diz o quão apto o indivíduo é em relação à população. Os passos da Figura 10 descrevem a sequência de execução de um algoritmo genético, (HOLLAND, 1975; GOLDBERG, 1989; MITCHELL 1997):

Figura 10 — Passos de um algoritmo genético.



5.3.1 Criação da População Inicial

O primeiro passo de um AG é a criação da população inicial, composta de soluções factíveis para o problema em questão, chamadas de cromossomos (ou indivíduos). A constituição (definição do alfabeto dos genes) de um cromossomo está intimamente relacionada como problema a ser resolvido e interfere diretamente no desempenho do algoritmo. As soluções (cromossomos ou indivíduos) podem ser geradas pelo sorteio randômico e aleatório dos genes que as compõem, ou ainda ser iniciada priorizando-se a presença de genes que compõem soluções mais aptas, dependendo do conhecimento disponível sobre o problema. Tal priorização pode ser realizada por sorteio através do método da roleta ou por torneio, por exemplo, (GOLDBERG, 1989; MITCHELL 1997). Esses métodos são utilizados para seleção de indivíduos e são descritos no item 3.3.3, mas podem ser adaptados para seleção dos genes.

A Figura 11 exemplifica um cromossomo e apresenta a codificação adotada neste trabalho, onde:

- f_s (kHz) é a frequência de comutação e Δi (%) é a ondulação da corrente de pico a pico no indutor, ambos compõem o ponto de operação do conversor e são valores numéricos pertencentes a domínios que o projetista deseja explorar.

- MMI e MMF representam os materiais magnéticos do indutor e do Filtro de EMI, respectivamente. Neste trabalho foram adotados três possíveis materiais (MAGNETICS, 2015): Kool M μ (Sendust), High Flux (HF) e Molypermalloy (MPP).

- D é o diodo, Ch é a chave e PD é o perfil do dissipador, os quais pertencem a um conjunto de componentes disponibilizado em uma base de dados. O diodo e a chave são representados por seus respectivos *part numbers*, conforme disponibilizados pelos fabricantes. O perfil do dissipador é representado por seu respectivo número.

Figura 11 — Estrutura (a) e exemplo (b) do cromossomo utilizado pelo AG para projetos de conversores

(a)	f_s	Δi	MMF	D	Ch	PD	MMI
(b)	32	40	MPP	15EIH06	IRF840A	7624	HF

5.3.2 Avaliação

A função objetivo é aplicada aos indivíduos, informando o quão bem cada indivíduo soluciona o problema. Este valor resulta no grau de aptidão do indivíduo, que representa o grau de adaptação deste indivíduo em relação a população, conforme indicado pela equação (11), onde, f_o é a função objetivo e n é o tamanho da população. Os valores de aptidão criam um ranking que vai desde os indivíduos mais aptos até os menos aptos. Também é possível, neste estágio, avaliar a média de adaptação da população, dada pela equação (12), que possibilita observar o seu grau de convergência. O grau de convergência é uma variável que diz o quão próximo a média de adaptação da população atual está em relação às populações anteriores. Uma baixa diversidade dos indivíduos conduz a uma estagnação na média de adaptação.

$$f_A(x) = \frac{f_o(x)}{\sum_{i=1}^n f_o(i)} \quad (11)$$

$$M_A = \frac{\sum_{i=1}^n f_o(i)}{n} \quad (12)$$

A função objetivo, no caso do problema de projetar conversores poderá considerar a maximização da densidade volumétrica de potência, ou a maximização do rendimento, ou, ainda, uma agregação destes dois.

5.3.3 Seleção

O grau de aptidão de cada indivíduo é utilizado para realização da seleção de quais indivíduos irão se reproduzir. Os mais aptos tendem a perpetuar boas características da espécie. Existem vários métodos de seleção, tais como o giro da roleta (Figura 12), seleção por torneio (Figura 13), etc., cujos passos são descritos abaixo, conforme Mitchell (1997):

Figura 12 — Algoritmo da Roleta

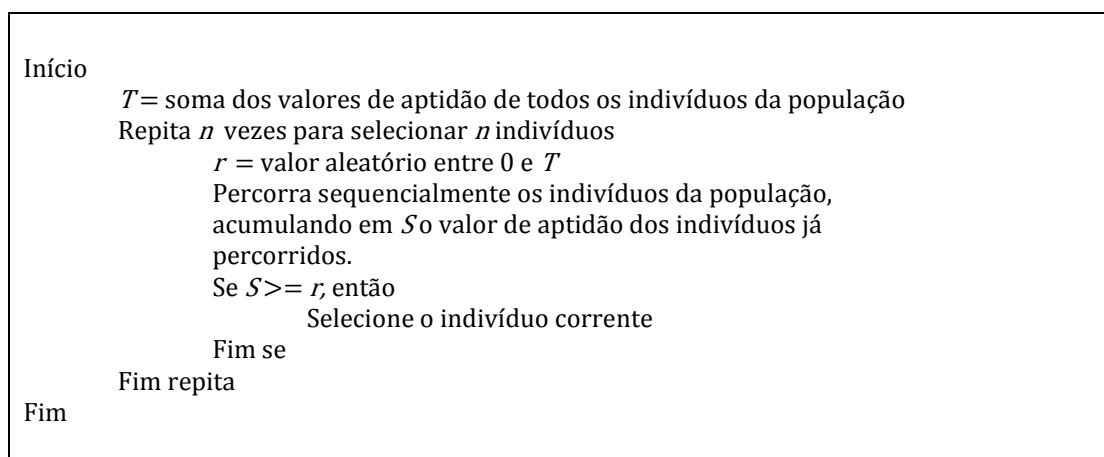
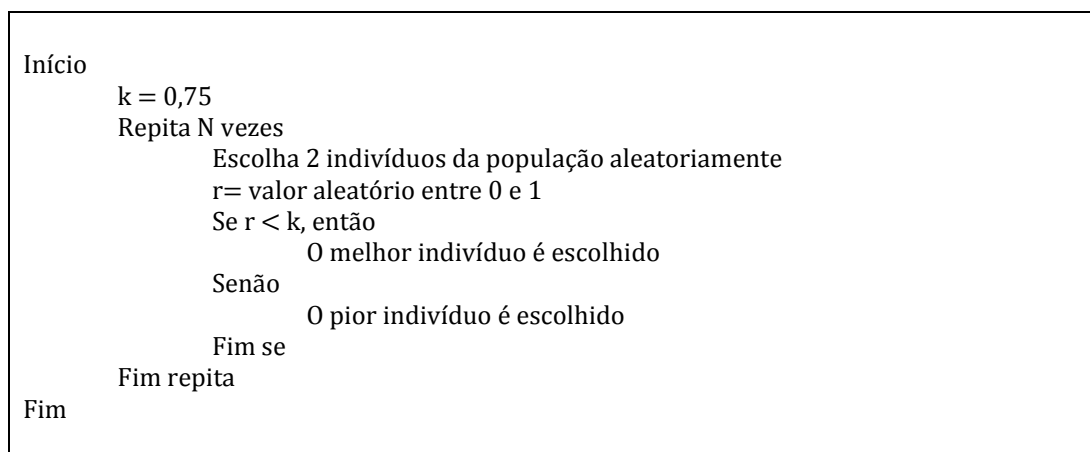


Figura 13 — Algoritmo de seleção por torneio



5.3.4 Cruzamento

Cruzamento é um operador genético que resulta na criação de descendentes pela combinação de características dos progenitores. Os indivíduos selecionados no passo anterior (3.3.3) trocam genes, gerando novos indivíduos. Um gene, vários genes ou mesmo segmentos de genes podem ser trocados entre os indivíduos. O cruzamento pode ser obtido através de um

algoritmo de cruzamento que utiliza uma máscara, cujos elementos são valores binários, de comprimento igual ao dos cromossomos que serão combinados. Um algoritmo de cruzamento é apresentado a seguir. A Figura 15 contém um exemplo de máscara de cruzamento e aplicação do algoritmo.

Figura 14 — Algoritmo de Cruzamento

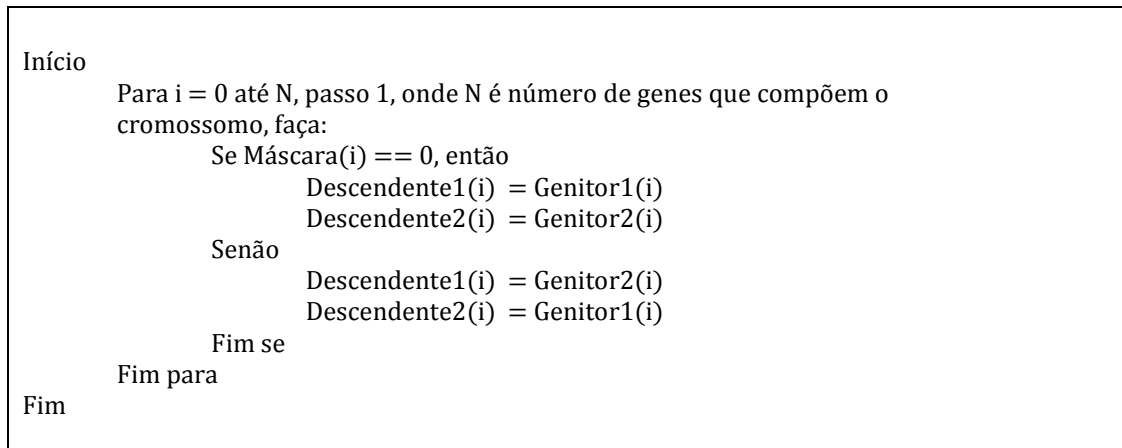


Figura 15 — Máscara de cruzamento e exemplo de utilização do algoritmo de cruzamento

Máscara	0	1	0	1	0	1	0
Progenitor 1	32	40	MPP	15ETH06	IRF840A	7624	HF
Progenitor 2	70	20	MPP	CDS06060	SPP17N80C3	7624	Kool Mμ
Descendente 1	32	20	MPP	CDS06060	IRF840A	7624	HF
Descendente 2	70	40	MPP	15ETH06	SPP17N80C3	7624	Kool Mμ

5.3.5 Mutação

A mutação ocorre sobre os indivíduos resultantes do cruzamento (descendentes) e, baseado em uma probabilidade, algum tipo de alteração é efetuada. São alterações possíveis: um gene específico é alterado para um valor sorteado entre aqueles do seu conjunto de domínio, são sorteados pares de genes que trocam valores entre si, um valor aleatório é somado ou subtraído de um determinado gene. A mutação evita problemas com mínimos

locais, por garantir diversidade da população. Isso acontece porque qualquer gene, que tenha sido excluído da população, por exemplo, pode ser reinserido pela mutação.

5.3.6 Atualização

Neste passo ocorre a inserção dos indivíduos descendentes na população segundo uma política. Tal política pode considerar o grau de aptidão do indivíduo em relação a população. Para cada novo indivíduo inserido na população, um indivíduo de aptidão inferior é retirado. Diz-se que há elitismo se os melhores indivíduos, entre os genitores e descendentes, são passados à geração futura. Em algoritmo genético simples, por exemplo, os genitores podem ser substituídos pelos descendentes.

5.3.7 Critério de Parada

A finalização do processo de evolução é realizada com base em algum critério, que pode ser o número de gerações ou o grau de convergência. Enquanto o critério de parada não é atingido, retorna-se ao passo de avaliação (3.3.2).

5.4 ALGORITMO GENÉTICO DE CLASSIFICAÇÃO NÃO-DOMINADA (NSGA-II)

O NSGA II é oriundo de aprimoramentos realizados sobre o NSGA, ambos algoritmos foram criados por Deb et al. (2002) para resolver problemas multiobjetivos, utilizando-se técnicas de otimização multiobjetivos. Antes da descrição dos passos deste algoritmo, a descrição de alguns conceitos e rotinas pertinentes ao NSGA II, conforme [26], é realizada.

5.4.1 Conceito de Dominância

Diz-se que uma solução (indivíduo) u domina v , se u é melhor ou igual a v em todos os objetivos do problema e existe pelo menos um objetivo em que u é estritamente melhor que v . As soluções da fronteira de Pareto são ditas não-dominadas. Dados dois projetos de conversores distintos, porém de mesmo rendimento, por exemplo, aquele que possuir maior densidade volumétrica de potência será considerado não-dominado. A Figura 16 mostra a relação de dominância entre diferentes soluções, considerando-se um espaço de dois objetivos (η e ρ) a serem maximizados.

O algoritmo de dominância, adaptado de Deb et al. (2002), é apresentado na Figura 17, onde u e v são dois projetos de conversores para um mesmo problema. Considerou-se o problema de projetar conversores sob os objetivos de maximizar o rendimento e a densidade volumétrica de potência.

Figura 16 — Relação de dominância no espaço de soluções, considerando-se dois objetivos (η e ρ)

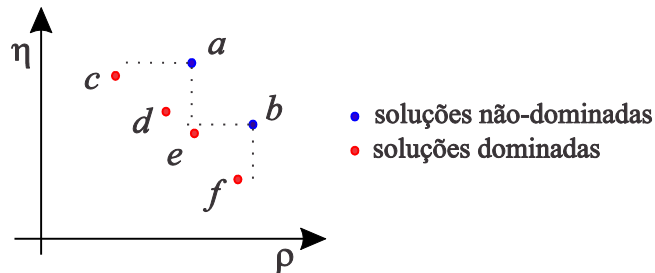
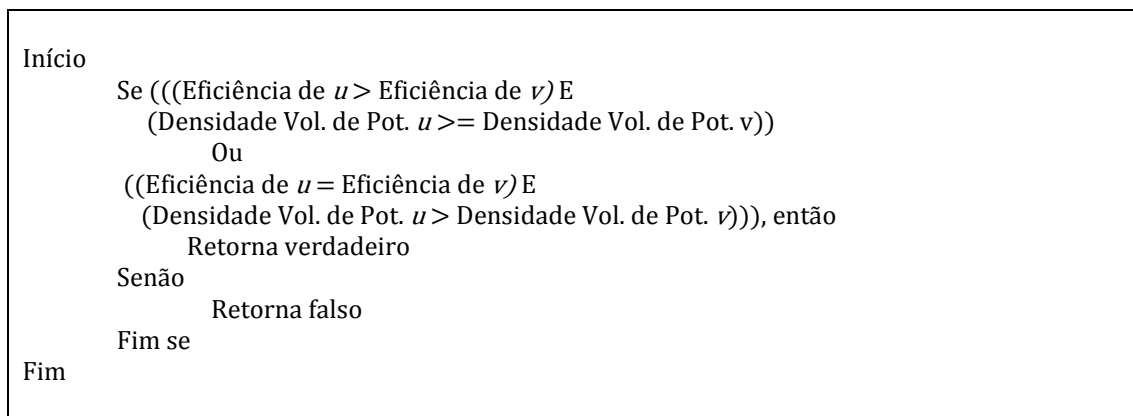


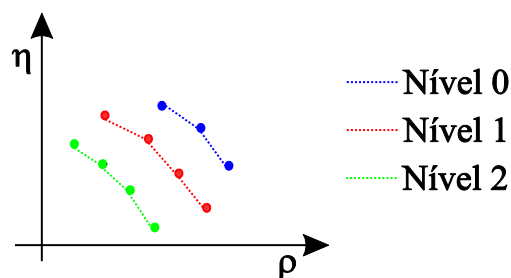
Figura 17 — Algoritmo de definição de dominância - retorna verdadeiro caso solução u domina a solução v



5.4.2 Ordenação Não-dominada

Um procedimento utilizado pelo NSGA II é a classificação dos indivíduos da população em níveis de não-dominância, indicando-se, desta forma, o grau de dominância entre eles. Os indivíduos que representam soluções não-dominadas pertencem ao nível 0. Os indivíduos pertencentes ao nível 1 são dominados apenas pelos indivíduos que pertencem ao nível 0. Os indivíduos pertencentes ao nível 2 são dominados apenas pelos indivíduos que pertencem aos níveis 0 e 1, e assim em diante. A Figura 18 apresenta soluções classificadas em níveis de dominância considerando-se um espaço de soluções, considerando-se dois objetivos (η e ρ)

Figura 18 — Soluções classificadas em níveis de não-dominância



Os indivíduos são organizados em níveis pelo procedimento de ordenação não-dominada (do inglês *Non-Dominated Sort*, Deb et al. (2002)) e recebem como valor de ranking o valor do nível a qual pertencem. Indivíduos de menores rankings são considerados mais aptos. Considerando-se as funções objetivos maximizar a eficiência e a densidade volumétrica de potência, o indivíduo de maior densidade volumétrica de potência, cujo rendimento não é menor que a maior observada na população, por exemplo, fará parte do nível 0 e, conseqüentemente, terá valor de ranking igual a 0. O algoritmo da ordenação não-dominada é apresentado na Figura 19, onde:

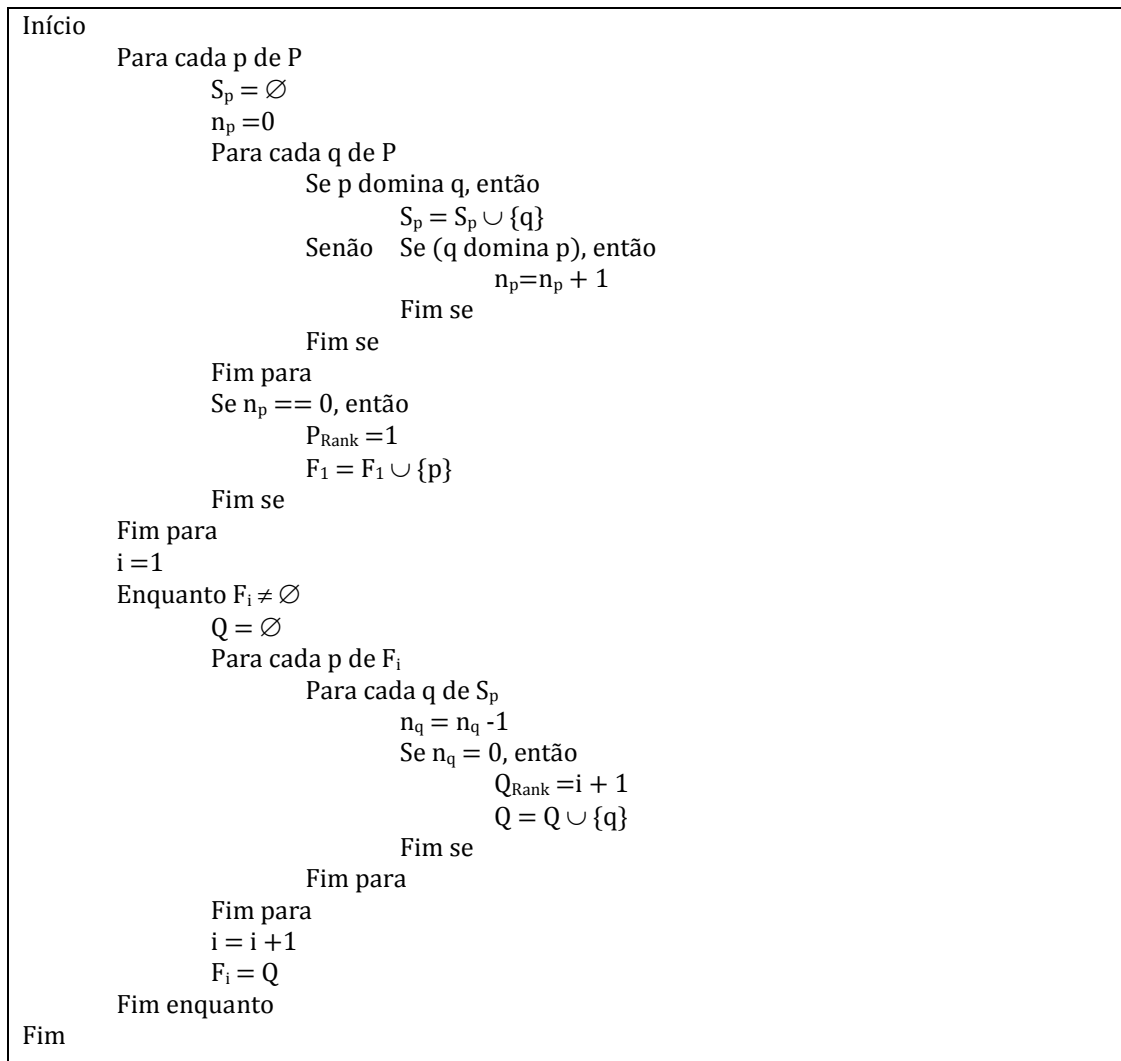
- P e Q – conjunto de indivíduos que solucionam um determinado problema;
- p e q – são indivíduos de uma mesma população P;
- S_p – é o conjunto de soluções que dominam a solução p;
- n_p – é o número de soluções que dominam a solução p;
- p_{Rank} e q_{Rank} – níveis aos quais as soluções p e q pertencem, respectivamente;
- F_i – conjunto de soluções de nível i;

5.4.3 Distância de Aglomeração

Um outro procedimento adotado pelo NSGA II é o cálculo da distância de aglomeração (do inglês *crowding distance*, Deb et al. (2002)) entre as soluções de um mesmo nível. Quanto maior a distância de aglomeração dentro de um mesmo nível, mais apto o indivíduo é considerado. Este procedimento é utilizado para garantir a diversidade da população e é realizado para todas as funções objetivos, conforme Deb et al. (2002). Um maior espalhamento das soluções indica um maior grau de diversidade.

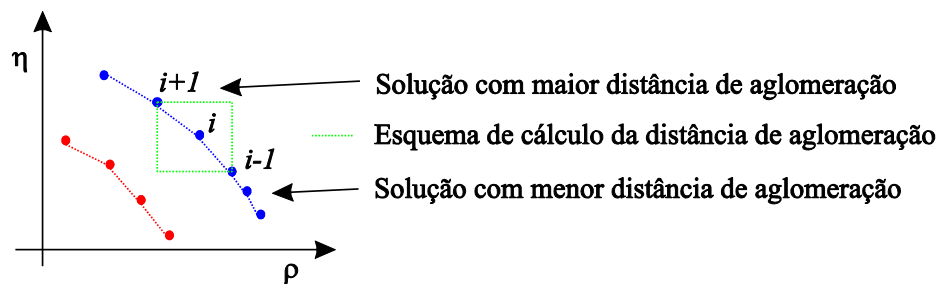
O algoritmo de cálculo da distância de aglomeração encontra a distância média entre um ponto (i) e os seus vizinhos ($i-1$ e $i+1$), os quais formam um cubo em relação ao primeiro, como apresentado no Figura 20.

Figura 19 — Algoritmo da ordenação não-dominada



Fonte: Deb et al. (2002)

Figura 20 — Distância de aglomeração no espaço de soluções, considerando-se dois objetivos (η e ρ)



A Figura 21 contém o algoritmo de cálculo da distância de aglomeração adaptado para o problema de projetar conversores.

Figura 21 — Algoritmo de cálculo da distância de aglomeração

```

Início
l = tamanho X
Para cada i, faça
    X[i]Distância = 0
Fim para
X = ordena X ascendentemente considerando o rendimento
X[1]Distância = ∞
X[l]Distância = ∞
DifRendMimMax = (Maior rendimento do conjunto X -
                Menor rendimento do conjunto X)
Para i = 2 até l-1 faça
    RendAnt = Rendimento da solução da posição i - 1
    RendPos = Rendimento da solução da posição i + 1
    X [i]Distância = X[i]distância + (RendPos - RendAnt) / DifMimMax
Fim para
X = ordena X ascendentemente considerando a densidade volumétrica de potência
X[1]Distância = ∞
X[l]Distância = ∞
DifDensMimMax = (Maior densidade volumétrica de potência do conjunto X -
                Menor densidade volumétrica de potência do conjunto X)
Para i = 2 até l-1 faça
    DensAnt = densidade volumétrica de potência da solução da posição i - 1
    DensPos = densidade volumétrica de potência da solução da posição i + 1
    X [i]Distância = X[i]distância + (DensPos - DensAnt) / DifMimMax
Fim para

```

Fonte: Adaptado de Deb et al. (2002).

Onde:

X – Conjunto de indivíduos que solucionam um determinado problema e que pertencem a um mesmo nível de dominância;

l – Número de indivíduos de X;

X[i]_{Distância} – Distância de aglomeração da solução i;

DifRend_{MimMax} – diferença entre o maior valor e menor valor encontrados entre os rendimentos das soluções que compõem o conjunto X;

Rend_{Ant} – Rendimento do nó anterior ao nó i, considerando-se a ordenação ascendente de X em função do rendimento;

Rend_{Pos} – Rendimento do nó posterior ao nó i, considerando-se a ordenação ascendente de X em função do rendimento;

DifDens_{MimMax} – diferença entre o maior valor e menor valor encontrados entre as densidades volumétricas de potência das soluções que compõem o conjunto X;

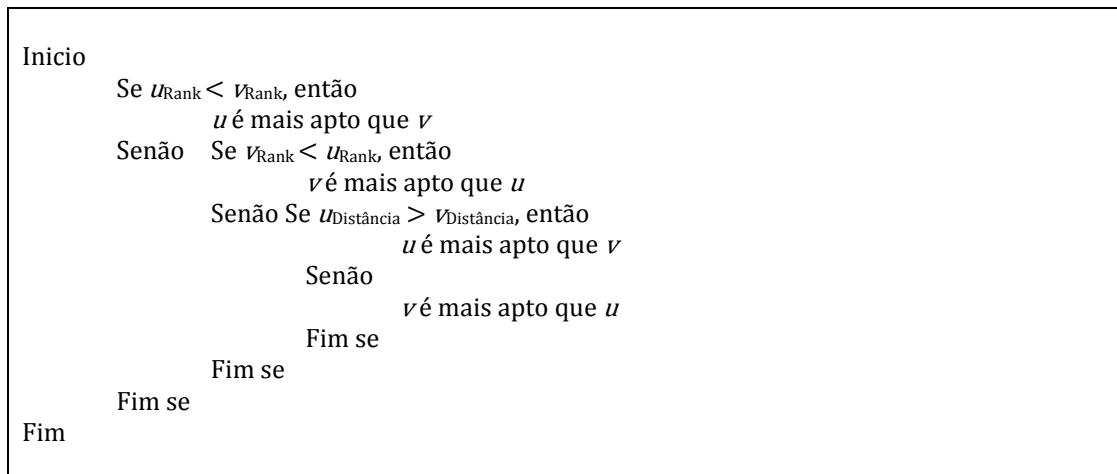
Dens_{Ant} – Densidade volumétrica de potência do nó anterior ao nó i, considerando-se a ordenação ascendente de X em função da densidade volumétrica de potência;

$Dens_{Pos}$ – Densidade volumétrica de potência do nó posterior ao nó i , considerando-se a ordenação ascendente de X em função da densidade volumétrica de potência rendimento.

5.4.4 Algoritmo do NSGA II

A partir da ordenação em níveis e do cálculo da distância de aglomeração, é possível avaliar a qualidade de um determinado indivíduo em relação aos demais. Algoritmo de indicação de nó mais apto para o NSGA II é apresentado na Figura 22.

Figura 22 — Algoritmo de indicação de nó mais apto para o NSGA II



Tal algoritmo define, entre dois nós, qual é o mais apto, onde:

u_{Rank} e v_{Rank} – São os níveis das soluções u e v , respetivamente;

$u_{Distância}$ e $v_{Distância}$ - São as distâncias de aglomeração das soluções u e v , respetivamente.

Assim, dados dois indivíduos u e v :

- Se u e v pertencem a níveis diferentes, aquele de menor ranking é considerado mais apto.

- Se u e v pertencem ao mesmo nível, aquele de maior distância de aglomeração é considerado o mais apto.

As soluções (ou indivíduos) que compõem o nível 0 são aquelas não-dominadas e compõem a fronteira de Pareto. Considerando-se os conceitos e procedimentos descritos acima, os passos do NSGA II, adaptados de Deb et al. (2002), são efetuados, para obtenção da fronteira de Pareto, conforme o algoritmo da Figura 23 e o fluxograma da Figura 24.

Figura 23 — Algoritmo – NSGA II

```

Início
  P0 = Criação da População Inicial, conforme descrito no passo 3.3.1
  N = Algoritmo da ordenação não-dominada (P0)
  i = 0
  Enquanto i < NumG
    G = seleciona indivíduos genitores em Pi, priorizando aqueles de
      menores níveis;
    D = Cruzamento (G), conforme 3.3.4
    D = Mutação (D), conforme 3.3.5
    Pi = Pi ∪ D
    N = Algoritmo da ordenação não-dominada (Pi)
    Para cada Nj
      Calcula distância de aglomeração de Nj
    Fim para
    j = 0
    Enquanto (Num (Pi+1) + Num (Nj)) <= NumP
      Pi+1 = Pi+1 ∪ Nj
      j = j + 1
    Fim enquanto
    Nj = Nj ordenado e em ordem decrescente de distância de aglomeração.
    Enquanto (Num (Pi+1) + 1) <= NumP
      v = indivíduo de Nj de maior distância de aglomeração
      Nj = Nj - {v}
      Pi+1 = Pi+1 ∪ {v}
    Fim enquanto
    i = i + 1
  Fim enquanto
Fim

```

Fonte: Adaptado de Deb et al. (2002)

Onde:

P₀ – Conjunto de indivíduos que solucionam um determinado problema;

P_i – População atual

P_{i+1} – Próxima geração

i – Contador de populações

N – Conjunto de níveis de não-dominância, onde cada nível é composto de indivíduos

N_j – indivíduos do nível j

j - Contador de níveis

Num_G - Número de gerações - constante

G - conjunto de indivíduos que foram selecionados para cruzamento

D - conjunto de indivíduos resultantes do cruzamento e mutação

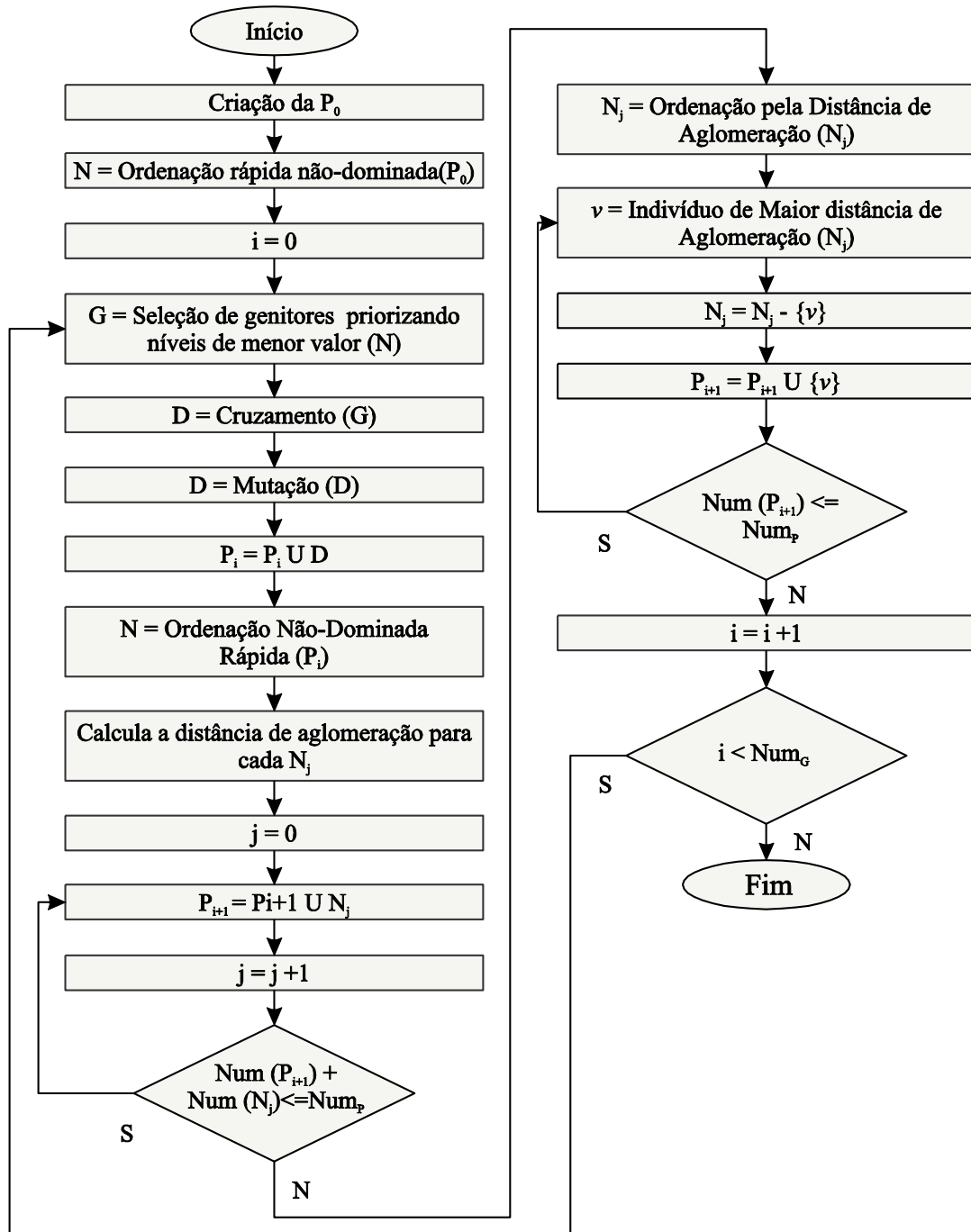
Num_P - Número de Indivíduos da população P – constante

Num (P_{i+1}) - Número de indivíduos da população P_{i+1} – variável

$\text{Num}(N_j)$ – Número de indivíduos do nível j

v = indivíduo com a menor distância de aglomeração

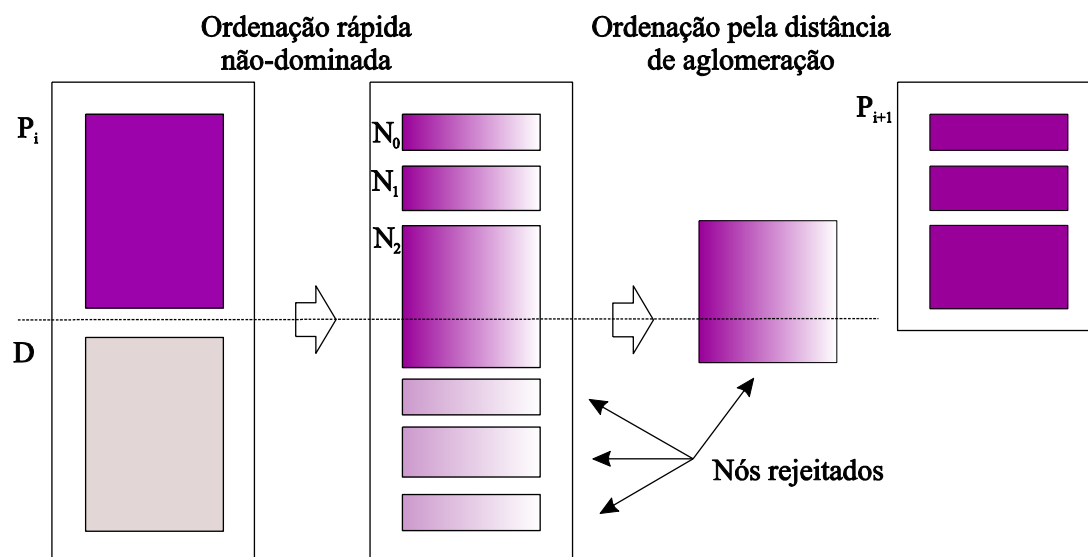
Figura 24 — Fluxograma com o algoritmo do NSGA II



A Figura 25 é uma ilustração do comportamento do algoritmo NSGA II. A população P_i é organizada em níveis de não-dominância, os níveis de menores rankings são inseridos na próxima população até que um nível (N_j), com um número de soluções, que ao ser somado a quantidade de indivíduos presentes na população, extrapole o número de indivíduos fixado

como limite (Num_P). Então, as soluções de N_j são ordenadas em ordem decrescente de distância de aglomeração e as soluções de maior distância de aglomeração são inseridas na nova população até que a quantidade de indivíduos chegue ao limite fixado (Num_P).

Figura 25 — Ilustração do procedimento NSGA II



Fonte: Deb et al. (2002).

5.5 MODELOS E DEFINIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO DOS AGS

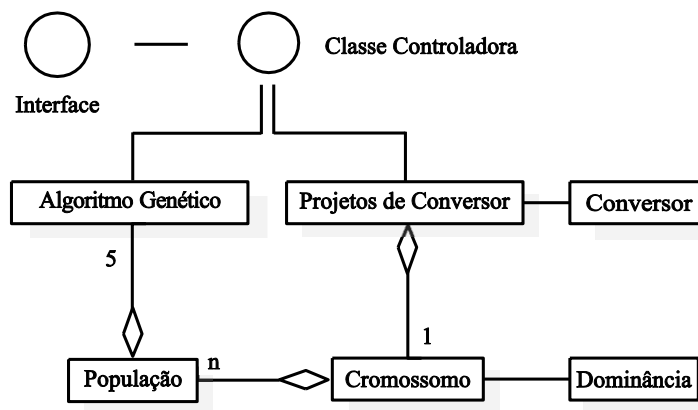
5.5.1 Modelos do Algoritmo Genético

Os principais modelos relacionados aos algoritmos genéticos são a formatação do cromossomo adotada e o conjunto de classes que implementam o AG. A formatação do cromossomo já foi exposta no item 5.3.1 e na Figura 11. O diagrama de classes que implementa os AGs será apresentado logo a seguir.

A Figura 26 apresenta as classes que implementam as diferentes populações de AGs, onde são criadas 5 populações diferentes, sendo que 4 delas diferenciam-se apenas pela função objetivo e uma implementa o algoritmo de dominância e por isso associa a cada objeto da classe cromossomo, um outro objeto da classe dominância. A classe dominância, para um determinado cromossomo (ou solução) C , especifica quantos cromossomos (ou soluções) são dominados por C e quais os cromossomos que dominam o cromossomo C , de acordo com o algoritmo de ordenação não-dominada (Figura 19). Cada cromossomo contém um objeto da classe projetos de conversor. Cada objeto da classe projeto de conversor está associando a um objeto da classe conversor, e é um resumo deste. A classe projetos de conversor é um resumo

da classe conversor e reserva apenas suas principais características. Isso foi feito para que as populações de cromossomos contêm apenas as características identificadas como principais pelos engenheiros eletricitistas, economizando memória de trabalho ao excluir todos os detalhes implementados com riqueza na classe conversores. Todas as classes têm seus detalhes explicitados no Apêndice B e no Apêndice E.

Figura 26 — Diagrama das Classes para implementação dos AGs.



Conforme mencionado anteriormente, o projeto de conversores da topologia Boost PFC, que apresenta variação da corrente no indutor em $i_l = I_{pico} \cdot \sin(\omega t)$, (IEC 61000-3-2), resultando em maior tempo de processamento. Além disso, necessita de filtro de EMI para atender normas (CISPR-22) aumentando o número de componentes e, por consequência, o seu algoritmo de projeto tem maior número de iterações. Por isso, a topologia Boost PFC foi a escolhida para a implementação do AGs. As implementações de AGs para as topologias Boost CC/CC e Buck CC/CC serão realizadas nas próximas etapas de refinamento/desenvolvimento do sistema POCE. Os AGs desenvolvidos para a topologia Boost PFC não são imediatamente aplicáveis às topologias Boost CC/CC e Buck CC/CC pois apresentam uma diferença na estrutura do cromossomo, que acarreta em um número maior de alterações a ser realizada nos algoritmos para execução dos AGs. Tal diferença diz respeito à presença de um gene para representação do filtro de EMI, que não compõe as topologias Boost CC/CC e Buck CC/CC.

5.5.2 Principais Parâmetros dos AGs

O desempenho de um algoritmo genético depende da escolha adequada da codificação do cromossomo e também de parâmetros, tais como:

- Funções objetivos.
- Tamanho das populações.
- Número de gerações.
- Taxa de mutação.

As funções objetivos usadas em três das populações que seguiram os passos do fluxograma da figura 10, foram:

- Max (η_{conv}), onde a função η_{conv} é definida pela equação (3)
- Max (ρ_{conv}), onde a função ρ_{conv} é definida pela equação (5)
- Max (δ_{conv}), onde a função δ_{conv} é definida pela equação (8)

A quarta população não usa uma função para determinar a qualidade das soluções, mas sim o critério de não dominância, se segue os passos do algoritmo NSGA II, da Figura 23.

Conforme mencionando anteriormente, o número de indivíduos da população inicial, o número de gerações e a taxa de mutação são importantes parâmetros a serem definidos, pois tem influência no comportamento do AG e devem ser estabelecidos conforme o problema e recursos disponíveis. Após a implementação do AG, testes foram realizados para melhor fixar os valores de tais parâmetros, conforme foram descritos no item anterior. A Tabela 1 contém os valores para os quais o AG foi testado, os quais correspondem ao número de indivíduos da população inicial, número de gerações e taxa de mutação.

Tabela 1 — Conjuntos de Parâmetros de Testes do AG

Conjuntos de Testes (CT)	Parâmetros		
	Nº de Ind. da População Inicial	Nº de Gerações	Taxa de Mutação
CT1	0,10%	0,10%	5%
CT2	0,15%	0,15%	10%
CT3	0,20%	0,10%	15%
CT4	0,10%	0,20%	5 %
CT5	0,15%	0,10%	5 %
CT6	0,10%	0,10%	15%
CT7	0,15%	0,10%	5%
Percentual relacionado	Número de projetos possíveis	Número de projetos possíveis	Possibilidade de cada cromossomo mudar

Cada um dos conjuntos de parâmetros de testes contém os valores de número de indivíduos da população inicial e número de gerações, ambos em relação ao número de projetos possíveis para uma determinada combinação de componentes, tecnologias e pontos de operação. Também foi enumerada a probabilidade que cada cromossomo, individualmente, sofrer mutação. Ao executar o programa, da mesma forma que o algoritmo tradicional do POCE, o projetista é questionado sobre os parâmetros de entrada, pontos de operação, componentes e tecnologias desejados. Para tornar o AG adaptável às escolhas do projetista, optou-se por expressar o número de indivíduos da população inicial e o número de gerações em relação às escolhas do projetista, já que há a possibilidade de que mais ou menos combinações de componentes, tecnologias e pontos de operação sejam selecionados a cada execução. Assim, o número de indivíduos das populações e o número de gerações são dependentes da instância do problema.

Após a execução do AG para um problema de instância igual a 41472, considerando-se os conjuntos de testes descritos na Tabela 1 avaliou-se dois parâmetros: o tempo de execução e a média de adaptação da população (M_A), calculada conforme equação (12). A média de adaptação foi observada ao final da geração da população inicial e, posteriormente, a cada geração. As observações foram realizadas para as duas populações Pop1 (função objetivo é a maximização do rendimento - função objetivo dada pela equação (3)) e Pop2 (função objetivo é a maximização da densidade volumétrica de potência - função objetivo dada pela equação (5)), como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 — Tempo de Execução e Média das adaptações Médias dos Conjuntos de Parâmetros de Testes do AG

Conjuntos de Testes (CT)	Tempo Processamento Total	Média das adaptações	
		Pop1	Pop2
CT1	2'7''	98,43	13,07
CT2	3'19''	98,46	13,92
CT3	4'33''	98,44	14,03
CT4	3'29''	98,46	14,68
CT5	5'25''	98,47	15,34
CT6	2'18''	98,40	12,60
CT7	3'02''	98,42	13,98

A Figura 27 e a Figura 28 contêm os gráficos que mostram comportamento de cada uma das médias de adaptação das populações Pop1 e Pop2. O comportamento da média de adaptação da população em cada um dos conjuntos de testes fornece uma ideia do grau de convergência. Optou-se pela utilização do conjunto de testes CT2 devido apresentar uma média das adaptações médias próxima a melhor, com um tempo de execução próximo ao menor, mantendo-se, desta forma, o intuito inicial de alcançar o equilíbrio entre tempo de computação e qualidade da solução.

Figura 27 — Gráfico da evolução da média da adaptação da população Pop1, a partir da população inicial ao longo das gerações

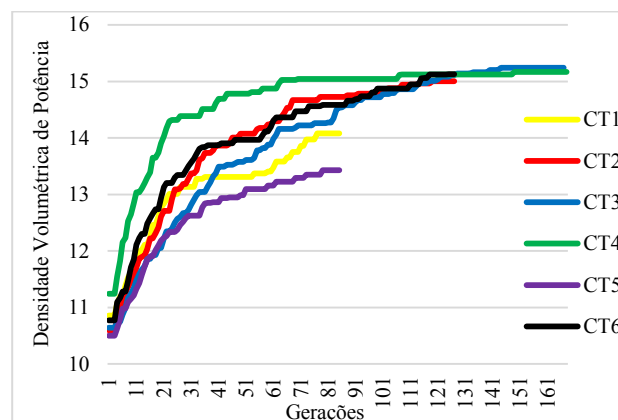
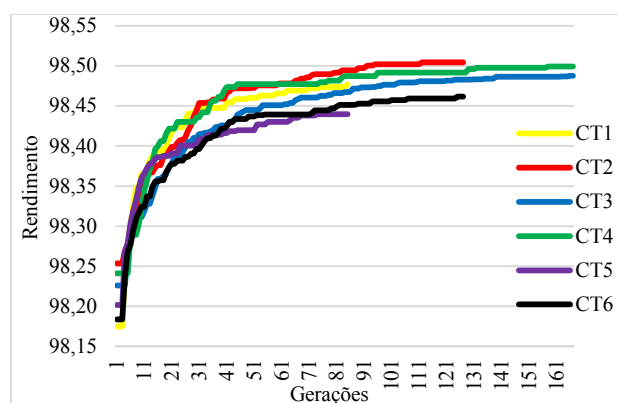


Figura 28 — Gráfico da evolução da média da adaptação da população Pop2, a partir da população inicial ao longo das gerações



A taxa de mutação foi de 10% para cada novo indivíduo. Sendo que para cada indivíduo sorteado para mutação, os genes relativos ao ponto de operação têm uma chance de 50% de alteração. Os demais genes têm 10% de chance de sofrerem mutação. As mutações são realizadas preferencialmente sobre o ponto de operação, pois estes valores geralmente pertencem a um domínio mais extenso.

Com respeito aos AGs de função objetivo (δ_{Conv}) e NSGA II, os parâmetros descritos acima descritos sofreram algumas alterações. No caso dos AGs guiados por funções objetivos, as fatias da roleta são de acordo com os valores de tais funções, sendo que as mais aptas (maior valor de função objetivo) recebem uma fatia maior da roleta. No caso do NSGA II, os níveis de menor ranking têm uma fatia maior da roleta.

Quanto ao número de gerações, optou-se adotar o número de gerações igual ao tamanho da população dividido por 4, porém a cada geração 8 novos filhos são produzidos. Isto foi feito para reduzir o número de vezes de aplicação de procedimentos custosos sobre a população, tais como: os algoritmos de ordenação em níveis de dominância e cálculo da distância de aglomeração, no caso NSGA II; ou a função objetivo δ_{Conv} , dada pela equação (8), que requer encontrar valores mínimos e máximos (para rendimento e densidade volumétrica de potência) e o recálculo de valores de aptidão para todos os indivíduos da população a cada geração. Ainda, para a solução 1, os valores adotados para os pesos, $W_{\eta_{Conv}}$ (peso do rendimento) e $W_{\rho_{Conv}}$ (peso para densidade volumétrica de potência) foram valores complementares, entre 10% e 90%, variando de 10% em 10%.

5.6 CONCLUSÃO

Ao final deste capítulo foi possível concluir que o problema de projetar conversores pode ser abordado como um problema de otimização e ser resolvido através de métodos metaheurísticos, como os algoritmos genéticos, os quais são apropriados para solução de problemas complexos e buscam um equilíbrio entre o tempo de execução e qualidade das soluções apresentadas. Tais métodos oferecem ao projetista um conjunto de soluções (população de indivíduos) de diversidade garantida (pela mutação), evitam buscas em locais do espaço de soluções de qualidade inferior (pelo elitismo).

Também foram apresentados alguns parâmetros que especificam os AGs aqui implementados, tais como: função objetivo, codificação do cromossomo, número de indivíduos da população, número de gerações e taxa de mutação. Tais parâmetros foram definidos e justificados.

6 RESULTADOS OBTIDOS PELA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA POCE

O presente capítulo tem como objetivo exemplificar o uso do protótipo Sistema POCE, através da construção de projetos de conversores, a fim de fornecer uma visão concreta das facilidades e vantagens da utilização do sistema. Também são realizadas algumas considerações sobre o desempenho do protótipo. A descrição do sistema POCE pode ser consultada no Apêndice F. Foi desenvolvido um sistema auxiliar, denominado Ajuda, para guiar o projetista no uso do sistema POCE, as telas de tal sistema podem ser consultadas no Apêndice G.

6.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para a apresentação dos resultados do sistema POCE, serão exemplificados os três tipos de conversores disponíveis no sistema, um Boost PFC, um Boost CC/CC e um Buck CC/CC. Os componentes utilizados para os projetos podem ser consultados no Apêndice D.

Os resultados são apresentados para todos os algoritmos implementados, de acordo com o explicitado nos tópicos 4.5 e 5.5, sendo eles:

- Algoritmo de varredura completa com as funções objetivo:
 - Max (η_{conv}), onde a função objetivo η_{conv} é definida pela equação (3)
 - Max (ρ_{conv}), onde a função objetivo ρ_{conv} é definida pela equação (5)
 - Max (δ_{conv}), onde a função objetivo δ_{conv} é definida pela equação (8)
- AGs com funções objetivo (somente para Boost PFC):
 - Max (η_{conv}), onde a função objetivo η_{conv} é definida pela equação (3)
 - Max (ρ_{conv}), onde a função objetivo ρ_{conv} é definida pela equação (5)
 - Max (δ_{conv}), onde a função objetivo δ_{conv} é definida pela equação (8)
- NSGA II

A diferença entre o algoritmo de varredura completa e os AGs está na forma como espaço de soluções é pesquisado. O primeiro visita todos os pontos de operação (conforme definidos pelo projetista) e testa todas as combinações de componentes e tecnologias para cada um desses pontos. Já o segundo visita espaços de soluções mais promissoras, com base em uma função objetivo, que avalia cada projeto.

Adicionalmente, são apresentados os valores relacionados ao custo, conforme calculados pela equação (10). Os valores relacionados ao custo podem mudar em função de

muitos fatores, como: país de fabricação, tempo, frete, impostos e outros. Devido a tais fatores, optou-se por não considerar o custo como função objetivo, mas sim como uma variável de compromisso de projeto ou de seleção. Tal variável pode ser usada como referência para comparar diferentes projetos e ajudar o projetista a selecionar uma solução quando encontra projetos de conversores de rendimentos ou volumes semelhantes.

6.1.1 Projeto de um Boost PFC

A seguir são apresentados os resultados obtidos através da utilização do Sistema POCE para construção de um Boost PFC. Os parâmetros de entrada, componentes e tecnologias são aqueles detalhados na Tabela 3. São apresentados resultados para o algoritmo de varredura completa e para o AG.

Tabela 3 — Parâmetros de entrada, componentes e tecnologias para o projeto do Conversor Boost PFC.

Parâmetro	Valor
Frequência de Comutação (f_s)	7 até de 70 em 1 (kHz)
Ondulação da Corrente de Entrada (Δi)	10 até 70 de 10 em 10 (%)
Potência de Entrada	1000 W
Tensão de Entrada	220 V _{CA}
Tensão de Saída	400 V _{CC}
Frequência da Rede	60 Hz
Temperatura Ambiente	25 °C
Temperatura de Junção	125 °C
Densidade de Corrente	420 A/cm ²
Topologia do Filtro	Duplo π
Materiais Magnéticos (MMI e MMF)	MPP, HF, Kool M μ
Perfis de Dissipadores (PD)	HS6524, HS7624, HS12132
Conjunto de Diodos (D)	15ETH06, CSD06060, IDH065SC5
Conjunto de Chaves (Ch)	SSP17N80C3, IRFPA460A, IRFP450A, IRF840A, IPP60R299CP, IPP60R385CP

6.1.1.1 Resultados Obtidos pelo Algoritmo de Varredura Completa

Os resultados do algoritmo de varredura completa, apresentados na Tabela 4, são os valores para os projetos de conversores com maior eficiência (menores perdas), maior densidade volumétrica de potência (menor volume) e com eficiência e densidade volumétrica de potência ponderados (perdas e volume ponderados), com valores, construídos a partir dos parâmetros da Tabela 3. Tais dados foram obtidos através de relatório gerado de forma automática pelo sistema POCE (ver Apêndice H).

Observa-se que os resultados obtidos pelo sistema POCE para o problema da Tabela 3, os quais são apresentados na Tabela 4, exploraram todas as possíveis combinações de diodos, chaves, perfis de dissipador e núcleos magnéticos. Observando-se a ondulação de corrente de entrada do indutor e a frequência de comutação, é possível concluir que as mesmas foram discretizadas para facilitar a aplicação do algoritmo, pois tais variáveis são contínuas.

É importante considerar que os valores ótimos encontrados pelo algoritmo de varredura completa são dependentes das faixas de variação definidas para os valores de frequência de comutação e ondulação da corrente de entrada do indutor que são fixados pelo projetista. Considerando-se o conjunto de frequências de comutação definidos na Tabela 3 (De 7 até 70, passo 1 (kHz)), os valores (em kHz) testados pertencem ao conjunto $\{7, 8, 9, 10, \dots, 70\}$, valores intermediários a estes não são testados, mas podem conduzir a melhores rendimentos e densidades volumétricas de potência. O mesmo ocorre para a ondulação da corrente de entrada do indutor. Desta forma, diante da impossibilidade de obter resultados para todas as possíveis ondulações de corrente de entrada do indutor e frequências de comutação pertencentes a um intervalo contínuo, é necessário considerar que o valor ótimo obtido pelo algoritmo de varredura completa do sistema POCE é passível de um pequeno erro dependente do passo definido pelo projetista. Serão admitidos erros da ordem 0,1% para eficiência e da ordem 1% para densidade volumétrica de potência em torno (para mais ou para menos) dos valores obtidos para o sistema POCE. Assim serão considerados valores ótimos para:

- (i) Rendimento – $98,62 \pm 0,1\%$
- (ii) Densidade volumétrica de potência – $22,78 \pm 1,0\%$

Paralelamente, explorou-se o conjunto de projetos gerados para frequências de comutação a partir de 70 kHz, porém verificou-se que os valores ótimos de rendimento e densidade volumétrica de potência, considerando-se os componentes e demais parâmetros de entrada descritos na Tabela 3, figuram em projetos cuja frequência é inferior à 70 kHz.

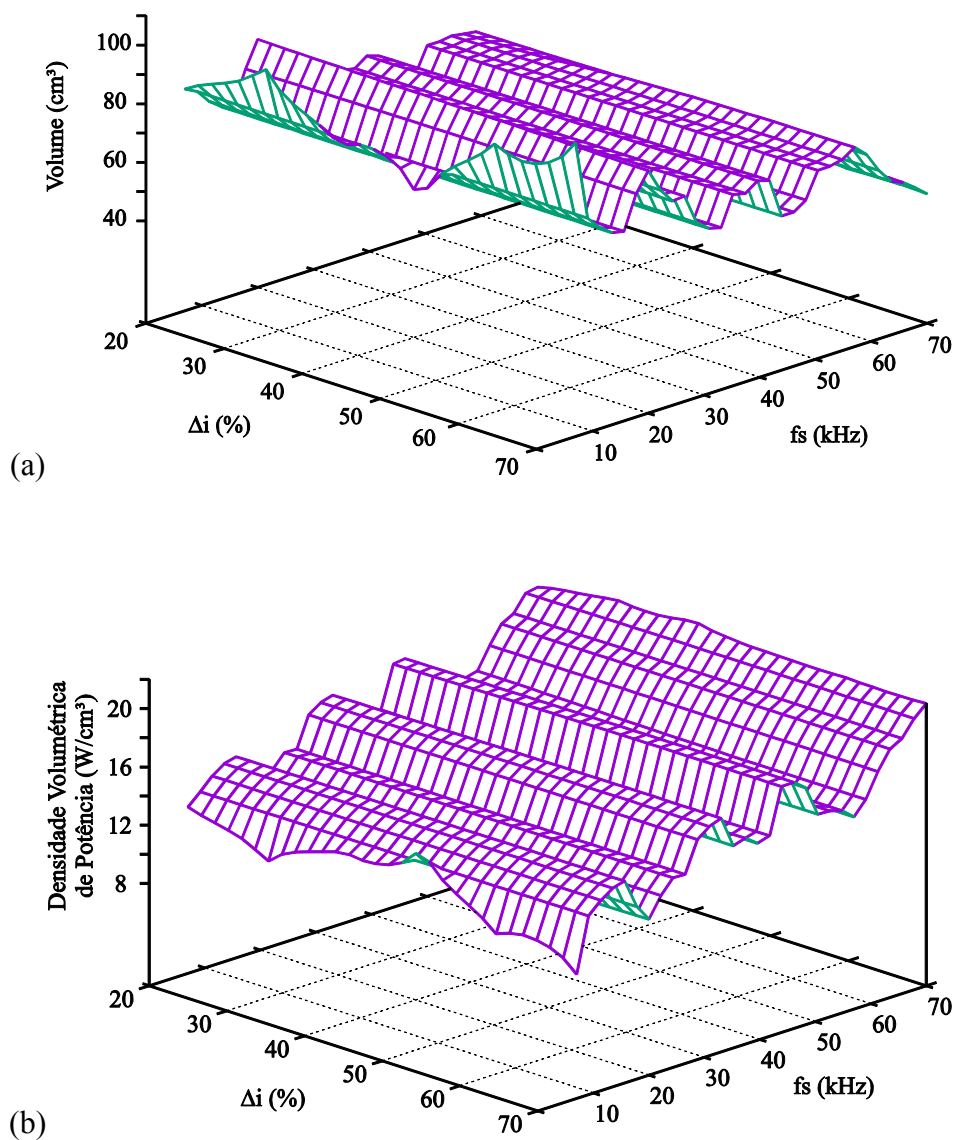
Tabela 4 — Valores obtidos para diferentes projetos de conversores a partir dos dados da Tabela 3.

Var.	Max (η)	Max (ρ)	Max (δ)
Ponto de Operação, Componentes e Tecnologias			
f_s	7,00 kHz	68,00 kHz	67,00 kHz
Δi	30,00 %	40,00 %	20,00%
MMI	HF	HF	MPP
D	15ETH06	DH065G65C5	DH065G65C5
Ch	SPP17N80C3	SPP17N80C3	SPP17N80C3
PD	-	-	-
MMF	MPP	MPP	MPP
Funções Objetivo e Compromissos de Projeto			
η	98,62 %	98,44 %	98,61 %
(L)	(13,79 W)	(15,59 W)	(13,93 W)
ρ	10,21 W/cm ³	22,78 W/cm ³	20,68 W/cm ³
(V)	(97,98 cm ³)	(43,90 cm ³)	(48,36 cm ³)
RC	0,01 kW/\$	0,02 kW/\$	0,02 kW/\$
(C)	(84,52 US\$)	(37,78 US\$)	(49,62 US\$)

A partir dos projetos gerados e armazenados no banco de dados é possível obter diferentes gráficos, os quais são apresentados logo a seguir. Os projetos considerados para geração dos gráficos apresentados neste tópico obedecem aos parâmetros de construção expostos no Tabela 3.

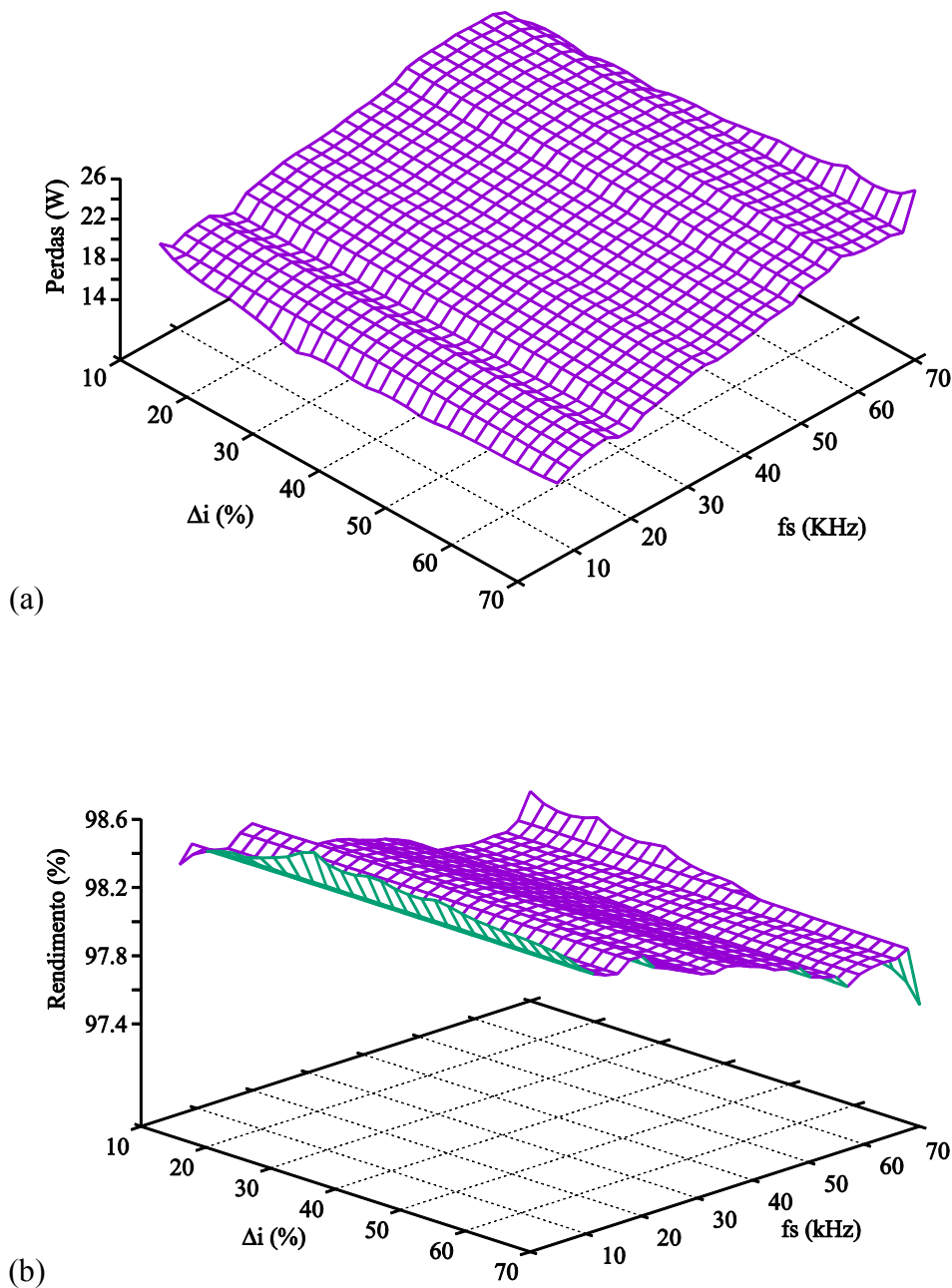
A Figura 29 apresenta o comportamento da densidade volumétrica de potência e do volume em função dos pontos de operação para projetos cuja tecnologia do núcleo magnético do indutor é o HF, o diodo é o de *part number* IDH065G65C5, a tecnologia no núcleo do indutor do filtro é MPP, a chave é a de *part number* SSP17N80C3 e o dissipador, usado quando necessário, é o de perfil HS 6524.

Figura 29 — Gráfico de (a) volume e (b) densidade volumétrica de potência em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = HF, MMF = MPP, D = IDH065G65C5, Ch = SSP17N80C3 e D = HS 6524



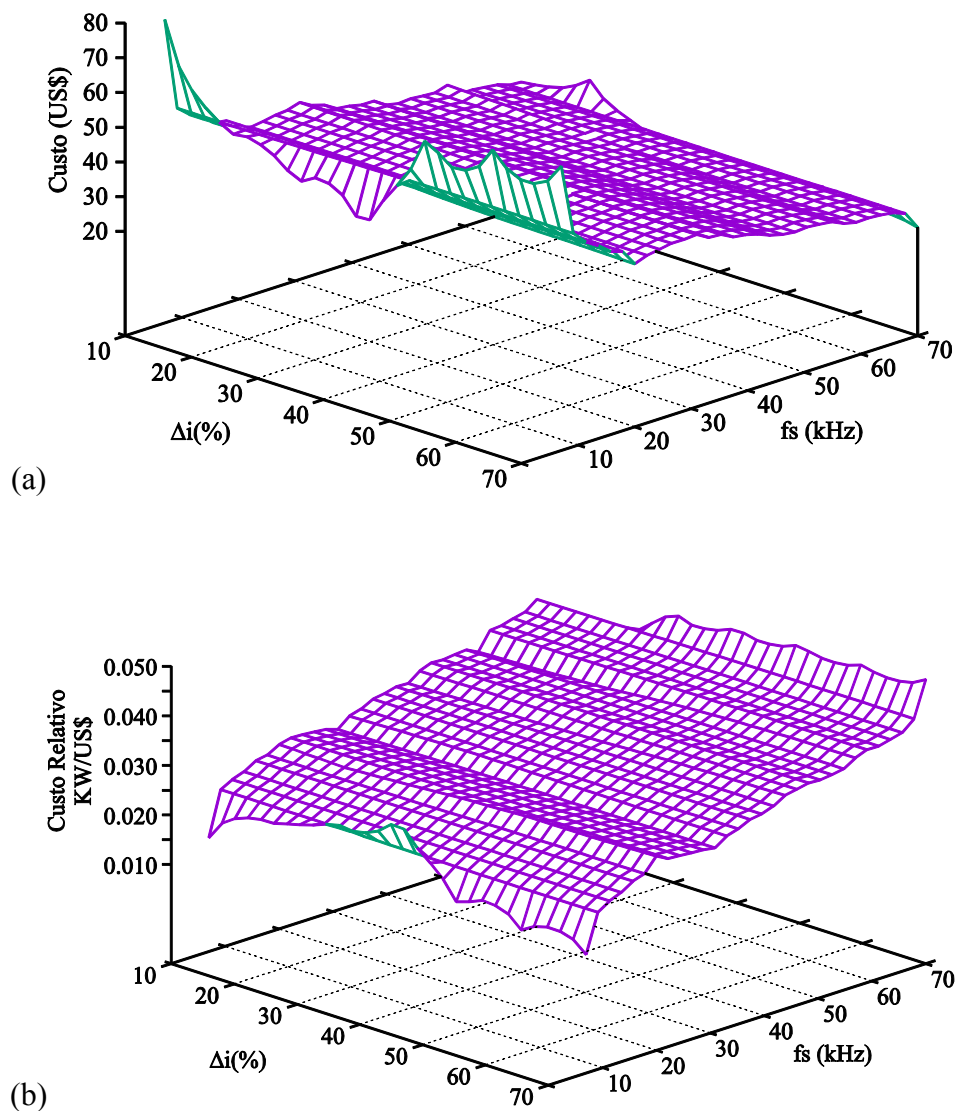
Os gráficos da Figura 30 apresentam o comportamento das perdas e do rendimento em função dos pontos de operação para projetos cuja tecnologia do núcleo magnético do indutor é o HF, o diodo é o de *part number* 15ETH06, a chave é a de número de parte SSP17N80C3, a tecnologia do núcleo do indutor do filtro é MPP e o dissipador, quando necessário, é o de perfil HS7624.

Figura 30 — Gráfico de (a) perdas e (b) rendimento em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = HF, MMF = MPP, D = 15ETH06, Ch = SSP17N80C3 e D = HS 7624



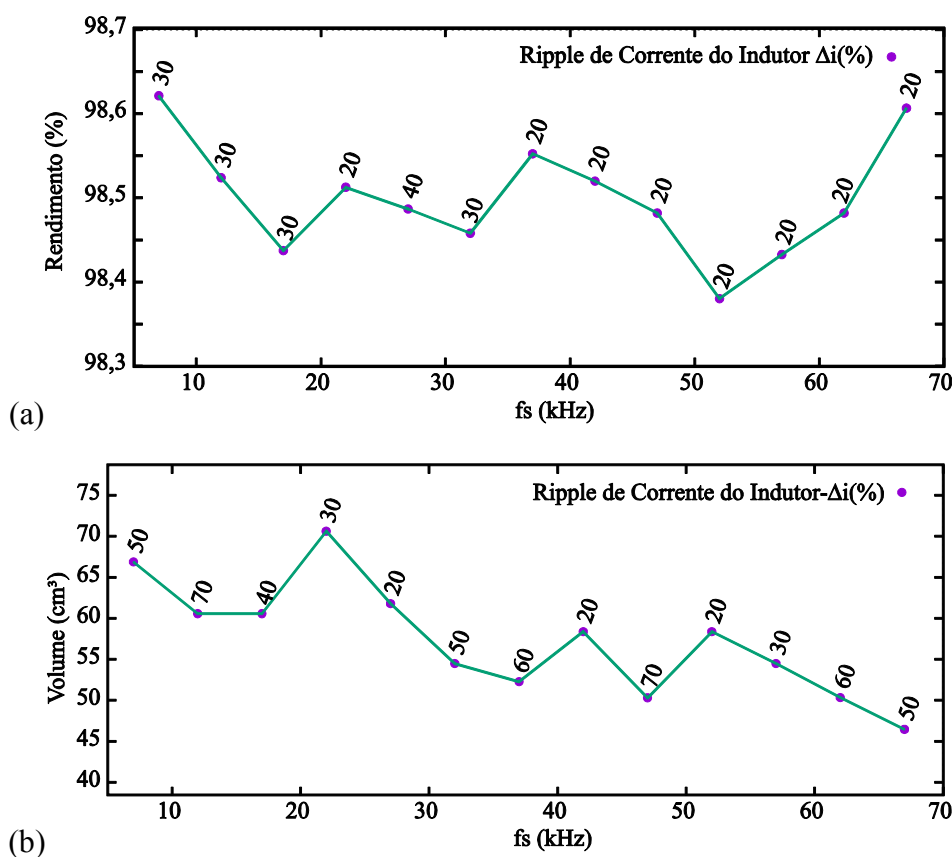
Os gráficos da Figura 31 apresentam o comportamento do custo e dos custos relativos em função dos pontos de operação para projetos cuja tecnologia do núcleo magnético do indutor é o Kool M μ , o diodo é o de *part number* 15ETH06, a chave é a de número de parte IPP60R385CP, a tecnologia do núcleo do indutor do filtro é Kool M μ e o dissipador, quando necessário, é o de perfil HS 6524. O custo é mais elevado nas baixas frequências.

Figura 31 — Gráfico de (a) custo e (b) custo relativo em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = Kool M μ , MMF = Kool M μ , D = 15ETH06, Ch = IPP60R385CP e D = HS 6524



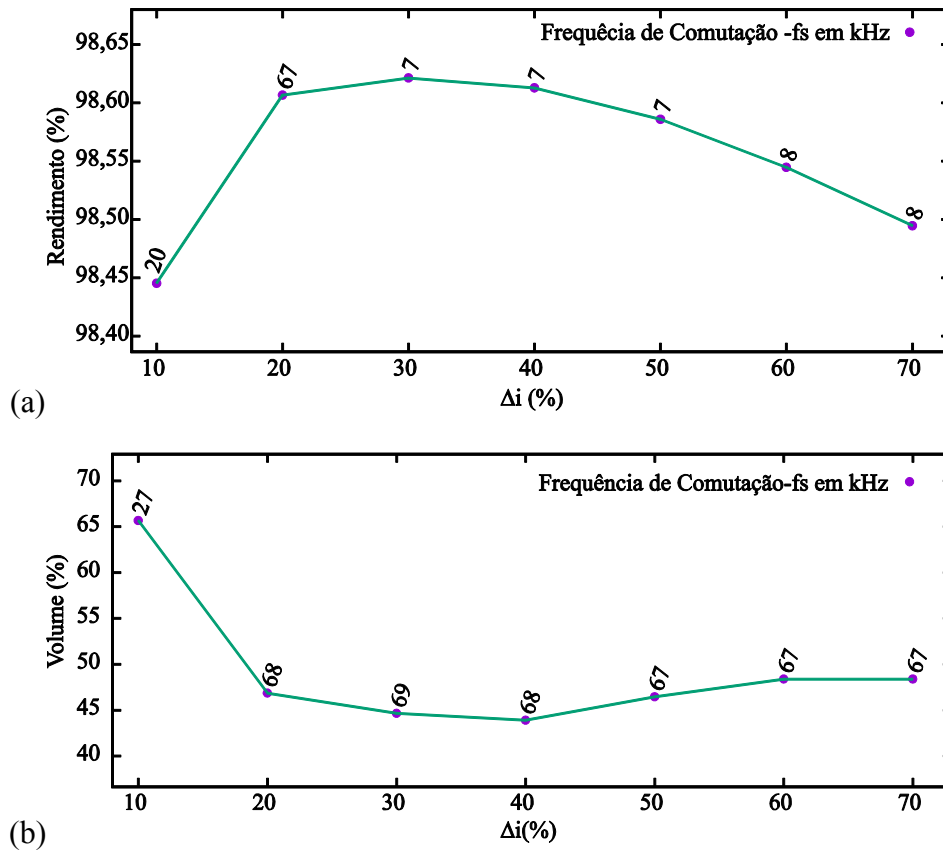
É possível observar através dos gráficos da Figura 32 comportamento do (a) rendimento e do (b) volume em função da frequência, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 3. Os projetos de maiores rendimentos para cada uma das diferentes frequências são, geralmente, aqueles de menores valores para o *ripple*. O volume tende a reduzir com o aumento da frequência, porém ao atingir um determinado limite inferior, tem um leve crescimento, depois retoma a queda.

Figura 32 — Gráficos de (a) frequências por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 3.



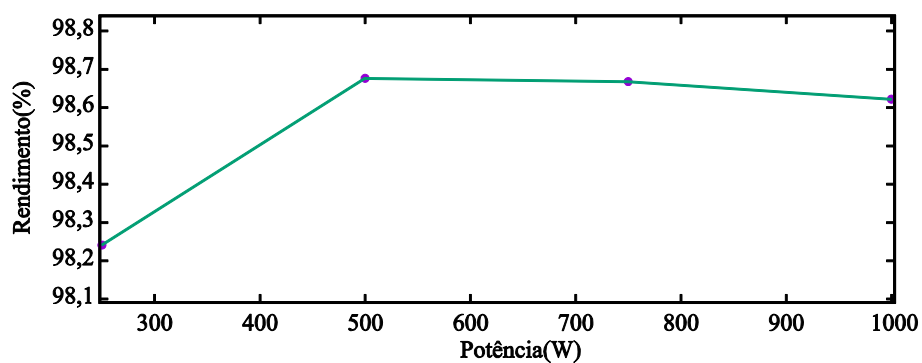
É possível observar através dos gráficos da Figura 33 o comportamento do (a) rendimento e do (b) volume em função da variação da ondulação da corrente de entrada (*ripple*), considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 3. Observando-se tais gráficos, visualiza-se que o rendimento e o volume em função do *ripple* tem comportamentos antagônicos, isto é, à medida que um deles aumenta, o outro diminui, e vice-versa.

Figura 33 — Gráficos de (a) ondulações de corrente de entrada (*ripple*) por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 3.



É possível observar através do gráfico da Figura 34 o comportamento do (a) rendimento em função da variação da potência de entrada para projetos cujos componentes e parâmetros de entrada (exceto a potência de entrada) são os mesmos que os presentes no projeto de melhor rendimento. Rendimentos inferiores foram obtidos com potências de entrada inferiores às do projeto de melhor rendimento.

Figura 34 — Gráfico de potência por rendimento para o projeto de melhor rendimento, variando-se a potência de entrada para o projeto de melhor rendimento.



Os gráficos expostos acima, além de apresentarem os resultados, possibilitam uma perspectiva daquilo que é visualizado através do sistema POCE.

Com a finalidade de explorar os recursos do Sistema POCE foram realizados outros dois projetos de conversores, variando a potência de entrada e a frequência de comutação. Os valores dos demais parâmetros de entradas permaneceram os mesmos da Tabela 3

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos para a potência de entrada de 500W e valores de frequência de comutação desde 7 kHz até 70 kHz, variando de 1 em 1 (kHz). Já, a Tabela 6 apresenta os valores obtidos para a potência de entrada de 100 W e valores de frequência de comutação desde 7 kHz até 70 kHz, variando de 1 em 1 (kHz). Para tais conjuntos de dados, os gráficos podem ser consultados no Apêndice H.

Tabela 5 — Valores obtidos para diferentes projetos de conversores a partir dos dados da Tabela 3, porém com a potência de entrada igual a 500W.

Var.	Max (η)	Max (ρ)	Max (δ)
Ponto de Operação, Componentes e Tecnologias			
f_s	7,00 kHz	69,00 kHz	69,00 kHz
Δi	30,00 %	60,00 %	50,00 %
MMI	HF	MPP	MPP
D	15ETH06	IDH065G65C5	IDH065G65C5
Ch	SPP17N80C3	SPP17N80C3	SPP17N80C3
PD	0	0	0
MMF	MPP	MPP	MPP
Funções Objetivo e Compromissos de Projeto			
η	98,68 %	98,45 %	98,51 %
(L)	6,61 W	7,77 W	7,47 W
ρ	6,69 W/cm ³	39,90 cm ³	12,36 W/cm ³
(V)	74,78 cm ³	12,53 W/cm ³	40,45 cm ³
RC	0,0077 kW/\$	0,148 kW/\$	0,0141 kW/\$
(C)	(64,38 US\$)	(33,72 US\$)	35,34 US\$

Tabela 6 — Valores obtidos para diferentes projetos de conversores a partir dos dados da Tabela 3, porém com a potência de entrada igual a 100 W.

Var.	Max (η)	Max (ρ)	Max (δ)
Ponto de Operação, Componentes e Tecnologias			
f_s	7,00 kHz	68,00 kHz	68,00 kHz
Δi	30,00 %	20,00 %	20,00 %
MMI	Kool M μ	MPP	MPP
D	IDH065G65C5	IDH065G65C5	IDH065G65C5
Ch	SPP17N80C3	IPP60R299CP	IPP60R299CP
PD	7624	0	0
MMF	MPP	MPP	MPP
Funções Objetivo e Compromissos de Projeto			
η	96,60 %	96,48 %	96,48 %
(L)	3,40 W	3,52 W	3,52 W
ρ	1,36 W/cm ³	2,74 W/cm ³	2,74 W/cm ³
(V)	73,80 cm ³	36,48 cm ³	36,48 cm ³
RC	0,0018 kW/\$	0,0037 kW/\$	0,0037 kW/\$
(C)	54,09 US\$	26,66 US\$	26,66 US\$

Ao final dos testes realizados para os componentes e parâmetros de entrada constantes da Tabela 3, variando-se a potência de entrada para os valores de 100 Watts, 500 Watts e 1000 Watts, verificou-se que à medida que a potência aumenta, há um aumento do volume, do custo e do rendimento. Também se verificou que em baixas potências os melhores resultados ocorrem com baixa ondulação de corrente de entrada e alta frequência de comutação. Considerando-se as potências mais altas, os melhores resultados estão entre as frequências de comutação mais elevadas.

6.1.1.2 Resultados Obtidos pelos AGs

Os resultados obtidos pelos algoritmos genéticos são apresentados, considerando-se os quatro diferentes AGs aqui detalhados. Sendo que os três primeiros diferem apenas pela função objetivo e o último implementa o NSGA. O AG realiza sorteios para iniciar suas populações e para selecionar indivíduos para cruzamento e mutação, assim as respostas

encontradas podem variar de execução para execução. Desta forma, o AG foi executado 100 vezes para cada conjunto de dados, permitindo uma avaliação mais precisa dos resultados obtidos. O total de 100 execuções foi utilizado como padrão para obtenção de valores mínimos e máximos para um conjunto e de dados em teste, porque a partir deste ponto verificou-se que o percentual de soluções ótimas obtidas tendeu a aumentar. Através da análise dos resultados das 100 execuções realizadas para o AG, verificou-se que 100% encontraram a solução ótima com relação a eficiência e 90% encontraram a solução ótima em relação a densidade volumétrica de potência, considerando-se os valores ótimos expostos na Tabela 7 e na Tabela 8 e os erros admitidos da ordem 0,1% para eficiência e da ordem 1% para densidade volumétrica de potência.

Tabela 7 — Resultados do AG com função objetivo Max (η_{conv})

Var.	Max (η_{Conv})	
	Pior Caso	Melhor Caso
Ponto de Operação, Componentes e Tecnologias (Cromossomo)		
f_s	8,00 kHz	7,00 kHz
Δi	20,00 %	30,00 %
MMI	HF	HF
D	15ETH06	15ETH06
Ch	SPP17N80C3	SPP17N80C3
PD	-	-
MMF	MPP	MPP
Funções Objetivo e Compromissos de Projeto		
η	98,60 %	98,62 %
(L)	(14,05 W)	(13,79 W)
ρ	10,21 W/cm ³	10,21 W/cm ³
(V)	(97,98 cm ³)	(97,98 cm ³)
RC	0,01 kW/\$	0,01 kW/\$
(C)	(85,08 US\$)	(84,52 US\$)

Os valores de densidade volumétrica de potência que não pertencem a faixa do ótimo, ficaram a, no máximo, a 10,5 % do valor ótimo. Os resultados obtidos pela execução do AG, com a função objetivo Max (η_{conv}), para o problema da Tabela 3 são expostos na Tabela 7. Os resultados obtidos pela execução do AG, com a função objetivo Max (ρ_{conv}), para o problema da Tabela 3 são expostos na Tabela 8.

Tabela 8 — Resultados do AG com função objetivo Max (ρ_{conv})

Var.	Max (ρ_{Conv})	
	Pior Caso	Melhor Caso
Ponto de Operação, Componentes e Tecnologias (Cromossomo)		
f_s	Pior Caso	Melhor Caso
Δi	67,00 kHz	69,00 kHz
MMI	70,00 %	40,00 %
D	HF	HF
Ch	CSD06060	CSD06060
PD	SPP17N80C3	SPP17N80C3
MMF	-	-
Funções Objetivo e Compromissos de Projeto		
η	97,96 %	98,44 %
(L)	(20,38 W)	(15,59 W)
ρ	20,36 W/cm ³	22,78 W/cm ³
(V)	(49,11 cm ³)	(43,90 cm ³)
RC	0,02 kW/\$	0,02 kW/\$
(C)	(33,42 US\$)	(37,78 US\$)

Os AGs, através da função objetivo, elegem como resposta uma solução, que é aquela de maior aptidão. Porém, como tais algoritmos trabalham com populações, é possível apresentar a fronteira de Pareto com respeito a tais soluções. Isto foi feito para o AG que implementa a função objetivo agregada e ponderada (δ_{Conv}), de modo a estabelecer um comparativo mais amplo com o AG que implementa o NSGA II, já que a resposta oferecida

por esse algoritmo é um conjunto de projetos de conversores, caracterizados como soluções não-dominadas e que compõem a fronteira de Pareto. A Figura 35, a Tabela 9 e a Tabela 10 apresenta os resultados obtidos por tais algoritmos.

A Tabela 9 contém os resultados obtidos pelo AG com a função objetivo agregada e ponderada δ_{Conv} . Conforme anteriormente mencionado, apesar do algoritmo deste AG elencar como resposta uma solução, que é aquela de maior aptidão (solução de $Id = h$ da Tabela 9), optou-se por apresentar a fronteira de Pareto obtida a partir das soluções que compõem a população final do AG. Isto foi feito para estabelecer um comparativo mais amplo com a NSGA II, já que ambos compartilham objetivos. Já a Tabela 10 contém os resultados obtidos pelo NSGA II.

A Figura 35 permite observar que os projetos de conversores obtidos pelo NSGA II têm qualidade superior aos encontrados pelo AG com função objetivo δ_{Conv} . Tal fato é devido à ordenação não-dominada, que prioriza a presença de soluções baseando-se em seu grau de dominância. Além disso, a priorização de soluções de maior distância de aglomeração, contribui para uma maior diversidade das soluções. Ainda, as soluções obtidas pelo NSGA II incluíram as soluções de maior rendimento ($id = a$, na Tabela 10) e maior densidade volumétrica de potência ($id = k$, na Tabela 10), obtidas pelo sistema POCE, conforme descritas na Tabela II.

Figura 35 — Fronteira de Pareto de diferentes AGs.

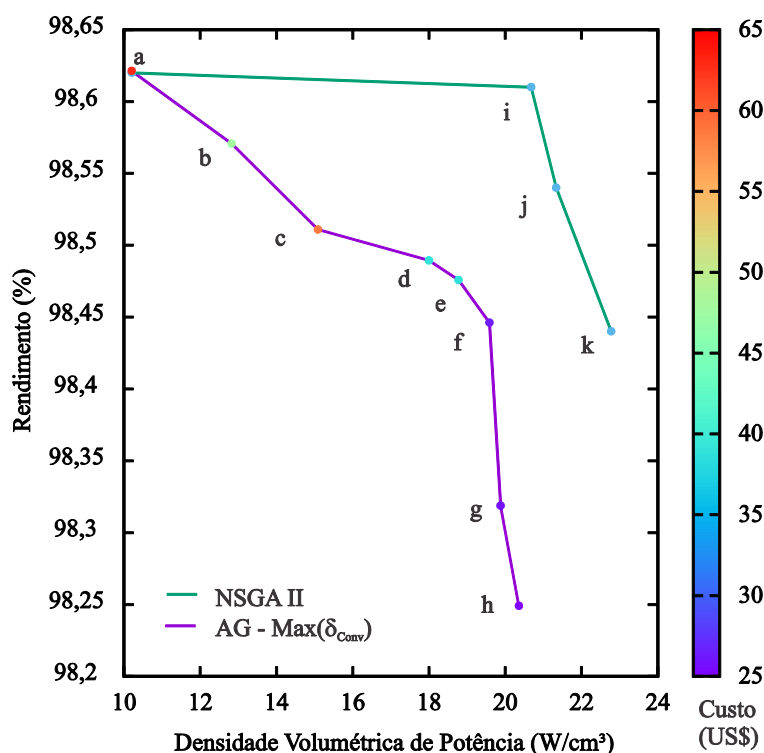


Tabela 9 — Projetos de conversores da fronteira de Pareto obtidos pelo AG com função agregada δ_{Conv}

Id	Cromossomo							Funções Objetivo e Outros Compromissos					
	f_s (kHz)	Δi (%)	MMI	D	Ch	PD	MMF	η (%)	P (W)	ρ (W/cm ³)	V (cm ³)	χ (kW/\$)	C (US\$)
a	7,00	30,00	HF	15ETH06	SPP17N80C3	0	MPP	98,62	13,79	10,21	97,98	0,016	62,79
b	7,00	40,00	HF	15ETH06	SPP17N80C3	0	MPP	98,57	14,29	12,82	77,98	0,021	47,56
c	37,00	20,00	MPP	IDH065G65	IPP60R299CP	0	MPP	98,51	14,89	15,09	66,26	0,017	58,69
d	69,00	20,00	MPP	CDS06060	SPP17N80C3	0	Kool M μ	98,49	15,11	18,00	55,56	0,026	39,05
e	69,00	40,00	MPP	IDH065G65	SPP17N80C3	0	Kool M μ	98,48	15,24	18,78	53,26	0,026	38,73
f	69,00	30,00	HF	CDS06060	SPP17N80C3	0	Kool M μ	98,45	15,54	19,59	51,05	0,038	26,43
g	69,00	40,00	HF	CDS06060	SPP17N80C3	0	Kool M μ	98,32	16,81	19,88	50,30	0,039	25,89
h	69,00	50,00	HF	CDS06060	SPP17N80C3	0	Kool M μ	98,25	17,51	20,36	49,11	0,040	25,03

Tabela 10 — Projetos de conversores da fronteira de Pareto obtidos pelo NSGA II

id	Cromossomo							Funções Objetivo e Outros Compromissos					
	f_s (kHz)	Δi (%)	MMI	D	Ch	PD	MMF	η (%)	P (W)	ρ (W/cm ³)	V (cm ³)	χ (kW/\$)	C (US\$)
a	7,00	30,00	58617	15ETH06	SPP17N80C3	0	55319	98,62	13,79	10,21	97,98	0,016	62,79
i	67,00	20,00	55083	IDH065G65	SPP17N80C3	0	55305	98,61	13,93	20,68	48,36	0,024	42,18
j	68,00	20,00	258585	IDH065G65	SPP17N80C3	0	55345	98,54	14,56	21,34	46,86	0,032	31,31
k	68,00	40,00	58548	IDH065G65	SPP17N80C3	0	55345	98,44	15,59	22,78	43,90	0,034	29,02

Após a execução dos quatro diferentes AGs, verificou-se que ao pesquisar uma população de indivíduos por tal método, reduz-se o espaço de soluções pesquisadas, obtendo-se soluções mais rapidamente. Os AGs de funções com objetivo único foram eficientes, porém deixam de explorar soluções que contemplam outros fatores importantes do problema. Por exemplo, ao realizar a busca pelo projeto de conversor de maior eficiência, através algoritmo de varredura completa, por vezes, observou-se que projetos de mesma eficiência podem ter volumes diferentes. Se o AG está buscando o projeto de maior eficiência, não vai distinguir entre os projetos de igual eficiência, aquele de menor volume. Assim, se quisermos priorizar projetos que tem objetivos múltiplos é necessário representar tal fator no AG. A representação através de uma função agregada nem sempre conduz a bons resultados, principalmente quando as grandezas do diferentes objetivos diferem substancialmente e, além disso, os objetivos são contraditórios entre si (como rendimento e densidade de potência). O NSGA II mostrou-se eficiente ao trabalhar com objetivos distintos e contraditórios, apresentando resultados alternativos, no formato da fronteira de Pareto, permitindo ao projetista a escolha daquele que melhor soluciona o problema. Tal escolha pode ser feita com base no custo, por exemplo. No caso do NSGA II a fronteira de Pareto não é apenas a forma de apresentar os resultados, mas também de guiar os caminhos do AG por locais do espaço de soluções, os quais são mais promissores para todos os objetivos. A priorização de soluções não-dominadas e mais espalhadas promoveram uma fronteira de Pareto com soluções melhores do que as obtidas pela função agregada.

6.1.2 Projeto de um Boost CC/CC

A seguir são apresentados os resultados obtidos através da utilização do Sistema POCE para construção de um Boost CC/CC. Os parâmetros de entrada, componentes e tecnologias são conforme a Tabela 11.

Tabela 11 — Parâmetros de entrada, componentes e tecnologias para o projeto do Conversor da topologia Boost CC/CC.

Parâmetro	Valor
Frequência de Comutação (f_s)	5 até 100 de 1 em 1 (kHz)
Ondulação da Corrente de Entrada (Δi)	10 até 80 de 5 em 5 (%)
Potência de Entrada	3000 W
Tensão de Entrada	50 V _{DC}
Tensão de Saída	100 V _{DC}
Temperatura Ambiente	25°C
Temperatura de Junção	150 °C
Densidade de Corrente	420 A/cm ²
Materiais Magnéticos (MMI e MMF)	MPP, HF, Kool M μ
Perfis de Dissipadores (PD)	RURG5060
Conjunto de Chaves (Ch)	HS7624, S6435, HS12123
Conjunto de Diodos (D)	IXKK85N60C, FCH043N60, IXFB110N60P3

São apresentados na Tabela 12 os valores para os projetos de conversores com menores perdas, com menor volume e com perdas e volume ponderados, construídos a partir dos parâmetros de entrada da Tabela 11, considerando-se o algoritmo de varredura completa. Tais dados foram obtidos através de relatório gerado de forma automática pelo sistema POCE, ver Apêndice H.

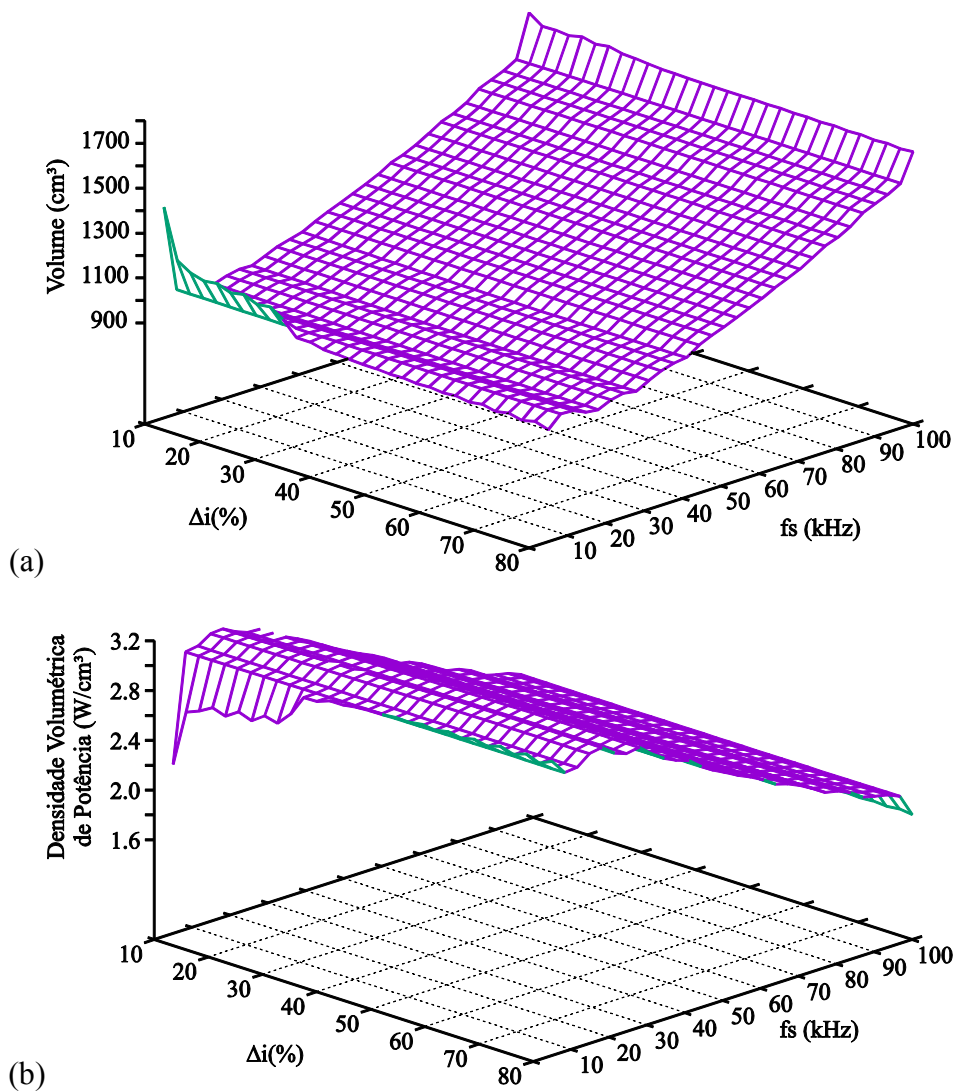
Tabela 12 — Valores obtidos para diferentes projetos de conversores a partir dos dados da Tabela 11.

Var.	Max (η)	Max (ρ)	Max (δ)
Ponto de Operação, Componentes e Tecnologias			
f_s	23 kHz	14 kHz	19 kHz
Δi	65 %	70 %	80 %
MMI	MPP	HF	MPP
D	RURG5060	RURG5060	RURG5060
Ch	FCH043N60	FCH043N60	FCH043N60
PD	7624	12132	12132
Funções Objetivo e Compromissos de Projeto			
η	97,26 %	96,69 %	97,23 %
(L)	82,18 W	99,25 W	83,16 W
ρ	3,18 W/cm ³	3,50 W/cm ³	3,27 W/cm ³
(V)	944,32 cm ³	856,39 cm ³	916,72 cm ³
RC	0,0146	0,0288	0,0146
(C)	205,16 US\$	103,82 US\$	204,29 US\$

A partir dos projetos gerados, que podem ser armazenados no banco de dados, é possível obter diferentes gráficos, tais como os apresentados a seguir. Os projetos considerados para geração dos gráficos apresentados neste tópico obedecem aos parâmetros de construção expostos na Tabela 11.

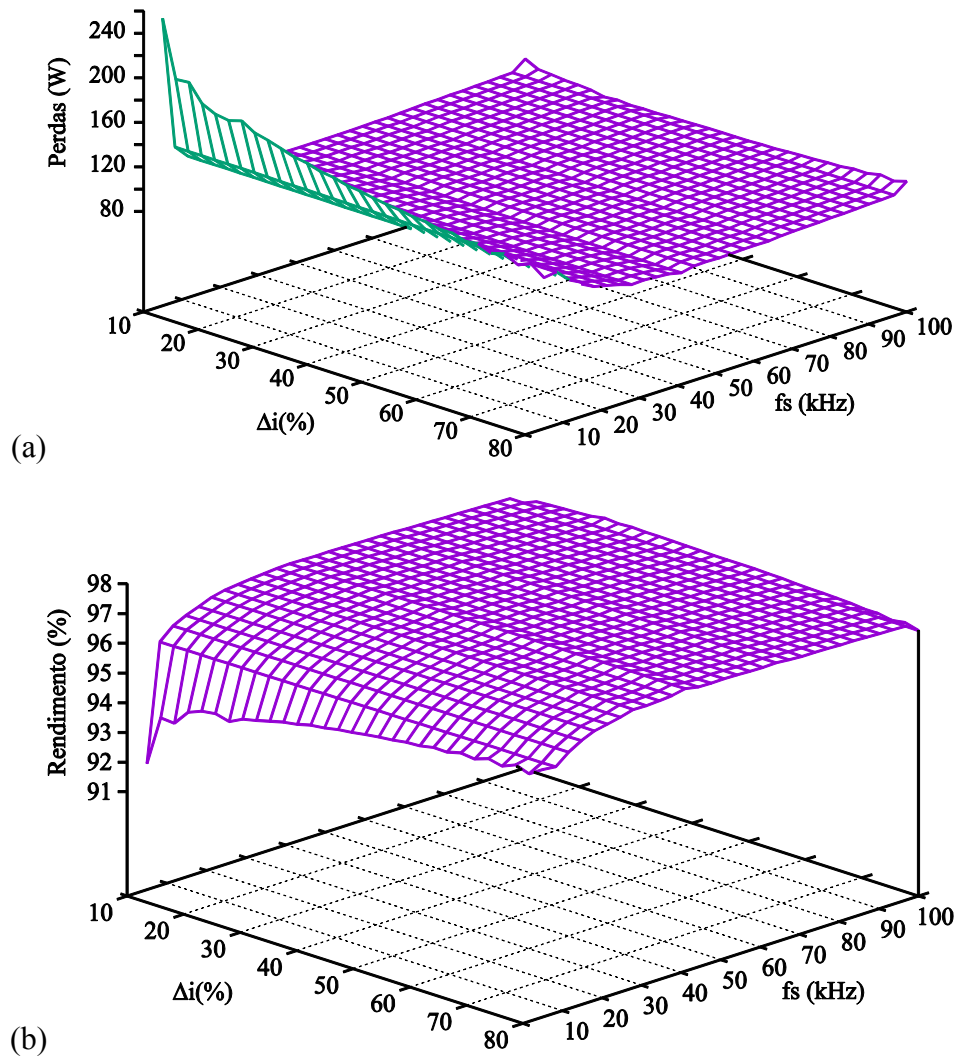
O gráfico da Figura 36 apresenta o comportamento do volume e da densidade volumétrica de potência em função dos pontos de operação para projetos cuja tecnologia do núcleo magnético do indutor é o *High Flux*, o diodo é o de *part number* RURG5060, a chave é a de *part number* FCH043N60 e o dissipador é o de perfil HS12132, se necessário.

Figura 36 — Gráfico de (a) volume e (b) densidade volumétrica de potência em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = HF, D = RURG5060, Ch = FCH043N60 e D = HS12132



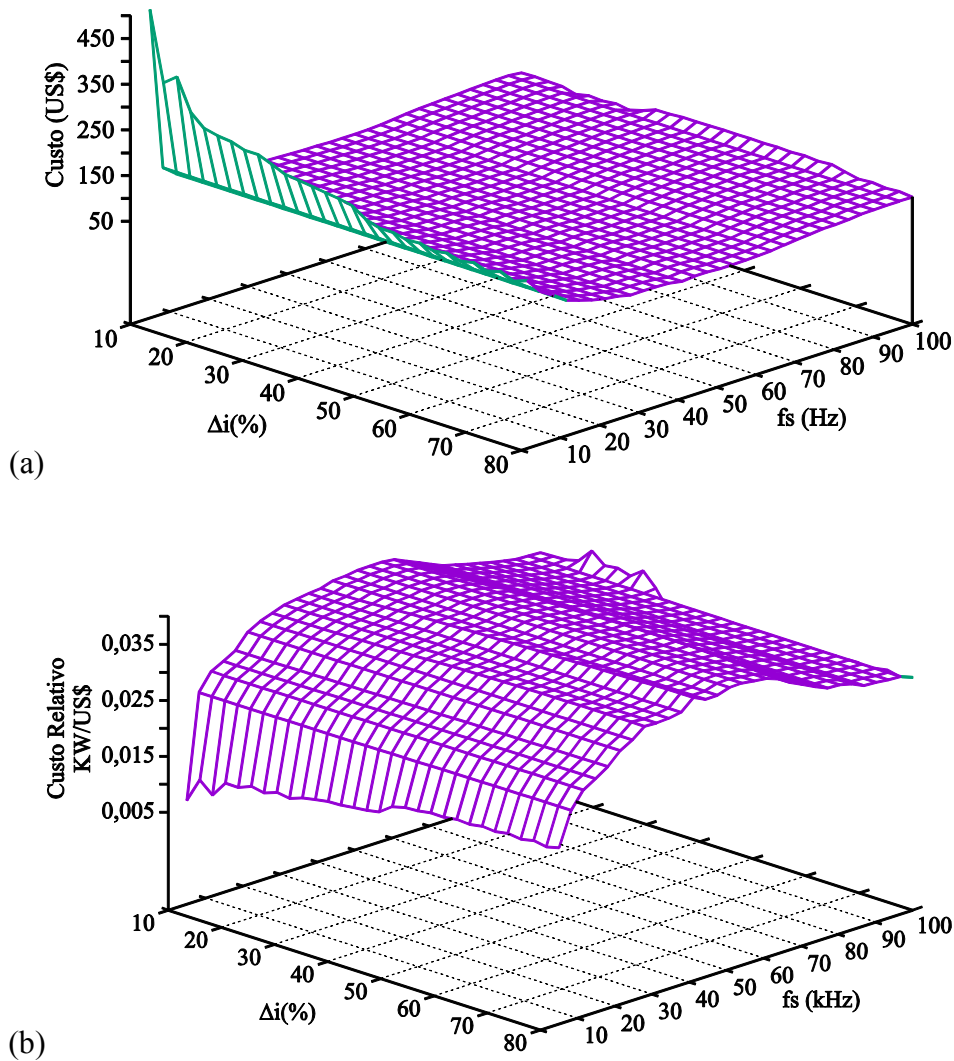
O gráfico da Figura 37 apresenta o comportamento das perdas e do rendimento em função dos pontos de operação para projetos cuja tecnologia do núcleo magnético do indutor é o kool M μ , o diodo é o de *part number* RURG5060, a chave é a de *part number* FCH043N60 o dissipador é o de perfil HS7624, se necessário.

Figura 37 — Gráfico de (a) perdas e (b) rendimento em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = MPP, D = RURG5060, Ch = FCH043N60 e D = HS 7624



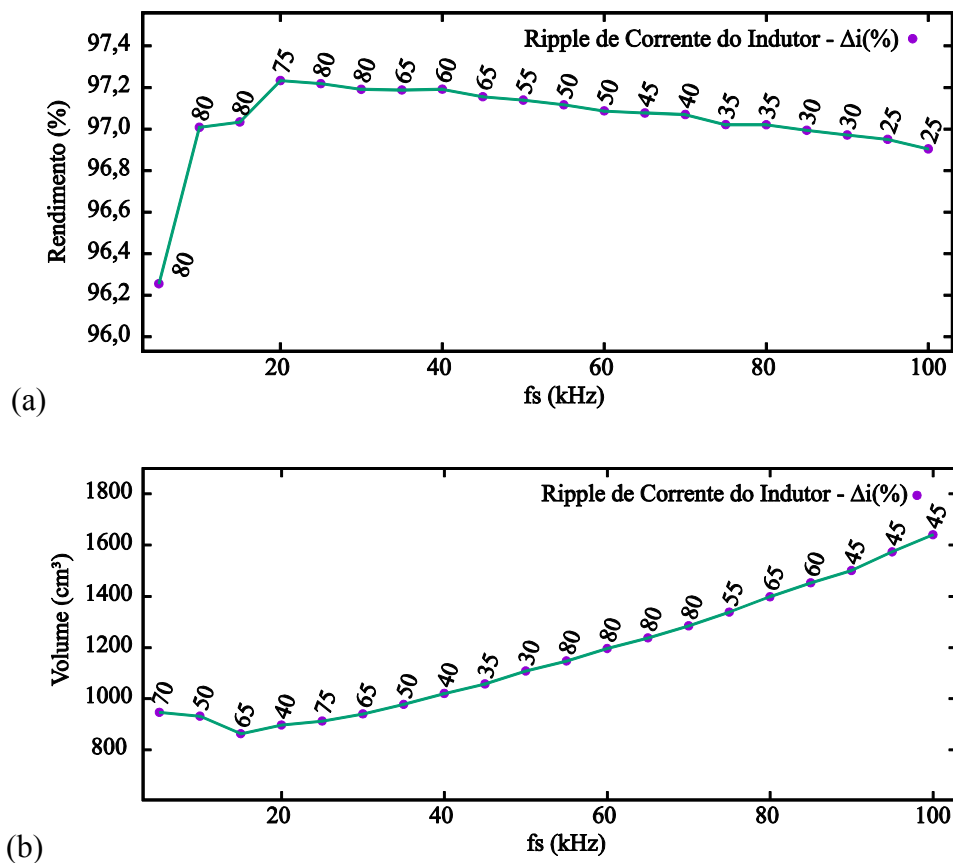
Os gráficos da Figura 38 apresentam o comportamento do custo e dos custos relativos em função dos pontos de operação para projetos cuja tecnologia do núcleo magnético do indutor é o kool $M\mu$, o diodo é o de *part number* RURG5060, a chave é a de *part number* FCH043N60 e o dissipador é o de perfil HS12132, se necessário.

Figura 38 — Gráfico de perdas em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = kool $M\mu$, D = RURG5060, Ch = FCH043N60 e D = HS12132



É possível observar através dos gráficos da Figura 39 o comportamento do (a) rendimento e do (b) volume em função da frequência de comutação. Os maiores rendimentos estão entre as frequências de 20 kHz e 30 kHz. Os menores volumes encontram-se entre os projetos de menores frequências.

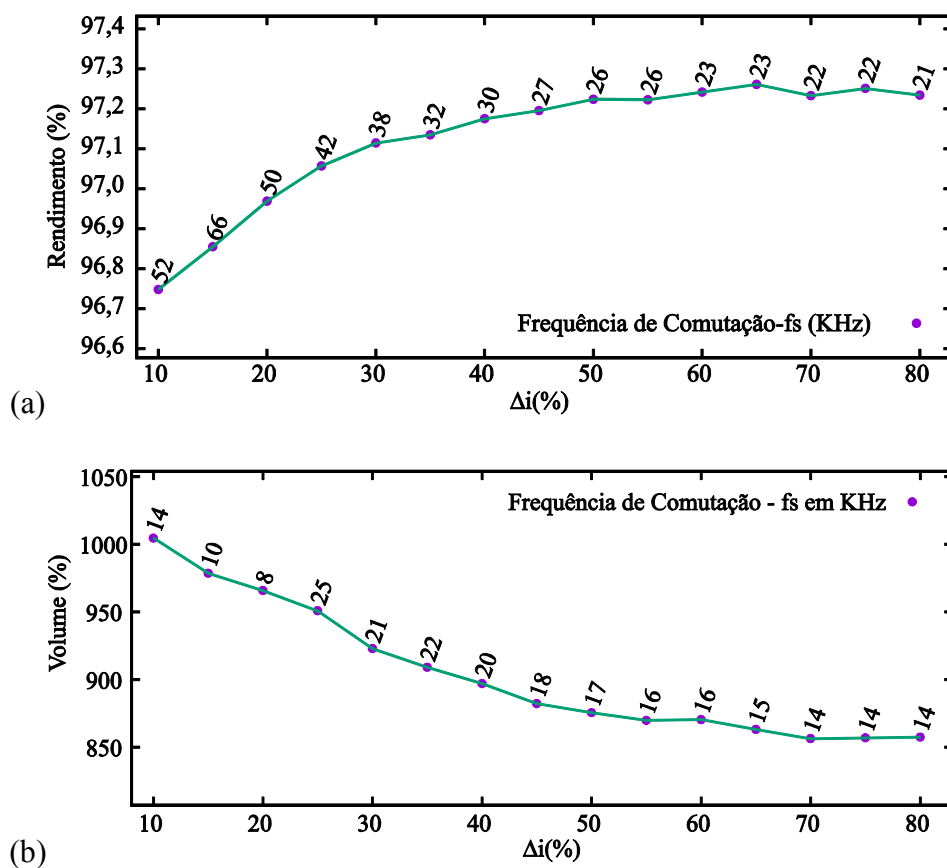
Figura 39 — Gráficos de (a) frequências por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 11.



É possível observar através dos gráficos da Figura 40 o comportamento do (a) rendimento e do (b) volume em função da variação da ondulação da corrente de entrada (*ripple*). Os maiores rendimentos encontram-se entre os maiores *ripples*. Os menores volumes encontram-se entre os projetos de *ripples* menores.

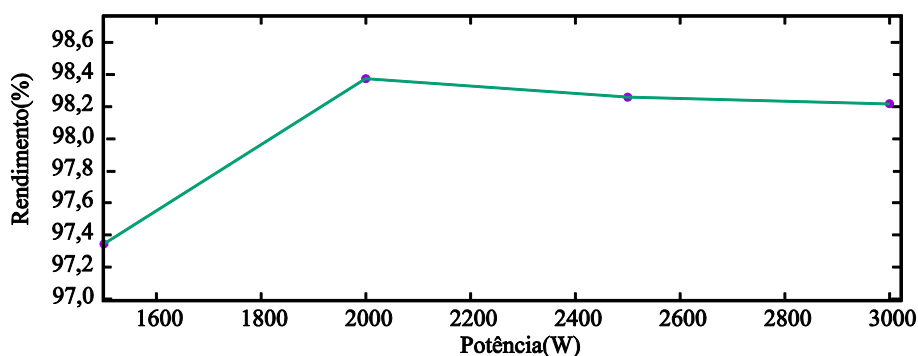
Volume e rendimento em função da frequência de comutação ou do ripple têm comportamentos antagônicos.

Figura 40 — Gráficos de (a) ondulações de corrente de entrada (*ripple*) por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 11.



É possível observar através do gráfico da Figura 41 o comportamento do rendimento em função da variação da potência de entrada para projetos cujos componentes e parâmetros de entrada (exceto a potência de entrada) são os mesmos que os presentes no projeto de melhor rendimento. Melhores rendimentos foram obtidos com potências de entrada inferiores às do projeto de melhor rendimento.

Figura 41 — Gráfico de potência por rendimento para o projeto de melhor rendimento, variando-se a potência de entrada para o projeto de melhor rendimento.



6.1.3 Projeto de um Buck CC/CC

A seguir são apresentados os resultados obtidos através da utilização do Sistema POCE para construção de um Buck CC/CC. Os parâmetros de entrada, componentes e tecnologias são conforme a Tabela 13.

Tabela 13 — Parâmetros de entrada, componentes e tecnologias para o projeto do Conversor da topologia Buck CC/CC.

Parâmetro	Valor
Frequência de Comutação (f_s)	2 até 50 de 1 em 1 (kHz)
Ondulação da Corrente de Entrada (Δi)	10 até 60 de 10 em 10 (%)
Potência de Entrada	180 W
Tensão de Entrada	40 VDC
Tensão de Saída	24 VDC
Temperatura Ambiente	25 °C
Temperatura de Junção	125 °C
Densidade de Corrente	400 A/cm ²
Materiais Magnéticos (MMI e MMF)	MPP, HF, <i>Kool Mμ</i>
Perfis de Dissipadores (PD)	HS 7624, HS 12132, HS 6524
Conjunto de Diodos (D)	15ETH06, CSD06060, IDH065SC5
Conjunto de Chaves (Ch)	IPP50R199CP, IPP50R399CP, IPP65R225C7, IPP65R045C7 IPA60R190P6, IPP60R190P6

São apresentados na Tabela 14 os valores para os projetos de conversores com menores perdas, com menor volume e com perdas e volume ponderados, construídos a partir dos parâmetros de entrada da Tabela 13, considerando-se o algoritmo de varredura completa. Tais dados foram obtidos através de relatório gerado de forma automática pelo sistema POCE, ver Apêndice H.

A partir dos projetos gerados, que podem ser armazenados no banco de dados, é possível obter diferentes gráficos, tais como os apresentados a seguir. Os projetos considerados para geração dos gráficos apresentados neste tópico obedecem aos parâmetros de construção expostos na Tabela 13.

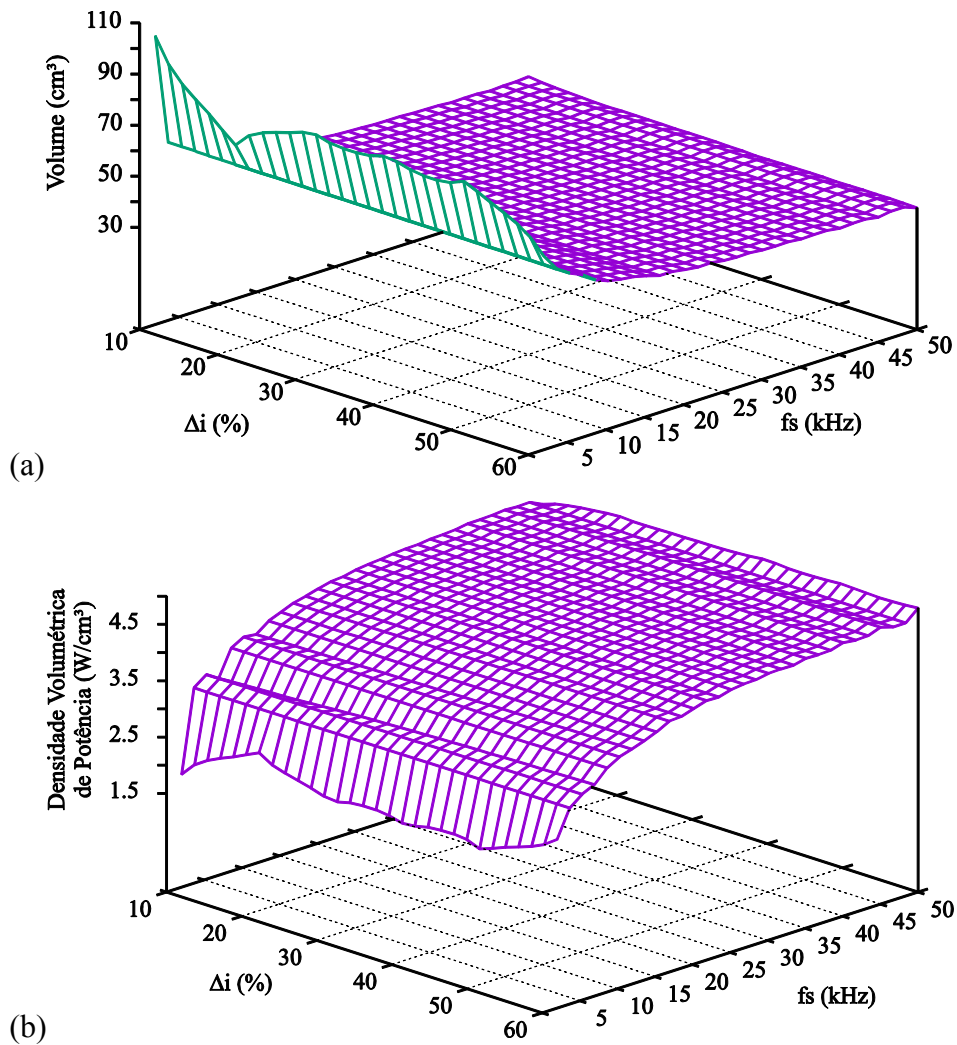
Tabela 14 — Valores obtidos para diferentes projetos de conversores a partir dos dados da Tabela 13.

Var.	Max (η)	Max (ρ)	Max (δ)
Ponto de Operação, Componentes e Tecnologias			
f_s	2 kHz	49 kHz	30 kHz
Δi	50 %	60 %	60 %
MMI	MPP	HF	HF
D	15ETH06	15ETH06	15ETH06
Ch	IPP65R045C7	IPP65R045C7	IPP65R045C7
PD	-	-	-
Funções Objetivo e Compromissos de Projeto			
η	96,14 %	92,89 %	96,50 %
(L)	6,95 W	12,79 W	7,11 W
ρ	2,10 W/cm ³	4,96W/cm ³	3,25 W/cm ³
(V)	85,80 cm ³	36,28 cm ³	55,30 cm ³
RC	0,0016 W/US\$	0,0073 W/US\$	0,0046 W/US\$
(C)	111,26 US\$	23,44 US\$	38,57 US\$

O gráfico da Figura 42 apresenta o comportamento do volume em função dos pontos de operação para projetos cuja tecnologia do núcleo magnético do indutor é o MPP, o diodo é

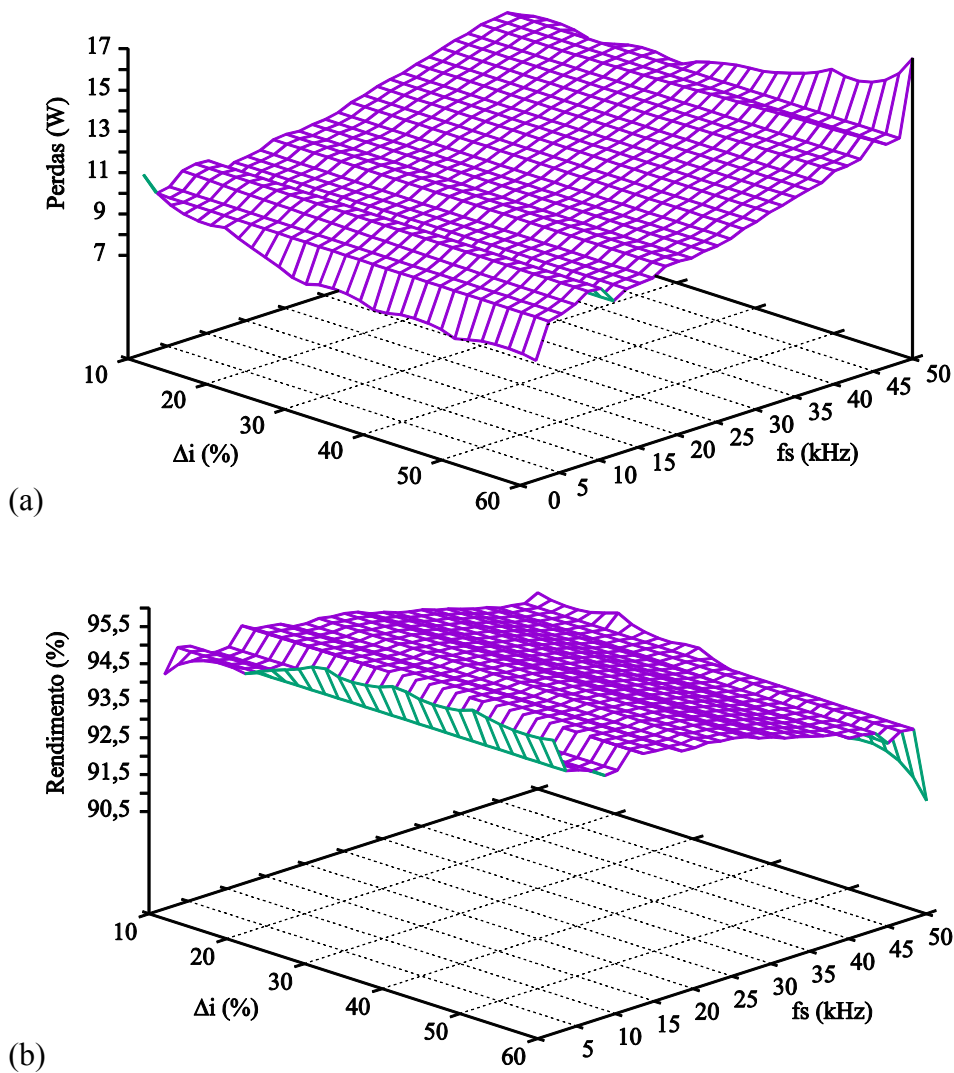
o de part number 15ETH06, a chave é a de part number IPP65R045C7 e o dissipador é o de perfil HS7624, se necessário.

Figura 42 — Gráfico de (a) volume e (b) densidade volumétrica de potência em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = MPP, D = 15ETH06, Ch = IPP65R045C7 e D = HS7624



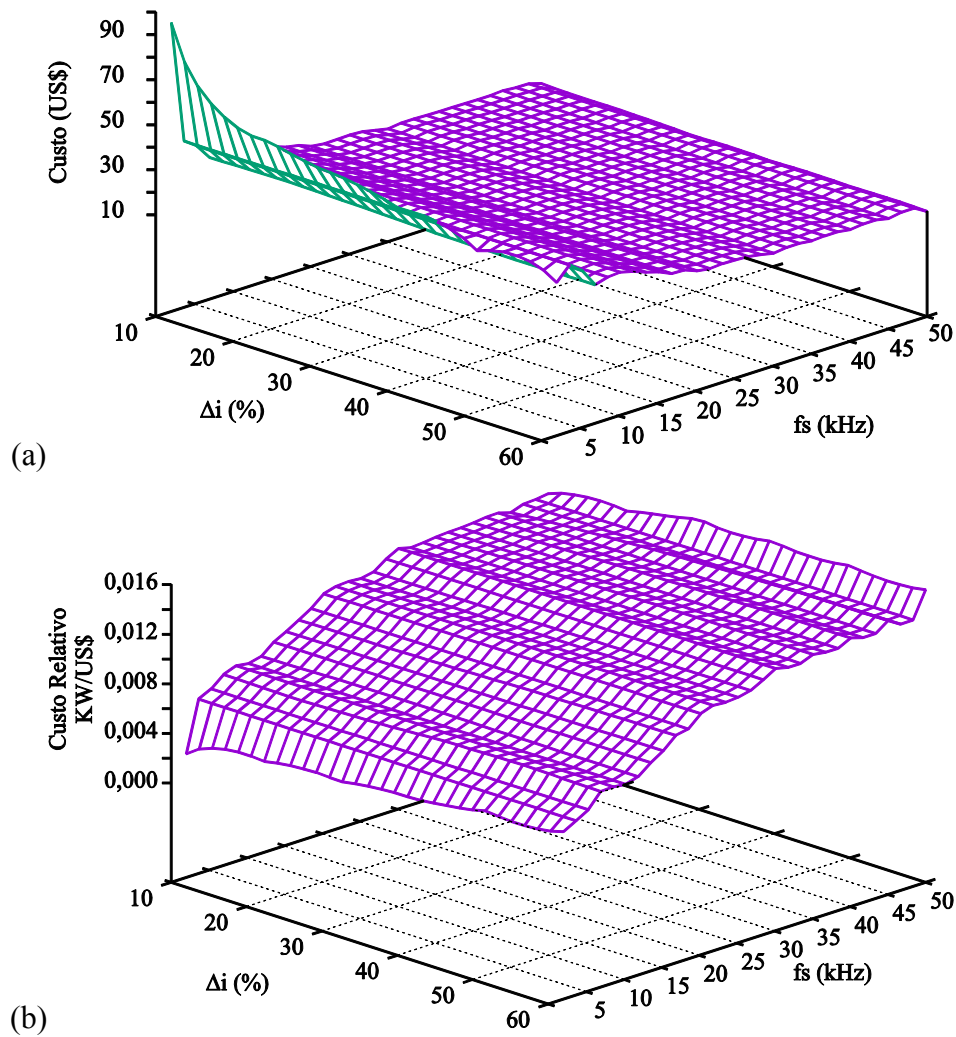
O gráfico da Figura 4 apresenta o comportamento das perdas em função dos pontos de operação para projetos cuja tecnologia do núcleo magnético do indutor é o HF, o diodo é o de *part number* 15ETH06, a chave é a *de part number* IPP65R045C7 e o dissipador é o de perfil HS7624, se necessário.

Figura 43 — Gráfico das (a) perdas e (b) rendimento em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = HF, D = 15ETH06, Ch = IPP65R045C7 e D = HS7624, se necessário



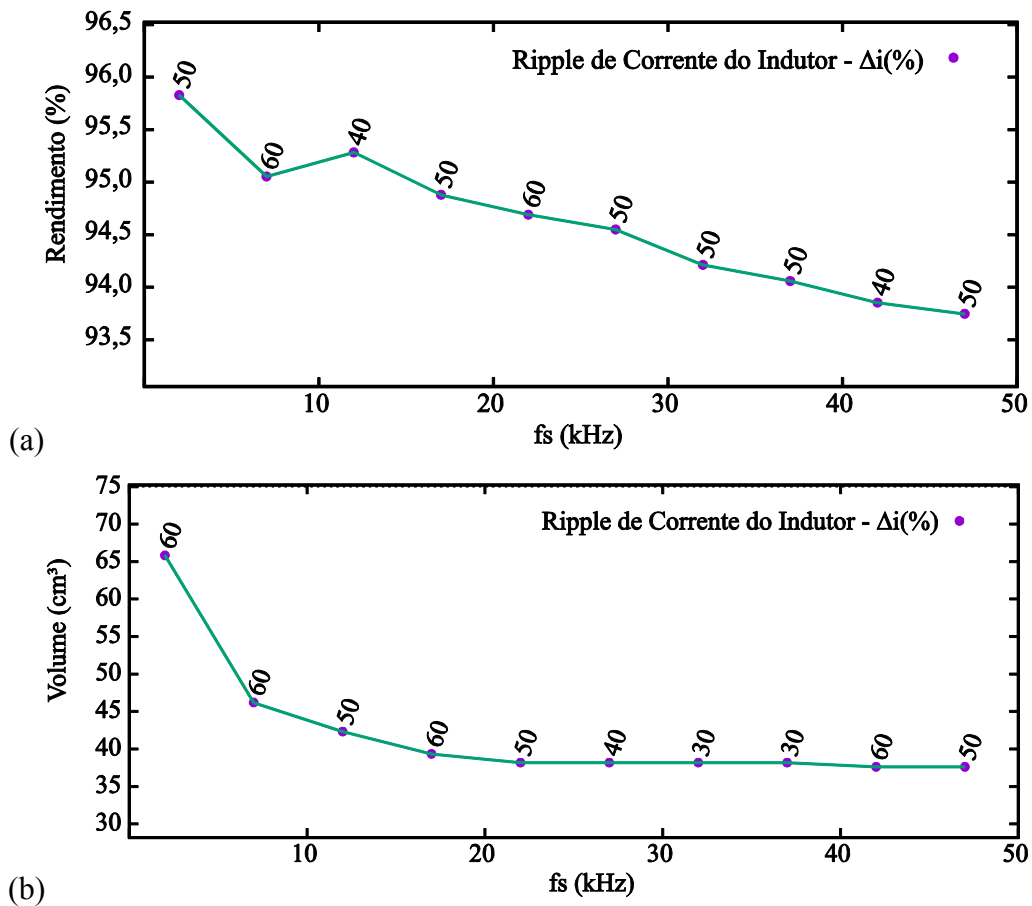
Os gráficos da Figura 44 apresentam o comportamento do custo e dos custos relativos em função dos pontos de operação para projetos cuja tecnologia do núcleo magnético do indutor é o Kool M μ , o diodo é o de *part number* 15ETH06, a chave é a de *part number* IPP60R190P6 e o dissipador é o de perfil HS7624, se necessário.

Figura 44 — Gráfico do (a) custo e (b) custo relativo em função do ponto de operação, considerando-se os parâmetros de entrada da Tabela 3, MMI = Kool M μ , D = 15ETH06, Ch = IPP65R190P6 e D = HS7624



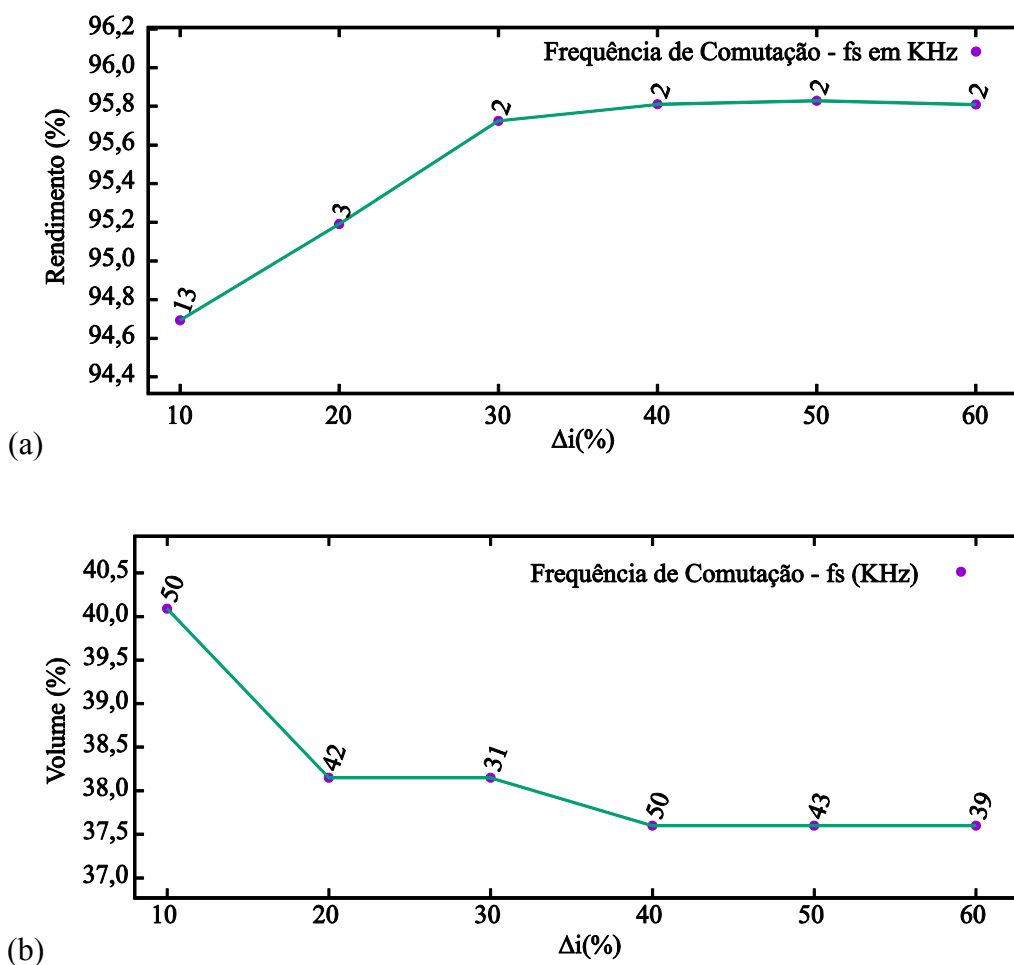
É possível observar através dos gráficos da Figura 45 o comportamento do (a) rendimento e do (b) volume em função da frequência. O rendimento diminui com o aumento da frequência, já o volume apresentou uma queda mais acentuada para valores de frequência inferiores à 20k, depois permaneceu estável.

Figura 45 — Gráficos de (a) frequências por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 13.



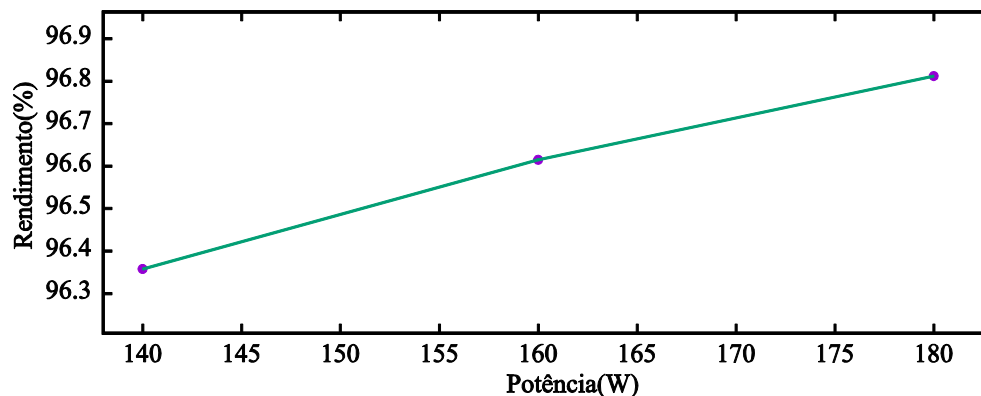
É possível observar através dos gráficos da Figura 46 o comportamento do (a) rendimento e do (b) volume em função da variação da ondulação da corrente de entrada (*ripple*). Volume e rendimento tem comportamentos contrários, pois observa-se que à medida que o *ripple* aumenta, o volume diminui e o rendimento aumenta.

Figura 46 — Gráficos de (a) ondulações de corrente de entrada (*ripple*) por melhores rendimentos e (b) por menores volumes, considerando-se todos os projetos possíveis a partir da Tabela 13.



É possível observar através do gráfico da Figura 47 o comportamento do rendimento em função da variação da potência de entrada para projetos cujos componentes e parâmetros de entrada (exceto a potência de entrada) são os mesmos que os presentes no projeto de melhor rendimento. Melhores rendimentos foram obtidos com potências de entrada inferiores às do projeto de melhor rendimento.

Figura 47 — Gráfico de potência por rendimento para o projeto de melhor rendimento, variando-se a potência de entrada para o projeto de melhor rendimento.



6.2 DESEMPENHO DO PROTÓTIPO

6.2.1 Desempenho do Algoritmo Tradicional

Para avaliar o desempenho do sistema POCE com respeito ao algoritmo de varredura completa, foi feita uma comparação entre o programa desenvolvido (usando MATLAB®) em Sartori (2013) e o protótipo (implementado em Java) do sistema POCE, considerando os mesmos dados de entrada, componentes, tecnologias e topologia. A Tabela 15 mostra que o software implementado no MATLAB® leva 10 '43' '' para criar 324 projetos, enquanto o protótipo do sistema POCE leva 3' 23' '' para criar 972 projetos.

Tabela 15 — Parâmetros e resultados dos testes de execução

Variáveis	Projeto de Conversores Sartori (2013)	Protótipo Sistema POCE
Linguagem de Implementação	MATLAB®	Java
Banco de Dados	Nenhum	PostgreSQL
Número total de projetos gerados	324	972
Tempo total de execução	10' 43''	3' 23''
Tempo médio por projeto	≅ 2''	≅ 0,20''

Os resultados da execução do teste indicam que o sistema implementado em Java é cerca de dez vezes mais rápido que o sistema implementado no MATLAB®. Tais testes

foram realizados em um Processador Intel® Core™ i5-2520M CPU @ 2.50GHz 2:50 GHz, 4GB RAM e Sistema Operacional Windows 7 Professional 64-bits. A tecnologia e os componentes mostrados na Tabela 3 foram utilizados, porém o número de pontos de operação explorados foi reduzido. Tal constatação confirma a afirmação de Burkart (2016), a qual diz que a principal desvantagem das implementações realizadas em MATLAB® são tempos de execução lentos, já que o código MATLAB® é interpretado, não é compilado em código binário nativo, para posterior (e mais eficiente) execução. Para compensar tal desvantagem, Burkart (2016) utiliza código C incorporado ao MATLAB. Aqui utilizamos o código integralmente na linguagem Java.

Deve-se ainda considerar que o número de projetos gerados por ponto de operação no programa em Java, que usa o algoritmo de varredura completa, é o triplo do número de projetos gerados pelo programa em MATLAB® Sartori (2013). Este fato é devido ao programa em Java combinar em um mesmo projeto diferentes tecnologias de núcleo de indutor com diferentes tecnologias de núcleo de indutor de filtro. Tal combinação não é realizada no programa implementado em Sartori (2013), onde uma vez adotada uma tecnologia para o núcleo do indutor em um projeto, esta mesma tecnologia será usada no núcleo do indutor do filtro para este mesmo projeto.

Além disso, o protótipo do sistema POCE possui a vantagem adicional de incluir um banco de dados para armazenar os projetos de conversores gerados. Assim, uma vez que o projeto tenha sido gerado, suas características estarão disponíveis para consultas e comparações em um tempo futuro.

6.2.2 Desempenho dos AGs

Para realizar os testes de execução do AG, migrou-se para uma plataforma superior a anteriormente usada e também se realizou algumas adaptações na implementação do sistema POCE, como a conversão da complexa classe Conversor para a classe Projetos de Conversores (Ver Apêndice B), a introdução de mecanismos de ordenação em paralelo, entre outros. A nova plataforma é composta de um processador Intel® Core™ i7-4510U CPU @2.00GHz 2.60 GHz, 8GB RAM e Sistema Operacional Windows 10 Professional 64-bit.

A Tabela 16 contém o número de projetos explorados por cada um dos diferentes algoritmos do sistema POCE, bem como o tempo de execução de cada um deles.

O número de projetos realizados pelo algoritmo de varredura completa (186624) é resultante das possíveis combinações entre: 384 pontos de operação, 3 tecnologias de

materiais magnéticos para núcleo de indutor, 3 diodos, 6 chaves, 3 perfis de dissipador e 3 tecnologias de materiais magnéticos para núcleo de indutor de filtro.

O número de projetos pesquisados pelo AG é 896 indivíduos. Destes 896 indivíduos, 280 compuseram a população inicial, 560 são oriundos do cruzamento e outros 56 são provenientes da mutação.

Tabela 16 — Número de projetos e tempos de execução dos diferentes algoritmos do sistema POCE

Algoritmo	Número total de projetos gerados	Tempo total de execução	Tempo médio por projeto
Varredura Completa	186624	4h27'30''	0,086002''
AG com função Objetivo Max (η_{Conv})	896	5'50''	0,390625''
AG com função Objetivo Max (ρ_{Conv})	896	5'50''	0,390625''
AG com função Objetivo Max (δ_{Conv})	896	6'22''	0,426339''
NSGA II	896	5'53''	0,393973''

O tempo de execução de cada um dos AGs foi, em média, de 5'58''. O algoritmo tradicional do sistema POCE levaria aproximadamente 4h27'30''. É necessário considerar que 3 AGs devem ser usados para fornecer as 3 respostas (ponderado, menores perdas e menor volume) obtidas pelo algoritmo de varredura completa. Desta forma, o tempo total necessário para que se encontre as tais três respostas com o uso dos AGs é de pelo menos 17'33''. Assim, é possível dizer que o tempo de pesquisa foi reduzido pelos AGs em pelo menos 93,44 % daquele utilizado pelo algoritmo de varredura completa.

O tempo por projeto para os AGs é superior ao tempo por projetos do algoritmo de varredura completa porque a execução dos AGs requer a execução de rotinas custosas de ordenação e além disso há gastos tempo para seleção de cromossomos, cruzamentos e mutação.

Quanto aos tempos de execução gastos pelos AGs, observou-se um ganho expressivo de ambos em relação ao algoritmo tradicional de varredura completa utilizado pelo sistema POCE, considerando-se que todas as execuções foram realizadas em uma mesma plataforma.

Observou-se um tempo maior para execução do AG com função Objetivo Max (δ_{Conv}) em relação ao tempo gasto pelo NSGA II. Tal fato contraria a citação de Coelho (2000) anteriormente realizada, a qual diz que uma função ponderada que agrega diferentes objetivos é um método computacionalmente mais eficiente que os demais. Isto ocorreu porque o cálculo da função ponderada δ_{Conv} , exige, a cada geração, que se encontrem os mínimos e os máximo para os valores de rendimento e densidade volumétrica de potência, e também se recalcule os valores de aptidão de todos os indivíduos da população. Uma função objetivo mais simples reduzirá, muito provavelmente, este tempo, resultando em uma maior eficiência computacional.

6.3 CONCLUSÃO

O presente capítulo exemplificou o uso protótipo do Sistema POCE, através da construção de projetos de conversores estáticos, a fim de fornecer uma visão concreta das facilidades e vantagens da utilização do sistema. Foram exemplificados projetos para os três tipos de topologia de conversores disponíveis no sistema: Boost PFC, Boost CC/CC, Buck CC/CC. Sendo que para a topologia Boost PFC foram implementados diferentes tipos de algoritmos genéticos. Os resultados, obtidos através de gráficos e relatórios, são de fácil entendimento e propiciam ao projetista uma visão das diferentes combinações de tecnologias e componentes disponíveis para a construção de conversores estáticos. Além disso, foram abordados aspectos relativos ao desempenho dos algoritmos em testes de execução. Os testes indicaram que o protótipo do Sistema POCE, objeto deste trabalho, apresenta desempenho geral superior ao programa que serviu de base para sua construção Sartori (2013). Ainda, a utilização dos algoritmos genéticos propicia buscas por áreas do espaço de soluções mais promissoras, evitando visitar todo o espaço, desta forma, tais algoritmos são capazes de oferecer rapidamente boas opções de solução para o problema de projetar conversores.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma tecnologia computacional, chamada de Sistema POCE (Projetos Otimizados de Conversores Estáticos), para realizar de forma rápida e eficaz o projeto otimizado de conversores estáticos visando atender requisitos de perdas, volume e custo. O foco do trabalho foi o pré-dimensionamento dos principais dispositivos de potência do conversor, onde cada projeto é realizado de forma global, tendo como referência o ponto de operação ($\Delta i @ fs$), onde Δi é a ondulação da corrente de entrada e fs é a frequência de comutação, conforme explorado em Sartori (2013).

Para atingir o objetivo acima exposto pesquisou-se sobre os conceitos básicos e questões relativas ao projeto de conversores estáticos, bem como sobre o estado da arte das pesquisas realizadas em relação ao projeto otimizado de conversores estáticos. Foi possível observar que boa parte das pesquisas realizadas na área tem foco na otimização dos componentes individuais do conversor e, além disso, são desenvolvidas para objetivos ou domínios específicos. Aqueles que trabalham com domínios um pouco mais amplos, oferecem respostas no formato de fronteira de Pareto. Há trabalhos que empregam algoritmos metaheurísticos para obtenção de resultados e, entre estes, os algoritmos evolutivos são os mais usados. Os softwares usados para realizações dos projetos são de cunho genérico, tais como MATLAB, e não especificamente para o propósito de projetar um conversor. Alguns autores mencionam o uso de um banco de dados, mas não há citações sobre a utilização de um SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados).

O passo seguinte foi a escolha da metodologia e das ferramentas/tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do Sistema de Projetos Otimizados de Conversores Estáticos – POCE. O uso da Prototipação Evolucionária, como metodologia para o desenvolvimento software, foi devido ao domínio complexo ao qual pertence o problema, permitindo que uma implementação simples e inicial evolua para uma mais complexa e detalhada. Escolheu-se também o UML 2, como linguagem para modelagem do sistema e o Astah Professional 6.8.0, como ferramenta case para criação dos modelos do sistema e do banco de dados. Tais ferramentas estão associadas às linguagens orientadas a objetos, amplamente difundidas e utilizadas no desenvolvimento de sistemas. Já para as implementações utilizou-se o Java SE 8 e Neatbeans IDE 8.2, como linguagem e ambiente de programação e o PostgreSQL 9.2.4 e pgAdmin III 1.16.1, como sistemas de gerenciamento de bando de dados e interface gráfica para operação do SGBD. Utilizou-se o pacote de classes OrmLite para realizar a conversão dos objetos da aplicação Java, para os dados a serem persistidos pelo PostgreSQL. Os

gráficos foram construídos com o auxílio da ferramenta Gnuplot, chamada implicitamente pelo sistema.

Foi desenvolvido um protótipo de um sistema computacional, denominado Sistema POCE (Projetos Otimizados de Conversores Estáticos), onde o projeto de um conversor estático é realizado a partir da escolha da topologia, da seleção dos parâmetros de construção e de um banco de dados de componentes. O protótipo desenvolvido permite que sejam gerados conversores das topologias Boost PFC, Boost CC/CC, Buck CC/CC. Os parâmetros iniciais são Potência de Entrada, Tensão de Entrada, Tensão de Saída, Frequência da Rede (somente para Boost PFC), Temperatura Ambiente, Temperatura de Junção, Densidade de Corrente, Topologia do Filtro (somente para Boost PFC), valores iniciais e finais para intervalos de Frequência de Comutação e de Ondulação de Corrente de Entrada do Indutor. Os projetos de conversores da topologia Boost PFC podem ser, opcionalmente, realizados através de algoritmos genéticos, economizando-se tempo de execução sem penalizações proibitiva com respeito aos resultados obtidos. Os componentes estão organizados em um banco de dados e são núcleos magnéticos, diodos, chaves e dissipadores de calor. O protótipo apresenta como resultados três projetos de conversores: conversor de menor volume, conversor de menores perdas, conversor com perdas e volume ponderados. Também são apresentados os custos para tais projetos. O usuário poderá consultar todos os projetos gerados pelo protótipo em formato de tabelas de dados, relatório PDF ou gráficos.

O uso protótipo do Sistema POCE permite a construção de projetos de conversores estáticos, bem como a visualização de projetos anteriormente criados. Foram exemplificados projetos para os dois tipos de topologia de conversores disponíveis no sistema: Boost PFC, Boost CC/CC e Buck CC/CC. Os resultados, obtidos através de gráficos e relatórios, são de fácil entendimento e propiciam ao projetista uma visão das diferentes combinações de tecnologias e componentes disponíveis para a construção de conversores estáticos. Além disso, foram abordados aspectos relativos ao desempenho do sistema em testes de execução. Os testes indicaram que o protótipo do Sistema POCE, quanto ao desempenho do algoritmo de varredura completa, apresenta desempenho geral superior ao programa que serviu de base para sua construção Sartori (2013), sendo 10 vezes mais rápido que este. Já, com respeito aos algoritmos genéticos implementados no sistema POCE, obteve-se uma redução de tempo, em relação ao algoritmo de varredura completa, de pelo menos 93,44 %. Tal redução de tempo é possível devido à redução do espaço de soluções pesquisadas para regiões mais prósperas.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Sabendo-se que um sistema computacional é passível de manutenções, sejam corretivas ou incrementais, tem-se como perspectivas trabalhos futuros:

- Automatizar a seleção da topologia a se ser usada no projeto de conversores, apresentando ao projetista a opção mais promissora.
- Incluir novas topologias, as quais devem ser estudadas, analisadas e validadas.
- Incluir *snubbers*, grampeadores, circuitos de comutação e de comutação suave nos projetos de conversores.
- Permitir a associação em série e paralelo das topologias já implementadas.
- Estender a utilização dos AGs para todas as topologias.
- Ampliar a base de dados de componentes e tecnologias.
- Considerar faixas de variações de densidade de corrente (J) para um mesmo projeto, da mesma forma como é feito para frequência de comutação e a ondulação da corrente de entrada.

REFERÊNCIAS

- ASTAH. Disponível em: <<http://astah.net/tutorials/astah%20professional%20reference%20manual.pdf>> Acesso em: 23 de dezembro de 2014.
- BARBI, I. **Eletrônica de Potência**. 5ed. Florianópolis: Ed. do Autor, 2005. Disponível em: <<http://www.ivobarbi.com/PDF/livros/PotI/PotI.pdf>>. Acesso em: dezembro de 2014.
- BELTRAME, F. et al. **Design methodology to improve the converters' efficiency applied to photovoltaic systems**. Industrial Electronics Society, in Proc. of IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE. Pages: 1397 - 1403, DOI: 10.1109/IECON.2014.7048684. IEEE Conference Publications 24
- BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **The Unified Modeling Language User Guide**. Massachusetts: Addison-Wesley Professional, 2005.
- BURKART, Ralph M. **Advanced Modeling and Multi-Objective Optimization of Power Electronic Converter Systems**. 2016. Thesis – ETH Zurich. Power Electronic systems Laboratory. Supervisor: Johann W. Kolar and Hans-Peter Nee.
- BUSQUETS-MONGE, S. **Application of Optimization Techniques to the Design of a Boost Power Factor Correction Converter**. Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. July 2, 2001. Blacksburg, Virginia
- Catálogo HS Dissipadores**. Versão 2011. Disponível em: <www.hsdissipadores.com.br>. Acesso em: janeiro de 2014.
- CHEN, P. **Modelagem de dados: a abordagem entidade-relacionamento para projeto lógico**. Trad. Cecília Camargo Bartalotti. São Paulo: Makron Books, 1990.
- COELHO, C.A. **An updated survey of GA-based multiobjective optimization techniques**. 2002. ACM Computing Surveys (CSUR) 32 (2), 109-143.
- DAMASCENO, D. M.S. **Metodologia de Projeto de Conversores Boost para Correção de Fator de Potência Aplicada a Sistemas Ininterruptos de Energia**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2006.
- DEB, K.; PRATAB, A.; AGRAWAL, S.; MEYARIVAN, T. **A fast elitist nondominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II**, IEEE Trans. Evol. Comput., 2002, 6, (2), p. 17
- De LÉON-ALDACO, S.E.; CALLEJA, H.; ALQUICIRA J. A. **Metaheuristic Optimization Methods Applied to Power Converters: A Review**. IEEE Transactions On Power Electronics, VOL. 30, NO. 12, DECEMBER 2015, DOI 10.1109/TPEL.2015.2397311
- DI GIACOMO, M. (2005). **MySQL: Lessons learned on a digital library**. IEEE Software, 22, 10–13. DOI:10.1109/MS.2005.71
- ECLIPSE LUNA**. Disponível em: <<https://eclipse.org/>>. Acesso em: 23 de dezembro de 2014.

EJJABRAOUI, K.; LAROUCI, C.; LEFRANC, P.; MARCHAND, C. **A new pre-sizing approach of dc-dc converters, application to a Boost converter for the automotive domain**. 2009. IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference), 3767–3772. doi:10.1109/IECON.2009.5415375

EJJABRAOUI, K.; LAROUCI, C.; LEFRANC, P.; MARCHAND, C. **Presizing Methodology of DC-DC Converters Using Optimization Under Multiphysic Constraints: Application to a Buck Converter**. 2012. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 59(7), 2781–2790. DOI:10.1109/TIE.2011.2162210.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço energético nacional 2016: ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

ENGINEERING, S.; COMMITTEE, S. **IEEE Guide for CASE Tool Interconnections — Classification and Description IEEE Standards**, 2002 (February).

ENTERPRISE ARCHITECT. Enterprise Architect User Guide. Disponível em: <http://www.sparxsystems.com/enterprise_architect_user_guide/11/index.html>. Acesso em: 23 de dezembro de 2014.

ERICKSON, R. W. **Fundamentals of Power Electronics**. Second Edition. Secaucus, NJ, USA: Kluwer Academic Publishers, 2000.

FIREBIRD. Disponível em: <<http://www.firebirdsql.org/>> Acesso em: 23 de dezembro de 2014.

GNUPLOT. (2016). Disponível em: <<http://www.gnuplot.info/>>. Acesso em: 31 de maio de 2016.

GOLDBERG, D. E. **Genetic algorithms in search, optimization & machine learning**. [S.l.]: Addison-Wesley, 1989.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energias renováveis: um futuro sustentável**. REVISTA USP, São Paulo, n.72, p. 6-15, dezembro/fevereiro 2006-2007.

HERTZ, E. Thermal and EMI Modeling and Analysis of a Boost PFC Circuit Designed Using a Genetic-based Optimization Algorithm. Thesis submitted to the faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University. July 24, 2001, Blacksburg, VA.

HEUSER, C. A. **Projeto de banco de dados**. 3ed. Porto Alegre: Sagra-Luzzatto, 2000 (Série Livros Didáticos; Número 4).

HOLLAND, J. **Adaptation in natural and artificial systems**. Ann Arbor: Univ. of Michigan Press, 1975.

IBM RATIONAL ROSE. Disponível em: <ftp://public.dhe.ibm.com/software/rational/web/datasheets/rose_ds.pdf>. Acesso em: 23 de dezembro de 2014.

IREPORT. Disponível em: < <https://community.jaspersoft.com/>>. Acesso em: 10 julho de 2014.

JASPERREPORT. Disponível em: < <https://community.jaspersoft.com/>>. Acesso em: 10 julho de 2014.

JAVA 8 SE. Disponível em: < <http://www.oracle.com/technetwork/java/index.html>>. Acesso em: 10 julho de 2014.

JFREECHART. Disponível em <http://www.jfree.org/jfreechart/>>. Acesso em: 10 julho de 2014.

JMATHARRAY. Disponível em: < <https://code.google.com/p/jmatharray/>>. Acesso em: 10 julho de 2014.

JMATHPLOT. Disponível em: < <https://code.google.com/p/jmathplot/>>. Acesso em: 10 julho de 2014.

LAROUCI, C.; BOUKHNIFER, M.; CHAIBET, A. **Design of Power Converters by Optimization Under Multiphysic Constraints: Application to a Two-Time-Scale AC/DC-DC Converter**. 2010. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 57(11), 3746–3753. DOI:10.1109/TIE.2010.2041134

MAGNETICS: Powder cores design manual and catalog. 2015. Disponível em: < <https://www.mag-inc.com/getattachment/Design/Design-Guides/2015-Magnetics-Powder-Core-Catalog.pdf?lang=en-US>>. Acesso em 23 de dezembro 2014.

MANNINO M.Y. **Projeto, desenvolvimento de aplicações e administração de banco de dados**. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

MATLABCONTROL. Disponível em: < <https://code.google.com/p/matlabcontrol/>>. Acesso em: 10 julho de 2014.

MEZA, G. R. **Controller Tuning by Means of Evolutionary Multiobjective Optimization: a Holistic Optimization Design Procedure**. 2014. PhD dissertation - Universitat Poliècnica de València. Instituto Universitário de Automática e Informática Industrial. Supervisor: Xavier Blasco Ferragud and Javier Sanchis Saez.

MITCHELL, M. **An introduction to genetic algorithms**. Cambridge: MitPress. 1997. 207 p

MYSQL. Disponível em: < <http://www.mysql.com/>>. Acesso em: em 23 de dezembro de 2014.

NETBEANS. Disponível em: < <https://netbeans.org/>>. Acesso em: 23 de dezembro de 2014.

NEUGEBAUER, T. C. **Computer-Aided Design and Optimization of DC/DC Power Converters**. Thesis submitted to the Department of Electrical Engineering and Computer Science at the Massachusetts Institute of Technology, September, 1999.

ORACLE DATABASE. Disponível em: < <https://www.oracle.com/database/index.html>>. Acesso em: 23 de dezembro de 2014.

ORMLITE. Disponível em: <<http://ormlite.com>>. Acesso em: junho de 2016.

PGADMIN. Disponível em: < <http://www.pgadmin.org/>>. Acesso em: 10 julho de 2014.

PIVETTA, L. C.; SARTORI, H. C.; PINHEIRO, J. R. **Sistema de Projetos Otimizados de Conversores Estáticos (POCE): Projetos De Conversores do Tipo Boost PFC.** In: 9º Seminário de Eletrônica de Potência e Controle - SEPOC 2015, 2015, Santa Maria RS.

PIVETTA, L. C.; SARTORI, H. C.; PINHEIRO, J. R. **Advanced Design System for Power Converters – ADPC.** 2015, in Proc. of COBEP/SPEC - IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference. Pages: 1 - 6, DOI: 10.1109/COBEP.2015.7420213.

PIVETTA, L. C.; SARTORI, H. C.; PINHEIRO, J. R. **Designing power converters based on trade-offs and constrains.** 2016, in Proc. of IECON - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Pages: 3709 - 3714, DOI: 10.1109/IECON.2016.7794001
IEEE Conference Publications

PIVETTA, L. C.; SARTORI, H. C.; PINHEIRO, J. R.. **Development of a Computational Framework for Pre-sizing of Power Converters.** Journal of Control, Automation and Electrical Systems, v. 1, p. 1-9, 2016, DOI:10.1007/s40313-016-0292-9

POSTGRESQL. Disponível em: < <http://www.postgresql.org/>>. Acesso em: 23 de dezembro de 2014.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de software.** 6ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RAGGL, K.; NUSSBAUMER, T.; DOERIG, G.; BIELA, J.; KOLAR, J.W. **Comprehensive Design and Optimization of a High-Power-Density Single-Phase Boost PFC.** 2009. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 56 (7), 2574-2587.

RASHID, M. H. **Power Electronics: Circuits, Devices and Applications.** New Jersey: Prentice Hall, 1993.

SARTORI, H. C. **Projeto de Conversores Estáticos Fazendo uso de uma Metodologia de Minimização de Volume/Perdas/Custo.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Orientador: José Renes Pinheiro.

SARTORI, H. C. et al. **Integrated Methodology Design to Improve the Efficiency and Reduce Volume of the CCM PFC Boost Converters with Pre-Sizing Settings.** 2015, in Proc. of ISIE - The 24th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Brazil.

SARTORI, H. C. et al. **Power density comparative analysis concerning to three transistor technologies applied to a CCM PFC BOOST converter using optimization techniques.** In Proc. of COBEP - Brazilian Power Electronics Conference, 2013, pp.1317,1323, 27-31 Oct. 2013, doi: 10.1109/COBEP.2013.6785286.

SARTORI, H. C. et al. **Evaluation of an optimal design for a single-phase boost PFC converter (CCM) considering different magnetic materials core**, in Proc. of COBEP - Brazilian Power Electronics Conference, 2013, pp.1304,1310, 27-31 Oct. 2013, doi: 10.1109/COBEP.2013.6785284.

SARTORI, H. C.; BELTRAME F.; PINHEIRO, J. R.. **A static converter comparative study taking into account semiconductor technologies and switch auxiliary circuits: Optimized design**. In Proc. of COBEP - Brazilian Power Electronics Conference, 2011 , pp.280,285, 11-15 Sept. 2011, doi: 10.1109/COBEP.2011.6085284.

SARTORI, H. C.; HEY, H. L.; PINHEIRO, J. R. An optimum design of PFC Boost Converters. In Proc. of 13th European Conference EPE '09 - Power Electronics and Applications, 2009, pp.1,10, 8-10, Sept. 2009.

SEBESTA, Robert W. **Concepts of programming languages** 10th ed. Pearson Education, Inc.. New Jersey: Addison-Wesley, 2009.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. **Sistema de banco de dados**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. 8^a ed. São Paulo: Pearson Addison-Wesley, 2007.

SORENSEN, K.; GLOVER, F. **Metaheuristics in Encyclopedia of Operations Research and Management Science**, Saul I. Gass and C. M. Harris,Eds., 3rd ed. New York, NY, USA: Springer, 2013, pp. 1–12.

WAZLAWICK, R. **Análise e Projeto de Sistemas de Informação Orientados a Objetos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2011.

WAZLAWICK, R. **Engenharia de Software**. Rio de Janeiro: Ed. Elsevier, 2013.

WOEHRER, A.; BREZANY, P. **A monitoring service for relational databases to support advanced data integration on the Grid**. 2007. First International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, CISIS'07, 27–34. doi:10.1109/CISIS.2007.6

ZITZLER, E.; DEB, K.; THIELE, L. **Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: empirical results**. *Evol. Comput.*, 2000, 8, (2)

APÊNDICE A – NOTAÇÃO DE DIAGRAMAS UML E DE ENTIDADE-RELACIONAMENTO

As ferramentas a serem utilizadas para o desenvolvimento do sistema foram inicialmente divididas em duas categorias: construção de modelos e implementação. Para facilitar o entendimento dos modelos de software apresentados no Capítulo 3, a seguir serão brevemente descritos alguns diagramas utilizados pela UML e os princípios da modelagem relacional, também são apresentadas algumas considerações sobre diferentes SGDB e Ferramentas *Case*.

1 LINGUAGEM DE MODELAGEM UNIFICADA

1.1 Diagrama de Caso de Uso – Modela funcionalidades e características do software, sob o ponto de vista do usuário Pressman (2006), especificando comportamentos e contexto do sistema. Conforme Booch, Rumbaugh e Jacobson (2005), um diagrama de caso de uso é constituído de casos de uso (elipses), atores (*stickman*) e suas relações. Atores, casos de uso e relações são ilustrados na Figura 1.

Atores representam aquilo que está fora do sistema, são os usuários e/ou outros sistemas.

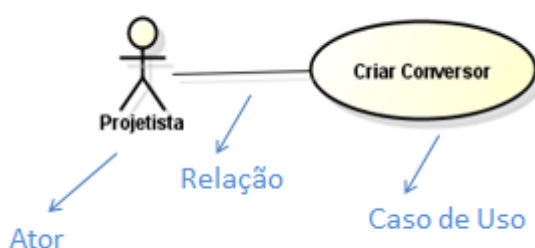


Figura 1 - Atores, casos de uso e relações.

As relações são as ligações entre atores e casos de uso, sendo representadas graficamente por linhas, indicando quais atores interagem com quais casos de uso. As relações podem ser dos seguintes tipos, conforme Wazlawick (2011):

- Associação – são relacionamentos entre ator e caso de uso e indicam quais atores utilizam quais casos de uso.

- Inclusão – são relacionamentos entre casos de uso e indicam que o caso de uso é uma subsequência pertencente aos passos daquele que o inclui. A representação gráfica é uma seta associada ao estereótipo <<include>>.

- Extensão – são relacionamentos entre casos de uso e indicam que o caso de uso é uma subsequência que pode ser executada por aquele que o estende. Representação gráfica é uma seta associada ao estereótipo <<extend>>.

O comportamento diz respeito àquilo que o software pode fazer. O contexto do sistema especifica aquilo que está dentro do sistema e é representado pelos casos de uso. Casos de uso são processos que podem ocorrer isoladamente e devem ser expandidos de modo a expressar quais as funcionalidades provêm ao sistema, especificando elementos tais como Wazlawick (2011), Booch, Rumbaugh e Jacobson (2005):

- fluxo principal, que é a descrição do processo, contém os eventos do que o usuário invoca no sistema, bem como as respostas devolvidas pelo sistema;

- passos complementares, ajudam a entender o contexto do caso de uso, mas não pertencem ao sistema ou referem-se apenas a interface;

- tratamento de exceção, descreve o comportamento do sistema, caso algum passo do fluxo principal resulte em erro ou exceção;

- variantes do fluxo principal, usado quando o fluxo principal não é uma sequência única, podendo ser ramificado;

- casos de uso incluídos, usados quando dois casos de uso fazem uso de uma mesma sequência de passos;

- e outras seções, tais como atores, interessados, pré-condições, pós-condições de sucesso, requisitos correlacionados, variações tecnológicas, e questões em aberto.

1.2 Diagrama de Classes – Um diagrama de classe diz respeito à solução do problema, é a arquitetura do sistema e descreve as classes que vão realizar toda a lógica de acesso e transformação de dados do sistema computacional. O diagrama de classes é composto das classes que constituem o sistema e seus respectivos relacionamentos.

O diagrama de classes, conforme Wazlawick (2011), tem seu estágio inicial a partir de um modelo conceitual. O modelo conceitual descreve as informações que o sistema irá gerenciar, sendo um artefato do domínio do problema. O diagrama de classes é um artefato do domínio da solução do problema. Assim, o modelo conceitual não é o diagrama de classes, mas sim um ponto de partida para a construção do digrama de classes. O modelo conceitual,

ainda conforme Wazlawick (2011), também não deve ser confundido como o modelo de dados, que descreva a forma como os dados serão armazenados fisicamente. O modelo de dados do sistema aqui proposto será descrito através de um modelo de entidade-relacionamento.

O modelo conceitual é formado de conceitos, atributos e associações. Os conceitos agregam atributos e se relacionam através de associações. Os conceitos poderão evoluir, resultam nas classes do sistema.

As classes são caracterizadas por atributos e por métodos Booch, Rumbaugh e Jacobson (2005), Pressman (2006), Wazlawick (2011). Os atributos são a parte estática, que descrevem as características de cada um dos objetos. Os métodos são a parte dinâmica e especificam as mensagens trocadas entre os objetos para o funcionamento do sistema. A Figura 2 apresenta um diagrama de classes sob a perspectiva de implementação.

Os relacionamentos entre as classes podem ser de associação, composição, generalização ou herança, agregação. Cada relacionamento pode possuir cardinalidade, indicando o número de instâncias envolvidas. O diagrama de classes da Figura 2 possui relacionamentos do tipo agregação, representados por uma reta com um losango na extremidade da classe agregadora.

Mais detalhes sobre os diagramas da modelagem orientada a objetos podem ser consultados em Booch, Rumbaugh e Jacobson (2005), Pressman (2006) e Wazlawick (2011).

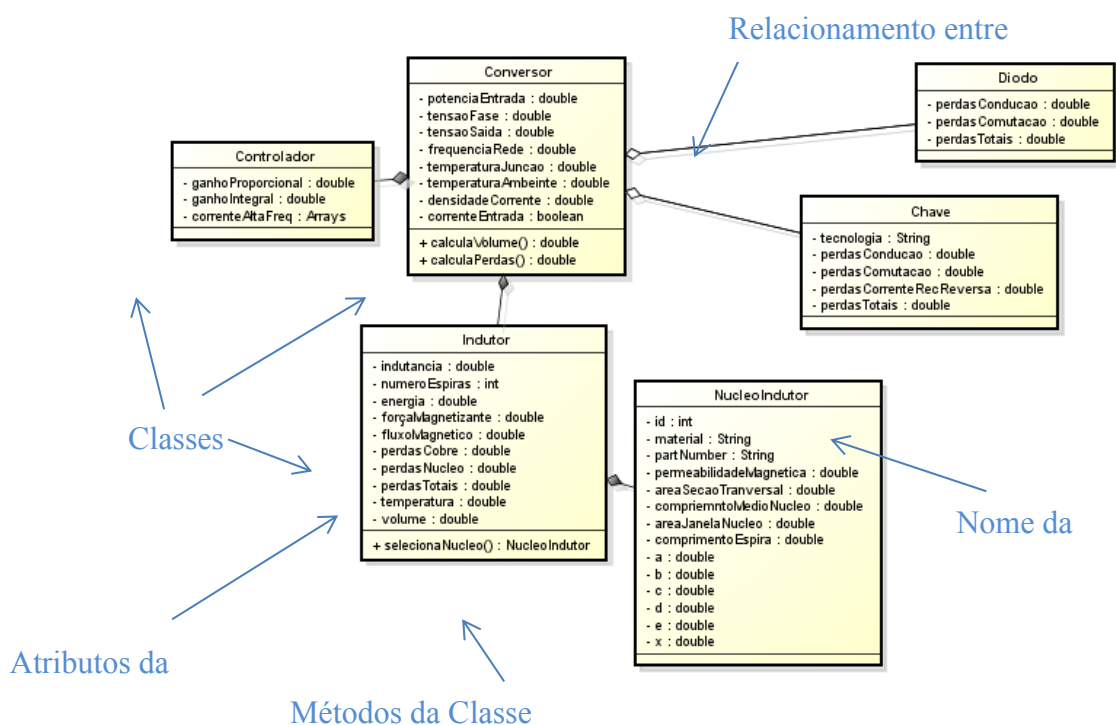


Figura 2 - Diagrama de classes.

2 MODELAGEM DO BANDO DE DADOS RELACIONAL

O processo de construção de um banco de dados inicia pela modelagem conceitual, que é seguida da modelagem lógica, Heuser (2000). O modelo conceitual descreve o banco de dados independentemente da SGDB (Sistema de Gerenciamento de Banco de dados) que será usado para implementação. Este modelo evidencia os dados e não como eles serão armazenados. O projeto lógico é a descrição da representação dos dados e depende do tipo de SGDB que será usado. O modelo lógico dos dados, no caso de um SGBD relacional, é descrito através de tabelas.

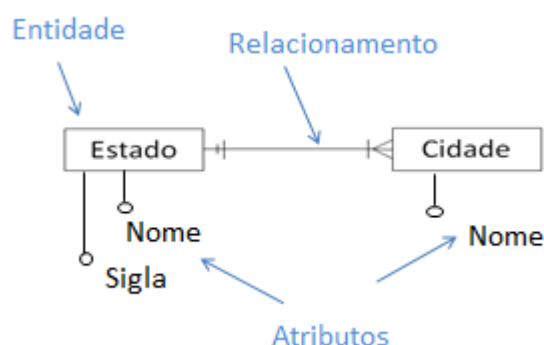
A modelagem do banco de dados do sistema proposto neste trabalho será apresentada através de um diagrama de entidade–relacionamento. O Modelo Entidade-Relacionamento (MER) foi desenvolvido por Peter Chen (CHEN, 1990) e está baseado em três conceitos fundamentais: Entidade, Atributo e Relacionamento. Diferentes notações foram propostas, entre elas a conhecida como Pés de Galinha, Mannino (2008), que será usada aqui, cuja simbologia é apresentada no Quadro 1.

<	Muitos
	Um
O	a ocorrência do relacionamento é opcional;

Quadro 1 - Simbologia de cardinalidade dos relacionamentos.

Fonte: Adaptado de MANNINO (2008).

Figura 3 – Exemplo de modelagem entidade relacionamento.



A Figura 3 apresenta um exemplo de diagrama de entidade-relacionamento que, conforme a notação aqui adotada, indica que um estado possui pelo menos uma ou muitas cidades e, além disso, que toda cidade pertence a um único estado.

Dois conceitos importantes dos bancos de dados relacionais são Chave Primária e Chave Estrangeira. A chave primária é um identificador único para cada um dos elementos

que compõem uma tabela. A chave estrangeira é responsável por manter a integridade referencial entre as tabelas. No modelo da Figura 3, quando as entidades evoluírem para tabelas, uma chave primária para a tabela Estado poderia ser a sigla, já que cada Estado possui uma única e diferente sigla. O relacionamento entre Estado e Cidade seria representado através de uma chave estrangeira na tabela Cidade, informando a qual Estado uma determinada Cidade pertence.

3 FERRAMENTAS CASE

A partir da escolha da linguagem a ser utilizada para modelagem do sistema é possível elencar as ferramentas *case* que dão suporte para criação dos modelos. Entre as ferramentas *case* para modelagem orientada a objetos é possível citar: o *Astah Professional*, o *IBM Rational Rose Developer for Java* e o *Enterprise Architect*.

O *Astah Professional* é uma ferramenta de design de sistema que suporta UML (*Unified Modeling Language*) 2.x (em parte), UML1.4, Fluxograma, Diagrama de Fluxo de Dados, Diagrama Entidade-Relacionamento, CRUD (termo utilizado para designar as quatro operações básicas em Banco de Dados: *Create*, *Read*, *Update* e *Delete* em Inglês), Diagramas de Requisitos e Mapas Conceituais. Permite a geração de código Java a partir dos modelos criados. Uma licença gratuita para usar a versão profissional pode ser obtida para estudantes. Maiores detalhes sobre o esta ferramenta podem ser obtidos em Astah (2014).

O *IBM Rational Rose Developer for Java* fornece um conjunto de capacidades orientadas ao modelo para desenvolver aplicativos de software para plataforma Java, a partir de código gerado de modelos visuais usando a Linguagem de Modelagem Unificada (UML). Mais informações sobre a ferramenta podem ser obtidas em IBM Rational Rose (2014).

O *Enterprise Architect* é uma ferramenta de modelagem para a concepção e construção de sistemas de software, para a modelagem de processos de negócios, e para fins de modelagem generalizada, tais como a visualização de sistemas e processos existentes. Faz uso da UML 2.4, conforme Enterprise Architect (2014). Há uma versão gratuita para uso no período de 30 dias.

Após instalação e utilização das versões disponíveis gratuitamente, o *Astah Professional* (de licença gratuita para estudantes) foi a ferramenta escolhida, pois:

- Possui suporte a orientação a objetos.
- Tem suporte para desenvolvimento dos diagramas propostos no presente trabalho: diagrama de caso de uso e diagrama de classes.

- Permite modelagem para banco de dados relacionais.
- Possui verificação de consistência através de regras simples.
- Gera relatórios de acompanhamento.
- Está disponível uma versão profissional, com licença gratuita para estudantes.
- Apresenta vasto material de apoio, encontrado em Astah (2014).
- É de instalação e utilização simples.

Além dos motivos citados acima, o desenvolvimento do software será realizado por apenas um analista/programador, que possui conhecimentos mais expressivos com relação à ferramenta *Astah Professional*. Ainda, a instalação e utilização das outras ferramentas não evidenciaram características que tornassem a sua utilização mais fácil, produtiva ou eficiente em relação à escolhida.

A modelagem de banco de dados pode ser realizada em programas que dão suporte para criação de modelos de dados lógicos e físicos, tais como o *DBDesigner*, o *ERWin*, ou o *brModelo*. A escolha da ferramenta *Astah Professional*, dispensa o uso de uma ferramenta específica para modelagem de dados, já que esta funcionalidade está inclusa na própria ferramenta *case*, que ainda permite a geração automática de código para construção do banco de dados.

4 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BANCO DE DADOS

Um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), conforme Silberschatz, Korth e Sudarshan (2006), é uma coleção de dados inter-relacionados e um conjunto de programas para acessar esses dados, cujo objetivo é recuperar informações de modo eficiente.

SGBD são aplicativos responsáveis pela administração e gerenciamento de uma ou mais base de dados, cujo principal objetivo é gerenciar o acesso, manipulação e organização dos dados. Ex.: MySQL (MYSQL, 2014), PostgreSQL (POSTGRESQL, 2014), Firebird (FIREBIRD, 2014), Oracle (ORACLE DATABASE, 2014).

Um ambiente para administrar o banco de dados é uma ferramenta que oferece interface gráfica para realizar todas as tarefas necessárias para o suporte e manutenção do banco de dados. Ex.: IBExpert, pgAdmin, entre outros.

A interação entre o Java e o SGBD é facilitada JDBC (*Java Database Connetivity*), o que é um mecanismo para comunicação entre o banco de dados e a linguagem Java. A maioria

dos desenvolvedores/empresas de SGBDs oferece o JDBC para o seu respectivo banco de dados.

Entre os SGBD mais utilizados para estão o MySQL e o PostgreSQL, ambos são gratuitos e possuem JDBC disponível para ser utilizado em aplicações Java.

MySQL é tem destaque quando se trata de velocidade e o PostgreSQL pela robustez e quantidade de recursos, que permitem desde uma escrita de comando eficiente, até o armazenamento de bancos de dados e tabelas de até 16TB. Além disso, o PostgreSQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados objeto-relacional, isto é, PostgreSQL é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional que permite aos desenvolvedores integrar ao banco de dados seus próprios tipos de dado e métodos personalizados (MYSQL, 2014).

Alguns trabalhos, tais como Di Giacomo (2005) e Woehrer e Brezany (2007), traçam comparativos entre os SGBD PostgreSQL e MySQL. Neste trabalho, inicialmente, adotou-se o PostgreSQL. Porém, como a metodologia adotada é Prototipação Evolucionária, o banco de dados pode sofrer alterações/acréscimos substanciais até a finalização do sistema. Assim, diante das semelhanças entre os SGBDs, optou-se por utilizar o PostgreSQL. Entre os motivos, é possível citar: a familiaridade da equipe de implementação com o mesmo, poupando tempo de aprendizagem e familiarização com o MySQL; e não foram identificadas desvantagens comprometedoras ao trabalho, se comparado ao MySQL.

Associado ao uso do PostgreSQL, será utilizado o pgAdmin III (PGADMIN, 2014), que é um sistema de concepção e gestão de banco de dados PostgreSQL, disponível gratuitamente para para sistemas Unix e Windows.

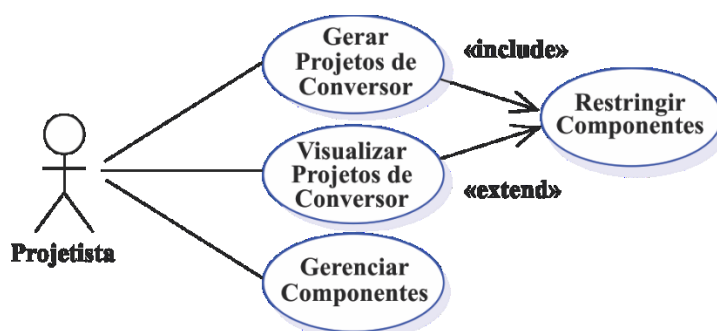
APÊNDICE B – DETALHES DOS DIAGRAMAS E MODELOS SISTEMA POCE

Os diagramas de casos de uso, diagrama de classes e modelo de dados que representam o sistema POCE apresentados no Capítulo 4 são detalhados logo a seguir.

1 DIAGRAMAS DE CASOS DE USO DO SISTEMA

A Figura 1 contém o diagrama de casos de uso do sistema POCE. A seguir são detalhados cada um dos casos de uso, conforme notação descrita no Apêndice A.

Figura 1 - Casos de uso do sistema POCE



A Figura 2 contém uma breve descrição dos passos do caso de uso Gerar Projetos de Conversor, a responsabilidade deste caso de uso gerar diferentes projetos de conversores estático criados a partir da escolha da topologia do conversor (*Boost CC/CC*, *Boost PFC* ou *Buck CC/CC*), dos parâmetros de entrada (Potência de Entrada, Tensão de saída, etc.) e de um conjunto de componentes (diodos, chaves, etc.). Os projetos gerados poderão ser armazenados para consulta posterior.

Figura 2 - Expansão do caso de uso Gerar Projetos de Conversor

Caso de Uso: Gerar Projetos de Conversor

1. O projetista seleciona o caso de uso "Gerar Projetos de Conversor" e a seguir escolhe uma das opções de topologia de Conversor: "*Boost PFC*", "*Boost CC/CC*", "*Buck CC/CC*".
2. O sistema solicita os dados de entrada para construção do conversor
3. O projetista altera/insere os parâmetros básicos do conversor (sendo eles: Potência de Entrada, Tensão de Entrada, Tensão de Saída, Frequência da Rede (somente para *Boost*

PFC), Temperatura Ambiente, Temperatura de Junção, Densidade de Corrente, Topologia do Filtro (Somente para o *Boost PFC*), valores iniciais, finais e de passo para Frequência de Comutação e *Ripple* de Corrente), escolhe se deseja salvar os projetos construídos para posterior visualização, ainda indica uma ponderação para perdas e volume a ser considerada para apresentação de resultados e solicita a geração dos projetos.

4. O sistema solicita ao projetista restringir os componentes (núcleos magnéticos, diodos, chaves e perfis de filtro) a serem usados para geração dos projetos (Include Caso de Uso Restringir Componentes).
5. [Saída] O sistema apresenta três projetos de conversores gerados, sendo eles: o projeto com menores perdas, o projeto com menor volume e o projeto com perdas e volume ponderados. Para tais conversores é possível visualizar: Frequência de Comutação, Ondulação da Corrente do Indutor, Perdas e Rendimento Totais, Volume e Densidade Volumétrica de Potência Totais, Custo e Custo Relativo Totais, Indutância e Indutância Efetiva, Capacitância, Materiais Magnéticos do Indutor e do Filtro de EMI (no caso do *Boost PFC*); *Part Numbers* das Chave e do Diodo e Perfil do Dissipador de Calor.
6. Os resultados detalhados do três podem ser visualizados na forma de relatório. As informações do projeto apresentadas são, além dos apresentados no passo 5: Potência de Entrada, Tensão de Entrada, Tensão de Saída, Frequência da Rede, Temperatura Ambiente, Temperatura de Junção, Densidade de Corrente, Topologia do Filtro, Frequência de Comutação, *Ripple* de Corrente, Volume total, Perdas Totais, Rendimento. Especifica ainda o indutor (*part number*, número de espiras, perdas no cobre, perdas no núcleo, AWG do fio, número de fios em paralelo (caso necessário), comprimento, temperatura, perdas e volume), diodo (*part number*, perdas em condução, perdas de comutação, perdas totais, comprimento e volume do dissipador), chave (*part number*, perdas em condução, perdas de comutação, perdas totais, comprimento e volume do dissipador), filtro (topologia, *part number*, número de espiras, volume e perdas), capacitor (perdas e volume) e dissipador (perfil utilizado).
7. Além disso, o sistema permite que o projetista visualize informações de todos os projetos gerados, gráficos e relatórios.

A Figura 3 contém os passos do caso de uso Restringir Componentes presentes nos projetos, cuja responsabilidade é permitir que o projetista selecionar quais componentes

deseja que compoñham os projetos a serem considerados no momento de sua geração ou consulta.

Figura 3 - Expansão do caso de uso Restringir Componentes presentes nos projetos

Caso de Uso: Restringir componentes presentes nos projetos

1. O projetista escolhe a operação:

1.1 Variante “Selecionar Tecnologias de Núcleos de Indutores”

1.2 Variante “Selecionar Tecnologias de Núcleos de Indutores de Filtro”

1.3 Variante “Selecionar Diodo”

1.4 Variante “Selecionar Chaves”

1.5 Variante “Selecionar Perfis de Dissipadores”

Variante 1.1: Selecionar Tecnologias de Núcleos de Indutores

1.1.1 O projetista escolhe entre as Tecnologias de Núcleos de Indutores disponíveis quais serão consideradas para os projetos de conversores

Variante 1.2: Selecionar Tecnologias de Núcleos de Indutores de Filtro

1.2.1 O projetista escolhe entre as Tecnologias de Núcleos de Indutores de Filtro disponíveis quais serão consideradas para os projetos de conversores

Variante 1.3: Selecionar Diodos

1.3.1 O projetista escolhe entre os diodos disponíveis quais serão consideradas para os projetos de conversores

Variante 1.4: Selecionar Chaves

1.4.1 O projetista escolhe entre as chaves disponíveis quais serão consideradas para os projetos de conversores

Variante 1.5: Selecionar Perfis de Dissipadores

1.5.1 O projetista escolhe entre os dissipadores disponíveis quais serão consideradas para os projetos de conversores

A figura 4 contém os passos do caso de uso Visualizar Projetos de Conversor, cuja responsabilidade é permitir que o projetista visualize os projetos de conversores através de gráficos e relatórios.

Figura 4 - Expansão do caso de uso Visualizar Projetos de Conversor

Caso de Uso: Visualizar Projetos de Conversor

1. O projetista seleciona um "Visualizar Projetos de Conversor"
2. [Saída] O sistema apresenta a topologia e os parâmetros básicos dos projetos de conversores (sendo eles: Potência de Entrada, Tensão de Entrada, Tensão de Saída, Frequência da Rede, Temperatura Ambiente, Temperatura de Junção, Densidade de Corrente, Topologia do Filtro, valores iniciais, finais e de intervalo para Frequência de Comutação e *Ripple* de Corrente) já construídos.
3. [Entrada] O projetista seleciona a topologia e o conjunto desejado de parâmetros básicos.
4. [Saída] O sistema apresenta todos os projetos armazenados que contém as especificações informada pelo usuário.
5. O projetista escolhe a operação:
 - 5.1 Alterar ordenação de visualização dos projetos
 - 5.2 Filtrar por ponto de operação
 - 5.3 Filtrar por componentes
 - 5.4 Limpar filtros
 - 5.5 Imprimir em relatório PDF
 - 5.6 Visualizar gráficos

Variante 5.1: Alterar ordenação de visualização dos projetos

O projetista pode alterar ordenação de visualização o conjunto de projetos de conversores para as seguintes opções: eficiência, custo e densidade volumétrica de potência; densidade volumétrica de potência, eficiência e custo; densidade volumétrica de potência, custo e eficiência; custo, eficiência e densidade volumétrica de potência; e custo, densidade volumétrica de potência e eficiência.

Variante 5.2: Filtrar por ponto de operação

O projetista pode restringir as faixas de ondulação de corrente de entrada e frequência de comutação para visualização de um subconjunto do total de projetos de conversores.

Variante 5.3: Filtrar por componentes

O projetista pode restringir o conjunto de componentes (núcleos de indutores, núcleos de indutores de filtros, diodos, chaves e perfis de filtro) usados nos projetos a serem pesquisados (Extend Caso de Uso Restringir Componentes).

Variante 5.4: Limpar filtros

O projetista pode visualizar o conjunto do total de projetos de conversores, eliminando filtros anteriormente aplicados.

Variante 5.5: Imprimir PDF

O projetista pode visualizar o conjunto de projetos de conversores em um relatório PDF.

Variante 5.6: visualizar gráficos

O projetista visualizar o conjunto de projetos de conversores através de gráficos. Estão disponíveis os gráficos:

- Gráfico de Volume Por Ponto de Operação para Componentes Individuais
- Gráfico de Densidade Volumétrica de Potência Por Ponto de Operação para Componentes Individuais
- Gráfico de Perdas Por Ponto de Operação
- Gráfico de Rendimento Por Ponto de Operação
- Gráfico de Custo Por Ponto de Operação
- Gráfico de Custo Relativo Por Ponto de Operação
- Gráfico de Frequência x Rendimento
- Gráfico de Frequência x Volume
- Gráfico de *Ripple* de Corrente x Rendimento
- Gráfico de *Ripple* de Corrente x Volume
- Gráfico de Ponto de Melhor Rendimento x Potência de Entrada
- Fronteira de Pareto

A Figura 5 contém os passos do caso de uso Gerenciar componentes, cuja responsabilidade é permitir que o projetista gerencie as informações armazenadas sobre os componentes disponíveis para geração dos projetos de conversores, bem como os projetos de conversores já disponíveis.

Figura 5 - Expansão do caso de uso Gerenciar componentes

Caso de Uso: <<CRUD>> Gerenciar componentes

1. O projetista solicita "Gerenciar Banco de Dados de Componentes" e escolhe a operação:
 - 1.1 Variante "Gerenciar Núcleos de Indutores"
 - 1.2 Variante "Gerenciar Núcleos de Indutores de Filtro"
 - 1.3 Variante "Gerenciar Diodos"
 - 1.4 Variante "Gerenciar Chaves"
 - 1.5 Variante "Gerenciar Dissipadores"

Variante 1.1: Gerenciar Núcleos de Indutores

1.1.1 O projetista escolhe a operação:

1.1.1.1 Variante “Incluir”

1.1.1.2 Variante “Excluir”

1.1.1.3 Variante “Consultar”

1.1.1.4 Variante “Consultar por *Part number*”

1.1.1.5 Variante “Consultar por Energia”

1.1.1.5 Variante “Consultar por Tecnologia”

Variante 1.1.1.1: Incluir

1.1.1.1.1 O projetista informa: *Part number*, Tecnologia, Energia, Permeabilidade Magnética, Volume, Área da seção Transversal, Comprimento Médio, Área da janela, Comprimento da Espira, a, b, c, d, e e x.

Variante 1.1.1.2: Excluir

1.1.1.2.1 O sistema apresenta os núcleos de indutores magnéticos ordenados por valor de energia

1.1.1.2.2 O projetista seleciona um elemento da lista para excluir

Variante 1.1.1.3: Consultar

1.1.1.3.1 O sistema apresenta a lista de núcleos de indutores magnéticos ordenados por valor de energia

1.1.1.3.2 O usuário seleciona um elemento da lista

1.1.1.3.3 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Energia, Permeabilidade Magnética, Volume, Área da seção Transversal, Comprimento Médio, Área da janela, Comprimento da Espira, a, b, c, d, e e x do núcleo selecionado.

Variante 1.1.1.4: Consultar por *Part number*

1.1.1.4.1 O usuário informar um *part number*

1.1.1.4.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Energia, Permeabilidade Magnética, Volume, Área da seção Transversal, Comprimento Médio, Área da janela, Comprimento da Espira, a, b, c, d, e e x do núcleo.

Variante 1.1.1.5: Consultar por Energia

1.1.1.5.1 O usuário informar um intervalo de energia

1.1.1.5.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Energia, Permeabilidade Magnética, Volume, Área da seção Transversal, Comprimento Médio, Área da

janela, Comprimento da Espira, a, b, c, d, e e x dos núcleos cuja energia pertence ao intervalo.

Variante 1.1.1.6: Consultar por Energia

1.1.1.6.1 O usuário escolhe uma tecnologia

1.1.1.6.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Energia, Permeabilidade Magnética, Volume, Área da seção Transversal, Comprimento Médio, Área da janela, Comprimento da Espira, a, b, c, d, e e x dos núcleos pertencentes à tecnologia escolhida.

Variante 1.2: Gerenciar Núcleos de Indutores de Filtro

1.2.1 O projetista escolhe a operação:

1.2.1.1 Variante “Incluir”

1.2.1.2 Variante “Excluir”

1.2.1.3 Variante “Consultar”

1.2.1.4 Variante “Consultar por *Part number*”

1.2.1.5 Variante “Consultar por Área da Janela”

1.2.1.6 Variante “Consultar por Tecnologia”

Variante 1.2.1.1: Incluir

1.2.1.1.1 O projetista informa: *Part number*, Tecnologia, Energia, Permeabilidade Magnética, Volume, Área da Seção Transversal, Comprimento Médio, Área da Janela e Comprimento da Espira.

Variante 1.2.1.2: Excluir

1.2.1.2.1 O sistema apresenta os núcleos de indutores magnéticos ordenados por valor de área da janela.

1.2.1.2.2 O projetista seleciona um elemento da lista para excluir.

Variante 1.2.1.3: Consultar

1.2.1.3.1 O sistema apresenta a lista de núcleos de indutores magnéticos ordenados por valor de área da janela.

1.2.1.3.2 O usuário seleciona um elemento da lista.

1.2.1.3.3 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Energia, Permeabilidade Magnética, Volume, Área da Seção Transversal, Comprimento Médio, Área da Janela e Comprimento da Espira do núcleo selecionado.

Variante 1.2.1.4: Consultar por *Part number*

1.2.1.4.1 O usuário informar um *part number*.

1.2.1.4.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Energia, Permeabilidade Magnética, Volume, Área da Seção Transversal, Comprimento Médio, Área da Janela e Comprimento da Espira do núcleo.

Variante 1.2.1.5: Consultar por Área da Janela

1.2.1.5.1 O usuário informar um intervalo de Área da Janela

1.2.1.5.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Energia, Permeabilidade Magnética, Volume, Área da Seção Transversal, Comprimento Médio, Área da Janela e Comprimento da Espira dos núcleos cuja área da janela pertence ao intervalo.

Variante 1.2.1.6: Consultar por Tecnologia

1.2.1.6.1 O usuário escolhe uma tecnologia

1.2.1.6.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Energia, Permeabilidade Magnética, Volume, Área da Seção Transversal, Comprimento Médio, Área da Janela e Comprimento da Espira dos núcleos pertencentes à tecnologia escolhida.

Variante 1.3: Gerenciar Diodos

1.3.1 O projetista escolhe a operação:

1.3.1.1 Variante “Incluir”

1.3.1.2 Variante “Excluir”

1.3.1.3 Variante “Consultar”

1.3.1.4 Variante “Consultar por *Part number*”

1.3.1.5 Variante “Consultar por Corrente”

1.3.1.6 Variante “Consultar por Tecnologia”

Variante 1.3.1.1: Incluir

1.3.1.1.1 O projetista informa: *Part number*, Tecnologia, Resistência Térmica Junção-Case, Resistência Térmica Case-Dissipador, Resistência Térmica Junção-ambiente, Corrente, corrente Suportada, Tensão, Custo, duas Temperatura Dadas e os respectivos valores de Queda de Tensão Direta no Diodo, Tempo de Recuperação Reversa, Carga de Recuperação Reversa para cada uma das temperaturas.

Variante 1.3.1.2: Excluir

1.3.1.2.1 O sistema apresenta os diodos ordenados por valor de corrente suportada

1.3.1.2.2 O projetista seleciona um elemento da lista para excluir

Variante 1.3.1.3: Consultar

- 1.3.1.3.1 O sistema apresenta os diodos ordenados por valor de corrente suportada
- 1.3.1.3.2 O usuário seleciona um elemento da lista
- 1.3.1.3.3 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Resistência Térmica Junção-Case, Resistência Térmica Case-Dissipador, Resistência Térmica Junção-ambiente, Corrente, corrente Suportada, Tensão, Custo, duas Temperatura Dadas e os respectivos valores de Queda de Tensão Direta no Diodo, Tempo de Recuperação Reversa, Carga de Recuperação Reversa para cada uma das temperaturas do diodo selecionado.

Variante 1.3.1.4: Consultar por *Part number*

- 1.3.1.4.1 O usuário informar um *part number*
- 1.3.1.4.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Resistência Térmica Junção-Case, Resistência Térmica Case-Dissipador, Resistência Térmica Junção-ambiente, Corrente, corrente Suportada, Tensão, Custo, duas Temperatura Dadas e os respectivos valores de Queda de Tensão Direta no Diodo, Tempo de Recuperação Reversa, Carga de Recuperação Reversa para cada uma das temperaturas do diodo.

Variante 1.3.1.5: Consultar por Corrente Suportada

- 1.3.1.5.1 O usuário informar um intervalo de Corrente Suportada
- 1.3.1.5.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Resistência Térmica Junção-Case, Resistência Térmica Case-Dissipador, Resistência Térmica Junção-ambiente, Corrente, corrente Suportada, Tensão, Custo, duas Temperatura Dadas e os respectivos valores de Queda de Tensão Direta no Diodo, Tempo de Recuperação Reversa, Carga de Recuperação Reversa para cada uma das temperaturas dos diodos pertencentes ao intervalo.

Variante 1.3.1.6: Consultar por Tecnologia

- 1.3.1.6.1 O usuário escolhe uma tecnologia
- 1.3.1.6.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Resistência Térmica Junção-Case, Resistência Térmica Case-Dissipador, Resistência Térmica Junção-ambiente, Corrente, corrente Suportada, Tensão, Custo, duas Temperatura Dadas e os respectivos valores de Queda de Tensão Direta no Diodo, Tempo de Recuperação Reversa, Carga de Recuperação Reversa para cada uma das temperaturas dos diodos pertencentes à tecnologia escolhida.

Variante 1.4: Gerenciar Chaves

1.4.1 O projetista escolhe a operação:

1.4.1.1 Variante “Incluir”

1.4.1.2 Variante “Excluir”

1.4.1.3 Variante “Consultar”

1.4.1.4 Variante “Consultar por *Part number*”

1.4.1.5 Variante “Consultar por Corrente”

1.4.1.6 Variante “Consultar por Tecnologia”

Variante 1.4.1.1: Incluir

1.4.1.1.1 O projetista informa: *Part number*, Tecnologia, Resistência Térmica Junção-Case, Resistência Térmica Case-Dissipador, Resistência Térmica Junção-ambiente, Carga no Capacitor CGS, Carga no Capacitor CGD, Corrente, Tensão, Tensão de Plateau, Corrente Suportada, Resistência de Condução, Capacitância Total na Saída, Capacitância de Transferência Reversa.

Variante 1.4.1.2: Excluir

1.4.1.2.1 O sistema apresenta as chaves ordenadas por valor de corrente suportada

1.4.1.2.2 O projetista seleciona um elemento da lista para excluir

Variante 1.4.1.3: Consultar

1.4.1.3.1 O sistema apresenta as chaves ordenadas por valor de corrente suportada

1.4.1.3.2 O usuário seleciona um elemento da lista

1.4.1.3.4 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Resistência Térmica Junção-Case, Resistência Térmica Case-Dissipador, Resistência Térmica Junção-ambiente, Carga no Capacitor CGS, Carga no Capacitor CGD, Corrente, Tensão, Tensão de Plateau, Corrente Suportada, Resistência de Condução, Capacitância Total na Saída, Capacitância de Transferência Reversa da chave selecionada.

Variante 1.4.1.4: Consultar por *Part number*

1.4.1.4.1 O usuário informar um *part number*

1.4.1.4.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Resistência Térmica Junção-Case, Resistência Térmica Case-Dissipador, Resistência Térmica Junção-ambiente, Carga no Capacitor CGS, Carga no Capacitor CGD, Corrente, Tensão, Tensão de Plateau, Corrente Suportada, Resistência de Condução, Capacitância Total na Saída, Capacitância de Transferência Reversa da chave selecionada.

Variante 1.4.1.5: Consultar por Corrente Suportada

- 1.4.1.5.1 O usuário informar um intervalo de Corrente Suportada
- 1.4.1.5.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Resistência Térmica Junção-Case, Resistência Térmica Case-Dissipador, Resistência Térmica Junção-ambiente, Carga no Capacitor CGS, Carga no Capacitor CGD, Corrente, Tensão, Tensão de Plateau, Corrente Suportada, Resistência de Condução, Capacitância Total na Saída, Capacitância de Transferência Reversa da chave selecionada das chaves pertencentes ao intervalo.

Variante 1.4.1.6: Consultar por Tecnologia

- 1.4.1.6.1 O usuário escolhe uma tecnologia
- 1.4.1.6.2 O sistema apresenta *Part number*, Tecnologia, Resistência Térmica Junção-Case, Resistência Térmica Case-Dissipador, Resistência Térmica Junção-ambiente, Carga no Capacitor CGS, Carga no Capacitor CGD, Corrente, Tensão, Tensão de Plateau, Corrente Suportada, Resistência de Condução, Capacitância Total na Saída, Capacitância de Transferência Reversa da chave selecionada das chaves pertencentes à tecnologia escolhida.

Variante 1.5: Gerenciar Dissipadores

- 1.5.1 O projetista escolhe a operação:
 - 1.5.1.1 Variante “Incluir”
 - 1.5.1.2 Variante “Excluir”
 - 1.5.1.3 Variante “Consultar”
 - 1.5.1.4 Variante “Consultar por Perfil”
 - 1.5.1.5 Variante “Consultar por Resistência Térmica”
 - 1.5.1.6 Variante “Consultar por Fabricante”

Variante 1.5.1.1: Incluir

- 1.5.1.1.1 O projetista informa: Número do Perfil, Fabricante, Resistência Térmica, Altura e Comprimento.

Variante 1.5.1.2: Excluir

- 1.5.1.2.1 O sistema apresenta os dissipadores ordenados por valor de resistência térmica.
- 1.5.1.2.2 O projetista seleciona um elemento da lista para excluir

Variante 1.5.1.3: Consultar

- 1.5.1.3.1 O sistema apresenta os dissipadores ordenados por valor de resistência térmica.
- 1.5.1.3.2 O usuário seleciona um elemento da lista
- 1.5.1.3.3 O sistema apresenta Número do Perfil, Fabricante, Resistência Térmica, Altura e Comprimento do dissipador selecionado.

Variante 1.5.1.4: Consultar por Número de Perfil

- 1.5.1.4.1 O usuário informar um número de perfil
- 1.5.1.4.2 O sistema apresenta Número do Perfil, Fabricante, Resistência Térmica, Altura e Comprimento.

Variante 1.5.1.5: Consultar por Resistência Térmica

- 1.5.1.5.1 O usuário informar um intervalo de Resistência Térmica
- 1.5.1.5.2 O sistema apresenta Número do Perfil, Fabricante, Resistência Térmica, Altura e Comprimento dos dissipadores pertencentes ao intervalo.

Variante 1.5.1.6: Consultar por Fabricante

- 1.5.1.6.1 O usuário escolhe um Fabricante
- 1.5.1.6.2 O sistema apresenta Número do Perfil, Fabricante, Resistência Térmica, Altura e Comprimento pertencentes ao fabricante escolhido.

Exceção 1 Caso as inclusões 1.1.1.1.1, 1.2.1.1.1, 1.3.1.1.1, 1.4.1.1.1 e 1.5.1.1.1 se refiram a componentes que já estão cadastrados.

- 1.1 O sistema informa que o componente já está cadastrado para o partnumber informado (no caso do componente se tratar de núcleo de indutor, núcleo de indutor de filtro, diodo ou chave) ou para o número do perfil informado (no caso do componente se tratar de dissipador).
- 1.2 O sistema retorna a um dos passos 1.1.1, 1.2.1, 1.3.1, 1.4.1 e 1.5.1, de acordo com o componente para o qual foi gerada a exceção de inclusão.

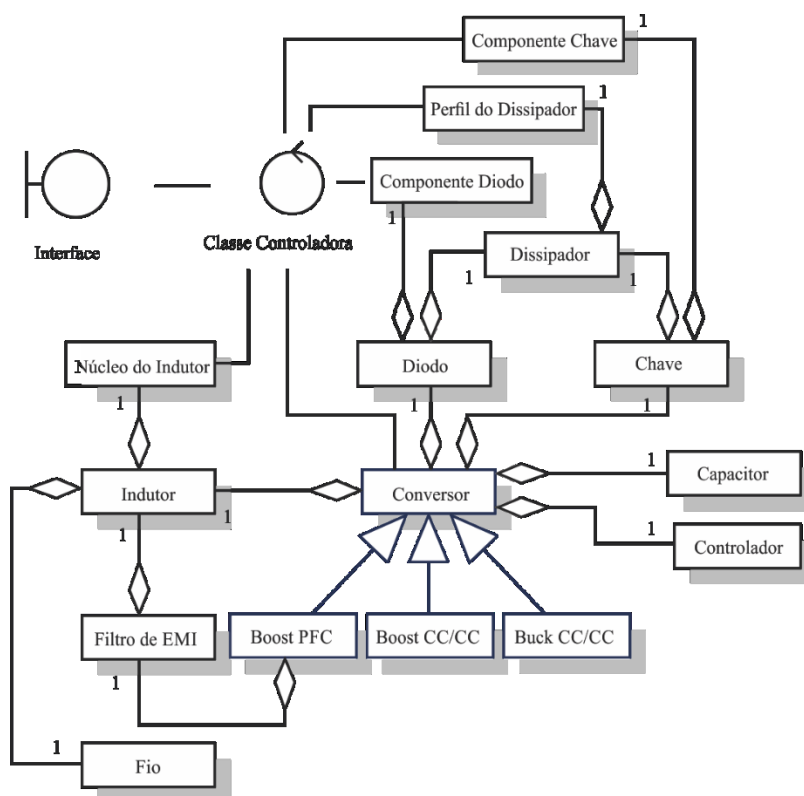
Exceção 2 Caso as exclusões 1.1.1.2.2, 1.2.1.2.2, 1.3.1.2.2, 1.4.1.2.2, 1.5.1.2.2 afetem componentes (núcleo de indutor, núcleo de indutor de filtro, diodo, chave ou dissipador) que fazem parte de algum projeto de conversor.

- 2.1 O sistema informa que não é possível excluir o componente, pois o mesmo é compõem pelo menos um projeto de conversor e não pode ser excluído.
- 2.2 O sistema retorna a um dos passos 1.1.1, 1.2.1, 1.3.1, 1.4.1 e 1.5.1, de acordo com o componente para o qual foi gerada a exceção de exclusão.

2 DIAGRAMAS DE CLASSES

A Figura 6 apresenta o modelo conceitual preliminar do sistema aqui desenvolvido. As associações entre as classes são do tipo agregação, indicada pela figura de um diamante, já que um conversor é composto de elementos (diodo, chave, etc.), podendo estes, por sua vez, serem compostos de outros elementos. Assim, podemos ler o diagrama da seguinte forma, por exemplo, um conversor é composto de um indutor, um indutor, por sua vez, é composto de um núcleo e de um fio.

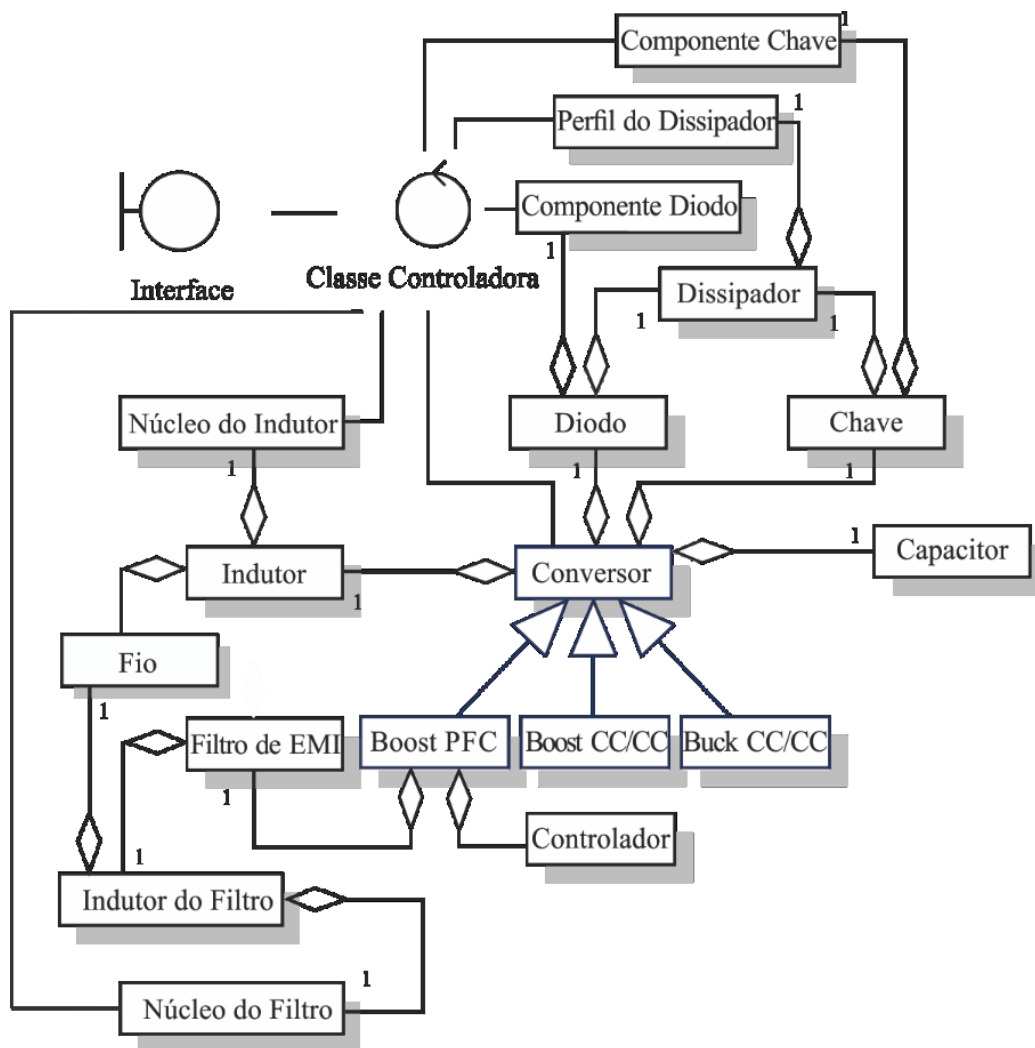
Figura 6 – Modelo conceitual do sistema POCE



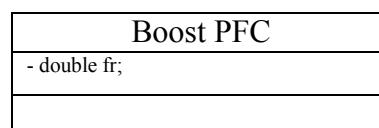
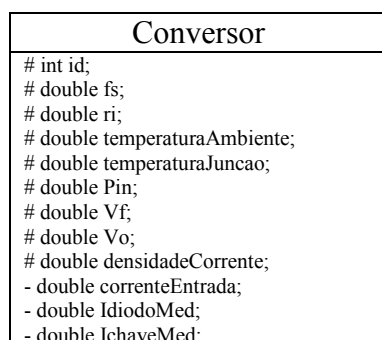
O modelo de classes do Sistema POCE é apresentado na Figura 7 (a), onde os métodos e os atributos foram suprimidos para facilitar a leitura do diagrama. Os atributos de cada uma das classes são apresentados na Figura 7 (b), (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), (j), (k), (l), (m), (n) e (o), acompanhados de seus respectivos tipos e modificadores de acesso. O tipo do atributo define o seu domínio e é conforme a linguagem Java SE 8 (JAVA 8 SE, 2014). Os modificadores de acesso são: o traço (-), indicando o atributo é privado, isto é só pode ser acessado no domínio da classe que o contém; e a cancela (#) indicando que o atributo pode ser acessado na classe que o contém e também nas classes que herdam desta.

O modelo conceitual, apresentado na Figura 6 evoluiu para considerar os diferentes conceitos a serem implementados, resultando o no diagrama de classes da Figura 7

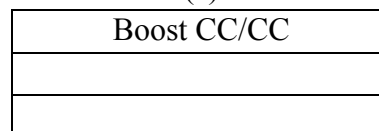
Figura 7 - Diagrama de classes do sistema POCE: (a) diagrama de classes sem atributos e métodos; (b) classe Chave; (c) classe Diodo; (d) classe Dissipador; (e) classe Controlador; (f) classe Capacitor; (g) classe Indutor; (h) classe NucleoIndutor; (i) classe Filtro; (j) classe IndutorFiltro; (k) classe NucleoIndutorFiltro; (l) classe Fio; (m) classe Conversor; (n) classe BoostCC_CC; e (o) classe BoostPFC.



(a)



(c)



(d)

<ul style="list-style-type: none"> - double IchaveRMS; - double IcacitorRMS; - double IMediaEntrada; # double volumeTotal; # double perdaTotal; # double custoTotal; 	<p style="text-align: center;">Buck CC/CC</p>
(b)	(e)
<p style="text-align: center;">Chave</p> <ul style="list-style-type: none"> - double perdasConducao; - double perdasComutacao; - double perdasCorrenteReversa; - double perdasTotais; 	<p style="text-align: center;">Diodo</p> <ul style="list-style-type: none"> - double perdasConducao; - double perdasComutacao; - double perdasTotais;
(f)	(g)
<p style="text-align: center;">Componente Chave</p> <ul style="list-style-type: none"> - int id; - String partNumber; - String tecnologia; - String capacitanciaTranferenciaReversa; - String capacitanciaTotalSaida; - double tensaoPlateau; - double tensaothreshold; - double cargaCapacitorCGD; - double cargaCapacitorCGS; - double resistenciaJuncaoCase; - double resitenciaJuncaoCaseDissipador; - String resistenciaConducao; - double resistenciaJuncaoAmbiente; - double correnteSuportada; - double corrente; - double tensao; - double tempoSubida; - double tempoDescida; - double custoUnitario; 	<p style="text-align: center;">Componente Diodo</p> <ul style="list-style-type: none"> - int id; - String partNumber; - String tecnologia; - double resistenciaJuncaoCase; - double resitenciaJuncaoCaseDissipador; - double resistenciaJuncaoAmbiente; - double corrente; - double correnteSuportada; - double tensao; - String quedaDeTensaoDireta; - String quedaDeTensaoDireta1; - String tempoRecuperacaoReversa; - String tempoRecuperacaoReversa1; - String cargaRecuperacaoReversa; - String cargaRecuperacaoReversa1; - double temperatura1; - double temperatura2; - double custoUnitario;
(h)	(i)
<p style="text-align: center;">Dissipador</p> <ul style="list-style-type: none"> - int id; - double comprimentoD; - double comprimentoT; - double resistenciaTermica; - double volumeDiodo; - double volumeTransistor; - double custo; 	<p style="text-align: center;">Capacitor</p> <ul style="list-style-type: none"> - int id; - double volume; - double perdas; - double custo; - double capacitancia;
(j)	(k)
<p style="text-align: center;">Perfil do Dissipador</p> <ul style="list-style-type: none"> - private String fabricantePerfil; - int numeroPerfil; - double alturaPerfil; - double comprimentoPerfil; - double resistenciaTermicaPerfil; - double custo; 	<p style="text-align: center;">Controlador</p> <ul style="list-style-type: none"> - double ganhoProporcional; - double ganhoIntegral; - double correnteAltaFrequencia;
(l)	(m)

Indutor
<ul style="list-style-type: none"> - double indutanciaMax; //max? - double indutanciaMin; - int numEspiras; - double energia; - double forcaMagnetizante; - double fluxoMagnetico; - double perdasCobre; - double perdasNucleo; - double perdasTotais; - double temperatura; - double volume; - double numEspitasInicial; - double aEnrolamento; - int numeroFiosParalelos; - double comprimento; - int awg; - double iLRms; - double custo;

(n)

Nucleo
<ul style="list-style-type: none"> - int id; - String partNumber; - double energia; - double ui; - double volume; - double areae; - double comprimentoe; - double areajanela; - double comprimentooespira; - double a, b, c, d, e, x; - String tecnologia;

(o)

Fio
<ul style="list-style-type: none"> - int awg; - double area; - double raio; - double areaUtil;

(p)

Filtro de EMI
<ul style="list-style-type: none"> - String topologiaFiltro; - IndutorFiltro IndutorFiltro; - int atenuacao; - double cx; - dbBuVNorma; - double perdasFiltro; - double volumeFiltro; - double custo;

(q)

IndutorFiltro
<ul style="list-style-type: none"> - int numFinalEspiras; - double IDiferencial; - double IComum; - double custo; - double comprimento; - double aEnrolamento;

(r)

NucleoFiltro
<ul style="list-style-type: none"> - int id; - String partNumber; - double ui; - double volume; - double areae; - double comprimentoe; - double areajanela; - double comprimentooespira; - String tecnologia; - double custoUnitario;

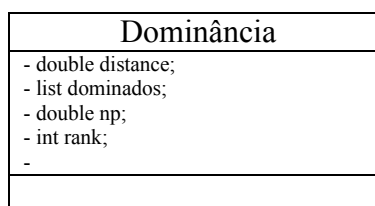
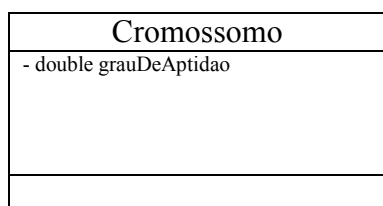
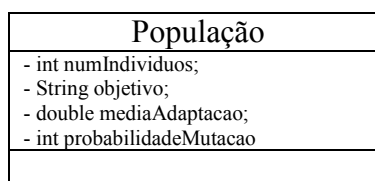
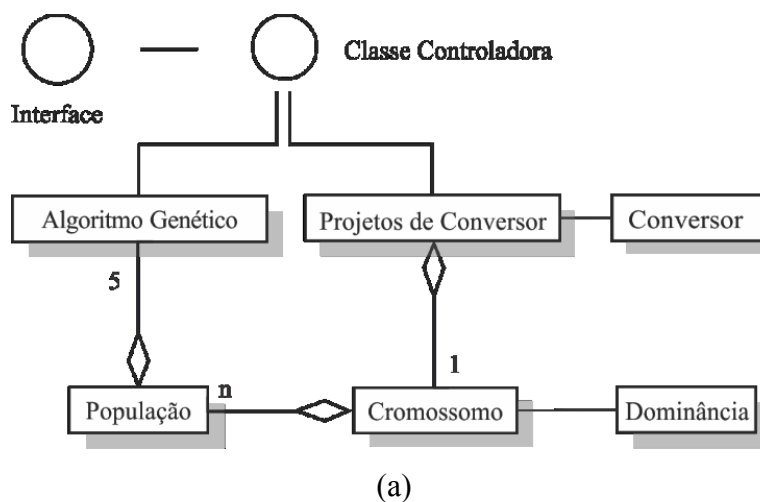
(s)

As classes que compõem o sistema são: Conversor que generaliza as classes Conversor PFC e Conversor CC/CC. Desta forma todos os elementos da classe Conversor são herdados pelas classes Conversor PFC e Conversor CC/CC. A classe Conversor é uma agregação das classes Indutor, Diodo, Chave, Capacitor e Dissipador. A classe Conversor PFC, além daquilo que herda da classe Conversor, também agrega as classes Controlador e Filtro. A classe Indutor agrega a classe Núcleo de Indutor. A classe Filtro de EMI agrega a classe Indutor de Filtro, que por sua vez, agrega a classe Núcleo do Filtro. Ambas as classes Indutor e Indutor de Filtro agregam a classes Fio. O **Apêndice 1** ainda contém as classes

auxiliares utilizadas para implementação do sistema, tais como classes de interface de entrada (formulários e telas) e saída de dados (relatórios e gráficos), classes com métodos para manipulação de conjuntos de dados (listas e vetores) e classes com métodos para realizar operações matemáticas elaboradas (transformada de Fourier, ajuste de curvas).

A Figura 8 contém as classes do sistema que implementam os algoritmos genéticos. A classe Algoritmo Genéticos é uma agregação de diferentes populações, cada uma das populações contém indivíduos dos diferentes AGs. A classe Cromossomo contém a implementação de cada um dos indivíduos. A classe Dominância identifica os elementos necessários para construção da fronteira de Pareto, indicando as relações de dominância entre os diferentes indivíduos que pertencem a cada uma das populações. A classe Projeto de Conversor é uma simplificação da classe Conversor, conforme apresentada na Figura 7. Tal simplificação foi construída para reduzir a complexidade implementada dentro da classe Conversor, representando desta forma somente os elementos que devem persistir para cada um dos projetos de conversores construídos pelo sistema POCE.

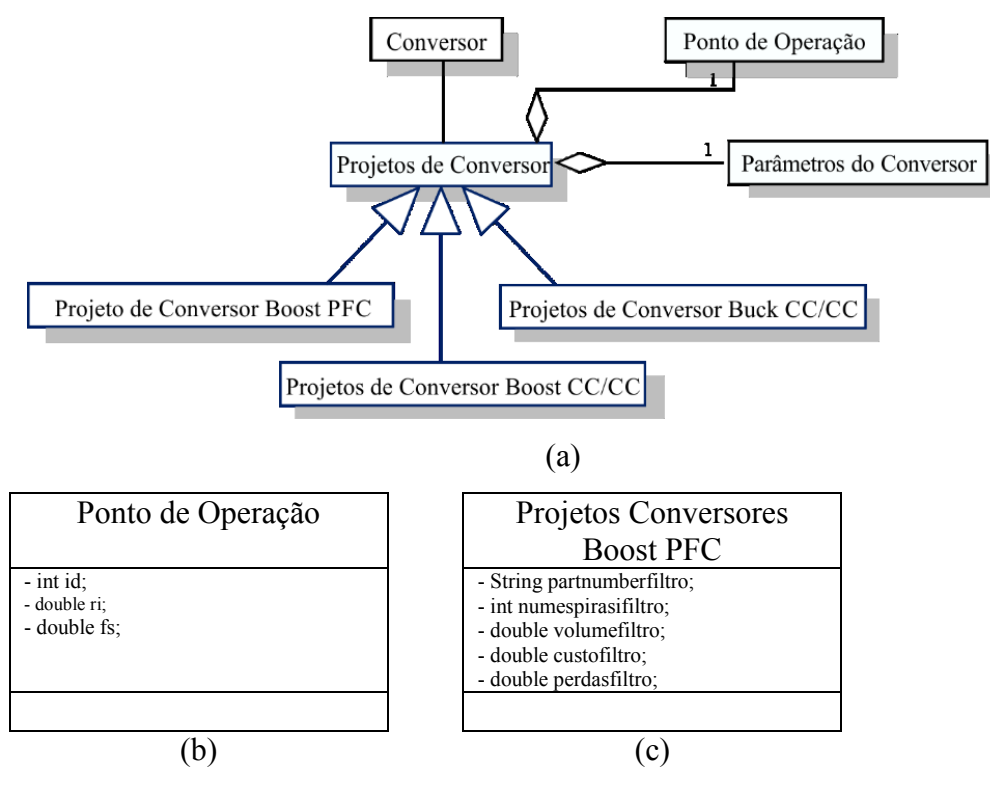
Figura 8 – Classes dos algoritmos genéticos

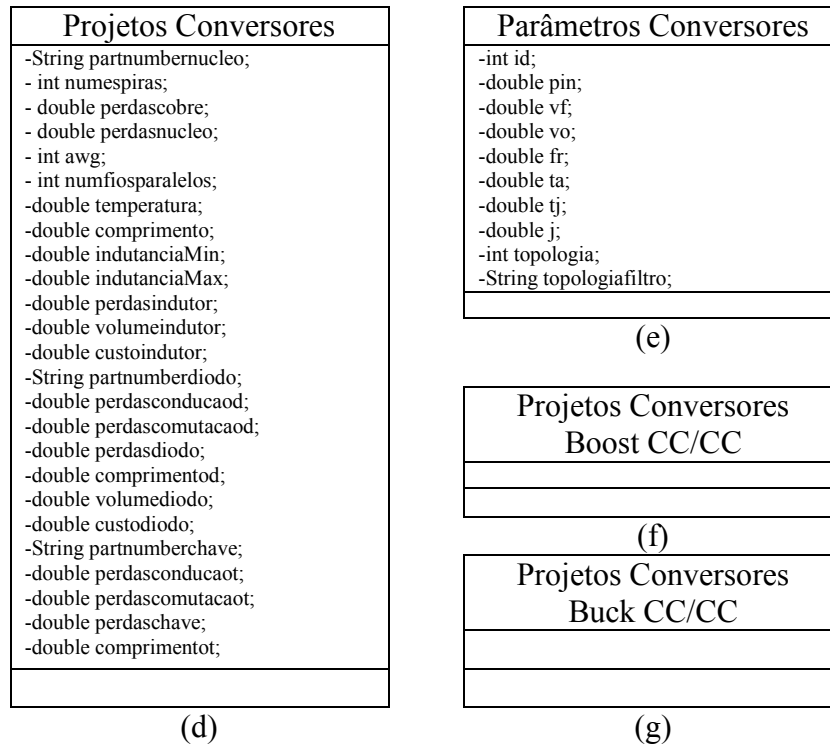


A estrutura de classes relacionadas à Projetos de Conversores é apresentada na Figura 9. Houve a necessidade de se resumir a complexidade da classe Conversor na classe Projetos de Conversores, principalmente, devido as constantes adaptações necessárias a cada fase da validação da metodologia da Prototipação Evolucionária. Para evitar alterações nas classes elaboradas para construção dos projetos de conversores, todas as suas características foram preservadas na classe Conversor. Porém, esta é uma classe muito custosa em termos de memória computacional, para ser manipulada e contém muitas características que dispensam armazenamento. As características que devem ser armazenadas para um conversor foram preservadas na classe Projetos de Conversores, tal classe é mais enxuta e, conseqüentemente, ocupa menos espaço. A tendência é que a classe Conversor seja inteiramente substituída pela classe Projetos de Conversores, porém somente em etapas mais avançada do desenvolvimento do sistema.

As classes Projetos de Conversores, Projetos de Conversores Boost PFC, Projetos de Conversores Boost CC/CC e Projetos de Conversores Buck CC/CC são mapeadas, através de anotações do ORMLite para tabelas do banco de dados. Desta forma, quando alterações são realizadas nas estruturas de tais classes, não é necessário trabalho de reescrita das tabelas do banco de dados, basta gerá-las de forma automática novamente.

Figura 9 – Classes do Projetos de Conversores

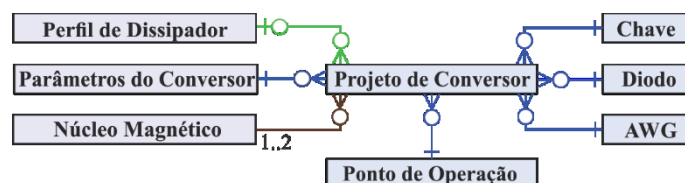




3 MODELO DE DADOS

O modelo de dados do sistema POCE da Figura 10 é constituído das entidades: Chave, Dissipador, Projeto de Conversor, Diodo, Núcleo Magnético e AWG, onde um determinado Projeto de Conversor pode conter nenhum ou um Perfil Dissipador e um determinado Dissipador por estar relacionado com nenhum ou vários Projetos de Conversores e, ainda, que um determinado Projeto de Conversor contém um Diodo e determinado Diodo se relaciona com nenhum ou vários Conversores. Chave e AWG possuem relacionamentos com Projetos de Conversores da mesma forma que o Diodo. Já entidade Núcleo Magnético se relaciona com nenhum ou vários Projetos de Conversores, e um Projeto de conversor pode se relacionar com no mínimo 1 e no máximo 2 Núcleos Magnéticos. No caso do Boost PFC, o projeto de conversor possui o núcleo magnético do indutor e, também, o núcleo magnético do indutor do filtro.

Figura 10 - Modelo de dados do sistema POCE - tabelas relacionais



A Figura 10 contém as entidades e os relacionamentos do modelo de dados do presente trabalho. Para facilitar a leitura e apresentação do diagrama da Figura 10, os atributos são elucidados nos quadros logo a seguir, considerando-se que:

CP – Chave Primária

CE – Chave Estrangeira

NN – Não Nulo

Tipo de Dado – define o domínio do campo e é conforme a implementação do SGBD PostgreSQL 9.2.4 (POSTGRESQL, 2014).

A Tabela 1 contém os campos que compõem a Tabela Parâmetros do Conversor e suas respectivas especificações.

Tabela 1 – Campos da tabela Parâmetros de Conversor

No.	Atributo (Lógico)	Atributo (Físico)	CP	CE	NN	Tipo de Dado	Observação
1	Identificador dos Parâmetros de Conversor	id	X		X	INT	
2	Potência de Entrada	pin			X	REAL	
3	Tensão de Entrada	vf			X	REAL	
4	Tensão de Saída	vo			X	REAL	
5	Frequência da Rede	fr				REAL	
6	Temperatura Ambiente	ta			X	REAL	
7	Temperatura de Junção	tj			X	REAL	
8	Densidade de Corrente	j				REAL	

A Tabela 2 contém os campos que compõem a Tabela Parâmetros do Conversor e suas respectivas especificações.

Tabela 2 - Campos da tabela Ponto de Operação

No.	Atributo (Lógico)	Atributo (Físico)	CP	CE	NN	Tipo de Dado	Observação
1	Identificado Ponto de Operação	id	X		X	INT	
2	Frequência de Comutação	fs			X	REAL	
3	<i>Ripple</i> da Corrente de Entrada	ri			X	REAL	

O Tabela 3 contém os campos que compõem a Tabela Projeto do Conversor e suas respectivas especificações.

Tabela 3 - Campos da tabela Projeto de Conversor

No.	Atributo (Lógico)	Atributo (Físico)	CP	CE	NN	Tipo de Dado	Observação
1	Identificador Projeto	idProjeto	X		X	INT	
2	Identificador Parâmetros de Conversor	idParametrosConv ersores		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela Parâmetro de Conversor
3	Identificador Ponto de Operação	idPontoDeOperacao		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela PontoDeOperacao
4	Número de Espiras do Indutor	numEspiras				INT	
5	Perdas no Cobre no Indutor	perdasCobre				REAL	
6	Perdas no Núcleo	perdasNucleo				REAL	
7	AWG	awg		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela AWG
8	Número Fios em Paralelo Indutor	nunFiosParalelo				INT	
9	Temperatura no Indutor	temperatura				REAL	
10	Comprimento Indutor	comprimento				REAL	
11	Perdas no Indutor	perdasIndutor				REAL	
12	Volume do Indutor	volumeIndutor				REAL	
13	Perdas de Condução do Diodo	perdasConducaoD				REAL	
14	Perdas Comutação do Diodo	perdascomutacaoD				REAL	
15	Perdas do Diodo	perdasDiodo				REAL	
16	Comprimento do Dissipador Diodo	comprimentoD				REAL	
17	Volume dissipador Diodo	volumeDiodo				REAL	
18	Perdas de Comutação da Chave	perdasComutacaoT				REAL	
19	Perdas de Condução da Chave	perdasConducaoT				REAL	
20	Perdas na Chave	perdasTransistor				REAL	
21	Comprimento Dissipador Chave	comprimentoT				REAL	
22	Volume Dissipador da Chave	volumeTransistor				REAL	
23	Topologia do Filtro EMI	topologiaFiltro				REAL	
24	Volume do Filtro	volumeFiltro				REAL	
25	Número de Espiras do Indutor do Filtro	numEspirasIFiltro				INT	
26	Perdas no Filtro	perdasFiltro				REAL	
27	Perdas no Capacitor	perdasCapacitor				REAL	
28	Volume do Capacitor	volumeCapacitor				REAL	
29	Volume Total	volumeTotal				REAL	
30	Perdas Totais	perdasTotais				REAL	
31	Identificador Dissipador	idDissipador		X		INT	Integridade referencial com a tabela Dissipador
32	Identificador Chave	idChave		X	X	INT	Integridade

No.	Atributo (Lógico)	Atributo (Físico)	CP	CE	NN	Tipo de Dado	Observação
							referencial com a tabela Chave
33	Identificador Núcleo do Filtro	idNucleoFiltro		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela Núcleo do Filtro
34	Identificador do Diodo	idDiodo		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela Diodo
35	Identificador do Núcleo	idNucleoIndutor		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela Núcleo
36	CustoTotal	custoTotal				REAL	

A Tabela 4 contém os campos da Tabela Chave e suas respectivas especificações.

Tabela 4 – Campos da tabela Chave

No.	Atributo (Lógico)	Atributo (Físico)	CP	CE	NN	Tipo de Dado	Observações
1	identificador Chave	id	X		X	INT	
2	<i>Part number</i>	partNumber			X	TEXT	
3	Tecnologia	tecnologia			X	TEXT	
4	Capacitância de Transferência Reversa	crss			X	TEXT	Pode ser uma fórmula ou um valor
5	Capacitância Total na Saída de Condução	coss			X	TEXT	Pode ser uma fórmula ou um valor
6	Tensão de Plateau	vpm			X	REAL	
7	Tensão de Threshold	vthm			X	REAL	
8	Carga do Capacitor CGD	qgd			X	REAL	
9	Carga no Capacitor CGS	qgs			X	REAL	
10	Resistência Térmica entre Junção e Case	rjc			X	REAL	
11	Resistência Térmica entre Case e Dissipador	rcs			X	REAL	
12	Resistência Térmica entre a Junção e o Ambiente	rja			X	REAL	
13	Resistência de Condução	rdson			X	TEXT	Pode ser uma fórmula ou um valor
14	Corrente suportada	isuportada			X	REAL	
15	Tensão	v			X	REAL	
16	Corrente	i			X	REAL	
17	Custo	custoUnitario			X	REAL	

A Tabela 5 contém os campos da Tabela Diodo e suas respectivas especificações.

Tabela 5 – Campos da tabela Diodo

No.	Atributo (Lógico)	Atributo (Físico)	CP	CE	NN	Tipo de Dado	Tamanho
1	Identificador do Diodo	id	X		X	INT	
2	<i>Part number</i>	partNumber			X	TEXT	Único
3	Tecnologia	tecnologia			X	TEXT	
4	Resistência Térmica entre a Junção e o Case	rjc			X	REAL	
5	Resistência Térmica entre o Case e o Dissipador	rcs			X	REAL	
6	Resistência Térmica entre a Junção e o Ambiente	rja			X	REAL	
7	Corrente	i			X	REAL	
8	Tensão	v			X	REAL	
9	Corrente Suportada	isuportada			X	REAL	
10	Queda de Tensão Direta 1	vd			X	TEXT	Pode ser uma fórmula ou um valor
11	Tempo de Recuperação Reversa na Temperatura 1	trr			X	TEXT	Pode ser uma fórmula ou um valor
12	Carga de Recuperação Reversa na Temperatura 1	qrr			X	TEXT	Pode ser uma fórmula ou um valor
13	Queda de Tensão Direta 2	vd1			X	TEXT	Pode ser uma fórmula ou um valor
14	Tempo de Recuperação Reversa na Temperatura 2	trr1			X	TEXT	Pode ser uma fórmula ou um valor
15	Carga de Recuperação Reversa na Temperatura 2	qrr1			X	TEXT	Pode ser uma fórmula ou um valor
16	Temperatura 1	temp1			X	REAL	
17	Temperatura 2	temp2			X	REAL	
18	Custo	custoUnitario			X	REAL	

A Tabela 6 contém os campos que compõem a Tabela Dissipador e suas respectivas especificações.

Tabela 6 – Campos da tabela Dissipador

No.	Atributo (Lógico)	Atributo (Físico)	CP	CE	NN	Tipo de Dado	Tamanho
1	Identificador Dissipador	id	X		X	INT	
2	Perfil	perfil			X	TEXT	Único
3	Fabricante	fabricante			X	TEXT	
4	Resistência Térmica	resistenciatermica			X	REAL	
5	Altura	altura			X	REAL	
6	Comprimento	comprimento			X	REAL	
7	Custo	custoUnitario			X	REAL	

A Tabela 7 contém os campos da Tabela Núcleo Magnético e suas respectivas especificações.

Tabela 7 – Campos da tabela Núcleo Magnético

No.	Atributo(Lógico)	Atributo(Físico)	CP	CE	NN	Tipo de Dado	Tamanho
1	Identificador do Núcleo	id	X		X	INT	
2	<i>Part number</i>	partNumber			X	TEXT	Único
3	Energia	energia			X	REAL	
4	Densidade de Corrente	ui			X	REAL	
5	Volume				X	REAL	
6	Área da seção Transversal	areaE			X	REAL	
7	Comprimento da Seção Transversal	comprimentoE			X	REAL	
8	Área da Janela	areajanela			X	REAL	
9	Comprimento da Espira	comprimentoespira			X	REAL	
10	a					REAL	
11	b						
12	c					REAL	
13	d					REAL	
14	e					REAL	
15	x					REAL	
16	Tecnologia	tecnologia			X	TEXT	
17	Custo	custoUnitario			X	REAL	

A Tabela 8 contém os campos da tabela AWG (American Wire Gauge) ou escala americana normalizada é a unidade de medida usada para padronização de fios e cabos elétricos.

Tabela 8 – Campos da tabela AWG

No.	Atributo (Lógico)	Atributo (Físico)	CP	CE	NN	Tipo de Dado	Observação
1	Identificador do AWG	id	X		X	INT	
2	Área do fio	Área			X	REAL	
3	AWG	AWG			X	REAL	

O Tabela 9 contém os campos que compõem a Tabela Projeto do Conversor da Topologia Boost CC/CC e do Buck CC/CC e suas respectivas especificações.

Tabela 9 - Campos da tabela Projeto de Conversor Boost CC/CC e Projeto de Conversor Buck CC/CC

No.	Atributo (Lógico)	Atributo (Físico)	CP	CE	NN	Tipo de Dado	Observação
1	Identificador Projeto	idProjeto	X		X	INT	

No.	Atributo (Lógico)	Atributo (Físico)	CP	CE	NN	Tipo de Dado	Observação
2	Identificador Parâmetros de Conversor	idParametrosConv ersores		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela Parâmetro de Conversor
3	Identificador Ponto de Operação	idPontoDeOperacao		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela PontoDeOperacao
4	Número de Espiras do Indutor	numEspiras				INT	
5	Perdas no Cobre no Indutor	perdasCobre				REAL	
6	Perdas no Núcleo	perdasNucleo				REAL	
7	AWG	awg		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela AWG
8	Número Fios em Paralelo Indutor	nunFiosParalelo				INT	
9	Temperatura no Indutor	temperatura				REAL	
10	Comprimento Indutor	comprimento				REAL	
11	Perdas no Indutor	perdasIndutor				REAL	
12	Volume do Indutor	volumeIndutor				REAL	
13	Perdas de Condução do Diodo	perdasConducaoD				REAL	
14	Perdas Comutação do Diodo	perdascomutacaoD				REAL	
15	Perdas do Diodo	perdasDiodo				REAL	
16	Comprimento do Dissipador Diodo	comprimentoD				REAL	
17	Volume dissipador Diodo	volumeDiodo				REAL	
18	Perdas de Comutação da Chave	perdasComutacaoT				REAL	
19	Perdas de Condução da Chave	perdasConducaoT				REAL	
20	Perdas na Chave	perdasTransistor				REAL	
21	Comprimento Dissipador Chave	comprimentoT				REAL	
22	Volume Dissipador da Chave	volumeTransistor				REAL	
27	Perdas no Capacitor	perdasCapacitor				REAL	
28	Volume do Capacitor	volumeCapacitor				REAL	
29	Volume Total	volumeTotal				REAL	
30	Perdas Totais	perdasTotais				REAL	
31	Identificador Dissipador	idDissipador		X		INT	Integridade referencial com a tabela Dissipador
32	Identificador Chave	idChave		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela Chave
34	Identificador do Diodo	idDiodo		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela Diodo
35	Identificador do Núcleo	idNucleoIndutor		X	X	INT	Integridade referencial com a tabela Núcleo
36	CustoTotal	custoTotal				REAL	

APÊNDICE C – CÓDIGO SQL DO BANCO DE DADOS DO SISTEMA POCE

O Apêndice C contém o código SQL de criação das tabelas do banco de dados do Sistema POCE.

```
CREATE TABLE awg (
  id INT NOT NULL,
  AWG REAL,
  area REAL
);
```

```
ALTER TABLE awg ADD CONSTRAINT PK_awg PRIMARY KEY (idawg);
```

```
CREATE TABLE chave
(
  id integer NOT NULL DEFAULT nextval('transistor_id_seq'::regclass),
  partnumber character varying(15),
  tecnologia character varying(20),
  crss text,
  coss text,
  vpm real,
  vthm real,
  qgd real,
  qgs real,
  rjc real,
  rcs real,
  rja real,
  rdson text,
  correntesuportada real,
  v real,
  i real,
  tr real,
  tf real,
  custo real,
  CONSTRAINT transistor_pkey PRIMARY KEY (id),
  CONSTRAINT transistor_partnumber_key UNIQUE (partnumber)
)
```

```
CREATE TABLE diodo
(
  id integer NOT NULL DEFAULT nextval('diodo_id_seq'::regclass),
  partnumber character varying(15),
  tecnologia character varying(20),
  rjc real,
  rcs real,
  rja real,
  i real,
  v real,
  vd text,
  trr text,
  qrr text,
  custo real,
  vd1 text,
  trr1 text,
  qrr1 text,
  temp1 real,
```

```

temp2 real,
correntesuportada real,
CONSTRAINT diodo_pkey PRIMARY KEY (id),
CONSTRAINT diodo_partnumber_key UNIQUE (partnumber)
)

```

```

CREATE TABLE dissipador
(
id integer NOT NULL DEFAULT nextval('dissipador_id_seq'::regclass),
perfil integer,
fabricante character varying(30),
rth real,
altura real,
comprimento real,
custo real,
CONSTRAINT dissipador_pkey PRIMARY KEY (id),
CONSTRAINT dissipador_perfil_key UNIQUE (perfil)
)

```

```

CREATE TABLE nucleo
(
id integer NOT NULL DEFAULT nextval('nucleobkp_id_seq1'::regclass),
partnumber character varying(15),
energia real,
ui real,
volume real,
areae real,
comprimentoe real,
areajanela real,
comprimentoespira real,
a real,
b real,
c real,
d real,
e real,
x real,
tecnologia character varying(30),
custo real,
parafiltro boolean,
CONSTRAINT nucleobkp_pkey1 PRIMARY KEY (id),
CONSTRAINT nucleobkp_partnumber_key1 UNIQUE (partnumber)
)

```

```

CREATE TABLE pontodeoperacao
(
id integer NOT NULL DEFAULT nextval('pontodeoperacao_id_seq'::regclass),
ri double precision NOT NULL,
fs double precision NOT NULL,
CONSTRAINT pontodeoperacao_pkey PRIMARY KEY (id)
)

```

```

CREATE TABLE parametrosconversores
(
id integer NOT NULL DEFAULT
nextval('parametrosconversores_id_seq'::regclass),
pin double precision NOT NULL,
vf double precision NOT NULL,

```

```

vo double precision NOT NULL,
fr double precision,
ta double precision NOT NULL,
tj double precision NOT NULL,
j double precision,
topologia integer NOT NULL,
topologiafiltro character varying(255),
CONSTRAINT parametrosconversores_pkey PRIMARY KEY (id)
)
ALTER TABLE parametrosConversores ADD CONSTRAINT FK_parametrosConversores
_0 FOREIGN KEY (topologia) REFERENCES topologiaconversor(id);

CREATE TABLE public.topologiaconversor
(
id integer NOT NULL DEFAULT
nextval('topologiaconversor_id_seq'::regclass),
nome text,
CONSTRAINT topologiaconversor_pkey PRIMARY KEY (id)
)

CREATE TABLE public.projetosconversores
(
partnumberfiltro character varying(255) NOT NULL,
numespirasifiltro integer NOT NULL,
volumefiltro double precision NOT NULL,
custofiltro double precision NOT NULL,
perdasfiltro double precision NOT NULL,
id integer NOT NULL DEFAULT
nextval('projetosconversores_id_seq'::regclass),
partnumbernucleo character varying(255) NOT NULL,
numespiras integer NOT NULL,
perdas cobre double precision NOT NULL,
perdasnucleo double precision NOT NULL,
awg integer NOT NULL,
numfiosparalelos integer NOT NULL,
temperatura double precision NOT NULL,
comprimento double precision NOT NULL,
indutanciaMin double precision NOT NULL,
indutanciaMax double precision NOT NULL,
perdasindutor double precision NOT NULL,
volumeindutor double precision NOT NULL,
custoindutor double precision NOT NULL,
partnumberdiodo character varying(255) NOT NULL,
perdasconducaod double precision NOT NULL,
perdascomutacaod double precision NOT NULL,
perdasdiodo double precision NOT NULL,
comprimentod double precision NOT NULL,
volumediodo double precision NOT NULL,
custodiodo double precision NOT NULL,
partnumberchave character varying(255) NOT NULL,
perdasconducaot double precision NOT NULL,
perdascomutacaot double precision NOT NULL,
perdaschave double precision NOT NULL,
comprimentot double precision NOT NULL,
volumechave double precision NOT NULL,
custochave double precision NOT NULL,
perfiledissipador integer NOT NULL,
custodissdiodo double precision NOT NULL,
custodisschave double precision NOT NULL,
capacitancia double precision NOT NULL,

```

```

perdescapacitor double precision NOT NULL,
volumecapacitor double precision NOT NULL,
custocapacitor double precision NOT NULL,
volumetotal double precision NOT NULL,
perdas totais double precision NOT NULL,
custoTotal double precision NOT NULL,
CONSTRAINT projetosconversores_pkey PRIMARY KEY (id)
parametrosConversoresORM_id integer NOT NULL,
pontoDeOperacao_id integer NOT NULL,
)

ALTER TABLE ProjetosConversores ADD CONSTRAINT PK_ projetosconversores
PRIMARY KEY (idConversor,idChave,idNucleoFiltro,idDiodo,idNucleoIndutor,
pontoDeOperacao_id, parametrosConversoresORM_id);
ALTER TABLE ProjetosConversores ADD CONSTRAINT FK_ projetosconversores _0
FOREIGN KEY (idChave) REFERENCES chave (id);
ALTER TABLE ProjetosConversores ADD CONSTRAINT FK_ projetosconversores _1
FOREIGN KEY (idNucleoFiltro) REFERENCES nucleoFiltro (id);
ALTER TABLE ProjetosConversores ADD CONSTRAINT FK_ projetosconversores _2
FOREIGN KEY (idDiodo) REFERENCES Diodo (id);
ALTER TABLE ProjetosConversores ADD CONSTRAINT FK_ projetosconversores _3
FOREIGN KEY (idNucleoIndutor) REFERENCES nucleo (id);
ALTER TABLE ProjetosConversores ADD CONSTRAINT FK_ projetosconversores _4
FOREIGN KEY (idDissipador) REFERENCES Dissipador (id);
ALTER TABLE ProjetosConversores ADD CONSTRAINT FK_ projetosconversores _5
FOREIGN KEY (parametrosConversoresORM_id) REFERENCES
parametrosConversoresORM(id);
ALTER TABLE ProjetosConversores ADD CONSTRAINT FK_ projetosconversores_6
FOREIGN KEY (pontoDeOperacao_id) REFERENCES pontoDeOperacao (id);

CREATE TABLE public.projetosconversoresboostdcdc
(
  id integer NOT NULL DEFAULT
nextval('projetosconversoresboostdcdc_id_seq'::regclass),
parametrosConversoresORM_id integer NOT NULL,
pontoDeOperacao_id integer NOT NULL,
partnumbernucleo character varying(255) NOT NULL,
numespiras integer NOT NULL,
perdescobre double precision NOT NULL,
perdasnucleo double precision NOT NULL,
awg integer NOT NULL,
numfiosparalelos integer NOT NULL,
temperatura double precision NOT NULL,
comprimento double precision NOT NULL,
indutanciaMin double precision NOT NULL,
indutanciaMax double precision NOT NULL,
perdasindutor double precision NOT NULL,
volumeindutor double precision NOT NULL,
custoindutor double precision NOT NULL,
partnumberdiodo character varying(255) NOT NULL,
perdasconducaod double precision NOT NULL,
perdascomutacaod double precision NOT NULL,
perdasdiodo double precision NOT NULL,
comprimentod double precision NOT NULL,
volumediodo double precision NOT NULL,

```

```

    custodiado double precision NOT NULL,
    partnumberchave character varying(255) NOT NULL,
    perdasconducaot double precision NOT NULL,
    perdascomutacaot double precision NOT NULL,
    perdaschave double precision NOT NULL,
    comprimentot double precision NOT NULL,
    volumechave double precision NOT NULL,
    custochave double precision NOT NULL,
    perfildissipador integer NOT NULL,
    custodissdiodo double precision NOT NULL,
    custodisschave double precision NOT NULL,
    capacitancia double precision NOT NULL,
    perdescapacitor double precision NOT NULL,
    volumecapacitor double precision NOT NULL,
    custocapacitor double precision NOT NULL,
    volumetotal double precision NOT NULL,
    perdastotais double precision NOT NULL,
    custoTotal double precision NOT NULL,
    CONSTRAINT projetosconversoresboostdcdc_pkey PRIMARY KEY (id)
)

ALTER TABLE projetosconversoresboostdcdc ADD CONSTRAINT PK_
projetosconversoresboostdcdc PRIMARY KEY
(idConversor,idChave,idDiodo,idNucleoIndutor, pontoDeOperacao_id,
parametrosConversoresORM_id);
ALTER TABLE projetosconversoresboostdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresboostdcdc_0 FOREIGN KEY (idChave) REFERENCES chave (id);
ALTER TABLE projetosconversoresboostdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresboostdcdc_2 FOREIGN KEY (idDiodo) REFERENCES Diodo (id);
ALTER TABLE projetosconversoresboostdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresboostdcdc_3 FOREIGN KEY (idNucleoIndutor) REFERENCES
nucleo (id);
ALTER TABLE projetosconversoresboostdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresboostdcdc_4 FOREIGN KEY (idDissipador) REFERENCES
Dissipador (id);
ALTER TABLE projetosconversoresboostdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresboostdcdc_5 FOREIGN KEY (parametrosConversoresORM_id)
REFERENCES parametrosConversoresORM(id);
ALTER TABLE projetosconversoresboostdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresboostdcdc_6 FOREIGN KEY (pontoDeOperacao_id) REFERENCES
pontoDeOperacao (id);

CREATE TABLE projetosconversoresbuckdc
(
    id integer NOT NULL DEFAULT
nextval('projetosconversoresbuckdc_id_seq'::regclass),
    parametrosConversoresORM_id integer NOT NULL,
    pontoDeOperacao_id integer NOT NULL,
    partnumbernucleo character varying(255) NOT NULL,
    numespiras integer NOT NULL,
    perdescobre double precision NOT NULL,
    perdasnucleo double precision NOT NULL,
    awg integer NOT NULL,
    numfiosparalelos integer NOT NULL,

```

```

temperatura double precision NOT NULL,
comprimento double precision NOT NULL,
indutanciaMin double precision NOT NULL,
indutanciaMax double precision NOT NULL,
perdasindutor double precision NOT NULL,
volumeindutor double precision NOT NULL,
custoindutor double precision NOT NULL,
partnumberdiodo character varying(255) NOT NULL,
perdasconducaod double precision NOT NULL,
perdascomutacaod double precision NOT NULL,
perdasdiodo double precision NOT NULL,
comprimentod double precision NOT NULL,
volumediodo double precision NOT NULL,
custodiodo double precision NOT NULL,
partnumberchave character varying(255) NOT NULL,
perdasconducaot double precision NOT NULL,
perdascomutacaot double precision NOT NULL,
perdaschave double precision NOT NULL,
comprimentot double precision NOT NULL,
volumechave double precision NOT NULL,
custochave double precision NOT NULL,
perfiledissipador integer NOT NULL,
custodissdiodo double precision NOT NULL,
custodisschave double precision NOT NULL,
capacitancia double precision NOT NULL,
perdescapacitor double precision NOT NULL,
volumecapacitor double precision NOT NULL,
custocapacitor double precision NOT NULL,
volumetotal double precision NOT NULL,
perdatotais double precision NOT NULL,
custoTotal double precision NOT NULL,
CONSTRAINT projetosconversoresbuckdc_dc_pkey PRIMARY KEY (id)
)
ALTER TABLE projetosconversoresbucktdcdc ADD CONSTRAINT PK_
projetosconversoresbuckdc_dc PRIMARY KEY
(idConversor,idChave,idDiodo,idNucleoIndutor, pontoDeOperacao_id,
parametrosConversoresORM_id);
ALTER TABLE projetosconversoresbucktdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresbuckdc_dc_0 FOREIGN KEY (idChave) REFERENCES chave (id);
ALTER TABLE projetosconversoresbucktdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresbuckdc_dc_2 FOREIGN KEY (idDiodo) REFERENCES Diodo (id);
ALTER TABLE projetosconversoresbucktdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresbuckdc_dc_3 FOREIGN KEY (idNucleoIndutor) REFERENCES
nucleo (id);
ALTER TABLE projetosconversoresbucktdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresbuckdc_dc_4 FOREIGN KEY (idDissipador) REFERENCES
Dissipador (id);
ALTER TABLE projetosconversoresbucktdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresbuckdc_dc_5 FOREIGN KEY (parametrosConversoresORM_id)
REFERENCES parametrosConversoresORM(id);
ALTER TABLE projetosconversoresbucktdcdc ADD CONSTRAINT FK_
projetosconversoresbuckdc_dc_6 FOREIGN KEY (pontoDeOperacao_id) REFERENCES
pontoDeOperacao (id);

```


APÊNDICE D – COMPONENTES UTILIZADOS PARA CONSTRUÇÃO DE PROJETOS NO SISTEMA POCE

Chaves

Part Number	Tecnologia	CRSS	COSS	VPM	VTHM	QGD	QGS	RJC	RCSR	RJA	RDSON	iSuport	V	i	Custo	tr	tf
1 "IRFP460A"	"MOSFET"	"3.8e-10"	"1.7e-09"	5.4	2	4e-008	2.6e-008	0.45	0.24	40	"2.24"	14	600	20	5.5e-008	3.9e-008	3.163
2 "IRFP450A"	"MOSFET"	"(0.00175*Math.pow(vo,2)-1.325*vo+345)*1e-12"	"(0.005*Math.pow(vo,2)-3.75*vo+940)*1e-12"	5.4	2	8e-008	2e-011	0.65	0.24	40	"(52.57*Math.exp(0.002521*tj))- (51.8*Math.exp(0.002393*tj))"	9	500	14	3.6e-008	2.9e-008	2.48
3 "IRF840A"	"MOSFET"	"(2*1e-5*Math.pow(vo,2)-0.0153*vo+5.94)*1e-12"	"(0.00032*Math.pow(vo,2)-0.269*vo+99.9)*1e-12"	5.6	2	1.8e-008	9e-009	1	0.5	62	"0.8323*Math.exp(0.008079*tj)"	6	500	8	2.3e-008	1.9e-008	1.307
4 "IPP60R299CP"	"CoolMOSCP"	"6.7e-12"	"3.3e-11"	5	2.5	7.6e-009	5e-009	1.3	0.56	62	"(0.03326*Math.exp(-0.04198*tj)+(0.2114*Math.exp(0.008443*tj))"	7	650	11	5e-009	5e-009	2.535
5 "IPP60R385CP"	"CoolMOSCP"	"1.45e-12"	"2.8e-11"	11	2.5	6e-009	4e-009	1.5	0.68	62	"(0.289*Math.exp(0.007892*tj)+(3.207e-17*Math.exp(0.2399*tj))"	5.7	650	9	5e-009	5e-009	1.353
6 "SPP17N80C3"	"CoolMOSC3"	"6e-11"	"1.25e-09"	6	2.1	4.6e-008	1.2e-008	0.6	0.22	62	"(6.788*Math.exp(0.003379*tj))- (6.598*Math.exp(0.003176*tj))"	11	800	17	1.5e-008	6e-009	3.58
7 "IXKK 85N60C"	"CoolMOSC3"	"290e-12"	"4.4e-12"	3.68	4	2.4e-007	5e-008	0.18	0.15	62	"3.524e-07*Math.pow(tj,2) + 6.405e-05 *tj + 0.007964 "	55	600	85	2.7e-008	1e-008	31.857
8 "IXFB110N60P3"	"MOSFET"	"5.5e-12"	"1650e-12"	3.81	5.5	5.3e-008	8.3e-008	0.066	0.13	40	"3.143e-07*Math.pow(tj,2) +7.5e-05 *tj + 0.008107 "	70	600	110	1.9e-008	1.1e-008	16.56
9 "FCH043N60"	"MOSFET"	"11e-12"	"353e-12"	4.61	3.5	3.9e-008	3.5e-008	0.21	0.24	40	"3.048e-07*Math.pow(tj,2) + 6.381e-05*tj + 0.008143 "	47.5	600	75	3.6e-008	6e-009	10.277
10 "IPP65R225C7"	"coolmosc7"	"4"	"14e-12"	5.4	4	6e-009	5	1.99	0.56	62	"6e-6*Math.pow(tj,2)+0.0012*tj+0.1648"	7	700	7	6e-009	1e-008	2.56
11 "IPP50R399CP"	"COOLMOSCP"	"2.2"	"40e-12"	5.2	3.5	6e-009	4e-009	1.5	0.56	62	"Math.pow(10,-5)*Math.pow(tj,2)+0.0026*tj+0.2881"	6	560	6	1.4e-008	1.4e-008	1.1565
12 "IPP50R199CP"	"COOLMOSCP"	"2.9"	"80e-12"	5.2	3.5	1.1e-008	8e-009	0.9	0.56	62	"6e-6*Math.pow(tj,2)+0.0012*tj+0.143"	11	550	11	1.4e-008	1e-008	2.645
13 "IPP65R045C7"	"COOLMOSC7"	"16"	"70e-9"	5.4	4	3e-008	2.3e-008	0.55	0.56	62	" 1e-6*Math.pow(tj,2)+0.0002*tj+0.039"	29	700	29	1.4e-008	7e-009	13.167
14 "IPA60R190P6"	"COOLMOSP6"	"4"	"76e-12"	5.4	4	1.3e-008	1.1e-008	3.7	0.56	80	"5e-6*Math.pow(tj,2)+0.001*tj+0.1407"	6.1	650	7	8e-009	7e-009	2.422
15 "IPP60R190P6"	"COOLMOSP6"	"16"	"76e-12"	5.4	4	1.3e-011	1.1e-011	0.83	0.56	62	"5e-6*Math.pow(tj,2)+0.001*tj+0.141"	12.7	650	29	8e-012	7e-012	2.422

Diodos

	Part number	tecnologia	RJC	RCS	RJA	I	V	Vd	TRR	QRR	CUSTO	VDI	TRR1	QRR1	TEMP1	TEMP2	iSUPORT
1	"15ETH06"	"hyperfastSI"	1	0.5	68	15	60	"1.744*Math.exp(0.005614*id)-0.7323*Math.exp(-0.1704*id)"	"(32.31*id/(2.308+id))*1e-9"	"(173.3*id/(35+id))*1e-9"	1.357	"1.329*Math.exp(0.0079*id)-0.6953*Math.exp(-0.104*id)"	"(83.12*id/(2.812+id))*1e-9"	"(354.5*id/(5.455+id))*1e-9"	25	125	15
2	"RURG5060"	"Fast"	1	0.25	40	50	60	"1.191*Math.exp(0.002099 *id) + -0.4688*Math.exp(-0.06133 *id)"	"48e-9"	"(0.8797*id + 54.1)*1e-9"	3.49	"1.093 *Math.exp(0.002641 *id) + -0.6071 *Math.exp(-0.03607*id)"	"48e-9"	"(2.703*id+553.4)*1e-9"	25	125	50
21	"CDS06060"	"Schottky"	1.8	2	54	60	60	"-0.001512*Math.pow(id,2) +0.1196*id+0.9573"	"0"	"0"	3.49	"-0.001287*Math.pow(id,2) +0.1953*id+0.8231"	"0"	"0"	25	125	6
22	"IDH065G65C5"	"Schottky"	2.4	2.2	62	65	60	"2.021*Math.exp(-Math.pow(((id -14.83) / 5.496),2))+ 1.321*Math.exp(-Math.pow(((id -6.683) / 5.452),2))+ 0.5972*Math.exp(-Math.pow(((id -1.265) / 3.146),2))"	"0"	"0"	6.71	"7.149e-06* Math.pow(id,6) + -0.0002665* Math.pow(id,5) + 0.003779* Math.pow(id,4) + -0.02498* Math.pow(id,3) + 0.0739*Math.pow(id,2) + 0.1165* id + 0.8056"	"0"	"0"	25	175	6

Dissipadores

	Perfil	Fabricante	RTH	altura	comprimento	Custo
1	7624	"HS"	3.6	2.4	7.6	41
2	6524	"HS"	3.72	2.4	6.5	31.5
3	12132	"HS"	1.92	3.2	9.8	102.5

Núcleos Magnéticos

	Part number	energia	ui	volume	areae	comprimentoe	areaanel	comprimento	a	b	c	d	e	x	tecnologia	Custo	somenteFiltro
1	"58018"	0.0028	1600	0.064	0.047	1.36	0.0408	1.23	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	0.868124	FALSE
2	"58238"	0.003	1600	0.0649	0.0476	1.36	0.0363	1.22	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	0.869376	FALSE
3	"58268"	0.0045	1600	0.125	0.092	1.36	0.0363	1.69	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	0.952975	FALSE
4	"258018"	0.0056	1600	0.128	0.094	1.36	0.0408	2.21	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	1.73625	FALSE
5	"58028"	0.013	1600	0.107	0.0599	1.79	0.0935	1.38	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	0.927937	FALSE
6	"58408"	0.019	1600	0.12	0.0725	1.65	0.0935	1.66	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	0.94602	FALSE
7	"58278"	0.031	1600	0.164	0.0752	2.18	0.143	1.5	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	1.00722	FALSE
8	"58288"	0.043	1600	0.206	0.0945	2.18	0.143	1.66	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	1.06565	FALSE
9	"58038"	0.058	1600	0.22	0.0957	2.3	0.164	1.69	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	1.08512	FALSE
10	"58128"	0.11	1600	0.244	0.0906	2.69	0.268	1.7	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	1.1185	FALSE
11	"58048"	0.21	1600	0.34	0.109	3.12	0.383	1.98	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	1.25204	FALSE
13	"58378"	0.8	1600	0.96	0.232	4.14	0.638	2.62	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	2.11446	FALSE
14	"58118"	0.9	1600	0.792	0.192	4.12	0.712	2.52	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	1.88077	FALSE
15	"58204"	1.7	1600	1.12	0.221	5.09	1.14	2.72	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	2.33702	FALSE
16	"258118"	1.8	1600	1.584	0.384	4.12	0.712	4.35	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	3.76154	FALSE
17	"58309"	3.3	1471	1.8	0.317	5.67	1.39	3.13	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	2.33032	FALSE
18	"258204"	3.4	1602	2.4	0.442	5.09	1.14	4.51	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	4.67404	FALSE
19	"58349"	4.3	1472	2.28	0.388	5.88	1.49	3.42	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	2.79155	FALSE
20	"258309"	6.6	1473	3.6	0.634	5.67	1.39	5.28	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	4.66064	FALSE
21	"58929"	8	1474	4.15	0.654	6.35	1.56	4.19	0.000267	-0.000783	0.000529	0.00222	0.000261	0.5	"HF"	4.58844	FALSE
22	"58585"	13	1254	4.15	0.464	8.95	3.99	3.96	0.000532	-0.000681	0.000351	0.0105	0.000169	0.5	"HF"	3.42917	FALSE
23	"58548"	15	1255	5.34	0.656	8.14	2.97	4.35	0.000532	-0.000681	0.000351	0.0105	0.000169	0.5	"HF"	4.26669	FALSE
24	"58324"	20	1256	6.09	0.678	8.98	3.64	4.48	0.000532	-0.000681	0.000351	0.0105	0.000169	0.5	"HF"	4.79454	FALSE
25	"258585"	26	1258	8.3	0.928	8.95	3.99	6.21	0.000532	-0.000681	0.000351	0.0105	0.000169	0.5	"HF"	6.34994	FALSE
26	"58254"	30	12510	6.1	1.07	9.84	4.27	5.58	0.000532	-0.000681	0.000351	0.0105	0.000169	0.5	"HF"	7.96868	FALSE
27	"258324"	40	12512	12.18	1.356	8.98	3.64	7.3	0.000532	-0.000681	0.000351	0.0105	0.000169	0.5	"HF"	9.58908	FALSE
28	"58090"	60	60	15.6	1.34	11.6	6.1	6.1	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	12.5643	FALSE
29	"58438"	68	12521	3.199	1.99	10.7	4.27	6.97	0.000532	-0.000681	0.000351	0.0105	0.000169	0.5	"HF"	15.4993	FALSE
30	"58716"	70	60	15.9	1.25	12.7	7.51	6	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	12.7989	FALSE
31	"58195"	99	12528	6.229	12.5	5.14	7.3	7.3	0.000532	-0.000681	0.000351	0.0105	0.000169	0.5	"HF"	20.6371	FALSE
32	"58110"	120	60	20.7	1.44	14.3	9.48	6.43	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	16.553	FALSE
33	"258090"	120	60	31.2	2.68	11.6	6.1	10.15	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	25.1285	FALSE
34	"258716"	140	60	31.8	2.5	12.7	7.51	9.4	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	25.5978	FALSE
35	"58617"	220	60	51.8	3.6	14.4	7.89	9.34	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	40.8763	FALSE
36	"58867"	280	60	34.5	1.76	19.6	18.2	7.41	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	27.3459	FALSE
37	"58907"	310	60	43.4	2.21	19.6	18.2	8.05	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	34.3066	FALSE
38	"258867"	560	60	69	3.52	19.6	18.2	10.36	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	54.6919	FALSE
39	"58099"	580	60	86.9	3.58	24.3	24.7	10	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	68.328	FALSE
40	"258907"	620	60	86.8	4.42	19.6	18.2	11.9	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	68.6133	FALSE
41	"58737"	630	60	91.4	4.97	18.4	15.5	11.7	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	71.8474	FALSE
42	"258099"	1160	60	173.8	7.16	24.3	24.7	14.26	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	136.656	FALSE
43	"258737"	1260	60	182.8	9.94	18.4	15.5	20.9	-0.17	0.122	0.0121	0.694	0.0102	2	"HF"	143.695	FALSE
44	"58337"	2500	26	220	6.78	32.4	47.1	13.5	-0.0407	0.0164	0.0003742	0.0532	0.0003413	2	"HF"	206.475	FALSE

45	"58165"	6000	26	407	9.87	41.2	80.3	16.4	-0.0407	0.0164	0.0003742	0.0532	0.0003413	2	"HF"	382.161	FALSE
46	"358337"	7500	26	660	20.34	32.4	47.1	27	-0.0407	0.0164	0.0003742	0.0532	0.0003413	2	"HF"	619.424	FALSE
47	"258165"	12000	26	814	19.74	41.2	80.3	24.6	-0.0407	0.0164	0.0003742	0.0532	0.0003413	2	"HF"	764.322	FALSE
48	"55135"	0.00045	3000	0.0105	0.013	0.942	0.0127	0.765	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.01605	FALSE
49	"55145"	0.0019	3000	0.0199	0.0211	1.06	0.0232	0.976	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.04814	FALSE
50	"55175"	0.002	3000	0.0303	0.0285	0.942	0.0269	1.04	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.08364	FALSE
51	"255145"	0.0038	3000	0.0398	0.0422	1.36	0.0232	1.85	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	2.09628	FALSE
52	"55015"	0.005	3000	0.064	0.047	1.36	0.048	1.23	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.1987	FALSE
53	"55235"	0.0053	3000	0.0649	0.0476	1.36	0.0363	1.22	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.20177	FALSE
54	"55265"	0.009	3000	0.125	0.092	1.79	0.0363	1.69	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.40695	FALSE
55	"55025"	0.023	3000	0.107	0.06	1.65	0.0935	1.38	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.3455	FALSE
56	"55405"	0.003	3000	0.12	0.0725	2.18	0.0935	1.66	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.38988	FALSE
57	"55275"	0.052	3000	0.164	0.0752	2.18	0.143	1.5	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.5401	FALSE
58	"55285"	0.07	3000	0.206	0.0945	2.3	0.143	1.66	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.68348	FALSE
59	"55035"	0.085	3000	0.22	0.0957	2.69	0.164	1.69	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.73128	FALSE
60	"55125"	0.12	3000	0.244	0.0906	3.12	0.268	1.7	0.00094	-0.00154	0.00199	0.024	0.00307	0.5	"MPP"	1.81322	FALSE
61	"55047"	0.24	2000	0.34	0.109	3.12	0.383	1.98	0.001	-0.00145	0.0009127	0.00606	0.00143	0.5	"MPP"	0.94144	FALSE
62	"255047"	0.48	2000	0.68	0.218	4.12	0.383	3.43	0.001	-0.00145	0.0009127	0.00606	0.00143	0.5	"MPP"	1.88288	FALSE
63	"55117"	0.79	2000	0.791	0.192	4.14	0.712	2.52	0.001	-0.00145	0.0009127	0.00606	0.00143	0.5	"MPP"	1.71987	FALSE
64	"55377"	0.8	2000	0.96	0.232	5.09	0.638	2.62	0.001	-0.00145	0.0009127	0.00606	0.00143	0.5	"MPP"	2.01156	FALSE
65	"55206"	1.3	125	1.12	0.221	4.12	1.14	2.72	0.000642	-0.000627	0.000325	0.01	0.000537	0.5	"MPP"	1.02224	FALSE
66	"255117"	1.58	2000	1.582	0.384	5.67	0.712	4.35	0.001	-0.00145	0.0009127	0.00606	0.00143	0.5	"MPP"	3.43973	FALSE
67	"55310"	2.7	125	1.8	0.317	5.88	1.39	3.13	0.000642	-0.000627	0.000325	0.01	0.000537	0.5	"MPP"	2.098	FALSE
68	"55350"	3.3	125	2.28	0.388	5.67	1.49	3.42	0.000642	-0.000627	0.000325	0.01	0.000537	0.5	"MPP"	2.85736	FALSE
69	"255310"	5.4	125	3.6	0.634	6.35	1.39	5.2	0.000642	-0.000627	0.000325	0.01	0.000537	0.5	"MPP"	4.196	FALSE
70	"55930"	6	125	4.15	0.654	8.14	1.56	4.19	0.000642	-0.000627	0.000325	0.01	0.000537	0.5	"MPP"	5.8157	FALSE
71	"55071"	10	60	5.34	0.656	8.95	2.97	4.35	0.0815	0.0235	6.03e-005	0.0248	7.19e-005	2	"MPP"	8.8206	FALSE
72	"55586"	10	60	4.15	0.464	8.98	3.99	3.96	0.0815	0.0235	6.03e-005	0.0248	7.19e-005	2	"MPP"	6.9166	FALSE
73	"55076"	12	60	6.09	0.678	8.95	3.64	4.48	0.0815	0.0235	6.03e-005	0.0248	7.19e-005	2	"MPP"	10.0206	FALSE
74	"255586"	20	60	8.3	0.928	9.84	3.99	6.18	0.0815	0.0235	6.03e-005	0.0248	7.19e-005	2	"MPP"	13.8332	FALSE
75	"55083"	25	60	10.6	1.07	10.7	4.27	5.58	0.0815	0.0235	6.03e-005	0.0248	7.19e-005	2	"MPP"	17.2366	FALSE
76	"55439"	45	60	21.3	1.99	11.6	4.27	6.97	0.0815	0.0235	6.03e-005	0.0248	7.19e-005	2	"MPP"	34.3566	FALSE
77	"55090"	46	60	15.6	1.34	12.7	6.1	6.1	0.0815	0.0235	6.03e-005	0.0248	7.19e-005	2	"MPP"	25.2366	FALSE
78	"55716"	50	60	15.9	1.25	12.5	7.51	5.96	0.0815	0.0235	6.03e-005	0.0248	7.19e-005	2	"MPP"	25.7166	FALSE
79	"55192"	69	60	28.6	2.29	14.3	5.14	7.29	0.0815	0.0235	6.03e-005	0.0248	7.19e-005	2	"MPP"	46.0366	FALSE
80	"55111"	69	26	20.7	1.44	12.7	9.48	6.43	0.0668	0.0111	-1.14e-005	0.0111	-1.23e-005	2	"MPP"	35.4267	FALSE
81	"255716"	100	60	31.8	2.5	14.4	7.51	9.4	0.0815	0.0235	6.03e-005	0.0248	7.19e-005	2	"MPP"	51.4332	FALSE
82	"55617"	160	60	51.8	3.6	19.6	7.89	9.34	0.0815	0.0235	6.03e-005	0.0248	7.19e-005	2	"MPP"	83.1566	FALSE
83	"55868"	170	26	34.5	1.76	19.6	18.2	7.41	0.0668	0.0111	-1.14e-005	0.0111	-1.23e-005	2	"MPP"	58.7901	FALSE
84	"55908"	210	26	43.4	2.21	19.6	18.2	8.05	0.0668	0.0111	-1.14e-005	0.0111	-1.23e-005	2	"MPP"	73.8578	FALSE
85	"255868"	340	26	69	3.52	18.4	18.2	10.36	0.0668	0.0111	-1.14e-005	0.0111	-1.23e-005	2	"MPP"	117.58	FALSE
86	"55735"	400	26	91.4	4.97	19.6	15.5	11.7	0.0668	0.0111	-1.14e-005	0.0111	-1.23e-005	2	"MPP"	155.122	FALSE
87	"255908"	420	26	86.8	4.42	24.3	18.2	11.8	0.0668	0.0111	-1.14e-005	0.0111	-1.23e-005	2	"MPP"	147.716	FALSE
88	"55102"	490	26	86.9	3.58	24.3	24.7	10	0.0668	0.0111	-1.14e-005	0.0111	-1.23e-005	2	"MPP"	147.503	FALSE
89	"255102"	980	26	173.8	7.16	32.4	24.7	14.26	0.0668	0.0111	-1.14e-005	0.0111	-1.23e-005	2	"MPP"	295.007	FALSE
90	"55336"	1200	14	220	6.78	41.2	47.1	13.5	-7.507	6.573	0.462	78	0.499	2	"MPP"	393.256	FALSE

91	"55164"	3100	14	407	9.87	64.8		80.3	16.4	-7.507	6.573	0.462	78	0.499	2	"MPP"	727.051	FALSE
92	"355336"	3600	14	660	20.34	41.2		47.1	27	-7.507	6.573	0.462	78	0.499	2	"MPP"	1178.66	FALSE
93	"255164"	6200	14	814	19.74	41.2		80.3	24.6	-7.507	6.573	0.462	78	0.499	2	"MPP"	1454.1	FALSE
94	"355164"	9300	14	1221	29.61	41.2		80.3	32.8	-7.507	6.573	0.462	78	0.499	2	"MPP"	2181.15	FALSE
95	"455164"	12400	14	1628	39.48	41.2		80.3	41	-7.507	6.573	0.462	78	0.499	2	"MPP"	2908.2	FALSE
96	"77140"	0.00023	125	0.0105	0.013	0.806		0.0127	0.765	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.356592	FALSE
97	"77150"	0.0008	125	0.0199	0.0211	0.942		0.0232	0.976	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.358197	FALSE
98	"77180"	0.00084	125	0.0303	0.0285	1.06		0.0269	1.04	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.359972	FALSE
99	"277180"	0.00168	125	0.0606	0.057	1.06		0.0408	1.94	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.719944	FALSE
100	"77020"	0.002	125	0.064	0.047	1.36		0.0408	1.23	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.365725	FALSE
101	"77240"	0.0022	125	0.0649	0.0476	1.36		0.0363	1.22	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.365878	FALSE
102	"77270"	0.0038	125	0.125	0.092	1.36		0.0363	1.7	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.376137	FALSE
103	"77030"	0.01	125	0.107	0.0599	1.79		0.0935	1.38	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.373065	FALSE
104	"77410"	0.13	125	0.12	0.0725	1.65		0.0935	1.66	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.375284	FALSE
105	"77280"	0.24	125	0.164	0.0752	2.18		0.143	1.5	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.382795	FALSE
106	"77290"	0.03	125	0.206	0.0945	2.18		0.143	1.66	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.389964	FALSE
107	"77040"	0.04	125	0.22	0.0957	2.3		0.164	1.69	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.392354	FALSE
108	"77130"	0.074	125	0.244	0.0906	2.69		0.268	1.7	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.396451	FALSE
109	"77050"	0.16	125	0.34	0.109	3.12		0.383	1.98	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.412838	FALSE
110	"277050"	0.32	125	0.68	0.218	3.12		0.383	3.43	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.825676	FALSE
111	"77380"	0.5	125	0.96	0.232	4.14		0.638	2.62	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.518672	FALSE
112	"77120"	0.53	125	0.791	0.192	4.12		0.712	2.52	7.81e-005	0.000509	0.00026	0.00392	0.000229	0.5	"koolmu"	0.489824	FALSE
113	"77210"	1	90	1.12	0.221	5.09		1.14	2.72	0.000566	-0.000122	0.000197	0.00728	0.00017	0.5	"koolmu"	0.564204	FALSE
114	"77314"	1.8	90	1.8	0.317	5.67		1.39	3.13	0.000566	-0.000122	0.000197	0.00728	0.00017	0.5	"koolmu"	0.72006	FALSE
115	"277210"	2	90	2.24	0.634	5.09		1.14	4.51	0.000566	-0.000122	0.000197	0.00728	0.00017	0.5	"koolmu"	1.12841	FALSE
116	"77354"	2.4	90	2.28	0.388	5.88		1.49	3.42	0.000566	-0.000122	0.000197	0.00728	0.00017	0.5	"koolmu"	0.830076	FALSE
117	"277314"	3.6	90	3.6	0.634	5.67		1.39	5.27	0.000566	-0.000122	0.000197	0.00728	0.00017	0.5	"koolmu"	1.44012	FALSE
118	"77934"	4	90	4.15	0.654	6.35		1.56	4.2	0.000566	-0.000122	0.000197	0.00728	0.00017	0.5	"koolmu"	1.25868	FALSE
119	"77586"	8	60	4.15	0.464	8.95		3.99	3.96	0.000166	2.3e-005	7.3e-005	0.00591	6.05e-005	0.5	"koolmu"	1.05291	FALSE
120	"77071"	8.05	60	5.34	0.656	8.14		2.97	4.35	0.000166	2.3e-005	7.3e-005	0.00591	6.05e-005	0.5	"koolmu"	1.31245	FALSE
121	"77076"	10	60	6.09	0.678	8.98		3.64	4.48	0.000166	2.3e-005	7.3e-005	0.00591	6.05e-005	0.5	"koolmu"	1.47603	FALSE
122	"277586"	16	60	8.3	0.928	8.95		3.99	6.21	0.000166	2.3e-005	7.3e-005	0.00591	6.05e-005	0.5	"koolmu"	2.10583	FALSE
123	"77083"	20	60	10.6	1.07	9.84		4.27	5.58	0.000166	2.3e-005	7.3e-005	0.00591	6.05e-005	0.5	"koolmu"	2.45966	FALSE
124	"77095"	33	40	15.6	1.34	11.6		6.1	6.1	8.87e-005	5.6e-005	2.7e-005	0.00029	2.57e-005	0.5	"koolmu"	14.5061	FALSE
125	"77439"	35	60	21.3	1.99	10.7		4.27	6.97	0.000166	2.3e-005	7.3e-005	0.00591	6.05e-005	0.5	"koolmu"	4.79333	FALSE
126	"77721"	40	40	15.9	1.25	12.7		7.51	5.96	8.87e-005	5.6e-005	2.7e-005	0.00029	2.57e-005	0.5	"koolmu"	14.7879	FALSE
127	"77192"	50	60	28.6	2.29	12.5		5.14	7.29	0.000166	2.3e-005	7.3e-005	0.00591	6.05e-005	0.5	"koolmu"	6.38546	FALSE
128	"77212"	63	40	20.7	1.44	14.3		9.48	6.43	8.87e-005	5.6e-005	2.7e-005	0.00029	2.57e-005	0.5	"koolmu"	19.2975	FALSE
129	"277095"	66	40	31.2	2.68	11.6		6.1	10.14	8.87e-005	5.6e-005	2.7e-005	0.00029	2.57e-005	0.5	"koolmu"	29.0122	FALSE
130	"277721"	80	40	31.8	2.5	12.7		7.51	9.4	8.87e-005	5.6e-005	2.7e-005	0.00029	2.57e-005	0.5	"koolmu"	29.5759	FALSE
131	"77616"	120	40	51.8	3.6	14.4		7.89	9.34	8.87e-005	5.6e-005	2.7e-005	0.00029	2.57e-005	0.5	"koolmu"	48.516	FALSE
132	"77868"	150	26	34.5	1.76	19.6		18.2	7.41	5.87e-005	9.36e-005	9.01e-006	-0.000368	8.75e-006	0.5	"koolmu"	8.5253	FALSE
133	"77908"	190	26	43.4	2.21	19.6		18.2	8.05	5.87e-005	9.36e-005	9.01e-006	-0.000368	8.75e-006	0.5	"koolmu"	10.7948	FALSE
134	"277868"	171	26	69	3.52	19.6		18.2	10.36	5.87e-005	9.36e-005	9.01e-006	-0.000368	8.75e-006	0.5	"koolmu"	17.0506	FALSE
135	"77735"	320	26	91.4	4.97	18.4		15.5	11.7	5.87e-005	9.36e-005	9.01e-006	-0.000368	8.75e-006	0.5	"koolmu"	23.0348	FALSE
136	"77102"	410	26	86.9	3.58	24.3		24.7	10	5.87e-005	9.36e-005	9.01e-006	-0.000368	8.75e-006	0.5	"koolmu"	21.8873	FALSE

137	"277735"	640	26	182.8	9.94	18.4	15.5	20.91	5.87e-005	9.36e-005	9.01e-006	-0.000368	8.75e-006	0.5	"koolmu"	46.0696	FALSE
138	"277102"	820	26	173.8	7.16	24.3	24.7	14.26	5.868e-005	9.362e-005	9.01e-006	-0.000368	8.75e-006	0.5	"koolmu"	43.7746	FALSE
139	"77337"	1200	26	220	6.78	32.4	47.1	13.5	5.868e-005	9.362e-005	9.011e-006	-0.0003682	8.747e-006	0.5	"koolmu"	55.8278	FALSE
140	"77165"	2000	26	407	9.87	41.2	80.3	16.4	5.868e-005	9.362e-005	9.011e-006	-0.0003682	8.747e-006	0.5	"koolmu"	103.513	FALSE
141	"377337"	2460	26	660	20.34	41.2	47.1	27	5.868e-005	9.362e-005	9.011e-006	-0.0003682	8.747e-006	0.5	"koolmu"	167.483	FALSE
142	"277165"	4000	26	814	19.74	41.2	80.3	24.6	5.868e-005	9.362e-005	9.011e-006	-0.0003682	8.747e-006	0.5	"koolmu"	207.026	FALSE
143	"377165"	6000	26	1221	29.6	41.2	80.3	32.8	5.868e-005	9.362e-005	9.011e-006	-0.0003682	8.747e-006	0.5	"koolmu"	310.538	FALSE
144	"477165"	8000	26	1628	39.48	41.2	80.3	41	5.868e-005	9.362e-005	9.011e-006	-0.0003682	8.747e-006	0.5	"koolmu"	414.051	FALSE
145	"577165"	12000	26	2035	49.3	41.2	80.3	49.2	5.868e-005	9.362e-005	9.011e-006	-0.0003682	8.747e-006	0.5	"koolmu"	517.564	FALSE
147	"58348"		160	2.28	0.338	5.88	1.49	4.49							"HF"	3.95058	TRUE
148	"58583"		160	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"HF"	6.42656	TRUE
149	"77254"		125	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38							"koolmu"	2.14715	TRUE
150	"58928"		160	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"HF"	6.55175	TRUE
151	"58546"		160	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"HF"	8.40178	TRUE
152	"77089"		125	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34							"koolmu"	3.01431	TRUE
153	"58308"		160	1.88	0.331	5.67	1.41	4.29							"HF"	3.39418	TRUE
154	"77717"		26	15.93	1.251	12.73	7.5	8.51							"koolmu"	3.78995	TRUE
155	"77715"		125	15.93	1.251	12.73	7.5	8.51							"koolmu"	3.07405	TRUE
156	"77440"		26	21.3	1.99	10.74	4.27	8.66							"koolmu"	5.1593	TRUE
157	"77109"		125	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48							"koolmu"	3.87976	TRUE
158	"77438"		125	21.3	1.99	10.74	4.27	8.66							"koolmu"	3.99071	TRUE
159	"77932"		26	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"koolmu"	0.78605	TRUE
160	"77930"		125	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"koolmu"	1.06321	TRUE
161	"77548"		125	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"koolmu"	1.29024	TRUE
162	"77324"		125	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22							"koolmu"	1.39402	TRUE
163	"58587"		26	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"HF"	3.59891	TRUE
164	"58932"		26	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"HF"	3.68347	TRUE
165	"58550"		26	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"HF"	4.933	TRUE
166	"58353"		14	2.28	0.338	5.88	1.49	4.49							"HF"	1.8706	TRUE
167	"58588"		14	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"HF"	3.54291	TRUE
168	"58933"		14	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"HF"	3.62746	TRUE
169	"58551"		14	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"HF"	4.877	TRUE
170	"58123"		14	0.789	0.192	4.11	0.713	3.22							"HF"	0.469803	TRUE
171	"58351"		60	2.28	0.338	5.88	1.49	4.49							"HF"	2.14669	TRUE
172	"58586"		60	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"HF"	3.53883	TRUE
173	"58894"		60	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"HF"	3.60922	TRUE
174	"58071"		60	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"HF"	4.64941	TRUE
175	"58192"		60	28.6	2.29	12.5	5.14	9.02							"HF"	22.7316	TRUE
176	"58350"		125	2.28	0.338	5.88	1.49	4.49							"HF"	2.11306	TRUE
177	"58930"		125	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"HF"	3.42917	TRUE
178	"58906"		125	45.3	2.27	19.95	17.99	11							"HF"	32.3905	TRUE
179	"77550"		26	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"koolmu"	1.1252	TRUE
180	"77326"		26	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22							"koolmu"	1.28024	TRUE
181	"77256"		26	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38							"koolmu"	2.4053	TRUE
182	"77090"		60	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34							"koolmu"	3.5458	TRUE
183	"77716"		60	15.93	1.251	12.73	7.5	8.51							"koolmu"	3.62213	TRUE

184	"77110"		60	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48							"koolmu"	4.65157	TRUE
185	"77259"		75	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38							"koolmu"	2.02375	TRUE
186	"77094"		75	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34							"koolmu"	2.84315	TRUE
187	"77720"		75	15.93	1.251	12.73	7.5	8.51							"koolmu"	2.89961	TRUE
188	"77214"		75	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48							"koolmu"	3.66094	TRUE
189	"77443"		75	21.3	1.99	10.74	4.27	8.66							"koolmu"	3.76579	TRUE
190	"77935"		75	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"koolmu"	0.999495	TRUE
191	"77553"		75	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"koolmu"	1.21402	TRUE
192	"77329"		75	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22							"koolmu"	1.31209	TRUE
193	"77258"		90	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38							"koolmu"	2.7141	TRUE
194	"77093"		90	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34							"koolmu"	3.87844	TRUE
195	"77719"		90	15.93	1.251	12.73	7.5	8.51							"koolmu"	3.95866	TRUE
196	"77213"		90	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48							"koolmu"	5.04048	TRUE
197	"77442"		90	21.3	1.99	10.74	4.27	8.66							"koolmu"	5.18946	TRUE
198	"77552"		90	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"koolmu"	1.56352	TRUE
199	"77328"		90	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22							"koolmu"	1.70287	TRUE
200	"55203"		200	1.15	0.226	5.09	1.14	3.8							"MPP"	2.3395	TRUE
201	"58868"		26	34.7	1.77	20	17.99	10.4							"HF"	32.3852	TRUE
202	"58869"		14	34.7	1.77	20	17.99	9.02							"HF"	32.3292	TRUE
203	"55307"		200	1.88	0.331	5.67	1.41	4.29							"MPP"	3.59948	TRUE
204	"55347"		200	2.28	0.388	5.88	1.49	4.49							"MPP"	4.28988	TRUE
205	"55582"		200	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"MPP"	7.36216	TRUE
206	"55927"		200	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"MPP"	7.5175	TRUE
207	"55321"		200	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22							"MPP"	10.8625	TRUE
208	"55712"		200	15.93	1.251	12.73	7.5	8.51							"MPP"	27.8498	TRUE
209	"55435"		200	21.3	1.99	10.74	4.27	8.66							"MPP"	37.1184	TRUE
210	"55305"		300	1.88	0.331	5.67	1.41	4.29							"MPP"	7.39852	TRUE
211	"55345"		300	2.28	0.388	5.88	1.49	4.49							"MPP"	8.76412	TRUE
212	"55580"		300	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"MPP"	14.841	TRUE
213	"55925"		300	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"MPP"	15.1483	TRUE
214	"55543"		300	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"MPP"	19.6889	TRUE
215	"55319"		300	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22							"MPP"	21.7646	TRUE
216	"55710"		300	15.93	1.251	12.73	7.5	8.51							"MPP"	55.3652	TRUE
217	"55104"		300	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48							"MPP"	71.4793	TRUE
218	"58866"		125	34.7	1.77	20	17.99	10.4							"HF"	24.9303	TRUE
219	"55208"		26	1.15	0.226	5.09	1.14	3.8							"MPP"	2.32855	TRUE
220	"55352"		26	2.28	0.388	5.88	1.49	4.49							"MPP"	4.24164	TRUE
221	"55587"		26	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"MPP"	7.25518	TRUE
222	"55932"		26	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"MPP"	7.40755	TRUE
223	"55550"		26	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"MPP"	9.65924	TRUE
224	"55326"		26	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22							"MPP"	10.6886	TRUE
225	"55256"		26	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38							"MPP"	18.1581	TRUE
226	"55440"		26	21.3	1.99	10.74	4.27	8.66							"MPP"	36.4425	TRUE
227	"55433"		26	21.3	1.99	10.74	4.27	8.66							"MPP"	36.4425	TRUE
228	"55351"		60	2.28	0.388	5.88	1.49	4.49							"MPP"	3.9246	TRUE
229	"55894"		60	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"MPP"	6.9166	TRUE

230	"55110"	60	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48							"MPP"	33.3166	TRUE
231	"55191"	60	28.6	2.29	12.5	5.14	9.02							"MPP"	46.0366	TRUE
232	"55585"	125	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"MPP"	5.67332	TRUE
233	"55548"	125	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"MPP"	7.91976	TRUE
234	"55324"	125	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22							"MPP"	8.88162	TRUE
235	"55254"	125	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38							"MPP"	15.8614	TRUE
236	"55715"	125	15.93	1.251	12.73	7.5	8.51							"MPP"	24.4517	TRUE
237	"55109"	125	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48							"MPP"	31.9187	TRUE
238	"55438"	125	21.3	1.99	10.74	4.27	8.66							"MPP"	32.947	TRUE
239	"55583"	160	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"MPP"	5.6302	TRUE
240	"55928"	160	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87							"MPP"	5.75305	TRUE
241	"55546"	160	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93							"MPP"	7.5685	TRUE
242	"55322"	160	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22							"MPP"	8.39842	TRUE
243	"55713"	160	15.93	1.251	12.73	7.5	8.51							"MPP"	21.8328	TRUE
244	"55107"	160	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48							"MPP"	28.2755	TRUE
245	"55436"	160	21.3	1.99	10.74	4.27	8.66							"MPP"	29.1628	TRUE
246	"55312"	26	1.88	0.331	5.67	1.41	4.29							"MPP"	3.56444	TRUE
247	"55717"	26	15.93	1.251	12.73	7.5	8.51							"MPP"	27.3511	TRUE
248	"55848"	60	1.15	0.226	5.09	1.14	3.8							"MPP"	2.1166	TRUE
249	"55059"	60	1.88	0.331	5.67	1.41	4.29							"MPP"	3.2846	TRUE
250	"55204"	160	1.15	0.226	5.09	1.14	3.8							"MPP"	1.65805	TRUE
251	"55308"	160	1.88	0.331	5.67	1.41	4.29							"MPP"	2.6545	TRUE
252	"55086"	200	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34							"MPP"	27.2457	TRUE
253	"55201"	300	1.15	0.226	5.09	1.14	3.8							"MPP"	4.9063	TRUE
254	"55084"	300	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34							"MPP"	54.1703	TRUE
255	"58051"	60	0.356	0.114	3.12	0.383	2.49							"HF"	0.641928	TRUE
256	"58121"	60	0.789	0.192	4.11	0.713	3.22							"HF"	0.980577	TRUE
257	"58381"	60	0.96	0.232	4.14	0.576	3.67							"HF"	1.11432	TRUE
258	"58848"	60	1.15	0.226	5.09	1.14	3.8							"HF"	1.26292	TRUE
259	"58059"	60	1.88	0.331	5.67	1.41	4.29							"HF"	1.83385	TRUE
260	"58050"	125	0.356	0.114	3.12	0.383	2.49							"HF"	0.758953	TRUE
261	"58120"	125	0.789	0.192	4.11	0.713	3.22							"HF"	1.0637	TRUE
262	"58380"	125	0.96	0.232	4.14	0.576	3.67							"HF"	1.18405	TRUE
263	"58206"	125	1.15	0.226	5.09	1.14	3.8							"HF"	1.31777	TRUE
264	"58310"	125	1.88	0.331	5.67	1.41	4.29							"HF"	1.83154	TRUE
265	"77587"	26	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"koolmu"	0.7631	TRUE
266	"77355"	75	2.28	0.388	5.88	1.49	4.49							"koolmu"	0.697864	TRUE
267	"77590"	75	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"koolmu"	0.984978	TRUE
268	"77589"	90	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"koolmu"	1.23805	TRUE
269	"77350"	125	2.28	0.388	5.88	1.49	4.49							"koolmu"	0.743996	TRUE
270	"77585"	125	4.06	0.454	8.95	4.01	5.23							"koolmu"	1.04784	TRUE
271	"58052"	26	0.356	0.114	3.12	0.383	2.49							"HF"	0.119004	TRUE
272	"58122"	26	0.789	0.192	4.11	0.713	3.22							"HF"	0.525807	TRUE
273	"58382"	26	0.96	0.232	4.14	0.576	3.67							"HF"	0.686462	TRUE
274	"58208"	26	1.15	0.226	5.09	1.14	3.8							"HF"	0.864967	TRUE
275	"58312"	26	1.88	0.331	5.67	1.41	4.29							"HF"	1.5508	TRUE

276	"58352"		26	2.28	0.338	5.88		1.49	4.49							"HF"	1.9266	TRUE
277	"58053"		14	0.356	0.114	3.12		0.383	2.49							"HF"	0.063	TRUE
278	"58383"		14	0.96	0.232	4.14		0.576	3.67							"HF"	0.630458	TRUE
279	"58209"		14	1.15	0.226	5.09		1.14	3.8							"HF"	0.808963	TRUE
280	"58313"		14	1.88	0.331	5.67		1.41	4.29							"HF"	1.4948	TRUE
281	"55869"		14	34.7	1.77	20		17.99	10.4							"MPP"	62.4951	TRUE
282	"55052"		26	0.356	0.114	3.12		0.383	2.49							"MPP"	0.984308	TRUE
283	"55382"		26	0.96	0.232	4.14		0.576	3.67							"MPP"	2.00688	TRUE
284	"55051"		60	0.356	0.114	3.12		0.383	2.49							"MPP"	0.8462	TRUE
285	"55121"		60	0.789	0.192	4.11		0.713	3.22							"MPP"	1.539	TRUE
286	"55381"		60	0.96	0.232	4.14		0.576	3.67							"MPP"	1.8126	TRUE
287	"77312"		26	1.88	0.331	5.67		1.41	4.29							"koolmu"	0.2072	TRUE
288	"77352"		26	2.28	0.388	5.88		1.49	4.49							"koolmu"	0.3092	TRUE
289	"77121"		60	0.789	0.192	4.11		0.713	3.22							"koolmu"	0.319881	TRUE
290	"77381"		60	0.96	0.232	4.14		0.576	3.67							"koolmu"	0.357176	TRUE
291	"55050"		125	0.356	0.114	3.12		0.383	2.49							"MPP"	-0.186408	TRUE
292	"55120"		125	0.789	0.192	4.11		0.713	3.22							"MPP"	0.498598	TRUE
293	"55380"		125	0.96	0.232	4.14		0.576	3.67							"MPP"	0.76912	TRUE
294	"55048"		160	0.356	0.114	3.12		0.383	2.49							"MPP"	0.57424	TRUE
295	"55118"		160	0.789	0.192	4.11		0.713	3.22							"MPP"	1.16528	TRUE
296	"55378"		160	0.96	0.232	4.14		0.576	3.67							"MPP"	1.3987	TRUE
297	"55195"		160	28.6	2.29	12.5		5.14	9.02							"MPP"	39.1273	TRUE
298	"77848"		60	1.15	0.226	5.09		1.14	3.8							"koolmu"	0.398615	TRUE
299	"77059"		60	1.88	0.331	5.67		1.41	4.29							"koolmu"	0.557828	TRUE
300	"77351"		60	2.28	0.388	5.88		1.49	4.49							"koolmu"	0.645068	TRUE
301	"77055"		75	0.356	0.114	3.12		0.383	2.49							"koolmu"	0.387523	TRUE
302	"77225"		75	0.789	0.192	4.11		0.713	3.22							"koolmu"	0.457366	TRUE
303	"77385"		75	0.96	0.232	4.14		0.576	3.67							"koolmu"	0.484948	TRUE
304	"77211"		75	1.15	0.226	5.09		1.14	3.8							"koolmu"	0.515595	TRUE
305	"77315"		75	1.88	0.331	5.67		1.41	4.29							"koolmu"	0.633344	TRUE
306	"77054"		90	0.356	0.114	3.12		0.383	2.49							"koolmu"	0.389095	TRUE
307	"77224"		90	0.789	0.192	4.11		0.713	3.22							"koolmu"	0.488339	TRUE
308	"77206"		125	1.15	0.226	5.09		1.14	3.8							"koolmu"	0.551105	TRUE
309	"77310"		125	1.88	0.331	5.67		1.41	4.29							"koolmu"	0.675716	TRUE
310	"55197"		200	28.6	2.29	12.5		5.14	9.02							"MPP"	49.7182	TRUE
311	"55045"		300	0.356	0.114	3.12		0.383	2.49							"MPP"	2.19558	TRUE
312	"55115"		300	0.789	0.192	4.11		0.713	3.22							"MPP"	3.67385	TRUE
313	"55375"		300	0.96	0.232	4.14		0.576	3.67							"MPP"	4.25764	TRUE
314	"55199"		300	28.6	2.29	12.5		5.14	9.02							"MPP"	98.6206	TRUE
315	"58908"		26	45.3	2.27	19.95		17.99	11							"HF"	42.3439	TRUE
316	"58909"		14	45.3	2.27	19.95		17.99	10.4							"HF"	42.2879	TRUE
317	"58076"		60	6.088	0.678	8.98		3.64	6.22							"HF"	5.12492	TRUE
318	"58083"		60	10.5	1.072	9.84		4.27	7.38							"HF"	8.57555	TRUE
319	"58439"		60	21.3	1.99	10.74		4.27	8.66							"HF"	17.0222	TRUE
320	"58089"		125	15.58	1.34	11.63		6.11	8.34							"HF"	11.4736	TRUE
321	"58715"		125	15.93	1.251	12.73		7.5	8.51							"HF"	11.7199	TRUE

322	"58109"		125	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48						"HF"	15.0419	TRUE
323	"58322"		160	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22						"HF"	9.24751	TRUE
324	"58252"		160	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38						"HF"	15.3846	TRUE
325	"77111"		26	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48						"koolmu"	4.99355	TRUE
326	"77051"		60	0.356	0.114	3.12	0.383	2.49						"koolmu"	0.225444	TRUE
327	"77894"		60	4.15	0.654	6.35	1.56	5.87						"koolmu"	1.05291	TRUE
328	"77384"		90	0.96	0.232	4.14	0.576	3.67						"koolmu"	0.527532	TRUE
329	"58326"		26	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22						"HF"	5.50422	TRUE
330	"58256"		26	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38						"HF"	9.64929	TRUE
331	"58091"		26	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34						"HF"	14.422	TRUE
332	"58717"		26	15.93	1.251	12.73	7.5	8.51						"HF"	14.7508	TRUE
333	"58111"		26	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48						"HF"	19.1852	TRUE
334	"58440"		26	21.3	1.99	10.74	4.27	8.66						"HF"	19.7959	TRUE
335	"58191"		26	28.6	2.29	12.5	5.14	9.02						"HF"	26.6542	TRUE
336	"58327"		14	6.088	0.678	8.98	3.64	6.22						"HF"	5.44821	TRUE
337	"58257"		14	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38						"HF"	9.59329	TRUE
338	"58092"		14	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34						"HF"	14.3659	TRUE
339	"58718"		14	15.93	1.251	12.73	7.5	8.34						"HF"	14.6948	TRUE
340	"58112"		14	20.65	1.444	14.3	9.48	8.51						"HF"	19.1292	TRUE
341	"58441"		14	21.3	1.99	10.74	4.27	9.48						"HF"	19.7399	TRUE
342	"58190"		14	28.6	2.29	12.5	5.14	8.66						"HF"	26.5982	TRUE
343	"55909"		14	45.3	2.27	19.95	17.99	11						"MPP"	81.4161	TRUE
344	"55122"		26	0.789	0.192	4.11	0.713	3.22						"MPP"	1.71738	TRUE
345	"55091"		26	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34						"MPP"	26.7585	TRUE
346	"55867"		60	34.7	1.77	20	17.99	10.4						"MPP"	55.7966	TRUE
347	"55907"		60	45.3	2.27	19.95	17.99	11						"MPP"	72.7566	TRUE
348	"77091"		26	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34						"koolmu"	3.7007	TRUE
349	"55866"		125	34.7	1.77	20	17.99	10.4						"MPP"	54.1458	TRUE
350	"55906"		125	45.3	2.27	19.95	17.99	11						"MPP"	70.915	TRUE
351	"55089"		125	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34						"MPP"	23.898	TRUE
352	"55348"		160	2.28	0.388	5.88	1.49	4.49						"MPP"	3.2005	TRUE
353	"55252"		160	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38						"MPP"	14.4208	TRUE
354	"55087"		160	15.58	1.34	11.63	6.11	8.34						"MPP"	21.355	TRUE
355	"55545"		200	5.48	0.672	8.15	2.93	5.93						"MPP"	9.81308	TRUE
356	"55251"		200	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38						"MPP"	18.4776	TRUE
357	"55106"		200	20.65	1.444	14.3	9.48	9.48						"MPP"	35.9965	TRUE
358	"55249"		300	10.5	1.072	9.84	4.27	7.38						"MPP"	36.8272	TRUE

APÊNDICE E – CÓDIGO FONTE DO SISTEMA POCE

Atenção: O presente apêndice pode ser consultado integralmente somente na mídia digital que acompanha este trabalho.

```

package conversoresest_ticos;

import ClassesAuxiliares.ArraysConversores;
import ClassesAuxiliares.OperacoesMatematicas;
import javax.script.ScriptEngine;
import javax.script.ScriptEngineManager;
import javax.script.ScriptException;
import javax.swing.JOptionPane;

public class Chave implements Cloneable {

    private ChaveComponente chaveC;
    private double perdasConducao;
    private double perdasComutacao;
    private double perdasCorrenteReversa;
    private double perdasTotais;

    public Chave(ChaveComponente chaveC) {
        this.chaveC=chaveC;
    }

    public void setChaveC(ChaveComponente chaveC) {
        this.chaveC = chaveC;
    }

    @Override
    public Object clone() throws CloneNotSupportedException {
        return super.clone();
    }

    @Override
    public String toString() {
        return "Chave{" + chaveC.toString()+"}";
    }

    public ChaveComponente getChaveC() {
        return chaveC;
    }

    public Chave() {
    }

    public double getRgate() {
        return 10;
    }

    public void calculaTransistor(Conversor c) {

        //calculando perdas no indutor boost pfc com tr e tf

        double tr = this.getChaveC().getTempoSubida();
        double tf = this.getChaveC().getTempoDescida();
        double Coss = this.calculaValorExpr("vo", c.getVo(),
this.getChaveC().getCapacitanciaTotalSaida());
        double Rdson = this.calculaValorExpr("tj", c.getTemperaturaJuncao()),
this.getChaveC().getResistenciaConducao());
        double Idev_min = c.getIL().get(0);
        double Idev_max = ArraysConversores.maiorElementoListaReal(c.getIL());
        double iswrms = c.getIchaveRMS();
        double Pcond = Math.pow(iswrms, 2) * Rdson;
        double Pon = 0.5 * Idev_min * c.getVo() * tr * c.getFs() + 0.5 * Coss * c.getVo() *
c.getFs();
        double Poff = 0.5 * Idev_max * c.getVo() * tf * c.getFs() +
c.getDiodo().getPerdasComutacao();
        double Pon_off = Pon + Poff;
        double Pt = Pon_off + Pcond;
        this.setPerdasConducao(Pcond);
    }
}

```

```

        this.setPerdasComutacao(Pon_off);
        this.setPerdasTotais(Pt);
    }

    public void calculaTransistorCC_CC(Conversor c) {
        double tr = this.getChaveC().getTempoSubida();
        double tf = this.getChaveC().getTempoDescida();
        double Coss = this.calculaValorExpr("vo", c.getVo(),
this.getChaveC().getCapacitanciaTotalSaida());
        double Rdson = this.calculaValorExpr("tj", c.getTemperaturaJuncao(),
this.getChaveC().getResistenciaConducao());
        double Idev_min = c.getIL().get(0);
        double Idev_max = ArraysConversores.maiorElementoListaReal(c.getIL());
        double iswrms = c.getIchaveRMS();
        double Pcond = Math.pow(iswrms, 2) * Rdson;
        double Pon = 0.5 * Idev_min * c.getVo() * tr * c.getFs() + 0.5 * Coss * c.getVo() *
c.getFs();
        double Poff = 0.5 * Idev_max * c.getVo() * tf * c.getFs() +
c.getDiodo().getPerdasComutacao();
        double Pon_off = Pon + Poff;
        double Pt = Pon_off + Pcond;
        this.setPerdasConducao(Pcond);
        this.setPerdasComutacao(Pon_off);
        this.setPerdasTotais(Pt);
    }

    public void calculaTransistorBuck(ConversorBuck c) {
        double tr = this.getChaveC().getTempoSubida();
        double tf = this.getChaveC().getTempoDescida();
        double Coss = this.calculaValorExpr("vo", c.getVo(),
this.getChaveC().getCapacitanciaTotalSaida());
        double Rdson = this.calculaValorExpr("tj", c.getTemperaturaJuncao(),
this.getChaveC().getResistenciaConducao());
        double iswrms = c.getIchaveRMS();
        double Pcond = Math.pow(iswrms, 2) * Rdson;
        double Pon = 0.5 * (tr+ tf) * c.getVf() * c.getFs() * c.calculaCorrenteMaxChave();
        double Poff = 0.5 * Coss * Math.pow(c.getVf(), 2) * c.getFs();
        double Pon_off = Pon + Poff;
        double Pt = Pon_off + Pcond;
        this.setPerdasConducao(Pcond);
        this.setPerdasComutacao(Pon_off);
        this.setPerdasTotais(Pt);
    }

    public double calculaCorrenteChave() {
        return this.getChaveC().getTensaoPlateau() / this.getRgate();
    }

    public double calculaCapacitanciaGateDreno(Conversor c) {
        double valor = this.calculaValorExpr("vo", c.getVo(),
this.getChaveC().getCapacitanciaTranferenciaReversa());
        return valor;
    }

    public double calculaCapacitanciaDrenoSource(Conversor c) {
        double valor = this.calculaValorExpr("vo", c.getVo(),
this.getChaveC().getCapacitanciaTotalSaida());
        double valor1 = this.calculaValorExpr("vo", c.getVo(),
this.getChaveC().getCapacitanciaTranferenciaReversa());
        return valor - valor1;
    }

    public double calculaT2m() {
        return this.getChaveC().getCargaCapacitorCGS() / this.calculaCorrenteChave();
    }

    public double calculaT1m() {
        return (this.getChaveC().getTensaothreshold() / this.getChaveC().getTensaoPlateau()) *
this.calculaT2m();
    }

    public double calculaT3m() {
        return (this.getChaveC().getCargaCapacitorCGD() / this.calculaCorrenteChave()) +
this.calculaT2m();
    }

```

```

    public double calculaPerdasEmCondução(double iswrms, Conversor c) { //Pcond
        double rdson = this.calculaValorExpr("tj", c.getTemperaturaJuncao(),
this.getChaveC().getResistenciaConducao());
        return Math.pow(iswrms, 2) * rdson;
    }

    public double calculaPotenciaDissipadaInervalo12(double iswrms, double vo, double fs,
double t1m, double t2m) { //P1
        double p1;
        p1 = (vo * (iswrms / 2) * (t2m - t1m)) * fs;
        return p1;
    }

    public double calculaPotenciaDissipadaInervalo23(double vo, double iswrms, double t2m,
double t3m, double fs) { //P3
        double p3;
        p3 = (vo * (iswrms / 2) * (t3m - t2m)) * fs;
        return p3;
    }

    public double calculaPerdasConducaoCapacitiva(double vo, double cds, double fs) {
        double p4;
        p4 = (Math.pow(vo, 2) * cds / 2) * fs;
        return p4;
    }

    public double calculaPerdasEntradaEmConducao(double p1, double p3, double p4, double
pComutacao) { //Pon
        double pon;
        pon = p1 + p3 + p4 + pComutacao;
        return pon;
    }

    public double calculaPerdasSaidaEmConducao(double p1, double p3, double p4, double pon) {
        double pon_off;
        pon_off = (p1 + p3) * 2 + p4 + pon;
        return pon_off;
    }

    public double calculaPerdasTotais(double pCond, double pon_off) { //Pt
        double pt;
        pt = pon_off + pCond;
        return pt;
    }

    public double getPerdasConducao() {
        return perdasConducao;
    }

    public void setPerdasConducao(double perdasConducao) {
        this.perdasConducao = perdasConducao;
    }

    public double getPerdasComutacao() {
        return perdasComutacao;
    }

    public void setPerdasComutacao(double perdasComutacao) {
        this.perdasComutacao = perdasComutacao;
    }

    public double getPerdasCorrenteReversa() {
        return perdasCorrenteReversa;
    }

    public void setPerdasCorrenteReversa(double perdasCorrenteReversa) {
        this.perdasCorrenteReversa = perdasCorrenteReversa;
    }

    public double getPerdasTotais() {
        return perdasTotais;
    }

    public void setPerdasTotais(double perdasTotais) {
        this.perdasTotais = perdasTotais;
    }

```

```

public double calculaValorExpr(String var, double param, String expression) {
    if (OperacoesMatematicas.isDouble(expression)) {
        return Double.parseDouble(expression);
    }
    ScriptEngineManager manager = new ScriptEngineManager();
    ScriptEngine engine = manager.getEngineByName("js");
    Object result = 0;
    try {
        engine.put(var, param);
        result = engine.eval(expression);
    } catch (ScriptException se) {
        JOptionPane.showMessageDialog(null, "Erro ao avaliar expressão.");
    }
    return (double) result;
}
}

package conversoresest_ticos;
import ClassesAuxiliares.OperacoesMatematicas;
import javax.script.ScriptEngine;
import javax.script.ScriptEngineManager;
import javax.script.ScriptException;
import javax.swing.JOptionPane;

public class ChaveComponente {
    private int id;
    private String partNumber;
    private String tecnologia;
    private String capacitanciaTranferenciaReversa;
    private String capacitanciaTotalSaida;
    private double tensaoPlateau;
    private double tensaothreshold;
    private double cargaCapacitorCGD;
    private double cargaCapacitorCGS;
    private double resistenciaJuncaoCase;
    private double resitenciaJuncaoCaseDissipador;
    private String resistenciaConducao;
    private double resistenciaJuncaoAmbiente;
    private double correnteSuportada;
    private double corrente;
    private double tensao;
    private double tempoSubida;
    private double tempoDescida;
    private double custoUnitario;

    public ChaveComponente() {
    }

    public ChaveComponente(int id, String partNumber, String tecnologia, String
capacitanciaTranferenciaReversa, String capacitanciaTotalSaida, double tensaoPlateau, double
tensaothreshold, double cargaCapacitorCGD, double cargaCapacitorCGS, double
resistenciaJuncaoCase, double resistenciaJuncaoCaseDissipador, double
resistenciaJuncaoAmbiente, String resistenciaConducao, double correnteSuportada, double
corrente, double tensao, double tempoSubida, double tempoDescida, double custo) {
        this.id = id;
        this.partNumber = partNumber;
        this.tecnologia = tecnologia;
        this.capacitanciaTranferenciaReversa = capacitanciaTranferenciaReversa;//crs
        this.capacitanciaTotalSaida = capacitanciaTotalSaida; //coss
        this.tensaoPlateau = tensaoPlateau;
        this.tensaothreshold = tensaothreshold;
        this.cargaCapacitorCGD = cargaCapacitorCGD;
        this.cargaCapacitorCGS = cargaCapacitorCGS;
        this.resistenciaJuncaoCase = resistenciaJuncaoCase;
        this.resistenciaJuncaoCaseDissipador = resitenciaJuncaoCaseDissipador;
        this.resistenciaConducao = resistenciaConducao;
        this.resistenciaJuncaoAmbiente = resistenciaJuncaoAmbiente;
        this.correnteSuportada = correnteSuportada;
        this.corrente = corrente;
        this.tensao = tensao;
        this.tempoSubida = tempoSubida;
        this.tempoDescida=tempoDescida;
        this.custoUnitario=custo;
    }

    public double getCustoUnitario() {
        return custoUnitario;
    }
}

```

```

public void setCustoUnitario(double custoUnitario) {
    this.custoUnitario = custoUnitario;
}

    public String getPartNumber() {
        return partNumber;
    }

public void setPartNumber(String partNumber) {
    this.partNumber = partNumber;
}

public ChaveComponente(int id, double correnteSuportada) {
    this.id = id;
    this.correnteSuportada = correnteSuportada;
}

    @Override
    public String toString() {
        return "Transistor{" + "id=" + getId() + ", partNumber=" + getPartNumber() + ",
tecnologia=" + getTecnologia() + ",\ncapacitanciaTranferenciaReversa=" +
getCapacitanciaTranferenciaReversa() + ", capacitanciaTotalSaida=" +
getCapacitanciaTotalSaida() + ", \ntensaoPlateau=" + getTensaoPlateau() + ", tensaothreshold="
+ getTensaothreshold() + ", \ncargaCapacitorCGD=" + getCargaCapacitorCGD() + ",
cargaCapacitorCGS=" + getCargaCapacitorCGS() + ", \nresistenciaJuncaoCase=" +
getResistenciaJuncaoCase() + ", resitenciaJuncaoCaseDissipador=" +
getResistenciaJuncaoCaseDissipador() + ", resistenciaConducao=" + getResistenciaConducao() + ",
resistenciaJuncaoAmbiente=" + getResistenciaJuncaoAmbiente() + ", \ncorrenteSuportada=" +
getCorrenteSuportada() + ", corrente=" + getCorrente() + ", tensao=" + getTensao() + '>';
    }

    public String getTecnologia() {
        return tecnologia;
    }

    public void setTecnologia(String tecnologia) {
        this.tecnologia = tecnologia;
    }

    public double getTensaoPlateau() { //Vpm
        return tensaoPlateau;
    }

    public void setTensaoPlateau(double tensaoPlateau) {
        this.tensaoPlateau = tensaoPlateau;
    }

    public double getTensaothreshold() {
        return tensaothreshold;
    }

    public void setTensaothreshold(double tensaothreshold) { //Vthm
        this.tensaothreshold = tensaothreshold;
    }

    public double getCargaCapacitorCGD() { //Qgd
        return cargaCapacitorCGD;
    }

    public void setCargaCapacitorCGD(double cargaCapacitorCGD) {
        this.cargaCapacitorCGD = cargaCapacitorCGD;
    }

    public double getCargaCapacitorCGS() { //Qgs
        return cargaCapacitorCGS;
    }

    public void setCargaCapacitorCGS(double cargaCapacitorCGS) {
        this.cargaCapacitorCGS = cargaCapacitorCGS;
    }

    public double getResistenciaJuncaoCase() { // Rjc
        return resistenciaJuncaoCase;
    }

    public void setResistenciaJuncaoCase(double resistenciaJuncaoCase) {

```

```

        this.resistenciaJuncaoCase = resistenciaJuncaoCase;
    }

    public double getResistenciaJuncaoCaseDissipador() { //Rcs
        return resistenciaJuncaoCaseDissipador;
    }

    public void setResistenciaJuncaoCaseDissipador(double resistenciaJuncaoCaseDissipador) {
        this.resistenciaJuncaoCaseDissipador = resistenciaJuncaoCaseDissipador;
    }

    public double getResistenciaJuncaoAmbiente() { //Rja
        return resistenciaJuncaoAmbiente;
    }

    public void setResistenciaJuncaoAmbiente(double resistenciaJuncaoAmbiente) {
        this.resistenciaJuncaoAmbiente = resistenciaJuncaoAmbiente;
    }

    public double getCorrenteSuportada() {
        return correnteSuportada;
    }

    public void setCorrenteSuportada(double correnteSuportada) {
        this.correnteSuportada = correnteSuportada;
    }

    public double getCorrente() {
        return corrente;
    }

    public void setCorrente(double corrente) {
        this.corrente = corrente;
    }

    public double getTensao() {
        return tensao;
    }

    public void setTensao(double tensao) {
        this.tensao = tensao;
    }

    public String getCapacitanciaTranferenciaReversa() {
        return capacitanciaTranferenciaReversa;
    }

    public String getCapacitanciaTotalSaida() {
        return capacitanciaTotalSaida;
    }

    public void setCapacitanciaTotalSaida(String capacitanciaTotalSaida) {
        this.capacitanciaTotalSaida = capacitanciaTotalSaida;
    }

    public String getResistenciaConducao() {
        return resistenciaConducao;
    }

    public double getTempoSubida() {
        return tempoSubida;
    }

    public double getTempoDescida() {
        return tempoDescida;
    }

    public int getId() {
        return id;
    }

    public void setId(int id) {
        this.id = id;
    }

    public void setCapacitanciaTranferenciaReversa(String capacitanciaTranferenciaReversa) {
        this.capacitanciaTranferenciaReversa = capacitanciaTranferenciaReversa;
    }
}

```



```

public void setResistenciaConducao(String resistenciaConducao) {
    this.resistenciaConducao = resistenciaConducao;
}

public void setTempoSubida(double tempoSubida) {
    this.tempoSubida = tempoSubida;
}

public void setTempoDescida(double tempoDescida) {
    this.tempoDescida = tempoDescida;
}

    public double calculaValorExpr(String var, double param, String expression) {
        if (OperacoesMatematicas.isDouble(expression)) {
            return Double.parseDouble(expression);
        }
        ScriptEngineManager manager = new ScriptEngineManager();
        ScriptEngine engine = manager.getEngineByName("js");
        Object result = 0;
        try {
            engine.put(var, param);
            result = engine.eval(expression);
        } catch (ScriptException se) {
            JOptionPane.showMessageDialog(null, "Erro ao avaliar expressão.");
        }
        return (double) result;
    }
}

package conversoresest_ticos;
public class Capacitor {
    private double volume;
    private double perdas;
    private double custo;
    private double capacitancia;

    public double getCusto() {
        return custo;
    }

    public void setCusto(double custo) {
        this.custo = custo;
    }

    public Capacitor() {
        this.volume = 34;
    }

    public double getVolume() {
        return volume;
    }

    public void setVolume(double volume) {
        this.volume = volume;
    }

    public double calcularPerdas(Conversor c){
        double ERS=0.5*0.290;
        double IrmsCap= c.getIcacitorRMS();
        return IrmsCap *ERS;
    }

    public double calculaCapacitancia(Conversor c){
        double hut=10e-3;
        return (2*c.getPin()*hut)/(Math.pow((1.15*c.getVo()),2) -
Math.pow((0.85*c.getVo()),2));
    }

    public double getPerdas() {
        return perdas;
    }

    public void setPerdas(double perdas) {
        this.perdas = perdas;
    }
}

```

```

package conversoresest_ticos;
public class Controlador {
    private double ganhoProporcional;
    private double ganhoIntegral;
    private double correnteAltaFrequencia;

    public void CalculaConrolador(Conversor c){
        double fs = c.getFs();
        double vo = c.getVo();
        double lMin = c.getIndutor().getIndutanciaMin();
        double ws = this.calculaWs(fs);
        double wcc = this.calculaWcc(ws);
        double kc = this.calculatKc(vo, lMin);
        double zc = this.calculaZc(ws);
        double kp = this.calculaKp( wcc, kc, zc);
        this.setGanhoProporcional(kp);
        double ki = calculaKi(zc, kp);
        this.setGanhoIntegral(ki);
    }

    public double calculaWs(double fs){
        return 2*Math.PI*fs;
    }

    public double calculaWcc(double ws){
        return ws/5;
    }

    public double calculatKc(double vo, double lmin){
        return (vo / lmin );
    }

    public double calculaZc(double ws){
        return ws/5;
    }

    public double calculaKp( double wcc, double kc, double zc){
        return Math.pow(wcc,2) / (kc * Math.pow((Math.pow(wcc,2) + Math.pow(zc,2)),0.5));
    }

    public double calculaKi(double zc, double kp){
        return zc*kp;
    }

    public double getGanhoProporcional() {
        return ganhoProporcional;
    }

    public void setGanhoProporcional(double ganhoProporcional) {
        this.ganhoProporcional = ganhoProporcional;
    }

    public double getGanhoIntegral() {
        return ganhoIntegral;
    }

    public void setGanhoIntegral(double ganhoIntegral) {
        this.ganhoIntegral = ganhoIntegral;
    }

    public double getCorrenteAltaFrequencia() {
        return correnteAltaFrequencia;
    }

    public void setCorrenteAltaFrequencia(double correnteAltaFrequencia) {
        this.correnteAltaFrequencia = correnteAltaFrequencia;
    }
}

package conversoresest_ticos;
import ClassesAuxiliares.ArraysConversores;
import java.util.ArrayList;
import java.util.List;
public class Conversor implements Cloneable{

    private int id;

```

```

private double temperaturaAmbiente;
private double temperaturaJuncao;
private Indutor indutor;
private Filtro filtro;
private Diodo diodo;
private Chave chave;
private Dissipador dissipador;
private Controlador controlador;
private Capacitor capacitor;
protected List<Double>IL;
private List<Double>ILReal;
protected double Pin; //entrar com a potencia de entrada
protected double Vf; //entrar com a tensão de fase rms
protected double Vo; //entrar com a tensão de saída
protected double fr; //frequencia da rede
private double densidadeCorrente;
private double IdiodoMed;
private double IchaveMed;
private double IchaveRMS;
private double IcacitorRMS;
private double IMediaEntrada;
private double volumeTotal;
private double perdaTotal;
private double custoTotal;

public double getCustoTotal() {
    return custoTotal;
}

public void setCustoTotal(double custoTotal) {
    this.custoTotal = custoTotal;
}

public static final double FP =0.92; //???
protected double fs;
protected double ri;

public void setDensidadeCorrente(double densidadeCorrente) {
    this.densidadeCorrente = densidadeCorrente;
}

public double getDensidadeCorrente() {
    return densidadeCorrente;
}

public Conversor(){}

public Conversor( double Pin, double Vf, double Vo, double fr, double tj, double ta,
double densidadeI) {
    this.Pin = Pin;
    this.Vf = Vf;
    this.Vo = Vo;
    this.fr = fr;
    this.temperaturaAmbiente=ta;
    this.temperaturaJuncao=tj;
    this.densidadeCorrente = densidadeI;
}

@Override
public String toString() {
    return "\n\nConversor(fs= " + fs + ", ri=" + ri + ", Pin=" + Pin + ", Vf=" + Vf + ",
Vo=" + Vo + ", fr=" + fr
        + "\ntemperaturaAmbiente=" + temperaturaAmbiente + ", temperaturaJuncao=" +
temperaturaJuncao
        + " volumeTotal=" + volumeTotal + ", perdaTotal=" + perdaTotal +
        "\nNúcleo Indutor: "+indutor.getNucleo().getTecnologia()+ ", PartNumber:
"+indutor.getNucleo().getPartNumber()+
        ", Volume: "+ indutor.getVolume()+ ", Perdas: "+indutor.getPerdasTotais()+
        "\nDiodo= "+diodo.getDiodoC().getPartNumber()+ ", Perdas: "+diodo.getPerdasTotais()+
        "\nTransistor= "+chave.getChaveC().getPartNumber()+ " Perdas: "+chave.getPerdasTotais()+
        (dissipador==null ?"\nNão há dissipador.": "\nDissipador Perfil=
"+dissipador.getNumeroPerfil()+ ", Volume: "+ " Vol Diodo: "+ dissipador.getVolumeDiodo()+
        ", Vol Transist: "+dissipador.getVolumeTransistor()+
        // "\nNúcleo do Filtro: "+filtro.getIndutorFiltro().getNucleoFiltro().getTecnologia()+
PartNumber= "+filtro.getIndutorFiltro().getNucleoFiltro().getPartNumber()+ " Num final
espiras: "+ filtro.getIndutorFiltro().getNumFinalEspiras()+
        //      ", Volume: " +filtro.getVolumeFiltro()+ " Perdas: "+filtro.getPerdasFiltro()+

```

```

    (capacitor==null? "\nNão há capacitor.": "\nCapacitor - Volume= "+ capacitor.getVolune()+
" Perdas: " +capacitor.getPerdas()+
        '});
    }

    @Override
    public Object clone() throws CloneNotSupportedException {
        return super.clone();
    }

    public double getTemperaturaAmbiente() {
        return temperaturaAmbiente;
    }

    public void setTemperaturaAmbiente(double temperaturaAmbiente) {
        this.temperaturaAmbiente = temperaturaAmbiente;
    }

    public double getTemperaturaJuncao() {
        return temperaturaJuncao;
    }

    public void setTemperaturaJuncao(double temperaturaJuncao) {
        this.temperaturaJuncao = temperaturaJuncao;
    }

    public double getPin() {
        return Pin;
    }

    public void setPin(double Pin) {
        this.Pin = Pin;
    }

    public double getVf() {
        return Vf;
    }

    public void setVf(double Vf) {
        this.Vf = Vf;
    }

    public double getVo() {
        return Vo;
    }

    public void setVo(double Vo) {
        this.Vo = Vo;
    }

    public double getFr() {
        return fr;
    }

    public void setFr(double fr) {
        this.fr = fr;
    }

    public Indutor getIndutor() {
        return indutor;
    }

    public void setIndutor(Indutor indutor) {
        this.indutor = indutor;
    }

    public Chave getTransistor() {
        return chave;
    }

```

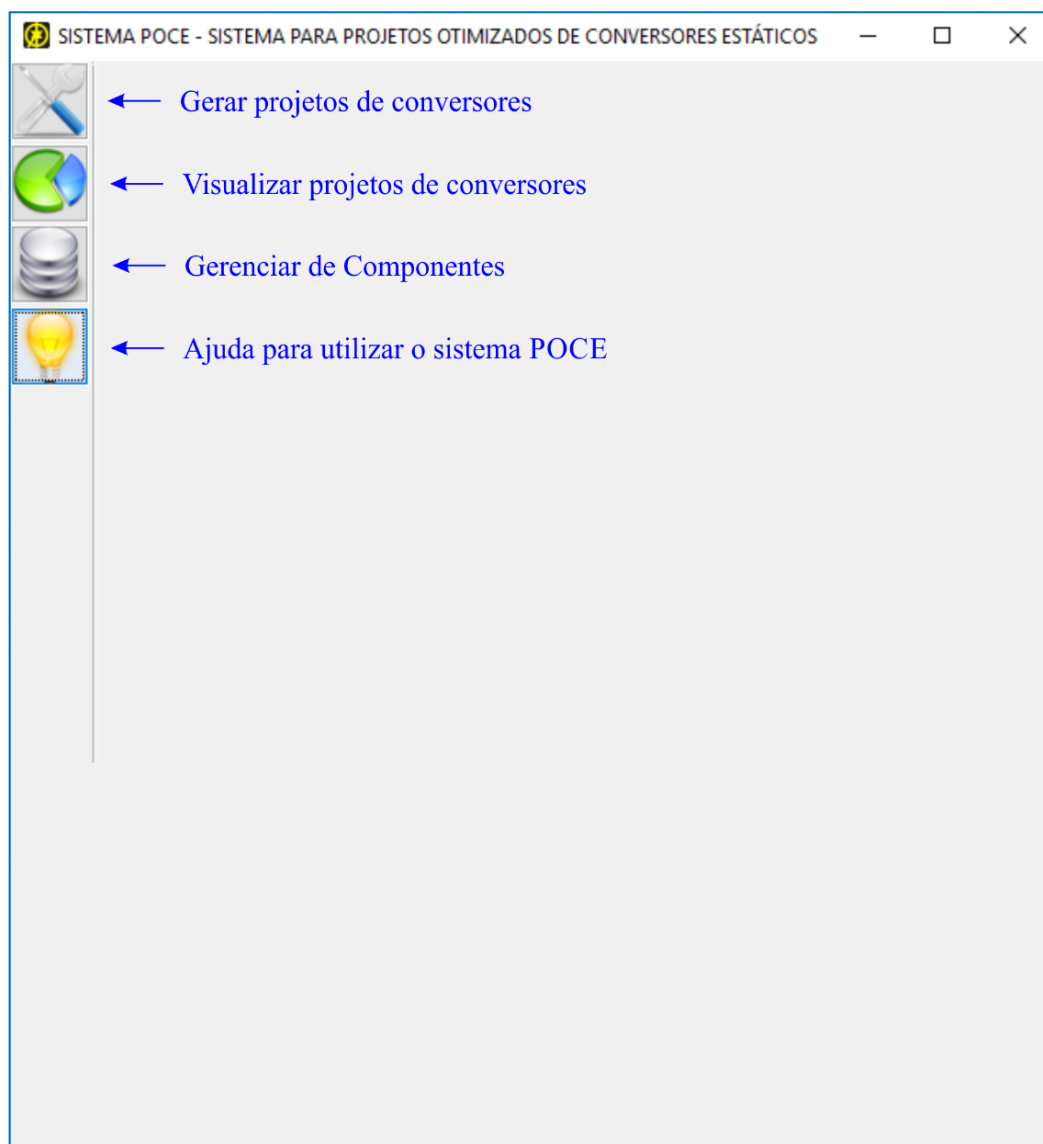
//Consulte as demais linhas de código no arquivo digital (ApêndiceE.pdf) que acompanha este trabalho.

APÊNDICE F - APRESENTAÇÃO DOS SISTEMA POCE

A seguir são apresentadas as principais telas do Sistema POCE, evidenciando as funcionalidades disponíveis no sistema, bem como as entradas e saídas de dados.

A Figura 1 é a tela inicial do sistema POCE e apresenta quatro botões que permitem acessar a principais funcionalidades do sistema (descritas no tópico 4.3.1 e ilustradas na Figura 6), bem como obter ajuda. As três primeiras funcionalidades serão explicadas logo a seguir. A ajuda para usar o sistema POCE tem a sua descrição realizada no Apêndice G.

Figura 1- Tela inicial do sistema POCE



1 GERAÇÃO DE PROJETOS DE CONVERSORES

Ao solicitar a geração de projetos de conversores o projetista será questionado quanto à topologia de conversor que deseja projetar, como apresentado na Figura . Até o presente momento o sistema conta com a possibilidade projetar conversores de três topologias: Boost PFC, Boost CC/CC e Buck CC/CC. Para cada uma das topologias, uma figura descritiva é apresentada. A figura descritiva para a topologia Boost PFC é apresentada na caixa de diálogo da Figura 2. A figura descritiva para a topologia Boost CC/CC é apresentada na caixa de diálogo da

Figura 3. A figura descritiva para a topologia Buck CC/CC é apresentada na caixa de diálogo da Figura 4.

Figura 2 – Seleção da topologia no sistema POCE.

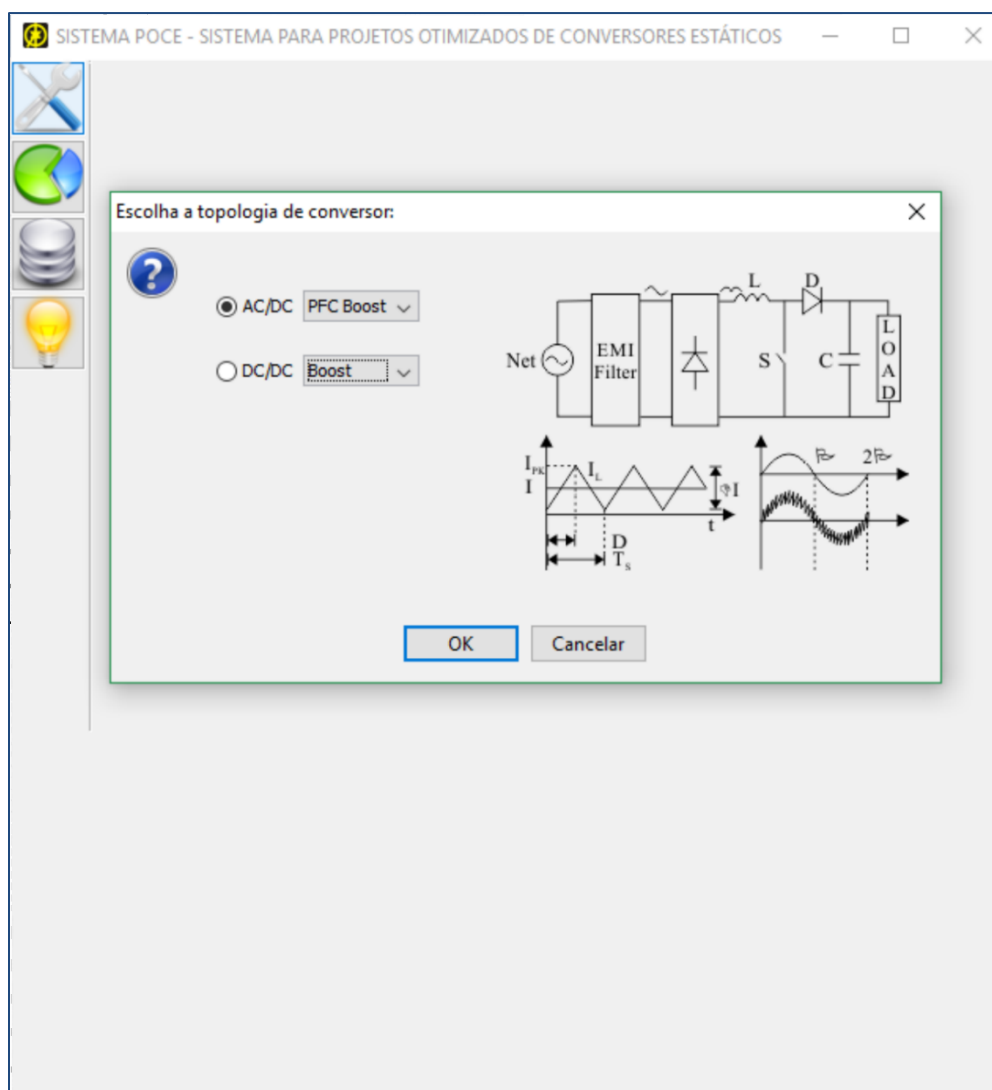


Figura 3- Caixa de diálogo do sistema POCE para topologia Boost CC/CC

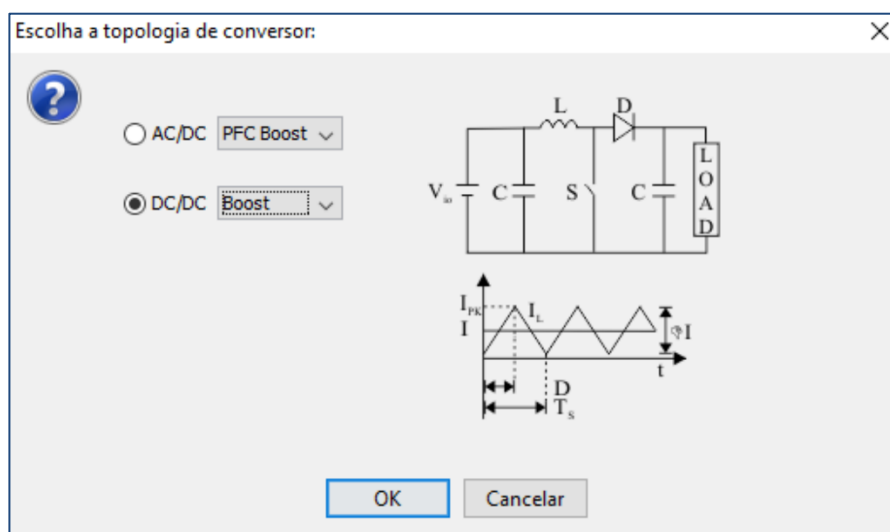
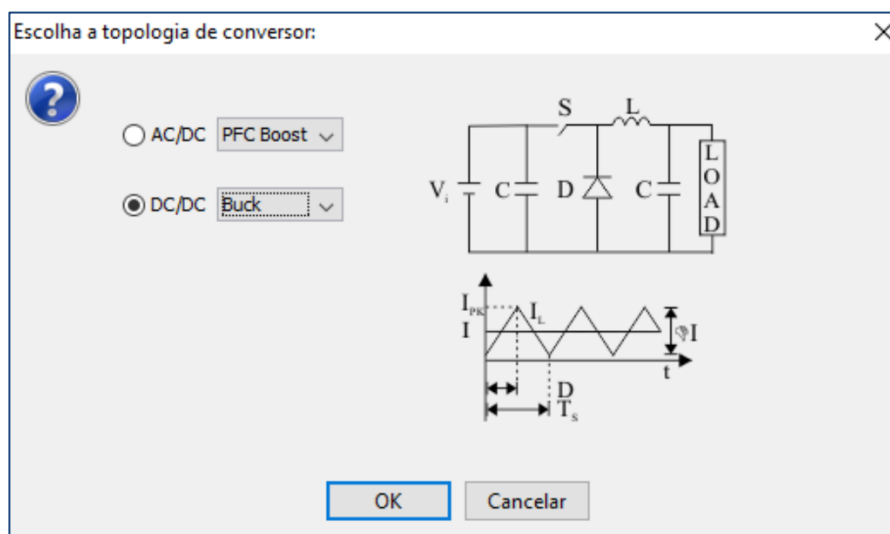


Figura 4 - Caixa de diálogo do sistema POCE para topologia Buck CC/CC



Ao escolher uma das topologias, o sistema apresenta a tela da Figura 5, para o Conversor Boost PFC. Telas semelhantes são apresentadas para as topologias Boost CC/CC e Buck CC/CC, sendo que para estas topologias, no Passo 1 (Ver Figura), não são questionados a frequência da rede, nem a topologia do filtro. Tais telas dão acesso às funcionalidades descritas no Caso de Uso - Gerar Projetos de Conversor, descrito no tópico 4.3.1.

A tela da Figura 5 é dividida em painéis: Definição dos Parâmetros para Construção dos Conversores, Geração e Visualização dos Resultados.

Painel de Definição dos Parâmetros para Construção dos Conversores contém os campos para as entradas de dados relativas ao projeto que o usuário deseja construir.

Figura 5 – Tela do sistema POCE – gerar conversores do tipo Boost PFC

SISTEMA POCE - SISTEMA PARA PROJETOS OTIMIZADOS DE CONVERSORES ESTÁTICOS

Projetos de Conversores - Topologia Boost PFC

Passo 1: Definição de Parâmetros

Potência de Entrada: 1000 W
Tensão de Entrada (RMS): 220 V
Tensão de Saída(DC): 400 V
Frequência da Rede: 60 Hz
Temperatura Ambiente: 25 °C
Temperatura de Junção: 125 °C
Densidade de Corrente: 400 A/cm²
Topologia do Filtro: 2PI

Frequência:
Início: 7000 Hz
Fim: 70000 Hz
Passo: 1000 Hz

Ripple:
Início: 20 %
Fim: 70 %
Passo: 10 %

Passo 2: Geração

Gerar Projetos de Conversores | Gerar Projetos de Conversores – Alg. Genéticos- | PARAR | 0%

Passo 3: Visualização dos Resultados

	Ponderado	Menor Volume	Menores Perdas
Frequência de Comutação			
Ondulação da Corrente de Entrad...			
Indutância			
Indutância Efetiva			
Capacitancia			
Perdas - Eficiência			
Volume - Densidade Vol. de Pot.			
Custo			
Material Magnético do Indutor			
Diodo			
Chave			
Perfil do Dissipador de Calor			
Material Magnético do Filtro de EMI			

Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios, Gráficos e Relatórios
Visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos | Armazenar no Banco de Dados

O Painel de Geração permite ao projetista, ao clicar no botão Gerar Projetos de Conversores, iniciar a geração dos projetos de conversores sob o método de varredura completa (conforme detalhando no capítulo 4). Alternativamente, o projetista pode clicar no botão Gerar Projetos de Conversores – Alg. Genéticos e utilizar algoritmos genéticos (conforme detalhado no capítulo 5) para obter novos projetos de conversores. Antes do início da geração dos projetos, o usuário será questionado quando a possibilidade de restringir os componentes a serem usados, através da janela Seleção de Subconjunto de Componentes, para a topologia Boost PFC, mostrada na Figura 6. Janelas semelhantes são apresentadas para as

topologias Boost CC/CC e Buck CC/CC, porém sem a opção para selecionar material magnético para filtro de EMI. Caso não deseje restringir o conjunto de componentes, basta clicar em OK e todos os componentes do banco de dados serão considerados para geração dos projetos de conversores. Caso deseje restringir a lista de componentes, deve clicar sobre os botões correspondentes aos componentes cujos conjuntos deseja restringir e, ao final, clicar OK. Caso deseje cancelar a geração de conversores, basta clicar em Cancelar. A Figura 7 contém as caixas de diálogo que permitem ao projetista escolher componentes e tecnologias específicos para serem usados no projeto que deseja realizar.

Figura 6 – Sistema POCE - caixa de diálogo para seleção de componentes

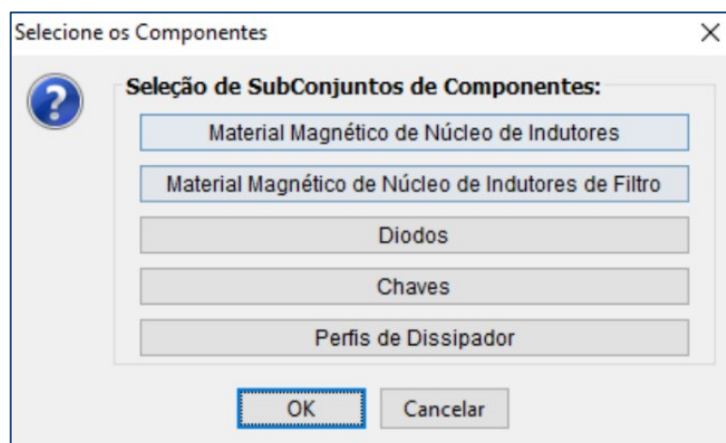
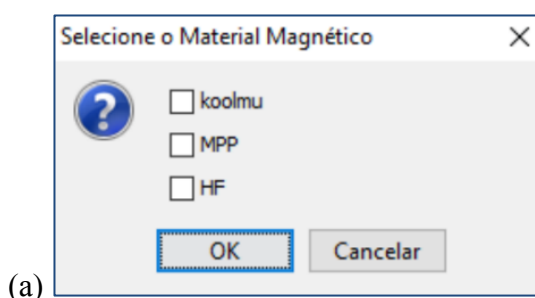


Figura 7 – Sistema POCE - caixas de diálogo para seleção de componentes: (a) material magnético, (b) diodos, (c) chaves e (d) perfis dissipador de calor.



Marque o(s) componentes para consulta:

<input type="checkbox"/> Todos	PartNumber	Tensão	Corrente	Corrente...	Queda de ...	Queda de ...	Material M.
<input checked="" type="checkbox"/>	CDS06060	600.0	6.0	6.0	-0.001512*...	-0.001287*...	Schottky
<input checked="" type="checkbox"/>	IDH065G65C5	650.0	6.0	6.0	2.021*Math...	7.149e-06*...	Schottky
<input checked="" type="checkbox"/>	15ETH06	600.0	15.0	15.0	1.744*Math...	1.329*Math...	hyperfastSI
<input checked="" type="checkbox"/>	RURGS060	600.0	50.0	50.0	1.191 *Mat...	1.093 *Mat...	Fast

OK Cancelar

(b)

Marque o(s) componentes para consulta:

<input type="checkbox"/> Todos	PartNumber	Tensão	Corrente	Corre...	Resistênci...	Te...	Te...	Capa...	Capad
<input checked="" type="checkbox"/>	IRF840A	500.0	8.0	6.0	2.2848780...	5.6	2.0	3.0200...	4.35E-
<input checked="" type="checkbox"/>	IRFP450A	500.0	14.0	9.0	2.1820062...	5.4	2.0	9.5E-11	2.4E-1
<input checked="" type="checkbox"/>	IPP50R199CP	550.0	11.0	11.0	0.38675	5.2	3.5	2.9	8.0E-1
<input checked="" type="checkbox"/>	IPP50R399CP	560.0	6.0	6.0	0.76935	5.2	3.5	2.2	4.0E-1
<input checked="" type="checkbox"/>	IRFP460A	600.0	20.0	14.0	2.24	5.4	2.0	3.8E-10	1.7E-9
<input checked="" type="checkbox"/>	FCH043N60	600.0	75.0	47.5	0.0208817...	4.61	3.5	1.1E-11	3.53E-
<input checked="" type="checkbox"/>	IXKK 85N60C	600.0	85.0	55.0	0.0214765...	3.68	4.0	2.9E-10	4.4E-1
<input checked="" type="checkbox"/>	IXFB110N60P3	600.0	110.0	70.0	0.0223929...	3.81	5.5	5.5E-12	1.65E-
<input checked="" type="checkbox"/>	IPA60R190P6	650.0	7.0	6.1	0.343825	5.4	4.0	4.0	7.6E-1
<input checked="" type="checkbox"/>	IPP60R385CP	650.0	9.0	5.7	0.7753877...	11.0	2.5	1.45E-12	2.8E-1
<input checked="" type="checkbox"/>	IPP60R299CP	650.0	11.0	7.0	0.6075382...	5.0	2.5	6.7E-12	3.3E-1
<input checked="" type="checkbox"/>	IPP60R190P6	650.0	29.0	12.7	0.344125	5.4	4.0	16.0	7.6E-1
<input checked="" type="checkbox"/>	IPP65R225C7	700.0	7.0	7.0	0.4085499...	5.4	4.0	4.0	1.4E-1
<input checked="" type="checkbox"/>	IPP65R045C7	700.0	29.0	29.0	0.079625	5.4	4.0	16.0	7.0E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	SPP17N80C3	800.0	17.0	11.0	0.5420660...	6.0	2.1	6.0E-11	1.25E-

OK Cancelar

(c)

Marque o(s) componentes para consulta:

<input type="checkbox"/> Todos	id	NumPerfi	Fabricante	Resistencia termica	altura	Comprimento	Custo (US\$)
<input checked="" type="checkbox"/>	2	6524	HS	3.72	2.4	6.5	31.5
<input checked="" type="checkbox"/>	1	7624	HS	3.6	2.4	7.6	41.0
<input checked="" type="checkbox"/>	3	12132	HS	1.92	3.2	9.8	102.5

OK Cancelar

(d)

O Painel Visualização dos Resultados que permite ao usuário, ao final do processo de geração, visualizar três projetos de conversores. Os projetos visualizados são obtidos a partir da Definição de Parâmetros de Entrada e Seleção de Subconjunto de Componentes, sendo visualizados: 1) Conversor com perdas e volume ponderados (densidade volumétrica de potência e eficiência ponderados); 2) Conversor de menor volume (maior densidade volumétrica de potência). 3) Conversor de menores perdas (mais eficiente). Os três projetos podem, primeiramente, serem visualizados em uma tabela e, posteriormente, em um relatório, desde que o usuário clique no botão Visualizar Relatório. As demais funcionalidades serão detalhadas no tópico 6.1.2.

2 VISUALIZAÇÃO DE PROJETOS DE CONVERSORES

Ao solicitar a visualização dos projetos de conversores que estão armazenados no banco de dados, o projetista será apresentado à tela presente na Figura 8, a qual fornece acesso às funcionalidades previstas do Caso de Uso – Visualizar Projetos de Conversores (descrito no tópico 4.3.1).

A tela da Figura 8 está dividida em três painéis: Painel de Escolha da Topologia e dos Parâmetros, Painel de Consulta de Projetos de Conversores, Visualizar Relatório Completo dos Três Projetos.

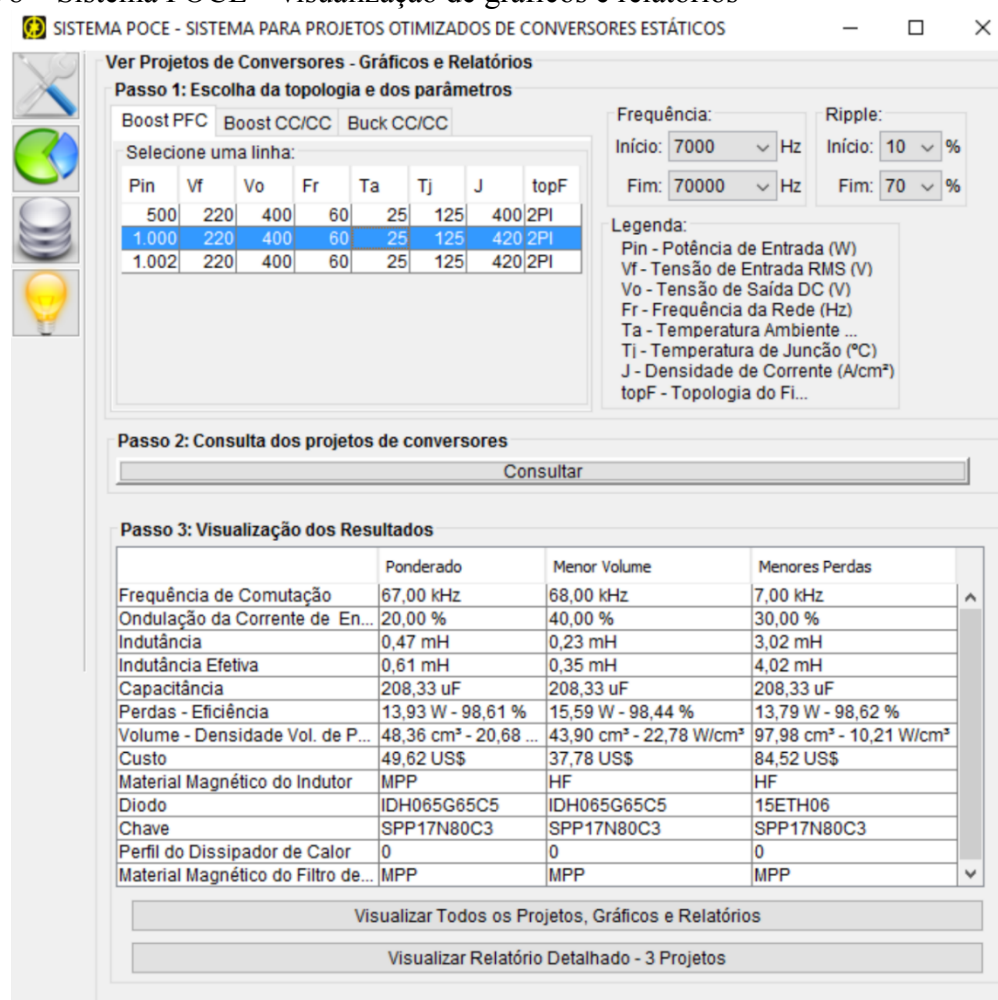
O Painel de Escolha da Topologia e dos Parâmetros é composto de um conjunto de tabelas (uma em cada aba), onde o projetista deve primeiramente selecionar a topologia que deseja consultar (escolher a aba). Após a escolha da topologia, o projetista deve selecionar os parâmetros a serem utilizados nas consultas de projetos de conversores que estão armazenados no banco de dados. Para realizar a escolha, o usuário deve clicar em uma das linhas da tabela da aba escolhida, selecionando um conjunto inicial de parâmetros. Além disso, deve escolher valores finais e iniciais para *Ripple* (ondulação da corrente de entrada do indutor) e Frequência de Comutação.

O Painel de Consulta de Projetos de Conversores permite que o projetista dispare a consulta no banco de dados pelos projetos especificados no passo anterior.

O Painel de Visualização do Resultados tem funcionalidades idênticas às daquelas do Painel de Visualização dos Resultados apresentado na Figura 5. Além de exibirem três projetos como resposta, as telas, apresentadas na Figura e Figura , dão acesso à visualização de outros resultados em relação ao projetos gerados (no caso de Figura) ou consultados no banco de dados (no caso da Figura). Tais resultados são acessados através de botões

localizados na parte inferior da janela: Visualizar Relatório Completo dos Três Projetos e Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios.

Figura 8 – Sistema POCE – visualização de gráficos e relatórios



Visualizar Relatório Completo dos Três Projetos apresenta um conjunto de informações detalhadas sobre os projetos exibidos como resultado e permite a impressão de tais dados em arquivo do formato PDF (Formato Portátil de Documento, do inglês *Portable Document Format*), como pode ser observado na

Figura 9.

Já a opção Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios permite que todos os projetos, gerados ou consultados no banco de dados, sejam visualizados pelo projetista e, além disso, possui funcionalidades adicionais, como pode ser observado na Figura 10. Tais funcionalidades adicionais são: Alterar Ordenação; Filtrar por Pontos de Operação; Filtrar por Componentes; Limpar Filtros; Visualizar Gráficos; e Gerar PDF.

Figura 9 - Visualizar Relatório Completo dos Três Projetos

Visualize detalhes dos projetos:

Visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos

Variáveis	Projeto com Perdas e ...	Projeto com Menor Vol...	Projeto com Menores ...
Frequência de Comu...	67.00	68.00	7.00
Ripple de Corrente d...	20.00	40.00	30.00
Indutância (mH)	0.47	0.23	3.02
Indutância Efetiva (m...	0.61	0.35	4.02
Capacitância (uF)	208.33	208.33	208.33
Volume Total (cm³)-D...	48.36 - 20.68	43.90 - 22.78	97.98 - 10.21
Perdas Totais (W)-R...	13.93 - 98.61	15.59 - 98.44	13.79 - 98.62
Custo (US\$)	49.62	37.78	84.52
Indutor	#	#	#
PartNumber	55083	58548	58617
Número de Espiras	104	64	170
Perdas no Cobre (W)	4.80e+00	3.86e+00	5.43e+00
Perdas no Núcleo (W)	2.25e-01	2.33e+00	3.92e-01
AWG	22	22	13
Número de Fios em ...	4	4	1
Temperatura (°C)	4.97e+01	6.92e+01	3.52e+01
Comprimento do Fio ...	7.54e+02	3.62e+02	2.06e+03
Perdas no Indutor (W)	5.02e+00	6.19e+00	5.82e+00
Volume do Indutor (c...	1.06e+01	5.34e+00	5.18e+01
Custo do Indutor (US\$)	17.70	4.49	43.43
Diodo	#	#	#
Part Number do Diodo	IDH065G65C5	IDH065G65C5	15ETH06
Perdas de Condução...	3.14e+00	3.14e+00	2.06e+00
Perdas de Comutaçã...	0.00e+00	0.00e+00	3.13e-01
Perdas no Diodo (W)	3.14e+00	3.14e+00	2.38e+00
Custo do Diodo (US\$)	6.71	6.71	1.36
Comprimento do Dis...	0	0	0
Volume do Dissipad...	0	0	0

Gerar PDF

OK

Figura 10 - Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios

Visualize os projetos:

Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios

ID	Frequência de Comutação (kHz)	Ripple de Corrente do Indutor (%)	Perdas Totais (W) / Rendimento (%)	Volume Total (cm³) / Densidade Volumétrica	Custo (US\$)	Indutância (H)	Indutância Efetiva (H)	Capacitância (F)	PartNumber do Núcleo do Indutor	Part Number do Diodo	PartNumber da Chave	Perfil do Dissipador	PartNumber do Núcleo do Indutor do Filtro de ...
39752	7.00	30.00	13.79 / 98.62	97.98 / 10.21	84.52	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80...	0	55319
40362	8.00	30.00	13.85 / 98.61	128.40 / 7.79	78.09	2.64e-03	3.43e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80...	0	58438
39809	7.00	40.00	13.87 / 98.61	97.98 / 10.21	126.62	2.26e-03	2.76e-03	2.08e-04	55617	15ETH06	SPP17N80...	0	55319
40361	8.00	30.00	13.93 / 98.61	128.40 / 7.79	91.78	2.64e-03	3.43e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80...	0	55436
146597	67.00	20.00	13.93 / 98.61	48.36 / 20.68	49.62	4.73e-04	6.12e-04	2.08e-04	55083	IDH065G6...	SPP17N80...	0	55305
147641	68.00	20.00	13.94 / 98.61	49.16 / 20.34	50.98	4.66e-04	6.00e-04	2.08e-04	55083	IDH065G6...	SPP17N80...	0	55345
40419	8.00	40.00	13.95 / 98.61	128.40 / 7.79	120.22	1.98e-03	2.36e-03	2.08e-04	55617	15ETH06	SPP17N80...	0	58438
40335	8.00	30.00	13.95 / 98.61	128.40 / 7.79	120.69	2.64e-03	3.33e-03	2.08e-04	55617	15ETH06	SPP17N80...	0	58438
39753	7.00	30.00	13.97 / 98.60	110.16 / 9.08	72.41	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80...	0	258324
99167	21.00	20.00	13.98 / 98.60	74.78 / 13.37	68.17	1.51e-03	2.37e-03	2.08e-04	58195	IDH065G6...	SPP17N80...	0	55319
146570	67.00	20.00	13.99 / 98.60	48.36 / 20.68	46.40	4.73e-04	6.12e-04	2.08e-04	55083	CDS06060	SPP17N80...	0	55305
146598	67.00	20.00	14.00 / 98.60	52.90 / 18.90	46.81	4.73e-04	6.12e-04	2.08e-04	55083	IDH065G6...	SPP17N80...	0	58929
147814	68.00	20.00	14.00 / 98.60	49.16 / 20.34	47.76	4.66e-04	6.00e-04	2.08e-04	55083	CDS06060	SPP17N80...	0	55345

Alterar Ordenação

Filtrar por Pontos de Operação

Filtrar por Componentes

Limpar Filtros

Visualizar Gráficos

Gerar PDF

OK

Alterar Ordenação (ver Figura 11) permite que o projetista escolha uma nova ordem para a visualização de todos os projetos. A ordem inicial de apresentação é descendente, considerando-se a primeiramente a eficiência, a seguir a densidade volumétrica de potência e, por fim, o custo. As outras ordenações possíveis são em ordem descendente, considerando-se respectivamente: eficiência, custo e densidade volumétrica de potência; densidade volumétrica de potência, eficiência e custo; densidade volumétrica de potência, custo e eficiência; custo, eficiência e densidade volumétrica de potência; e custo, densidade volumétrica de potência e eficiência.

Filtrar por Pontos de Operação (Ver Figura 12) permite que o projetista informe limites iniciais e finais para a frequência de comutação e a ondulação de corrente de entrada, reduzindo desta forma o conjunto de projetos a ser visualizado para as faixas desejadas de tais parâmetros.

Figura 11 - Alterar Ordenação

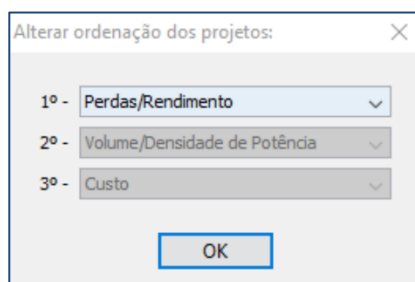
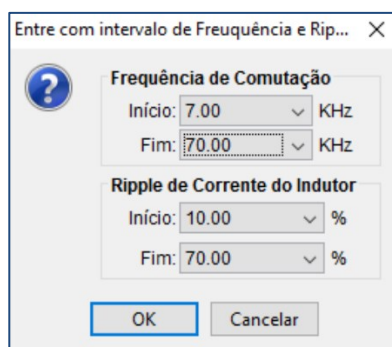


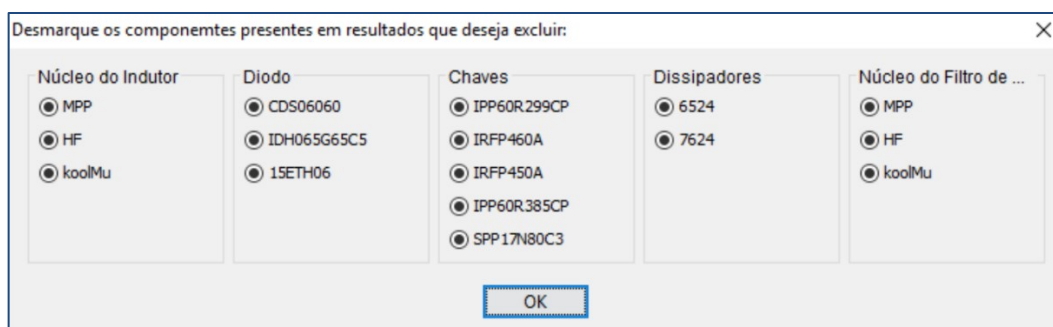
Figura 12 - Filtrar por Pontos de Operação



Filtrar por Componentes (Figura 13) permite que o projetista restrinja o conjunto de componentes que estão presente nos projetos se serem visualizados, isto é, exclui da janela de visualização aqueles projetos que contém componentes que o projetista não deseja visualizar.

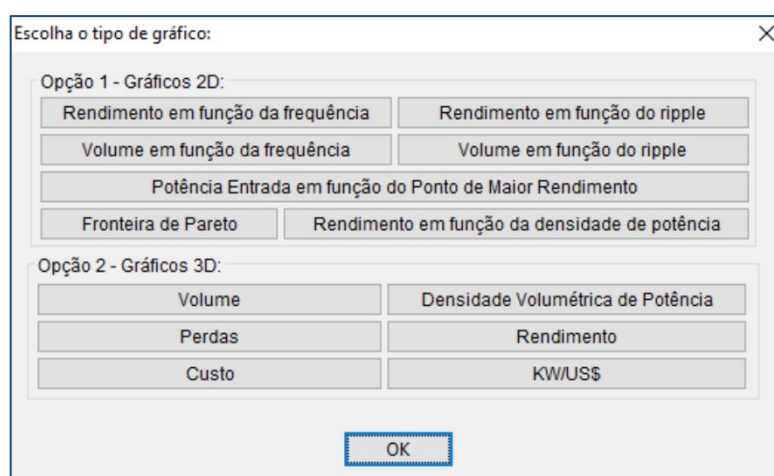
A opção Limpar Filtros apenas remove todas as filtragens realizadas, restaurando o conjunto de projetos de conversores originalmente gerado ou consultado. A opção Gerar PDF permite a impressão dos dados visualizados na tabela de resultados em arquivo do formato PDF.

Figura 13 - Filtrar por Componentes



A opção Visualizar Gráficos, como pode ser observado na Figura 14, permite que o projetista visualize os dados dos projetos de conversor, primeiramente apresentados no formato de tabela, através de diferentes tipos de gráficos. Na seção de resultados (Capítulo 6), serão apresentados exemplos dos gráficos gerados a partir da tela da Figura 14. A fonte de dados utilizada para geração dos gráficos é a tabela de resultados visualizada na Figura. Os gráficos são gerados através da ferramenta Gnuplot (GNU PLOT, 2016), que é executada automaticamente pelo sistema POCE.

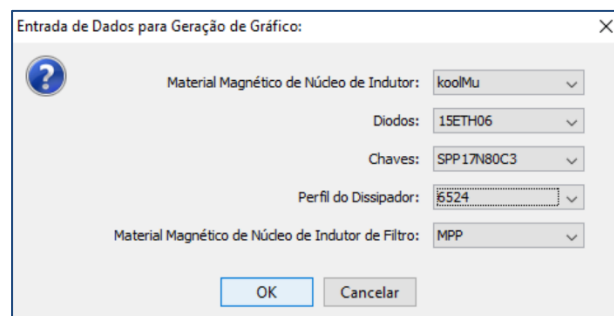
Figura 14 – Visualização de Gráficos



Os gráficos são apresentados em formatos de duas dimensões (2D) e três dimensões (3D), sendo os 2D: Rendimento em função da frequência; Rendimento em função do *ripple* (ondulação da corrente de entrada do indutor); Volume em função da frequência; Volume em função do *ripple*; Potência de entrada em função do ponto de maior rendimento (variação da potência de entrada para o projeto de maior rendimento); Fronteira de Pareto; e Rendimento em função da densidade de potência. Já os gráficos em 3D são os de Volume, Perdas, Custo, Densidade volumétrica de potência, Rendimento e Custo relativo. Tais grandezas são apresentados em função do ponto de operação, considerando-se uma combinação específica de tecnologias e componentes, a qual é selecionada a partir da janela apresentada na

Figura 15, onde, no caso de projetos da topologia Boost PFC, a opção de material magnético para indutor do filtro de EMI é suprimida.

Figura 15 - Filtro para restringir projetos para geração de gráficos 3D



3 GERENCIAMENTO DO BANCO DE DADOS DE COMPONENTES

Ao solicitar a gerenciamento do banco de dados de componentes, o usuário será apresentado à tela presente na Figura 16, a qual fornece acesso às funcionalidades previstas do Caso de Uso – Gerenciar Componentes (descrito no tópico 4.3.1).

A janela de Gerenciamento de Banco de Dados de Componentes é composta de cinco abas, conforme visualizado na, a saber:

- A aba Diodos (Ver Figura 16) permite o gerenciamento das informações sobre os diodos.

- A aba Chaves (Ver Figura 17) permite o gerenciamento das informações sobre as chaves.

- A aba Núcleos Magnéticos (Ver Figura 18) permite o gerenciamento das informações relevantes sobre núcleos magnéticos.

- A aba Dissipadores (Ver Figura 19) permite o gerenciamento das informações sobre dissipadores de diferentes perfis.

Figura 16 - Gerenciamento do banco de dados de componentes diodos

SISTEMA POCE - SISTEMA PARA PROJETOS OTIMIZADOS DE CONVERSORES ESTÁTICOS

Diodos | Dissipadores | Capacitores | Chaves | Núcleos Magnéticos

Dados

PartNumber: 15ETH06
 Material Magnético: hyperfastSI
 Resistência Térmica Junção-Case: 1.00e+00 °C/W
 Resistência Térmica Case-Dissipador: 5.00e-01 °C/W
 Resistência Térmica Junção-Ambiente: 6.80e+01 °C/W
 Corrente: 1.50e+01 A
 Corrente Admissível à Temperatura de Junção: 1.50e+01 A
 Tensão: 6.00e+02 V
 Custo Unitário: 1.36 US\$

Gerenciamento

Incluir
 Limpar Campos
 Alterar
 Excluir
 Consultar Banco de Dados
 Consultar por PartNumber
 Consultar por Corrente
 Consultar por Material Magnético
 Salvar em arquivo PDF

Dados - Expressões

Queda de Tensão Direta no Diodo - Temperatura 1 = $23 * \text{Math.exp}(-0.1704 * \text{id})$ V Validar Temperatura 1: 2.50e+01 °C
 Queda de Tensão Direta no Diodo - Temperatura 2 = $353 * \text{Math.exp}(-0.104 * \text{id})$ V Validar Temperatura 2: 1.25e+02 °C
 Tempo de Recuperação Reversa - Temperatura 1 = $2.31 * \text{id} / (2.308 + \text{id}) * 1e-9$ s Validar
 Tempo de Recuperação Reversa - Temperatura 2 = $3.12 * \text{id} / (2.812 + \text{id}) * 1e-9$ s Validar
 Carga de Recuperação Reversa - Temperatura 1 = $(173.3 * \text{id} / (35 + \text{id})) * 1e-9$ C Validar
 Carga de Recuperação Reversa - Temperatura 2 = $54.5 * \text{id} / (5.455 + \text{id}) * 1e-9$ C Validar

Um duplo clique no campo permite a obtenção da expressão.

Tabela

id	PartNum...	Material ...	Resist. Te...	Resist. Te...	Resist. Te...	Corrente	Corrente ...	Tensão	Queda
1	15ETH06	hyperfastSI	1.00e+00	5.00e-01	6.80e+01	1.50e+01	1.50e+01	6.00e+02	1.744
2	RURG5060	Fast	1.00e+00	2.50e-01	4.00e+01	5.00e+01	5.00e+01	6.00e+02	1.191
21	CDS06060	Schottky	1.80e+00	2.00e+00	5.40e+01	6.00e+00	6.00e+00	6.00e+02	-0.001
22	IDH065G6...	Schottky	2.40e+00	2.20e+00	6.20e+01	6.00e+00	6.00e+00	6.50e+02	2.021

Cada uma das abas interna às abas de gerenciamento de componentes está dividida em três painéis: Dados, Gerenciamento e Tabela.

O painel Dados contém os campos de texto e de seleção para que o usuário realize a entrada de dados.

O painel Gerenciamento contém os botões (Incluir, Limpar Campos, Alterar, Excluir Consultar Banco de Dados, etc.) para executar as funções de gerenciamento do banco de dados.

O painel Tabela permite a visualização dos dados armazenados no banco.

Utilizar os botões do painel de Gerenciamento e realizar a inserção de novos componentes (diodos, chaves, núcleos magnéticos, etc.) terá influência nos resultados de execuções futuras do programa. A inserção de dados inconsistentes resultará em projetos

inconsistentes, podendo inclusive ocasionar erros e/ou travamentos do programa, acrescentando-se o fato de que se trata de uma versão de testes.

Figura 17 – Gerenciamento do banco de dados de componentes chaves

SISTEMA POCE - SISTEMA PARA PROJETOS OTIMIZADOS DE CONVERSORES ESTÁTICOS

Diódos Dissipadores Capacitores Chaves Núcleos Magnéticos

Dados

PartNumber: SPP17N80C3
 Material Magnético: CoolMOSC3
 Resistência Térmica Junção-Case: 6.00e-01 °C/W
 Resistência Térmica Case-Dissipador: 2.20e-01 °C/W
 Resistência Térmica Junção-Ambiente: 6.20e+01 °C/W
 Corrente Admissível à Temperatura de Junção: 1.10e+01 A
 Custo Unitário: 3.58 US\$
 Carga do Capacitor CGS: 1.20e-08 C
 Carga do Capacitor CGD: 4.60e-08 C
 Corrente: 1.70e+01 A
 Tensão: 8.00e+02 V
 Tensão de Plateau: 6.00e+00 V
 Tensão de Threshold: 2.10e+00 V
 Tempo de Subida: 1.50e-08 s
 Tempo de Descida: 6.00e-09 s

Titulo

Incluir
 Limpar Campos
 Alterar
 Excluir
 Consultar Banco de Dados
 Consultar por PartNumber
 Consultar por TMaterial Magnético
 Consultar por Corrente Admissível à Temperatura de Junção
 Salvar em arquivo PDF

Dados - Expressões:

Resistência de Condução= exp(0.003176*tj) Ω Validar Atenção: A única variável permitida é tj (temperatura de junção)
 Capacitância Total na Saída de Condução= 6e-11 F Validar Atenção: A única variável permitida é vo(tensão de saída).
 Capacitância de Transferência Reversa= 1.25e-09 F Validar Atenção: A única variável permitida é vo(tensão de saída).

Um duplo clique no campo permite a obtenção da expressão. Ajuda para Escrever Expressões Aritméticas

Tabela

id	PartNumb...	Material M...	Resist Te...	Resist Te...	Resist Te...	Resistênc...	Corrente	Tensão	Capacitân...	Capacitân...
6	SPP17N80...	CoolMOSC3	6.00e-01	2.20e-01	6.20e+01	(6.788*Mat...	1.70e+01	8.00e+02	6e-11	1.25e-09
7	IXKK 85N6...	CoolMOSC3	1.80e-01	1.50e-01	6.20e+01	3.524e-07*...	8.50e+01	6.00e+02	290e-12	4.4e-12
8	IXFB110N6...	MOSFET	6.60e-02	1.30e-01	4.00e+01	3.143e-07*...	1.10e+02	6.00e+02	5.5e-12	1650e-12
9	FCH043N60	MOSFET	2.10e-01	2.40e-01	4.00e+01	3.048e-07*...	7.50e+01	6.00e+02	11e-12	353e-12

A entrada de dados para Diódos e Chaves possuem determinados campos que não são valores constantes, mas sim funções de outras variáveis que caracterizam o projeto de cada conversor.

Considerando-se as chaves presentes no banco de dados do software aqui descrito são previstos três casos: Os valores da Capacitância de Transferência Reversa, Capacitância Total na Saída de Condução que podem ser expressões aritméticas em função de Tensão de Saída (Vo). O valor Resistência de Condução que pode ser uma expressão aritmética em função da Temperatura de Junção (Tj).

Considerando-se os diódos presentes no banco de dados do software aqui descrito são previstos seis casos: Os valores da Queda de Tensão Direta no Diodo na Temperatura 1, Queda de Tensão Direta no Diodo na Temperatura 2, Tempo de Recuperação Reversa na Temperatura 1, Tempo de Recuperação Reversa na Temperatura 2, Carga de Recuperação

Reversa na Temperatura 1 e Carga de Recuperação Reversa na Temperatura 2, todos são expressões aritméticas em função da Corrente Média no Diodo (I_d).

Figura 18 - Gerenciamento do banco de dados de componentes núcleos magnéticos

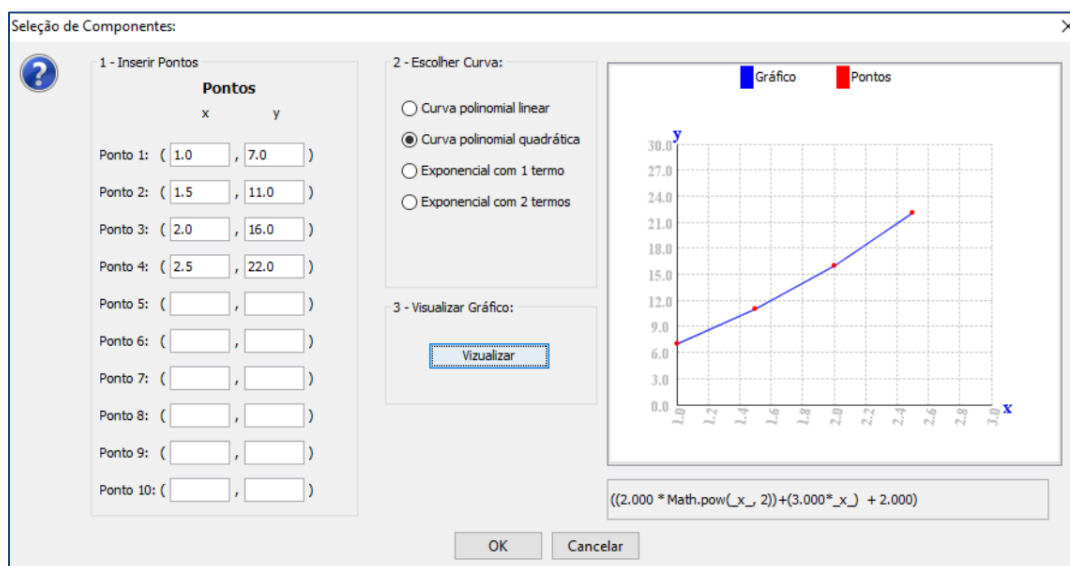
id	PartNum...	Material ...	Energia	Permeabi...	Volume	Área
114	77314	koolmu	1.80e+00	9.00e+01	1.80e+00	3.17e+01
116	77354	koolmu	2.40e+00	9.00e+01	2.28e+00	3.88e+01
118	77934	koolmu	4.00e+00	9.00e+01	4.15e+00	6.54e+01
60	55125	MPP	1.20e-01	3.00e+02	2.44e-01	9.06e-02
133	77908	koolmu	1.90e+02	2.60e+01	4.34e+01	2.21e+01
136	77102	koolmu	4.10e+02	2.60e+01	8.69e+01	3.58e+01

Figura 19 - Gerenciamento do banco de dados de componentes perfis de dissipadores

id	Perfil	Fabricante	Resistên...	Altura	Comprim...	Cust
1	7624	HS	3.60e+00	2.40e+00	7.60e+00	41.00
2	6524	HS	3.72e+00	2.40e+00	6.50e+00	31.50
3	12132	HS	1.92e+00	3.20e+00	9.80e+00	102.5

É possível inserir a expressão aritmética correspondente a cada um dos valores acima citados. Para tanto, o usuário pode digitar cada uma das expressões. Somente o lado direito da expressão aritmética deve ser inserido. Cada expressão deve ser validada. A linguagem utilizada para as expressões é o Java. Arquivos de ajuda podem ser acessados para auxiliar o projetista na escrita da expressão. Porém, o projetista pode, opcionalmente, através de um duplo clique no campo da expressão, obter ajuda para criar a expressão. Para tanto foram implementados quatro métodos de aproximação de curvas, conforme a Figura 20. Ao inserir alguns pontos da curva que representa a expressão, o próprio sistema gera a expressão aritmética, facilitando, desta forma a obtenção da mesma.

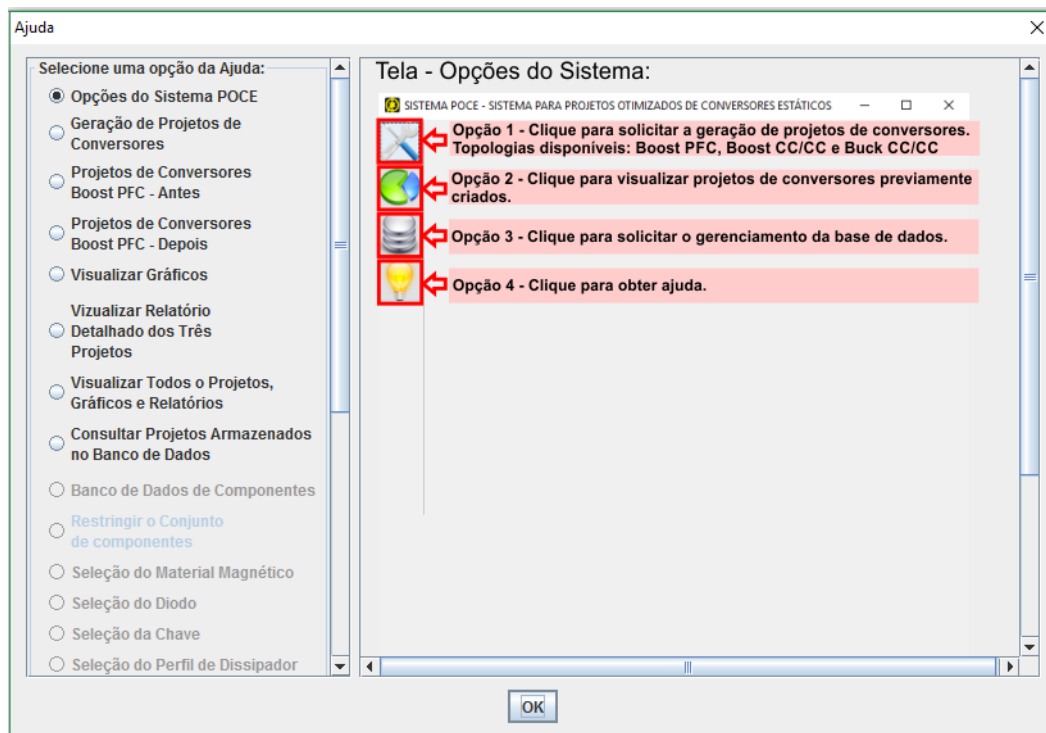
Figura 20 – Sistema POCE – caixa de diálogo para obter a expressão aritmética a partir de um conjunto de pontos



APÊNDICE G – AJUDA PARA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA POCE

A seguir são expostas as telas do sistema auxiliar desenvolvido ajudar o projetista na utilização do sistema POCE.

Figura 1 – Tela inicial da Ajuda.



Ao selecionar uma das diferentes opções da Ajuda, será apresentada ao usuário a figura, entre as apresentadas a seguir, correspondente ao tema escolhido.

Figura 2 – Geração de projetos de conversores

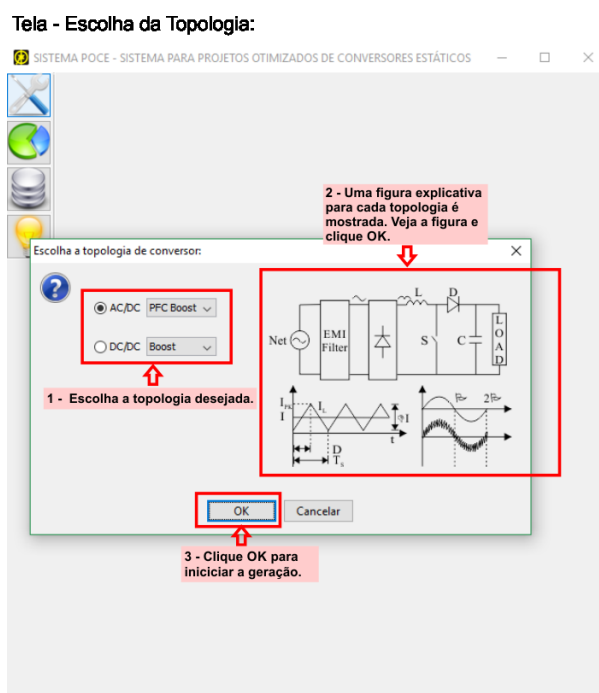


Figura 3 – Projetos de conversores Boost PFC antes

SISTEMA POCE - SISTEMA PARA PROJETOS OTIMIZADOS DE CONVERSORES ESTÁTICOS

Projetos de Conversores - Topologia Boost PFC

Passo 1: Definição de Parâmetros

Potência de Entrada: 1000 W
 Tensão de Entrada (RMS): 220 V
 Tensão de Saída(DC): 400 V
 Frequência da Rede: 60 Hz
 Temperatura Ambiente: 25 °C
 Temperatura de Junção: 125 °C
 Densidade de Corrente: 400 A/cm²
 Topologia do Filtro: 2PI

Frequência:
 Início: 7000 Hz
 Fim: 70000 Hz
 Passo: 1000 Hz

Ripple:
 Início: 20 %
 Fim: 70 %
 Passo: 10 %

Passo 2: Geração

Gerar Projetos de Conversores Gerar Projetos de Conversores --Alg. Genéticos-- PARAR 0%

Passo 3: Visualização dos Resultados

	Ponderado	Menor Volume	Menores Perdas
Frequência de Comu...			
Ondulação da Corren...			
Indutância			
Indutância Efetiva			
Capacitância			
Perdas - Eficiência			
Volume - Densidade ...			
Custo			
Material Magnético d...			
Diodo			
Chave			
Perfil do Dissipador ...			
Material Magnético d...			

Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios
 Visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos Armazenar no Banco de Dados

1 - Definição dos parâmetros para os projetos de conversores Boost PFC. Valores são fornecidos como exemplo. Altere-os.

2 - Geração de projetos de conversores. Clique em um dos botões para gerar os projetos. Estão disponíveis: geração exaustiva ou usando AGs. Será possível Restringir Componentes (diodos, chave, núcleos magnéticos, etc.). Espere até a barra de progresso ser preenchida.

3 - Visualização de Projetos de Conversores. Veja os resultados após a barra de progresso ser preenchida. Clique em um dos botões para visualizar mais informações: Visualizar Todos os Projetos; Gráficos e Relatórios; Visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos; e Armazenar no Banco de Dados.

Figura 4 – Projetos de conversores Boost PFC depois

SISTEMA POCE - SISTEMA PARA PROJETOS OTIMIZADOS DE CONVERSORES ESTÁTICOS

Projetos de Conversores - Topologia Boost PFC

Passo 1: Definição de Parâmetros

Potência de Entrada: 1000 W
 Tensão de Entrada (RMS): 220 V
 Tensão de Saída(DC): 400 V
 Frequência da Rede: 60 Hz
 Temperatura Ambiente: 25 °C
 Temperatura de Junção: 125 °C
 Densidade de Corrente: 420 A/cm²
 Topologia do Filtro: 2PI

Frequência:
 Início: 7000 Hz
 Fim: 70000 Hz
 Passo: 1000 Hz

Ripple:
 Início: 10 %
 Fim: 70 %
 Passo: 10 %

Passo 2: Geração

Gerar Projetos de Conversores Gerar Projetos de Conversores --Alg. Genéticos-- PARAR 100%

Passo 3: Visualização dos Resultados

	Ponderado	Menor Volume	Menores Perdas
Frequência de Comu...	67,00 kHz	68,00 kHz	7,00 kHz
Ondulação da Corren...	20,00 %	40,00 %	30,00 %
Indutância	0,47 mH	0,23 mH	3,03 mH
Indutância Efetiva	0,61 mH	0,35 mH	4,02 mH
Capacitância	208,33 uF	208,33 uF	208,33 uF
Perdas - Eficiência	13,93 W - 98,61 %	15,59 W - 98,44 %	13,79 W - 98,62 %
Volume - Densidade ...	48,36 cm ³ - 20,68 W/...	43,90 cm ³ - 22,78 W/...	97,98 cm ³ - 10,21 W/...
Custo	49,62 US\$	37,78 US\$	84,52 US\$
Material Magnético d...	MPP	HF	HF
Diodo	IDH065G85C5	IDH065G85C5	15ETH06
Chave	SPP17N80C3	SPP17N80C3	SPP17N80C3
Perfil do Dissipador ...	0	0	0
Material Magnético d...	MPP	MPP	MPP

Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios
 Visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos Armazenar no Banco de Dados

1 - Após o preenchimento da barra de progresso, os resultados podem ser visualizados.

2 - Visualização dos projetos de conversores: ponderado, menor volume e menores perdas.

3 - Clique nos botões: - Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios - para ver todos os projetos gerados, gráficos e relatórios. - visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos - para ver o detalhes dos projetos ponderado, menor volume e menores perdas. - Armazenar no Banco de Dados - disponível se o sistema está conectado a uma base de dados.

Figura 5 – Visualizar gráficos

SISTEMA POCE - SISTEMA PARA PROJETOS OTIMIZADOS DE CONVERSORES ESTÁTICOS

Visualize os projetos:

Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios

ID	Frequência de Comutação (KHz)	Ripple de Corrente do Indutor (%)	Perdas Totais (W)/Rendimento (%)	Volume Total (cm³)/Densidade Volumétrica	Custo (US\$)	Indutância (H)	Indutância Efetiva (H)	Capacitância (F)	PartNumber do Núcleo do Indutor	Part Number do Diodo	PartNumber da Chave	Perfil do Dissipador	PartNumber do Núcleo do Indutor do Filtro de
39752	7.00	30.00	13.79 / 98.62	97.98 / 10.21	84.52	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80...	0	55319
40362	8.00	30.00	13.85 / 98.61	128.40 / 7.79	78.09	2.64e-03	3.43e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80...	0	58438
									58617	15ETH06	SPP17N80...	0	55319
									58617	15ETH06	SPP17N80...	0	55436
									58617	15ETH06	SPP17N80...	0	55305
									58617	15ETH06	SPP17N80...	0	55345
									58617	15ETH06	SPP17N80...	0	58438
									58617	15ETH06	SPP17N80...	0	58438
									58617	15ETH06	SPP17N80...	0	258324
									1195	IDH065G6...	SPP17N80...	0	55319
									58617	15ETH06	SPP17N80...	0	55305
									58617	15ETH06	SPP17N80...	0	55305
									58617	15ETH06	SPP17N80...	0	58929
									58617	15ETH06	SPP17N80...	0	55345

Escolha o tipo de gráfico:

Opção 1 - Gráficos 2D:

Rendimento em função da frequência Rendimento em função do ripple

Volume em função da frequência Volume em função do ripple

Potência Entrada em função do Ponto de Maior Rendimento

Fronteira de Pareto Rendimento em função da densidade de potência

Opção 2 - Gráficos 3D:

Volume Densidade Volumétrica de Potência

Perdas Rendimento

Custo KW/US\$

OK

3 - Selecione o gráfico que deseja ver. Estão disponíveis gráficos em 2D e 3D envolvendo variáveis como: frequência de comutação, ondulação de corrente de entrada (ripple), volume, perdas, rendimento, densidade volumétrica de potência, etc.

Alterar Ordenação

Filtrar por Pontos de Operação

Filtrar por Componentes

Limpar Filtros

Visualizar Gráficos

Gerar PDF

1 - Este botão foi clicado.

Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios

Visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos

Figura 6 – Visualizar relatório detalhados dos três projetos.

SISTEMA POCE Visualize detalhes dos projetos:

Ver Pro

Visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos

Variáveis	Projeto com Perdas e ...	Projeto com Menor Vol...	Projeto com Menores ...
Frequência de Comu...	67.00	68.00	7.00
Ripple de Corrente d...	20.00	40.00	30.00
Indutância (mH)	0.47	0.23	3.02
Indutância Efetiva (m...	0.61	0.35	4.02
Capacitância (uF)	208.33	208.33	208.33
Volume Total (cm³)-D...	48.36 - 20.68	43.90 - 22.78	97.98 - 10.21
Perdas Totais (W)-R...	13.93 - 98.61	15.59 - 98.44	13.79 - 98.62
Custo (US\$)	49.62	37.78	84.52
Indutor	#	#	#
PartNumber	55083	58548	58617
Número de Espiras	104	64	170
Perdas no Cobre (W)	4.80e+00	3.86e+00	5.43e+00
Perdas no Núcleo (W)	2.25e-01	2.33e+00	3.92e-01
AWG	22	22	13
Número de Fios em ...	4	4	1
Temperatura (°C)	4.97e+01	6.92e+01	3.52e+01
Comprimento do Fio ...	7.54e+02	3.62e+02	2.06e+03
Perdas no Indutor (W)	5.02e+00	6.19e+00	5.82e+00
Volume do Indutor (c...	1.06e+01	5.34e+00	5.18e+01
Custo do Indutor (US\$)	17.70	4.49	43.43
Diodo	#	#	#
Part Number do Diodo	IDH065G65C5	IDH065G65C5	15ETH06
Perdas de Condução...	3.14e+00	3.14e+00	2.06e+00
Perdas de Comutaçã...	0.00e+00	0.00e+00	3.13e-01
Perdas no Diodo (W)	3.14e+00	3.14e+00	2.38e+00
Custo do Diodo (US\$)	6.71	6.71	1.36
Comprimento do Dis...	0	0	0
Volume do Dissipad...	0	0	0

Gerar PDF

OK

2 - Visualize os detalhes sobre os três projetos: ponderado, menor volume e menores perdas.

3 - Clique aqui para gerar o arquivo pdf.

1 - Este botão foi clicado.

Visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos

Figura 7 – Visualizar todos os projetos, gráficos e relatórios

Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios

ID	Frequência de Comutação (kHz)	Ripple de Corrente do Indutor (%)	Perdas Totais (W) / Rendimento (%)	Volume Total (cm³) / Densidade Volumétrica	Custo (US\$)	Indutância (H)	Indutância Efetiva (H)	Capacitância (F)	PartNumber do Núcleo do Indutor	Part Number do Diodo	PartNumber da Chave	Perfil do Dissipador	PartNumber do Núcleo do Indutor do Filtro de ...
39752	7.00	30.00	13.79 / 98.62	97.98 / 10.21	84.52	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80...0		55319
40362	8.00	30.00	13.85 / 98.61	128.40 / 7.79	78.09	2.64e-03	3.43e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80...0		58438
39809	7.00	40.00	13.87 / 98.61	97.98 / 10.21	126.62	2.26e-03	2.76e-03	2.08e-04	55617	15ETH06	SPP17N80...0		55319
40361	8.00	30.00	13.93 / 98.61	128.40 / 7.79	91.78	2.64e-03	3.43e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80...0		55436
146597	67.00	20.00	13.93 / 98.61	48.36 / 20.68	49.62	4.73e-04	6.12e-04	2.08e-04	55083	IDH065G6...	SPP17N80...0		55305
147641	68.00	20.00	13.94 / 98.61	49.16 / 20.34	50.98	4.66e-04	6.00e-04	2.08e-04	55083	IDH065G6...	SPP17N80...0		55345
40419	8.00	40.00	13.95 / 98.61	128.40 / 7.79	120.22	1.99e-03	2.36e-03	2.08e-04	55617	15ETH06	SPP17N80...0		58438
40335	8.00	30.00	13.95 / 98.61	128.40 / 7.79	120.69	2.64e-03	3.33e-03	2.08e-04	55617	15ETH06	SPP17N80...0		58438
39753	7.00	30.00	13.97 / 98.60	110.16 / 9.08	72.41	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80...0		258324
99167	21.00	20.00	13.98 / 98.60	74.78 / 13.37	68.17	1.51e-03	2.37e-03	2.08e-04	58195	IDH065G6...	SPP17N80...0		55319
146570	67.00	20.00	13.99 / 98.60	48.36 / 20.68	46.40	4.73e-04	6.12e-04	2.08e-04	55083	CDS06060	SPP17N80...0		55305
146598	67.00	20.00	14.00 / 98.60	52.90 / 18.90	46.81	4.73e-04	6.12e-04	2.08e-04	55083	IDH065G6...	SPP17N80...0		58929
147614	68.00	20.00	14.00 / 98.60	49.16 / 20.34	47.76	4.66e-04	6.00e-04	2.08e-04	55083	CDS06060	SPP17N80...0		55345

2 - Visualize todos os projetos de conversores.

1 - Este botão foi clicado na tela de Geração ou de Consulta a Projetos de conversores.

3 - Estão disponíveis opções para:

- alterar a ordenação de visualização dos resultados;
- filtrar por ponto de operação e componentes;
- visualizar gráficos;
- gerar arquivo pdf com todos o projetos.

Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios

Visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos

Figura 8 – Consultar projetos armazenados no banco de dados.

1 - Selecione a aba correspondente a topologia desejada, clique na linha que contém os parâmetros do projeto a ser consultado e, opcionalmente, restrinja as faixas de frequência de comutação e ondulação de corrente de entrada.

2 - Clique em consultar para visualizar os resultados.

3 - Visualização dos projetos de conversores: ponderado, menor volume e menores perdas. Clique nos botões:

- Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios - para ver todos os projetos gerados, gráficos e relatórios.
- visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos - para ver o detalhes dos projetos ponderado, menor volume e menores perdas.

Ver Projetos de Conversores - Gráficos e Relatórios

Passo 1: Escolha da topologia e dos parâmetros

Boost PFC Boost CC/CC Buck CC/CC

Selecione uma linha:

Pin	Vf	Vo	Fr	Ta	Tj	J	topF
100	220	400	60	25	125	420	2PI
500	220	400	60	25	125	420	2PI
1.000	220	400	60	25	125	420	2PI
1.002	220	400	60	25	125	420	2PI

Frequência: Início: 7000 Hz Fim: 70000 Hz
Ripple: Início: 10 % Fim: 70 %

Legenda:
Pin - Potência de Entrada (W)
Vf - Tensão de Entrada RMS (V)
Vo - Tensão de Saída DC (V)
Fr - Frequência da Rede (Hz)
Ta - Temperatura Ambiente ...
Tj - Temperatura de Junção (°C)
J - Densidade de Corrente (A/cm²)
topF - Topologia do Fi...

Passo 2: Consulta dos projetos de conversores

Consultar

Passo 3: Visualização dos Resultados

	Ponderado	Menor Volume	Menores Perdas
Frequência de Comuta...	67,00 kHz	68,00 kHz	7,00 kHz
Ondulação da Corrente...	20,00 %	40,00 %	30,00 %
Indutância	0,47 mH	0,23 mH	3,02 mH
Indutância Efetiva	0,61 mH	0,35 mH	4,02 mH
Capacitância	208,33 uF	208,33 uF	208,33 uF
Perdas - Eficiência	13,93 W - 98,61 %	15,59 W - 98,44 %	13,79 W - 98,62 %
Volume - Densidade V...	48,36 cm³ - 20,68 W/cm³	43,90 cm³ - 22,78 W/cm³	97,98 cm³ - 10,21 W/cm³
Custo	49,62 US\$	37,78 US\$	84,52 US\$
Material Magnético do I...	MPP	HF	HF
Diodo	IDH065G65C5	IDH065G65C5	15ETH06
Chave	SPP17N80C3	SPP17N80C3	SPP17N80C3
Perfil do Dissipador de ...	0	0	0
Material Magnético do ...	MPP	MPP	MPP

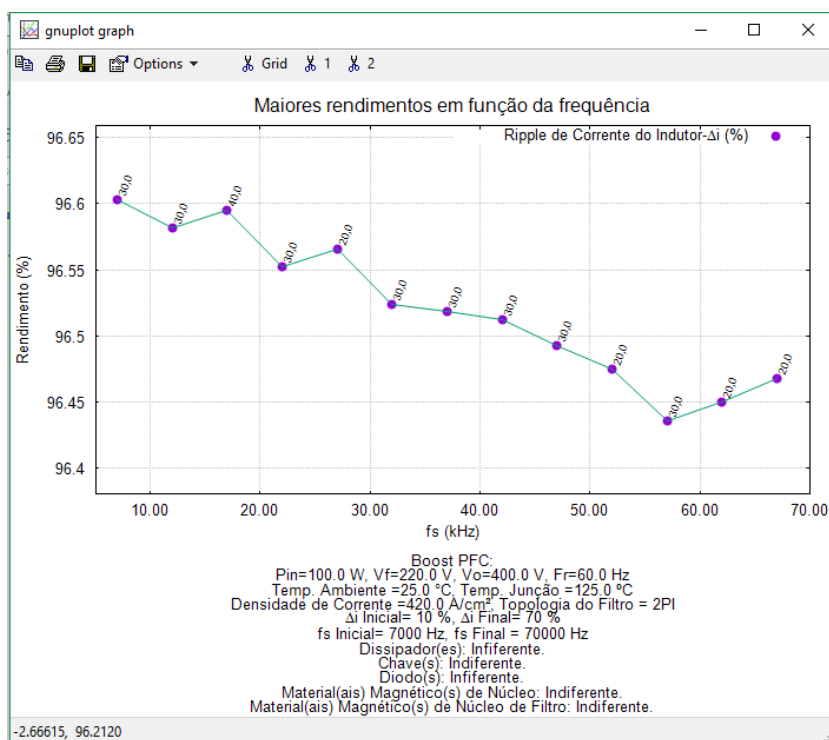
Visualizar Todos os Projetos, Gráficos e Relatórios

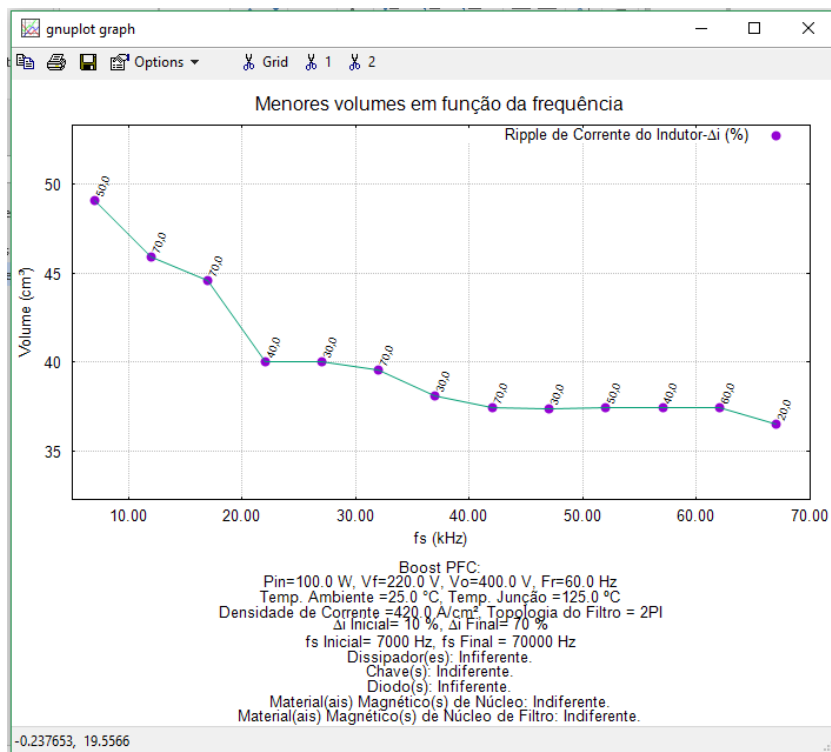
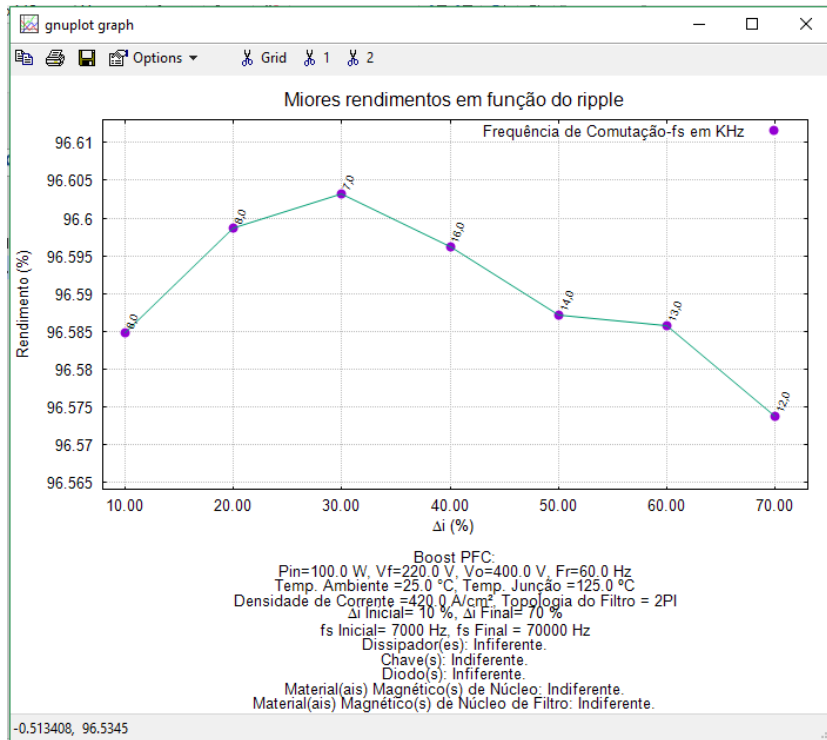
Visualizar Relatório Detalhado - 3 Projetos

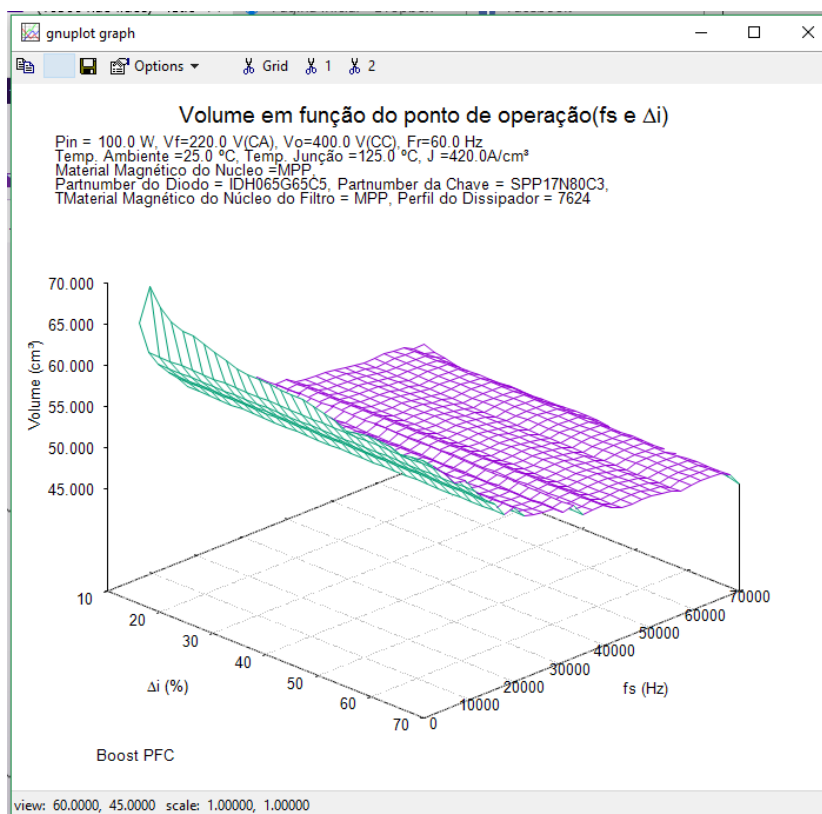
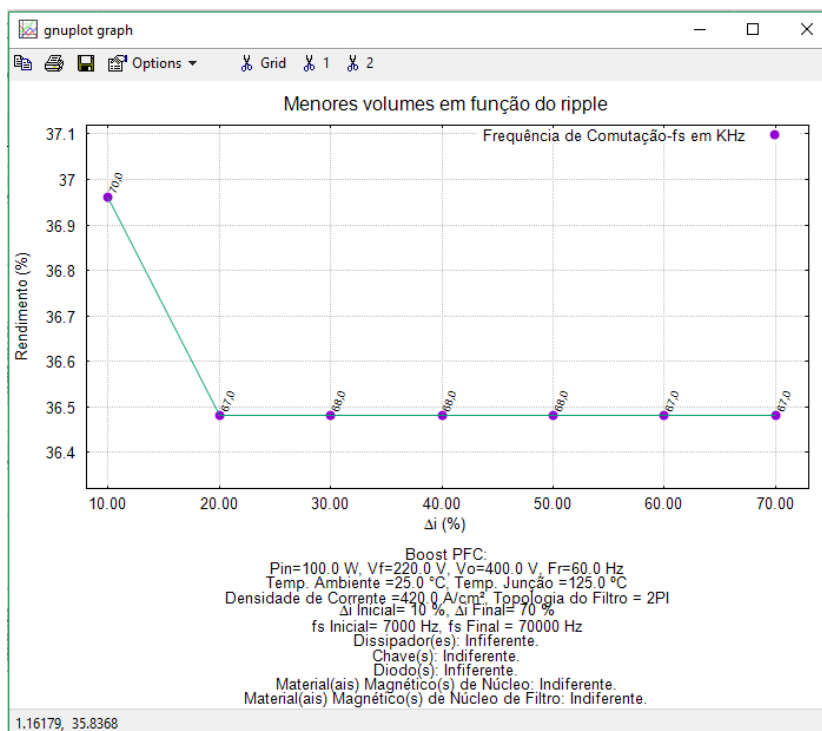
APÊNDICE H – GRÁFICOS E RELATÓRIOS DISPONÍVEIS NO SISTEMA POCE

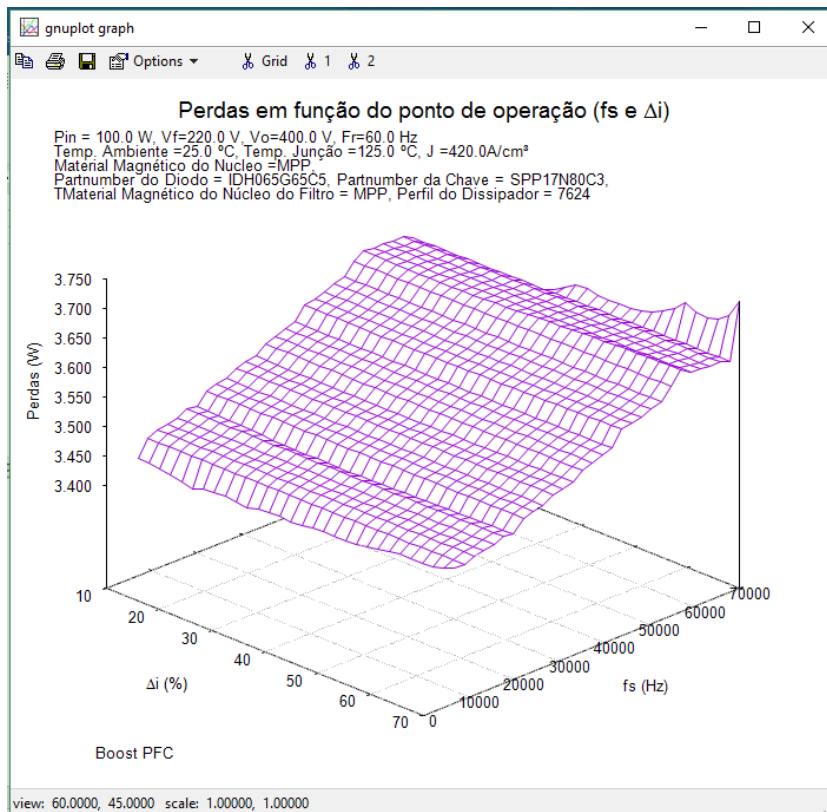
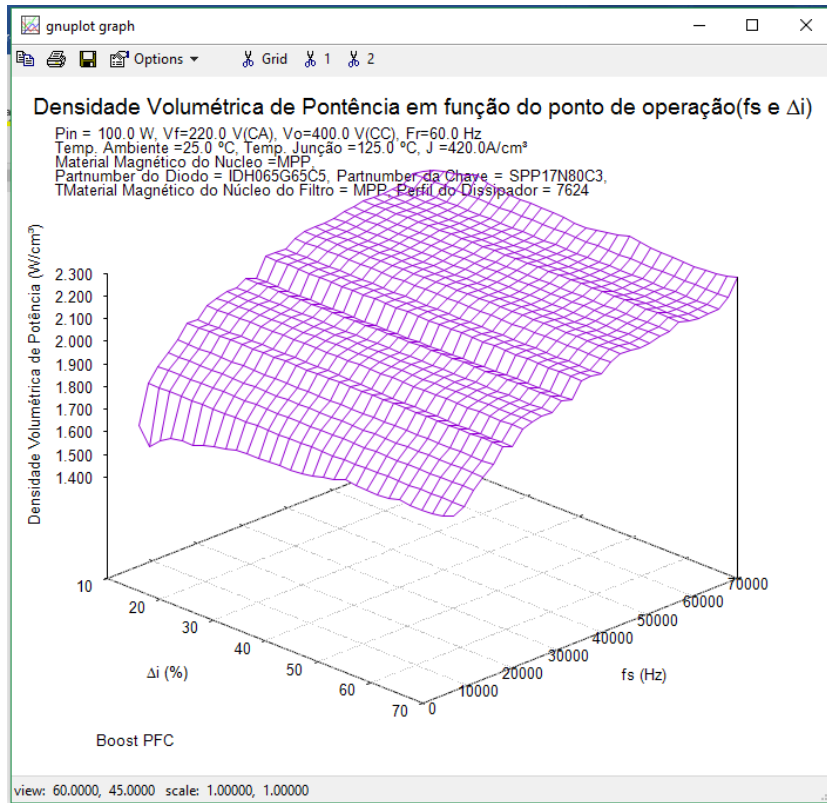
1 - GRÁFICOS DO PROJETO DE BOOST PFC PARA POTÊNCIA DE ENTRADA IGUAL A 100 W

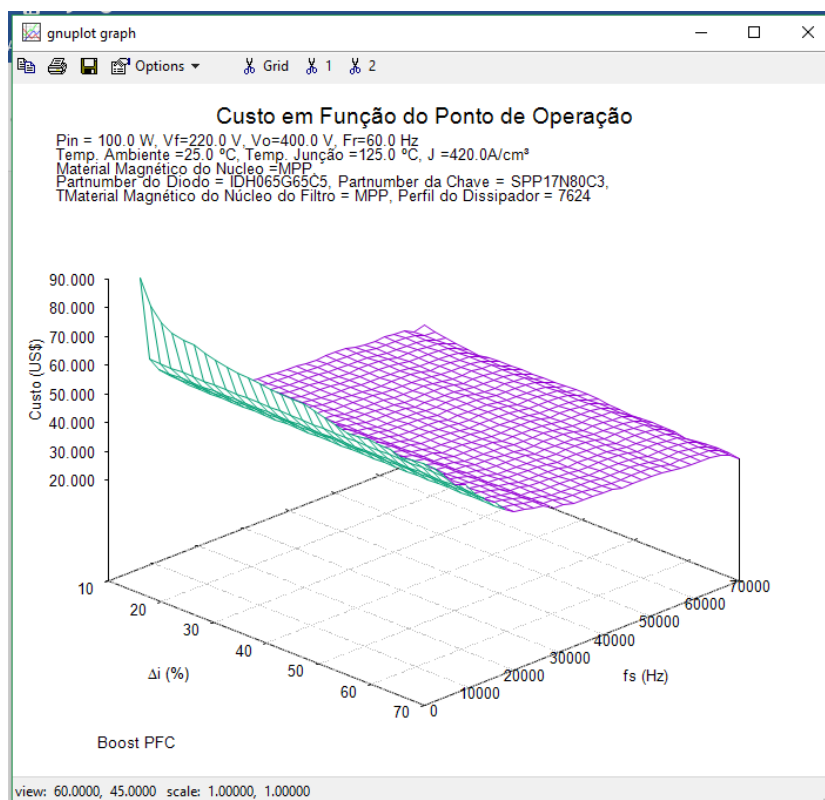
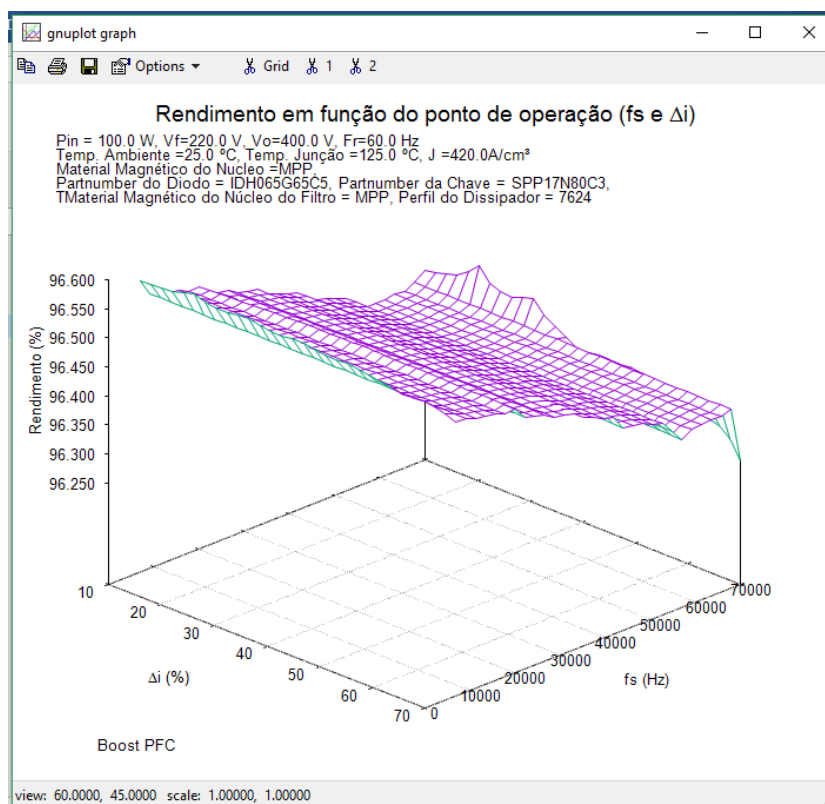
Obs.: O termo indiferente na legenda dos gráficos significa não foram feitas restrições de componentes e tecnologias.

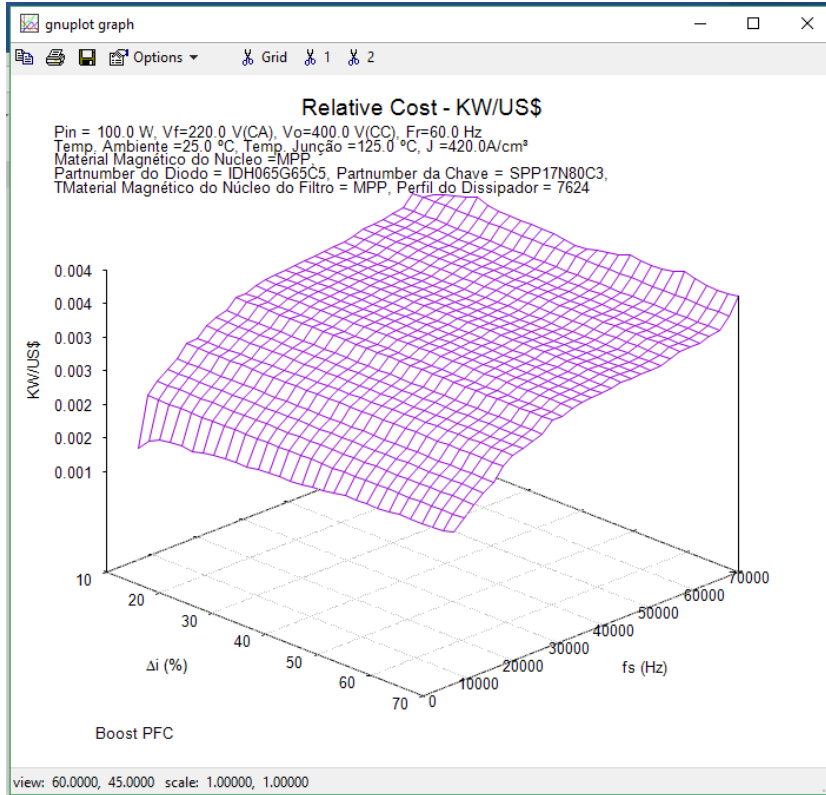




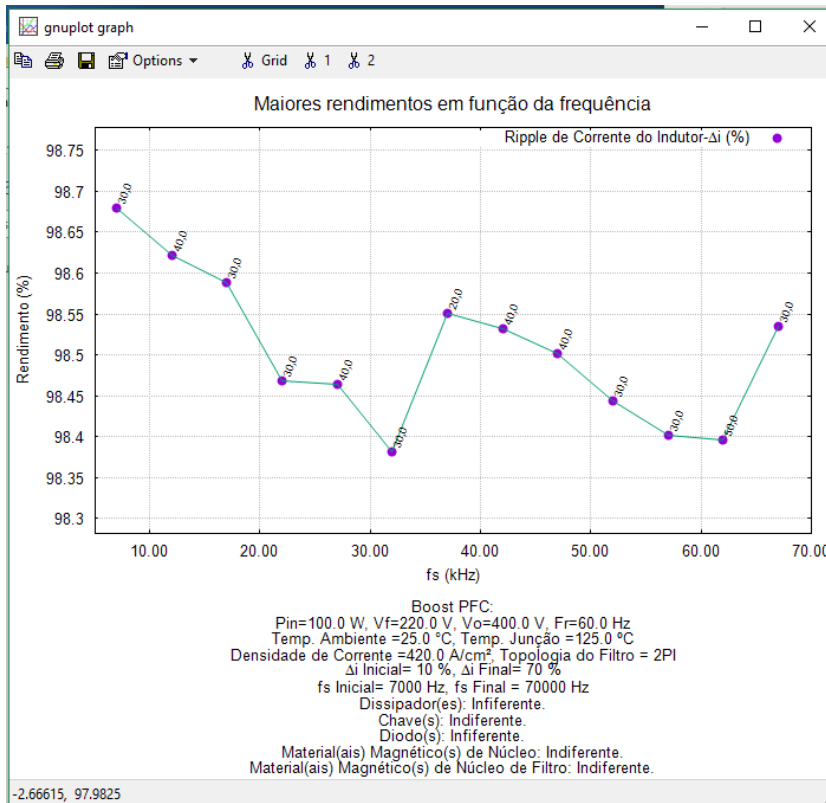


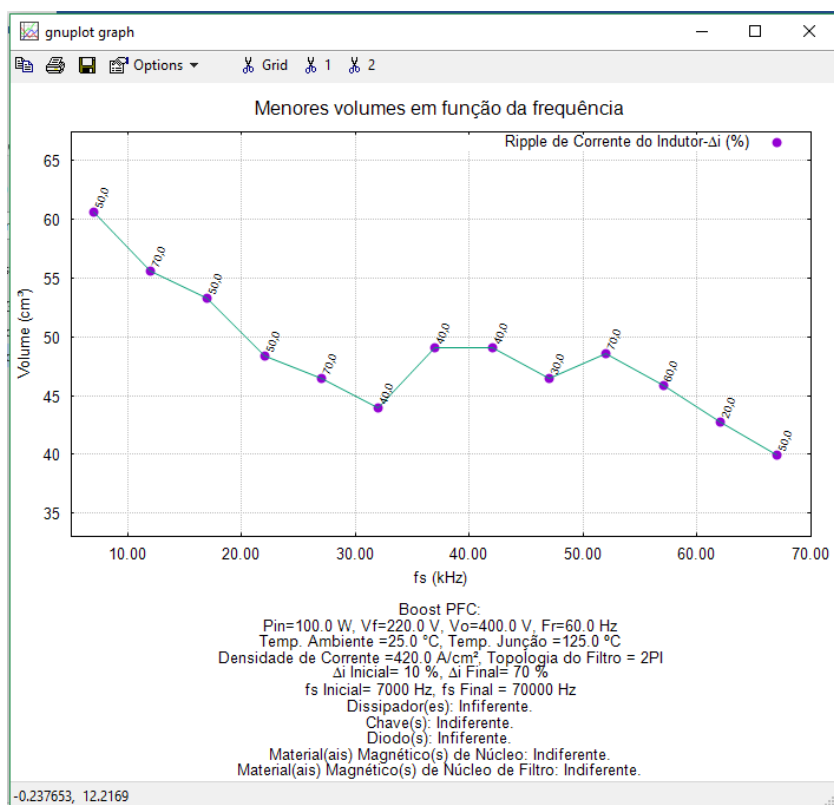
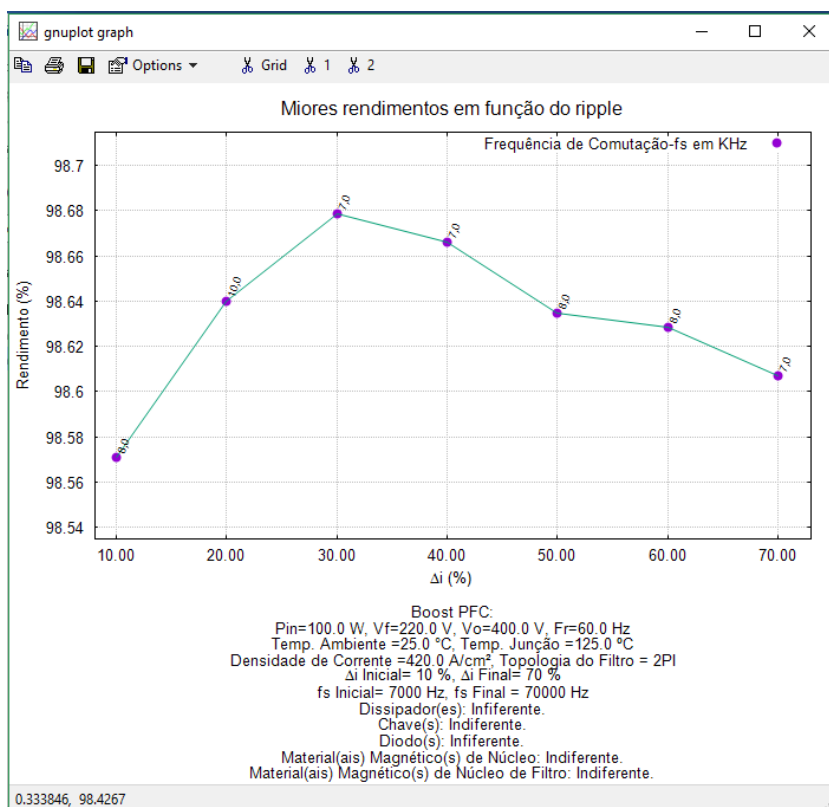


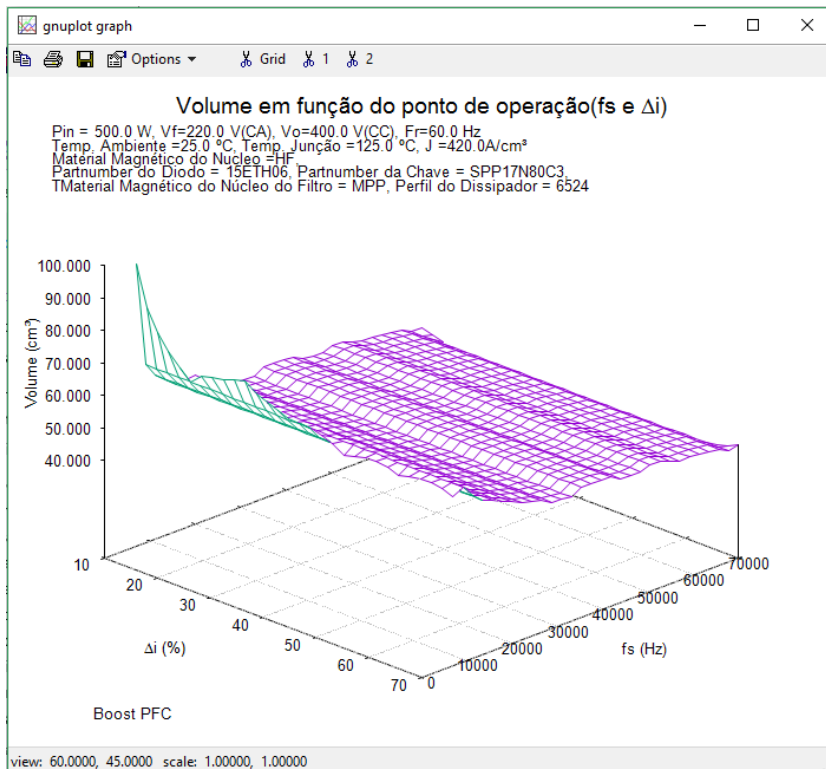
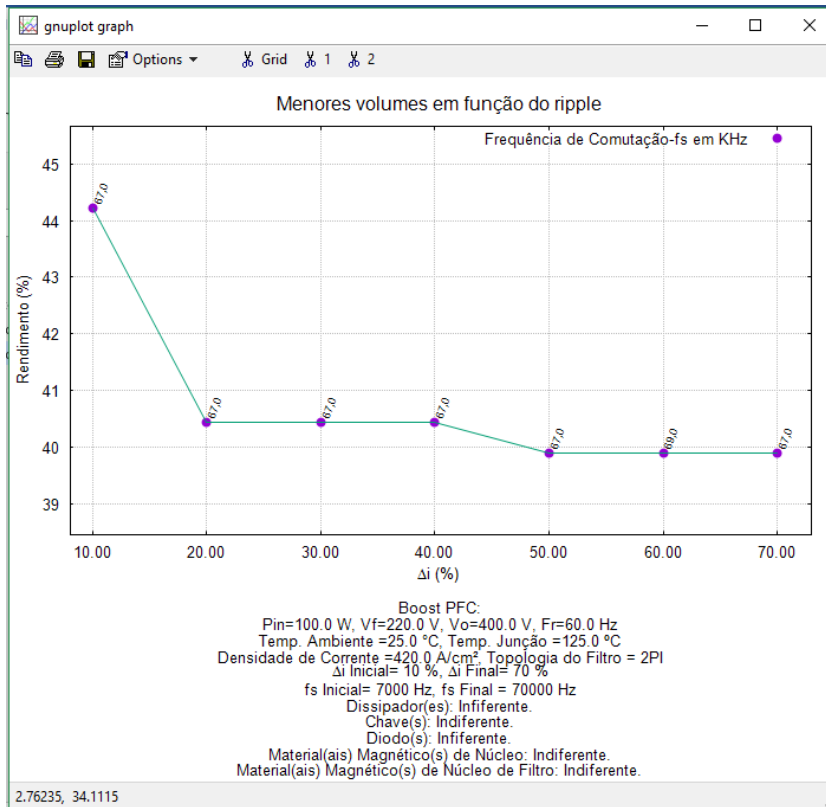


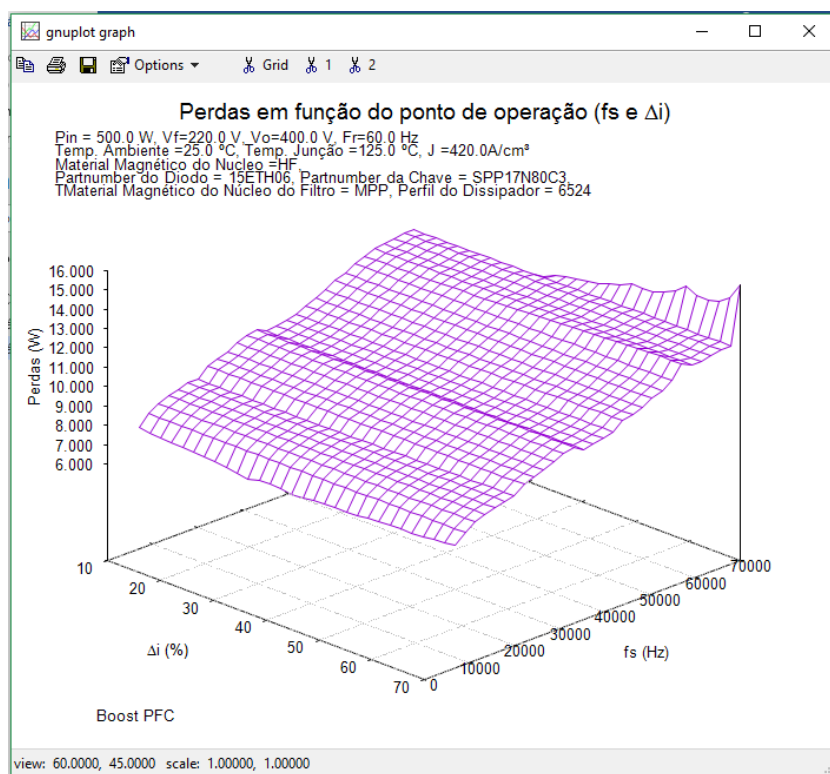
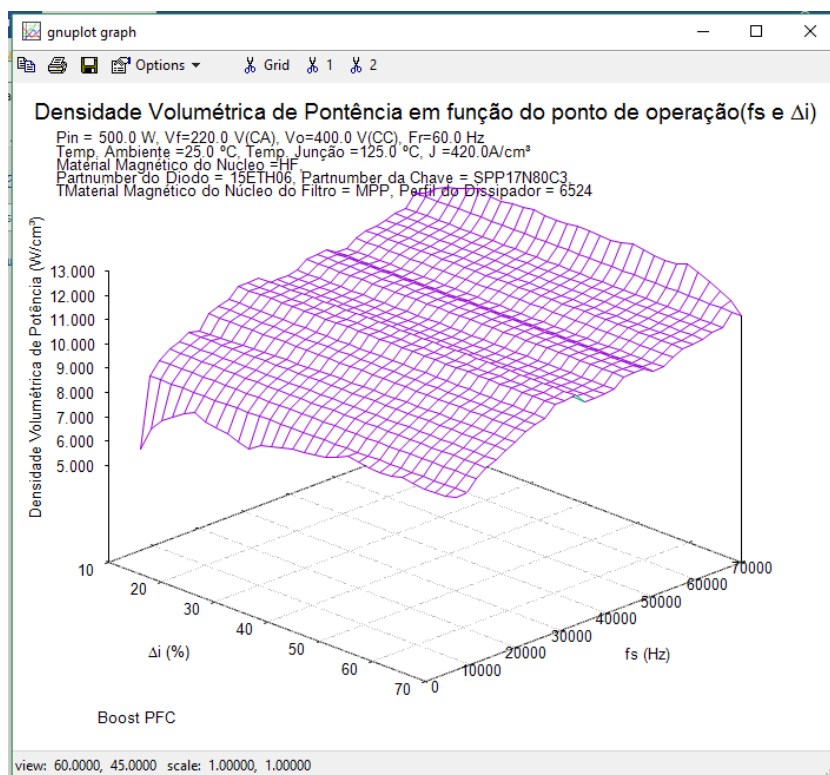


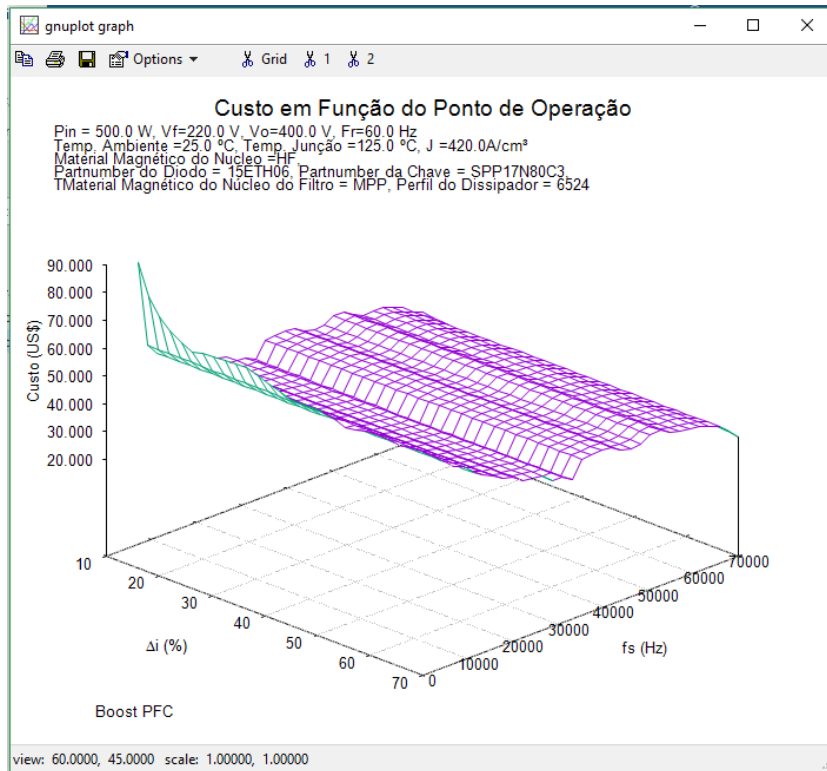
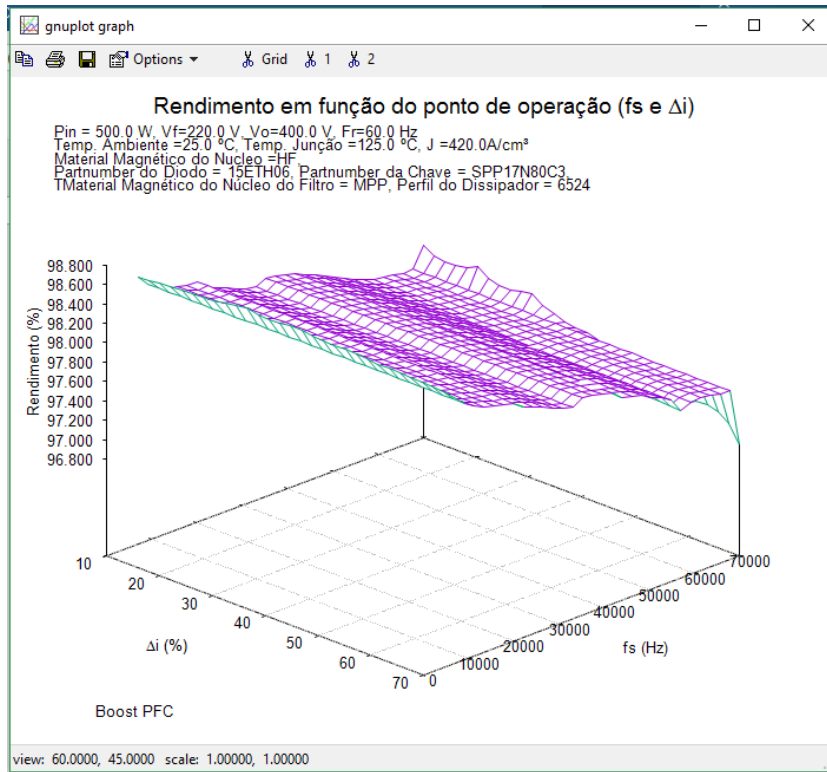
2 - GRÁFICOS DO PROJETO DE BOOST PFC PARA POTÊNCIA DE ENTRADA IGUAL A 500 W

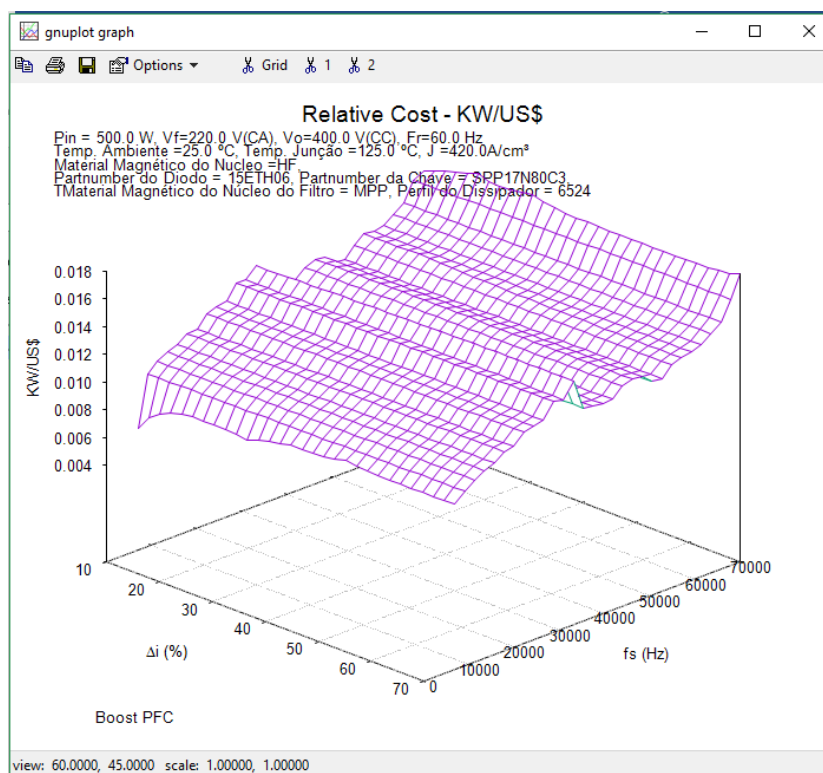












3 – RELATÓRIOS DISPONÍVEIS NO SISTEMA POCE

- Relatório dos projetos ponderado, menor volume e menores perdas para Boost PFC com potência de entrada igual a 1000 W
- Relatório dos projetos para Boost PFC com potência de entrada igual a 1000 W, considerando-se apenas um ponto de operação.
- Relatório dos projetos ponderado, menor volume e menores perdas para Boost PFC com potência de entrada igual a 500 W
- Relatório dos projetos para Boost PFC com potência de entrada igual a 500 W, considerando-se apenas um ponto de operação.
- Relatório dos projetos ponderado, menor volume e menores perdas para Boost PFC com potência de entrada igual a 100 W
- Relatório dos projetos para Boost PFC com potência de entrada igual a 100 W, considerando-se apenas um ponto de operação.
- Relatório dos projetos ponderado, menor volume e menores perdas para Boost CC-CC
- Relatório dos projetos para Boost CC-CC, considerando-se apenas um ponto de operação.
- Relatório dos projetos ponderado, menor volume e menores perdas para Buck CC-CC
- Relatório dos projetos para Buck CC-CC, considerando-se apenas um ponto de operação.

Relatório de Projetos de Conversores - BOOST PFC

Potência de Entrada=1000.0 W	Temperatura Ambiente=25.0 °C	Frequência Inicial=7.0 KHz
Tensão de Entrada=220.0 V	Temperatura de Junção=125.0 °C	Frequência Final=70.0 KHz
Tensão de Saída=400.0 V	Densidade de Corrente =420.0 A/cm²	Ripple de Corrente Inicial=10.0 %
Frequência da Rede (Hz)=60.0 Hz	Topologia do Filtro= 2PI	Ripple de Corrente Final=70.0 %

Variáveis	Projeto com Perdas e Volume Ponderados	Projeto com Menor Volume	Projeto com Menores Perdas
Frequência de Comutação (kHz)	67.00	68.00	7.00
Ripple de Corrente do Indutor (%)	20.00	40.00	30.00
Indutância (mH)	0.47	0.23	3.02
Indutância Efetiva (mH)	0.61	0.35	4.02
Capacitância (uF)	208.33	208.33	208.33
Volume Total (cm³)-Densidade Volumétrica	48.36 - 20,68	43.90 - 22,78	97.98 - 10,21
Perdas Totais (W)-Rendimento (%)	13.93 - 98,61	15.59 - 98,44	13.79 - 98,62
Custo (US\$)	49.62	37.78	84.52
Indutor			
PartNumber	55083	58548	58617
Número de Espiras	104	64	170
Perdas no Cobre (W)	4.80e+00	3.86e+00	5.43e+00
Perdas no Núcleo (W)	2.25e-01	2.33e+00	3.92e-01
AWG	22	22	13
Número de Fios em Paralelos	4	4	1
Temperatura (°C)	4.97e+01	6.92e+01	3.52e+01
Comprimento do Fio (cm)	7.54e+02	3.62e+02	2.06e+03
Perdas no Indutor (W)	5.02e+00	6.19e+00	5.82e+00
Volume do Indutor (cm³)	1.06e+01	5.34e+00	5.18e+01
Custo do Indutor (US\$)	17.70	4.49	43.43
Diodo			
Part Number do Diodo	IDH065G65C5	IDH065G65C5	15ETH06
Perdas de Condução no Diodo (W)	3.14e+00	3.14e+00	2.06e+00
Perdas de Comutação no Diodo (W)	0.00e+00	0.00e+00	3.13e-01
Perdas no Diodo (W)	3.14e+00	3.14e+00	2.39e+00
Custo do Diodo (US\$)	6.71	6.71	1.36
Comprimento do Dissipador do Diodo (cm)	0	0	0
Volume do Dissipador do Diodo (cm³)	0	0	0
Custo do Dissipador do Diodo (US\$)	0	0	0
Chave			
PartNumber da Chave	SPP17N80C3	SPP17N80C3	SPP17N80C3
Perdas de Condução na Chave (W)	4.01e+00	4.30e+00	4.15e+00
Perdas de Comutação na Chave (W)	6.27e-01	7.31e-01	3.84e-01
Perdas na Chave (W)	4.63e+00	5.03e+00	4.54e+00
Custo da Chave	3.58	3.58	3.58
Comprimento do Dissipador da Chave (cm)	0	0	0
Volume do Dissipador da Chave (cm³)	0	0	0
Custo do Dissipador da Chave (US\$)	0	0	0
Dissipador de Calor			
Perfil do Dissipador de Calor	-	-	-
Filtro de EMI			
PartNumber do Nucleo do Indutor do Filtro	55305	55345	55319
Número de Espiras do Indutor do Filtro	18	19	22
Volume do Filtro (cm³)	3.76e+00	4.56e+00	1.22e+01
Perdas no Filtro (W)	7.36e-01	8.13e-01	6.43e-01
Custo do Filtro (US\$)	15.63	17.00	30.15
Capacitor			
Perdas no Capacitor (W)	4.00e-01	4.16e-01	4.13e-01
Volume do Capacitor (cm³)	3.40e+01	3.40e+01	3.40e+01
Custo do Capacitor (US\$)	6.00	6.00	6.00

Relatório de Projetos de Conversores - BOOST PFC

Potência de Entrada=1000.0 W Tensão de Saída=400.0 V Temperatura Ambiente=25.0 °C Frequência Inicial=7.0 KHz Ripple de Corrente Inicial=30.0 % Frequência da Rede (Hz)=60.0 Hz
 Densidade de Corrente =420.0 A/cm² Tensão de Entrada=220.0 V Temperatura de Junção=125.0 °C Frequência Final=7.0 KHz Ripple de Corrente Final=30.0 % Topologia do Filtro= 2PI

ID	Frequência de Comutação (kHz)	Ripple de Corrente do Indutor	Perdas Totais (W) / Rendimento (%)	Volume Total (cm³) / Densidade Volumétrica de Potência	Custo (US\$)	Indutância (H)	Indutância Efetiva (H)	Capacitância (F)	PartNumber do Núcleo do Indutor	Part Number do Diodo	PartNumber da Chave	Perfil do Dissipador	PartNumber do Nucleo do Indutor do Filtro de EMI
39752	7.00	30.00	13.79 / 98.62	97.98 / 10.21	84.52	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80C3	0	55319
39753	7.00	30.00	13.97 / 98.60	110.16 / 9.08	72.41	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80C3	0	258324
39751	7.00	30.00	14.12 / 98.59	106.80 / 9.36	65.02	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	SPP17N80C3	0	77254
39773	7.00	30.00	14.28 / 98.57	97.98 / 10.21	83.48	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	IPP60R299CP	0	55319
84971	7.00	30.00	14.32 / 98.57	97.98 / 10.21	89.88	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	IDH065G65	SPP17N80C3	0	55319
84944	7.00	30.00	14.38 / 98.56	97.98 / 10.21	86.66	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	CDS06060	SPP17N80C3	0	55319
39774	7.00	30.00	14.46 / 98.55	110.16 / 9.08	71.37	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	IPP60R299CP	0	258324
84972	7.00	30.00	14.50 / 98.55	110.16 / 9.08	77.76	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	IDH065G65	SPP17N80C3	0	258324
84945	7.00	30.00	14.56 / 98.54	110.16 / 9.08	74.54	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	CDS06060	SPP17N80C3	0	258324
39772	7.00	30.00	14.60 / 98.54	106.80 / 9.36	63.97	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	IPP60R299CP	0	77254
84970	7.00	30.00	14.65 / 98.53	106.80 / 9.36	70.37	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	IDH065G65	SPP17N80C3	0	77254
84943	7.00	30.00	14.71 / 98.53	106.80 / 9.36	67.15	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	CDS06060	SPP17N80C3	0	77254
84992	7.00	30.00	14.81 / 98.52	97.98 / 10.21	88.83	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	IDH065G65	IPP60R299CP	0	55319
84965	7.00	30.00	14.87 / 98.51	97.98 / 10.21	85.61	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	CDS06060	IPP60R299CP	0	55319
84993	7.00	30.00	14.99 / 98.50	110.16 / 9.08	76.72	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	IDH065G65	IPP60R299CP	0	258324
84966	7.00	30.00	15.05 / 98.49	110.16 / 9.08	73.50	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	CDS06060	IPP60R299CP	0	258324
84991	7.00	30.00	15.14 / 98.49	106.80 / 9.36	69.33	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	IDH065G65	IPP60R299CP	0	77254
84964	7.00	30.00	15.20 / 98.48	106.80 / 9.36	66.11	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	CDS06060	IPP60R299CP	0	77254
39698	7.00	30.00	15.31 / 98.47	115.18 / 8.68	62.61	3.02e-03	3.56e-03	2.08e-04	277868	15ETH06	SPP17N80C3	0	55319
39699	7.00	30.00	15.49 / 98.45	127.36 / 7.85	50.50	3.02e-03	3.56e-03	2.08e-04	277868	15ETH06	SPP17N80C3	0	258324
39776	7.00	30.00	15.56 / 98.44	97.98 / 10.21	82.30	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	IPP60R385CP	0	55319
39725	7.00	30.00	15.59 / 98.44	80.68 / 12.40	104.72	3.02e-03	3.81e-03	2.08e-04	55868	15ETH06	SPP17N80C3	0	55319
39697	7.00	30.00	15.63 / 98.44	124.00 / 8.06	43.11	3.02e-03	3.56e-03	2.08e-04	277868	15ETH06	SPP17N80C3	0	77254
39777	7.00	30.00	15.74 / 98.43	110.16 / 9.08	70.18	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	IPP60R385CP	0	258324
39726	7.00	30.00	15.77 / 98.42	92.86 / 10.77	92.61	3.02e-03	3.81e-03	2.08e-04	55868	15ETH06	SPP17N80C3	0	258324
39719	7.00	30.00	15.80 / 98.42	115.18 / 8.68	61.57	3.02e-03	3.56e-03	2.08e-04	277868	15ETH06	IPP60R299CP	0	55319
84863	7.00	30.00	15.84 / 98.42	115.18 / 8.68	67.96	3.02e-03	3.56e-03	2.08e-04	277868	IDH065G65	SPP17N80C3	0	55319
39775	7.00	30.00	15.89 / 98.41	106.80 / 9.36	62.79	3.02e-03	4.02e-03	2.08e-04	58617	15ETH06	IPP60R385CP	0	77254
84836	7.00	30.00	15.90 / 98.41	115.18 / 8.68	64.74	3.02e-03	3.56e-03	2.08e-04	277868	CDS06060	SPP17N80C3	0	55319
39724	7.00	30.00	15.92 / 98.41	89.50 / 11.17	85.22	3.02e-03	3.81e-03	2.08e-04	55868	15ETH06	SPP17N80C3	0	77254
39720	7.00	30.00	15.98 / 98.40	127.36 / 7.85	49.45	3.02e-03	3.56e-03	2.08e-04	277868	15ETH06	IPP60R299CP	0	258324

Relatório de Projetos de Conversores - BOOST PFC

Potência de Entrada=500.0 W

Temperatura Ambiente=25.0 °C

Frequência Inicial=7.0 KHz

Tensão de Entrada=220.0 V

Temperatura de Junção=125.0 °C

Frequência Final=70.0 KHz

Tensão de Saída=400.0 V

Densidade de Corrente =420.0 A/cm²

Ripple de Corrente Inicial=10.0 %

Frequência da Rede (Hz)=60.0 Hz

Topologia do Filtro= 2PI

Ripple de Corrente Final=70.0 %

Variáveis	Projeto com Perdas e Volume Ponderados	Projeto com Menor Volume	Projeto com Menores Perdas
Frequência de Comutação (kHz)	69.00	69.00	7.00
Ripple de Corrente do Indutor (%)	50.00	60.00	30.00
Indutância (mH)	0.37	0.31	6.03
Indutância Efetiva (mH)	0.46	0.39	9.44
Capacitância (uF)	104.17	104.17	104.17
Volume Total (cm³)-Densidade Volumétrica	40.45 - 12,36	39.90 - 12,53	74.78 - 6,69
Perdas Totais (W)-Rendimento (%)	7.47 - 98,51	7.77 - 98,45	6.61 - 98,68
Custo (US\$)	35.34	33.72	64.38
Indutor			
PartNumber	55930	255310	58195
Número de Espiras	68	58	227
Perdas no Cobre (W)	3.44e+00	3.47e+00	3.63e+00
Perdas no Núcleo (W)	4.66e-01	6.40e-01	2.60e-01
AWG	22	22	13
Número de Fios em Paralelos	2	2	1
Temperatura (°C)	5.52e+01	5.73e+01	3.56e+01
Comprimento do Fio (cm)	3.70e+02	3.92e+02	2.15e+03
Perdas no Indutor (W)	3.91e+00	4.11e+00	3.89e+00
Volume do Indutor (cm³)	4.15e+00	3.60e+00	2.86e+01
Custo do Indutor (US\$)	5.93	4.32	23.30
Diodo			
Part Number do Diodo	IDH085G85C5	IDH085G85C5	15ETH06
Perdas de Condução no Diodo (W)	1.29e+00	1.29e+00	9.21e-01
Perdas de Comutação no Diodo (W)	0.00e+00	0.00e+00	1.86e-01
Perdas no Diodo (W)	1.29e+00	1.29e+00	1.11e+00
Custo do Diodo (US\$)	6.71	6.71	1.36
Comprimento do Dissipador do Diodo (cm)	0	0	0
Volume do Dissipador do Diodo (cm³)	0	0	0
Custo do Dissipador do Diodo (US\$)	0	0	0
Chave			
PartNumber da Chave	SPP17N80C3	SPP17N80C3	SPP17N80C3
Perdas de Condução na Chave (W)	1.15e+00	1.21e+00	1.03e+00
Perdas de Comutação na Chave (W)	4.03e-01	4.31e-01	2.22e-01
Perdas na Chave (W)	1.55e+00	1.64e+00	1.25e+00
Custo da Chave	3.58	3.58	3.58
Comprimento do Dissipador da Chave (cm)	0	0	0
Volume do Dissipador da Chave (cm³)	0	0	0
Custo do Dissipador da Chave (US\$)	0	0	0
Dissipador de Calor			
Perfil do Dissipador de Calor	-	-	-
Filtro de EMI			
PartNumber do Nucleo do Indutor do Filtro	55201	55201	55319
Número de Espiras do Indutor do Filtro	28	28	20
Volume do Filtro (cm³)	2.30e+00	2.30e+00	1.22e+01
Perdas no Filtro (W)	5.07e-01	5.07e-01	1.46e-01
Custo do Filtro (US\$)	13.12	13.12	30.13
Capacitor			
Perdas no Capacitor (W)	2.15e-01	2.23e-01	2.06e-01
Volume do Capacitor (cm³)	3.40e+01	3.40e+01	3.40e+01
Custo do Capacitor (US\$)	6.00	6.00	6.00

Relatório de Projetos de Conversores - BOOST PFC

Potência de Entrada=500.0 W Tensão de Saída=400.0 V Temperatura Ambiente=25.0 °C Frequência Inicial=69.0 kHz Ripple de Corrente Inicial=60.0 % Frequência da Rede (Hz)=60.0 Hz
 Densidade de Corrente =420.0 A/cm² Tensão de Entrada=220.0 V Temperatura de Junção=125.0 °C Frequência Final=69.0 kHz Ripple de Corrente Final=60.0 % Topologia do Filtro= 2PI

ID	Frequência de Comutação (kHz)	Ripple de Corrente do Indutor	Perdas Totais (W) / Rendimento (%)	Volume Total (cm³) / Densidade Volumétrica de Potência	Custo (US\$)	Indutância (H)	Indutância Efetiva (H)	Capacitância (F)	PartNumber do Núcleo do Indutor	Part Number do Diodo	PartNumber da Chave	Perfil do Dissipador	PartNumber do Nucleo do Indutor do Filtro de EMI
588640	69.00	60.00	7.77 / 98.45	39.90 / 12.53	33.72	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	IDH065G65	SPP17N80C3	0	55201
588622	69.00	60.00	7.79 / 98.44	39.90 / 12.53	30.50	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	CDS06060	SPP17N80C3	0	55201
588588	69.00	60.00	7.81 / 98.44	40.45 / 12.36	30.83	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	IDH065G65	SPP17N80C3	0	55201
588652	69.00	60.00	7.83 / 98.43	39.90 / 12.53	32.88	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	IDH065G65	IPP60R299CP	0	55201
588550	69.00	60.00	7.83 / 98.43	40.45 / 12.36	27.41	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	CDS06060	SPP17N80C3	0	55201
588634	69.00	60.00	7.85 / 98.43	39.90 / 12.53	29.46	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	CDS06060	IPP60R299CP	0	55201
588641	69.00	60.00	7.86 / 98.43	42.08 / 11.88	33.50	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	IDH065G65	SPP17N80C3	0	258204
588580	69.00	60.00	7.88 / 98.42	40.45 / 12.36	29.58	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	IDH065G65	IPP60R299CP	0	55201
588623	69.00	60.00	7.88 / 98.42	42.08 / 11.88	30.28	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	CDS06060	SPP17N80C3	0	258204
588569	69.00	60.00	7.89 / 98.42	42.63 / 11.73	30.40	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	IDH065G65	SPP17N80C3	0	258204
588562	69.00	60.00	7.90 / 98.42	40.45 / 12.36	26.36	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	CDS06060	IPP60R299CP	0	55201
588551	69.00	60.00	7.91 / 98.42	42.63 / 11.73	27.18	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	CDS06060	SPP17N80C3	0	258204
588653	69.00	60.00	7.92 / 98.42	42.08 / 11.88	32.45	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	IDH065G65	IPP60R299CP	0	258204
588635	69.00	60.00	7.94 / 98.41	42.08 / 11.88	29.23	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	CDS06060	IPP60R299CP	0	258204
588581	69.00	60.00	7.96 / 98.41	42.63 / 11.73	29.36	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	IDH065G65	IPP60R299CP	0	258204
588563	69.00	60.00	7.98 / 98.40	42.63 / 11.73	26.14	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	CDS06060	IPP60R299CP	0	258204
588639	69.00	60.00	8.06 / 98.39	44.80 / 11.16	30.28	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	IDH065G65	SPP17N80C3	0	277314
588621	69.00	60.00	8.08 / 98.38	44.80 / 11.16	27.06	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	CDS06060	SPP17N80C3	0	277314
588567	69.00	60.00	8.12 / 98.38	45.35 / 11.03	27.19	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	IDH065G65	SPP17N80C3	0	277314
588651	69.00	60.00	8.12 / 98.38	44.80 / 11.16	29.24	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	IDH065G65	IPP60R299CP	0	277314
588549	69.00	60.00	8.14 / 98.37	45.35 / 11.03	23.97	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	CDS06060	SPP17N80C3	0	277314
588633	69.00	60.00	8.15 / 98.37	44.80 / 11.16	26.02	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	CDS06060	IPP60R299CP	0	277314
588579	69.00	60.00	8.19 / 98.36	45.35 / 11.03	26.14	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	IDH065G65	IPP60R299CP	0	277314
588655	69.00	60.00	8.20 / 98.36	39.90 / 12.53	31.50	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	IDH065G65	IPP60R385CP	0	55201
588561	69.00	60.00	8.21 / 98.36	45.35 / 11.03	22.92	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	CDS06060	IPP60R299CP	0	277314
588637	69.00	60.00	8.22 / 98.36	39.90 / 12.53	28.28	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	CDS06060	IPP60R385CP	0	55201
588583	69.00	60.00	8.26 / 98.35	40.45 / 12.36	28.40	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	IDH065G65	IPP60R385CP	0	55201
588565	69.00	60.00	8.28 / 98.34	40.45 / 12.36	25.18	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	CDS06060	IPP60R385CP	0	55201
588656	69.00	60.00	8.30 / 98.34	42.08 / 11.88	31.27	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	IDH065G65	IPP60R385CP	0	258204
588638	69.00	60.00	8.32 / 98.34	42.08 / 11.88	28.05	3.06e-04	3.94e-04	1.04e-04	255310	CDS06060	IPP60R385CP	0	258204
588584	69.00	60.00	8.34 / 98.33	42.63 / 11.73	28.18	3.06e-04	3.60e-04	1.04e-04	77586	IDH065G65	IPP60R385CP	0	258204

Relatório de Projetos de Conversores - BOOST PFC

Potência de Entrada=100.0 W

Temperatura Ambiente=25.0 °C

Frequência Inicial=7.0 KHz

Tensão de Entrada=220.0 V

Temperatura de Junção=125.0 °C

Frequência Final=70.0 KHz

Tensão de Saída=400.0 V

Densidade de Corrente =420.0 A/cm²

Ripple de Corrente Inicial=10.0 %

Frequência da Rede (Hz)=60.0 Hz

Topologia do Filtro= 2PI

Ripple de Corrente Final=70.0 %

Variáveis	Projeto com Perdas e Volume Ponderados	Projeto com Menor Volume	Projeto com Menores Perdas
Frequência de Comutação (kHz)	68.00	68.00	7.00
Ripple de Corrente do Indutor (%)	20.00	20.00	30.00
Indutância (mH)	4.66	4.66	30.17
Indutância Efetiva (mH)	6.41	6.41	38.46
Capacitância (uF)	20.83	20.83	20.83
Volume Total (cm³)-Densidade Volumétrica	36.48 - 2,74	36.48 - 2,74	73.80 - 1,36
Perdas Totais (W)-Rendimento (%)	3.52 - 96,48	3.52 - 96,48	3.40 - 96,60
Custo (US\$)	26.66	26.66	54.09
Indutor			
PartNumber	55310	55310	77083
Número de Espiras	324	324	774
Perdas no Cobre (W)	3.13e+00	3.13e+00	3.07e+00
Perdas no Núcleo (W)	3.68e-02	3.68e-02	2.22e-02
AWG	22	22	13
Número de Fios em Paralelos	1	1	1
Temperatura (°C)	7.13e+01	7.13e+01	4.15e+01
Comprimento do Fio (cm)	1.32e+03	1.32e+03	5.81e+03
Perdas no Indutor (W)	3.16e+00	3.16e+00	3.09e+00
Volume do Indutor (cm³)	1.80e+00	1.80e+00	1.06e+01
Custo do Indutor (US\$)	2.30	2.30	9.41
Diodo			
Part Number do Diodo	IDH065G65C5	IDH065G65C5	IDH065G65C5
Perdas de Condução no Diodo (W)	2.09e-01	2.09e-01	2.14e-01
Perdas de Comutação no Diodo (W)	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00
Perdas no Diodo (W)	2.09e-01	2.09e-01	2.14e-01
Custo do Diodo (US\$)	6.71	6.71	6.71
Comprimento do Dissipador do Diodo (cm)	0	0	1.00e+00
Volume do Dissipador do Diodo (cm³)	0	0	1.82e+01
Custo do Dissipador do Diodo (US\$)	0.00	0.00	0.41
Chave			
PartNumber da Chave	IPP60R290CP	IPP60R290CP	SPP17N80C3
Perdas de Condução na Chave (W)	4.49e-02	4.49e-02	4.15e-02
Perdas de Comutação na Chave (W)	5.20e-02	5.20e-02	8.68e-03
Perdas na Chave (W)	9.69e-02	9.69e-02	5.02e-02
Custo da Chave	2.54	2.54	3.58
Comprimento do Dissipador da Chave (cm)	0	0	0.00e+00
Volume do Dissipador da Chave (cm³)	0	0	0.00e+00
Custo do Dissipador da Chave (US\$)	0	0	0
Dissipador de Calor			
Perfil do Dissipador de Calor	-	-	7624
Filtro de EMI			
PartNumber do Nucleo do Indutor do Filtro	55047	55047	55543
Número de Espiras do Indutor do Filtro	18	18	13
Volume do Filtro (cm³)	6.80e-01	6.80e-01	1.10e+01
Perdas no Filtro (W)	1.36e-02	1.36e-02	3.62e-03
Custo do Filtro (US\$)	9.12	9.12	27.98
Capacitor			
Perdas no Capacitor (W)	4.00e-02	4.00e-02	4.13e-02
Volume do Capacitor (cm³)	3.40e+01	3.40e+01	3.40e+01
Custo do Capacitor (US\$)	6.00	6.00	6.00

Relatório de Projetos de Conversores - BOOST PFC

Potência de Entrada=100.0 W Tensão de Saída=400.0 V Temperatura Ambiente=25.0 °C Frequência Inicial=60.0 kHz Ripple de Corrente Inicial=20.0 % Frequência da Rede (Hz)=60.0 Hz
 Densidade de Corrente =420.0 A/cm² Tensão de Entrada=220.0 V Temperatura de Junção=125.0 °C Frequência Final=60.0 kHz Ripple de Corrente Final=20.0 % Topologia do Filtro= 2PI

ID	Frequência de Comutação (kHz)	Ripple de Corrente do Indutor	Perdas Totais (W) / Rendimento (%)	Volume Total (cm³) / Densidade Volumétrica de Potência	Custo (US\$)	Indutância (H)	Indutância Efetiva (H)	Capacitância (F)	PartNumber do Núcleo do Indutor	Part Number do Diodo	PartNumber da Chave	Perfil do Dissipador	PartNumber do Nucleo do Indutor do Filtro de EMI
712263	60.00	20.00	3.57 / 96.43	38.97 / 2.57	29.53	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R299CP	0	258118
712260	60.00	20.00	3.57 / 96.43	54.57 / 1.83	29.84	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R299CP	6524	258118
712257	60.00	20.00	3.57 / 96.43	57.21 / 1.75	29.94	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R299CP	7624	258118
712262	60.00	20.00	3.57 / 96.43	38.96 / 2.57	29.21	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R299CP	0	255117
712259	60.00	20.00	3.57 / 96.43	54.56 / 1.83	29.52	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R299CP	6524	255117
712256	60.00	20.00	3.57 / 96.43	57.20 / 1.75	29.62	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R299CP	7624	255117
712209	60.00	20.00	3.57 / 96.43	38.97 / 2.57	26.31	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R299CP	0	258118
712206	60.00	20.00	3.57 / 96.43	54.57 / 1.83	26.62	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R299CP	6524	258118
712203	60.00	20.00	3.57 / 96.43	57.21 / 1.75	26.72	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R299CP	7624	258118
712208	60.00	20.00	3.57 / 96.43	38.96 / 2.57	25.99	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R299CP	0	255117
712205	60.00	20.00	3.57 / 96.43	54.56 / 1.83	26.30	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R299CP	6524	255117
712202	60.00	20.00	3.57 / 96.43	57.20 / 1.75	26.40	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R299CP	7624	255117
712261	60.00	20.00	3.58 / 96.42	40.28 / 2.48	26.90	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R299CP	0	277210
712258	60.00	20.00	3.58 / 96.42	55.88 / 1.79	27.21	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R299CP	6524	277210
712255	60.00	20.00	3.58 / 96.42	58.52 / 1.71	27.31	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R299CP	7624	277210
712272	60.00	20.00	3.58 / 96.42	38.97 / 2.57	28.34	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R385CP	0	258118
712269	60.00	20.00	3.58 / 96.42	54.57 / 1.83	28.66	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R385CP	6524	258118
712266	60.00	20.00	3.58 / 96.42	57.21 / 1.75	28.75	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R385CP	7624	258118
712271	60.00	20.00	3.58 / 96.42	38.96 / 2.57	28.02	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R385CP	0	255117
712268	60.00	20.00	3.58 / 96.42	54.56 / 1.83	28.34	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R385CP	6524	255117
712265	60.00	20.00	3.58 / 96.42	57.20 / 1.75	28.43	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	IPP60R385CP	7624	255117
712207	60.00	20.00	3.58 / 96.42	40.28 / 2.48	23.68	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R299CP	0	277210
712204	60.00	20.00	3.58 / 96.42	55.88 / 1.79	23.99	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R299CP	6524	277210
712201	60.00	20.00	3.58 / 96.42	58.52 / 1.71	24.09	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R299CP	7624	277210
712218	60.00	20.00	3.58 / 96.42	38.97 / 2.57	25.12	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R385CP	0	258118
712215	60.00	20.00	3.58 / 96.42	54.57 / 1.83	25.44	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R385CP	6524	258118
712212	60.00	20.00	3.58 / 96.42	57.21 / 1.75	25.53	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R385CP	7624	258118
712227	60.00	20.00	3.58 / 96.42	38.97 / 2.57	30.57	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	SPP17N80C3	0	258118
712224	60.00	20.00	3.58 / 96.42	54.57 / 1.83	30.89	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	SPP17N80C3	6524	258118
712221	60.00	20.00	3.58 / 96.42	57.21 / 1.75	30.98	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	IDH065G65	SPP17N80C3	7624	258118
712217	60.00	20.00	3.59 / 96.41	38.96 / 2.57	24.80	5.28e-03	7.56e-03	2.08e-05	55310	CDS06060	IPP60R385CP	0	255117

Relatório de Projetos de Conversores - imprimeRelatorio CC-CC

Potência de Entrada=3000.0 W

Temperatura Ambiente=25.0 °C

Frequência Inicial=5.0 KHz

Tensão de Entrada=50.0 V

Temperatura de Junção=150.0 °C

Frequência Final=100.0 KHz

Tensão de Saída=100.0 V

Densidade de Corrente =420.0 A/cm²

Ripple de Corrente Inicial=10.0 %

Frequência da Rede (Hz)=0.0 Hz

Topologia do Filtro= 0

Ripple de Corrente Final=80.0 %

Variáveis	Projeto com Perdas e Volume Ponderados	Projeto com Menor Volume	Projeto com Menores Perdas
Frequência de Comutação (kHz)	19.00	14.00	23.00
Ripple de Corrente do Indutor (%)	80.00	70.00	65.00
Indutância (mH)	0.05	0.09	0.06
Indutância Efetiva (mH)	0.07	0.17	0.07
Capacitância (uF)	10000.00	10000.00	10000.00
Volume Total (cm³)-Densidade Volumétrica	916.72 - 3,27	856.39 - 3,50	1963.77 - 1,53
Perdas Totais (W)-Rendimento (%)	83.16 - 97,23	99.25 - 96,69	82.18 - 97,26
Custo (US\$)	204.29	103.82	219.71
Indutor			
PartNumber	55735	258867	55735
Número de Espiras	34	52	33
Perdas no Cobre (W)	2.21e+01	2.92e+01	2.12e+01
Perdas no Núcleo (W)	3.19e+00	1.38e+01	2.61e+00
AWG	17	16	18
Número de Fios em Paralelos	14	11	18
Temperatura (°C)	5.14e+01	7.98e+01	5.01e+01
Comprimento do Fio (cm)	5.17e+02	7.00e+02	5.02e+02
Perdas no Indutor (W)	2.53e+01	4.30e+01	2.39e+01
Volume do Indutor (cm³)	9.14e+01	6.90e+01	9.14e+01
Custo do Indutor (US\$)	158.66	59.43	158.62
Diodo			
Part Number do Diodo	RURG5060	RURG5060	RURG5060
Perdas de Condução no Diodo (W)	2.76e+01	2.76e+01	2.76e+01
Perdas de Comutação no Diodo (W)	1.47e+00	1.08e+00	1.78e+00
Perdas no Diodo (W)	2.91e+01	2.87e+01	2.94e+01
Custo do Diodo (US\$)	3.49	3.49	3.49
Comprimento do Dissipador do Diodo (cm)	2.39e+01	2.29e+01	9.56e+01
Volume do Dissipador do Diodo (cm³)	7.50e+02	7.17e+02	1.74e+03
Custo do Dissipador do Diodo (US\$)	24.51	23.43	39.20
Chave			
PartNumber da Chave	FCH043N60	FCH043N60	FCH043N60
Perdas de Condução na Chave (W)	2.56e+01	2.51e+01	2.49e+01
Perdas de Comutação na Chave (W)	3.18e+00	2.41e+00	4.00e+00
Perdas na Chave (W)	2.87e+01	2.75e+01	2.89e+01
Custo da Chave	10.28	10.28	10.28
Comprimento do Dissipador da Chave (cm)	1.32e+00	1.17e+00	5.17e+00
Volume do Dissipador da Chave (cm³)	4.15e+01	3.67e+01	9.44e+01
Custo do Dissipador da Chave (US\$)	1.35	1.20	2.12
Dissipador de Calor			
Perfil do Dissipador de Calor	12132	12132	7624
Capacitor			
Perdas no Capacitor (W)	9.50e-03	7.61e-03	1.18e-02
Volume do Capacitor (cm³)	3.40e+01	3.40e+01	3.40e+01
Custo do Capacitor (US\$)	6.00	6.00	6.00

Relatório de Projetos de Conversores - BOOST CC-CC

Potência de Entrada=3000.0 W Tensão de Saída=100.0 V Temperatura Ambiente=25.0 °C Frequência Inicial=14.0 kHz Ripple de Corrente Inicial=70.0 %
 Densidade de Corrente =420.0 A/cm² Tensão de Entrada=50.0 V Temperatura de Junção=150.0 °C Frequência Final=14.0 kHz Ripple de Corrente Final=70.0 %

ID	Frequência de Comutação (kHz)	Ripple de Corrente do Indutor	Perdas Totais (W) / Rendimento (%)	Volume Total (cm³) / Densidade Volumétrica de Potência	Custo (US\$)	Indutância (H)	Indutância Efetiva (H)	Capacitância (F)	PartNumber do Núcleo do Indutor	Part Number do Diodo	PartNumber da Chave	Perfil do Dissipador
55557	14.00	70.00	90.39 / 96.99	961.19 / 3.12	344.67	8.50e-05	1.00e-04	1.00e-02	255102	RURG5080	FCH043N60	12132
55558	14.00	70.00	90.39 / 96.99	1759.10 / 1.71	351.37	8.50e-05	1.00e-04	1.00e-02	255102	RURG5080	FCH043N60	6524
55555	14.00	70.00	90.39 / 96.99	1898.38 / 1.58	358.04	8.50e-05	1.00e-04	1.00e-02	255102	RURG5080	FCH043N60	7624
55551	14.00	70.00	91.32 / 96.96	967.00 / 3.10	366.44	8.50e-05	1.00e-04	1.00e-02	255102	RURG5080	IXKK 85N60C	12132
55550	14.00	70.00	91.32 / 96.96	1771.20 / 1.69	373.19	8.50e-05	1.00e-04	1.00e-02	255102	RURG5080	IXKK 85N60C	6524
55549	14.00	70.00	91.32 / 96.96	1911.55 / 1.57	379.92	8.50e-05	1.00e-04	1.00e-02	255102	RURG5080	IXKK 85N60C	7624
55554	14.00	70.00	92.11 / 96.93	961.51 / 3.12	350.98	8.50e-05	1.00e-04	1.00e-02	255102	RURG5080	XFB110N60P3	12132
55553	14.00	70.00	92.11 / 96.93	1759.75 / 1.70	357.66	8.50e-05	1.00e-04	1.00e-02	255102	RURG5080	XFB110N60P3	6524
55552	14.00	70.00	92.11 / 96.93	1899.09 / 1.58	364.34	8.50e-05	1.00e-04	1.00e-02	255102	RURG5080	XFB110N60P3	7624
55548	14.00	70.00	95.64 / 96.81	970.19 / 3.09	95.80	8.50e-05	1.11e-04	1.00e-02	277735	RURG5080	FCH043N60	12132
55547	14.00	70.00	95.64 / 96.81	1768.10 / 1.70	102.50	8.50e-05	1.11e-04	1.00e-02	277735	RURG5080	FCH043N60	6524
55546	14.00	70.00	95.64 / 96.81	1907.38 / 1.57	109.17	8.50e-05	1.11e-04	1.00e-02	277735	RURG5080	FCH043N60	7624
55542	14.00	70.00	96.57 / 96.78	976.00 / 3.07	117.57	8.50e-05	1.11e-04	1.00e-02	277735	RURG5080	IXKK 85N60C	12132
55541	14.00	70.00	96.57 / 96.78	1780.20 / 1.69	124.32	8.50e-05	1.11e-04	1.00e-02	277735	RURG5080	IXKK 85N60C	6524
55540	14.00	70.00	96.57 / 96.78	1920.55 / 1.56	131.05	8.50e-05	1.11e-04	1.00e-02	277735	RURG5080	IXKK 85N60C	7624
55545	14.00	70.00	97.36 / 96.75	970.51 / 3.09	102.09	8.50e-05	1.11e-04	1.00e-02	277735	RURG5080	XFB110N60P3	12132
55544	14.00	70.00	97.36 / 96.75	1768.75 / 1.70	108.79	8.50e-05	1.11e-04	1.00e-02	277735	RURG5080	XFB110N60P3	6524
55543	14.00	70.00	97.36 / 96.75	1908.09 / 1.57	115.47	8.50e-05	1.11e-04	1.00e-02	277735	RURG5080	XFB110N60P3	7624
55566	14.00	70.00	99.25 / 96.69	856.39 / 3.50	103.82	8.50e-05	1.70e-04	1.00e-02	258867	RURG5080	FCH043N60	12132
55565	14.00	70.00	99.25 / 96.69	1654.30 / 1.81	110.52	8.50e-05	1.70e-04	1.00e-02	258867	RURG5080	FCH043N60	6524
55564	14.00	70.00	99.25 / 96.69	1793.58 / 1.67	117.20	8.50e-05	1.70e-04	1.00e-02	258867	RURG5080	FCH043N60	7624
55560	14.00	70.00	100.18 / 96.66	862.20 / 3.48	125.59	8.50e-05	1.70e-04	1.00e-02	258867	RURG5080	IXKK 85N60C	12132
55559	14.00	70.00	100.18 / 96.66	1666.40 / 1.80	132.35	8.50e-05	1.70e-04	1.00e-02	258867	RURG5080	IXKK 85N60C	6524
55558	14.00	70.00	100.18 / 96.66	1806.75 / 1.66	139.08	8.50e-05	1.70e-04	1.00e-02	258867	RURG5080	IXKK 85N60C	7624
55563	14.00	70.00	100.96 / 96.63	856.71 / 3.50	110.12	8.50e-05	1.70e-04	1.00e-02	258867	RURG5080	XFB110N60P3	12132
55562	14.00	70.00	100.96 / 96.63	1654.95 / 1.81	116.82	8.50e-05	1.70e-04	1.00e-02	258867	RURG5080	XFB110N60P3	6524
55561	14.00	70.00	100.96 / 96.63	1794.29 / 1.67	123.50	8.50e-05	1.70e-04	1.00e-02	258867	RURG5080	XFB110N60P3	7624

Relatório de Projetos de Conversores - BUCK

Potência de Entrada=180.0 W

Temperatura Ambiente=25.0 °C

Frequência Inicial=2.0 KHz

Tensão de Saída=40.0 V

Temperatura de Junção=125.0 °C

Frequência Final=50.0 KHz

Tensão de Entrada=24.0 V

Densidade de Corrente =400.0 A/cm²

Ripple de Corrente Inicial=10.0 %

Frequência da Rede (Hz)=0.0 Hz

Topologia do Filtro= 0

Ripple de Corrente Final=50.0 %

Variáveis	Projeto com Perdas e Volume Ponderados	Projeto com Menor Volume	Projeto com Menores Perdas
Frequência de Comutação (kHz)	3.00	49.00	2.00
Ripple de Corrente do Indutor (%)	60.00	60.00	50.00
Indutância (mH)	0.71	0.04	1.28
Indutância Efetiva (mH)	1.28	0.07	1.63
Capacitância (uF)	10416.67	10416.67	10416.67
Volume Total (cm³)-Densidade Volumétrica	55.30 - 3,25	36.28 - 4,96	85.80 - 2,10
Perdas Totais (W)-Rendimento (%)	7.11 - 96,05	12.79 - 92,89	6.95 - 96,14
Custo (US\$)	38.57	23.44	111.16
Indutor			
PartNumber	58438	58349	55617
Número de Espiras	90	30	124
Perdas no Cobre (W)	1.03e+00	5.45e-01	1.20e+00
Perdas no Núcleo (W)	3.10e-01	3.49e+00	1.48e-01
AWG	9	21	7
Número de Fios em Paralelos	1	5	1
Temperatura (°C)	2.99e+01	7.29e+01	2.80e+01
Comprimento do Fio (cm)	8.15e+02	1.33e+02	1.51e+03
Perdas no Indutor (W)	1.34e+00	4.03e+00	1.35e+00
Volume do Indutor (cm³)	2.13e+01	2.28e+00	5.18e+01
Custo do Indutor (US\$)	18.04	2.92	90.64
Diodo			
Part Number do Diodo	15ETH06	15ETH06	15ETH06
Perdas de Condução no Diodo (W)	2.56e+00	2.56e+00	2.56e+00
Perdas de Comutação no Diodo (W)	1.51e-02	2.47e-01	1.01e-02
Perdas no Diodo (W)	2.57e+00	2.80e+00	2.57e+00
Custo do Diodo (US\$)	1.36	1.36	1.36
Comprimento do Dissipador do Diodo (cm)	0	0	0
Volume do Dissipador do Diodo (cm³)	0	0	0
Custo do Dissipador do Diodo (US\$)	0	0	0
Chave			
PartNumber da Chave	IPP65R045C7	IPP65R045C7	IPP65R045C7
Perdas de Condução na Chave (W)	3.01e+00	3.01e+00	2.91e+00
Perdas de Comutação na Chave (W)	1.80e-01	2.94e+00	1.20e-01
Perdas na Chave (W)	3.19e+00	5.95e+00	3.03e+00
Custo da Chave	13.17	13.17	13.17
Comprimento do Dissipador da Chave (cm)	0	0	0
Volume do Dissipador da Chave (cm³)	0	0	0
Custo do Dissipador da Chave (US\$)	0	0	0
Dissipador de Calor			
Perfil do Dissipador de Calor	-	-	-
Capacitor			
Perdas no Capacitor (W)	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00
Volume do Capacitor (cm³)	3.40e+01	3.40e+01	3.40e+01
Custo do Capacitor (US\$)	6.00	6.00	6.00

Relatório de Projetos de Conversores - BUCK

Potência de Entrada=180.0 W Tensão de Saída=24.0 V Temperatura Ambiente=25.0 °C Frequência Inicial=49.0 kHz Ripple de Corrente Inicial=60.0 %
 Densidade de Corrente =400.0 A/cm² Tensão de Entrada=40.0 V Temperatura de Junção=125.0 °C Frequência Final=49.0 kHz Ripple de Corrente Final=60.0 %

ID	Frequência de Comutação (kHz)	Ripple de Corrente do Indutor	Perdas Totais (W) / Rendimento (%)	Volume Total (cm³) / Densidade Volumétrica de Potência	Custo (US\$)	Indutância (H)	Indutância Efetiva (H)	Capacitância (F)	PartNumber do Núcleo do Indutor	Part Number do Diodo	PartNumber da Chave	Perfil do Dissipador
107880	49.00	60.00	9.87 / 94.51	37.80 / 4.79	24.88	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	15ETH06	IPP65R045C7	0
107830	49.00	60.00	10.12 / 94.38	38.15 / 4.72	21.79	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	15ETH06	IPP65R045C7	0
107880	49.00	60.00	11.15 / 93.80	37.80 / 4.79	30.23	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	IDH065G65	IPP65R045C7	0
107870	49.00	60.00	11.26 / 93.74	37.80 / 4.79	27.01	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	CDS06060	IPP65R045C7	0
107850	49.00	60.00	11.40 / 93.67	38.15 / 4.72	27.14	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	IDH065G65	IPP65R045C7	0
107840	49.00	60.00	11.51 / 93.60	38.15 / 4.72	23.92	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	CDS06060	IPP65R045C7	0
107890	49.00	60.00	12.79 / 92.89	36.28 / 4.96	23.44	4.35e-05	6.78e-05	1.04e-02	58349	15ETH06	IPP65R045C7	0
107910	49.00	60.00	14.07 / 92.18	36.28 / 4.96	28.80	4.35e-05	6.78e-05	1.04e-02	58349	IDH065G65	IPP65R045C7	0
107900	49.00	60.00	14.18 / 92.12	36.28 / 4.96	25.58	4.35e-05	6.78e-05	1.04e-02	58349	CDS06060	IPP65R045C7	0
107866	49.00	60.00	16.93 / 90.59	68.96 / 2.61	15.16	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	15ETH06	IPP60R190P6	12132
107865	49.00	60.00	16.93 / 90.59	71.44 / 2.52	14.82	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	15ETH06	IPP60R190P6	6524
107864	49.00	60.00	16.93 / 90.59	74.49 / 2.42	14.96	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	15ETH06	IPP60R190P6	7624
107836	49.00	60.00	17.18 / 90.46	69.51 / 2.59	12.07	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	15ETH06	IPP60R190P6	12132
107835	49.00	60.00	17.18 / 90.46	71.99 / 2.50	11.73	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	15ETH06	IPP60R190P6	6524
107834	49.00	60.00	17.18 / 90.46	75.04 / 2.40	11.88	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	15ETH06	IPP60R190P6	7624
107886	49.00	60.00	18.21 / 89.88	68.96 / 2.61	20.51	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	IDH065G65	IPP60R190P6	12132
107885	49.00	60.00	18.21 / 89.88	71.44 / 2.52	20.17	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	IDH065G65	IPP60R190P6	6524
107884	49.00	60.00	18.21 / 89.88	74.49 / 2.42	20.31	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	IDH065G65	IPP60R190P6	7624
107876	49.00	60.00	18.32 / 89.82	68.96 / 2.61	17.29	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	CDS06060	IPP60R190P6	12132
107875	49.00	60.00	18.32 / 89.82	71.44 / 2.52	16.95	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	CDS06060	IPP60R190P6	6524
107874	49.00	60.00	18.32 / 89.82	74.49 / 2.42	17.09	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	CDS06060	IPP60R190P6	7624
107856	49.00	60.00	18.46 / 89.74	69.51 / 2.59	17.42	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	IDH065G65	IPP60R190P6	12132
107855	49.00	60.00	18.46 / 89.74	71.99 / 2.50	17.08	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	IDH065G65	IPP60R190P6	6524
107854	49.00	60.00	18.46 / 89.74	75.04 / 2.40	17.23	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	IDH065G65	IPP60R190P6	7624
107846	49.00	60.00	18.57 / 89.68	69.51 / 2.59	14.20	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	CDS06060	IPP60R190P6	12132
107845	49.00	60.00	18.57 / 89.68	71.99 / 2.50	13.86	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	CDS06060	IPP60R190P6	6524
107844	49.00	60.00	18.57 / 89.68	75.04 / 2.40	14.01	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	CDS06060	IPP60R190P6	7624
107863	49.00	60.00	18.77 / 89.57	68.96 / 2.61	15.38	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	15ETH06	IPP50R199CP	12132
107862	49.00	60.00	18.77 / 89.57	90.39 / 1.99	15.42	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	15ETH06	IPP50R199CP	6524
107861	49.00	60.00	18.77 / 89.57	95.13 / 1.89	15.65	4.35e-05	6.05e-05	1.04e-02	255310	15ETH06	IPP50R199CP	7624
107833	49.00	60.00	19.02 / 89.43	69.51 / 2.59	12.29	4.35e-05	5.40e-05	1.04e-02	77586	15ETH06	IPP50R199CP	12132

ANEXO A – METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DE PROJETO DE CONVERSOR COM BASE NO PONTO DE OPERAÇÃO

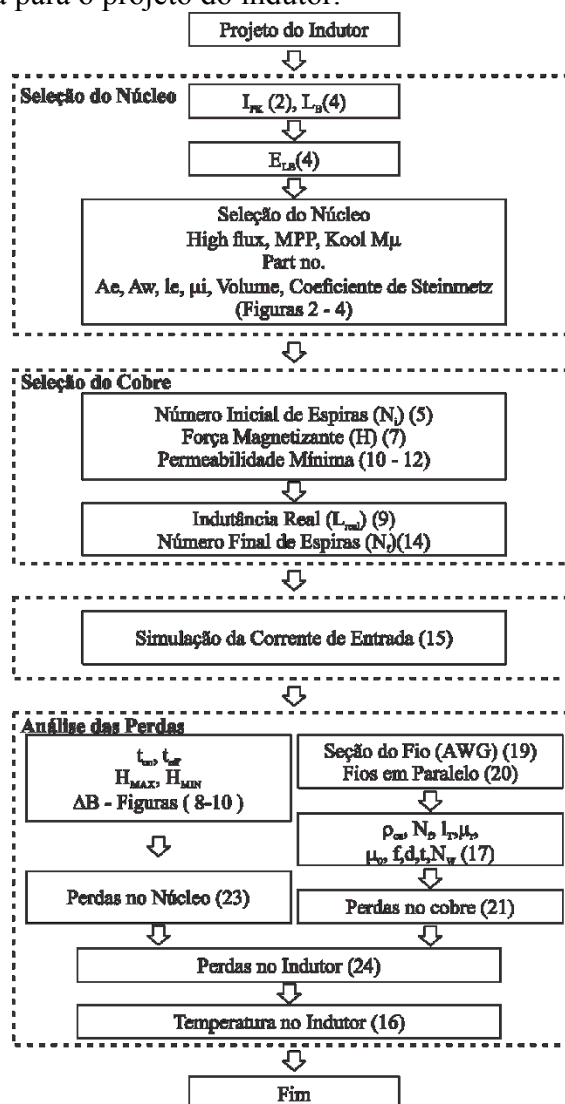
Este Anexo é parte do trabalho intitulado Projeto de Conversores Estáticos Fazendo uso de uma Metodologia de Minimização de Volume/Perdas/Custo (SARTORI, 2013), desenvolvido Hamilton Confortin Sartori em sua tese de doutorado apresentada ao curso de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Eletrônica de Potência e Processamento de Energia, da Universidade Federal de Santa Maria.

1 - Projeto do Indutor

O projeto do indutor, pela metodologia desenvolvida em Sartoti (2013), é realizado conforme os passos da Figura 1:

- Seleção do núcleo do indutor;
- Seleção do cobre;
- Simulação da corrente de entrada;
- Análise das perdas.

Figura 1: Fluxograma para o projeto do indutor.



1.1 Seleção do Núcleo

Dentre as diferentes tecnologias de materiais magnéticos do tipo *powder*, a MAGNETICS, fabricante dos materiais utilizados nos projetos dos indutores do estudo de caso neste trabalho, divide seus núcleos em três classes, que utilizam ligas diferentes e são destinados a diversas aplicações [43] e [44]. São elas:

Molypermalloy (MPP): Este núcleo toroidal é constituído de 81% níquel, 17% aço e 2% molibdênio, apresentando os mais altos níveis de permeabilidade do que qualquer outro material do tipo *powder*. Apresenta densidade de fluxo máxima de 0.75T, e apresenta baixas perdas. Suas aplicações são geralmente para comparativas altas frequências e altas densidades de fluxo. Pela grande quantidade de níquel em sua composição este material apresenta um custo relativamente alto.

High Flux: De geometria toroidal, é composto por 50% níquel e 50% aço. Apresenta densidade de fluxo máxima mais alta do que qualquer outro núcleo do tipo *powder*, chegando até a 1.5T, e tem relativamente altas perdas. Suas aplicações são para comparativas baixas frequências e altas densidades de fluxo. É um material de médio custo.

KoolM μ : Também de geometria toroidal, é composto por 85% ferro, 9% silício e 6% alumínio [44]. Apresenta densidade de fluxo máxima de até 1T e baixas perdas. Por não possuir níquel tem baixo custo. Suas principais aplicações são para comparativas médias frequências e alta densidade de fluxo [45].

A seleção dos núcleos magnéticos é realizada através da energia magnética armazenada pelo indutor. Para a escolha do núcleo magnético em função da energia armazenada, equação (3), apenas dois parâmetros precisam ser conhecidos: a indutância do indutor Boost, que é função do ponto de operação, equação (4) e o valor da corrente de pico (2), que também função do ponto de operação. Este método para seleção dos núcleos é garantido pela fabricante MAGNETICS (MAGNETICS, 2015), que disponibiliza gráficos em seus catálogos, mostrados na Figura 2, Figura 3 e Figura, indicando o núcleo adequado a ser utilizado para cada diferente tecnologia de material magnético, em função da energia armazenada. A medida que a energia aumenta, o volume do núcleo magnético também aumenta. Com a determinação da energia, encontra-se o núcleo na curva central dos ábacos e o *part number* (identificação do material presente nos catálogos da fabricante) que está identificado nos eixos das ordenadas.

$$I_{1_MAX} = \frac{P_{in}}{V_{in}} \cdot \sqrt{2} \quad (1)$$

$$I_{PK} = I_{1_MAX} + \frac{\Delta i}{2} \quad (2)$$

$$E_{LB} = \frac{1}{2} L_B \cdot I_{pico}^2 \quad (3)$$

$$L_B = \frac{V_{in} \cdot D}{\Delta i \cdot f_s} \quad (4)$$

Figura 2: Curva para seleção de núcleos para o material MPP, Magnetics (2015).

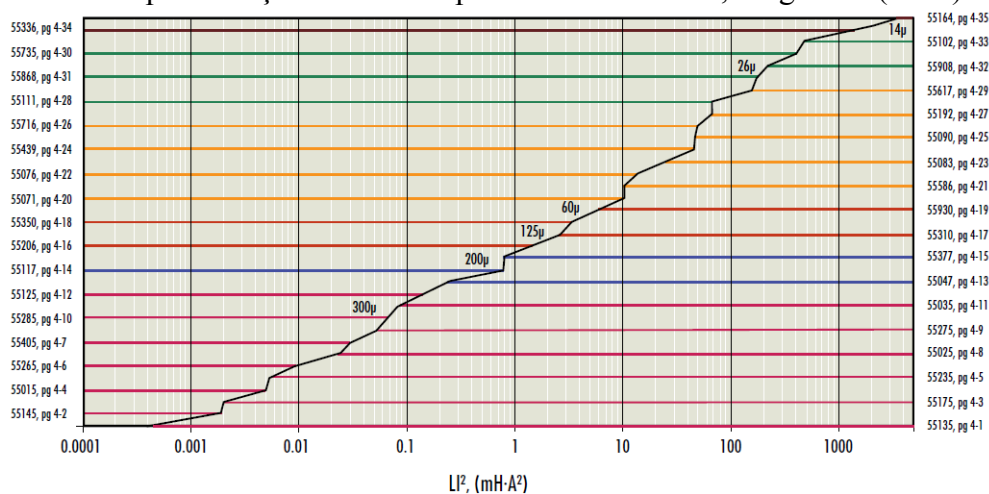


Figura 3: Curva para seleção de núcleos para o material High Flux, Magnetics (2015).

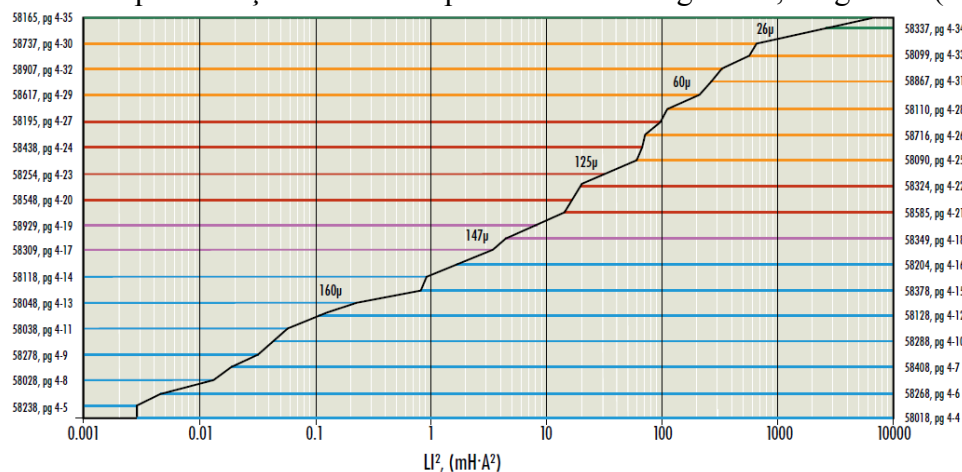
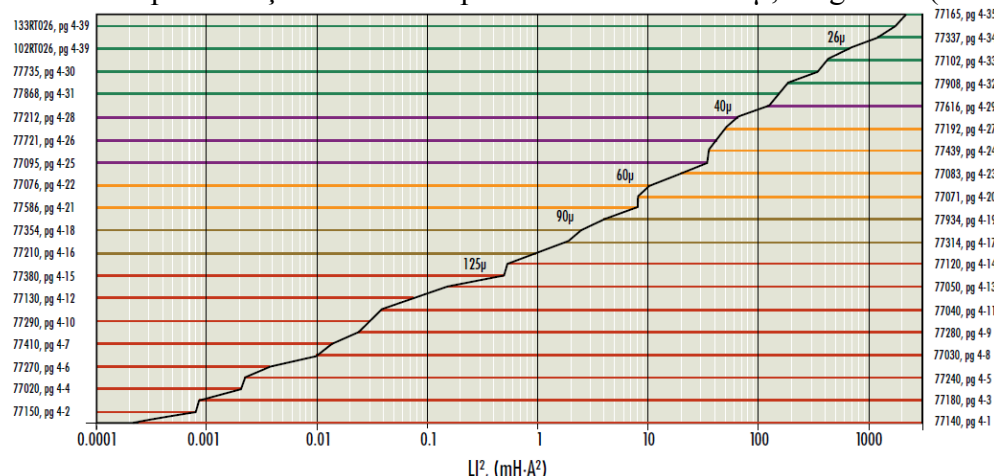


Figura 4: Curva para seleção de núcleos para o material KoolMµ, Magnetics (2015).



Com o auxílio das curvas pode-se rapidamente identificar a permeabilidade magnética e o menor núcleo possível para a determinada aplicação (de acordo com as definições do fabricante), em função da energia.

Com os valores de indutâncias definidos em função da varredura em ($\Delta i @ f_s$) e, determinado o valor da corrente de pico, é possível selecionar o núcleo. A adequada seleção do núcleo é o primeiro passo para o projeto do indutor, pois todas as outras

variáveis como, dimensões físicas, permeabilidade, densidade de fluxo máxima, entre outras, são determinadas a partir dele.

A partir da seleção do núcleo magnético, são encontradas as dimensões para cada diferente ponto de operação. Parâmetros como: Área da janela (A_w), área de seção transversal (A_e), comprimento magnético médio (l_e), permeabilidade inicial (μ_i) e volume, são necessários para os próximos passos do projeto do indutor, como no cálculo do número inicial de espiras, equação (5).

$$N_i = \sqrt{\frac{L_B \cdot l_e \cdot 10^3}{0,4\pi \cdot \mu_i \cdot A_e}} \quad (5)$$

1.2 Seleção do Cobre

A permeabilidade magnética é o grau de magnetização de um material em resposta a uma intensidade de campo magnético produzida por uma corrente elétrica. Ela nos permite quantificar o “valor” magnético de uma substância. Ela é tipicamente representada pela letra grega μ . Em unidades do sistema internacional (SI), a permeabilidade é medida em H/m (Henries por metro) ou N/A² (Newton por Ampere²).

A corrente elétrica passando por uma bobina cria um campo magnético com valor dado pela excitação magnética ou intensidade do campo magnético (H). Esta excitação magnética origina uma indução magnética (B) com um valor dado pela equação (6).

$$B = \mu H \quad (6)$$

A variação da permeabilidade dos núcleos do tipo *powder* ocorre devido à sua característica de saturação suave. Com o aumento da corrente, aumenta também a indução magnética, de acordo com a equação (7), fazendo com que a permeabilidade decresça gradativamente até a saturação. A permeabilidade efetiva do material é dada pela relação apresentada na equação (8).

$$H_{MÁX} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot N_{Inicial} \cdot I_{Pico}}{l_e(m)} \quad (7)$$

$$\mu_{eff} = \frac{dB}{dH} \quad (8)$$

A indução magnética (H) é diretamente proporcional à corrente e, em um semi-ciclo da rede, esta corrente sofre grande variação, sendo que o seu máximo ocorre aos 90 graus de V_{in} . Esta variação da corrente faz com que a indução magnética se comporte de acordo com a equação (7), fazendo com que a permeabilidade também mude. A variação da permeabilidade implica na mudança da indutância, com isso, para cada período de amostragem computacional a indutância varia. Essa variação causará modificações consideráveis na forma de onda da corrente de entrada.

Cada diferente tecnologia de material magnético reage de forma diferente ao efeito da corrente. A fabricante dos núcleos magnéticos disponibiliza em seus catálogos curvas que definem o comportamento da permeabilidade efetiva em função da força magnetizante e da permeabilidade inicial, para os diferentes materiais magnéticos utilizados neste trabalho, conforme mostrados na Figura 5, Figura e Figura 7. As figuras demonstrativas referentes aos projetos dos indutores (volume, variação da

permeabilidade e perdas foram retiradas dos catálogos da fabricante do material magnético, Magnetics (2015).

Figura 5: Permeabilidade em função da força magnetizante para o material MPP, Magnetics (2015).

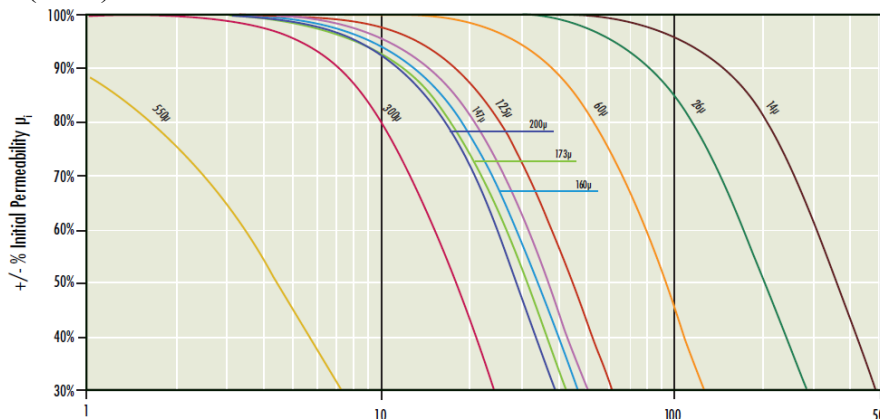


Figura 6: Permeabilidade em função da força magnetizante para o material High Flux, Magnetics (2015).

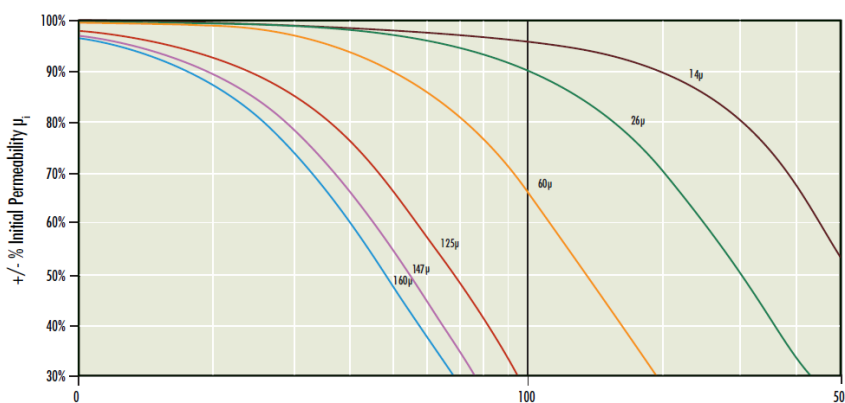
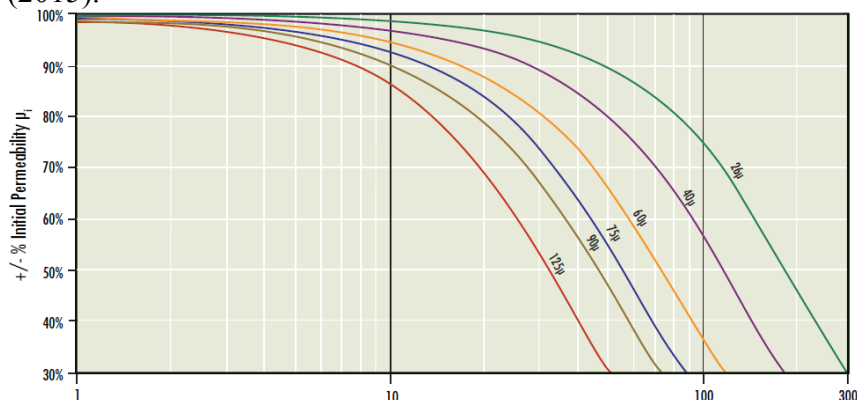


Figura 7: Permeabilidade em função da força magnetizante para o material KoolMμ, Magnetics (2015).



A partir das curvas é possível encontrar a permeabilidade efetiva para cada período de amostragem. De posse destes dados a indutância instantânea real é calculada, de acordo com a equação (9).

$$L_{real} = L_{inicial} \frac{\mu_i}{\mu_{eff}} \quad (9)$$

Onde, L_{real} representa a indutância real, L_{inicial} a indutância inicial, μ_i representa a permeabilidade inicial e μ_{eff} a permeabilidade efetiva.

A adequada análise da variação da permeabilidade é de suma importância, pois a partir dela é obtido o valor da indutância real ao longo do período da rede. Essa indutância variável afeta um aspecto muito importante no projeto dos conversores, que é a amplitude da ondulação da corrente de entrada. É a partir desta corrente que o projeto dos outros parâmetros de maior influência no volume e perdas dos conversores se baseia. Além disso, a amplitude da ondulação de corrente é diretamente proporcional à interferência eletromagnética produzida pelos conversores. Ela influencia na amplitude da harmônica crítica utilizada no projeto do filtro de EMI. A elevada ondulação de corrente também influencia diretamente nas perdas dos semicondutores (corrente RMS), influenciando diretamente no volume dos dissipadores térmicos.

Surge assim um problema, pois se a ondulação da corrente de entrada é proporcional à indutância, e esta é variável, como proceder para realizar a correta escolha do ponto de operação ($\Delta i @ f_s$) uma vez que Δi não é constante?

A solução está em determinar a máxima ondulação da corrente de entrada, pois é para este ponto que se deve garantir a amplitude da ondulação. Assim, é necessário projetar o indutor para indutância maior que a calculada inicialmente. O cálculo da indutância real é realizado através de um acréscimo no número inicial de espiras. Com o valor da corrente de pico é possível determinar a máxima indução magnética (H) para os determinados dados de entrada. Com este $H_{\text{máximo}}$, é possível calcular a máxima variação da permeabilidade para cada uma das três tecnologias de materiais magnéticos, através das equações (10), (11) e (12). Estas equações definem o comportamento das curvas da variação da permeabilidade, em função da máxima força magnetizante e da permeabilidade inicial.

$$\mu_{\text{eff_MPP}} = \sqrt{\frac{\mu_i^2 - 1,505 \cdot 10^{-4} \cdot \mu_i^3 \cdot H_{\text{Máx}} + 6,1 \cdot 10^{-9} \cdot \mu_i^4 \cdot H_{\text{Máx}}^2}{1 - 1,277 \cdot 10^{-4} \cdot \mu_i \cdot H_{\text{Máx}} + 2,74 \cdot 10^{-8} \cdot \mu_i^2 \cdot H_{\text{Máx}}^2}} \quad (10)$$

$$\mu_{\text{eff_HF}} = \sqrt{\frac{\mu_i^2 - 6,3 \cdot 10^{-5} \cdot \mu_i^3 \cdot H_{\text{Máx}} + 1,069 \cdot 10^{-9} \cdot \mu_i^4 \cdot H_{\text{Máx}}^2}{1 - 4,345 \cdot 10^{-6} \cdot \mu_i \cdot H_{\text{Máx}} + 1,922 \cdot 10^{-8} \cdot \mu_i^2 \cdot H_{\text{Máx}}^2}} \quad (11)$$

$$\mu_{\text{eff_KoolM}\mu} = \sqrt{\frac{\mu_i^2 - 5,618 \cdot 10^{-5} \cdot \mu_i^3 \cdot H_{\text{Máx}} + 1,043 \cdot 10^{-10} \cdot \mu_i^4 \cdot H_{\text{Máx}}^2}{1 - 6,742 \cdot 10^{-5} \cdot \mu_i \cdot H_{\text{Máx}} + 6,21 \cdot 10^{-8} \cdot \mu_i^2 \cdot H_{\text{Máx}}^2}} \quad (12)$$

O valor da indutância é diferente em cada período de amostragem, porém, o importante é a amplitude da ondulação da corrente de entrada, ou seja, a magnitude desta amplitude para cada período de comutação. Com o objetivo de diminuir o tempo das simulações, a indutância é calculada para cada período de comutação e não para um simples período de amostragem, reduzindo o número de iterações matemáticas, diminuindo significativamente o tempo das simulações mantendo a mesma precisão nos resultados.

A relação entre a permeabilidade inicial (μ_i) e a mínima permeabilidade efetiva ($\mu_{\text{eff_min}}$) é chamada de valor por unidade da permeabilidade inicial (μ_{pu}), e é representada pela equação (13).

$$\mu_{pu} = \frac{\mu_{eff_min}}{\mu_i} \quad (13)$$

Este valor por unidade da permeabilidade é utilizado para reajustar o número de espiras a fim de garantir a máxima ondulação da corrente de entrada, equação (14), aumentando assim o valor da indutância inicial.

$$N_{final} = \frac{N_{inicial}}{\mu_{pu}} \quad (14)$$

A modelagem da dependência da permeabilidade em relação à corrente é suficiente para estimar o comportamento real da corrente nos indutores com desejável precisão. A partir da corrente real simulada, com ondulação de corrente variável, as perdas magnéticas são determinadas de acordo com a variação de fluxo magnético em cada período de comutação.

1.3 Simulação da Corrente de Entrada

A simulação da corrente de entrada do conversor ocorre inicialmente através da seleção do estado topológico do conversor, ou seja, se o interruptor está em condução ou o diodo. A razão cíclica é ajustada de acordo com a equação (15), que representa a equação discreta do compensador PI. A partir desta etapa a corrente de entrada já pode ser simulada e o cálculo das perdas nos semicondutores, o projeto dos dissipadores além do projeto do filtro de EMI já podem ser realizados.

$$D(k-1) = D(k) + [K_p + \frac{K_I T_a}{2}] \cdot e(k) - [K_p - \frac{K_I T_a}{2}] \cdot e(k-1) \quad (15)$$

1.4 Análise das Perdas

O aumento da temperatura do núcleo do indutor durante a operação do conversor é uma danosa consequência das perdas no indutor. O controle da máxima temperatura de operação do núcleo é indispensável para garantir sua confiabilidade e vida útil. Entretanto, estimar a elevação de temperatura no núcleo com exatidão é uma tarefa com alto grau de complexidade. A elevação de temperatura dependerá, além das perdas produzidas no indutor, de uma série de outras variáveis, como: área total de contato do núcleo com o ar que contribui para a dissipação do calor, resistividade térmica dos materiais empregados, velocidade e orientação do fluxo de ar e temperatura do ar. Além disso, a distribuição de temperatura no indutor não é uniforme, e dependerá muito de como as perdas se distribuem entre o núcleo e o cobre. Em geral, as perdas no cobre são mais facilmente dissipadas, principalmente em enrolamentos que cobrem totalmente o núcleo.

A temperatura no núcleo do indutor pode ser estimada pela equação empírica (16). Esta equação é utilizada com resultados satisfatórios para núcleos do tipo *powder*.

$$T_{INDUTOR} = T_{amb} + \left(\frac{P_{núcleo} + P_{cobre}}{Ae} \right) \quad (16)$$

Onde Ae é a área de seção transversal do núcleo.

As perdas no cobre do indutor podem ser divididas em: perdas de condução (CC), perdas por efeito skin e efeito proximidade. Em todos os casos a perda é de condução, entretanto, no caso dos efeitos skin e de proximidade existe a dependência da frequência do harmônico de corrente que circula pelo enrolamento. Nos dois casos existirá uma redução na área útil da seção transversal do condutor para a condução de harmônicos de corrente de frequência elevada. A modelagem desses efeitos é feita através do cálculo do aumento da resistência do condutor em função da frequência do harmônico. A resistência efetiva para uma determinada frequência é chamada de resistência CA (R_{CA}) e que pode ser relacionada com a resistência CC através de um fator, o qual é estimado segundo a diminuição da área de condução esperada na frequência em questão.

Um modelo que contempla ambos os efeitos para aplicações em núcleos do tipo *Powder*, com geometrias toroidais, de acordo com a equação (17).

$$R_{CA}(f) = \left(\frac{4}{\pi}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot N_{eff} \cdot l_T \left(\frac{\rho_{CU} \cdot \mu_C \cdot \pi \cdot fh}{d \cdot t}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left[1 + \frac{2(N_w^2 - 1)}{3}\right] \quad (17)$$

Onde: l_T é o comprimento médio de uma espira do enrolamento; ρ_{CU} é a resistividade do cobre; μ_C é a permeabilidade do cobre; fh é a frequência do harmônico; d é o diâmetro do condutor; t é a distância entre centros de dois condutores adjacentes e N_w é o número de camadas de enrolamentos.

Além disso, para o cálculo das perdas no cobre é necessário definir a bitola do fio a ser utilizado para cada ponto de operação. Para isto, deve se considerar o efeito pelicular ou efeito skin, que é a tendência das componentes de altas frequências de corrente em circularem próximas à superfície dos condutores, assim a densidade de corrente não se distribui uniformemente pela seção transversal do fio, diminuindo consideravelmente sua área útil. Assim, o diâmetro do fio é determinado diretamente em função da frequência, e definido pela equação (18) dada em centímetros.

$$d_{util} = \frac{7,5}{\sqrt{fs}} \quad (18)$$

Para definir a seção transversal do fio, é necessário inicialmente escolher um valor adequado para densidade de corrente (J) (quantidade de carga elétrica através de uma seção condutora). Em [48], utilizou-se um valor para densidade de corrente de 500A/cm². Neste trabalho, com o objetivo de manter a temperatura dos condutores e diminuir as perdas ôhmicas, uma densidade de corrente de 450 A/cm² foi utilizada. Com este valor, e com o valor da corrente de RMS máxima, encontra-se a área necessária para a determinada corrente, através da equação (19).

$$A_{Necessária} = \frac{I_{RMS} \cdot \sqrt{2}}{J} \quad (19)$$

Se a área necessária for maior que a área útil determinada pelo efeito skin, é necessário calcular o número de fios em paralelo a ser utilizado no projeto, de acordo com (20).

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{A_{\text{necessária}}}{A_{\text{util}}} \quad (20)$$

As perdas de condução no indutor são calculadas através da soma das perdas CA e CC, de acordo com a equação (21), onde $i_L(\text{rms})$ é a corrente RMS no indutor Boost, $i_L(f)$ é o harmônico de corrente para cada frequência de interesse e R_{CC} é a resistência ôhmica do enrolamento.

$$P_{cu} = R_{CC} \cdot i_{L(\text{rms})}^2 + \sum_{f=0}^{\infty} (R_{CA}(f) \cdot i_L(f)^2) \quad (21)$$

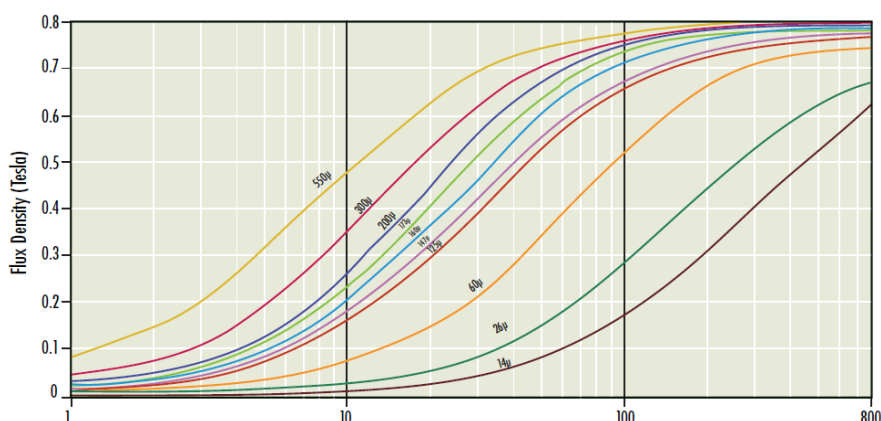


Figura 8: Curva de magnetização para o material MPP, Magnetics (2015).

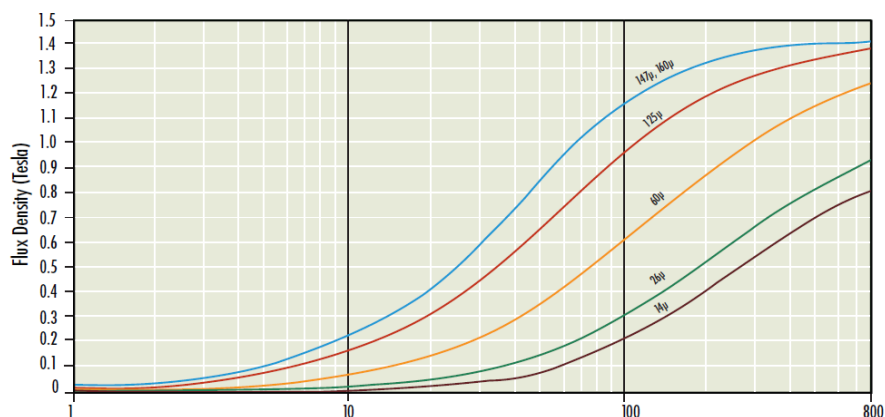


Figura 9: Curva de magnetização para o material High Flux, Magnetics (2015).

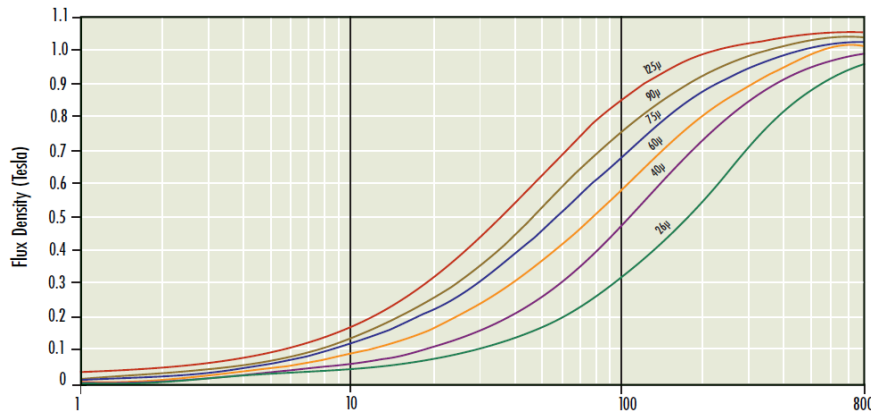


Figura 10: Curva de magnetização para o material KoolM μ , Magnetics (2015).

A maneira tradicional para determinar as perdas no núcleo magnético consiste em analisar a curva de magnetização do material magnético segundo o ponto de operação definido pela amplitude de variação de fluxo (função de Δi) e pela frequência. As curvas de magnetização, fornecidas pelos fabricantes, são normalmente levantadas com o núcleo excitado com uma tensão senoidal, onde a perda por unidade de volume do núcleo é registrada para cada valor de amplitude e frequência da tensão de excitação (senoidal). As curvas de magnetização podem ser aproximadas pela equação de Steinmetz. Aqui há uma modificação na mesma. Seguindo essa idéia, a equação (22) é proposta. Neste método, a variação da razão cíclica é automaticamente considerada. A variação do fluxo magnético é determinada pela variação da força magnetizante ($H_{MAX} - H_{MIN}$) para cada período de comutação, ou seja, as perdas no núcleo são calculadas para cada período de comutação, sendo determinadas através do somatório das perdas em cada período. As curvas de magnetização para determinação da variação de fluxo magnético (ΔB) em função da variação da força magnetizante, para as três tecnologias de materiais magnéticos são disponibilizadas pela fabricante (Figura 8, Figura 9 e Figura 10). A análise destas curvas é primordial para uma precisa determinação das perdas no núcleo.

$$\frac{P_{nucleo}}{V_{nucleo}} = C \cdot \sum_{T=1}^{T=fs/120} \left(\frac{\Delta B^m}{(2t_{on})^n} \frac{t_{on}}{Ts} + \frac{\Delta B^m}{(2t_{off})^n} \frac{t_{off}}{Ts} \right) \quad (22)$$

Onde t_{on} é o tempo de condução do transistor por período de chaveamento e t_{off} é tempo de condução do diodo por período de comutação. Estes tempos variam de acordo com a razão cíclica.

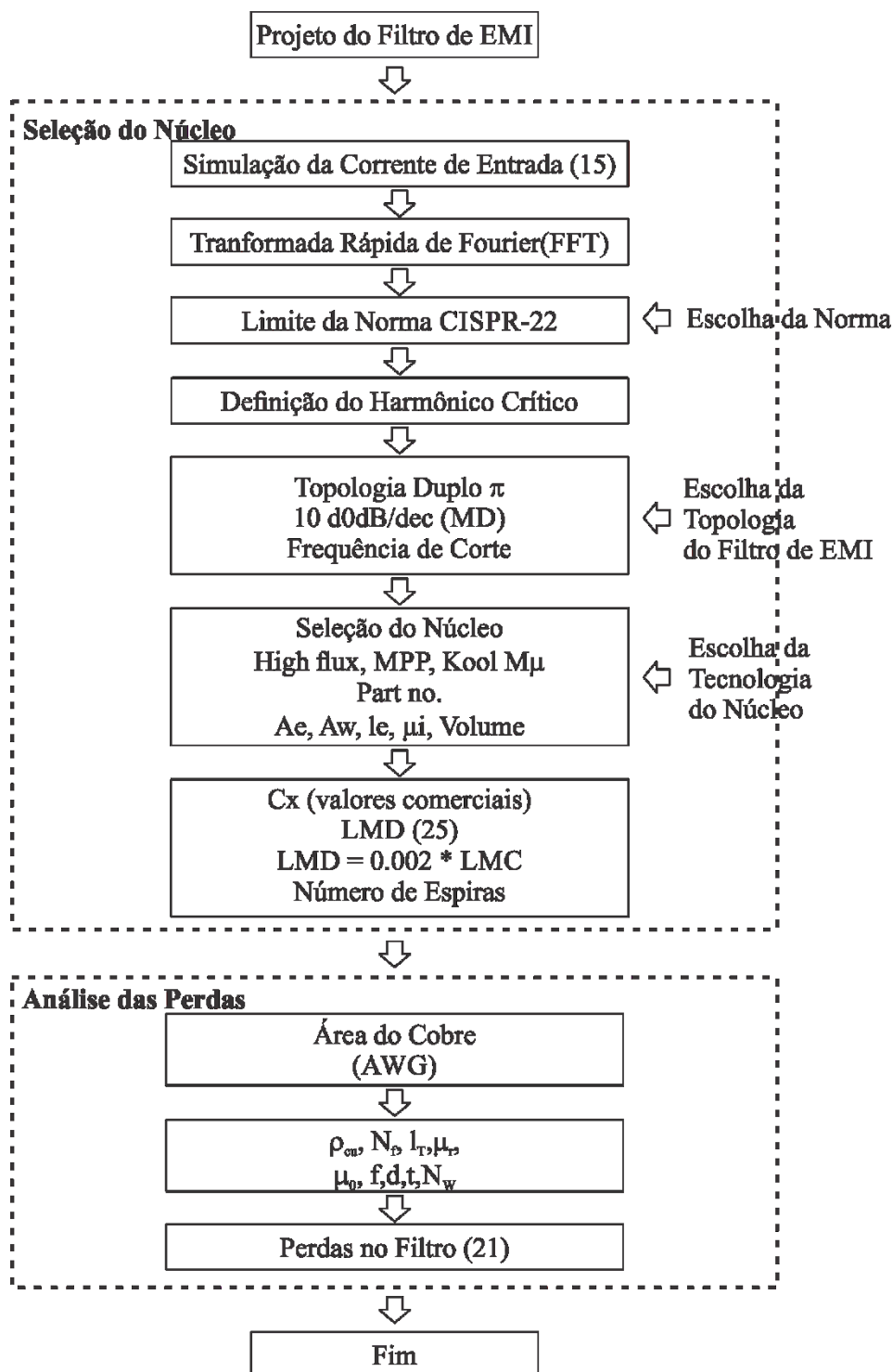
A partir da definição das perdas no cobre e no núcleo do indutor Boost, descritas nas seções anteriores, as perdas totais do indutor podem ser definidas de acordo com a equação (23).

$$P_{INDUTOR} = P_{nucleo} + P_{cobre} \quad (23)$$

2 – Projeto do Filtro de EMI

A Figura 11 contém o fluxograma das etapas do projeto do filtro de EMI, conforme metodologia desenvolvida em Sartoti (2013), cujos passos principais são a seleção do núcleo e a análise das perdas.

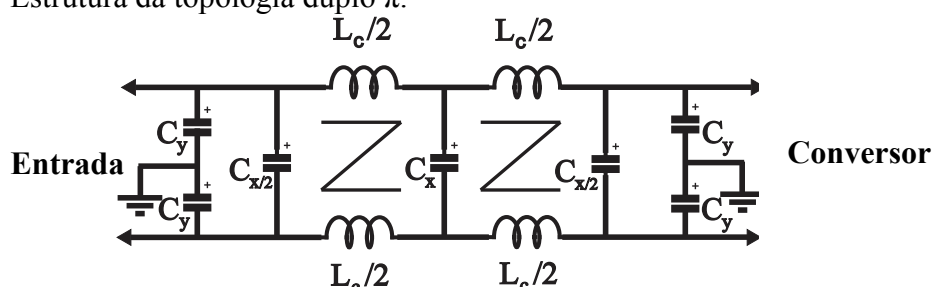
Figura 11: Fluxograma para o projeto do filtro de EMI.



Para o projeto do filtro de EMI, utiliza um método que considera a magnitude do harmônico crítico, que é múltiplo da frequência de comutação e é o primeiro que excede os limites da norma (acima de 150kHz – Limite da CISPR-22). Tipicamente, o harmônico crítico está alocado entre 150kHz e 500kHz, esta é uma faixa onde o limite da norma apresenta um declive de 20dB/dec. Por isso, quanto mais elevada a frequência de comutação, menor será a ordem do harmônico crítico (maior amplitude). Por exemplo, em $f_s = 50kHz$, o terceiro harmônico, em 150kHz, deverá ser limitado. Neste sentido, maiores amplitudes de ondulação de corrente, utilizadas para reduzir volumes dos indutores, resultam em um aumento da amplitude do harmônico crítico e por consequência o volume do filtro de EMI.

São possíveis projetos utilizando as topologia de filtros de EMI ‘ π ’ e duplo π (Figura 12), mais difundidas no meio acadêmico e industrial.

Figura 12: Estrutura da topologia duplo π .



A interferência eletromagnética se propaga em forma de corrente. Entretanto, os limites da norma (CISPR-22) são estabelecidos em dB/ μ V. Desta forma, para avaliar a interferência gerada de forma adequada deve-se realizar a conversão dos valores dos harmônicos de corrente em tensão. A conversão é realizada através da multiplicação do valor da corrente do harmônico por 50 Ω , estabelecido pela norma CISPR-22 (50 Ω representa a impedância da rede) [5]. A partir deste valor de tensão, chamado de V_{int} é possível encontrar o valor em dB/ μ V (VdB/ μ V) através da equação (24).

$$V(dB / \mu V) = 20 \log \frac{V_{int}}{1 \mu V} \quad (24)$$

A partir do valor de tensão interferente de cada harmônico de corrente, podem-se verificar quanto os níveis de ruído excedem os limites estabelecidos pelas normas. O projeto do filtro de EMI parte do valor do pico de tensão do harmônico crítico, e de acordo com a atenuação do filtro (100dB/dec para a topologia duplo π), a frequência de corte do filtro é determinada. Existe uma relação inversa entre a frequência de corte e a indutância de modo diferencial dos indutores de filtro, equação (25). A indutância de dispersão de valor $L_{MD} = 0.002 * L_{MC}$ é assumida para o projeto do indutor de modo comum (projeto físico do filtro). Assim, quanto mais alta a frequência de corte menor será o volume do filtro de EMI.

$$L_{MD} = \left(\frac{1}{2\pi f_{corte}} \right)^2 \cdot \frac{1}{C_X} \quad (25)$$

Os capacitores utilizados no projeto do filtro de modo diferencial são os capacitores da classe X, e são divididos em suas subclasses de acordo com o nível da tensão aplicada.

- A subclasse X1 deve suportar picos de tensão acima de 1,2 kV;
- A subclasse X2 deve suportar picos de tensão abaixo de 1,2 kV.

Os valores típicos para capacitâncias da classe X1 estão entre 10nF e 0,2μF enquanto que para os da classe X2 estão entre 10nF e 1μF para aplicações com tensão de 250V. Os dielétricos mais utilizados são os filmes plásticos como, por exemplo, poliéster e polipropileno.

Já para o filtro de modo comum, os capacitores utilizados são os da classe Y. Os capacitores dessa classe são utilizados em situações onde sua falha pode propiciar perigo de choque elétrico. Esses capacitores têm altas margens de segurança aumentando a confiabilidade e prevenindo curto-circuito. Com suas capacitâncias limitadas restringe qualquer corrente AC circulante no capacitor de forma a reduzir a energia armazenada a níveis seguros. Valores típicos para a capacitância estão entre 2,5nF e 35nF. Os materiais comumente utilizados como dielétricos são os filmes plásticos, metalizados ou não, e dielétricos de papel.

Os capacitores de filtro têm importante influência na atenuação do ruído, entretanto, é necessário tomar cuidados na escolha desses elementos. As capacitâncias devem ser limitadas de maneira a não influenciar no fator de potência capacitivo da entrada, medido quando o conversor estiver com carga mínima. Através da equação (26) pode-se estimar a máxima capacitância equivalente de entrada.

$$C_{MÁX} = \frac{P_{MIN}}{2\pi f_{rede} (V_{fase(RMS)})^2} \tan(\arccos(FP_{MIN})) \quad (26)$$

Como os elementos que mais influenciam no volume e custo do filtro são os núcleos magnéticos, neste trabalho se optou por utilizar os valores máximos de capacitância, sempre levando em consideração o FP mínimo de 0,92 estipulados pela ANEEL. Desta forma, os valores das capacitâncias de filtro são previamente determinados e, a partir da equação (25) encontra-se o valor da indutância necessária para supressão do ruído de modo diferencial.

Devido ao acoplamento dos indutores de filtro, não ocorre variação de fluxo magnético no interior do núcleo. Esta ausência permite aos indutores de filtro trabalhar em qualquer faixa de corrente sem que haja saturação do núcleo magnético. Desta forma, o núcleo selecionado independe da corrente de entrada, sendo determinado em função do número de espiras e da área interna por elas ocupada.

O número de espiras é calculado para cada núcleo magnético catalogado pela fabricante (MAGNETICS, 2015), e é proporcional à área de seção transversal (Ae), ao comprimento médio (le) e à permeabilidade do núcleo (μ), como apresentado na equação (5). Calculado o número de espiras para cada núcleo, é realizado um teste para verificar se este suporta em seu interior a área representada por este enrolamento, considerando um fator de enrolamento de 40%. Neste ponto é necessário saber qual o diâmetro do fio a ser utilizado para cada ponto de operação. Para isto, deve se considerar o efeito pelicular ou efeito *skin*, conforme apresentado nas equações (18 – 20).

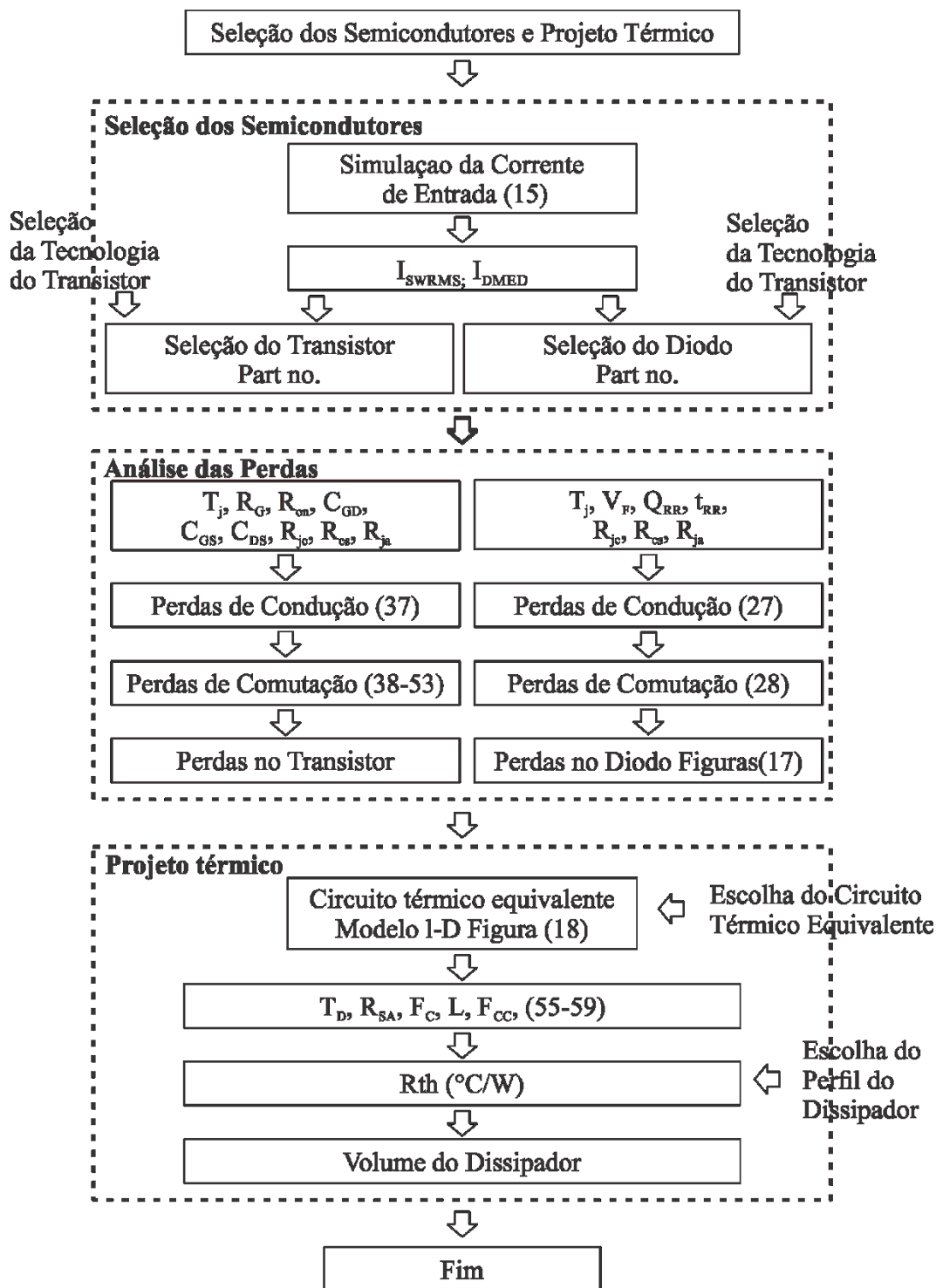
Uma vez que os projetos dos componentes do filtro de EMI são funções da frequência de corte, e esta varia de acordo com a ordem, frequência e amplitude do harmônico crítico, a indutância de filtro de modo diferencial e conseqüentemente seu volume não apresentam um comportamento linear.

Os indutores acoplados utilizados nos projetos do filtro são projetados com o mesmo número de espiras e com enrolamentos opostos, resultando em fluxos magnéticos opostos no interior do núcleo. Estes fluxos, de mesma magnitude e sentidos opostos, fazem com que não haja significativa variação de fluxo magnético no interior do núcleo. Desta forma, as perdas nos núcleos magnéticos do filtro de EMI podem ser desconsideradas. A partir do descrito, as perdas no filtro são basicamente geradas a partir das perdas no cobre, calculadas da mesma forma que no projeto do indutor.

3 – Seleção dos Semicondutores e Projeto do Térmico

A Figura 13 apresenta um fluxograma com as etapas de seleção dos semicondutores e projeto dos dissipadores. Este tópico apresenta a metodologia de cálculo das perdas de condução e comutação em semicondutores (transistor e diodo) e o projeto do volume do sistema de transferência de calor (dissipador).

Figura 13: Fluxograma para seleção dos semicondutores e projeto dos dissipadores.



3.1 Seleção dos Semicondutores e Análise das Perdas

- **Diodos** - Uma parte significativa das perdas produzidas pelos diodos ocorre durante a condução, principalmente para potências mais elevadas quando a corrente é mais alta. A corrente média instantânea de condução (I_F) influencia diretamente nas perdas. O produto entre esta corrente e a queda de tensão direta define as perdas de condução. A queda de tensão direta (V_F) também é proporcional à temperatura de junção (T_j) e cresce com o aumento da corrente média de condução conforme curvas disponibilizadas pelos fabricantes.

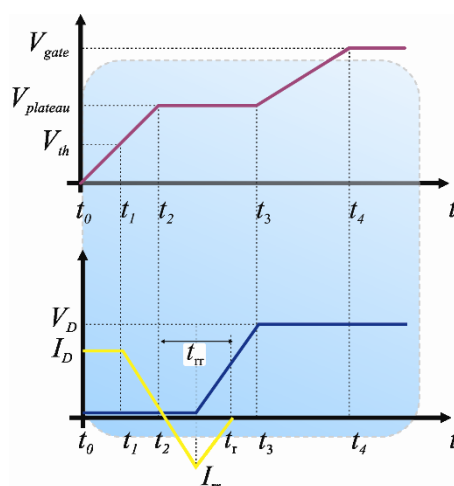
A partir do valor de tensão direta em função de T_j e I_F é possível definir as perdas de condução dos diodos aplicados em conversores comutados de acordo com a equação (27).

$$P_{Cond} = \frac{1}{nT_s} \sum_0^{nT_s} \overline{I_F} \cdot \overline{V_F} \quad (27)$$

Onde nT_s é o número de períodos de comutação.

Durante a saída de condução dos diodos, a carga de portadores minoritários deve ser removida, isso ocorre através da recombinação dos elétrons livres no interior do dispositivo. Os diodos permanecem diretamente polarizados enquanto a carga de portadores minoritários ainda estiver presente. A saída de condução ocorre até quando todas as cargas minoritárias sejam retiradas. As perdas ocasionadas às comutações do diodo são totalmente geradas através desta recombinação de portadores minoritários (corrente de recuperação reversa), desta forma, estas perdas ocorrem somente durante a saída de condução. Quanto maior for a corrente de recuperação reversa, maiores serão as perdas oriundas das comutações, a Figura 14 ilustra o comportamento desta corrente na saída de condução do diodo.

Figura 14: Demonstração da corrente de recuperação reversa.



O tempo em que a corrente de recuperação reversa está sobreposta à derivada de subida da tensão de barramento aplicada sobre o diodo ($t_r - t_2$) caracteriza as perdas totais nas comutações. Durante o intervalo de tempo ($t_2 - t_0$) a queda de tensão no diodo é muito baixa e pode ser desconsiderada.

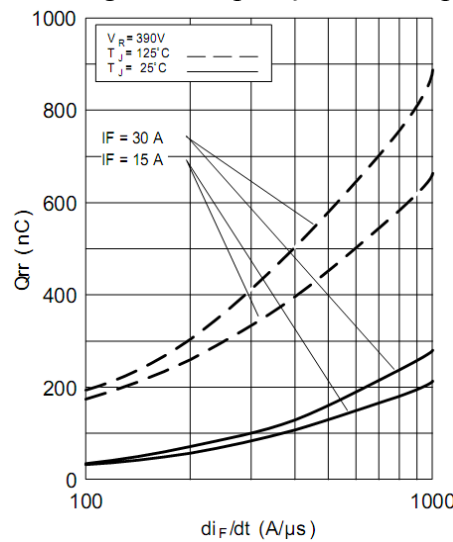
Para calcular essa potência dissipada, é necessário determinar a corrente de recuperação reversa (I_R), de acordo com a equação (28).

$$P_{sw_diodo} = (i_{R(t_2-t_1)} \cdot V_{D(t_2-t_1)}) f_s \quad (28)$$

Para a determinação dos valores dos tempos t_r , t_2 e Q_{rr} são necessários encontrar equações para as curvas de tempo de recuperação reversa (t_{rr}) (este tempo varia para cada tecnologia) e carga de recuperação reversa (Q_{rr}) em função da derivada da corrente (di_F/dt). Estas curvas são disponibilizadas pelos fabricantes. Como demonstração, a determinação de (t_{rr}) e (Q_{rr}) para o diodo *hiperfast rectifier 15ETH0* é definida como segue:

A Figura 15 indica o comportamento da carga de recuperação reversa para diferentes níveis de correntes, temperaturas de junção (25°C e 125°C), em função da taxa de decrescimento da corrente (di_F/dt). As equações (29) e (30) representam as curvas da carga de recuperação reversa, em função da corrente direta para as temperaturas de junção de 125 °C e 25 °C para uma corrente de 15A.

Figura 15: Comportamento da carga de recuperação reversa para o diodo 15ETH06.



$$Q_{RR_{125}} = \frac{354,5 \cdot I_F}{5,45 + I_F} \quad (29)$$

$$Q_{RR_{25}} = \frac{173,3 \cdot I_F}{35 + I_F} \quad (30)$$

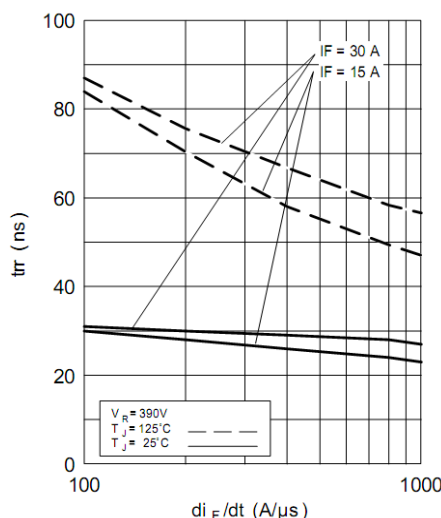
Para temperaturas de junção intermediárias (a critério do projetista), é necessária a utilização de técnicas de interpolação de curvas, de acordo com a equação (31).

$$Q_{RR(Tj I_F)} = \frac{(Q_{RR_{125}} \cdot T_j - Q_{RR_{125}} \cdot 25) + (Q_{RR_{25}} \cdot 150 - Q_{RR_{25}} \cdot T_j)}{125 - 25} \quad (31)$$

O tempo em que a corrente de recuperação reversa permanece presente também é disponibilizado pelo fabricante em função dos mesmos parâmetros apresentados por (Q_{rr}), como mostrado na Figura 1616. A equação (32) relaciona os tempos apresentados na Figura 14 com o tempo de recuperação reversa (t_{RR}) disponibilizado pelo fabricante (datasheet).

$$t_{RR} = t_r - t_2 \quad (32)$$

Figura 16: Comportamento do tempo de recuperação reversa para o diodo 15ETH06.



As equações (33) e (34) representam as curvas do tempo de recuperação reversa em função da corrente direta para as temperaturas de junção de 125 °C e 25 °C respectivamente.

$$t_{RR_{125}} = \frac{82,12 \cdot I_F}{2,81 + I_F} \quad (33)$$

$$t_{RR_{25}} = \frac{32,3 \cdot I_F}{2,31 + I_F} \quad (34)$$

Da mesma forma como para (Q_{rr}), é necessária a interpolação de curvas para escolha da temperatura de junção, conforme equação (35).

$$t_{RR(Tj I_F)} = \frac{(t_{RR_{125}} \cdot Tj - Q_{RR_{125}} \cdot 25) + (t_{RR_{25}} \cdot 150 - t_{RR_{25}} \cdot Tj)}{125 - 25} \quad (35)$$

Uma forma simplificada de determinar as perdas nas comutações dos diodos e, que apresenta resultados satisfatórios é apresentada na equação (36).

$$P_{SW} = V_0 Q_{RR} \quad (36)$$

- **MOSFET** - As perdas de condução no MOSFET são bastante significativas, isso se deve ao fato de o semiconductor possuir um comportamento resistivo quando em condução. Sendo assim, para determinados valores de corrente torna-se inviável a utilização deste tipo de dispositivo, pois a potência dissipada durante a condução atingiria valores muito altos. As perdas durante a condução do MOSFET são determinadas a partir da equação (37).

$$P_{ON} = R_{ON} \cdot I_{RMS}^2 \quad (37)$$

A maior parte da potência dissipada durante as comutações de MOSFETs ocorre por sobreposições entre tensões e correntes na entrada e na saída de condução (*Overlap*) Figura 17. Os tempos em que ocorrem estas sobreposições são determinantes para o

cálculo das perdas. Esses tempos são proporcionais a cargas e descargas de capacitâncias parasitas presentes neste semiconductor (C_{DG} , C_{GS} e C_{GD}). Para o cálculo das perdas nas comutações é necessário determinar os tempos em que ocorrem a entrada e saída de condução do MOSFET.

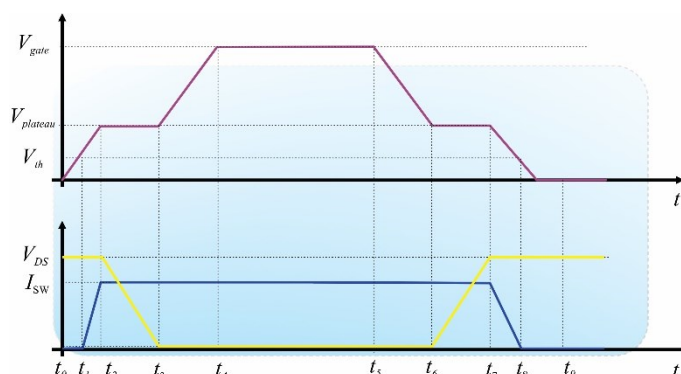


Figura 17: Entrada em condução do MOSFET.

O termo tensão de threshold (V_{th}), ou tensão limiar é usado para definir a mínima polarização de porta necessária para formar o canal de condução entre fonte e dreno. A tensão V_{th} é usualmente medida para correntes de dreno de $250\mu A$. Valores comuns situam-se entre 2V e 4V para transistores de mais alta tensão e 1V a 2V para transistores de mais baixa tensão.

A corrente só começará a circular pelo dreno quando a tensão de *gate* atingir o valor da tensão limiar e, permanece crescendo até que o capacitor presente entre *gate* e fonte se carregue completamente, isso ocorre no instante de tempo t_2 . Neste ponto, a tensão aplicada sobre o interruptor V_D começa a diminuir. A excursão da tensão V_D no intervalo de tempo t_2 até t_3 é relativamente grande, assim a carga total do circuito de acionamento é tipicamente mais elevada para a capacitância C_{DG} do que para a capacitância C_{GS} . No instante de tempo t_3 a tensão cai a um valor igual ao produto de I_D por R_{ON} , e o semiconductor entra em condução.

O intervalo de tempo entre t_0 e t_2 representa a carga Q_{GS} consumida pela capacitância C_{GS} . O período de tempo entre t_2 e t_3 representa a carga Q_{GD} consumida pela capacitância C_{GD} . As cargas das capacitâncias parasitas são funções do produto entre a corrente e o tempo. Quanto maior for a corrente de *gate*, menor será o tempo de carga destas capacitâncias, isso indica uma relação direta entre a corrente de *gate* e os tempos de comutações. Para uma correta análise comparativa, as simulações realizadas para as diferentes tecnologias de semicondutores utilizaram a mesma corrente de *gate*. Os intervalos de tempo nas comutações assim como os valores das cargas são encontrados a partir de curvas disponibilizadas pelos fabricantes. A saída de condução é similar à entrada. A capacitância de entrada (C_{ISS}), capacitância de saída (C_{OSS}) e capacitância de transferência reversa (C_{RSS}) são disponibilizadas pelo fabricante e podem ser utilizadas como ponto de partida para o calculo das capacitância parasitas (C_{DS} , C_{GD} e C_{GS}) de acordo com as equações (38), (39) e (40).

$$C_{ISS} = C_{GS} + C_{GD} \quad (38)$$

$$C_{OSS} = C_{DS} + C_{GD} \quad (39)$$

$$C_{RSS} = C_{GD} \quad (40)$$

A capacitância *gate-dreno*, C_{GD} , é definida como uma função não linear da tensão e é o parâmetro mais importante porque fornece uma realimentação entre a saída e a entrada do circuito. C_{GD} é também chamada de capacitância Miller, porque ela faz com que a capacitância de entrada dinâmica total fique maior que a soma das capacitâncias estáticas. De posse destas informações é possível determinar os tempos em que ocorrem as comutações, equações (41), (42) e (43).

$$Q_{GS} = V_{Plateau} C_{ISS} \quad (41)$$

$$t_2 = \frac{Q_{GS}}{I_G} \quad (42)$$

$$t_1 = \frac{V_{Threshold}}{V_{Plateau}} t_2 \quad (43)$$

Durante o intervalo de tempo entre t_2 e t_3 ocorre a carga de C_{GD} . A partir de t_2 e de Q_{GD} é possível determinar o intervalo de tempo t_3 , equação 44.

$$t_3 = \frac{Q_{GD}}{I_G} + t_2 \quad (45)$$

A potência dissipada nas comutações, oriunda de sobreposições entre tensões e correntes, pode ser dividida em seis etapas distintas de acordo com seus respectivos tempos de atuação.

1. Durante o intervalo de tempo entre t_1 e t_2 .

$$\overline{P_{SW}} = \overline{i_{SW}(t)} \cdot \overline{V_{SW}(t)} \quad (45)$$

$$P_1 = \overline{P_{SW}}(t_2 - t_1) f_s \quad (46)$$

2. Durante o intervalo de tempo entre t_2 e t_3 .

$$\overline{P_{SW}} = \frac{I_D \cdot V_D}{2} \quad (47)$$

$$P_2 = \overline{P_{SW}}(t_3 - t_2) f_s \quad (48)$$

3. Durante o intervalo de tempo entre t_5 e t_6 .

$$P_3 = \overline{P_{SW}}(t_6 - t_5) f_s \quad (49)$$

4. Durante o intervalo de tempo entre t_6 e t_7 .

$$P_4 = \overline{P_{SW}}(t_7 - t_6) f_s \quad (50)$$

5. Perdas por entrada em condução capacitiva.

$$P_5 = \frac{V_0^2 \cdot C_{DS}}{2} \quad (51)$$

6. Perdas por corrente de recuperação reversa do diodo.

As perdas provenientes da recuperação reversa, ocorrem durante o intervalo de tempo entre t_2 e t_{RR} , equação (52).

$$P_{RR} = V_0(Q_{RR(T_J, I_F)} + t_{RR} \cdot I_D) \quad (52)$$

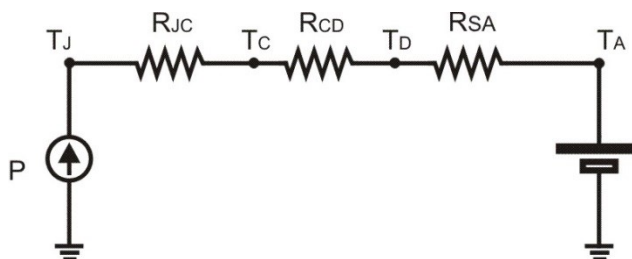
Desta forma, a potência total dissipada pelo MOSFET durante as comutações pode ser definida como o somatório das perdas produzidas em cada uma das etapas relacionadas, equação (53).

$$P_{SW_TOTAL} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_{RR} \quad (53)$$

3.2 – Projeto dos Dissipadores

A energia perdida nos semicondutores é dissipada em forma de calor. A funcionalidade e vida útil dos dispositivos estão diretamente relacionadas a temperatura de junção dos mesmos. Desta forma, uma detalhada análise térmica torna-se necessária. Um modelo simples e suficientemente adequado é o unidimensional, representado pela Figura, que é dado em termos de resistências térmicas. Com base nesta figura é possível calcular a resistência térmica que o dissipador deve possuir para manter um nível funcional de temperatura.

Figura 18: Modelo Unidimensional para Resistência Térmica.



As resistências R_{JC} , R_{CD} e R_{SA} são respectivamente: Resistência de junção – encapsulamento, encapsulamento – dissipador e dissipador – ambiente. Estas resistências térmicas são integrantes do sistema semiconductor - dissipador - ambiente e suas características variam para cada semiconductor em função de seu encapsulamento. Neste sistema é desconsiderada a resistência do isolamento. No caso da inserção de um isolante, sua resistência deverá ser considerada.

As perdas totais nos semicondutores, equação (54), estão representadas no modelo em forma de fonte de corrente e estão representadas pela letra “P”.

$$P_{total} = P_{comutação} + P_{Condução} \quad (54)$$

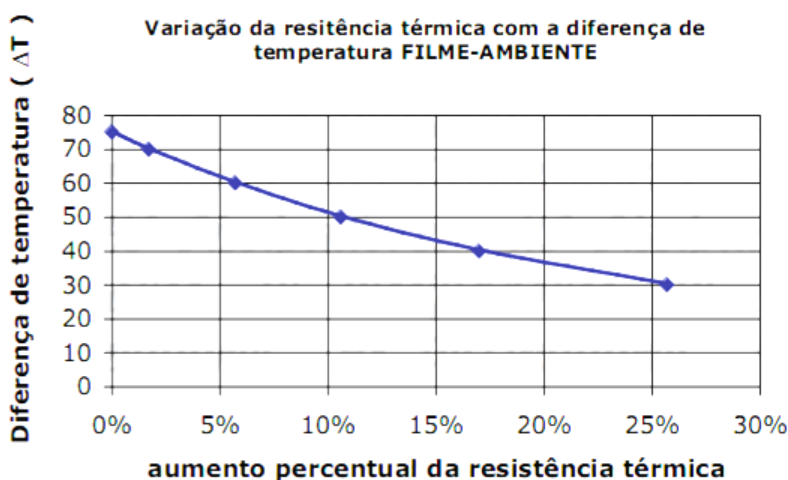
Através do circuito equivalente da Figura 18 é possível determinar a temperatura do dissipador através da equação (55). A partir desta equação, encontra-se o valor de R_{SA} definida entre o dissipador e o ambiente, equação (56), com o valor de R_{SA} calculado, é definido o comprimento do dissipador para o perfil desejado através do catálogo do fabricante Catálogo HS Dissipadores (2011).

$$T_D = T_J - P_{Totais} \times (R_{JC} + R_{CD}) \quad (55)$$

$$R_{SA} = \frac{T_D - T_{Amb}}{P_{Totais}} \quad (56)$$

Após o cálculo da resistência térmica, outros dois ajustes devem ser realizados para o adequado projeto dos dissipadores térmicos. Os dissipadores são mais eficientes quando a temperatura ambiente é baixa e a medida que a temperatura ambiente aumenta, diminui a eficiência da troca térmica entre o dissipador e o ambiente, assim ocorre a diminuição da resistência térmica em função da menor diferença de temperatura entre o dissipador e o ambiente. Este comportamento é representado na Figura 19. Esta curva é disponibilizada pela fabricante de dissipadores [74], e dá um fator de correção de temperatura que é representado pela equação (57).

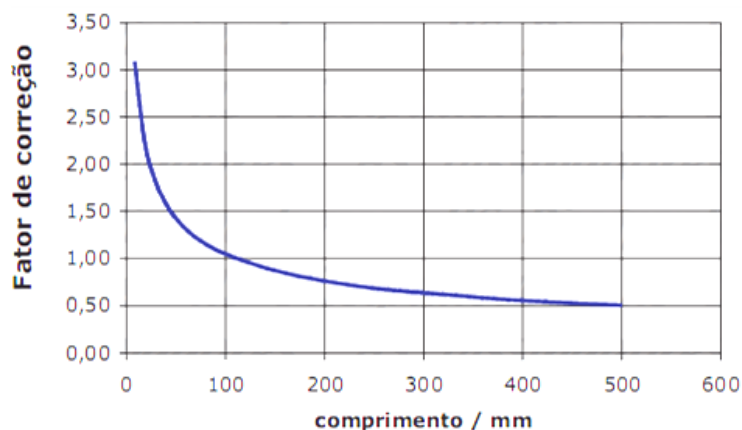
Figura 19: Comportamento da resistência térmica em relação à variação da temperatura de junção e a temperatura ambiente.



$$F_{c_{temp}} = 0,6555 \times \exp(-0,04587 \times \Delta t) + 1,174 \times \exp(-0,002419 \times \Delta t) \quad (57)$$

O outro aspecto importante que deve ser considerado nos projetos é o ajuste do comprimento dos dissipadores. O fabricante disponibiliza a resistência térmica para cada perfil em um comprimento de 4 polegadas. Assim, é necessário ajustar a resistência térmica através de um fator de correção, disponibilizado pelo fabricante, Figura 20, e representada pela equação (58).

Figura 20: Fator de Correção de Comprimento.



$$L = \frac{(8,239 \cdot F_{CC} - 1,74)}{F_{CC}^3} - 0,6121 \cdot F_{CC}^2 + 0,2681 \cdot F_{CC} - 0,056 \quad (58)$$

Onde “ L ” é o comprimento necessário para que o perfil do dissipador mantenha a temperatura de junção na temperatura previamente escolhida. Entretanto, para calcular o comprimento do perfil, é necessário determinar o valor de F_{CC} , que é o fator de correção de comprimento e é dado a partir da resistência térmica para quatro polegadas. Este valor de resistência para quatro polegadas é disponibilizado pelo fabricante e é representado por R_{TP} . O fator de correção de comprimento é encontrado a partir da equação (59).

$$F_{CC} = \frac{R_{SA}}{R_{TP} \cdot F_{C_{temp}}} \quad (59)$$