

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

Bruno Ziegler Haselein

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA VERIFICAÇÃO DA
CONFORMIDADE DE MOTORES ELÉTRICOS**

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Haselein, Bruno Ziegler

Sistema especialista para verificação da
conformidade de motores elétricos / Bruno Ziegler
Haselein ; orientador, Jonny Carlos da Silva, 2018.
200 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Mecânica. 2. Sistemas
Especialistas. 3. Conformidade do Produto. 4.
Projeto de Motores Elétricos. 5. k-Vizinhos Mais
Próximos. I. Silva, Jonny Carlos da. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Bruno Ziegler Haselein

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA VERIFICAÇÃO DA
CONFORMIDADE DE MOTORES ELÉTRICOS**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação da Universidade
Federal de Santa Catarina para a
obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica
Orientador: Prof. Jonny Carlos da
Silva, Dr. Eng.

Florianópolis, SC
2018

Bruno Ziegler Haselein

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA VERIFICAÇÃO DA
CONFORMIDADE DE MOTORES ELÉTRICOS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de
“Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica

Florianópolis, 10 de setembro de 2018.

Prof. Jonny Carlos da Silva, Dr. Eng.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Jonny Carlos da Silva, Dr. Eng.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rodrigo de Souza Vieira, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo José Rabelo, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha mãe,
Silvana Ziegler Haselein

RESUMO

A conformidade legal de motores elétricos é fator estratégico e decisivo à sua comercialização e inserção em mercados de interesse e, conseqüentemente, a competitividade. Nesse âmbito, o termo conformidade trata-se de aderência a leis, regulamentos, políticas corporativas e procedimentos, de modo a garantir e certificar fatores de performance e segurança. Todavia, assegurar a conformidade de motores elétricos é dificultado pelo elevado número de normas vigentes em cada mercado, a discrepância de conhecimento especializado entre seções comerciais e técnicas, o elevado número de diferentes projetos resultantes da alta customizabilidade dos produtos modulares, os diferentes formatos de documentos utilizados no projeto e complexos fluxos de informações de acordo com as especialidades do produto. Tudo isso causa problemas às partes interessadas, resultando em significativos custos de não qualidade. Por esses motivos, um sistema especialista de verificação da conformidade normativa e comercial do produto, capaz de identificar inconformidades e apresentar orientações de projeto, foi elaborado na divisão de motores da empresa WEG Equipamentos Elétricos S/A. O banco de regras do sistema, composto por especificações do cliente, restrições técnicas, necessidades legais e comerciais, identificação de inconsistências e potenciais orientações, é auxiliado por um algoritmo de identificação de similaridade de instâncias – *k*-vizinhos mais próximos – para, a partir dos projetos dos motores previamente comercializados, melhorar as sugestões propostas. Objetivando uma redução de 25 % das consultas técnicas relativas ao escopo através do fácil acesso às informações de elevada qualidade, o presente trabalho foi limitado a uma linha de produtos de significativo número de vendas e comercialização nos países México, Estados Unidos da América e Canadá. A validação foi realizada por especialistas de conformidade, com avaliação de uma amostra de 450 casos ocorridos no ano de 2017, indicando uma potencial redução de consultas técnicas de entre 65,71 % e 73,14 %. Em adição, são destacados a completude da resposta, dinamismo de execução do sistema e facilidade de integrar a verificação automática ao projeto.

Palavras-chave: Sistemas Especialistas, Conformidade do Produto, Projeto de Motores Elétricos, *k*-Vizinhos Mais Próximos.

ABSTRACT

The regulatory compliance of electric motors is a strategic and decisive factor for their commercialization and insertion in markets of interest and, consequently, competitiveness. In this context, the term compliance refers to adherence to laws, regulations, corporate policies and procedures, in order to guarantee and certify performance and safety factors. However, ensuring the compliance of electric motors is hampered by the high number of standards, regulations and ordinances related to each market, the discrepancy of specialized knowledge between commercial and technical sections, the high number of different projects resulting from the customizability of modular products, different document formats used in the project and complex information flows according to the product specialties. These factors cause problems for stakeholders, resulting in significant non-quality costs. For these reasons, an expert system to verify regulatory and commercial compliance of products, capable of identifying nonconformities and presenting design guidelines, was developed at the WEG Industries S/A, electric motors division. The system including rules, composed of customer specifications, technical constraints, legal and commercial requirements, identification of inconsistencies and potential guidelines, is aided by an algorithm of instances similarity identification – k-Nearest Neighbors – to improve the proposed suggestions from the designs of motors previously sold. Aiming a 25 % reduction of technical questions related to this project scope through easy access to high quality information, the present work has targeted a line of products with a significant number of sales and marketed in Mexico, United States of America and Canada. The system validation was performed by compliance specialists, with a sample of 450 cases occurred in 2017, indicating a potential reduction of technical consultations between 65.71 % and 73.14 %. In addition, it highlights the completeness of the answers, dynamism of system execution and ease of integrating the automatic verification to the project.

Keywords: Expert Systems, Product Compliance, Electric Motor Project, k-Nearest Neighbors.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação dos conceitos de plataforma de produto, módulos e componentes e família de produtos.....	41
Figura 2.2 - Tela principal do configurador do produto.....	42
Figura 2.3 - Valores padrão, opcional especial e não aplicável a blindagem e folga do rolamento dianteiro de acordo com o tamanho da carcaça.....	43
Figura 2.4 - Fluxograma de preparação para fabricação	44
Figura 2.5 - Fases do desenvolvimento	45
Figura 2.6 - Processamento de consultas técnicas.....	48
Figura 2.7 - Partes envolvidas ao longo do projeto de novos produtos .	50
Figura 2.8 - Divisão dos especialistas de conformidade por mercado ..	52
Figura 3.1 - Motor elétrico com destaque à placa de identificação	63
Figura 3.2 - Placa de identificação de um motor de área classificada...	64
Figura 3.3 - Marcação Norte-Americana: sistema de zonas.....	64
Figura 3.4 - Marcação Norte-Americana: sistema de divisão	65
Figura 3.5 - Marcação ATEX (União Europeia)	65
Figura 3.6 - Marcação IECEx (Global).....	65
Figura 3.7 - Níveis de normalização	68
Figura 3.8 - Passagem de chama através de juntas flangeadas.....	76
Figura 3.9 - Explosão da atmosfera explosiva após o ensaio de não propagação de chama	76
Figura 3.10 - Ruptura na tampa traseira após o ensaio de sobrepressão	77
Figura 3.11 - Comparação entre zona interna e externa ao invólucro do motor	78
Figura 3.12 - Distâncias de escoamento e de isolamento de componentes da caixa de ligação de um motor elétrico.....	79
Figura 3.13 - Ensaios de proteção contra entrada de poeira	79
Figura 3.14 - Requisitos aplicáveis ao Certificado de Conformidade CSA 2194017.....	80
Figura 3.15 - Principais certificações para atmosferas explosivas	81
Figura 3.16 - Características e valores das características de um componente da classe tampões.....	82
Figura 4.1 - Modelo de memória modal.....	88
Figura 4.2 - Desdobramentos da inteligência artificial	91
Figura 4.3 - Representação esquemática da arquitetura de um SE.....	92
Figura 4.4 - Hierarquia do conhecimento.....	93
Figura 4.5 - Representação esquemática da hierarquia de classes	95
Figura 4.6 - Processo de desenvolvimento de sistemas especialistas....	96

Figura 4.7 - Representação da transferência de conhecimento através de um SE.....	97
Figura 4.8 - Processo KDD e mineração de dados.....	99
Figura 4.9 - Representação 2D de um banco de dados através de um gráfico de dispersão, com destaque as $k = 5$ instâncias mais próximas de P	101
Figura 4.10 - Distância de Manhattan e Euclidiana entre dois objetos	103
Figura 5.1 - Proposta de execução do SEVC	112
Figura 5.2 - Convergência de sistemas no SE protótipo	113
Figura 5.3 - Distribuição de consultas técnicas de acordo com o mercado	114
Figura 5.4 - Distribuição de consultas por linha de produtos no mercado global e mercado EUA/Canadá.....	115
Figura 5.5 - Distribuição de consultas por certificação no mercado global e mercado EUA/Canadá.....	116
Figura 5.6 - Distribuição de consultas por área de aplicação no mercado global e mercado EUA/Canadá.....	117
Figura 5.7 - Valores de uma característica.....	119
Figura 5.8 - Módulos do sistema protótipo	122
Figura 5.9 - Árvore de objetos do SEVC.....	124
Figura 5.10 - Conjunto de valores contemplados pelo certificado.....	126
Figura 5.11 - Modelos de transposição de regras dos certificados.....	126
Figura 5.12 - Verificação dos valores das características do produto .	135
Figura 5.13 - Logos obrigatórios para o produto operar no Canadá ...	139
Figura 5.14 - Quadro de valores dos certificados.....	140
Figura 6.1 - Tela de importação dos valores das características do produto	145
Figura 6.2 - Tela de valores das principais características do produto	146
Figura 6.3 - Tela de apresentação da resposta da verificação de conformidade do motor.....	147
Figura 6.4 - Tela de apresentação da resposta da verificação de conformidade do motor, com destaque as mensagens individuais.....	147
Figura 6.5 - Tela de valores das características mais relevantes à conformidade, e de apresentação da resposta.....	148
Figura 6.6 - Exemplo de como salvar a resposta geradas pelo SEVC	149
Figura 6.7 - Número de identificação da consulta técnica realizada pelo SEVC	149
Figura 6.8 - representação do método de avaliação da amostra.....	152
Figura 6.9 - Relação entre o número normalizado de dúvidas, a meta de redução e o potencial valor atingido pelo sistema.....	160
Figura 6.10 - Grau de similaridade entre motores.....	160

Figura A.1 - Exemplo de zonas de área classificada.....	190
Figura A.2 - Tempo t_e	193
Figura A.1 - Desenho de motor especial.....	195
Figura B.1 - Folha de dados.....	197
Figura C.1 - Placa de identificação.....	199

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Limitações do escopo.....	36
Quadro 3.1 - Resumo das principais normas da série IEC 600034: <i>Rotating Electrical Machines</i>	69
Quadro 3.2 - Resumo das principais normas da série UL 1004: <i>Rotating Electrical Machines</i>	71
Quadro 3.3 - Resumo das principais normas da série CSA C22.2: <i>Canadian Electrical Code, Part II</i>	72
Quadro 3.4 - Conceitos de proteção para aplicações em área classificada (gases, vapores ou misturas inflamáveis).....	73
Quadro 3.5 - Conceitos de proteção para aplicações em área classificada (poeiras inflamáveis).....	74
Quadro 3.6 - Níveis de eficiência.....	84
Quadro 5.1 - Desenvolvimento incremental proposto ao SEVC.....	118
Quadro 5.2 - Modelo de programação de regras na <i>shell</i> Maestro.....	119
Quadro 5.3 - Exemplo de pseudocódigo elaborado por especialistas no domínio de conformidade.....	120
Quadro 5.4 - Condições para definição do certificado de conformidade CSA 2194017.....	121
Quadro 5.5 - Grupos de regras do módulo de controle.....	123
Quadro 5.6 - Grupos de regras relativas aos certificados.....	125
Quadro 5.7 - Potências nominais máximas a 60 Hz, por carcaça e polaridade, linhas W22 (padrão e opcional).....	127
Quadro 5.8 - tCode para temperatura ambiente acima de 40°C até 50°C, inclusive.....	127
Quadro 5.9 - Código de temperatura para motores com inversor, f.s. 1.0, temperatura ambiente 40 °C, inclusive e <i>high efficiency</i>	128
Quadro 5.10 - Quadro de torque e variado, e faixa de frequência a potência constante.....	129
Quadro 5.11 - Grupo de regras dos certificados CSA área segura.....	130
Quadro 5.12 - Regra de verificação da categoria do produto.....	130
Quadro 5.13 - Exemplo de regra de certificação específica CSA área segura.....	131
Quadro 5.14 - Grupo de regras dos certificados atendidos.....	132
Quadro 5.15 - Motores industriais comerciais vendidos em 2016.....	133
Quadro 5.16 - Banco de dados do sistema de busca.....	133
Quadro 5.17 - Relação entre importância, número e peso das características.....	134
Quadro 5.18 - Grupos de regras de mercado.....	136
Quadro 5.19 - Grupo de regras de MEPS.....	136

Quadro 5.20 - Define MEPS: EISA 2014, NEMA MG-1, DOE 10 CFR Part 431, EEA, C390-10, NOM-016-ENER-2010.....	137
Quadro 5.21 - Condiçõais de exceçãõ MEPS: EISA 2014, NEMA MG-1, DOE 10 CFR <i>Part</i> 431, EEA, C390-10, NOM-016-ENER-2010	138
Quadro 5.22 - Grupos de regras de inconsistências	139
Quadro 5.23 - Grupos de regras de orientaçãõ.....	141
Quadro 5.24 - Regra de definiçãõ da aplicabilidade do Certificado de Conformidade CSA 2194017 (2017)	142
Quadro 6.1 - Informações contidas nas colunas do quadro de avaliaçãõ de resposta do SEVC	151
Quadro 6.2 - Consulta t3cnica de um produto que deve operar a 65 °C	153
Quadro 6.3 - Consulta t3cnica de um produto que deve atender o Tcode T3	154
Quadro 6.4 - Consulta t3cnica de um produto que deve possuir certificaçãõ CSA 3rea classificada, e UL e NOM ANCE 3rea segura	155
Quadro 6.5 - Consulta t3cnica de um produto que deve utilizar conjunto porta escova e certificaçãõ CSA 3rea classificada	156
Quadro 6.6 - Consulta t3cnica de um produto que deve operar em uma temperatura ambiente de -20 °C at3 +55 °C	157
Quadro A.1 - Zonas, classes e divisões.....	189
Quadro A.2 - N3vel de proteçãõ do equipamento	190
Quadro A.3 - Grupos de gases	191
Quadro A.4 - Grupos de poeiras	191
Quadro A.5 - Tipos de proteçãõ.....	192
Quadro C.1 - Informações da placa de identificaçãõ.....	199

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Quantidade de materiais criados e percentual especial	33
Tabela 3.1 - Limites de explosividade de gases, vapores e poeiras.....	60
Tabela 3.2 - Valores de <i>flash point</i> (vapores).....	61
Tabela 3.3 - Valores de MIE para gases, vapores e poeiras	61
Tabela 3.4 - Valores de TAI para gases, vapores e poeiras.....	61
Tabela 3.5 - MESH para uma largura de 25 mm.....	62
Tabela 3.6 - Relação entre EMI, MESH e inflamabilidade.....	62
Tabela 3.7 - Relação entre temperatura de ignição e inflamabilidade...	62
Tabela 6.1 - Percentual de atendimento de consultas técnicas relativas às certificações.....	159
Tabela 6.2 - Relação entre número de características distintas e percentual normalizado de motores.....	161
Tabela 6.3 - Notas atribuídas ao modelo padrão de consultas técnicas e ao SEVC pelo público alvo	161
Tabela A.1 - Relação entre máxima temperatura superficial do motor e classe de temperatura.....	192

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALE - *Accredited Legal Entity*
ASME - *American Society of Mechanical Engineers*
CA - Corrente Alternada
CBAP - *Certification Body Accreditation Program*
CC - Corrente contínua
CHP - Potência constante
CME - Concentração Mínima de Explosividade
CPSC - *United States Consumer Product Safety Commission*
CSA - *Canadian Standards Association Group*
CT - Torque constante
DARPA - *Defense Advanced Research Project Agency*
DFMC - *Design for Mass Customization*
DOE - *Department of Energy*
EC - Engenheiro do Conhecimento
EDC - Especialista no Domínio de *Compliance*
EMI - Energia Mínima de Ignição
EPL - *Equipment Protection Level*
GPS - *General Problem Solver*
IA - Inteligência Artificial
ID_a - Número de identificação do projeto em andamento
ID_c - Número de identificação do projeto concluído
ID_{sevc} - Número de identificação da consulta técnica automática
IEC - *International Electrotechnical Commission*
IEV - *International Electrotechnical Vocabulary*
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
KDD - *Knowledge Discovery in Databases*
kNN - *k-Nearest Neighbors*
LAC - Lógica de Árvore de Computação
LIE - Limite Inferior de Explosividade
LSE - Limite Superior de Explosividade
ME - Motores Especial
MEPS - *Minimum Energy Performance Standards*
MESG - *Maximum Experimental Safe Gap*
NRTL - *Nationally Recognized Testing Laboratory*
OSHA - *Occupational Safety and Health Administration*
PCV - *Positive Crankcase Ventilation*
PPM - Partes Por Milhão
RBC - Raciocínio Baseado em Casos

ROL - Receita Operacional Líquida
RSCI - Retorno Sobre o Capital Investido
SCC - *Standards Council of Canada*
SCP - Sistema de Configuração do Produto
SEVC - Sistema Especialista de Verificação do *Compliance*
TAI - Temperatura de Autoignição
Tcode - Código de temperatura
UF - Usuário Final
UL - *Underwriters Laboratories*
VT - Torque variável
WMO - Weg Motores

LISTA DE SÍMBOLOS

- C_i - Instância i da base de dados
 $d(P, C_i)$ - Distância global
 $d(P, C_i)_j$ - Distância local
f.s. - Fator de serviço
 k - Número de vizinhos mais próximos à uma instância
 m - Número de atributos da instância C_i
 n - Número de elementos do conjunto de treinamento
 N - Número de características de uma faixa de importância do algoritmo kNN
 NC - Número de máximo de distintas combinações de módulos
 p - Número de atributos da instância de interesse P
 $p(P, C_i)$ - Relevância do voto de uma instância
 P - Instância de interesse
 q_d - Quociente entre o número de consultas técnicas enviadas à seção de certificação e o número de projetos detalhados pela engenharia
 r - Ordem da dimensão
 $Sim(P, C_i)$ - Função de similaridade
 $T_{líquido}$ - Temperatura do líquido
 $T_{mistura}$ - Temperatura da mistura
 w_j - Peso do atributo j
 x_j - Atributo j

SUMÁRIO

1	CONFORMIDADE DO PRODUTO	31
1.1	OBJETIVOS	32
1.1.1	Objetivo geral	32
1.1.2	Objetivos específicos	32
1.2	JUSTIFICATIVA.....	33
1.2.1	Relevância do tema	35
1.3	ESCOPO DO TRABALHO	35
1.4	DESCRIÇÃO DA DISSERTAÇÃO	36
2	DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS NA EMPRESA-ALVO	39
2.1	DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS PARA CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA	39
2.1.1	Sistema de Configuração do Produto (SCP)	41
2.2	PROJETO DE NOVAS LINHAS DE MOTORES ELÉTRICOS NA EMPRESA ALVO	43
2.3	PROJETO DE MOTORES ELÉTRICOS CUSTOMIZADOS NA EMPRESA ALVO.....	47
2.4	DEFINIÇÃO DAS PARTES INTERESSADAS	51
2.4.1	Definição do público alvo do sistema especialista	51
2.4.2	Definição dos especialistas no domínio de conformidade	52
2.4.2.1	Atividades dos especialistas no domínio de conformidade...	53
2.4.3	Razões de não conformidade no decorrer do projeto do produto	54
3	NORMALIZAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS	57
3.1	CASOS DE NÃO CONFORMIDADE EM COMPONENTES DE PRODUTOS ELÉTRICOS	57
3.1.1	Falta de etiqueta do Inmetro em eletrodomésticos da Electrolux	57
3.1.2	Risco de vazamento de combustível em geradores portátil Honda modelo EG2800i	58

3.1.3	Perdas de pressão na bomba de transmissão dos veículos Ram Promaster 2015	58
3.1.4	Componente de ventilação positiva do cárter com aquecedor de veículos da Mitsubishi Fuso.....	58
3.1.5	Risco de sobreaquecimento de disjuntores da Siemens e Murray.....	59
3.1.6	Risco de choque em controladores de motores para sistemas de bombas submersas da Franklin Electric.....	59
3.1.7	Risco que choque em motores da bomba da piscina da Nidec Motor Corporation.....	60
3.2	ATMOSFERAS EXPLOSIVAS.....	60
3.2.1	Perigosidade de inflamabilidade.....	62
3.2.2	Definições referentes a motores elétricos para atmosferas explosivas	63
3.2.3	Modelos de marcações por mercado	64
3.3	PRINCIPAIS NORMAS APLICÁVEIS AO PROJETO DE MOTORES ELÉTRICOS	66
3.3.1	Normas relativas à área segura	68
3.3.1.1	Normas da série IEC 600034: <i>Rotating Electrical Machines</i>	68
3.3.1.2	Norma NEMA MG1: <i>Motors and Generators</i>	70
3.3.1.3	Normas da série UL 1004: <i>Rotating Electrical Machines</i>	70
3.3.1.4	Normas da série CSA C22.2: <i>Canadian Electrical Code, Part II</i>	72
3.3.2	Normas relativas à atmosfera explosiva.....	73
3.3.2.1	Norma IEC 60079-0:2017, <i>Equipment - General requirements</i>	75
3.3.2.2	Norma IEC 60079-1:2014, <i>Equipment protection by flameproof enclosures "d"</i>	75
3.3.2.3	Norma IEC 60079-2:2014, <i>Equipment protection by pressurized enclosure "p"</i>	77
3.3.2.4	Norma IEC 60079-7:2015, <i>Equipment protection by increased safety "e"</i>	78

3.3.2.5	Norma IEC 60079-31:2013, <i>Equipment dust ignition protection by enclosure "t"</i>	79
3.4	CERTIFICAÇÕES DE MOTORES ELÉTRICOS	79
3.4.1	Certificações de motores elétricos - UL e CSA	81
3.4.2	Certificação de componentes e materiais	82
3.4.3	Padrões mínimos de desempenho energético.....	83
4	SISTEMAS ESPECIALISTAS AUXILIADOS POR EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO EM BASE DE DADOS	87
4.1	INTELIGÊNCIA E COGNIÇÃO HUMANA	87
4.2	SISTEMAS ESPECIALISTAS.....	89
4.2.1	Base de conhecimento	93
4.2.2	Elaboração de um SE.....	96
4.3	EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO EM BASE DE DADOS.....	98
4.3.1	Fundamentos da extração de conhecimento em base de dados.....	98
4.3.1.1	Algoritmo de classificação baseado em proximidade	100
4.3.1.2	Cálculo da distância global entre instâncias.....	101
4.3.1.3	Votação para definir a classe da instância de interesse	104
4.4	TRABALHOS RELACIONADOS A SISTEMAS ESPECIALISTAS DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE.....	105
5	SISTEMA ESPECIALISTA DE VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE DO PRODUTO	111
5.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA ESPECIALISTA DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE.....	111
5.1.1	Distribuição percentual de consultas técnicas	113
5.1.2	Versões do sistema	118
5.1.3	<i>Shell</i> MAESTRO	118
5.1.4	Transposição conhecimento dos especialistas de conformidade	120
5.1.4.1	Captação do conhecimento dos especialistas de conformidade.....	120

5.1.4.2	Implementação do conhecimento dos especialistas de conformidade	121
5.2	ARQUITETURA DO SISTEMA ESPECIALISTA DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE	122
5.2.1	Controle geral das operações do sistema	123
5.2.2	Definição dos certificados atribuíveis ao produto	125
5.2.2.1	Características gerais do produto	127
5.2.2.2	Modelo padrão de programação de certificação	129
5.2.2.3	Modelo específico de programação de certificação	131
5.2.2.4	Definição do certificado atendido	132
5.2.3	Algoritmo kNN aplicado à determinação de soluções de conformidade.....	132
5.2.4	Definição das necessidades legais e comerciais de acordo com o mercado de aplicação.....	136
5.2.5	Verificação de inconsistências de projeto	139
5.2.6	Apresentação das orientações de projeto.....	141
6	VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE..	145
6.1	INTERFACE E INTERAÇÃO ENTRE USUÁRIO E SEVC.....	145
6.1.1	Dados de entrada: requisitos de projeto	145
6.1.2	Informações de saída: solução proposta	146
6.1.3	Registro das informações	148
6.2	MÉTODOS DE VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SEVC.....	150
6.2.1	Treinamentos realizados	150
6.2.2	Método de verificação das regras	150
6.2.3	Método de avaliação da amostra de projetos	151
6.3	RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO SEVC.....	152
6.3.1	Estudos de caso discutidos no protótipo SEVC.....	152

6.3.1.1	Problema 1: temperatura do ambiente de operação do produto.....	153
6.3.1.2	Problema 2: código de temperatura.....	154
6.3.1.3	Problema 3: múltiplas certificações	155
6.3.1.4	Problema 4: conjunto porta escova	156
6.3.1.5	Problema 5: temperatura ambiente de -20°C até +55°C	157
6.3.2	Resultados da avaliação da amostra de projetos.....	158
6.3.3	Resultados de usabilidade do SEVC.....	161
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	165
7.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	167
7.1.1	Elaboração de respostas de acordo com a dúvida do usuário.....	167
7.1.2	Disponibilização do SEVC para filiais	167
7.1.3	Integração do SEVC com sistemas de venda guiada.....	167
7.1.4	Verificação de conformidade para um produto com múltiplos destinos	168
7.1.5	Validação da aplicação do algoritmo kNN para busca automática de placas similares.....	168
7.1.6	Utilização dinâmica do kNN para sugestões de acordo com restrições impostas pelo cliente	169
	REFERÊNCIAS	171
	APÊNDICE A - DEFINIÇÕES RELATIVAS À ATMOSFERA EXPLOSIVA	189
	APÊNDICE A1 - ÁREAS.....	189
	APÊNDICE A2 - ZONAS, CLASSES E DIVISÕES	189
	APÊNDICE A3 - NÍVEL DE PROTEÇÃO DO EQUIPAMENTO ...	190
	APÊNDICE A4 - GRUPOS	191
	APÊNDICE A5 - TIPO DE PROTEÇÃO.....	191
	APÊNDICE A6 - CLASSE DE TEMPERATURA - Tcode	192
	APÊNDICE A7 - GENERALIDADES.....	193
	ANEXO A - DESENHO DE MOTOR ESPECIAL.....	195

ANEXO B - FOLHA DE DADOS 197

**ANEXO C - INFORMAÇÕES DA PLACA DE IDENTIFICAÇÃO
..... 199**

1 CONFORMIDADE DO PRODUTO

O aumento da concorrência econômica global tende a levar organizações a explorar potenciais oportunidades para melhorar a entrega de seus produtos ou serviços (PARK, LEE e KWON, 2010). Neste cenário, uma das maiores preocupações dos profissionais de qualquer indústria é garantir a conformidade legal, contratual e de desempenho dos requisitos que governam suas disciplinas (BEACH et al., 2015). Como síntese desta questão, define-se para âmbito do estudo apresentado neste documento o termo conformidade como certificação ou confirmação que o autor de uma ação cumpre os requisitos de práticas aceitas, legislação, regras e regulamentos prescritos, padrões especificados ou termos de um contrato. Em contraste, desacordos com os princípios de conformidade geram de não conformidade.

Diversos fatores demonstram a importância da inserção do conceito de conformidade no projeto de produto. A constante preocupação das empresas com qualidade, tempo de entrega e orçamento devido à ameaça de pena financeira (BEACH et al., 2015) é corroborada pela tendência de serviços e projetos em atender as exigências do cliente meticulosamente (KAMAL e IRANI, 2014). No âmbito de motores elétricos, a conformidade com as exigências legais de cada mercado é imprescindível à comercialização do produto e, conseqüentemente, à sua competitividade (DUARTE, 2017). Como exemplo, a legislação vigente nos Estados Unidos da América exige que motores elétricos sejam certificados por órgãos legalmente acreditados pela Administração de Segurança e Saúde no Trabalho (*Occupational Safety and Health Administration* - OSHA). Todavia, a certificação depende do cumprimento de diversos regulamentos, as quais variam de acordo com características do produto e sua aplicação.

As distintas estruturas e semânticas adotadas em diferentes normas dificultam a verificação da conformidade do produto. De acordo com Beach et al. (2015), a semântica empregada dentro de um domínio não é padronizada em diferentes regulamentos, e os dados comumente são armazenados em formatos distintos e incompatíveis (e.g família de normas IEC 60034 - *Rotating Electrical Machines* e norma NEMA MG1 - *Motors and Generators*). Não obstante, os autores destacam o alto nível de detalhamento técnico dos regulamentos, o que é agravado, segundo Malsane et al. (2015), pela recorrente subjetividade dos textos e complexa estrutura e inter-relação.

Sistemas computacionais podem auxiliar a verificação da conformidade. Hajdasz (2014) discute a sistematização da tomada de

decisão de tarefas repetidas em projetos multidisciplinares e únicos com requisitos específicos de projeto, planejamento, programação e gestão. Giblin et al. (2005) descreve um modelo de sistematização de regras de conformidade aplicadas no gerenciamento de processos. Beach et al. (2015) e Malsane et al. (2015) apresentam sistemas especialistas aplicados a verificação regulamentar na construção civil, utilizando, respectivamente, representação do conhecimento de forma semântica e orientada ao objeto. Matelli (2008) destaca vantagens da sinergia de utilização de sistemas especialistas e identificação de projetos similares através de modelos de Raciocínio Baseado em Casos - RBC.

O presente trabalho foi desenvolvido em parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC e a empresa WEG Equipamentos Elétricos S/A, divisão de motores elétricos, a qual será denominada nas citações ao longo deste documento como empresa-alvo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver e validar um sistema especialista para auxílio à verificação da conformidade do projeto de motores elétricos no que tange às especificações do cliente, normas dos países em que o produto será vendido ou irá operar. Além da verificação, o sistema deve propor alternativas ao projeto e orientar como aplicá-las ao produto de modo a garantir seu correto detalhamento pela engenharia.

1.1.2 Objetivos específicos

- Compreender e representar a sequência de atividades e documentos utilizados ao longo do processo de verificação da conformidade do produto, intentando a representação do fluxo de informações entre as partes interessadas ao longo do projeto e a identificação das razões de não conformidade.
- Definir o perfil do usuário final e dos especialistas no domínio, objetivando compreender as atribuições e limitações de cada parte.
- Compreender a funcionalidade e integração dos diversos sistemas computacionais utilizados no projeto de motores especiais.

- Adquirir, integrar e representar o conhecimento incorporado ao processo de verificação de conformidade através da observação das rotinas de trabalho, compreensão da natureza algorítmica e heurística dos problemas de projeto e revisão literária.
- Implementar o conhecimento adquirido relativo à identificação da certificação do produto e definição das informações emitidas ao cliente final.
- Estabelecer estratégias e executar a verificação da consistência do código computacional e validação da conformidade das respostas emitidas pelo Sistema Especialista de Verificação de Conformidade - SEVC.
- Avaliar a aplicabilidade do SEVC e impactos de sua implementação.

1.2 JUSTIFICATIVA

O setor de engenharia de produto da divisão de motores elétricos da empresa-alvo apresenta recorrentes problemas de inconformidade no detalhamento do produto. Este cenário remete a impactos negativos na competitividade comercial devido a custos mensuráveis como necessidade de retrabalhos internos e atrasos na entrega do produto. Indicadores internos de 2017 internos da empresa-alvo apresentam a relação entre custo de não qualidade em Receita Operacional Líquida - ROL de 263 Partes Por Milhão - PPM e, conforme a Tabela 1.1, o percentual de detalhamento de projetos sem erros de 2017 foi de 97 %. Além destes, existem custos de difícil valoração relativos a conflitos entre equipes devido a problemas de comunicação e repercussão negativa da imagem da empresa perante o cliente por falta de qualidade de projeto, o que é associada diretamente com perda de competitividade por pesquisas realizadas pela *American Society of Mechanical Engineers* - ASME (1985, 1986 apud BACK et al., 2008).

Tabela 1.1 - Quantidade de materiais criados e percentual especial

Ano	Percentual de projetos especiais (%)	Percentual de detalhamentos sem erros identificados na verificação de projetos MIM (%)
2013	43	94
2014	40	94
2015	46	96
2016	44	97
2017	46	97

Fonte: Adaptada de Relatório de Indicadores do Departamento de Engenharia de Produto - WMO (2017)

Existe interesse dos potenciais usuários do sistema (equipe de vendas internacionais e projetistas) em maior disponibilidade de informação. Isso foi verificado através do aumento do quociente entre o número de consultas técnicas enviadas à seção de certificação e o número de projetos detalhados pela engenharia (q_d). Esse quociente representa um indicador que, independentemente da quantidade de projetos realizados, permite determinar o percentual de dúvidas ou informações inacessíveis durante o processo de vendas e projeto. Em média, $q_d \cong 5,65$ %. Em contraste, ao realocar um especialista de conformidade próximo aos vendedores por 2 h/dia no período de um mês (facilitando assim o acesso ao seu conhecimento), o quociente subiu para 9,65 %. O aumento q_d indica a falta de segurança na tomada de decisões que necessitam de elevado conhecimento técnico de áreas avançadas no processo de projeto do produto.

Existem perdas consideráveis relativas ao *lead time*, custo homem-hora e alocação de recursos na execução de tarefas potencialmente sistematizáveis. Estima-se que entre 30 % e 40 % das tarefas exercidas por especialistas das seções técnicas de projeto na empresa-alvo já foram, em algum momento, executadas. Como exemplo, tem-se a verificação da conformidade de um produto alguma vez já configurado em atender a um certificado ou dúvidas relativas as quais os mínimos níveis de rendimento que o produto deve cumprir para poder ser comercializado em determinado país. Além disso, a probabilidade de fechamento de negócio aumenta se o *lead time* diminuir. O elevado volume de trabalho imposto a estas seções da empresa aumenta o tempo ocioso de cada projeto e necessita alocar profissionais qualificados às tarefas de desenvolvimento e melhorias para resolução de problemas com soluções já dominadas. O problema de custos associados ao detalhamento de motores elétricos é discutido por Massirer (2007), que destaca a complexidade da tarefa devido ao elevado número de informações analisadas e processadas.

A falta de qualidade das informações transmitidas ao longo do projeto potencializa inconformidades. O cenário atual, fundamentado na comunicação verbal e escrita entre as partes envolvidas, possibilita falhas no entendimento, processamento e resposta a questões de projeto. O elevado controle de regras de decisão sistematizadas e implementadas nos sistemas internos somados à possibilidade de expansão incremental do sistema computacional mitigaria essas falhas. Não obstante, a rotina de projeto passa de altamente linear para um modelo simultâneo devido à convergência do conhecimento de diversos especialistas em uma fonte de verificação à tomada de decisão. Tais premissas estão em

conformidade com as vantagens relacionadas a SE, propostas por Giarratano e Riley (2005), relativas à qualidade da informação e assertividade na tomada decisão. Não obstante, a sistematização do conhecimento permite tirar maior proveito de mudanças previsíveis de mercado, como futuras alterações de normas. Isso se deve à possibilidade de agendar quando determinados grupos de regras entrarão em vigência no SE.

Acrescenta-se a necessidade do desenvolvimento da memória corporativa de modo a garantir a capacidade técnica da empresa independentemente da disponibilidade ou rotatividade de colaboradores. Silva (1998) ratifica tais vantagens referentes à automatização computacional na tomada de decisão através de princípios de Inteligência Artificial (IA) aplicados às organizações, apontando o aumento de confiabilidade e permanência atemporal de conhecimento.

1.2.1 Relevância do tema

A não conformidade de componentes de produtos elétricos resulta em perdas financeiras significativas aos responsáveis, conforme exemplificado na Seção 3.1 deste documento. Todavia, a verificação de normas é pouco explorada em sistemas inteligentes (BEACH et al., 2015) e, de acordo a pesquisa literária realizada, grande parte dos estudos de automatização da verificação da conformidade foram realizados na área de construção civil. Ademais, destaca-se que nenhum trabalho relativo à automatização da verificação e orientação regulamentária de motores elétricos foi encontrado.

Devido à extensão e complexidade do tema, o qual aborda metodologias de desenvolvimento de motores, certificação do produto e sistematização do conhecimento, vários recursos foram alocados à pesquisa. O desenvolvimento do sistema contou com apoio de seções de engenharia do produto, sistemas de engenharia e conformidade. Um conjunto de 2.285 casos de dúvidas relativas à conformidade de motores elétricos na empresa-alvo foi analisado, um banco de dados de 15 mil motores elaborado, e a validação efetuada por especialistas de conformidade em uma amostra de 450 casos ocorridos em um prazo de 12 meses.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O aumento da abrangência do escopo automatizado remete a regras elaboradas para casos altamente improváveis de ocorrer, os quais

podem ser verificados por Especialista no Domínio - ED por menor custo. Em contrapartida, uma baixa automatização exige mais horas de especialistas. Como solução de compromisso, objetiva-se uma redução de 25 % das consultas técnicas relativas ao mercado norte americano. Todavia, de acordo com a estratégia de desenvolvimento incremental do SEVC, melhor discutida na seção 4.2 deste documento, o nível de automatização pode ser alterado através da implementação ou bloqueio de regras.

A limitação do escopo de produtos, apresentada no Quadro 1.1 e discutida detalhadamente na seção 5.1.1 deste documento, foi definida através da quantidade relativa consultas técnicas enviadas às equipes especializadas no domínio de conformidade de motores elétricos.

Quadro 1.1 - Limitações do escopo

Atributo	Valor
Mercado	Canadá, Estados Unidos da América e México
Órgãos certificadores	CSA, EAC, UL, NOM ANCE
Tipos de área de aplicação	Segura e classe I divisão 2
Linha de produtos	W22

Fonte: Autoria própria

1.4 DESCRIÇÃO DA DISSERTAÇÃO

No **capítulo 1** é apresentado o conceito e importância da conformidade de produto, e a aplicabilidade de sistemas especialistas é fundamentada através da relevância intraempresarial da qualidade e acesso à informação. Em adição, a limitação do escopo do projeto é estabelecida.

No **capítulo 2** é apresentado o processo de desenvolvimento de motores na empresa alvo. Para esse fim, as metodologias de projeto adotadas no desenvolvimento de novas linhas e plataformas, e na customização de produtos existentes, são detalhadas e comparadas. Desse modo, é identificada a inserção do conceito de conformidade ao longo do desenvolvimento do produto e potenciais alterações no processo através da utilização do SEVC. Ademais, são definidos o público alvo e especialistas no domínio, assim como suas principais atribuições e limitações.

No **capítulo 3** são apresentados casos contemporâneos e de elevada repercussão relativos a não conformidade normativa para ilustrar custos da não conformidade. Ademais, são expostos conceitos relevantes à normalização e certificação de motores elétricos. Para tal, as principais normas aplicáveis a máquinas elétricas girantes são

destacadas, bem como a relação destas com os requisitos legais para o produto operar em determinado país. Não obstante, são apresentados o conceito e definições relativas à atmosfera explosiva.

No **capítulo 4** são apresentados os principais conceitos de sistemas especialistas e extração de conhecimento em base de dados através da identificação de similaridade. Neste, é traçado um paralelo entre o funcionamento de SE e a capacidade humana de resolução de problemas, além de abordados princípios de elaboração incremental para o aumento de funcionalidades. Por fim, são sintetizados trabalhos relevantes ao desenvolvimento de sistemas especialistas de verificação de conformidade.

No **capítulo 5** é apresentado o desenvolvimento do SEVC. Neste, além do conceito de utilização do sistema, a arquitetura e elaboração das regras referentes às restrições técnicas, restrições legais e comerciais, identificação de inconsistências de projeto e potenciais orientações são detalhadas. Não obstante, é apresentado o cálculo iterativo de identificação de motores similares previamente comercializados.

No **capítulo 6** são apresentados os resultados do SEVC. Primeiramente, é exibida sua interface e funcionalidades e, na sequência, a metodologia de verificação e validação, e potência redução de dúvidas técnicas.

No **capítulo 7** são discutidas as vantagens e desvantagens da implementação do SEVC, e propostas sugestões para trabalhos futuros.

2 DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS NA EMPRESA-ALVO

No âmbito de projeto de motores elétricos, fatores como imperfeições na integração de conhecimentos de áreas diversas, elevada quantidade de informações emitidas em diferentes formatos e necessidade de interpretação e processamento de eventos complexos por especialistas humanos aumentam o risco do surgimento e não detecção de inconformidades. Objetivando mitigar esse risco, o emprego de metodologias de projeto, termo definido por Evbuomwan, Sivaloganathan e Jebb (1996), como coleção de procedimentos, ferramentas e técnicas para os projetistas usarem, quando estão projetando, permite uma abordagem procedural e sistêmica ao problema de desenvolvimento de produto.

No decorrer deste capítulo, são apresentados conceitos de desenvolvimento de produtos para customização em massa e detalhes sobre as atividades exercidas em cada fase de projeto na empresa-alvo, intentando a identificação das etapas de maior relevância ao SEVC. Em adição, são expostas as atribuições do público alvo e especialistas no domínio de modo a evidenciar a diferença de amplitude e profundidade de conhecimento das partes interessadas. Desse modo, são estabelecidos os principais motivos de não conformidade ao longo do projeto do produto.

2.1 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS PARA CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA

Downey (1969 apud Back et al., 2008) apresenta os efeitos das diferentes fases do ciclo de vida no custo de produto, sugerindo que cerca de 70 % desse custo é definido nas fases iniciais de projeto. Apesar da premissa destacar a importância da assertividade de decisões, a complexidade de elaboração de um sistema organizacional capaz de prever e tomar decisões em um mercado futuro fica implícita. Fettermann e Echeveste (2011) considera o projeto para customização em massa (*Design for Mass Customization - DFMC*) como uma forma de introduzir questões de economia de escopo e escala nas fases iniciais de um projeto. O processo tem como princípios a utilização de uma manufatura flexível, técnicas e práticas de modularidade. De acordo com Jiao, Ma e Tseng (2003), o DFMC permite ampliar a visão de desenvolvimento de um único produto para uma família de produtos,

além de permitir uma eficiente participação dos consumidores no processo de desenvolvimento.

A modularidade pode ser entendida como uma forma especial de projeto na qual, intencionalmente, cria-se um acoplamento entre os componentes do produto, por meio da padronização das especificações das interfaces dos componentes (MARIBONDO 2002 apud FLEIG, 2008). Para que a modularidade ocorra, faz-se necessário aumentar a similaridade entre funções e as formas do sistema e minimizar efeitos incidentais entre os componentes físicos do sistema. Projeto modular é definido por Li, Xue e Gu (2008) como uma abordagem para criar produtos utilizando grupos de componentes chamados de módulos. Estes módulos são relativamente independentes entre si, podendo facilmente ser desmontados do produto para aprimoramentos, reparos, reciclagem ou reutilização. Portanto, a estratégia de desenvolvimento de um projeto modular baseia-se na divisão de um produto em sistemas ou subsistemas, os quais podem ser desenvolvidos individualmente, porém que trabalham como um conjunto integrado. Baldwin e Clark (2000) considera a modularidade como uma estratégia para organizar produtos complexos de forma a economizar custos.

A plataforma de produtos é definida como a utilização de um conjunto de componentes, módulos ou partes em comuns que compõem uma quantidade maior de produtos que podem ser rapidamente desenvolvidos e lançados (MEYER e LEHNERD 1997). A definição se assemelha à proposta por Li, Xue e Gu (2008), que considera o projeto de uma plataforma como uma abordagem que agrupa os componentes em comum de um grupo de produtos de uma família, sendo esta a plataforma a ser compartilhada entre estes produtos. Fleig (2008) destaca a importância do conceito na manutenção da competitividade comercial, uma vez que este possibilita um aumento nas opções oferecidas, reduz o tempo de desenvolvimento e proporciona ganhos de escala com a manufatura de componentes padronizados em maior volume.

Uma família de produtos é um grupo de produtos relacionados e baseados em plataformas que facilitam a customização em massa devido ao emprego da modularidade, possibilitando uma variedade de produtos para diferentes segmentos de mercado de modo economicamente eficiente (OSBORNE e RUBINSTEIN, 2002; FLEIG, 2008). As possíveis composições entre a plataforma de produtos e os módulos/componentes disponibilizam uma maior quantidade de alternativas de produtos. O conjunto destas possíveis composições forma a família de produtos, que é resultado do aproveitamento de uma

- Redução no prazo de entrega para entregar os produtos
- Horas de trabalho salvas
- Maior qualidade da informação do produto/especificações
- Melhor qualidade do produto
- Entrega pontual melhorada
- Maior produtividade dos funcionários
- Custos de produção mais baixos
- Maior eficiência no pós-venda
- Melhor gerenciamento do conhecimento
- Melhor controle de variantes de produtos
- Redução do custo do ciclo de vida do produto
- Maior satisfação do cliente
- Melhor relacionamento com o cliente/comunicações

A empresa-alvo utiliza um SCP para oferecer variantes de seus produtos, comumente elaboradas a partir da modificação de produtos existentes. Os valores das características, os quais descrevem o produto de forma simplificada, são classificados em descrição de carregamento, características elétricas, mecânicas e de ambiente, acessórios, testes requisitados e documentação. Como exemplo de interface, na Figura 2.2 é apresentada a tela principal do configurador.

Figura 2.2 - Tela principal do configurador do produto

Fonte: Acervo interno WEG (2017)

O SCP, a partir de alguns valores iniciais, como mercado e linha do produto, carrega a configuração padrão. Na sequência, alterações podem ser realizadas. Os valores disponíveis para cada característica são classificados, de acordo com o tamanho da carcaça, em padrão, opcional e especial, conforme a Figura 2.3. Ao final do processo de configuração, motores especiais são aqueles que possuem um ou mais valores de características especiais.

Figura 2.3 - Valores padrão, opcional especial e não aplicável a blindagem e folga do rolamento dianteiro de acordo com o tamanho da carcaça

Característica	Carcaça											
	213T	215T	254T	256T	284T	286T	324T	326T	364/5T	404/5T	444/5T	445/7T
Blindagem/Folga rolamento dianteiro												
2RS	O	O	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2RS-C3	O	O	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
2RS-C4	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
ZZ	P	P	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
ZZ-C3	O	O	E	E	E	E	E	E	E	E	NA	NA
ZZ-C4	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	NA	NA
Z	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Z-C3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Z-C4	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
C3 (sem graxeira)	E	E	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
C3 (com graxeira)	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
C4	E	E	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Isolado M/C3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	O	O	O	O
Isolado C3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	O	O	O	O

Fonte: Acervo interno WEG (2017)

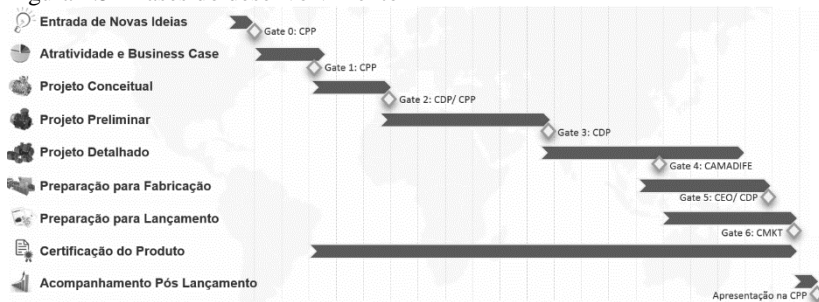
Os valores que compõem a configuração são utilizados por sistemas externos para elaboração a lista técnica do produto. Todavia, por vezes é necessária a definição manual de posições da lista técnica ou completo detalhamento de componentes.

2.2 PROJETO DE NOVAS LINHAS DE MOTORES ELÉTRICOS NA EMPRESA ALVO

A necessidade do aumento da qualidade do produto com foco no cliente, diminuição do ciclo de desenvolvimento e diminuição de custos fez com que no início dos anos 80 surgissem pesquisas com o objetivo de aumentar o grau de paralelismo das atividades de desenvolvimento (ROZENFELD, 2014). Segundo o autor, estudos apresentados em 1988 pela Agência de Projetos de Pesquisa em Defesa Avançada (*Defense Advanced Research Project Agency - DARPA*) resultaram na divulgação do termo Engenharia Simultânea. Sprague, Singh e Wood (1991), definem engenharia simultânea como:

A engenharia simultânea é uma abordagem integrada de projeto que busca considerar, desde o

Figura 2.5 - Fases do desenvolvimento



Fonte: PMO Marketing WMO (2017)

A etapa de entrada de novas ideias consiste na aquisição, filtragem e análise de ideias por um grupo de apoio ao portfólio, resultando em melhorias de linha através da inclusão de produtos especiais ou customizados de acordo com indicativos coletados de filiais, representantes, clientes, colaboradores e gestão da empresa. Não obstante, tem-se a previsão de investimento e, caso seja necessário o desenvolvimento de novas tecnologias, a verificação do potencial comercial do produto de acordo com a pesquisa de inovação tecnológica.

Durante a fase de atratividade e caso de negócio (*business case*) é realizada a análise mercadológica detalhada da oportunidade de negócio. Para isso, são definidas as características do mercado e produto, escopo do projeto e descrição das fases necessária para sua realização. São elencados os principais clientes e concorrentes, e identificadas as soluções externas de projeto. Em adição, tem-se a avaliação das tecnologias necessárias, patentes e normas aplicáveis. Não obstante, os riscos associados durante a fase de concepção e desenvolvimento são identificados. No que tange à análise econômica, determina-se a viabilidade do projeto com base no tamanho de mercado, potencial de vendas e investimentos envolvidos de modo a estimar o Retorno Sobre o Capital Investido - RSCI. Por fim, a viabilidade econômica é avaliada, seguindo para o termo de abertura de projeto.

Na fase de projeto conceitual, são geradas as soluções ao projeto através de prototipagem virtual e experimentos físicos do produto. Os requisitos e especificações detalhadas dos motores são definidos e alternativas para funções ou subsistemas críticos são projetadas e prototipadas. Tem-se um extensivo levantamento de informações através da análise de patentes, normas e histórico de falhas. Ademais, são buscadas soluções para componentes de origem externa e realizado

mapeamento e avaliações da cadeia de fornecedores, e identificação de produtos comprados. Por estas razões, uma equipe de desenvolvimento é formada com representantes responsáveis pelos projetos elétricos, mecânicos, inovação tecnológica, qualidades e engenharia industrial. Como métricas da etapa, destacam-se a análise de valor através da avaliação de diferentes alternativas de projeto com base em critérios técnicos e econômicos, análise geral de risco e reavaliação da análise de investimentos e RSCI, atualizações da análise de investimento inicial e indicadores de capacitação fabril.

Ao longo do projeto preliminar é realizada a validação das alternativas de produto (projeto e processo) através de protótipos. Para que isso ocorra, são desenvolvidos os projetos elétricos e mecânicos de casos críticos e que representam uma amostragem significativa dos motores de maior volume previsto de produção, além da análise dos modos de falha e seus efeitos de projeto e processo. Ademais, é realizado o mapeamento completo da cadeia de fornecedores, elaboração das listas de investimentos e identificação de recursos críticos. Nesta etapa é efetuado o planejamento de certificações, que objetiva definir a estratégia de certificação para o produto considerando o mercado alvo e as normas aplicáveis, custo e prazo de entrega. Por fim, tem-se a elaboração de protótipos para avaliação preliminar do processo de fabricação, e posterior atualização do RSCI.

A fase de projeto detalhado objetiva adicionar o subsídio técnico do produto completo e expansão dos projetos de maior volume para toda a linha. Nesta fase, os projetos mecânico e elétrico detalhados são elaborados. Além destes, é iniciada a fabricação ou compra de ferramentais e equipamentos críticos, e definida a lista de fornecedores e planos de inspeção, roteiro detalhado das atividades de fabricação e realizados estudos da capacidade fabril. Após a utilização dos investimentos necessários e RSCI, são realizados os depósitos de patentes de invenção, modelo de utilidade e desenho industrial. Nesta etapa do projeto os produtos são certificados, para isso, a documentação para certificação é emitida, consistindo na transcrição dos projetos em documentos de certificação, considerando critérios regulamentários definidos para cada mercado e solicitações do órgão certificador. Na sequência, tem-se a definição das amostras de certificação e posterior aprovação destas no órgão certificador.

A preparação para fabricação intenta verificar a capacidade do processo de produção em massa através da fabricação e validação do lote piloto e implementação da nova linha nos sistemas computacionais de auxílio ao projeto. No que tange a produção, tem-se a aquisição ou

fabricação de ferramentas, máquinas e equipamentos, adequações nos roteiros de produção e desenvolvimento do lote piloto. Em adição, é efetuado o detalhamento de componentes opcionais e subconjuntos, e atualizadas as normas e critérios de projeto. Em relação aos sistemas computacionais, a implementação, validação e liberação das regras do configurador de produto e códigos de pesquisa (utilizados na elaboração automática da lista técnica) são realizadas, além do desenvolvimento de blocos de desenho bidimensionais e tridimensionais, e desenhos manuais. Destaca-se que nesta etapa são desenvolvidos os layouts de placas e etiquetas de identificação do produto, além da configuração do sistema para a geração automática das mesmas.

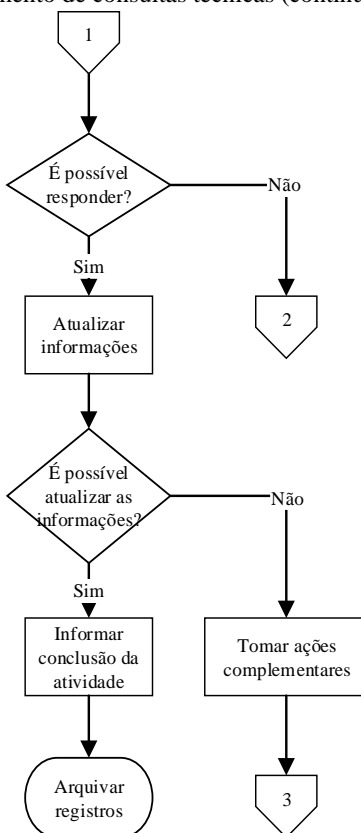
A preparação para o lançamento introduz a nova linha no mercado por meio da elaboração do plano de lançamento e criação do material técnico e comercial de divulgação, com extensivas atividades de marketing e vendas. Na etapa, é realizada a definição dos preços globais e seu escopo básico, registro da marca do produto, lançamento e treinamento das diferentes áreas envolvidas.

O acompanhamento pós lançamento consiste no monitoramento e análise comparativa entre indicadores aprovados no lançamento e os obtidos a posteriori, como volume de vendas e margem de lucro.

2.3 PROJETO DE MOTORES ELÉTRICOS CUSTOMIZADOS NA EMPRESA ALVO

De acordo com as necessidades particulares de clientes, projetos customizados são desenvolvidos. Porém, por se tratar de um projeto não previsto na linha do produto, faz-se necessária a análise detalhada por diversas áreas técnicas. Por esse motivo, é realizada a atividade de processamento de consultas técnicas (Figura 2.6). A suficiência de informações da consulta, emitida pela área de vendas, é verificada pela primeira parte interessada. Caso confirmada, a consulta é processada. Todavia, se identificada a necessidade de consulta a outras áreas, esta é encaminhada. Quando a resposta não mais influenciar outras áreas, as informações são atualizadas e a conclusão da atividade informada.

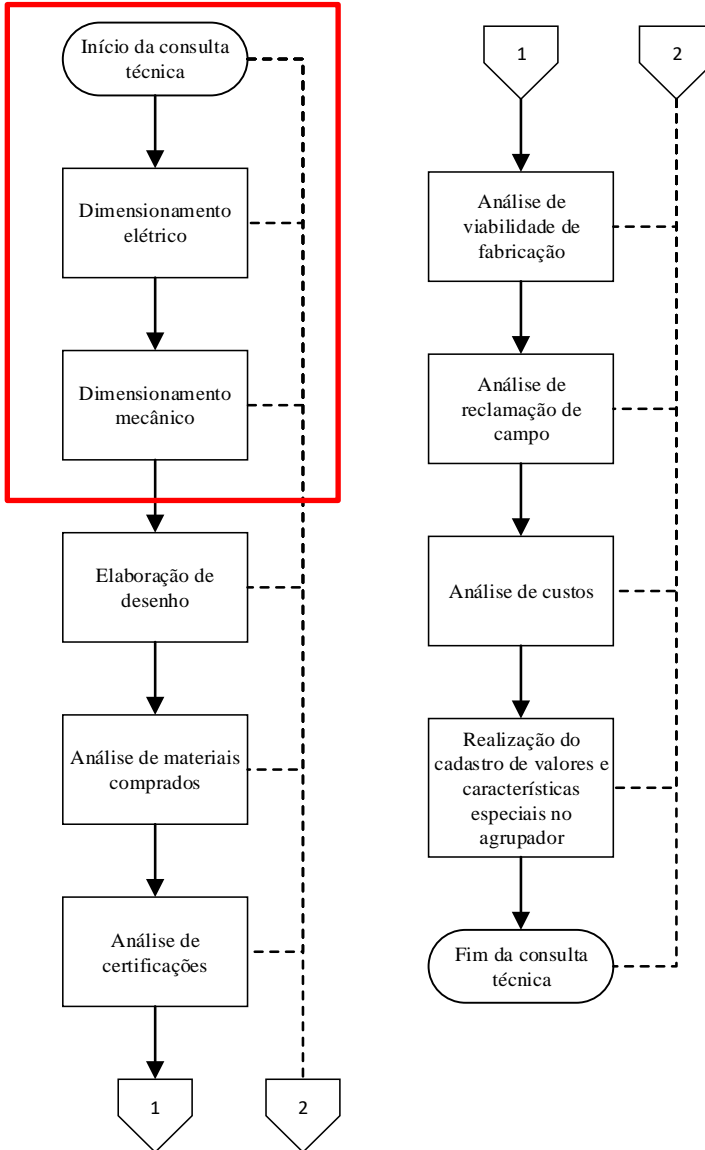
Figura 2.6 - Processamento de consultas técnicas (continuação)



Fonte: Adaptada de WPS - 19959 (2017)

A atividade de processamento de consultas técnicas busca a padronização dos procedimentos de dimensionamento das características elétricas e mecânicas, elaboração dos desenhos, verificação da necessidade de aquisição externa de materiais, análises de certificações, viabilidade de fabricação, reclamações de campo e custos, entre outras análises que exigem áreas dedicadas a funções específicas do projeto. O fluxo principal de uma consulta, representado por setas cheias na Figura 2.7, caracteriza um projeto elaborado de modo sequencial pelas principais áreas técnicas. Porém, é possível a ocorrência de retornos no fluxo de informações ou não análise do projeto em alguma área (linha tracejada), prejudicando a qualidade dos resultados e aumentando o tempo entre o início e a conclusão de um processo de produção.

Figura 2.7 - Partes envolvidas ao longo do projeto de novos produtos



Fonte: Autoria própria

2.4 DEFINIÇÃO DAS PARTES INTERESSADAS

A disponibilização do conhecimento de especialistas às equipes de projetos e vendas, proposta do presente trabalho, é pertinente devido à diferença de profundidade e amplitude do conhecimento dos diversos profissionais. Especialistas possuem elevado conhecimento sobre domínios específicos, equipes de projetos apresentam compromisso entre amplitude de domínios e profundidade do conhecimento, com satisfatória compreensão dos sistemas da empresa e suas integrações, e equipes de vendas possuem conhecimento relativamente amplo, o que permite compreender as necessidades do cliente e elaboração de propostas de venda, porém não possuem o mesmo conhecimento técnico das equipes de projetos e especialistas. Tendo em vista tal discrepância, ao longo dessa seção serão apresentadas as principais atribuições do público alvo do SEVC e dos especialistas no domínio de conformidade.

2.4.1 Definição do público alvo do sistema especialista

O público alvo do sistema especialista são as áreas de vendas internacionais e engenharia de aplicação, conforme destacado na Figura 2.7. Consistindo nas etapas iniciais do projeto de motores especiais, estas representam a captação das necessidades do cliente, definição das especificações do produto e dos valores das principais características de projeto.

A introdução das especificações do cliente nas atividades de projeto é realizada por representantes de vendas auxiliados pelo sistema de configuração do produto. Não obstante, quando necessário, valores complementares não existentes no configurador do produto são introduzidos em desenhos de Motores Especiais (ME), conforme ilustrado no ANEXO A. Como exemplo, tem-se a tolerância da ponta de eixo e planos especiais de pintura. Todavia, a avaliação e detalhamento dos diversos produtos e aplicações necessita elevado conhecimento técnico e, por esse motivo, após a definição das especificações do produto, são realizados pelas equipes de engenharia os projetos não previstos no escopo da linha de produtos.

A etapa de dimensionamento elétrico ocorre após a captação das especificações do produto. Com o objetivo de identificar projetos elétricos semelhantes previamente realizados, os quais podem servir de modelo ao novo projeto, comumente são realizadas pesquisas no banco de dados de produtos detalhados através de tabelas de valores, folhas de dados e curvas de desempenho dos motores. Na sequência, são

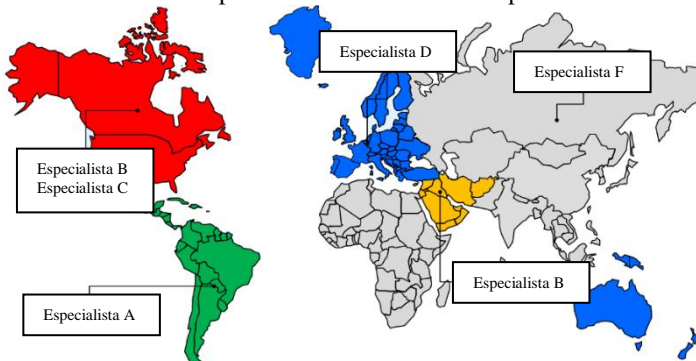
utilizados diversos programas de cálculo e projeto de bobinagem. Além da avaliação sobre a capacidade técnica do cumprimento das especificações do produto, novas informações, como comprimento e espessura do pacote são adicionadas ao projeto. Não obstante, a etapa pode resultar na elaboração de uma nova folha de dados, documento, ilustrado no ANEXO B, que descreve uma série de características técnicas do produto e serve como base para o detalhamento e elaboração da lista técnica.

A etapa de dimensionamento mecânico ocorre após o dimensionamento elétrico. Também objetivando a identificação de projetos similares, comumente são realizadas buscas de consultas e notas em desenhos ME. Na sequência, quando necessário, são executados cálculos de esforços mecânicos, análise estrutural, modal e de frequência crítica, avaliação do empacotamento de componentes e verificação de fadiga. Com principais resultados da etapa, tem-se a avaliação do projeto mecânico, auxílio à criação de novos componentes e verificação do investimento em novos ferramentais.

2.4.2 Definição dos especialistas no domínio de conformidade

A equipe de Especialistas no Domínio de Conformidade (EDC) é composta por analistas especializados nas regulamentações específicas de cada mercado, distribuídos de acordo com a Figura 2.8. Esses profissionais exercem as atividades de obtenção e manutenção de certificações, suporte técnico e monitoramento, o que proporciona suficiente conhecimento à avaliação da conformidade regulamentária de novos produtos.

Figura 2.8 - Divisão dos especialistas de conformidade por mercado



Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

A avaliação da conformidade dos motores elétricos é realizada através da comparação entre sua configuração, as restrições técnicas impostas pelos certificados e os requisitos legais dos países que este será vendido ou irá operar. Em adição, uma subseção responsável pela definição e disposição das informações emitidas nas placas e/ou etiqueta do motor avalia a configuração. Caso inconsistências sejam identificadas, orientações de como a parte interessada deve proceder para o produto ficar em conformidade são elaboradas.

2.4.2.1 Atividades dos especialistas no domínio de conformidade

A obtenção de novas certificações é realizada através da solicitação e acompanhamento do processo de certificação, definição das amostras de análise e suporte aos testes internos e externos. Não obstante, é prestado auxílio à: realização da descrição técnica do produto, definição dos desenhos de certificação e elaboração de regras para os sistemas de engenharia. Por fim, são definidas as informações que serão disponibilizadas para as demais áreas, e realizados treinamentos sobre certificações e procedimentos.

A manutenção das certificações é garantida através do mapeamento e monitoramento dos produtos fabricados, e controle do período validade dos certificados. Desse modo, é necessário o planejamento da programação de produção de motores e componentes para testes de certificação, e posterior atualização dos resultados. Além disso, o suporte à modificação do produto é oferecido e são avaliados impactos de mudanças de certificação sobre o produto ou processo, definindo assim os recursos e componentes certificados disponíveis nos sistemas da empresa. Ademais, tem-se o acompanhamento das revisões dos regulamentos externos e realização de auditorias retaliativas a não-conformidade e ações corretivas.

O suporte técnico é realizado mediante avaliação e resposta de consultas técnicas, análise de não-conformidades no pós-venda e suporte às modificações do produto através da observação de padrões internos dos certificados e identificação de novas oportunidades de negócios por meio de combinação de certificados. Ademais, são definidas regras de geração automática da placa de identificação e elaboradas cartilhas de informações sobre produtos para ajudar a pesquisa e fornecimento de declarações de conformidade.

O monitoramento é desempenhado por meio de participações em grupos de estudo de padrões externos e de órgãos reguladores de vários segmentos, intentando o conhecimento antecipado sobre modificações

de leis, políticas e tendências. Ademais, são realizados comitês internos com questões envolvendo produtos certificados. Por esta razão, ocorrem constantes avaliações das políticas, regulamentos e barreiras técnicas, e manutenção da rede de contatos externos.

2.4.3 Razões de não conformidade no decorrer do projeto do produto

As diversas áreas envolvidas no projeto podem ser responsáveis pela não conformidade do produto. Fatores como falta de qualidade das informações de entrada, desatenção humana, problemas de interface entre equipes, não sistematização e dispersão do conhecimento entre profissionais foram identificados no decorrer dos projetos. De modo mais detalhado, os principais motivos de falha são apresentados a seguir:

- O vendedor não sabe ou não tem a preocupação de fazer as perguntas corretas ao cliente para saber qual certificação o produto fornecido deve atender.
- Dúvidas não são enviadas aos especialistas devido ao acréscimo no *lead time* relativo ao tempo de resposta.
- As mesmas perguntas podem ser feitas diversas vezes ou por diferentes vendedores, não havendo um sistema para registro do conhecimento.
- O vendedor não informa ou não verifica todas as condições da aplicação do produto, necessárias para avaliação da certificação na fase de consulta técnica.
- O responsável por avaliar as certificações, dependendo do volume de trabalho, fornece informações superficiais e incompletas, não se atentando a alguns detalhes que normalmente iria verificar.
- O conhecimento está disperso entre os vários especialistas, por mercado-país, porém a tarefa de responder as dúvidas (consultas técnicas) da área de vendas está centralizada em um colaborador, havendo outro especialista somente em caso de ausência do colaborador inicialmente responsável.
- Há uma relação entre quantidade de certificados e espaço físico na placa para colocar todos os logos e marcações nas placas; por vezes é necessária placa adicional ou retirar algum certificado não necessário.

- Há problemas de comunicação entre o responsável pela avaliação de certificação e o responsável pela avaliação de espaço e disposição de logos e marcações em placas.
- Não estão sistematizadas as soluções que podem ser utilizadas quando o produto não atende uma certificação, como por exemplo fazer uma certificação específica para determinado país ou configuração de produto.

O elevado número de partes interessadas com conhecimento de etapas específicas do projeto e a necessidade da integração dos elementos do ciclo de vida do produto faz com que a utilização de metodologias baseadas em engenharia simultânea seja ideal ao desenvolvimento de motores elétricos. Desse modo, as atividades da equipe de conformidade são incorporadas ao projeto entre as fases de projeto conceitual e lançamento do produto, permitindo a elaboração de linhas ou plataformas em conformidade com requisitos de clientes e mercado. Todavia, a adequação dos produtos às necessidades não previstas na linha ou plataforma faz necessário o desenvolvimento de novos componentes e produtos. Nesse contexto, tem-se um procedimento linear de desenvolvimento, abordagem esta que reduz a visão sistêmica de cada área envolvida, potencializando retrabalhos e erros de projeto. Como agravante, o conhecimento de técnico na interface entre clientes e equipes de vendas é relativamente limitado e necessita da avaliação de especialistas no domínio.

3 NORMALIZAÇÃO E CERTIFICAÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

A aceitação de produtos em um mercado depende da conformidade destes com os requisitos legais vigentes. Nesse contexto, para motores elétricos, é necessária a adesão com extenso número de normas, as quais variam de acordo com o país, características da área de operação e tipos de proteção empregados. Com o objetivo de comprovar que um produto está em conformidade, são emitidos certificados.

No processo de certificação, um órgão certificador, independente e acreditado, atesta a conformidade de produtos ou processos com uma norma ou outro documento normativo especificado. Desse modo, ocorre a promoção da aceitação mútua entre mercados através, mas não exclusivamente, de documentos que atestam a conformidade de produtos.

Neste capítulo são apresentados detalhes sobre atmosferas explosivas, áreas de risco que demandam cuidados especiais no projeto de motores elétricos. Em adição, tem-se o resumo das principais normas aplicáveis, organizadas de acordo com as classificações das aplicações do produto. Por fim, são abordados fundamentos do processo de certificação. Portanto, objetiva-se no capítulo o entendimento de áreas de risco e a relação entre norma, certificados e requisitos legais.

3.1 CASOS DE NÃO CONFORMIDADE EM COMPONENTES DE PRODUTOS ELÉTRICOS

Existem custos associados ao não cumprimento dos requisitos da conformidade de produto, podendo este ser civil, criminal, reputacional e financeiro. De acordo com a Comissão de Segurança de Produtos de Consumo dos Estados Unidos (*United States Consumer Product Safety Commission* - CPSC), mortes, ferimentos e danos materiais causados por incidentes de produtos de consumo custam à nação mais de US \$ 1 trilhão por ano. Para ilustrar o custo da não conformidade, na sequência serão apresentados casos de inconformidades legais de componentes de produtos elétricos.

3.1.1 Falta de etiqueta do Inmetro em eletrodomésticos da Electrolux

Devido à falta da etiqueta de consumo de energia em eletrodomésticos fornecidos a alguns clientes, a empresa Electrolux foi

sentenciada ao pagamento de uma multa de R\$ 33 mil ao Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). De acordo com a Tribuna Regional Federal da 4ª Região (2013), “São direitos básicos do consumidor a informação adequada e clara sobre os diferentes produtos, e a autora [...] fica obrigada à observância dos deveres instituídos pelos atos normativos e regulamentos técnicos administrativos expedidos pelo INMETRO”.

3.1.2 Risco de vazamento de combustível em geradores portátil Honda modelo EG2800i

A Honda Canada Inc. e Health Canada emitiram o recall de geradores portáteis modelo EG2800i devido ao potencial vazamento de combustível e consequente formação de atmosfera explosiva (COOLS, 2018). Até a data da emissão do recall, 21 de dezembro de 2017, 38 vazamentos haviam sido reportados, mas nenhuma lesão. Os geradores eram fabricados nos EUA e distribuídos pela Honda Canada Inc. Aproximadamente 34 mil unidades de produtos haviam sido vendidas entre setembro de 2016 e novembro de 2017 pelo preço de \$ 1.150. De acordo com a Honda Canada Inc., após o contato com a empresa e determinação que o produto está afetado, inspeções e reposição de peças necessárias são realizadas.

3.1.3 Perdas de pressão na bomba de transmissão dos veículos Ram Promaster 2015

A Chrysler emitiu um recall para à Transport Canada devido a problemas no rotor da bomba de transmissão para o acoplamento de vans Ram Promaster 2015, resultando em perdas na pressão da transmissão (HEALTH CANADA, 2016). Segundo a companhia, esse fator pode resultar em perdas de energia de movimento, o que aumenta o risco de acidente. Até a data da emissão, junho de 2016, 9190 veículos haviam sido comercializados. De acordo com a Chrysler, as filiais foram orientadas a substituir o conjunto da bomba de transmissão.

3.1.4 Componente de ventilação positiva do cárter com aquecedor de veículos da Mitsubishi Fuso

A Mitsubishi Fuso Truck and Bus Corporation emitiu o recall à Transport Canada devido ao componente opcional de ventilação positiva do cárter (*Positive Crankcase Ventilation - PCV*) com aquecimento. O

motivo foi a possibilidade da fiação do aquecedor do tubo causar atrito em uma braçadeira de metal e resultar na interligação da fiação do aquecedor do tubo PCV com o grampo, o que pode levar a um curto-circuito elétrico, aumentando o risco de incêndio (HEALTH CANADA, 2016). Até 3 de março de 2016, 685 veículos haviam sido comercializados. A Mitsubishi ficou responsável por trocar os PCV com aquecedores por componentes melhorados.

3.1.5 Risco de sobreaquecimento de disjuntores da Siemens e Murray

A Siemens Industry Inc. de Alpharetta, Georgia juntamente com a CPSC anunciaram o recall voluntário de uma série de disjuntores (CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION, 2010). O motivo foi a possibilidade do clipe de mola que mantém a conexão elétrica quebrar durante a utilização, resultando em perda na força para manter a conexão com o painel controlador, o que pode resultar em arcos ou excessiva temperatura no ponto de conexão, e estragos ao isolamento elétrico do painel e consequente fogo, dano a propriedade ou lesões pessoais. A quebra do clipe de mola durante a instalação foi reportada uma vez, porém sem ocorrência de lesões corporais. Aproximadamente 2,2 milhões de unidades, fabricadas no México, foram vendidas no mercado estadunidense entre os meses de junho e agosto de 2010, com preço entre \$ 2,50 e \$ 235,00. De acordo com a Siemens, consumidores devem entrar em contato com a empresa para inspeção e substituição gratuita do produto.

3.1.6 Risco de choque em controladores de motores para sistemas de bombas submersas da Franklin Electric

A Franklin Electric Co. de Bluffton, Indiana juntamente com a CPSC anunciaram o recall voluntário de controladores de motores elétricos Pumptec para sistemas de bombas submersas (CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION, 2010). O motivo foi a possibilidade de o rótulo do produto perder adesão e expor o circuito, podendo causar choques ao consumidor. Nenhum incidente foi reportado, porém aproximadamente 38 mil unidades foram vendidas nos Estados Unidos da América entre junho de 2007 e novembro de 2009 por \$ 245. De acordo com a Franklin, consumidores não devem tocar nas áreas das unidades que estão expostas, e devem entrar em contato imediatamente para reposição da tampa.

3.1.7 Risco que choque em motores da bomba da piscina da Nidec Motor Corporation

A Nidec Motor Corporation, de St. Louis, Missouri e Emerson Motor Company, uma divisão da Emerson Electric Co., de St. Louis, Missouri juntamente com a CPSC anunciaram o recall voluntário dos motores de bombas de piscina de velocidade variável Ecotech EZ (CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION, 2017). O motivo foi o incorreto aterramento da tampa da bomba, apresentando risco de choque elétrico. Nenhum incidente foi reportado, porém o recall foi anunciado em 11 de outubro de 2011, atingindo aproximadamente 2 mil unidades fabricadas no México e vendidas nos Estados Unidos da América entre setembro de 2010 e agosto de 2011, por aproximadamente \$ 1.000. De acordo com a Nidec Motor clientes devem parar imediatamente de usar as bombas da piscina recuperadas e entrar em contato providenciamento do reparo gratuito.

3.2 ATMOSFERAS EXPLOSIVAS

O certificado de segurança de equipamentos elétricos define em quais condições de ambiente determinado produto está apto a operar. Nesse contexto, o conhecimento dos conceitos de atmosferas explosivas é primordial à correta compreensão das limitações de projeto, fabricação, instalação, inspeção e manutenção do produto.

Uma atmosfera explosiva é definida como a mistura de substâncias inflamáveis com o ar sob condições específicas de temperatura e pressão ($-20\text{ °C} < T < 60\text{ °C}$ e $0,8\text{ bar} < p < 1,1\text{ bar}$), na qual a combustão se propaga para a mistura não queimada após a ignição, sendo o ar com concentração normal de oxigênio, tipicamente 21 % v/v (Duarte, 2017).

A faixa inflamável de uma substância é definida como as concentrações da substância que possibilitam a combustão quando em contato com uma fonte de ignição. Para tal, são indicados o Limite Inferior de Explosividade - LIE e Limite Superior de Explosividade - LSE. Poeiras são comumente especificadas pela Concentração Mínima de Explosividade - CME. Como exemplo, a Tabela 3.1 apresenta o LIE e LSE de gases e vapores e CME de poeiras.

Tabela 3.1 - Limites de explosividade de gases, vapores e poeiras

Gás / vapor	LIE (%)	LSE (%)	Poeira	CME (g/m ³)
Acetona	2,6	13	Resina epóxi	20
Butano	1,8	8,4	Carvão vegetal	140

Gás / vapor	LIE (%)	LSE (%)	Poeira	CME (g/m ³)
Etanol	3,3	19	Amido de trigo	25
Gasolina	1,2	7,1	Açúcar	45

Fonte: Mackay et al. (2006)

O *flash point* se trata da temperatura na qual um líquido desprende vapor suficiente para formar, com o ar, uma mistura inflamável (DUARTE, 2017). Para estar na faixa não-inflamável a mistura com o ar deve atender a condição $T_{líquido} < flash\ point$. A Tabela 3.2 apresenta valores de *flash point* de vapores.

Tabela 3.2 - Valores de *flash point* (vapores)

Líquido	Flash Point (°C)
Éter dietílico	-45
Óxido de propileno	-37
Gasolina	-37
Dissulfeto de carbono	-30

Fonte: Duarte (2017)

No que se refere a fonte de ignição, a Energia Mínima de Ignição - EMI é a mínima energia fornecida à mistura, na forma de chama ou faísca, que causará a ignição (DUARTE, 2017). Além desta, a Temperatura de Autoignição - TAI define a temperatura do meio necessária à combustão da mistura. A Equação 3.1 define condições necessárias à operação do motor. Valores de EMI e TAI são apresentados nas Tabelas 3.3 e 3.4, respectivamente.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Energia fornecida pela fonte} > \text{EMI} \\ T_{\text{mistura}} > \text{TAI} \end{array} \right. \quad (3.1)$$

Tabela 3.3 - Valores de MIE para gases, vapores e poeiras

Gás / vapor	EMI (μJ)	Poeira	EMI (μJ)
Metano	300	Alumínio em pó	15
Butano	250	Resina epóxi	20
Etanol	140	Carvão vegetal	25
Etileno	70	Amido de trigo	30

Fonte: Babrauskas (2003)

Tabela 3.4 - Valores de TAI para gases, vapores e poeiras

Gás / vapor	AIT (°C)	Poeira	TAI (°C)
Hidrogênio	560	Pó de zinco	460
Acetona	465	Etilenoglicol	398
Óxido de Etileno	430	Nafta	550
Etanol	363	Nitroglicerina	254

Fonte: Duarte (2017)

Definido através do teste normalizado no documento IEC 60079-20-1, a Abertura Segura Experimental Máxima (*Maximum Experimental Safe Gap* - MESG) é o máximo valor de folga de um recipiente com atmosfera e dimensões controladas que previne, para qualquer concentração de gás ou vapor no ar, a ignição da mistura externa. A Tabela 3.5 apresenta valores de MESG para gases e vapores.

Tabela 3.5 - MESG para uma largura de 25 mm

Gás/vapor	MESG (mm)
Acetona	1,01
Metano	1,14
Propano	0,92
Etanol	0,91

Fonte: Duarte (2017)

3.2.1 Perigosidade de inflamabilidade

A perigosidade do combustível entrar em combustão depende de sua concentração relativa com o comburente, além de características particulares da substância, como EMI e MESG. Menores valores de EMI e MESG aumentam o risco de combustão. Conforme exemplificado na Tabela 3.6 o risco de combustão do metano é inferior ao do acetilento.

Tabela 3.6 - Relação entre EMI, MESG e inflamabilidade

Tipo indústria	Gás de referência	EMI (μ J)	MESG (mm)
Minas	Metano	300	1,14
Superfície	Propano	240	0,92
Superfície	Etileno	70	0,65
Superfície	Acetileno	17	0,29



Fonte: Duarte (2017)

Quanto mais baixa a temperatura de ignição da substância, maior o risco desta entrar em combustão. Conforme exemplificado na Tabela 3.7, o risco de combustão do hidrogênio é inferior ao do butano.

Tabela 3.7 - Relação entre temperatura de ignição e inflamabilidade

Gás / vapor	Temperatura de ignição ($^{\circ}$ C)
Hidrogênio	560
Metano	537
Acetona	465
Butano	287



Fonte: Duarte (2017)

3.2.2 Definições referentes a motores elétricos para atmosferas explosivas

As certificações que abrangem a configuração de um motor elétrico devem ser apresentadas em sua placa de identificação, destacada na Figura 3.1 e detalhada no ANEXO C, para que o produto seja considerado certificado pelo órgão certificador. Como exemplo dessa exigência, a qual faz parte do certificado, tem-se a cláusula do Certificado de Conformidade CSA 2156668 (2016), que define que produtos devem ser marcados com as marcações especificadas pelo padrão de produto específico.

Figura 3.1 - Motor elétrico com destaque à placa de identificação



Fonte: Acervo interno WEG (2017)

A placa de identificação do produto contém as características da área que o produto está apto a operar, porém diversas nomenclaturas são utilizadas para descrevê-la. Como exemplo, na Figura 3.2 é destacada parte de uma placa de identificação que atesta que o produto está de acordo com as diretivas CE e certificações UL componente reconhecido, NEC e CSA. Por sua vez, a certificação CSA atribuiu o código de temperatura T3, classe I, divisão 2 e grupos A, B, C e D. Código de temperatura T3, classe I, zona 2, grupo IIC. Essa nomenclatura é definida por diversas normas. Devido a relevância dos termos à compreensão da certificação do produto, o entendimento é essencial.

Figura 3.2 - Placa de identificação de um motor de área classificada



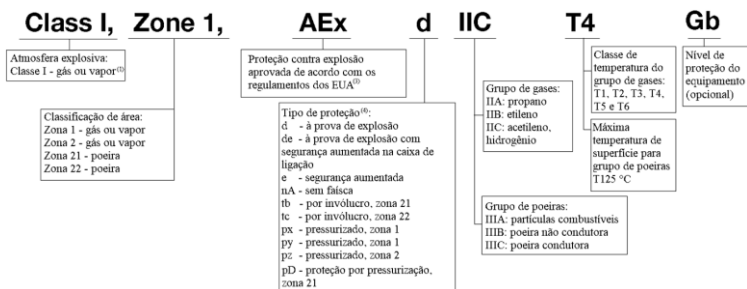
Fonte: Acervo interno WEG (2017)

No APÊNDICE A são apresentadas definições relativas à marcação do motor, informações estas que indicam as características do ambiente na qual o produto está apto a operar. Destaca-se que, devido à natureza normativa, os conceitos apresentados são traduções livres retiradas diretamente das fontes citadas.

3.2.3 Modelos de marcações por mercado

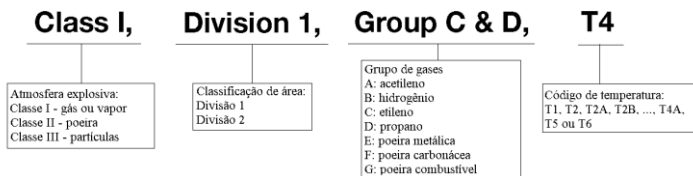
As marcações definidas no APÊNDICE A são exibidas na identificação do motor de acordo com os modelos de marcação vigente no país de destino do produto. As Figuras 3.3-3.6 representam, respectivamente, os modelos normatizados de marcação ATEX, IECEx e Norte-Americano (sistema de divisão e zona).

Figura 3.3 - Marcação Norte-Americana: sistema de zonas



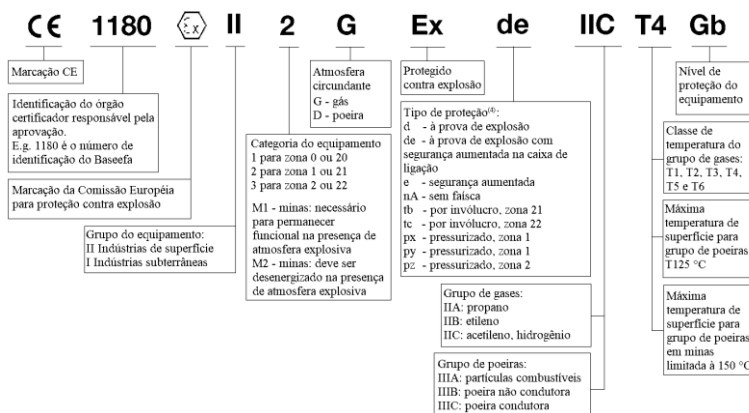
Fonte: Adaptado de *Guide to Explosive Atmospheres* (2017)

Figura 3.4 - Marcação Norte-Americana: sistema de divisão



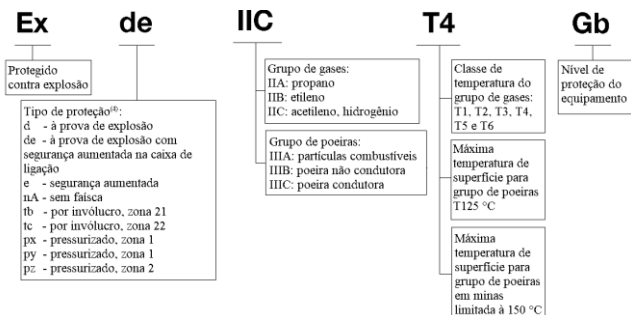
Fonte: Adaptado de *Guide to Explosive Atmospheres* (2017)

Figura 3.5 - Marcação ATEX (União Europeia)



Fonte: Adaptado de *Guide to Explosive Atmospheres* (2017)

Figura 3.6 - Marcação IECEx (Global)



Fonte: Adaptado de *Guide to Explosive Atmospheres* (2017)

- (1) O equipamento com marcação IIC (grupo de gás) cobre os grupos IIB e IIA. O equipamento com marcação IIIC (grupo de poeira) cobre os grupos IIIB e IIIA.
- (2) Para os ambientes de poeira (Zona 21 ou 22), a Classe do perigo (Classe II) não deve ser mencionada na marcação (e.g., Zona 21, AEx tb IIIC T125°C Db).
- (3) Para a Norma Canadense, a letra "A" não deve ser mencionada na marcação (e.g., Classe I, Zona I, Ex DICT T4 Gb).
- (4) Os certificados emitidos de acordo com as novas versões de padrões exigem a marcação EPL perto do tipo de proteção [e.g., Ex db eb (Antigo: Ex de)].

3.3 PRINCIPAIS NORMAS APLICÁVEIS AO PROJETO DE MOTORES ELÉTRICOS

A normalização é considerada por Duarte (2017) como um mecanismo que promove o desenvolvimento tecnológico e viabiliza a consolidação da tecnologia e disseminação da inovação através do desenvolvimento, difusão e aplicação de normas. Segundo o autor, estas normas estipulam requisitos de qualidade, desempenho e segurança, estabelecem procedimentos e métodos de ensaio, padronizam formas, dimensões, tipos de usos, classificações, terminologias e glossários. Permitem, portanto, a previsibilidade de resultados sistemas técnicos.

Normas são classificadas em diferentes níveis hierárquicos, os quais contam com a participação de diferentes partes interessadas (ABNT, 2018). Pahl e Beitz (1996 apud Back et al., 2008) e ABNT (2018) definem os níveis de normalização em:

- **Internacional:** normas elaboradas com a participação de vários países. Possuem abrangência mundial, e são aceitas pela Organização Mundial do Comércio (OMC) como a base para o comércio internacional. E.g. Normas da Organização Internacional de Padronização (ISO) e Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC).
- **Regional:** normas elaboradas com a participação de um número limitado de países. São aplicáveis ao conjunto de países representados na organização regional. E.g. Normas da Associação Mercosul de Normalização (AMN) e Comitê Europeu de Normalização (CEN).
- **Nacional:** normas elaboradas por um grupo de interessados a partir de uma organização adicional reconhecida como autoridade no respectivo país. Aplicam-se ao mercado de um país e, frequentemente, são reconhecidas pelo seu ordenamento jurídico como a referência para as transações comerciais. Normalmente são voluntárias, isto é, cabe aos agentes econômicos decidirem se as usam ou não como

referência técnica para uma transação. E.g. Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Associação Alemã de Normas Técnicas (DIN).

- **Associação:** normas desenvolvidas no âmbito de entidades associativas e técnicas para o uso de seus associados. Mas, também, chegam a ser utilizadas de forma mais ampla, podendo se tornar referências importantes no comércio em geral. E.g. Normas da Sociedade Americana para Testes e Materiais (ASTM).
- **Empresarial:** normas para uso interno em empresas ou organizações, com finalidade de orientar as compras, a fabricação, as vendas e outras operações. E.g. Normas WEG.

A decisão de quais normas adotar varia de acordo com requisitos legais e comerciais impostos pelo mercado e aplicáveis ao produto, fatores melhor discutidos na Seção 3.4 deste documento. Todavia, destaca-se que normalmente normas não internacionais são referenciadas ao padrão internacional adotado. Como exemplo, no Brasil tem-se a série de Normas ABNT NBR IEC 60079, similar à série de Normas IEC 60079.

Os níveis de normalização comumente são representados na forma de pirâmide, conforme a Figura 3.7 (ABNT, 2018). De acordo com Duarte (2017), normas da base da pirâmide são altamente restritivas, enquanto normas internacionais são menos exigentes. Em adição, o autor declara que normalmente são referenciadas ao padrão internacional adotado. Por exemplo, a norma nacional brasileira ABNT NBR é criada de acordo com a norma internacional IEC. Malsane et al. (2015) destaca complexa estrutura e inter-relação entre normas em um mesmo nível de normalização. Como exemplo, máquinas cobertas no escopo do documento IEC 60034-1 podem estar sujeitas a requisitos substitutivos, modificadores ou adicionais em outras normas, como IEC 60079 e IEC 60092.

Figura 3.7 - Níveis de normalização



Fonte: ABNT (2018)

A quantidade de normas aplicáveis à motores elétricos é extensa e não se objetiva apresentá-las em completude. Todavia, a compreensão geral das principais normas é relevante por sua relação com a certificação, e conseqüentemente com a comercialização do produto. De acordo com a pesquisa das normas seguidas pelas principais empresas de projeto e manufatura de motores elétricos, existe uma convergência das de maior importância, as quais serão apresentadas na seqüência.

3.3.1 Normas relativas à área segura

As principais normas aplicáveis para motores industriais trifásicos para área segura são as séries: IEC 60034, NEMA MG1, UL 1004 e CSA C22.2.

3.3.1.1 Normas da série IEC 60034: *Rotating Electrical Machines*

Normas IEC são normas internacionais com ampla aceitação mundial. De acordo com a *International Electrotechnical Commission* (IEC), em 2018, 62 países são membros da organização, ou seja, possuem comitês nacionais que tem acesso a todas as atividades e funções técnicas e gerenciais, em todos os níveis, incluindo os direitos de voto no conselho. Não obstante, outros 23 países são afiliados, os quais possuem comitês nacionais tem acesso total a todos os documentos de trabalho, mas têm direitos limitados de voto no trabalho técnico e não têm direito a funções gerenciais.

Normas da série IEC 60034 tratam de máquinas elétricas girantes aplicadas à área segura. Contudo, máquinas de área classificada também a utilizam como referência. Nesse contexto, comumente as Normas de

Atmosfera Explosiva da série IEC 60079 sobrescrevem termos das normas da série IEC 600034. As principais normas da série IEC 600034 são apresentadas e resumidas no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Resumo das principais normas da série IEC 600034: *Rotating Electrical Machines*

Norma	Resumo
IEC 60034-1:2017 <i>Rating and Performance</i>	Norma abrangente que estabelece requisitos de segurança a serem seguidos conforme o uso e condições de operação, variações de tensão e frequência, entre outros. Em adição, define como os dados nominais devem ser declarados, além de marcações, tolerâncias e compatibilidade eletromagnética. Também apresenta valores para seleção do regime de serviço, e indica testes básicos para determinar de fatores como classe térmica, elevação de temperatura e sobrevelocidade (Norma IEC 60034-1, 2017).
IEC 60034-2-1:2014 <i>Standard Methods for Determining Losses and Efficiency from Tests</i>	Estabelece métodos de ensaio para determinação de eficiências e perdas específicas, sendo aplicável a corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC) (Norma IEC 60034-2-1, 2014).
IEC TS 60034-2-3:2013 <i>Specific Test Methods for Determining Losses and Efficiency of Converter-fed AC induction motors</i>	Estabelece métodos de ensaio para determinação de perdas e eficiências de motores de indução alimentados por inversor, sendo aplicável a motores de indução CA (Norma IEC TS 60034-2-3, 2013).
IEC 60034-5:2000 <i>Degrees of Protection Provided by the Integral Design of Rotating Electrical Machines (IP Code) - Classification</i>	Apresenta a classificação dos graus de proteção providos por invólucros e define os requisitos para determinado invólucro de proteção que ser adequado à aplicação pretendida. Em adição, estabelece definições para graus de proteção padronizados com relação a proteção de pessoas e proteção contra o ingresso de objetos sólidos externos e proteção de máquinas contra o ingresso de água. Ademais, fornece designações para estes graus de proteção e ensaios a serem realizados para verificar que máquinas estão de acordo com os requisitos desta norma. (Norma NBR IEC 60034-5, 2009)
IEC 60034-6:1991 <i>Methods of Cooling (IC Code)</i>	Identifica os arranjos do circuito e métodos de movimento do fluido refrigerante, classifica os métodos de refrigeração e estabelece um sistema de designação (IEC 60034-6, 1991)
IEC 60034-7:1992 <i>Classification of Types of Construction and Mounting Arrangements (IM Code)</i>	Apresenta os tipos de classificação de construção, arranjos de montagem e posição da caixa de ligação, e define um sistema de designação alfanumérica (Norma IEC 60034-7, 1992).
IEC 60034-9:2003 <i>Noise Limits</i>	Estabelece métodos de ensaio para a determinação do nível de potência sonora e especifica os níveis máximos aceitáveis para aceitação dos testes de fábrica (Norma IEC 60034-9, 2003).
IEC 60034-14:2003 <i>Mechanical Vibration of Certain Machines with Shaft Heights 56mm and Higher - Measurement, Evaluation and Limits of Vibration Severity</i>	Estabelece métodos de ensaio e procedimentos de aceitação do nível de vibração em fábrica e limites de vibração para determinadas máquinas elétricas girantes sob condições especificadas, quando desacopladas de qualquer carga ou acionamento. É aplicável a CA e CC trifásico com alturas de eixos de 56 mm e superiores e uma potência nominal de até 50 MW, a velocidades operacionais até 15.000 por minuto (IEC 60034-14, 2003).
IEC TS 60034-25:2014 <i>AC Electrical Machines Used in Power Drive system - Application guide</i>	Define características de desempenho de máquinas elétricas CA para uso em inversores, além de características de projeto para máquinas elétricas especificamente projetadas para aplicações com inversor de frequência. Também especifica os parâmetros da interface e interações entre a máquina elétrica e o inversor incluindo guia de instalação como parte de um sistema alimentado por inversor, exceto para a tensão da interface de alimentação (Norma IEC TS 60034-25, 2014).

Norma	Resumo
IEC 60034-30-1:2014 <i>Classes of Line Operated AC Motors (IE Code)</i>	Especifica as classes de eficiência para motores elétricos de velocidade única, para operação em tensão senoidal. Esta norma estabelece um conjunto de valores de eficiência limite baseados na frequência, número de polos e potência do motor. Nenhuma distinção é feita entre tecnologias de motor, tensão de alimentação ou motores com isolamento aumentado projetado especificamente para operar com inversor, mesmo que essas tecnologias de motores não sejam todas capazes de atingir as classes de maior eficiência. (Norma IEC 60034-30-1, 2014).
IEC TS 60034-25:2014 <i>AC Electrical Machines Used in Power Drive system - Application guide</i>	Define características de desempenho de máquinas elétricas CA para uso em inversores, além de características de projeto para máquinas elétricas especificamente projetadas para aplicações com inversor de frequência. Também especifica os parâmetros da interface e interações entre a máquina elétrica e o inversor incluindo guia de instalação como parte de um sistema alimentado por inversor, exceto para a tensão da interface de alimentação (Norma IEC TS 60034-25, 2014).

Fonte: Adaptado das normas da série IEC 600034: *Rotating Electrical Machines*

3.3.1.2 Norma NEMA MG1: *Motors and Generators*

Normas NEMA são normas de associação de indústrias de manufatura elétrica elaboradas por membros *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA). A associação é constituída por aproximadamente 450 empresas que fabricam produtos usados na geração, transmissão e distribuição, controle e uso final de eletricidade.

A Norma NEMA MG1 objetiva auxiliar os usuários na seleção e aplicação adequadas de motores e geradores, contendo informações práticas sobre desempenho, segurança, testes e construção e fabricação de motores e geradores CA e CC. O mercado NEMA mantém centralizado em apenas uma norma todos os requisitos de projeto e aprovação de motores, resultando em uma norma extensa, dividida em seções para cada tipo de motor (e.g. indução trifásico, indução monofásico e síncrono) e que abrange todos os requisitos construtivos (e.g. grau de proteção, categoria, tolerâncias, eficiência, dimensões e forma construtiva).

3.3.1.3 Normas da série UL 1004: *Rotating Electrical Machines*

Normas UL são normas nacionais desenvolvidas pela organização estadunidense *Underwriters Laboratories* (UL). Como particularidade da série UL 1004, a norma Máquinas Elétricas Rotativas - Requisitos Gerais, UL 1004-1, serve como base para as diversas que a compõem. Por esse motivo, nas demais normas, é estabelecido que os requisitos da UL 1004-1 aplicam-se, a menos que modificados pela norma em questão. As principais normas da série UL 1004 são apresentadas e resumidas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Resumo das principais normas da série UL 1004: *Rotating Electrical Machines*

Norma	Resumo
UL 1004-1:2012 <i>Standard for Rotating Electrical Machines - General Requirements</i>	Norma aplicável a motores e geradores CA e CC com enrolamentos pré-formados e aplicação inferior a 460 volts e todas as outras máquinas elétricas rotativas e motores lineares, com aplicação de 1.000 volts ou menos. Porém, os requisitos da norma não abrangem máquinas para aplicação em atmosferas explosiva. São definidos requisitos para: partes metálicas ou não-metálicas do motor consideradas como parte do invólucro (e.g. tampas e carcaça), aberturas (e.g. aberturas de ventilação), ligações de fábrica e de campo, espaçamentos elétricos, sistema de isolamento. Em adição, são especificados testes básicos para avaliação de fatores como condições nominais, temperatura, dielétrico e impacto mecânico (Norma UL 1004-1, 2012).
UL 1004-3:2015 <i>Standard for Thermally Protected Motors</i> (antiga UL 2111)	Norma aplicável a motores que dependem de protetor térmico para evitar superaquecimento sob pelo menos uma condição de operação. Os requisitos desta norma destinam-se a avaliar uma combinação específica de motor/protetor. Quando o motor, o protetor ou a combinação motor/protetor for alterada, a combinação deve ser reavaliada. São definidos testes específicos, como sobrecarga e resistência com rotor bloqueado, para motores protegidos com protetores automáticos, manuais, <i>thermal cut-off</i> (também conhecidos como protetor de desligamento único), e em alguns casos protetores <i>self-hold</i> , os quais mantém desligado até que seja desligado da rede (Norma UL 1004-3, 2015).
UL 1004-4:2018 <i>Standard for Electric Generators</i>	Norma aplicável a geradores elétricos CA e CC que, quando acoplados a motores, são usados para produzir eletricidade. Esta norma não cobre conjuntos de geradores estacionários ou portáteis, e aplicação em área classificada. São definidos os testes específicos para geradores, como sobrevelocidade, potência da distorção da forma de onda (harmônicas) e olhais de elevação (Norma UL 1004-4, 2018).
UL 1004-5:2014 <i>Standard for Fire Pump Motors</i>	Norma aplicável a motores destinados ao uso em bombas de incêndio, porém que não cobre o controlador da bomba de incêndio e aplicação em área classificada. São definidos testes específicos para motores de bomba de incêndio, como variação da tensão nominal, temperatura, rotor bloqueado, ciclo de trabalho, operação (formalmente conhecido como teste do <i>Design B</i>), condições nominais e de dielétrico (Norma UL 1004-5, 2014).
UL 1004-6:2012 <i>Standard for Servo Motors</i>	Norma aplicável a servomotores e motores de passo. Os requisitos desta Norma destinam-se a avaliar a adequação do motor para uso normal quando alimentado a partir de um inversor através de sua região de operação normal declarada pelo fabricante. Esta norma não aborda a eficácia da proteção contra sobretemperatura em condições normais ou anormais, e aplicação em área classificada. São definidos testes específicos para servo motores, como verificação de temperatura, condições nominais e de dielétrico. Os testes são normalmente testemunhados devido aos equipamentos requeridos para a realização dos testes (Norma UL 1004-6, 2012).
UL 1004-7:2018 <i>Standard for Electronically Protected Motors</i>	Norma aplicável a motores que dependem de um circuito eletrônico para evitar o superaquecimento do motor. Motores cobertos por esta norma, cuja proteção contra superaquecimento é fornecida por um circuito eletrônico, devem adicionalmente cumprir os requisitos contidos no Norma para Motores Termicamente Protegidos, UL 1004-3, no que se refere a testes de construção, desempenho, fabricação e produção, marcações e instruções, a menos que modificadas por esta norma. Os requisitos desta norma destinam-se a avaliar uma combinação específica de motor/protetor eletrônico. Quando o motor, o protetor eletrônico ou a combinação de motor/protetor eletrônico for alterada, a combinação deve ser reavaliada. Esta Norma não se aplica a motores que estejam em conformidade com o Norma para Motores Protegidos por Impedância, UL 1004-2, ou a Norma para Motores Termicamente Protegidos, UL 1004-3, independente do circuito eletrônico. São definidos testes específicos para motores eletronicamente protegidos, como validação da proteção eletrônica fornecida pelo controle/drive para o motor em condições anormais, aquecimento em carga, sobrecarga e rotor bloqueado. (Norma UL 1004-7, 2018).

Norma	Resumo
UL 1004-8:2013 <i>Standard for Inverter Duty Motors</i>	Norma aplicável a motores de indução polifásicos tipo gaiola de esquilão destinados a uso com controles de tensão variável e frequência variável, comumente chamados de inversores. Os requisitos desta norma destinam-se a avaliar a adequação do motor para uso normal quando alimentado a partir de uma fonte de inversor através de uma gama declarada pelo fabricante de condições de operação. Esta norma não aborda a eficácia da proteção contra sobretemperatura do motor sob condições anormais, a operação de um motor em condições de serviço incomuns, conforme descrito na Norma para Motores e Geradores (NEMA MG-1, 2016), e aplicação em área classificada. São definidos teste específicos pretendidos para uso com inversores, como verificação temperatura nos pontos de operação declarados, torque e corrente de rotor bloqueado, e de dielétrico (Norma UL 1004-8, 2013).
UL 1004-9:2016 <i>Standard for Medium Voltage Motors</i>	Esta Norma destina-se a ser lida em conjunto com a Norma para Máquinas Elétricas Rotativas - Requisitos Gerais, UL 1004-1. Para máquinas cobertas pela UL 1004-9, somente as seguintes seções do UL 1004-1 são aplicáveis: Componentes, Montagem Mecânica, Quadro e Gabinete, Aterramento, Identificação de aterramento, Proteção contra Corrosão, Terminais e cabos de fiação de fábrica, Espaçamentos (quando avaliado em 1.000 V ou menos), e peças de transporte de corrente. Para essas seções, os requisitos da UL 1004-1 aplicam-se, a menos que modificados por esta norma. Estes requisitos aplicam-se a motores e geradores CA e CC instalados em campo, com enrolamentos pré-formados e aplicações acima de 460 V e até 34.000 V, ou com enrolamentos aleatórios e acima de 1.000 V e até 7.200. Máquinas destinadas ao uso área classificada podem ter requisitos adicionais. Destaca-se que diversas máquinas não são abrangidas pela norma, como geradores resfriados por hidrogênio e motores para aplicação em turbinas hidráulicas com classificação acima de 5 MVA. São definidos testes específicos para motores com bobina conformada e média tensão, como verificação de temperatura, condições nominais e tensão aplicada (Norma UL 1004-9, 2016).

Fonte: Adaptado das normas da série UL 1004: *Rotating Electrical Machines*

3.3.1.4 Normas da série CSA C22.2: *Canadian Electrical Code, Part II*

Normas CSA são normas nacionais desenvolvidas pela organização canadense *Canadian Standards Association*. As principais normas da série CSA C22.2 Código Elétrico Canadense, parte II são apresentadas e resumidas no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Resumo das principais normas da série CSA C22.2: *Canadian Electrical Code, Part II*

Norma	Resumo
CSA C22.2 No. 100-14:2014 <i>Motors and Generators</i>	Norma aplicável a motores e geradores para instalação e uso, de acordo com as normas do Código Elétrico Canadense, Parte I. Esta norma fornece os requisitos básicos para máquinas e não exclui quaisquer requisitos adicionais fornecidos em outras normas do Código Elétrico Canadense, Parte II. Esta norma não se aplica a máquinas elétricas para uso em aeronaves, instalações de serviço marítimo, acionamentos para equipamentos de transporte terrestre ou máquinas usadas na mineração subterrânea, motores do tipo selado (hermético), como os usados em compressores de refrigerante, e aplicações em área classificada. São definidos testes típicos como elevação da temperatura, verificação dos dados de placa e tensão aplicada (Norma CSA C22.2 No. 100-14, 2014).

Norma	Resumo
CSA C22.2 No. 77-14:2014 <i>Motors with Inherent Overheating Protection</i>	Norma aplicável a motores CA e CC com proteção de superaquecimento inerente projetados para estar de acordo com o Código Elétrico Canadense, Parte I. Esta norma aplica-se a motores com dispositivos de proteção que respondem a temperatura apenas do motor, ou temperatura do motor e corrente do motor passando pelo dispositivo, mas não se aplica a motores com dispositivos de proteção que respondem apenas à corrente. Esta norma não se aplica a compressores de motores do tipo selado (hermético) com proteção contra superaquecimento. São definidos testes típicos como elevação da temperatura, rotor bloqueado, verificação dos dados de placa e tensão aplicada (Norma CSA C22.2 No. 77-14, 2014).
CSA C22.2 No. 390-10:2010 <i>Test Methods, Marking Requirements and Energy Efficiency Levels for Three-phase Induction Motors</i>	Norma aplicável a motores de indução trifásicos de 0,746 kW em 1800 rpm e acima. Estabelece, através da definição de testes, os níveis de eficiência nominal para motores NEMA e IEC, 50 Hz e 60 Hz e marcações aplicáveis. Na norma, são definidos testes típicos como elevação de temperatura, teste com carga e teste sem carga (Norma CSA C22.2 No. 390-10, 2010).

Fonte: Adaptado das normas da série CSA C22.2: *Canadian Electrical Code, Part II*

3.3.2 Normas relativas à atmosfera explosiva

Normas aplicáveis a motores destinados à atmosfera explosiva são classificadas de acordo com o tipo de proteção ou características da área, e mercado de destino do produto. Nos Quadros 3.4 e 3.5 são apresentadas as relações entre as características citadas, o tipo de proteção e conceito de proteção do equipamento.

Quadro 3.4 - Conceitos de proteção para aplicações em área classificada (gases, vapores ou misturas inflamáveis)

Tipo de proteção	Código/Símbolo	Divisão / Zona	Mercado	Norma	Conceito de proteção
À prova de chama	Ex d	Zona 1	IECEX / ATEX	IEC / EN 60079-1	Contém a explosão e previne a propagação da chama
	Ex d	Classe I, Zona 1	Canadá	CAN/CSA-C22.2 No. 60079-1	
	AEx d	Classe I, Zona 1	EUA	ANSI / UL 60079-1	
À prova de explosão	(XP)	Classe I, Divisão 1	Canadá	CSA-C22.2 No. 145 / No. 30	
	(XP)	Classe I, Divisão 1	EUA	UL 674 / UL 1203	
Segurança aumentada	Ex e	Zona 1	IECEX / ATEX	IEC / EN 60079-7	Sem arcos, faíscas ou superfícies quentes
	Ex e	Classe I, Zona 1	Canadá	CAN/CSA-C22.2 No. 60079-7	
	AEx e	Classe I, Zona 1	EUA	ANSI / UL 60079-7	
Sem faísca	Ex nA	Zona 2	IECEX / ATEX	IEC / EN 60079-15	
	Ex nA	Classe I, Zona 2	Canadá	CAN/CSA-C22.2 No. 60079-15	

Tipo de proteção	Código/ Símbolo	Divisão / Zona	Mercado	Norma	Conceito de proteção
Sem faísca	AEx nA	Classe 1, Zona 2	EUA	ANSI / UL 60079-15	Sem arcos, faíscas ou superfícies quentes
Não acendível	(NI)	Classe I, divisão 2	Canadá	CSA-C22.2 No. 0 / No. 213	
	(NI)	Classe I, divisão 2	EUA	UL 674 / ISA 12.12.01	
Pressurizado	Ex px	Zona 1	IECEX / ATEX	IEC / EN 60079-2	Mantém o gás inflamável fora
	Ex px	Zona 1	Canadá	CAN/CSA-C22.2 No. 60079-2	
	AEx px	Classe 1, Zona 1	EUA	ANSI / UL 60079-2	
	Ex py	Zona 1	IECEX / ATEX	IEC / EN 60079-2	
	Ex py	Zona 1	Canadá	CAN/CSA-C22.2 No. 60079-2	
	AEx py	Classe 1, Zona 1	EUA	ANSI / UL 60079-2	
	Ex pz	Zona 2	IECEX / ATEX	IEC / EN 60079-2	
	Ex pz	Zona 2	Canadá	CAN/CSA-C22.2 No. 60079-2	
	AEx pz	Classe 1, Zona 2	EUA	ANSI / UL 60079-2	
	Tipo X	Classe I, Divisão 1	Canadá / EUA	NFPA 496	
	Tipo Y	Classe I, Divisão 1	Canadá / EUA	NFPA 496	
Tipo Z	Classe 1, Divisão 2	Canadá / EUA	NFPA 496		

Fonte: *Guide to Explosive Atmospheres* (2017)

Quadro 3.5 - Conceitos de proteção para aplicações em área classificada (poeiras inflamáveis)

Tipo de proteção	Código/ Símbolo	Divisão / Zona	Mercado	Norma	Conceito de proteção
Proteção por invólucro	Ex tb	Zona 21	IECx / ATEX	IEC / EN 60079-31	Mantém a poeira combustível fora
	Ex tb	Classe II, Zona 21	Canadá	CAN/CSA-C22.2 No. 60079-31	
	AEx tb	Classe II, Zona 21	EUA	ANSI/UL 60079-31	
	Ex tc	Zona 22	IECx / ATEX	IEC / EN 60079-31	
	Ex tc	Classe II, Zona 22	Canadá	CAN/CSA-C22.2 No. 60079-31	
	AEx tc	Classe II, Zona 22	EUA	ANSI/UL 60079-31	
À prova de ignição de poeira	(DIP)	Classe II, Divisão 1	Canadá	CSA-C22.2 No. 25	
	(DIP)	Classe II, Divisão 1	EUA	UL 1203	
Pressurizado / proteção por pressurização	Ex pD	Zona 21	IECx / ATEX	IEC / EN 61241-4	
	AEx pD	Zona 21	EUA	ANSI/ISA 61241-2	

Tipo de proteção	Código/Símbolo	Divisão / Zona	Mercado	Norma	Conceito de proteção
Pressurizado / proteção por pressurização	(PX)	Classe II, Divisão 1	Canadá / EUA	NFPA 496	Mantém a poeira combustível fora
	(PY)	Classe II, Divisão 1	Canadá / EUA	NFPA 496	
	(PZ)	Classe II, Divisão 2	Canadá / EUA	NFPA 496	
	Ex pD	Zona 22	IECx / ATEX	IECx / EN 61241-4	

Fonte: *Guide to Explosive Atmospheres* (2017)

Normas da série IEC 60079 tratam de máquinas elétricas girantes de área classificada. Nesta série, requisitos de normas de aplicações específicas, como proteção através de invólucros pressurizados, comumente entram em conflito com um requisito da IEC 60079-0, a qual define requisitos gerais. Neste caso, a norma específica tem precedência.

Na sequência são apresentadas as normas relativas à atmosfera explosivas de maior relevância para a empresa-alvo.

3.3.2.1 Norma IEC 60079-0:2017, *Equipment - General requirements*

A Norma IEC 60079-0:2017 especifica os principais requisitos para construção, teste e marcação de equipamentos e componentes Ex para uso em atmosferas explosivas. Como exemplo, tem-se conjuntos de especificações de projeto que objetivam evitar a formação de cargas eletrostáticas e garantir o correto arrefecimento do produto através do dimensionamento do ventilador e tampas defletoras. Em adição, são detalhados ensaios térmicos, de impacto, de hermeticidade do invólucro, entre outros. Esta parte da IEC 60079 e outras normas que complementam esta norma especificam requisitos de teste adicionais para equipamentos Ex que operam fora da faixa de temperatura padrão, mas outras considerações adicionais e testes adicionais podem ser necessários para equipamentos Ex que operam fora da faixa de pressão atmosférica padrão e teor de oxigênio padrão (Norma IEC 60079-0, 2017).

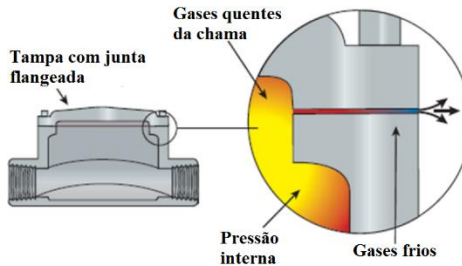
3.3.2.2 Norma IEC 60079-1:2014, *Equipment protection by flameproof enclosures "d"*

A Norma IEC 60079-1: 2014 contém requisitos específicos para a construção e teste de equipamentos elétricos com o tipo de proteção de invólucro à prova de explosão "d", destinado a uso em atmosferas

explosivas de gás (Norma IEC 60079-1, 2014). Neste tipo de equipamento, ao contrário da parte externa, a parte interna não garante a não ignição da atmosfera explosiva. Todavia, o invólucro é projetado para resistir à pressão interna e evitar a propagação da chama para a atmosfera externa.

Diversos requisitos de construção são estabelecidos na Norma. Dentre estes, destacam-se os de seleção e dimensionamento de juntas. Como exemplo, na Figura 3.8 é apresentada uma junta flangeada e usinada com uma passagem de chama que esfria os gases. Não obstante, na Norma são especificados detalhes das furações e requisitos de revestimento das superfícies.

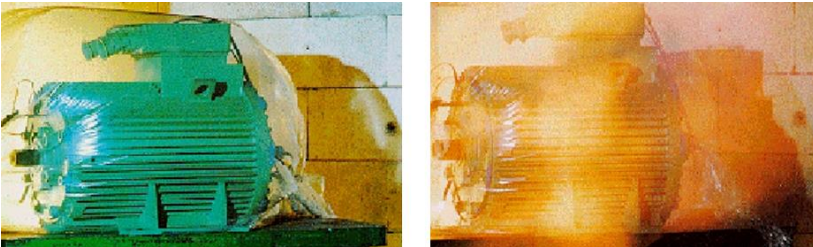
Figura 3.8 - Passagem de chama através de juntas flangeadas



Fonte: Duarte (2017)

A norma prevê ensaios de não propagação de chama, no qual uma atmosfera explosiva é induzida no exterior do invólucro e uma chama é propagada em seu interior. Na Figura 3.9 é apresentado um ensaio realizado na empresa-alvo, no qual houve passagem de chamas ao exterior e explosão da atmosfera.

Figura 3.9 - Explosão da atmosfera explosiva após o ensaio de não propagação de chama



Fonte: Acervo interno WEG (2017)

A norma define procedimentos e requisitos para ensaios de sobrepressão, no qual líquido a alta pressão é introduzido no interior do invólucro e sua integridade é posteriormente verificada. A Figura 3.10 apresenta testes de sobrepressão realizados na empresa alvo, no qual houve rupturas nas tampas e flanges do produto.

Figura 3.10 - Ruptura na tampa traseira após o ensaio de sobrepressão

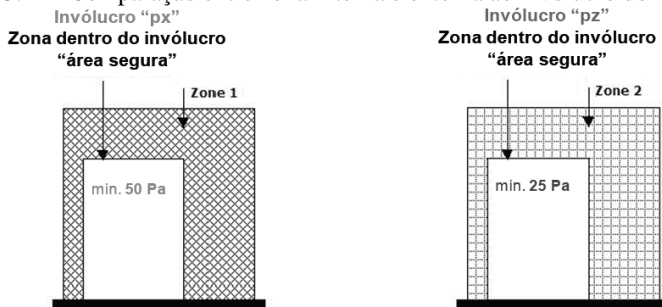


Fonte: Acervo interno WEG (2017)

3.3.2.3 Norma IEC 60079-2:2014, *Equipment protection by pressurized enclosure "p"*

A Norma IEC 60079-2: 2014 contém os requisitos específicos para a construção e teste de equipamentos elétricos com invólucros pressurizados, do tipo de proteção "p", destinados a uso em atmosferas explosivas de gás ou atmosferas de poeira explosivas (Norma IEC 60079-2:2014). Este sistema de proteção é baseado na pressurização e purga do invólucro. Neste, o motor é mantido pressurizado durante sua operação e ações de controle, como alarme e desligamento da energia, são exercidas de acordo com sua pressão. Na Figura 3.11 é apresentada a comparação entre a pressão interna de invólucros p_x e p_z , na qual a área segura no interior é garantida por sobrepressões de 50 Pa e 25 Pa, respectivamente, definidas de acordo com a zona circundante ao produto.

Figura 3.11 - Comparação entre zona interna e externa ao invólucro do motor

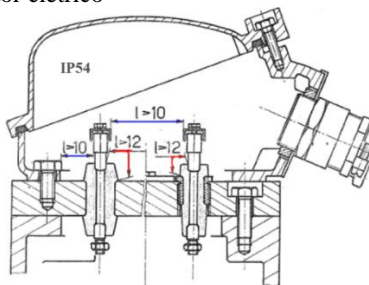


Fonte: Acervo interno WEG (2017)

3.3.2.4 Norma IEC 60079-7:2015, *Equipment protection by increased safety "e"*

A norma IEC 60079-7: 2015 especifica os requisitos para o projeto, construção, teste e marcação de equipamentos elétricos e componentes Ex com o tipo de proteção maior segurança "e" destinada a uso em atmosferas explosivas de gás (Norma IEC 60079-7, 2015). De acordo com Duarte (2017), os antigos requisitos da Norma IEC 60079-15, *Equipment protection by type of protection "n"* que objetivavam a não provocação de faíscas no motor, foram transferidos para a norma IEC 60079-7. Este sistema de proteção objetiva evitar a formação de arcos elétricos, faíscas ou temperatura excessiva. Para tal, são estabelecidos requisitos para conexões elétricas, como torque e meios de evitar seu afrouxamento durante a operação, distâncias de escoamento (i.e. menor distância ao longo da superfície de um material isolante elétrico entre dois corpos condutivos) e distâncias de isolamento (i.e. menor distância no meio entre dois corpos condutivos). Para ilustração, as distâncias de escoamento e isolamento são destacadas, respectivamente, em vermelho e azul na Figura 3.12, a qual representa a imagem de corte de uma caixa de ligação de um motor elétrico. Não obstante, na norma são apresentados detalhes de bobinagem, como cruzamento de fios e impregnação, limitações de temperatura, grau de proteção mínimo por tipo de invólucro, testes aplicáveis, entre outros tópicos.

Figura 3.12 - Distâncias de escoamento e de isolamento de componentes da caixa de ligação de um motor elétrico



Fonte: Acervo interno WEG (2017)

3.3.2.5 Norma IEC 60079-31:2013, *Equipment dust ignition protection by enclosure "t"*

A norma IEC 60079-31:2013 é aplicável a equipamentos elétricos protegidos por invólucro e por limites de temperatura da superfície para uso em atmosferas explosivas de poeira. Na norma, são especificados requisitos para projeto, construção e teste de equipamentos elétricos e componentes Ex (Norma IEC 60079-31, 2013). Como exemplo, na Figura 3.13 são apresentadas imagens de ensaios de imersão em poeira, realizado na empresa-alvo. Destaca-se a necessidade de medidas de proteção adicionais para aplicações que contenham, além de poeira combustível, gases combustíveis, ou equipamentos que precisem atender condições de ambiente como resistência à corrosão e entrada de água.

Figura 3.13 - Ensaios de proteção contra entrada de poeira



Fonte: Acervo interno WEG (2017)

3.4 CERTIFICAÇÕES DE MOTORES ELÉTRICOS

Certificações têm como objetivo reconhecer através da emissão de um certificado de conformidade, que um produto ou linha de produto é projetado, fabricado e ensaiado conforme critérios e procedimentos definidos em normas, regulamentos ou outros documentos (DUARTE,

2017). Por esses motivos, os documentos aplicáveis ao produto são expostos no certificado, conforme apresentado na Figura 3.14, relativa a um motor destinado à área segura.

Figura 3.14 - Requisitos aplicáveis ao Certificado de Conformidade CSA 2194017

<u>APPLICABLE REQUIREMENTS</u>
CSA-C22.2 No 100 – Motors and Generators UL 1004-1 – Rotating Electrical Machines – General Requirements UL 1004-8 – Inverter Duty Motors

Fonte: Certificado de Conformidade CSA 2194017 (2017)

De acordo com Eckoff (1997 apud Saeki, Kaiya e Hattori, 2009), certificados consistem na descrição de situações onde a declaração deve ser aplicada e na descrição de obrigações, proibições, permissões e exceções de uma entidade dentro desta específica situação. Portanto, o termo pode ser compreendido como condições de contorno das decisões de projeto, as quais não avaliam, em primeira instância, as limitações físicas de cada solução.

Os modelos de avaliação de conformidade, os quais variam de acordo com quem tem a responsabilidade de decidir sobre sua realização, podem ser divididos, segundo Figueiredo (20--), em modelos de:

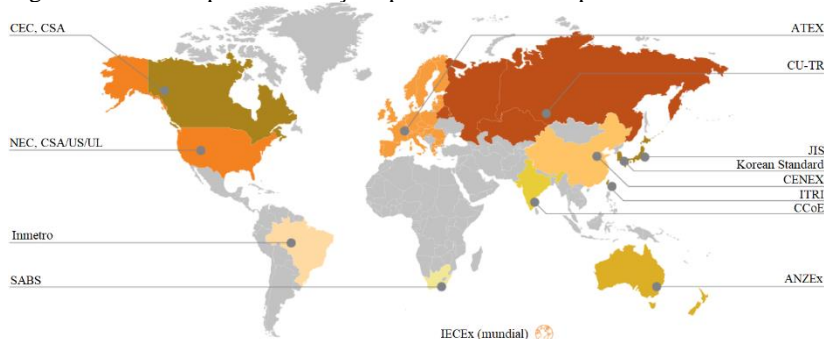
- **Primeira parte:** o próprio fabricante, fornecedor ou representante de seus interesses declara que seu produto está em conformidade com as normas.
- **Segunda parte:** o fabricante declara que o produto de seu fornecedor está em conformidade com as normas.
- **Terceira parte:** um órgão certificador, independente em relação ao fabricante ou cliente, declara que um produto está em conformidade com as normas.

Destaca-se que a avaliação de conformidade realizada por primeira ou segunda parte pressupõe uma relação de confiança, pois a organização que deseja demonstrar a conformidade deve ter competência para fazê-lo e a entidade que irá evidenciar a conformidade deve apoiar sua credibilidade na ética e na imparcialidade (FIGUEIREDO, 20--).

Sistemas de certificação (e.g. IECEE, IECEX, ATEX e ANZEX) são multilaterais, ou seja, os países membros utilizam o princípio de

mútuo reconhecimento de resultados de testes para obter certificações ou aprovações a nível nacional ou regional ao redor do mundo. Na Figura 3.15 são apresentados os principais órgãos certificadores e a região contemplada.

Figura 3.15 - Principais certificações para atmosferas explosivas



Fonte: ABB GROUP - *Potentially explosive atmospheres* (2015)

3.4.1 Certificações de motores elétricos - UL e CSA

As legislações vigentes nos Estados Unidos da América (EUA) e Canadá exigem que motores atuantes em área segura ou classificada sejam certificados por órgãos legalmente acreditados. Neste contexto, destacam-se o *Canadian Standards Association Group* e *Underwriters Laboratories*, responsáveis pelas certificações CSA e UL, respectivamente. Tratam-se de empresas certificadores que promovem a aceitação mútua entre mercados através, mas não exclusivamente, de documentos que atestam a conformidade normativa de produtos.

O Conselho de Normas do Canadá (*Standards Council of Canada* - SCC) acredita empresas de certificação para avaliar a segurança dos equipamentos que serão instalados nos ambientes de trabalho. Uma empresa acreditada pelo SCC dentro do Programa de Credenciamento do Organismo de Certificação (*Certification Body Accreditation Program* - CBAP), passa a ser denominada Entidade Legalmente Acreditada (*Accredited Legal Entity* - ALE). Como exemplos destas entidades, tem-se UL, CSA, SGS e TUV. Analogamente, nos Estados Unidos da América o órgão denominado Administração de Segurança e Saúde no Trabalho (*Occupational Safety and Health Administration* - OSHA) acredita empresas de certificação para avaliar a segurança dos equipamentos que serão instalados nos ambientes de trabalho. Estas

empresas são chamadas de Laboratório de Teste Nacionalmente Reconhecido (*Nationally Recognized Testing Laboratory - NRTL*). Como exemplo, tem-se UL, CSA, Intertek e SGS.

A organização CSA oferece dois principais tipos de serviços: certificação por categoria e certificação em campo. Para realização de uma certificação por categoria, é necessária a elaboração de testes em laboratórios pelo cliente e emissão de um certificado próprio ao órgão certificador, o qual analisa e atesta a conformidade do produto. Para certificação em campo, também denominada certificação por aceitação especial, os testes são realizados no local de aplicação do produto e necessitam de testemunho dos inspetores da CSA (DUARTE, 2017).

A organização UL oferece dois principais tipos de serviços: certificação por listagem e certificação por reconhecimento de componente. A certificação por listagem assegura que o produto final foi testado e está em conformidade normativa. A certificação de reconhecimento de componente é aplicável a componentes que se destinam a fazer parte de um produto listado pela UL (DUARTE, 2017).

3.4.2 Certificação de componentes e materiais

Componentes devem apresentar certificações compatíveis com a aplicação do motor. Como exemplo, o tampão apresentado na Figura 3.16 não pode ser utilizado em motores destinados ao México pela ausência de certificações ANCE, obrigatoriedade no país. Em adição, para aplicações de área classificada são analisadas a marcação do produto no qual o componente que será instalado (DUARTE, 2017). No exemplo, se a certificação for condizente com o país de destino, o componente pode ser aplicado a motores destinados operação em classe I, divisão I, grupo A.

Figura 3.16 - Características e valores das características de um componente da classe tampões



Classe de TAMPÕES	
Características	Valores das Características
CERTIFICADO MERCADO	ATEX/IECEE/EAC/CSA/UL/INMETRO
TIPO PROTEÇÃO EX	Ex d/ Ex e/ Ex tb - Class I, Div 1 / Class II, Div 1
GRUPO DE GÁS/POEIRA	IIC / IIIC - ABCD / FG
TEMPERATURA	-55°C a +80°C
MATERIAL TAMPÃO METÁLICO	LATAO
REVESTIMENTO	NIQUELADO
GRAU DE PROTEÇÃO	IP66
TIPO ROSCA TAMPÃO	MÉTRICA
DIMENSÃO ROSCA	M25X1,5
COMPRIMENTO ROSCA TAMPÃO	15,5 mm

Fonte: Duarte (2017)

As certificações de componente podem ser dos tipos completa ou incompleta. Componentes com certificação completa não precisam ser avaliados em conjunto com o motor e não necessitam estar descritos no certificado. Como exemplo de componente comumente não descrito nos certificados, tem-se o prensa cabos. Por outro lado, componentes com certificação incompleta ou limitada necessitam ser avaliados em conjunto com o motor e estar descritos no certificado, não sendo, portanto, adequados para instalação sem avaliação adicional. Como exemplo de componentes comumente descritos nos certificados, tem-se tampões e termostatos.

A certificação de materiais metálicos se trata de uma certificação de primeira e terceira parte. Para a certificação de primeira parte, inicialmente um documento que atesta a conformidade do pedido do material é emitido e aprovado pelo fornecedor. Na sequência, tem-se a emissão e aprovação do documento que atesta a conformidade do material, com indicação dos resultados e inspeções não específicas. Na última etapa da certificação de primeira parte, é emitido o documento que atesta a conformidade através dos resultados de testes específicos, porém a aprovação deste é realizada por um representante do fornecedor independente do departamento do mesmo. A certificação de terceira parte consiste na emissão de um documento com indicação dos resultados de inspeção. É necessária a aprovação do documento por um representante do fornecedor, independente do departamento do mesmo, além de um inspetor representante autorizado pelo comprador ou um inspetor designado por regulamentos oficiais (BS EN 10204, 2004).

3.4.3 Padrões mínimos de desempenho energético

A eficiência de motores elétricos impacta no meio ambiente e na competitividade da empresa. De acordo com a Waide e Brunner (2011), em 2006, 46 % da demanda mundial de eletricidade é diretamente relacionada a utilização de motores elétricos. Em âmbito industrial, este valor é acrescido para aproximadamente 70 %. Não obstante, os custos de energia representam até 99 % dos custos totais do ciclo de vida de motores elétricos (SIEMENS AG - *Minimum Energy Performance Standards: MEPS regulations worldwide*, 2016). Por esses motivos, existe demanda para o aumento da eficiência de motores elétricos, conforme evidenciado pela intensificação dos regulamentos de eficiência em mercados como EUA, Canadá, Austrália, China, Japão, União Europeia e Brasil (ACEEE - *Global Motor Energy Efficiency Program*, 2015).

Os padrões mínimos de desempenho energético (*Minimum Energy Performance Standards* - MEPS) são definidos para vários equipamentos, inclusive para motores, com o objetivo de padronizar e regulamentar os níveis de eficiência. Estes níveis de desempenho, estabelecidos por normas como IEC 60034-30-1, NEMA MG1 e NBR 17094-1, possuem equivalência entre si, conforme apresentando no Quadro 3.6.

Quadro 3.6 - Níveis de eficiência

Norma	Níveis de eficiência			
	IE1	IE2	IE3	IE4
NEMA MG1	<i>Standard</i>	<i>High</i>	<i>Premium</i>	<i>Super Premium</i>
AS/NZS 1359.5	E1	E2	E3	-
NBR 17094-1	-	IR2	IR3	-
GB 18613	-	<i>Grade 3</i>	<i>Grade 2</i>	<i>Grade 1</i>
Nível equivalente	N1	N2	N3	N4

Fonte: Adaptado de Regulamentações globais de eficiência para motores elétricos de baixa tensão (2017)

Comumente o processo de certificação ocorre através de um registro, autodeclaração, ensaios em laboratório acreditados e posterior registro, não se tratando, portanto, de uma certificação de terceira parte. A obrigatoriedade e exigências variam de acordo com o país. Como exemplo, têm-se duas certificações de rendimento aplicáveis ao mercado Brasileiro, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e selo PROCEL. O PBE é responsabilidade do Inmetro e obrigatório para certos motores. O selo PROCEL é responsabilidade da ELETROBRAS e não obrigatório. Por esse motivo, certificações de eficiência no Brasil necessitam de registro das linhas de produtos junto ao Inmetro, sendo o nível mínimo obrigatório IR2. Duarte (2017) destaca o baixo custo de inclusão das linhas de produtos e elevado custo de manutenção através de planos de amostragem anual com realizações de ensaios em laboratórios acreditados pelo Inmetro. Para operação nos EUA, um motor elétrico necessita de certificação de eficiência junto ao Departamento de Energia (*Department of Energy* - DOE), e um nível de eficiência mínimo NEMA MG1 *Premium*. A partir de 28 de junho de 2017 o Canadá passou a adotar mesmo nível. Todavia, para o Canadá é necessária a certificação de terceira parte. Novamente, de acordo com Duarte (2017), o custo para inclusão de novas linhas de produtos no mercado EUA e Canadá é baixo e o custo de manutenção é alto.

A correta compreensão das limitações de projeto, fabricação, instalação, inspeção e manutenção do produto depende do conhecimento dos conceitos de atmosfera explosivas. Como exemplo, menores valores

de EMI e MESG de gases estão diretamente relacionados ao risco de combustão do ambiente. Tais conceitos são transcritos nas marcações de área classificada, as quais descrevem as características do produto ou da área de operação e, de acordo com o órgão certificador que as emite, são apresentadas em diferentes modelos.

Normas são classificadas em diferentes níveis hierárquicos: internacionais, regionais, nacionais, de associação e empresarial, os quais contam com a participação de diferentes partes interessadas. O número de normas aplicáveis a motores elétricos é extenso, e a seleção de quais seguir depende de fatores como classificação da área e características do produto (e.g. tipo de proteção).

A certificação de motores elétricos trata do procedimento pelo qual um órgão certificador, independente e acreditado, reconhece através da emissão de um certificado de conformidade, que um produto, ou linha de produtos, está em conformidade com uma norma ou outro documento normativo especificado. Todavia, existem diversos órgãos certificadores ao redor do mundo, e o conhecimento das necessidades legais e comerciais de cada mercado faz-se necessário. A certificação pode ser de segurança, quando o certificado define em quais condições de ambiente determinado produto está apto a operar, ou eficiência energética, na qual é definido o nível e eficiência do produto. Não obstante, de acordo com quem tem a responsabilidade de validar o documento, o certificado pode ser de primeira, segunda ou terceira parte.

4 SISTEMAS ESPECIALISTAS AUXILIADOS POR EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO EM BASE DE DADOS

A capacidade cognitiva humana pode, em certos casos, ser superada por sistemas que, através de diferentes abordagens, emulem a inteligência (PANCZYK, 1999; MARTIN, 2001). Em um cenário ideal, tempo, custo e índices de não-qualidade associados ao projeto de motores especiais, descrito na Seção 1.2, podem ser sensivelmente reduzidos através de um modelo computacional confiável capaz de tomar decisões com assertividade superior aos Especialistas no Domínio - ED. Desse modo, este capítulo tem como objetivo apresentar os fundamentos de Sistemas Especialistas (SE) auxiliados pelo processo de extração de conhecimento em grande quantidade de informações, usualmente denominado KDD (*Knowledge Discovery in Databases*).

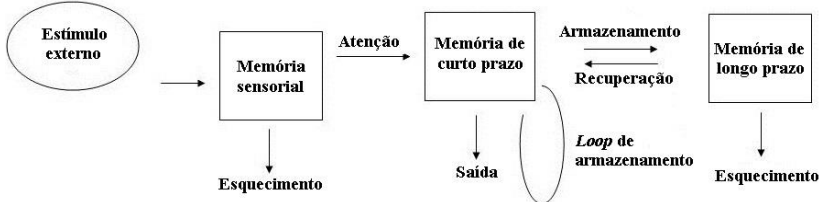
No decorrer deste capítulo, o surgimento do conceito de Inteligência Artificial (IA) e seu primeiro paradigma são relacionados com o conceito de SE. Não obstante, o princípio de funcionamento de sistemas especialistas, modelos de representação do conhecimento de ED, e descrição da estratégia incremental de elaboração são apresentados. Em adição, o processo KDD empregado na classificação de objetos através do algoritmo baseado em similaridade é detalhado. Por fim, serão apresentados trabalhos relacionados a sistemas especialistas de verificação de conformidade.

4.1 INTELIGÊNCIA E COGNIÇÃO HUMANA

Não existe uma definição única do termo inteligência. De maneira oposta, significados advindos de psicólogos e pesquisadores do conhecimento foram atribuídos à sua etimologia. Binet (1907), pioneiro na psicométrie ao criar o primeiro teste para mensurar a capacidade intelectual humana, considera o termo como “julgar bem, compreender bem, raciocinar bem”. Para Piaget (1982), biólogo, psicólogo e epistemólogo, considerado um dos mais importantes pensadores do século XX, inteligência significa “a capacidade de adaptação do organismo a uma nova situação”. Burt (1954), conhecido por estudos referentes à hereditariedade do quociente de inteligência, a define como “capacidade cognitiva inata”. A pluralidade de significados vai ao encontro da hipótese suportada por Yam (1998) que considera inatingível a definição exata do termo. Gardner, Kornhaber e Chen (2018), admitem a existência de diversas modalidades de inteligência, como lógica-matemática, visual-espacial e verbal-linguística.

De acordo com Atkinson e Shiffrin (1968), a memória pode ser dividida em três módulos que cooperam para o processo de memorização. Quando um estímulo externo é percebido através dos sensores do corpo humano, a informação é transferida à Memória Sensorial (MS), então para a Memória de Curto Prazo (MCP) e depois para a Memória de Longo Prazo (MLP), conforme a Figura 4.1. Porém, muita informação é perdida no processo.

Figura 4.1 - Modelo de memória modal



Fonte: Adaptada de Atkinson e Shiffrin (1968)

Memória sensorial é definida como qualquer memória que preserve as características de uma modalidade sensorial específica (COWAN, 2015). Portanto, reflete a sensação original ou a percepção de um estímulo, como sons e imagens, e é específica da modalidade em que o estímulo foi apresentado (HEALY, 2001). De acordo com Goddard (2012), a permanência de informações na MS é relativamente curta, visto que estímulos visuais são mantidos por até meio segundo e estímulos sonoros por até 3 segundos.

A memória de curto prazo é definida por Roediger, Zaromb e Goode (2008) como a retenção de informações em um sistema após a informação ter sido categorizada e atingido a consciência. Exemplos de memória de curto prazo são “carregar” um número em uma soma ou subtração ou lembrar de um argumento persuasivo até que a outra pessoa termine de falar. Courtney (2010) afirma que o aumento da atividade neural no córtex pré-frontal se deve ao processamento da memória de curto prazo. Fulton e Jacobsen (1935) ratifica este ponto ao afirmar que danos ao córtex pré-frontal causam déficits de memória a curto prazo. Roediger, Zaromb e Goode (2008) informa que as técnicas de estudo da MCP baseiam-se na apresentação de um número limitado de itens (números ou letras) ao paciente e posterior verificação da quantos desses são reconhecidos pelo mesmo. Healy (2001) e Mulligan (2008) destacam a baixa capacidade de retenção da MCP. De acordo com Miller (1956 apud Mulligan, 2008) no estudo desenvolvido em um

ambiente universitário, o intervalo de memória varia entre 7 ± 2 segundos. Para Dharani (2015), a duração da MCP varia entre 10 e 12 segundos. A introdução de um novo elemento na MCP desloca a fila de objetos, possibilitando que o conteúdo mais antigo seja eliminado no caso da ausência de elementos externos que mantenham ativo o objeto. Quando algo na memória de curto prazo é esquecido, isso significa que essa informação deixou de ser transmitida através de uma rede neural (TITUS, REVEST e SHORTLAND, 2010).

A MLP é definida como a retenção de novas informações e capacidade de recordar essas informações em um momento posterior (AMATO e GORETTI, 2016; CLARKSON, 2008). Para Glicken (2009), a memória de longo prazo é aquela que armazena informações por mais de 30 segundos. De acordo com Baars e Gage (2013), MLP é distribuída em várias regiões do cérebro. Experimentos realizados por Glanzer e Cunitz (1966) corroboram com o modelo multi-modal. O experimento indica uma tendência do avaliado em lembrar as primeiras e últimas palavras de uma lista. Segundo os autores, as primeiras palavras da lista são computadas na memória de longo prazo. Em contraste, as últimas palavras da lista são alocadas na memória de curto prazo. Em adição, Groome (1999) apresenta casos de total inabilidade de adquirir novas memórias devido a lesões cerebrais.

4.2 SISTEMAS ESPECIALISTAS

O termo inteligência artificial foi introduzido por Alan Turing em 1950 em seu artigo “*Computing Machinery and Intelligence*”, no qual o autor propõe um teste que avalia a capacidade de uma máquina de apresentar inteligência equivalente ou indistinguível de um ser humano. A IA foi reconhecida como ramo da Ciência da Computação em 1956 (MATELLI, 2008), data referente à Conferência de Inteligência Artificial de Darmouth, proposta por McCarthy et al. (1955), na qual diversos pesquisadores desenvolveram estudos fundamentados na proposta de Turing (1950) de que cada aspecto relativo à aprendizagem ou qualquer outra característica da inteligência pode, em princípio, ser tão precisamente descrito que uma máquina pode ser feita para simulá-la (McCARTHY et al., 1955). Assim como inteligência, diversas são as definições de IA:

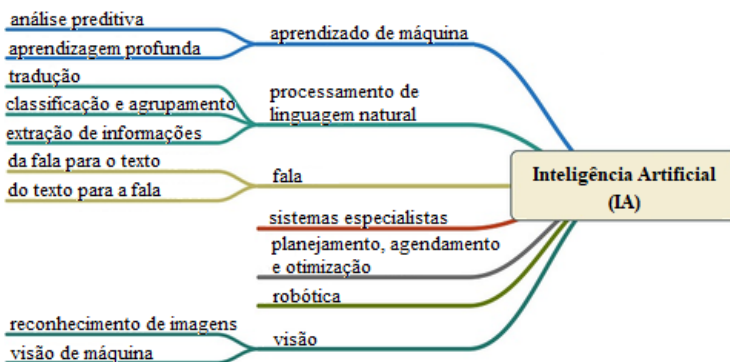
- Arte da criação de máquinas que fazem funções que requerem inteligência quando feito por pessoas (KURZWEIL, 1990).

- Campo de estudo que procura explicar e emular comportamento inteligente em termos de processos computacionais (SCHALKOFF, 1990).
- Um ramo da ciência da computação que se dedica à automação de comportamento inteligente (LUGER e STUBBLEFIELD, 1993).
- Parte da ciência da computação que compreende o projeto de sistemas computacionais que exibam características associadas, quando presentes no comportamento humano, à inteligência. (BARR e FEIGENBAUM, 1981).
- Estudo de como fazer computadores fazer coisas as quais, no momento, pessoas fazem melhor (RICH, KNIGHT e NAIR, 2009).

A relação entre IA e inteligência biológica comumente é discutida por pesquisadores da computação. A capacidade de máquinas pensarem como seres humanos é tangível segundo Berry (1983). Em contraste, Panczyk (1999) considera que o progressivo incremento no processamento computacional possibilitará que sistemas artificiais superem o desempenho humano na solução de problemas com elevado número de variáveis. Ademais, Sloman e Logan (1999) admitem que máquinas possam reproduzir estados emocionais envolvendo perda parcial de atenção. Por fim, a capacidade dos sistemas dotados de IA de aprender, se adaptar de tomar decisões é destacada por Lustosa e Alvarenga (2004).

De acordo com Giarratano e Riley (2005), a inteligência artificial é dividida em diversos segmentos, os quais compreendem aspectos da capacidade cognitiva e funcional humana (e.g. fala e compreensão). De modo detalhado, Uliyar (2017) define desdobramentos das áreas da IA, conforme apresentado na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Desdobramentos da inteligência artificial



Fonte: Adaptado de Uliyar (2017)

Estudos incipientes de IA não apresentavam pretensão em atuar sobre domínios específicos de problemas. Antagonicamente, Rich, Knight e Nair (2009) consideram que as aplicações de interesse eram baseadas em problemas de raciocínio comum à solução de tarefas simples, objetivando processar informações sobre objetos físicos (e.g. um objeto pode estar em apenas um lugar por vez), bem como a relação entre ações e consequências (e.g. se algo cair no chão poderá quebrar). Para tal, diversos pesquisadores desenvolveram o solucionador de problemas gerais (*general problem solver* - GPS) na tentativa de obter soluções a tarefas genéricas, manipulação matemática simbólica e expressões lógicas.

Na década de 70, devido à complexidade dos problemas de pesquisa e orientados à aplicação da época, o paradigma de IA baseado em conhecimento genérico aplicado a diversos domínios foi substituído por uma abordagem fundamentada em conhecimento específico e de escopo limitado (MATELLI, 2008). Nordlander (2001) acrescenta o surgimento do primeiro sistema computacional comercial capaz de emular o comportamento inteligente (i.e. IA fraca) de especialistas (i.e. SE) no ano de 1974.

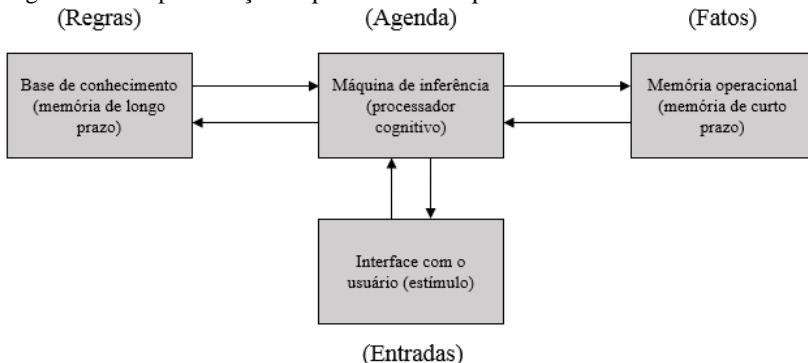
A área de SE é considerada por Nordlander (2001) como um dos principais ramos de IA. Nesta área, o conhecimento de um especialista em determinado domínio é adquirido e representado em sistemas computacionais. Silva (1998) define SE como “sistema computacional que emula a decisão com a habilidade de um especialista humano”. Uma

definição clássica bastante aceita na literatura foi proposta por Barr e Feigenbaum (1981):

“Programa inteligente de computador que utiliza conhecimentos e procedimentos inferenciais para resolver problemas com grau de dificuldade suficiente para requerer significativa especialidade humana em sua solução” (BARR e FEIGENBAUM, 1981).

Sistemas especialistas objetivam emular o raciocínio cognitivo do ser humano (BOTEGA, 2016) e têm como base de sua concepção a teoria cognitiva de Atkinson e Shiffrin (1968). A teoria admite que a solução de um problema é baseada na identificação de um estímulo e sua computação na memória de curto prazo. Por conseguinte, um processador cognitivo ativa e desencadeia regras armazenadas na memória a longo prazo (BOTEGA, 2016; MATELLI, 2008), entregando conclusões e explicações ao problema. Esse processador cognitivo, ou máquina de inferência, utiliza-se de uma agenda, ou seja, uma lista de ativações (que correspondem às regras cujas condições estão satisfeitas) priorizadas de acordo com sua execução. As ativações são armazenadas em uma ordem de preferências na qual serão verificadas pela máquina de inferência (GIARRATANO e RILEY, 2005). A Figura 4.3 expõe uma representação esquemática da arquitetura de um SE.

Figura 4.3 - Representação esquemática da arquitetura de um SE



Fonte: Adaptada de Giarratano e Riley (2005)

4.2.1 Base de conhecimento

A formação do conhecimento pode ser hierarquizada, de acordo com Giarratano e Riley (2005), conforme a Figura 4.4.

Figura 4.4 - Hierarquia do conhecimento



Fonte: Adaptada de Giarratano e Riley (2005)

Massirer (2007) apresenta as seguintes definições para cada um dos termos:

- **Ruído:** Item sem interesse.
- **Dado:** Item de potencial interesse. Uma representação simbólica de um objeto ou informação do domínio sem considerações de contexto, significado ou aplicação.
- **Informação:** Dados processados sobre os quais existe interesse. Reconhecimento dos objetos do domínio, suas características, suas restrições e seus relacionamentos com os outros objetos, sem ater-se a utilidade dessa informação.
- **Conhecimento:** Trata-se de uma informação especializada e base da construção de um sistema especialista.
- **Meta Conhecimento:** É o conhecimento sobre o conhecimento, um nível de abstração onde se decide sobre qual conhecimento utilizar.

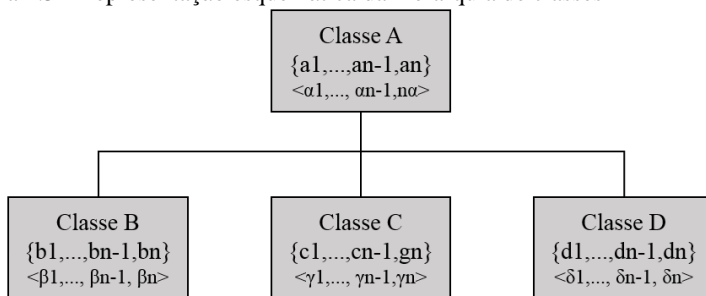
Regras são utilizadas na representação do conhecimento através de uma estrutura do tipo SE-ENTÃO. Quando uma condição é atendida (i.e. verdadeira), ações referentes a esta são executadas de modo a inferir um novo conjunto de fatos. Esse novo conjunto de fatos derivados de

uma regra pode ser utilizado como condição de uma nova regra, o que se chama de encadeamento (MATELLI, 2008). Sistemas especialistas são fundamentados no encadeamento de inferências baseadas em lógicas não monotônicas, uma extensão da lógica clássica (a qual considera que o conjunto de axiomas sempre aumenta), que admite inferências realizadas na ausência de informações contrárias, mas que podem ser invalidadas na presença dessas informações (BITTENCOURT, 2001).

Largamente aplicado a problemas de análise, o paradigma de orientação ao objeto possibilita representar informações associadas a entidades reais do problema (DYM e LEVITT, 1991). Matelli (2008) define objeto como uma abstração de alguma entidade do mundo real descrita por uma coleção de atributos e de procedimentos. Para Armstrong (2006), o termo significa um item individual e identificável, que representa o real ou abstrato e contém dados sobre si mesmo e descrições de como esses dados são manipulados (i.e. métodos). Booch (1994) considera a definição mais comum de objeto como uma instância de uma classe.

Em uma classe, o comportamento dos objetos é definido através de métodos, e quais estados ele é capaz de manter através de atributos (MATELLI, 2008). A hierarquização de classes resulta em uma estrutura de organização. Uma classe a partir da qual novas classes são derivadas é chamada de classe superior ou superclasse. De modo análogo, classes definidas através de herança são chamadas de classes derivadas ou subclasses (ARMSTRONG, 2006). Em orientação a objetos, as diferentes formas que o procedimento herdado pode assumir é o que se chama de polimorfismo. Botega (2016) interpreta polimorfismo como a habilidade de diferentes objetos de responderem ao mesmo estímulo com seu próprio comportamento. Os métodos são encapsulados, ou seja, são válidos apenas no contexto da classe em que estão definidos, o que contribui para facilitar o gerenciamento e eventuais expansões do código (MATELLI, 2008). A Figura 4.5 apresenta de forma esquemática a hierarquia de classes, na qual o vetor {} define os atributos e o vetor <> os métodos.

Figura 4.5 - Representação esquemática da hierarquia de classes



Fonte: Autoria própria (2017).

Existem diferentes estratégias de uso de regras à solução do problema. Comumente duas lógicas de encadeamento são empregadas: encadeamento direto, aplicável a problemas de síntese (MATELLI, 2008) no qual fatos levam a conclusões (BOTEGA 2016; MASSIRER, 2007), ou seja, o usuário insere informações ao sistema através de respostas, estimulando o processo de busca a procura de regras que melhor se aplicam à situação; e encadeamento reverso, aplicável a problemas de diagnóstico (MATELLI, 2008) em que se parte de uma possível conclusão e se tenta provar sua validade através de dados que suportem sua evidência, ou seja, a solução é baseada em hipóteses (GIARRATANO e RILEY, 2005).

Devido à complexidade inerente aos problemas de engenharia do conhecimento, é necessária uma abordagem sistemática baseada em um corpo de regras e etapas estabelecidas para a elaboração de SE. Waterman (1986) apresenta um modelo para desenvolvimento de SE, no qual o problema é dividido em cinco etapas sequenciais. O autor divide o desenvolvimento em: identificação, conceitualização, formulação, implementação e validação. As principais definições de cada etapa do desenvolvimento são apresentadas:

1. **Identificação:** tipo e escopo do problema, escolha dos especialistas, recursos necessários e objetivos do sistema.
2. **Conceitualização:** engenheiros do conhecimento e especialistas decidem os conceitos, relações, estratégias, subtarefas necessários para a resolução de problemas neste domínio específico.
3. **Formulação:** conceitos chave e relacionamentos de acordo com a estrutura e tipo de implementação

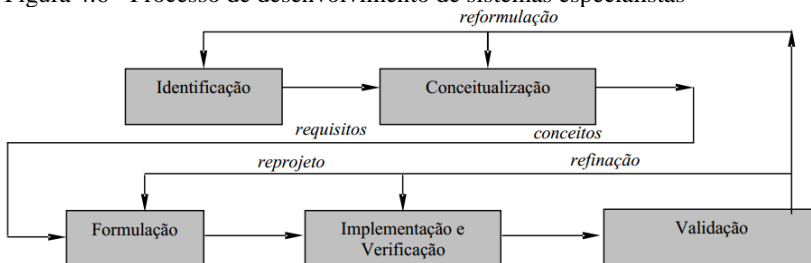
utilizada. Nesta fase as técnicas de aquisição e representação são fundamentais.

4. **Implementação:** codificar o programa, envolvendo as técnicas de representação, integrando conhecimento de diferentes fontes.
5. **Validação:** teste de desempenho e utilização do programa. Os especialistas avaliam o protótipo e fornecem subsídios para sua melhoria. Esta fase pode revelar erros na representação do conhecimento e, conseqüentemente, necessitar de refinamento, reprojeto ou reformulação de fases anteriores.

4.2.2 Elaboração de um SE

A estratégia de elaboração de um SE mais aceita é baseada em desenvolvimento incremental. Gonzalez e Dankel (1993) definem este desenvolvimento como o processo iterativo de aquisição, representação e confirmação de conhecimento em uma parte limitada do domínio do problema com o objetivo de construir de forma incremental a base de conhecimento do sistema especialista. Liebowitz (1997) ratifica este tratamento de informações, sugerindo “construir um pouco, testar um pouco” como modo de expandir e refinar o conhecimento implementado em um SE. Massirer (2007) acrescenta que esta abordagem é seguida por quase todos os profissionais que constroem SE. A Figura 4.6 esquematiza o processo de desenvolvimento de SE.

Figura 4.6 - Processo de desenvolvimento de sistemas especialistas



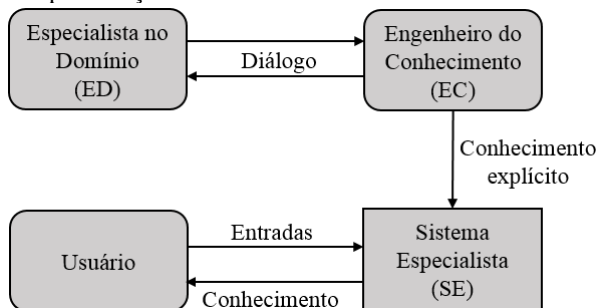
Fonte: Waterman (1986)

Giarratano e Riley (2005) consideram sistemas SHELL como ferramentas de desenvolvimento que oferecem a indução de regras. De maneira análoga, Massirer (2007) destaca a capacidade de sistemas SHELL de fornecerem orientações e mecanismos para a representação e

acesso ao conhecimento. A aplicação desses sistemas de engenharia de conhecimento difere da pura utilização de linguagens convencionais de programação (LISP, PROLOG, C++, etc). Segundo Massirer (2007), linguagens de programação convencional oferecem maior flexibilidade. Todavia, a complexidade dessa abordagem recorrentemente requer da equipe de desenvolvimento a implementação da máquina de inferência para acessar a base de conhecimento. Por outro lado, a menor flexibilidade relativa de sistemas SHELL possibilita uma implementação mais simples e robusta.

Admitindo a importância de SE na transmissão de conhecimento, Silva (1998) considera que o sistema deve ser capaz de não apenas apresentar respostas válidas, mas sim explicar o raciocínio subjacente a cada uma delas. O fluxo de informações apresentado por Giarratano e Riley (2005) é apresentado na Figura 4.7. Neste, expansão do sistema é realizada por meio de um engenheiro de conhecimento (EC), profissional responsável por adquirir e processar o conhecimento do especialista no domínio de modo a permitir a implementação computacional. O fluxo de informações deve ser capaz de direcionar o conhecimento do ED ao usuário com o mínimo de interferências (BOTEGA, 2016).

Figura 4.7 - Representação da transferência de conhecimento através de um SE



Fonte: Adaptada de Giarratano e Riley (2005)

Especialistas em domínios são capazes de reconhecer padrões nas informações de entrada e, a partir destes, formular hipóteses e tomar decisões. Este processo de verificação de hipóteses é facilitado através da simplificação de algo real em um conjunto de atributos de interesse a serem processados, conceito definido por Schichl (2003 apud Back et al., 2008) como modelagem. Neste contexto, Martin (2001) destaca a potencialidade computacional na tomada de decisão através da execução

de procedimentos lógicos de elevada complexidade, possibilitando a identificação de padrões de forma rápida, precisa e replicável.

Não é recente a utilização de padrões identificados em grandes quantidades de informações na tomada de decisão. Todavia, conforme às limitações de acesso à informação do cérebro humano apresentadas por Martin (2001), a identificação e processamento de informações humana é altamente suscetível a falhas. Dessa maneira, justifica-se a utilização de modelos já validados na tomada de decisão. Bishop (2006) considera o teorema de Bayes, apresentado em 1763, como um dos marcos iniciais na compreensão formal de eventos complexos. Não obstante, o autor destaca o surgimento de métodos de análise de regressão, como o de mínimos quadrados por Carl Friedrich Gauss (1795) e Adrien-Marie Legendre (1805). Contudo, o processamento limitado à capacidade humana teve fim com o elevado número de operações possibilitado pelas concepções de computação introduzidas por Turing (1937).

4.3 EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTO EM BASE DE DADOS

A utilização do conhecimento previamente empregado no projeto de motores elétricos é desejável uma vez que a informação final é resultado de avaliações realizadas por especialistas e sistemas. Nesse contexto, propõem-se a sugestão de alterações na configuração do produto, quando identificadas inconformidades, de acordo com configurações similares de motores vendidos, ou seja, projetos que foram analisados por especialistas de diversos domínios. Por esse motivo, no decorrer desta subseção será apresentado os fundamentos do algoritmo de identificação de padrões implementado no SEVC.

4.3.1 Fundamentos da extração de conhecimento em base de dados

Diversos algoritmos de extração de padrões de dados foram estabelecidos na segunda metade do século XX (WU et al., 2007). Todavia, a expressão extração de conhecimento em base de dados (*Knowledge Discovery in Databases - KDD*), definido por Han, Kamber e Pei (2012) como o processo de levantamento de padrões de interesse em grandes quantidades de informações, foi apresentado por Gregory Shapiro apenas em 1989. Com a difusão do conceito no decorrer da década seguinte, aplicações foram desenvolvidas em áreas diversas, como finanças e gerenciamento de produção (NORLANDER, 2001). Wu et al. (2007) acrescenta o desenvolvimento e aprimoramento de

algoritmos mais complexos, como mecanismos de aprendizado acompanhado empregados em análises de classificação, e algoritmos de busca como PageRank, utilizado pela Google. Não obstante, o crescente avanço na importância do tema é evidenciado pelo surgimento de centros de pesquisa como o Instituto de Ciência de Dados de Berkeley em 2013 e Centro de Estatística e Ciência de Dados do Massachusetts Institute of Technology em 2015.

Os padrões identificados no processo KDD representam o conhecimento com certo grau de certeza, de forma objetiva ou subjetiva, e de fácil compreensão (REZENDE 2003 apud RIGONI, 2009).

Partindo de dados consolidados, Silwattananusarn e Tuamsuk (2012) dividem o processo KDD em seleção, pré-processamento, transformação, mineração de dados e interpretação e avaliação (Figura 4.8). De acordo com os autores, as atividades de cada etapa são:

1. **Seleção:** selecionar dados relevantes para a tarefa de análise a partir do banco de dados.
2. **Pré-processamento:** remover o ruído e dados inconsistentes; combinar múltiplas fontes de dados.
3. **Transformação:** transformar dados em formatos apropriados para executar a mineração de dados.
4. **Mineração de dados:** escolher e implementar um algoritmo de mineração de dados apropriado para função desejada; extrair padrões de dados.
5. **Interpretação e avaliação:** interpretar os padrões, transformando-os em conhecimento; remover padrões redundantes ou irrelevantes e traduzir os padrões úteis em termos de entendimento humano.

Figura 4.8 - Processo KDD e mineração de dados



Fonte: Adaptada de Rigoni (2009)

Segundo Fayyad et al. (1996 apud Silwattananusarn e Tuamsuk, 2012), as funções potencialmente realizáveis por algoritmos de mineração de dados são:

1. **Classificação:** analisar um item de interesse e classificá-lo em classes predefinidas.
2. **Regressão:** verificar a relação entre variáveis dependentes e independentes.
3. **Agrupamento:** identificar um conjunto finito de categorias para descrever os dados e agrupar os objetos por similaridade.
4. **Modelagem de dependência** (ensino de regras de associação): encontrar modelos que descrevam dependências entre variáveis.
5. **Deteção de desvio** (deteção de anomalias): identificar itens que não representam o padrão esperado.
6. **Resumo:** encontrar a informação relevante em um formato organizado.

A mineração de dados incorpora técnicas de diversos domínios. Han, Kamber e Pei (2012) destacam a estatística na coleção, análise, interpretação ou explicação e apresentação de dados, além de diversos modelos de aprendizado de máquina, como modelos ativos, no qual especialistas no domínio podem interferir ativamente no aprendizado do sistema, e modelos não supervisionados, no qual o banco de dados não possui classes predefinidas. Ademais, recuperação de informações, otimização de algoritmos, representações e reconhecimento de padrões caracterizam-se como tópicos relevantes ao tema.

Ao longo do processo KDD, a mineração de dados consiste em uma etapa na qual distintos algoritmos são utilizados de acordo a natureza do problema (SILWATTANANUSARN e TUAMSUK, 2012). Em problemas de classificação, destacam-se algoritmos como CART, Naive Bayes e kNN (WU et al., 2007). Não é objetivo deste documento apresentar a aplicabilidade, vantagens e desvantagens de cada abordagem. Na sequência é apresentado o algoritmo utilizado no sistema proposto.

4.3.1.1 Algoritmo de classificação baseado em proximidade

O algoritmo dos k-vizinhos mais próximos (*k-Nearest Neighbor* - kNN) constitui umas das abordagens mais intuitivas e de simples implementação em funções de classificação de dados (HECHENBICHLER, 2004; WU, 2007), na qual um número finito de objetos relativamente semelhantes ao objeto de interesse são utilizados

na determinação de sua classe. De forma simplificada, algoritmo pode ser interpretado em duas etapas:

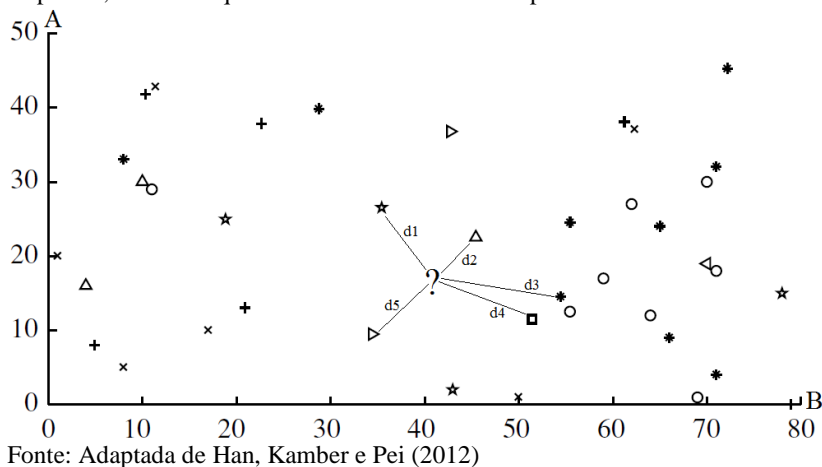
1. Definir k objetos no banco de dados que mais se assemelham ao objeto de interesse P .
2. Utilizar os k objetos para determinar a classe de P .

Fahrmeir et al. (1996 apud Hechenbichler, 2004) justificam o emprego do método através da ocorrência aleatória de instâncias dentro de um banco de dados de treinamento, ou seja, um grupo de objetos com classes conhecidas (HAN, KAMBER e PEI, 2012). Em outras palavras, com o aumento do número de instâncias do banco de dados, aumenta probabilidade do encontro de instâncias com maior similaridade a P .

4.3.1.2 Cálculo da distância global entre instâncias

A primeira etapa do algoritmo consiste em identificar os k vizinhos mais próximos do ponto de análise P . A representação bidimensional de um conjunto de objetos definidos pelas características A e B , e pertencentes a diferentes classes, representadas por diversas formas geométricas, é apresentada por Han, Kamber e Pei (2012) na Figura 4.9. Na figura, assume-se arbitrariamente $k = 5$ e, portanto, calcula-se a distância d entre P e seus cinco vizinhos mais próximos.

Figura 4.9 - Representação 2D de um banco de dados através de um gráfico de dispersão, com destaque as $k = 5$ instâncias mais próximas de P



Kraslawski, Koiraanen e Nyström (1995) apresenta a função r-métrica (Função 4.1) de Minkowski como forma genérica de obtenção das distâncias entre uma instância C_i da base de dados contendo atributos x_j , com $j = 1, m$ e uma instância de interesse P contendo atributos x_j , com $j = 1, p$. Neste cenário, tem-se um problema m dimensional, também dependente da ordem r . Segundo Matelli (2008), o número de características que descrevem as instâncias do banco de dados e a instância de interesse comumente são diferentes, ou seja, $m \neq p$. A função global de distância (Função 4.2), $d(P, C_i)$ é definida através da combinação das funções de distância local $d(P, C_i)_j$.

$$d(P, C_i)_j = \left(\int_{-\infty}^{+\infty} |P(x_j) - C_i(x_j)|^r dx_j \right)^{\frac{1}{r}} \quad (4.1)$$

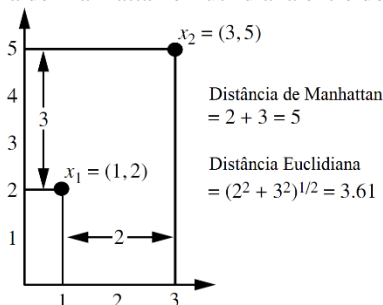
$$d(P, C_i) = \left(\sum_{j=1}^m (|P(x_j) - C_i(x_j)|)^r \right)^{\frac{1}{r}} \quad (4.2)$$

A distância de Manhattan é obtida quando $r = 1$ (Função 4.3), sendo o modo mais simples de combinação entre as distancias locais. A distância Euclidiana trata-se de um caso particular da distância de Minkowski ($r = 2$) (Função 4.4). A representações 2D das distâncias de Manhattan e Euclidiana são apresentadas na Figura 4.10.

$$d(P, C_i) = \sum_{j=1}^m |P(x_j) - C_i(x_j)| \quad (4.3)$$

$$d(P, C_i) = \left(\sum_{j=1}^m (P(x_j) - C_i(x_j))^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4.4)$$

Figura 4.10 - Distância de Manhattan e Euclidiana entre dois objetos



Fonte: Han, Kamber e Pei (2012)

Para evitar que a distância global seja dominada por um único atributo, estes podem ser normalizados em um intervalo entre 0 e 1 (WU et al, 2007). A Função 4.5, apresentada por Matelli (2008), é comumente empregada na avaliação de similaridade local de variáveis contínuas, enquanto a Função 4.6 caracteriza-se como uma função local de distância para variáveis discretas de simples implementação, a qual atribui uma distância 0 caso os valores de $P(x_j)$ e $C_i(x_j)$ sejam idênticos e, caso contrário, atribui a distância 1 (MATELLI, 2008). Destaca-se a possibilidade de uma análise híbrida, com variáveis contínuas e discretas. Todavia, a resposta tende a ser dominada pela lógica booleana.

$$d(P, C_i)_j = 1 - \frac{|P(x_j) - C_i(x_j)|}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (4.5)$$

$$d(P, C_i)_j = \begin{cases} 0 & \text{se } P(x_j) = C_i(x_j) \\ 1 & \text{se } P(x_j) \neq C_i(x_j) \end{cases} \quad (4.6)$$

As funções previamente apresentadas não consideram o quão importante cada atributo é na avaliação da distância entre instâncias. Caso tal distinção seja necessária, é possível utilizar a soma ponderada das distâncias locais, apresentada na Função 4.7 (BRIDGE, 2007). O peso w_j define a importância de cada atributo. Destaca-se que com o aumento da ordem r , a resposta tende a ser dominada pelas variáveis de maior peso (WU et al., 2007).

$$d(P, C_i) = \sum_{j=1}^m w_j \times d(P, C_i)_j \quad (4.7)$$

A distância mínima é obtida em um cenário no qual $P(x_j) = C_i(x_j) \forall i, d(P, C_i) = 0$. Analogamente, a distância máxima é obtida quando $P(x_j) \neq C_i(x_j) \forall i, d(P, C_i) = \sum_{j=1}^m w_j$. Desse modo, uma função de similaridade $Sim(P, C_i)$ é definida para estimar o quão próximo C_i está de P (Função 4.8).

$$Sim(P, C_i) = \frac{\sum_{j=1}^m w_j \times d(P, C_i)_j}{\sum_{j=1}^m w_j} \quad (4.8)$$

4.3.1.3 Votação para definir a classe da instância de interesse

A segunda etapa do algoritmo consiste em utilizar as k instâncias mais similares a P na determinação de sua classe. Todavia, a resposta é dependente do número de vizinhos de P analisados. De acordo com Wu et. al (2007), se este número for relativamente pequeno, os resultados estarão sensíveis ao ruído, e a classe de P pode ser definida por exceções. Em contrapartida, se o conjunto de objetos avaliados na tomada de decisão for relativamente elevado, a vizinhança de P pode conter muitos objetos de outras classes, e a predominância local de uma classe pode não ser suficiente para definir a classe de P . Hassanat et al. (2014) sugere a utilização de $k = n^{0,5}$, sendo n o número de elementos do conjunto de treinamento, como solução de compromisso entre baixo nível de ruído e sensibilidade local da amostra.

Cada uma das k instâncias mais similares ao ponto de interesse P contribui para a definição de sua classe. Para isso, existem diversos modelos de tomada de decisão, os quais podem fazer uso do conhecimento de especialistas humanos (BRIDGE, 2007). Como exemplo, tem-se um sistema que utiliza um banco de dados de sensores para definir se a máquina deve ser desligada ou permanecer em operação. Neste caso, por motivos de segurança, se uma das k instâncias pertencer a classe “desligar”, pode-se optar por desligar a máquina.

Uma abordagem simples para selecionar a classe do ponto de interesse é o voto majoritário. Nesta, é computado o número de vizinhos da mesma classe e retornada à classe de maior predominância (WU et al., 2007). Todavia, conforme destacado por Hechenbichler (2004), a

importância de cada voto é a mesma para todas as instâncias, mesmo que a similaridade de cada uma destas em relação ao ponto de observação seja diferente.

O voto inverso da distância ponderada pode ser empregado para distinguir a importância de cada um dos k elementos na decisão da classe do ponto de interesse. Neste, cada elemento pertencente a k vota com uma relevância $p(P, C_i)$ definida através da Função 4.9 (BRIDGE, 2007). Por fim, são somados os votos de cada classe e é retornada a classe com maiores votos.

$$p(P, C_i) = \begin{cases} \infty & \text{se } d(P, C_i) = 0 \\ \frac{1}{d(P, C_i)} & \text{se } d(P, C_i) \neq 0 \end{cases} \quad (4.9)$$

Objetivando reduzir a sensibilidade do resultado na escolha de k , Wu et al. (2007) sugerem valorar a importância do voto de cada elemento pelo inverso do quadrado da distância, conforme a Função 4.10.

$$p(P, C_i) = \begin{cases} \infty & \text{se } d(P, C_i) = 0 \\ \frac{1}{d(P, C_i)^2} & \text{se } d(P, C_i) \neq 0 \end{cases} \quad (4.10)$$

4.4 TRABALHOS RELACIONADOS A SISTEMAS ESPECIALSITAS DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE

A correta interpretação das informações contidas em regulamentos é fator decisivo para adequada verificação automática de conformidade. Nesse âmbito, Malsane et al. (2015) sugerem formalizar o conhecimento em três etapas: 1) selecionar o apropriado regulamento pertencente ao cenário do problema em questão; 2) classificar as cláusulas do regulamento em interpretáveis ou não interpretáveis computacionalmente; 3) decompor as cláusulas para retirar a semântica. Saeki, Kaiya e Hattori (2009) fundamentando-se no pressuposto de que regulamentos consistem em descrições de obrigação, proibição, permissão e isenção de atos de uma entidade sob a situação especificada. No trabalho, os autores salientam a importância da qualidade da semântica das informações extraídas dos regulamentos através do desenvolvimento de um sistema auxiliar para conversão de lógicas de predicado em proposicionais. Neste sistema, é apresentada a função de

análise automática da descrição das cláusulas dos regulamentos e extração de suas estruturas, para, por fim substituir unificar as palavras usadas. Noy (2004) destaca complexidade do mapeamento semântico devido à relação entre partes de regulamentos, como subclasse e anexos. A importância da integração entre engenheiros do conhecimento, programadores e especialistas no domínio durante a validação é abordada por Silva, Matelli e Bazzo (2014) ao sugerir vantagens quando o engenheiro do conhecimento possui expertise com o domínio.

A extração dos argumentos lógicos contidos em regulamentos e manutenção da relação entre os regulamentos originais e sistematizados são questões que permutam uma série de trabalhos relacionados a conformidade normativa. Esse problema é abordado por Beach, Rezgui e Kasim (2015) através da introdução de meta-data nos regulamentos e conversão destes em linguagem semânticas através de um sistema SWRL (*Semantic Web Rule Language*), mantendo assim uma próxima relação entre as regras geradas e os documentos originais. De modo semelhante, Law e Lau (2012) apresentam o projeto REGNET para facilitar acesso à análise de conformidade de acordo com regulamentos governamentais, projeto este fundamentado na introdução de meta-data para elaboração automática de toda estrutura lógica do sistema. Saeki, Kaiya e Hattori (2009) discutem a representação regulamentos utilizando a representação matemática de lógica temporal com ramificações sistema para verificação automática de conformidade em processos de negócio e sistemas de informação. Wix, Nisbet e Liebich (2008) discutem o problema de transformar códigos desenvolvidos para estarem escritos em papel em regras capazes de serem interpretadas por computadores. Nesse contexto, é apresentado o projeto SmartCode, metodologia na qual é permitido que o usuário adicione rótulos aos textos normativos e, na sequência, as regras sejam extraídas automaticamente, seguindo um rigoroso padrão matemático para formular o modelo do regulamento.

Malsane et al. (2015) apresentam o desenvolvimento de um sistema de verificação de conformidade aplicado à construção civil com implementação orientada ao objeto. Semelhantemente, Yang e Xu (2004) utilizam orientação ao objeto na elaboração de sistemas de checagem automática de códigos de processos na construção civil. Watson, Lockley e Shaaban (2002) apresentam um modelo de reutilização de dados de especificação elétrica na construção civil. Neste, uma modelagem orientada ao objeto é empregada, resultando no sistema comercial NBS. Liu, Muller e Shu (2007) realizaram um trabalho semelhante utilizando uma linguagem de especificação de

processo que captura a conformidade regulatória de processos de negócios. Esta linguagem é então traduzida para lógica temporal linear. Beach, Rezgui e Kasim (2015) utilizam representação semântica do conhecimento, validando os sistemas através de regulamentos automatizados por profissionais. Saeki, Kaiya e Hattori (2009) utilizam Lógica de Árvore de Computação (LAC) na representação dos regulamentos.

A captação das especificações de projeto através de sistemas de configuração de produto é considerada por Myrodia, Kristjansdottir e Hvam (2017) como excelente tratamento para projetos de customização em massa uma vez que simplifica a elaboração de regras através da introdução única e completa da descrição do produto. Alternativamente, Law e Lau (2012) utilizam perguntas e respostas para guiar o usuário aos regulamentos aplicáveis. Em adição, a interface com diferentes plataformas é discutida por Beach, Rezgui e Kasim (2015) através da integração o sistema de verificação de conformidade a um software de projeto de construção Bentley Microstation.

A reutilização de informações e conhecimento é considerada uma importante abordagem no que tange ao gerenciamento de risco, uma vez que decisões são tomadas baseadas em soluções validadas (EMMITT, 2001). Em adição, tal tipo de tratamento é de interesse devido à potencial falta de tempo para investigação de alternativas de projeto. Em contrapartida, é destacada a contribuição para falta de qualidade da informação caso não haja controle sobre a documentação, e.g. utilização contínua de regulamentos obsoletos. Watson, Lockley e Shaaban (2002) apresentam um modelo de reutilização de dados de especificação elétrica na construção civil, com ênfase em pequenas firmas, resultando no sistema comercial NBS Scheduler. Matelli (2008) discute a combinação de sistemas especialistas baseado em regras e baseado em casos, sugerindo potenciais vantagens de um sistema híbrido, como capacidade de auto-aprendizado, inferência a partir de situações novas, e baixa necessidade de adaptação de soluções e interferência humana.

No que tange à identificação e resgate de instâncias semelhantes, Wu et al. (2008) considera a utilização de algoritmo de classificação dos k vizinhos mais próximos como solução simples, intuitiva e de grande aplicabilidade industrial, destacando a possibilidade da introdução das heurísticas particulares de cada processo através da ponderação do nível de importância de cada característica que descreve uma classe. Samworth (2012) apresenta modelos de otimização dessa ponderação de acordo com os resultados esperados em um grupo de treinamento. Em adição, a interação dos usuários com sistemas de classificação é

discutida por Han, Kamber e Pei (2012). Segundo os autores, é importante que haja interatividade através da possibilidade de alteração parâmetros da busca, bem como a incorporação do conhecimento humano prévio na definição de como as respostas serão apresentadas.

Diferentes abordagens e indicadores são adotados para avaliar os resultados de sistemas especialistas. Silva, Matelli e Bazzo (2014) utilizam notas atribuídas a diversos aspectos do SE, como descrição adequada das saídas do sistema e capacidade deste oferecer soluções alternativas, atribuídas por especialistas no domínio que auxiliaram no desenvolvimento do sistema e consultores externos independentes do projeto. A validação de hipótese através da utilização de dois grupos usuários de teste é empregada por Myrodia, Kristjansdottir e Hvam (2017) para verificar melhorias através do SE desenvolvido em relação às tabelas de cálculos previamente utilizadas no que tange aos indicadores de volume anual de negócios, rentabilidade do projeto e precisão no cálculo de custos. Malsane et al. (2014) avaliam os resultados através da classificação dos regulamentos após a implementação, utilizando as métricas: 1) interpretável computacionalmente; informação óbvia como verificável ou que pode influenciar os parâmetros do projeto, regras geométricas simples que quando aplicadas a um elemento podem retornar verdadeiro ou falso; 2) informação não é óbvia como verificável, precisa de interpretação humana para entender o conteúdo e significado exato, códigos e regulamentações que envolvem linguagem natural; 3) cláusulas que não são adequadas para automatização verificação de conformidade. Beach, Rezgui e Kasim (2015) comparam os resultados da interpretação de cláusulas manualmente por especialistas no domínio e os resultados automáticos do sistema.

As primeiras tentativas de sistemas baseados em inteligência artificial, conceito proposto por Alan Turing na metade do Século XX, não foram bem-sucedidas devido à divergência entre paradigma de IA vigente na época, o qual buscava uma solução a tarefas genéricas através do GPS e crescente complexidade dos problemas de pesquisa. Por esse motivo, partindo de abordagem fundamentada em conhecimento específico e de escopo limitado, surge o ramo da IA de sistemas especialistas, os quais objetivam emular o comportamento humano na tomada de decisão.

Sistemas especialistas convencionais são fundamentados em uma base estática de regras, as quais são ativadas e executadas por intermédio de um processador cognitivo que utiliza as informações introduzidas pelo usuário. O conhecimento de ED pode ser representado

de maneiras distintas, como regras e redes semânticas. Todavia, destaca-se a representação através de orientação ao objeto flexibilidade e simplicidade de expansão da elaboração da arquitetura de processamento de informações.

Lógicas auxiliares comumente são empregadas para melhor traduzir o comportamento de um ED. Neste contexto, o processo KDD pode ser empregado na identificação de padrões em grande quantidade de dados e, mais especificamente, o algoritmo de classificação baseado em proximidade na etapa de mineração de dados. A partir deste, instâncias similares a uma configuração qualquer do produto podem ser utilizadas na tomada de decisão durante o projeto.

5 SISTEMA ESPECIALISTA DE VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE DO PRODUTO

A complexidade e necessidade de profundo conhecimento técnico do domínio são fatores considerados por Beach et al. (2015) como barreira à automatização da verificação de regras. Kerrigan e Law (2003 apud Beach et al., 2015) admitem o presente desafio da conversão de textos normativos não-binários, elaborados para serem lidos por humanos, em códigos computacionais executáveis. Todavia, recentes estudos vêm demonstrando a aplicabilidade de sistemas especialista no processo, conforme constatado por Malsane et al. (2015) através do desenvolvimento de SE com orientação ao objeto aplicado à verificação regulatória automática na construção civil.

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento do sistema especialista de verificação da conformidade de motores elétricos. Primeiramente, são expostos o conceito, limitações de escopo e versões empregadas no desenvolvimento incremental. Na sequência, a lógica desenvolvida para cadastro de regras é detalhada, a qual objetiva a avaliação isolada das restrições técnicas do produto, requisitos legais e comerciais do mercado de aplicação, e potenciais soluções às inconformidades. Em adição, é apresentado a forma de emprego do algoritmo kNN na solução de dúvidas técnicas.

5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA ESPECIALISTA DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE

O funcionamento do sistema especialista de verificação de conformidade (SEVC), desenvolvido para este trabalho, é baseado em um processo interativo dividido em três etapas. Inicialmente, são adquiridas informações referentes à configuração inicial do produto, país no qual este irá operar e certificações solicitadas. Na sequência, os dados de entrada são processados através da máquina de inferência, a qual avalia a base de conhecimento objetivando verificar as restrições técnicas, requisitos legais e conformidade da configuração introduzida. Por fim, são apresentadas as certificações e marcações contempladas pelo motor, o diagnóstico de inconsistências de projeto e potenciais soluções. A Figura 5.1 apresenta as etapas de execução de forma cíclica, caracterizando um processo interativo de verificação de conformidade normativa e alteração na configuração do produto.

Figura 5.1 - Proposta de execução do SEVC



Fonte: Acervo interno WEG (2017)

Ao término das interações, o resultado da verificação da conformidade normativa do motor pode ser salvo. Desse modo, é gerado um número de identificação da consulta técnica o qual está associado a configuração do produto e a resposta gerada pelo SEVC. Assim sendo, tem-se um registro equivalente a uma análise realizada por especialistas no domínio de conformidade (EDC), o que possibilita a não análise da configuração do produto pela seção de conformidade no fluxo de projeto descrito na seção 2.3.

O SEVC tem como objetivo integrar o conhecimento dos especialistas e informações registradas em documentos utilizados na resposta de consultas técnicas com as regras desenvolvidas para o sistema de configuração do produto e o sistema de geração automática de placas, conforme a convergência de funcionalidades apresentada na Figura 5.2. Portanto, é necessário orientar sobre a correta configuração do produto na fase de configuração do produto, apresentando e justificando alternativas de projeto. Em adição, o SEVC deve informar se o produto atende a certificações e apresentar alternativas, diminuindo a necessidade da análise por um especialista de conformidade. Por fim, o SEVC deve auxiliar na definição dos logos, marcações e idioma da placa de identificação.

Figura 5.2 - Convergência de sistemas no SE protótipo

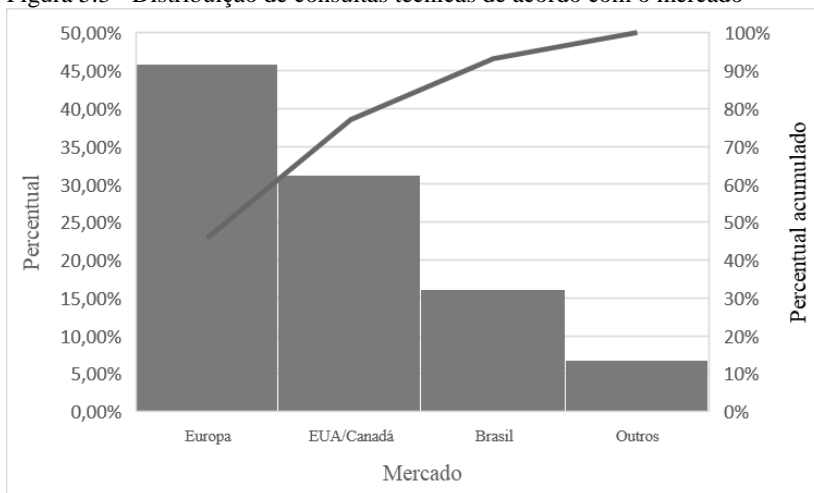


Fonte: Acervo interno WEG (2017)

5.1.1 Distribuição percentual de consultas técnicas

Foram analisadas 1104 dúvidas emitidas formalmente aos especialistas de certificação do produto da empresa-alvo no ano de 2017. Para a subsequente análise, define-se o termo mercado como país ou conjunto de países em que o produto será comercializado. De acordo com a distribuição de valores, aproximadamente 46 % das consultas referem-se exclusivamente ao mercado europeu, 31 % ao mercado estadunidense e canadense e 16 % ao mercado brasileiro. A distribuição percentual individual e acumulada das consultas relativas aos países de operação dos produtos é apresentada na Figura 5.3.

Figura 5.3 - Distribuição de consultas técnicas de acordo com o mercado

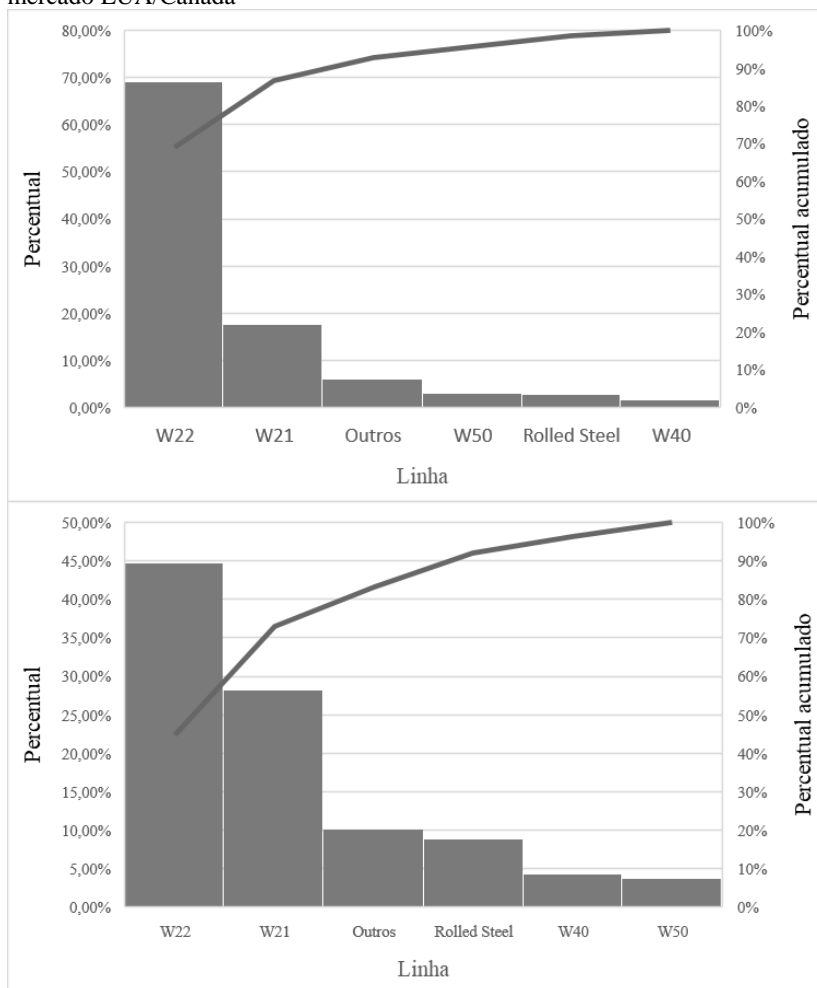


Fonte: Autoria própria

O percentual de dúvidas técnicas relativas aos países EUA/Canadá é elevado (aproximadamente 31%), caracterizando-se, portanto, como de grande importância estratégica comercial. Não obstante, poucos órgãos certificadores regulamentam este mercado. Desse modo, se comparado ao mercado europeu, através da sistematização de um número inferior de regras são previstos elevados ganhos de produtividade e assertividade. Por este motivo, este mercado foi definido como alvo do sistema especialista.

A linha de produtos “W22” foi selecionada para o escopo devido a seu elevado percentual de dúvidas referentes a países da América do Norte. Em relação ao número total de consultas técnicas da amostra analisada, 69 % se referem à linha W22 e 17 % a W21. Para o mercado alvo, os valores são de 45 % e 28 %, respectivamente. As distribuições percentuais individual e acumulada das consultas referentes às diversas linhas de produtos são apresentadas na Figura 5.4.

Figura 5.4 - Distribuição de consultas por linha de produtos no mercado global e mercado EUA/Canadá

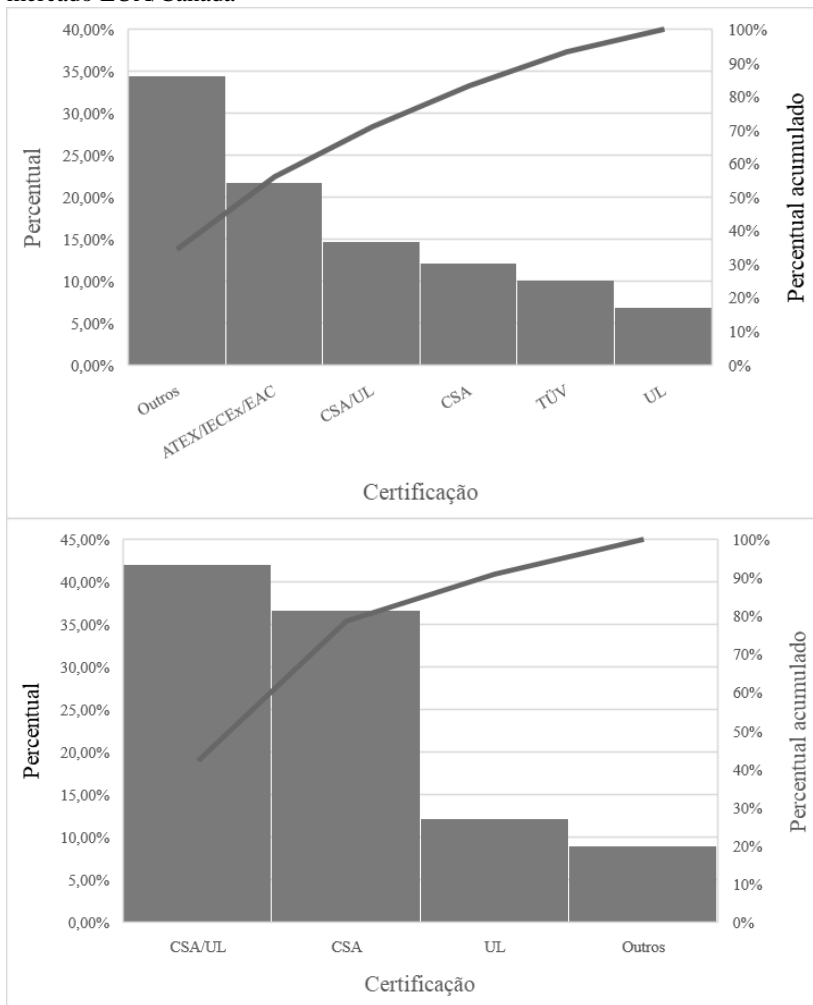


Fonte: Autoria própria

O escopo foi limitado às certificações referentes aos órgãos certificadores de motores elétricos relevantes ao mercado norte-americano (CSA, UL e CE). As certificações ATEX/IECEX/EAC (22 %), CSA/UL (15 %), CSA (12 %), TÜV (10 %) e UL (7 %) apresentam valores significativos na distribuição global. Pelas razões legais melhor discutidas na seção 3.4 deste documento, as certificações

do mercado alvo concentram-se em CSA, UL e suas combinações. A distribuição percentual individual e acumulada referente aos órgãos certificadores do produto são apresentadas na Figura 5.5.

Figura 5.5 - Distribuição de consultas por certificação no mercado global e mercado EUA/Canadá

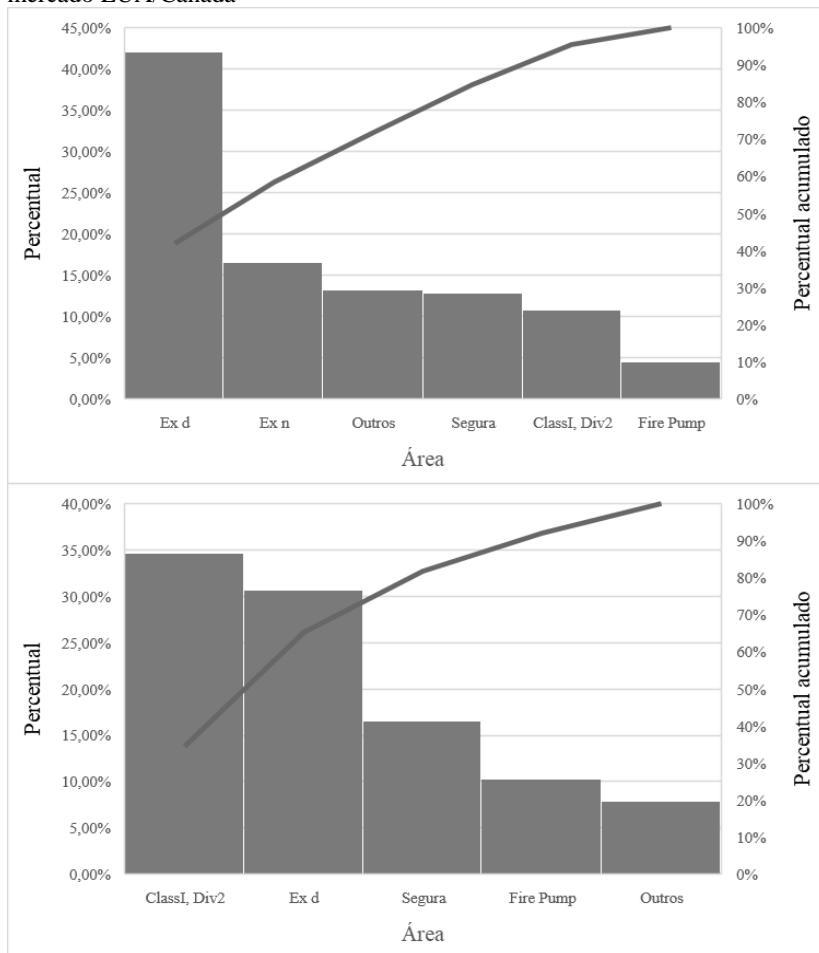


Fonte: Autoria própria

O escopo foi limitado a ambientes com características de área segura, bomba de incêndio (*fire pump*) e classe I divisão 2. Em relação à

área de aplicação do total de consultas, tem-se 42 % em Ex d, 16 % em Ex n, 13 % área segura, 11 % classe I divisão 2. Para o mercado alvo, o maior número de consultas refere-se à classe I divisão 2 (35 %), Ex d (31 %), área segura (17 %) e bomba de incêndio (10 %). As distribuições percentuais referentes às características do ambiente de aplicação do produto são apresentadas na Figura 5.6.

Figura 5.6 - Distribuição de consultas por área de aplicação no mercado global e mercado EUA/Canadá



Fonte: Aatoria própria

5.1.2 Versões do sistema

O SEVC baseia-se na estratégia de desenvolvimento incremental, na qual foram previstas as sete versões apresentadas no Quadro 5.1. Desse modo, as funcionalidades são expandidas através do cadastro de certificados e diretivas de mercado, melhorias da qualidade de resposta e desenvolvimento da interface. Primeiramente, são cadastradas regras que verificam o atendimento das certificações CSA área segura e área classificada, e UL área segura. Na segunda versão, são introduzidas regras para justificar o não atendimento e sugerir potenciais soluções às inconformidades. Na terceira versão, são introduzidos os certificados EAC área segura e normativa CE. Na quarta versão, é elaborada a interface entre o sistema e usuário final. Na sequência, regras dos certificados UL Fire Pump e NOM ANCE. Por fim, libera-se o mercado Europeu através da introdução das certificações EAC área classificada, ATEX e IECEx. Destaca-se que no início do trabalho proposto, regras referentes a diversos certificados já haviam sido cadastradas.

Quadro 5.1 - Desenvolvimento incremental proposto ao SEVC

Versão	Mercado	Certificações	Tipo de resposta	Telas
1	EUA/Canadá	CSA área segura CSA área classificada UL área segura	Atende ou não atende	Context
2	=	=	Por que atende ou não atende e potenciais soluções	=
3	=	EAC área segura CE área segura	=	=
4	=	=	=	Maestro
5	=	UL Fire Pump área segura NOM ANCE área segura	=	=
6	Europa	=	=	=
7	=	EAC área classificada ATEX área classificada IECEx área classificada	=	=

Fonte: Autoria própria

5.1.3 Shell MAESTRO

O sistema especialista está sendo desenvolvido em uma *shell* denominada MAESTRO, propriedade intelectual da empresa-alvo. Esta *shell* foi elaborada tendo como premissa aumentar a autonomia de áreas não especializadas em programação, apresentando alta flexibilidade, interface intuitiva, conectividade com sistemas externos e facilidade no compartilhamento de informações. A escolha desta *shell* vai ao encontro das diretivas da empresa que definem esta como fonte única de registro de códigos computacionais.

O cadastro e alteração de características são simplificados através de uma interface que permite a definição dos valores juntamente com a descrição desse valor em diferentes línguas, conforme apresentado na Figura 5.7. Essa abordagem simplifica, durante a elaboração da resposta ao usuário, a manipulação do valor da característica na resposta, não necessitando da elaboração de regras intermediárias de conversão de valores. Não obstante, as características são definidas por seu tipo, possíveis valores e possibilidade de adição de novos valores, unidade e tipo de atribuição (simples ou multivaloradas).






Figura 5.7 - Valores de uma característica

Valor	Valor PT	Valor EN	Valor ES
00129	UL/CSA	UL/CSA	UL/CSA
00130	USO NAVAL	NAVAL USE	USO NAVAL
00131	ABNT	ABNT	ABNT
00132	BUREAU VERITAS	BUREAU VERITAS	BUREAU VERITAS

Fonte: Acervo interno WEG (2017)

Alterações nas classes do sistema são simplificadas. Como principais funcionalidades, a *shell* possibilita a fácil introdução e retirada das características que compõem uma classe. Ademais, quando associadas a uma classe, os valores admissíveis de uma característica podem ser selecionados, viabilizando a redução do número de valores possíveis de acordo com a necessidade do sistema em questão. Além das características, as classes são constituídas por eventos e regras, as quais são executadas de acordo com a sequência definida pelo programador. Em adição, regras são agrupadas em grupos de regras, os quais podem ser compartilhados por múltiplas classes. Não obstante, a elaboração de regras é simplificada através de um sistema de ícones, conforme apresentando no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 - Modelo de programação de regras na *shell* Maestro

Símbolo	A condição será verdadeira se
	o valor configurado for o mesmo de ao menos um dos valores da condição
	o valor configurado for diferente de os valores da condição
	a característica não estiver vazia
	a característica estiver vazia
	o código em java retornar verdadeiro

Fonte: Autoria própria

As regras de conformidade devem ser elaboradas e cadastradas por especialistas e/ou profissionais com competência na área, e o sistema utilizado por representantes de vendas. Como medida de segurança, regras podem ser elaboradas e executadas em modo de teste antes de serem liberadas para produção. Em adição, para evitar a alteração de regras por usuários não autorizados, dois grupos de acesso ao SEVC foram criados. Desse modo, a equipe de conformidade fica responsável pela elaboração de regras, não podendo estas ser alteradas por usuários do grupo de acesso de usuário. Em adição, colaboradores não pertencentes ao grupo de acesso de usuário não conseguirão acessar o SEVC.

5.1.4 Transposição conhecimento dos especialistas de conformidade

Na sequência é apresentada, através de exemplos, a transposição do conhecimento de especialistas no domínio de conformidade em regras computacionais.

5.1.4.1 Captação do conhecimento dos especialistas de conformidade

Especialistas no domínio de conformidade, além do elevado conhecimento técnico para avaliar as consultas técnicas, possuem grande familiaridade com os valores do configurador de produto. Com o objetivo de estabelecer um formato simples para os EDC transmitirem seu conhecimento, optou-se pela elaboração de tabelas com regras sentença (i.e. regras *forward*), conforme exemplificado no Quadro 5.3. No exemplo, se, de acordo com a configuração do motor, as condições forem verdadeiras, realiza-se a ação de atribuir o logo CSA ao produto. Esta etapa de elaboração de pseudocódigo caracteriza-se elevada comunicação entre os especialistas de conformidade e engenheiros do conhecimento, de modo a garantir a correta interpretação e posterior elaboração das regras referentes às informações dispostas.

Quadro 5.3 - Exemplo de pseudocódigo elaborado por especialistas no domínio de conformidade

Ação	Condições
Adicionar logo CSA	Para motores que possuem certificação CSA para áreas classificadas ou área segura, com nível de eficiência NEMA <i>Premium</i> ou <i>Super Premium</i> , e que possuam todas as características abaixo: <ul style="list-style-type: none"> - de 1 a 500HP, trifásicos; - 2 a 8 polos; - 60Hz ou 60/50Hz ou 50/60Hz, sendo que o rendimento em 50Hz não é avaliado perante as regras do DOE; - tensões igual ou menores a 600V;




Ação (continuação)	Condições (continuação)
Adicionar logo CSA	<ul style="list-style-type: none"> - regime de serviço contínuo; - velocidade única; - carcaças NEMA 143 e acima, ou IEC equivalentes, incluindo as carcaças IEC 80 e 100; - categorias A, B, C, N ou H; - tipo TEFC, ODP ou TENV; - motores normais, ou motores para bombas, ou multimontagem ou com bases especiais, ou com base elástica (exceto 1 HP para base elástica); - motores horizontais ou verticais; - motores com eixos e tampas normais, ou com eixos e flanges especiais (incluindo JP, JM, HP, LP); - motores com pés ou sem pés; - motores sem freios ou com freios (integral ou removível); - motores normais, ou tipo motoredutores onde o motor pode ser separado do redutor e ser considerado como motor completo; - motores completos ou parciais (com exceção para conjunto de estator e rotor - parte e peças); - motores sem uso de inversor de frequência ou aptos para a utilização com inversor de frequência utilizar o logo CSA com a indicação de verificação da eficiência do motor; <p>Motores com utilização de freio ou variante motofreio:</p> <ul style="list-style-type: none"> - motores com certificação CSA para área segura só podem utilizar os freios definidos no certificado CSA-Report 2194017, revisão Project 70085330 de 23/06/2016, ou seja, os tipos descritas na página 9 deste certificado; - motores com certificação CSA para áreas classificadas podem utilizar freios mediante consulta;

Fonte: Acervo interno WEG (2018)

5.1.4.2 Implementação do conhecimento dos especialistas de conformidade

Após a captação do conhecimento dos EDC, regras são implementadas na *shell* Maestro, conforme exemplificado no Quadro 5.4. No exemplo, se o valor configurado for o mesmo de ao menos um dos valores de cada condição, a regra será verdadeira.

Quadro 5.4 - Condições para definição do certificado de conformidade CSA 2194017

Tipo	Característica	Valores
	MERCADO	00009 - EUA/CANADA 00010 - EUROPA
	APLICACAO_MOTOR	00082 - W22 00085 - IEE 841 W22 00089 - COOLING TOWER 00087 - JM/JP/JET PUMP
	ENTIDADE_NORMA	00006 - NEMA 00004 - IEC
...

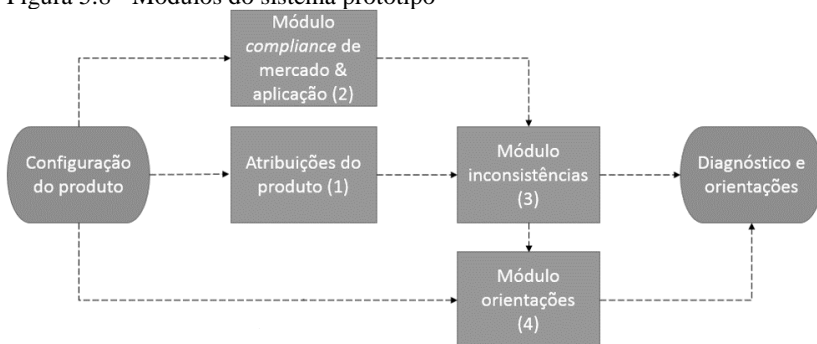
Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

Caso as condições previamente estabelecidas sejam verdadeiras, executa-se a ação de adicionar o certificado CSA_2194017 aos certificados contemplados pela configuração do produto.

5.2 ARQUITETURA DO SISTEMA ESPECIALISTA DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE

Propõe-se um sistema que processe isoladamente as necessidades do cliente, as necessidades legais e comerciais do mercado, e as restrições técnicas de projeto. Desse modo, pode-se identificar as inconsistências no que foi solicitado e orientar o usuário com alternativas à não conformidade. A proposta visa uma arquitetura expansível e de fluxo simplificado de processamento, isto é, cada parte do sistema é responsável por determinados resultados, sendo estes utilizados nos módulos subsequentes. Os módulos do sistema, apresentados na Figura 5.8, são detalhados no decorrer deste capítulo.

Figura 5.8 - Módulos do sistema protótipo



Fonte: Autoria própria

É necessário sistematizar as potenciais soluções às inconsistências, ou seja, quais medidas devem ser tomadas para que o produto atenda as especificações do cliente e mercado. Como exemplo, tem-se a possibilidade de realização de certificações pelo processo de categoria, e o tempo e custo relativo ao processo. Não obstante, deve-se elencar as possíveis soluções relativas a como configurar o produto para que esta solução seja transmitida corretamente às partes interessadas e que ocorra a posterior correta geração da placa de identificação.

Uma execução baseada em eventos foi desenvolvida para simplificar a expansão do sistema através da possibilidade de introdução

de novos objetos na árvore de objetos do sistema (Figura 5.9) antes da execução das regras que analisam a conformidade do produto. O evento é a condição inicial de cada regra, determinando assim em qual etapa da execução do sistema esta será executada. Esses eventos são disparados através de botões na tela do sistema, conforme apresentado no Capítulo 6, no qual é detalhada a verificação e validação do SEVC. Os eventos utilizados no sistema e ações associadas as regras que o utilizam são:

- **Novo:** deleta os objetos árvore de objetos e gera as subclasses imediatas da classe inicial (*root*), seguidas das subclasses de cada filho da *root*.
- **Importar:** importa a configuração do produto a partir do número de identificação.
- **Calcular:** trata os valores iniciais, padronizando o formato em que estes são processados, e define os requisitos mínimos de acordo com o mercado de operação, os certificados atendidos, as inconsistências do projeto e apresenta alternativas de projeto.
- **Salvar:** salva a configuração atual do produto e a resposta gerada pelo sistema, e cria um número de identificação que permite o rastreamento dessas informações.

5.2.1 Controle geral das operações do sistema

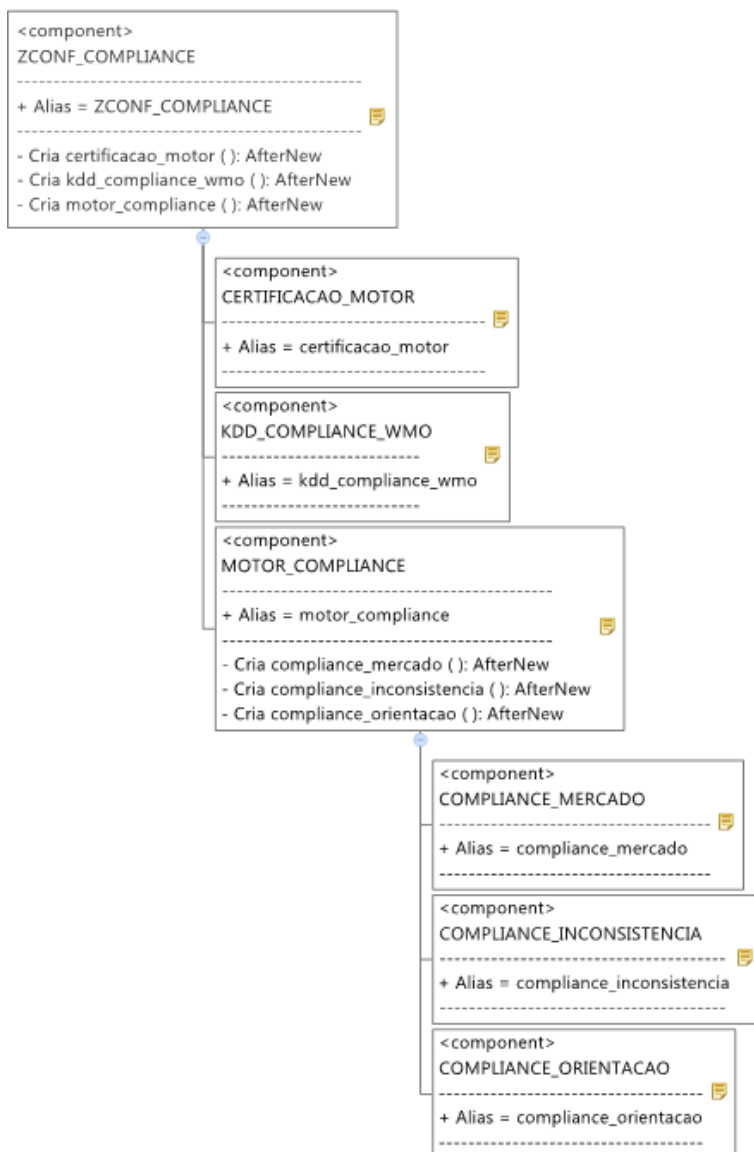
O objeto *root* da árvore de objetos tem função de controle das operações do sistema. Neste objeto, os grupos de regras, apresentados no Quadro 5.5, primeiramente importam os valores de características referentes às especificações do produto solicitadas pelo cliente através de um ID e seu número de revisão, conforme descrito na subseção 2.1.1. Na sequência, regras tratam alguns valores importados. No próximo grupo de regras é verificado se a configuração está dentro do escopo do sistema especialista. Por fim, a árvore é gerada e os filhos populados.

Quadro 5.5 - Grupos de regras do módulo de controle

Sequência	Descrição
0	CSWMO - IMPORTAR VALORES
10	CSWMO - REGRAS DE-PARA
20	CSWMO - VERIFICAÇÃO DO ESCOPO DO SISTEMA
30	CSWMO - ADMINISTRAÇÃO GERAL

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

Figura 5.9 - Árvore de objetos do SEVC



Fonte: Autoria própria (2018)

5.2.2 Definição dos certificados atribuíveis ao produto

O módulo de certificados atribuíveis ao produto contém as regras que determinam os certificados atendidos de acordo com a configuração introduzida, independentemente da necessidade legal de seu cumprimento e/ou solicitação da certificação pelo cliente.

Existe uma grande quantidade de certificados de motores elétricos na empresa-alvo. Como exemplo, o mercado norte-americano conta com 70 certificados, das quais 14 remetem-se a linha W22, sendo estes divididos nas categorias de área segura, divisão 1, divisão 2 e certificados de eficiência. O mercado europeu contém 96 certificações, sendo 25 remetentes a linha W22, divididos em à prova de explosão, segurança aumentada, não acendível e área segura, além de diversas diretivas europeias. Como agravante ao problema do número de certificados, os diferentes órgãos certificadores variam formato de apresentar as informações no documento, sendo estas fornecidas através de regras e tabelas, as quais utilizam diversas características como condicionais, e desenhos de componentes e do produto completo.

A manutenção e organização do sistema são beneficiadas através do sequenciamento no cadastro de grupos de regras apresentado no Quadro 5.6, que define de forma procedural os códigos de temperatura e torque no inversor do produto, tipos de certificados atribuíveis (e.g UL área segura e CSA área segura) e os certificados atribuíveis (e.g. E104590 e CSA 2156668). Essa abordagem possibilita que o cadastro das tabelas e demais informações contidas nos certificados seja realizado em locais distintos. Em adição, o rastreamento de onde se encontram as informações de cada tipo de certificação é simplificado.

Quadro 5.6 - Grupos de regras relativas aos certificados

Sequência	Descrição
-10	CMWMO - Tratamento inicial de características
-5	CMWMO - Classe de temperatura
-5	CMWMO - Torque do inversor
0	CMWMO - CSA área classificada
0	CMWMO - CSA área segura
0	CMWMO - UL área segura
0	CMWMO - RU
0	CMWMO - CE
0	CMWMO - UL <i>Fire Pump</i>
0	CMWMO - NOM ANCE
0	CMWMO - EAC área segura
5	CMWMO - CSA energia verificada
10	CMWMO - Certificados atendidos

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

As regras que definem as certificações contempladas pelo motor são elaboradas de acordo com as informações contidas nas certificações de produto. Os certificados, dividido de acordo com mercado, linha de produtos e variante de linha, definem conjuntos de especificações que atendem a determinadas condições de operação (e.g. *Class I, Div 2, Groups A, B, C and D; Class II, Div 2, Group F and G*). Os conjuntos de valores de características contemplados pelo certificado são emitidos de acordo com o documento do órgão certificador. A Figura 5.10 apresenta um exemplo do certificado CSA 2156668.

Figura 5.10 - Conjunto de valores contemplados pelo certificado

<p>PRODUCTS CLASS - C422801 - MOTORS AND GENERATORS-For Hazardous Locations CLASS - C422881 - MOTORS AND GENERATORS-For Hazardous Locations - Certified to US Standards</p> <p>Class I, Div 2, Groups A, B, C and D; Class II, Div 2, Group F and G; Temperature Coded:</p> <p>Induction Motors, squirrel cage, Type Designation TE1B*0X**, continuous duty, three phase, enclosure TEFC, 750 Hp max., 1000 V max., 50/60, 50 and 60 Hz; Class B, F and H insulation; NEMA Frames 143/ST up to 588/9T and IEC Frames 63 up to 355; 2 or up to 16 poles; SF 1.25 max for power output up to 100HP; SF1.15 max for above 100HP.</p>
--

Fonte: CSA Report 2156668 (2016)

Inicialmente é definido o código de temperatura e torque constante e variável no inversor. Na sequência, dentro de cada grupo de regras, a elaboração de regras pode seguir duas lógicas de transposição de informações dos certificados em código computacional, sendo estas o modelo padrão e certificações específicas, as quais constituem o banco de regras de certificação, conforme a Figura 5.11. Por fim, o certificado atendido é definido.

Figura 5.11 - Modelos de transposição de regras dos certificados



Fonte: Autoria própria

5.2.2.1 Características gerais do produto

A determinação do código de temperatura parte da definição da potência máxima permitida para a carcaça, polaridade e frequência solicitada, conforme exemplificado no Quadro 5.7. Um quadro análogo é utilizado para motores especiais.

Quadro 5.7 - Potências nominais máximas a 60 Hz, por carcaça e polaridade, linhas W22 (padrão e opcional)

Carcaça		Máxima potência - HP			
NEMA	IEC	2 polos	4 polos	6 polos	8 polos
-	63	0,5	0,33	0,16	-
-	71	1	0,75	0,33	0,16
-	80	2	1,5	0,75	0,33
143/5	90	2	2	1	1

Fonte: Adaptada de *Descriptive Report and Test Results, CSA Report 2156668* (2016)

O código de temperatura é definido nos certificados do produto através de quadros similares ao Quadro 5.8. Por esse motivo, o sistema especialista realiza um pré-tratamento dos dados de entrada para determinar o valor superior de temperatura ambiente, fator de serviço e potência. Por exemplo, caso um fator de serviço igual a 1.11 seja solicitado, o valor procurado no quadro será 1.15, um valor superior e contemplado pelo certificado. Na sequência, o código de temperatura para operação em gás ou poeira é identificado no quadro.

Quadro 5.8 - tCode para temperatura ambiente acima de 40°C até 50°C, inclusive

Carcaça	Máxima Potência (hp) ^(1,4)						f.s. ^(2,4)	Resist. Aquec.	tCode							
	2p	4p	6p	8p	10p ⁽⁵⁾	12p ⁽⁵⁾			Linhas 1 e 2	Linha 3						
L447/9	400	400	250	200	-	-	1,15	Sem	T2D	T3A ⁽³⁾						
							1,00	Com								
	500	500	400	300	-	-	1,15	Sem	T2D	T3A ⁽³⁾						
							1,00	Com								
							500	500	500	400	-	-	1,15	Sem	T2D	T3A ⁽³⁾
													1,00	Com		
586/7	500	500	500	400	-	-	1,15	Sem	T2D	T3A ⁽³⁾						
							1,00	Com								
	600	600	-	-	-	-	1,15	Sem	T2B	T3A ⁽³⁾						
							1,00	Com								
							600	600	-	-	-	-	1,15	Sem	T2D	T3C
													1,00	Com		

Carcaça	Máxima Potência (hp) ^(1,4)						f.s. ^(2,4)	Resist. Aquec.	tCode	
	2p	4p	6p	8p	10p ⁽⁵⁾	12p ⁽⁵⁾			Linhas 1 e 2	Linha 3
588/9	500	500	500	400	-	-	1,00	Sem	T2D	T3C
								Com		
	750	750	600	500	-	-	1,00	Sem	T2B	
								Com		

Fonte: Adaptada de *Descriptive Report and Test Results, CSA Report 2156668* (2016)

- (1) Potências não informadas verificar quadro 1, acima.
- (2) Para motores 10 e 12 polos, FS=1,0.
- (3) Ver restrições descritas nas abas de regras.
- (4) f.s. = 1.25 potência máxima de 100 HP.
- (5) Motores com 10 polos ou mais, com nível de eficiência não configurado, devem carregar a informação de tCode, utilizando as informações dos quadros de certificação para motores *High Efficiency*, e na falta destes últimos, podem utilizar os quadros de *NEMA Premium*.

De modo análogo, o código de temperatura para o inversor de frequência é definido conforme exemplificado no Quadro 5.9.

Quadro 5.9 - Código de temperatura para motores com inversor, f.s. 1.0, temperatura ambiente 40 °C, inclusive e *high efficiency*

Carcaça	Grupo Carcaça	Máxima Potência (hp) ⁽¹⁾					Resist. Aquec.	Linha com inversor	
		2p	4p	6p	8p	10p ⁽³⁾		CT	tCode ⁽²⁾
143/5	90	-	-	-	-	-	Sem	12:1	T4
182/4	112	-	-	-	-	-	Com		T3A
213/5	132	-	-	-	-	-	Sem		T3
254/6	160								
284/6	180								
324/6	200								
364/5	225	-	-	-	-	-	Com		T2D
404/5	250								
444/5	280								
445/7	447	-	-	-	-	-	Sem		T2D
447/9	449	-	-	-	-	-	Com		
504/5	315	250	250	200	175	100	Sem		T2D
504/5	315	270	270	250	-	-	Com		T2D
							Sem		T2D
							Com		T2A
							Sem		T2D
L447/9	L447/9	400	400	250	200	-	Com		T2D
		450	500	350	250	-	Sem		T2A
							Com		
586/7	355	500	500	500	400	250	Sem	T2D	
		Com							
		550	600	-	-	-	Sem	T2A	
							Com		
588/9	355A/B	500	500	500	400	-	Sem	T2D	
		Com							
		700	700	600	500	-	Sem	T2A	
							Com		

Fonte: Adaptada de *Descriptive Report and Test Results, CSA Report 2156668* (2016)

- (1) Potências não informadas verificar quadro 1, acima.
 (2) Considerar restrições descritas nas regras.
 (3) Motores com 10 polos ou mais, com nível de eficiência não configurado, devem carregar a informação de tCode, utilizando as informações dos quadros de certificação para motores *High Efficiency*, e na falta destes últimos, podem utilizar os quadros de *NEMA Premium*.

Os torques constante (CT) e variável (VT) no inversor são definidos de acordo com a eficiência, tamanho e material da carcaça, fator de serviço e polaridade. Não obstante, é definida a faixa de frequências de operação do produto à potência constante, conforme o Quadro 5.10.

Quadro 5.10 - Quadro de torque e variado, e faixa de frequência a potência constante

Motores das linhas NEMA High Efficiency ou maior, carcaças de ferro ou alumínio (f.s. 1.00) (Mod. TE1BFOXOH, TE1B*OX0N, TE1B*OX0#, TE1B*OX0\$, TE1B*OX0+, e TE1B*OX1A)						
Carcaças		Limitações de uso inversor				
NEMA	IEC	CT	VT	CHP	Drive	Obs.
143 - 588/9	63 - 355	12:01	1000:01:00	60 - 90 Hz (2 polos)	Qualquer	V/f constante
143 - 588/9	63 - 355	100:01:00		60 - 120 Hz (4 a 12 polos)	WEG	V/f otimizado
Motores das linhas NEMA Premium Efficiency ou maior, carcaças de ferro ou alumínio (f.s. 1.00) (Mod. TE1BFOXON, TE1B*OX0\$, TE1B*OX0+, e TE1B*OX1A)						
Carcaças		Limitações de uso inversor				
NEMA	IEC	CT	VT	CHP	Drive	Obs.
143 - 588/9	63 - 355	20:01	1000:01:00	60 - 90 Hz (2 polos)	Qualquer	V/f constante
143 - 588/9	63 - 355	1000:01:00		60 - 120 Hz (4 a 12 polos)	WEG *	V/f ótimo
Motores das linhas NEMA Premium Efficiency ou maior, carcaças de ferro ou alumínio (f.s. 1.15) (Mod. TE1BFOXON, TE1B*OX0\$, TE1B*OX0+, e TE1B*OX1A)						
Carcaças		Limitações de uso inversor				
NEMA	IEC	CT	VT	CHP	Drive	Observações
143 - 184	63 - 112	12:01	1000:01:00	60 - 90 Hz (2 polos)	Qualquer	V/f constante
213 - 404/5	132 - 250	03:01		60 - 120 Hz (4 a 12 polos)		
444 - 586/7	280 - 355	02:01				

Fonte: Adaptada de *Descriptive Report and Test Results, CSA Report 2156668* (2016)

5.2.2.2 Modelo padrão de programação de certificação

Idealmente, o sistema deve informar se o produto está apto a receber as certificações solicitadas e, caso não, quais motivos resultaram na inconformidade. Desse modo, foi desenvolvido um modelo padrão de programação de certificação que permite a elaboração de uma mensagem que contém estas informações. A simulação se inicia com a verificação de algumas características gerais, como aplicação do produto

e material do invólucro e, na sequência, cada um dos valores contemplados pelos certificados é falseado em regras separadas de modo a verificar a conformidade do motor com cada item da certificação, conforme exemplificado no Quadro 5.11.





Quadro 5.11 - Grupo de regras dos certificados CSA área segura

Sequência	Nome
0	Inicia característica
10	[WFF2] Verifica frequência
20	[WFF2] Verifica potência
30	[WFF2] Verifica refrigeração
40	[WFF2] Verifica carcaça
50	[WFF2] Verifica polaridade
60	[WFF2] Verifica tipo de polaridade
70	[WFF2] Verifica fator de serviço
80	[WFF2] Verifica categoria
90	[WFF2] Verifica temperatura ambiente
...	...
1000	Certificação específica, parágrafo 1
1005	Certificação específica, parágrafo 2
...	...
10000	Define certificação

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

No exemplo de regra apresentado no Quadro 5.12, é verificado o atendimento da certificação CSA área segura de um produto da plataforma WFF2 no que tange à categoria do motor, independentemente desta certificação ter sido solicitada. Dessa maneira, caso a regra seja executada, significa que determinado valor de característica (no exemplo, categoria B) não é contemplado pelo certificado, sendo essa informação futuramente apresentada ao usuário caso a certificação seja necessária. Caso nenhuma regra do grupo tenha sido falseada ao final da simulação, define-se que o produto atende a certificação CSA área segura. Esta abordagem permite o registro dos valores de características não atendidas, resultando em uma mensagem que contém informações sobre a certificação analisada, regra executada, característica(s) não conforme(s) e valor(es) esperado(s).

Quadro 5.12 - Regra de verificação da categoria do produto

Tipo	Característica	Valores
	APLICACAO_MOTOR	00082 - W22 00085 - IEE 841 W22 00089 - COOLING TOWER 00087 - JM/JP/JET PUMP
	CATEGORIA	00002 - B
	ENTIDADE_NORMA	00006 - NEMA 00004 - IEC
	FASE	00012 - TRIFASICO

Tipo	Característica	Valores
	INVOLUCRO	00003 - FECHADO
	MATERIAL_INVOLUCRO	00004 - FERRO
	VARIABEL_TEMPORARIA	00001 - VERIFICAR
	CERTIFICACAO_MOTOR	00001 - CSA área segura






Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

5.2.2.3 Modelo específico de programação de certificação

Comumente, são realizadas certificações para aplicações específicas. Em vista disso, para introduzir o escopo das certificações específicas no SEVC foi desenvolvido o modelo de programação de certificação específica. Neste modelo, cada regra considera na íntegra o escopo contemplado pelo parágrafo do certificado e, portanto, apenas uma regra define se a configuração atende à certificação, necessitando que as condicionais da regra verifiquem todas as características e respectivos valores emitidos nos certificados, conforme apresentado no Quadro 5.13. Em outras palavras, cada atributo não é falseado e não é possível identificar quais valores foram responsáveis pela não execução da regra. Por esse motivo, o usuário não recebe a informação de qual valor não permitiu que o produto fosse certificado. As regras referentes aos parágrafos de certificação específica são cadastradas na parte final do grupo de regras de cada tipo de certificação, conforme exemplificado no Quadro 5.11. Caso alguma regra de certificação específica seja executada, atribui-se ao produto a certificação CSA área segura.

Quadro 5.13 - Exemplo de regra de certificação específica CSA área segura

Tipo	Característica	Valores
	MERCADO	00009 - EUA/CANADA 00010 - EUROPA
	APLICACAO_MOTOR	00082 - W22 00085 - IEE 841 W22 00089 - COOLING TOWER 00087 - JM/JP/JET PUMP
	CLASSE_ISOLAMENTO	00004 - H
	GRUPO_CARCACACA	00029 - CARCACACA 180
...
	INVOLUCRO	00003 - FECHADO
	MATERIAL_INVOLUCRO	00004 - FERRO
	POLARIDADE_COMPLETA	00023 - 10
	REGIME_SERVICO	00003 - S1
	TEMPERATURA_AMBIENTE_MAX	<= 68
	REFRIGERACAO	00020 - TEFC

Tipo	Característica	Valores
	POTENCIA_ESTADISTICA_CV	<= 10
	FATOR_SERVICO	<= 1.25
	TC1	
	TC2	
	MAIOR_TENSAO	<= 600

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

5.2.2.4 Definição do certificado atendido

Nesta fase da simulação já foram definidas as certificações atribuíveis ao produto (e.g. CSA área classificada, UL área segura, EAC área segura). Desse modo, pode-se determinar quais os certificados comprovam a certificação do produto. Os grupos de regras utilizados na definição do certificado atendido são apresentados no Quadro 5.14.

Quadro 5.14 - Grupo de regras dos certificados atendidos

Sequência	Regra
0	Define certificado: CSA 2030628
0	Define certificado: CSA 2194017
0	Define certificado: CSA 2156668
0	Define certificado: CSA 1959652
0	Define certificado: E104590 - Vol.05 - Sec.10
0	Define certificado: E104590 - Vol.01 - Sec.10
0	Define certificado: UL EX5990 - Sec. 4
0	Define certificado: NOM-ANCE 2017MOT00485
0	Define certificado: NOM-ANCE 2017MOT00486
0	Define certificado: NOM-ANCE 2017MOT00487
0	Define certificado: EAC TC RU B.00376
0	Define certificado: EAC TC RU B.00496

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

5.2.3 Algoritmo kNN aplicado à determinação de soluções de conformidade

O detalhamento elaborado para projetos de motores especiais é pouco utilizado na solução de problemas similares. Por esse motivo, conceitos de mineração dados baseados no algoritmo dos k vizinhos mais próximos foram introduzidos com o objetivo de encontrar motores vendidos com a mesma certificação do produto configurado e configuração semelhante. Desse modo, é possível orientar a soluções de projeto já utilizadas. Por exemplo, pode-se sugerir a alteração do fator de serviço de 1.20 para 1.15, permitindo assim que o produto receba determinada certificação.

É necessário um banco de dados atualizado para que a resposta da mineração de dados seja útil. Por conseguinte, o banco de dados elaborado utiliza as características e valores dos motores vendidos nos últimos 24 meses. Para tal, durante a elaboração do banco de dados, os motores vendidos são organizados conforme o Quadro 5.15. e, posteriormente, sua configuração é obtida através de seu ID.

Quadro 5.15 - Motores industriais comerciais vendidos em 2016

ID	Descrição	Qtd. ROL
11439804	MOTOR 260kW 2P 280S/M WFA1	1
13562991	MOTOR 260kW 2P 280L WFA2	1
13494010	MOTOR 330kW 2P 280L WFA2	2
13818032	MOTOR 0.37kW 4P 71 WFF2	4
13542505	MOTOR 0.75kW 4P 80 WFF2	4

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

O banco de dados é modelado através de um quadro no qual cada coluna representa uma característica do produto, e cada linha um produto diferente. Todavia, devido ao elevado número de operações executadas ao longo da simulação, os valores são tratados antes de serem salvos no servidor, sendo retirados os Algarismos não significativos e homogeneizando o método de cadastro de valores, resultado nos vetores apresentados no Quadro 5.16. De modo similar, a configuração do produto é salva com um vetor com o número de posições iguais ao número de colunas do banco de dados.

Quadro 5.16 - Banco de dados do sistema de busca

Material, centro, aplicação, classe de isolamento, ...
10016200, 1100, 38, , , 3, , , , 4, 6, 12, 8, , , 76, 3, , , 2, 6, 1, 4, 1, 20, 40, 364, 6, 2, 1, , ...
10016302, 1100, 24, , , 1, , , , 6, 5, 12, 23, , , 18, 1, , , 1, 6, 1, 0.5, 1, , 40, 364, 6, 2, 1, , ...
10016304, 1100, 24, , , 1, , , , 6, 5, 12, 22, , , 18, 1, , , 1, 6, 1, 0.75, 1, , 40, 364, 6, 2, 1, , ...
10016331, 1100, 38, , , 3, , , , 4, 6, 12, 8, , , 68, 3, , , 2, 6, 3, 0.33, 1, 25, 40, 364, 6, 2, 1, , ...

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

Comumente, grupos de valores de uma característica são, no que tange a análise de conformidade normativa, idênticos. Por exemplo, a temperatura ambiente de operação do produto é descrita no certificado em intervalos, sendo os valores dentro deste intervalo agrupados no sistema através de uma função Hmap (e.g. temperaturas de 0 °C até 40 °C, inclusive, são consideradas idênticas pelo sistema no que tange à certificação CSA área segura). Dessa forma, a probabilidade de encontrar um produto mais similar aumenta.

De acordo com a heurística adquirida pelos projetistas, certos valores são mais prováveis de poderem ser alterados que outros. Por

exemplo, dificilmente a sugestão de alteração da frequência da rede elétrica será aceita. Porém, alterar o tamanho da carcaça comumente é possível. Assim sendo, dividiu-se a importância das características em grupos, sendo o peso de uma característica de um grupo superior maior que a soma do peso de todas as características de todos os grupos inferiores, conforme apresenta no Quadro 5.17.

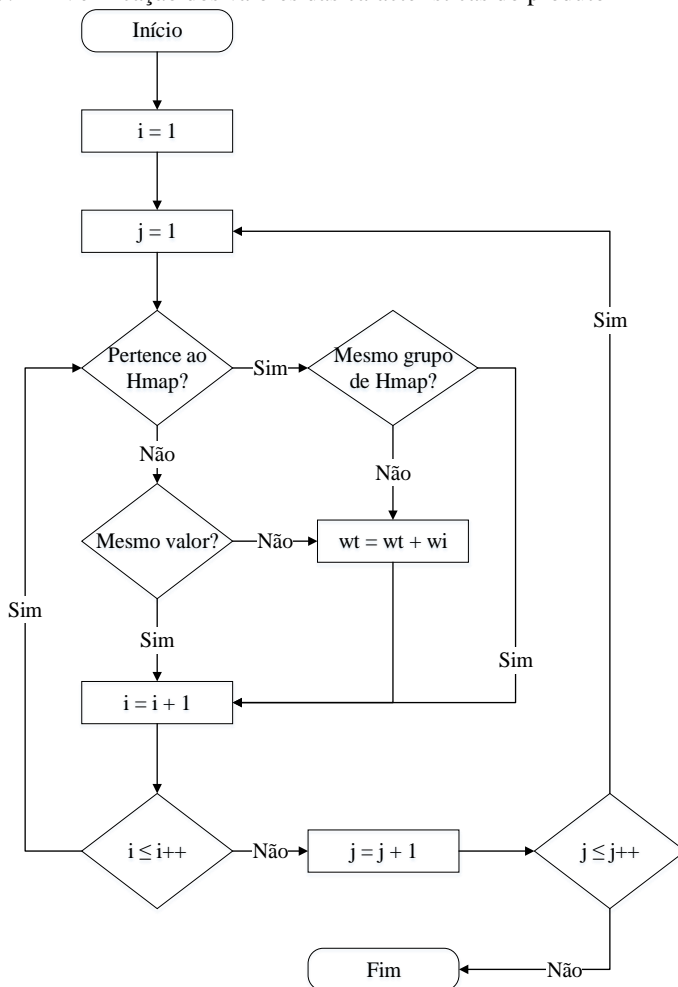
Quadro 5.17 - Relação entre importância, número e peso das características

Nível de importância	Característica	Número de características	Peso de cada característica (w_i)
Obrigatório	CERTIFICAÇÃO	N4	$(N3 * N2 * N1) + 1$
Alto	FASE FREQUENCIA	N3	$(N2 * N1) + 1$
Médio	TEMPERATURA AMBIENTE CLASSE DE ÁREA CLASSIFICADA ... CÓDIGO DE TEMPERATURA	N2	$N1 + 1$
Baixo	POTÊNCIA CARCAÇA ... POLARIDADE	N1	1

Fonte: Autoria própria

Na sequência, os valores de cada característica i da configuração do produto são comparados com os valores de cada produto j cadastrado no banco de dados. Objetivando simplificar a avaliação de valores discretos, adota-se uma lógica boolana. Por exemplo, produtos com 4 ou 12 polos estão igualmente distantes de um produto com 2 polos. Caso o valor não seja idêntico ao solicitado, soma-se um delta em sua distância w_t . O cálculo iterativo do número da distância entre os motores do banco de dados e o motor configurado é realizado de acordo com a Figura 5.12.

Figura 5.12 - Verificação dos valores das características do produto



Fonte: autoria própria

Ao término do cálculo é retornado ao usuário as características e valores que diferem entre um produto já vendido e o produto atualmente configurado, distância e percentual de similaridade. Na sequência, o usuário pode tentar a nova configuração com a orientação sugerida, verificando através das regras se a nova configuração está em conformidade normativa.

5.2.4 Definição das necessidades legais e comerciais de acordo com o mercado de aplicação

O módulo conformidade de mercado contém regras que identificam os requisitos legais e comerciais, e determinam as especificações mínimas que o produto deve apresentar operar em determinado país. De acordo com a Seção 3.4 deste documento, estas especificações podem ser divididas em especificações de eficiência e segurança. Desse modo, os grupos de regras apresentados no Quadro 5.18 definem o nível mínimo de eficiência, certificações, órgãos certificadores, logos e informações da placa de identificação.

Quadro 5.18 - Grupos de regras de mercado

Sequência	Descrição
0	CSWMO - DEFINIÇÃO: MEPS
0	CSWMO - DEFINIÇÃO: CERTIFICAÇÕES
0	CSWMO - DEFINIÇÃO: ÓRGÃOS CERTIFICADORES
0	CSWMO - DEFINIÇÃO: LOGOS
0	CSWMO - DEFINIÇÃO: INFORMAÇÕES DA PLACA

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

Nem sempre o usuário possui informação do país no qual o produto irá operar. Por vezes, motores são vendidos para filiais as quais necessitam de um produto genérico, capaz de operar em diversos países. Por esse motivo, se o usuário souber o país de aplicação do produto, essa informação pode ser introduzida e considerada pelo sistema. Caso contrário, as regras serão executadas de acordo com o mercado padrão do produto.

A especificação de eficiência relativa ao mercado de aplicação do produto é verificada inicialmente. O grupo de regras verifica se alguma norma global de eficiência para motores de baixa tensão se aplica ao produto, definindo o nível mínimo de eficiência no qual o produto deve estar configurado. Para tal, as principais normas de eficiência energética, apresentadas no Quadro 5.19, estão cadastradas.

Quadro 5.19 - Grupo de regras de MEPS








Sequência	Descrição
0	Define MEPS: Resolução nº 4 1012:2015
0	Define MEPS: EC 640/2009, EU 4/2014, IEC 60034-30-1, SR 730.01
0	Define MEPS: JIS C 4213:2014
0	Define MEPS: SASO IEC 60034-30:2013
0	Define MEPS: GEMS Act of 2012, AS/NZS 1359.5:2004
0	Define MEPS: Portaria Interministerial nº 553/2005, NBR 17094-1:2013
0	Define MEPS: NCh 3086 of 2008, IEC 60034-30-1
0	Define MEPS: GB 18613-2012





Sequência	Descrição
0	Define MEPS: EISA 2014, NEMA MG-1, DOE 10 CFR Part 431, EEA, C390-10, NOM-016-ENER-2010
0	Define MEPS: DOE 10 CFR Part 431
0	Define MEPS: MKE-2015-28, KS C IEC 60034
0	Define MEPS: CNS 14400
0	Define MEPS: SMG-2012/2 IEC 60034-30-1

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

As regras são, primeiramente, escritas na forma de pseudocódigo. Por exemplo, a regra que defina a necessidade de atendimento da norma NEMA MG-1 é descrita como motores configurados para operar com frequência 60 Hz, trifásicos, tensão menor ou igual a 600 V, potências de 1 a 500 CV, 2, 4, 6 ou 8 polos, regime S1, categorias A, B ou C ou *design* N ou H, refrigeração TEFC, TENV, ODP ou TEBC e configurado com mercado final EUA, Canadá, EUA/Canadá ou México devem apresentar um nível de eficiência mínimo NEMA *Premium*. Todavia, estes não necessitam atender os requisitos mínimos de eficiência energética motores configurados com um dos seguintes itens: grau de proteção IP68, multivelocidade, categoria D, refrigeração TEAO, ODPAO ou TEWC, regime de serviços do S2 ao S10 ou *Fire Pump*. No Quadro 5.20 são apresentados os valores e características que determinam a obrigatoriedade de um produto destinado ao mercado norte-americano de atender as normas EISA 2014, NEMA MG-1, DOE 10 CFR Part 431, EEA e C390-10.

Quadro 5.20 - Define MEPS: EISA 2014, NEMA MG-1, DOE 10 CFR Part 431, EEA, C390-10, NOM-016-ENER-2010



Tipo	Característica	Valores
	CATEGORIA	00001 - A 00002 - B 00003 - C 00006 - N 00005 - H
	FASE	00012 - TRIFASICO
	FREQUENCIA	00079 - 60 Hz
	FREQUENCIA_COMERCIAL	= 60
	GRUPO_CARCACA	00076 - CARCACA 90 00020 - CARCACA 100 ... 00051 - CARCACA 355
	REGIME_SERVICO	00003 - S1
	REFRIGERACAO	00020 - TEFC ENCLOS FAN COOLED 00021 - TENV TOTAL ENCLOS NON-VENTILA 00016 - ODP OPEN DRIP PROOF MOT ABERTO 00019 - TEBC TOTAL ENCLOS BLOWER COOLE

Tipo	Característica	Valores
	POTENCIA	>= 1 e <=500
	TENSAO	<= 600
	POLARIDADE_COMPLETA	2 4 6 8
	MERCADO_FINAL	00009 - EUA/CANADA 00073 - EUA 00045 - CANADA 00012 - MEXICO

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

Após verificar se a configuração se enquadra em alguma norma, é verificado se a configuração se enquadra em alguma exceção da regra, o que permite que o produto seja configurado com um nível de eficiência inferior ao MEPS. No exemplo apresentando no Quadro 5.21, caso o produto seja destinado aos mercados EUA, Canadá ou México, e sua característica categoria tenha valor D, não é necessário que o produto atenda a norma NEMA MG-1.

Quadro 5.21 - Condicionais de exceção MEPS: EISA 2014, NEMA MG-1, DOE 10 CFR Part 431, EEA, C390-10, NOM-016-ENER-2010

Tipo	Característica	Valores
	MERCADO_FINAL	00009 - EUA/CANADA 00073 - EUA 00045 - CANADA 00012 - MEXICO
	CATEGORIA	00004 - D

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

Após a definição dos níveis mínimos de eficiência obrigatórios, são definidos os requisitos de certificações de segurança. Nesse caso, tem-se a certificação esperada para a configuração do produto introduzida no configurador de produto. Por exemplo, motores da plataforma WFF2, e norma de tamanho de carcaça IEC devem ser configurados com CSA área segura, UL área segura e CE. Não obstante, os logos que devem ser apresentados na placa de identificação são definidos no objeto. Como exemplo, motores configurados para operar em área segura e com mercado final Canadá devem apresentar ao menos um dos logos apresentados na Figura 5.13.

Figura 5.13 - Logos obrigatórios para o produto operar no Canadá



Fonte: Adaptada de cartilha do mercado Canadense (2017)

5.2.5 Verificação de inconsistências de projeto

No objeto de inconsistências, são comparadas as especificações do cliente, os certificados atribuíveis ao produto e requisitos legais de mercado, com o objetivo de identificar falhas no projeto. Desse modo, os grupos de regras que continuam o objeto são, em grande parte, regras de controle que comparam os módulos previamente citados, verificando a conformidade das certificações solicitadas, órgãos certificadores, características do ambiente, MEPS, componentes e marcações, conforme apresentado nos grupos de regras do Quadro 5.22.





Quadro 5.22 - Grupos de regras de inconsistências

Sequência	Descrição
-25	CSWMO - IMPORTA VALORES (CS_CONFORMIDADE_INCONSISTENCIA)
-20	CSWMO - TRATA VALORES (CS_CONFORMIDADE_INCONSISTENCIA)
-15	CSWMO - VERIFICAÇÃO: MENSAGEM INICIAL
-10	CSWMO - VERIFICAÇÃO: PREENCHIMENTO DOS CAMPOS
-5	CSWMO - VERIFICAÇÃO: RESGATA VALORES DOS CERTIFICADOS
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: CERTIFICACAO CONFIGURADOR DO PRODUTO
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: ONDE CADA CERTIFICAÇÃO É OBRIGATÓRIA
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: TEMPERATURA AMBIENTE
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: COMPONENTES
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: ÓRGÃOS CERTIFICADORES
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: LOGOS NECESSÁRIOS E ATRIBUÍVEIS
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: MEPS
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: CLASSE DE TEMPERATURA
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: TIPO DE MARCAÇÃO
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: MARCAÇÕES SOLICITADAS COM ATRIBUÍVEIS
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: MARCAÇÕES SOLICITADAS E ESPECIFICAÇÕES DE MERCADO
0	CSWMO - VERIFICAÇÃO: FREQUÊNCIA DO INVERSOR À POTÊNCIA CONSTANTE
5	CSWMO - VERIFICAÇÃO: TRATAMENTO FINAL DA MENSAGEM (CS_CONFORMIDADE_INCONSISTENCIA)

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

Inicialmente os logos e marcações solicitados pelos certificados e atribuíveis ao produto são importados de um quadro externo, conforme Figura 5.14. Não obstante, as especificações do produto, certificados atribuíveis e requisitos de mercado são importados dos objetos superiores.

Figura 5.14 - Quadro de valores dos certificados

HEADER_ID	CERTIFICADOS_AT	CERTIFICAÇÃO MC	ZLOGOS_01_0	CLASSE AREA CLAS	Divisão área classif	GRUPO AREA CLAS	MARCAÇÃO_COMP	TCODE_INFERIOR
1005652003	CSA 2194017	CSA		CLASSE II	DIVISÃO 2			nao
1005652004	CSA 2156668	CSA		CLASSE I	DIVISÃO 2	GRUPO B,C,E D	Class I, Div. 2, ...	nao
1005652005	CSA 1959652	CSA		CLASSE I	DIVISÃO 2	GRUPO B,C,E D	Class I, Div. 2, ...	nao
1005652006	UL E87848	UL		CLASSE I	DIVISÃO 1	GRUPO B,C,E D		nao

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

A partir dos valores importados dos certificados, regras de verificação, as quais comparam necessidades de mercado e cliente com o que o produto é capaz de atender, são executadas. Estas regras avaliam o preenchimento dos campos do configurador do produto, onde cada certificação é obrigatória, órgãos certificadores, logos necessários e atribuíveis, MEPS, tipo de marcação, marcações solicitadas e atribuíveis, marcações solicitadas e especificações de mercado, e frequência do inversor à potência constante. Não obstante, são analisadas incompatibilidades entre as certificações solicitadas e valores das características do configurador de produto. Como exemplo, tem-se a solicitação de certificação CSA ou UL e cliente Petrobras México, a qual necessita da elaboração de duas placas de identificação com logos, marcações e idiomas distintos.

O objeto de inconsistências contém regras que emitem mensagens as quais não necessariamente afirmam que o produto não está em conformidade normativa. Por exemplo, tem-se o cenário em que o código de temperatura atribuível ao produto é diferente do solicitado pelo cliente, no qual temperaturas inferiores ao tCode atribuível ao produto podem ser mantidos através de notas nos desenhos ME, códigos de temperatura superiores ao atribuível ao produto e menor igual a T4A podem ser mantidos, todavia, ensaio de divisão 2 devem ser configurados caso solicitado pela engenharia, e códigos de temperatura não atribuíveis ao produto e superiores a T4A necessitam certificação específica CSA. Outro exemplo ocorre quando é solicitado o mercado EUA/Canadá e temperatura ambiente mínima entre -25 °C e -50 °C, pois, conforme normas aplicáveis, para o mercado EUA, a menor temperatura ambiente é -25 °C. Para o mercado Canadá, a menor temperatura ambiente é -50 °C.

Os componentes do produto são avaliados durante a verificação de inconsistências de projeto. Como exemplo, um motor configurado

com CSA área classificada e kit porta escova está em não conformidade com a certificação CSA, pois o kit porta escova é contemplado nos desenhos do certificado devido à possibilidade de geração de faíscas na atmosfera explosiva.

5.2.6 Apresentação das orientações de projeto

O usuário deve ser informado em quais condições o produto final estará apto a operar. Desse modo, o último objeto do sistema calcula e apresenta as principais informações referentes à conformidade normativa do motor, como logos, marcações e idioma da placa de identificação. Não obstante, regras comparam a configuração do produto com as inconsistências identificadas, apresentando alternativas ao projeto e orientando como aceita-las, i.e, como configurar o produto para que as demais áreas interessadas tenham acesso a essa decisão do projetista. Portanto, os grupos de regras do objeto de orientações, apresentados no Quadro 5.23, sintetizam o que o produto atende e apresentam, caso aplicáveis, alternativas ao projeto.

Quadro 5.23 - Grupos de regras de orientação






Sequência	Grupos de regras
-10	CSWMO - ORIENTAÇÃO: CERTIFICADOS POTENCIALMENTE APLICÁVEIS
-5	CSWMO - ORIENTAÇÃO: CERTIFICADOS ATENDIDOS
0	CSWMO - ORIENTAÇÃO: MARCAÇÃO DE ÁREA CLASSIFICADA
0	CSWMO - ORIENTAÇÃO: MARCAÇÃO DO INVERSOR
0	CSWMO - ORIENTAÇÃO: LOGOS DO PRODUTO
0	CSWMO - ORIENTAÇÃO: DERATING
0	CSWMO - ORIENTAÇÃO: ENTIDADE NORMATIVA
0	CSWMO - ORIENTAÇÃO: DECLARAÇÃO
0	CSWMO - ORIENTAÇÃO: MENSAGEM DE CERTIFICAÇÃO MOTOR
0	CSWMO - ORIENTAÇÃO: CERTIFICAÇÃO ESPECÍFICA
0	CSWMO - ORIENTAÇÃO: IDIOMA DA PLACA
10	CSWMO - ORIENTAÇÃO: TRATAMENTO FINAL DA MENSAGEM

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

Durante a análise de uma configuração, os especialistas no domínio identificam os certificados que devem ser atendidos e, a partir deste, verificam se o produto está dentro de seu escopo. Essa abordagem simplifica a identificação de não conformidades, pois reduz o número de documentos que devem ser verificados pelos especialistas. Para isso, um número limitado de valores de características, que diferem um certificado do outro, são analisados. Como exemplo de pseudocódigo, motores configurados com certificação CSA área segura, mercado EUA, Canadá ou Europa, linha WFF2 e tensão menor ou igual a 1000 V devem atender o Certificado de Conformidade CSA 2194017 (2017). De

modo análogo, no formato de regra o pseudocódigo é elaborado conforme o Quadro 5.24.

Quadro 5.24 - Regra de definição da aplicabilidade do Certificado de Conformidade CSA 2194017 (2017)

Tipo	Característica	Valores
	MERCADO	00009 - EUA/CANADA 00010 - EUROPA
	APLICACAO_MOTOR	00082 - W22 00085 - IEEE 841 W22 00089 - COOLING TOWER 00087 - JM/JP/JET PUMP
	CLASSE_AREA_CLASSIFICADA	
	DIVISAO_AREA_CLASSIFICADA	
	GRUPO_AREA_CLASSIFICADA_NEMA	
	CLASSE_TEMP_AREA_CLAS_NEMA	
	ZONA_AREA_CLASSIFICADA	
	GRUPO_AREA_CLASSIFICADA_IEC	
	CLASSE_TEMP_AREA_CLASSIFICADA	
	MAIOR_TENSAO	<= 1000
	CERTIFICACAO_MOTOR	00002 - CSA AREA SEGURA

Fonte: Adaptada do acervo interno WEG (2018)

O resultado da comparação entre os certificados atendidos pelo produto e os que deveriam ser atendidos permite a execução de regras de orientação ao projeto. Nesse caso, as inconsistências anteriormente calculadas são apresentadas, sendo sugerida a alteração de valores. Na sequência, orientações sobre métodos de adicionar o certificado ao produto, com declarações ou elaboração certificações específicas, são fornecidas. Como exemplo, tem-se a proposta ao vendedor da elaboração de uma certificação específica conforme o programa de categoria CSA:

- Custo estimado de USD x.00 e prazo de y meses após ensaios.
- Caso a certificação seja necessária entrar em contato com john.smith@mail.net ou john.doe@mail.net solicitando cotação oficial.
- Necessário à equipe de vendas apresentar em Comissão de Desenvolvimento de Produtos (CDP) para aprovação de custo.
- Configurar ensaio de Certificação CATEGORIA CSA Div.2 e enviar relatórios de ensaios para john.smith@mail.net ou john.doe@mail.net.

De acordo com os certificados necessários e atribuíveis ao produto, as informações de marcação são definidas. Como exemplo, motores configurados com certificação CSA área classificada, mercado EUA ou Canadá, linha WFF2, norma NEMA, trifásico, invólucro de ferro e fechado, e certificados com certificação CSA 2156668 recebem a marcação:

- Class I, Div 2, Gr. A, B, C and D - tCode
- Class I, Zone 2, IIC - tCode
- Class II, Div 2, Gr. F and G - tCode (se tCode for T6, T5, T4A, T4, T3C ou T3B)
- Class II, Div 2, Gr. F - tCode (se tCode for T3A ou T3)

Informações complementares, como marcação do inversor, são apresentadas. De acordo com os especialistas, a marcação é composta pelo torque constante, torque variável e, se aplicável, o código de temperatura. Caso desejado um fator de serviço maior que 1.00 e menor ou igual a 1.15 na linha do inversor deve-se verificar se projeto elétrico atende e verificar com a equipe de elaboração de placas a marcação especial na linha do inversor.

A utilização do SEVC é fundamentada em um processo iterativo no qual o usuário introduz a configuração do produto e recebe as inconsistências e orientações de projeto. Ao final da execução, o número de identificação da consulta técnica pode ser salvo, possibilitando que a configuração do produto não necessite ser analisada por especialistas de conformidade, o que potencialmente reduz o tempo entre captação das necessidades do cliente e finalização do projeto através da mitigação dos problemas de maior relevância encontrados entre as equipes responsáveis por garantir a conformidade do produto.

Devido à natureza do problema, o sistema utiliza uma arquitetura modular, na qual cada objeto é responsável por calcular informações específicas do processo de verificação de conformidade, como restrições de projeto, necessidades legais e comerciais dos países envolvidos, inconsistências e orientações sobre a correta configuração do produto. Não obstante, objetivando reempregar o conhecimento utilizado na elaboração da resposta de consultas técnicas anteriores, um algoritmo kNN foi aplicado no banco de dados dos motores vendidos nos últimos dois anos.

6 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SISTEMA ESPECIALISTA DE VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE

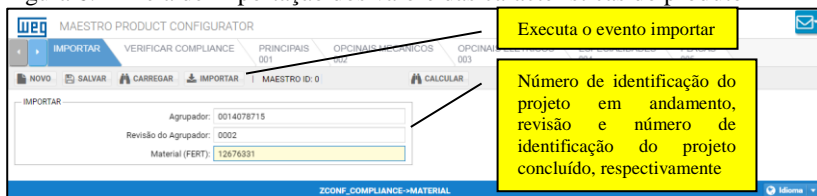
Os resultados da implementação do SEVC são apresentados no decorrer deste capítulo, dentre estes, tem-se interface e funcionalidades do SEVC, estudos de caso utilizados para exemplificar a completude e assertividade das respostas dos especialistas e do protótipo desenvolvido, e validação da conformidade normativa e comercial da amostra projetos. Por fim, as principais considerações pontuadas pelo público alvo do sistema protótipo são apresentadas.

6.1 INTERFACE E INTERAÇÃO ENTRE USUÁRIO E SEVC

6.1.1 Dados de entrada: requisitos de projeto

O conjunto de especificações do produto é importado através do número de identificação do projeto em andamento (ID_a) e sua revisão, conforme apresentado na Figura 6.1. De modo análogo, projetos já concluídos podem ser carregados diretamente por seu número de identificação do projeto concluído (ID_c). Ademais, para projetos concluídos, o ID_c é identificado automaticamente quando são introduzidos ID_a e revisão, e o ID_a e revisão são identificados automaticamente quando o ID_c é introduzido. Para utilização do sistema, deve-se introduzir ID_a e revisão, ou ID_c e executar o evento importar através do botão importar.

Figura 6.1 - Tela de importação dos valores das características do produto



Fonte: Acervo interno WEG (2018)

Os valores das características do produto são então importados ao SEVC e podem ser alterados de acordo com as necessidades do usuário. Após finalizar a configuração, a verificação da conformidade normativa e comercial do produto pode ser realizada ao clicar no botão calcular, conforme exemplificado na Figura 6.2. As demais telas do sistema

permitem a alteração das características gerais, mecânicas, elétricas, especialidades, placas e de engenharia.

Figura 6.2 - Tela de valores das principais características do produto

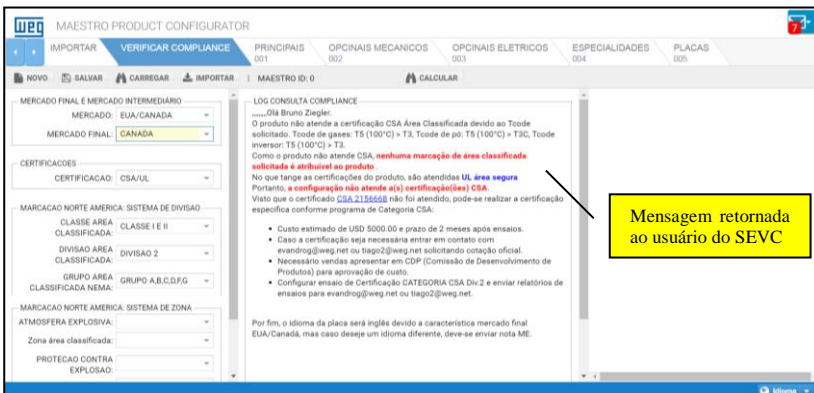
Fonte: Acervo interno WEG (2018)

6.1.2 Informações de saída: solução proposta

A resposta do SEVC é a análise da conformidade normativa e comercial do produto, juntamente com soluções as inconformidades identificadas. O resultado é exibido na tela de apresentação da resposta de conformidade, conforme exemplificado na Figura 6.3, na qual inconformidades destacadas marcadas em vermelho. Os certificados atendidos são acessados através de hiperlinks contidos na resposta. A discussão detalhada dos textos apresentados é realizada na seção 6.3.1. desse documento.

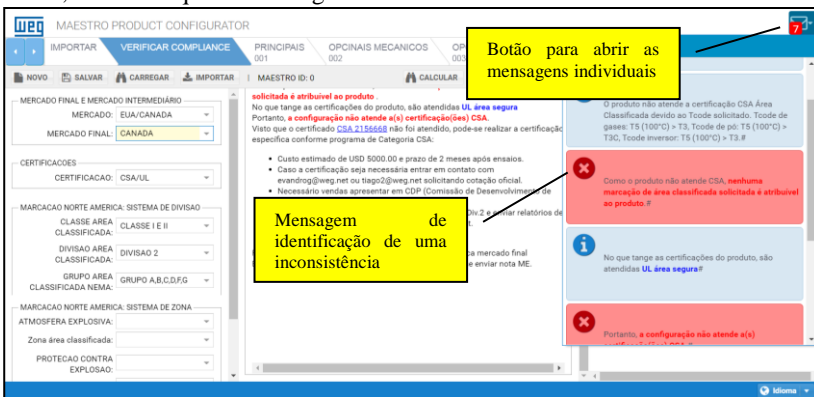
De modo análogo, as mensagens que compõem a resposta podem ser visualizadas isoladamente, conforme apresentando na Figura 6.4. Essa forma de apresentação facilita a identificação das inconformidades encontradas através do sistema de ícones e cores adotado.

Figura 6.3 - Tela de apresentação da resposta da verificação de conformidade do motor



Fonte: Acervo interno WEG (2018)

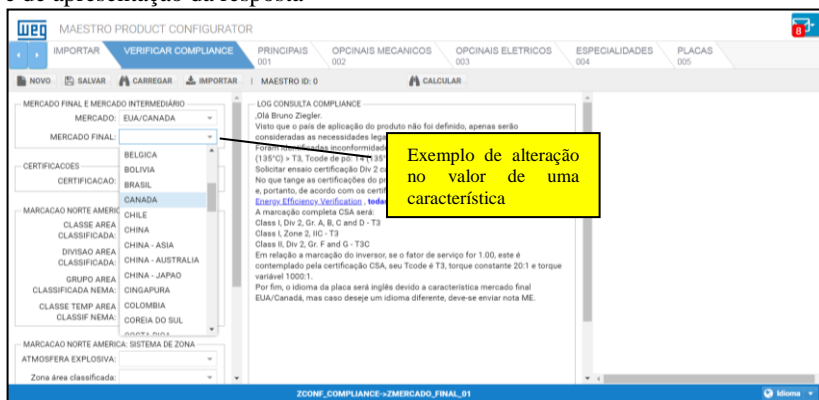
Figura 6.4 - Tela de apresentação da resposta da verificação de conformidade do motor, com destaque as mensagens individuais



Fonte: Acervo interno WEG (2018)

Após a primeira verificação da conformidade normativa e comercial do produto, alterações na configuração podem ser realizadas, conforme apresentado na Figura 6.5.

Figura 6.5 - Tela de valores das características mais relevantes à conformidade, e de apresentação da resposta



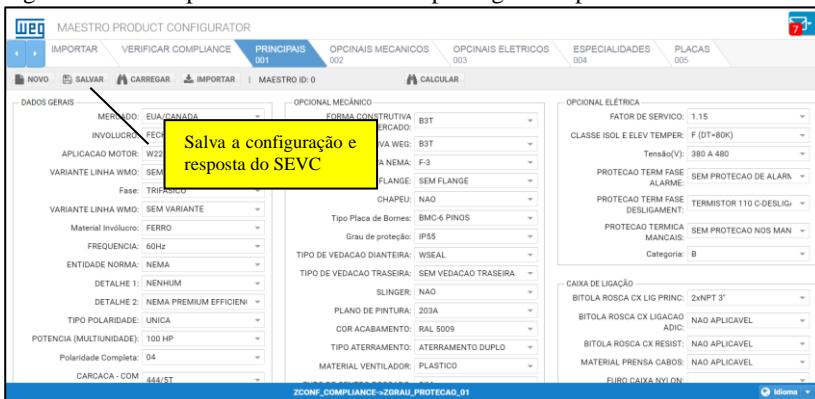
Fonte: Acervo interno WEG (2018)

Desse modo, tem-se um processo interativo no qual o usuário analisa a solução proposta pelo SEVC e altera a configuração do produto de acordo com as inconsistências identificadas e orientações propostas. Após a realização de alterações, a verificação deve ser recalculada através do botão calcular.

6.1.3 Registro das informações

É necessário que a resposta emitida pelo SEVC seja registrada para que a verificação de conformidade do produto possa ser comprovada. Por esse motivo, após a realização das interações na configuração, a configuração final pode ser salva através do botão salvar, conforme destacado na Figura 6.6. Ao clicar, um número de identificação é gerado, o qual está associado a todos valores das características do produto e a resposta gerada.

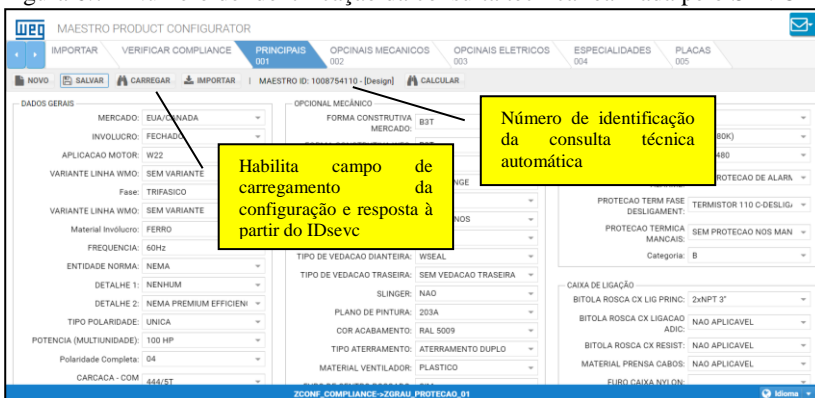
Figura 6.6 - Exemplo de como salvar a resposta geradas pelo SEVC



Fonte: Acervo interno WEG (2018)

Após a verificação de conformidade ser salva, o número de identificação da consulta técnica automática (ID_{sevc}) é apresentado conforme a Figura 6.7. Não obstante, a configuração do produto e resposta gerada podem ser carregadas através do ID_{sevc} utilizando o botão carregar.

Figura 6.7 - Número de identificação da consulta técnica realizada pelo SEVC



Fonte: Acervo interno WEG (2018)

O ID_{sevc} serve como comprovação da avaliação da configuração do produto pelo SEVC e, portanto, é a informação que deve ser inserida no fluxo de projeto para, quando aplicável, dispensar a avaliação de EDC.

6.2 METODOS DE VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DO SEVC

6.2.1 Treinamentos realizados

A avaliação crítica por EDC sobre as regras implementadas no SEVC potencializa a assertividade durante a fase de validação. Não obstante, a capacidade do EDC fazer a manutenção e aumentar as funcionalidades do sistema é desejável. Por esse motivo, um treinamento de utilização da *shell* Maestro e programação na linguagem JavaScript foi realizado com um EDC. Destaca-se que não se objetiva que o EDC adquira o conhecimento e programação de um especialista na área, e sim que tenha suficiente familiaridade e certa autonomia no que tange a continuidade ao sistema.

A equipe de vendas deve ter suficiente autonomia para utilizar o SEVC com o mínimo de auxílio de EDC, pois, caso contrário, a potencial redução do tempo de resposta nas consultas técnicas será parcialmente substituída pela assistência técnica de execução do sistema. Por esse motivo o treinamento de utilização do SEVC foi realizado, bem como a disponibilização de um manual do procedimento de utilização. Por se tratar de uma fase de validação, um público limitado de seis vendedores com conhecimento no mercado alvo foi selecionado. Desse modo, considera-se que os usuários tenham suficiente conhecimento para utilizar o SEVC com o mínimo de auxílio, permitindo um *feedback* claro sobre a funcionalidade e usabilidade do protótipo.

6.2.2 Método de verificação das regras

Após a conclusão do treinamento, a verificação das regras implementadas no SEVC é realizada entre o EDC e o EC. Esta etapa é de grande importância, pois a linguagem na qual as normas são escritas não necessariamente é a mesma adotada nos projetos da empresa alvo. Por exemplo, segundo a norma EISA 2014, motores projetados para operar submersos não necessitam atender o nível mínimo de eficiência para operar nos Estados Unidos da América. Todavia, essa característica é descrita no SEVC como grau de proteção do produto IP68. Desse modo, a fase de validação é realizada a partir de um sistema previamente verificado, o que reduz o número de inconformidades de execução e permite que o processo de melhoria contínua parta de respostas de qualidade elevada.

Devido ao número de possíveis projetos ser muito levado, a verificação de todas as combinações de especificações torna-se pouco viável do ponto de vista prático. Por esse motivo, a verificação foi dividida em duas etapas: análise das regras e testes de configurações. A primeira etapa da verificação trata-se da análise de todas as regras que compõem o SEVC, com o objetivo de identificar inconsistências no código elaborado. A segunda etapa consiste na execução do sistema a partir de configurações do produto configuradas pelo EDC, com o objetivo de avaliar a execução ou não de regras mais complexas em casos controlados.

6.2.3 Método de avaliação da amostra de projetos

O número de possíveis cenários de entrada é extremamente elevado, conforme apresentado na equação 2.1. Por esse motivo, optou-se por avaliar as respostas do sistema em casos previamente analisados pela engenharia. Desse modo, para a validação da conformidade e completude das respostas geradas automaticamente pelo SEVC foram utilizadas 450 consultas técnicas realizadas no ano de 2017 na empresa-alvo e que estão dentro do escopo proposto para o protótipo (94 % do total do escopo). Para cada uma das consultas, os itens apresentados no Quadro 6.1 são registrados.

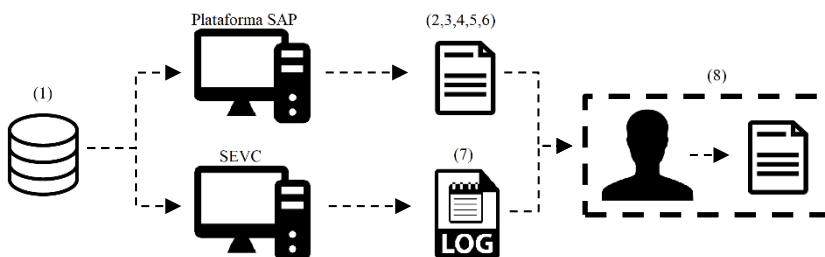
Quadro 6.1 - Informações contidas nas colunas do quadro de avaliação de resposta do SEVC

Coluna	Informações contidas
1	Número de identificação da consulta técnica, do projeto e revisão
2	Certificações solicitadas
3	Características da área de operação do produto, e.g. classe e divisão
4	Resumo do motivo da consulta técnica existir, i.e. especialidades relevantes à seção de conformidade
5	Todas as consultas técnicas realizadas antes do projeto chegar à seção de conformidade
6	Resposta elaborada pela seção de conformidade
7	Resposta gerada pelo sistema especialista
8	Avaliação de um especialista de conformidade sobre a conformidade e completude da resposta emitida pelo sistema especialista

Fonte: Autoria própria

Na Figura 6.8 é apresentado o método de avaliação da amostra de consultas técnicas.

Figura 6.8 - representação do método de avaliação da amostra



Fonte: autoria própria (2018)

Na figura acima, a partir do número de identificação da consulta técnica, do projeto e revisão (item 1 do Quadro 6.1), são obtidos, através da plataforma SAP, os itens de 2 a 6, e através do SEVC, o item 7. Por fim, a resposta previamente emitida pelo EDC é comparada com a resposta calculada pelo SEVC (item 8).

6.3 RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO SEVC

6.3.1 Estudos de caso discutidos no protótipo SEVC

Nesta subseção, são apresentados cinco estudos de caso de consultas técnicas nas quais o conhecimento de EDC foi necessário. Nos subsequentes quadros, a análise de vendas consiste na descrição das necessidades do cliente, elaborada pela equipe de vendas internacionais. As análises elétrica, mecânica e de conformidade são as respostas das equipes responsáveis às necessidades, sendo esta última seção a que o estudo proposto objetivo mitigar a carga de trabalho através da sistematização das consultas técnicas. Por fim, tem-se a mensagem gerada automaticamente pelo SEVC a partir do ID_a, a qual é comparada com a resposta do EDC (i.e. a resposta de conformidade). Objetiva-se a comparação entre duas fontes de informação que, idealmente, deveriam emitir respostas corretas e similares. Destaca-se que o texto escrito pelos representantes de venda e demais especialistas no domínio foram reescritos em uma linguagem mais simples e interpretável, porém o texto emitido pelo SEVC não foi alterado.

6.3.1.1 Problema 1: temperatura do ambiente de operação do produto

Na consulta técnica apresentada no Quadro 6.2 é questionado se a temperatura do ambiente de operação do motor igual a 65 °C é contemplada pelas certificações CSA área segura e UL área segura.

Quadro 6.2 - Consulta técnica de um produto que deve operar a 65 °C

Análise	Consulta
Vendas	Elétrica, favor avaliar motor. Este deve atender design B e temperatura ambiente +65 °C. Porém, caso seja necessário mudar a carcaça peça que fale comigo antes. Certificações, favor analisar se o motor atende W22 NEMA Premium e temperatura ambiente +65 °C. Além disso, informar quais as certificações do motor
Elétrica ⁽¹⁾	Projeto elétrico especial com pacote 160 mm, material de chapa 550-50 e número da folha de dados 244510.2016.
Conformidade ⁽¹⁾	Certificações UL e CSA não abrangem temperatura ambiente de 65°C. Podem ser feitas certificações pelo programa de categoria para cada certificadora, com custo de US\$ x.00 ⁽²⁾ (por certificadora) e prazo para recebimento do certificado de 2 meses após envio dos relatórios de ensaios.
SEVC	Olá Bruno Haselein. Ao verificar a configuração do produto, foi identificado que a característica referente ao país de aplicação do produto está vazia. Desse modo, nesta simulação apenas serão consideradas as necessidades legais do mercado EUA e Canadá. No que tange as certificações do produto, é(são) atendida(s) UL área segura. Portanto, a configuração não atende a(s) seguinte(s) certificação(ões) solicitada(s): CSA área segura devido a temperatura ambiente de 65 °C, a qual era esperado < 60 °C. Sugerimos verificar a configuração com a alteração da característica fator de serviço de 1.25 para 1.00. Visto que o certificado <u>CSA 2194017</u> não foi atendido, pode-se realizar a certificação específica conforme programa de categoria CSA: <ul style="list-style-type: none"> • Custo estimado de USD y.00⁽²⁾ e prazo de 2 meses após ensaios. • Caso a certificação seja necessária entrar em contato com john.smith@mail.net⁽²⁾ ou john.doe@mail.net⁽²⁾ solicitando cotação oficial. • Necessário a equipe de vendas apresentar em CDP (Comissão de Desenvolvimento de Produtos) para aprovação de custo. • Configurar ensaio de Certificação CATEGORIA CSA Div.2 e enviar relatórios de ensaios para john.smith@mail.net⁽²⁾ ou john.doe@mail.net⁽²⁾.

Fonte: Acervo interno WEG (2018)

(1) Projeto no qual não ocorre análise mecânica.

(2) Valores reais omitidos.

A identificação do não atendimento da certificação CSA área segura devido à temperatura ambiente de 65 °C é realizada pelo EDC e SEVC. Nesse caso, ambas as fontes apresentam o valor da característica que não permitiu que o produto recebesse certa certificação, a possibilidade de certificações por categoria, e o tempo e custo de cada processo. Todavia, o sistema especialista apresenta qual valor era esperado para o produto se enquadrasse dentro do certificado, juntamente com uma potencial solução baseada em produtos já vendidos. Não obstante, o procedimento para realização para realização

do processo de certificação pelo programa de categoria é melhor detalhado no SEVC. Como principal divergência, tem-se que o EDC identificou que o produto não atende a certificação UL área segura, enquanto o SEVC identificou o atendimento. Isso ocorre devido ao período entre a emissão da consulta técnica e a utilização do SEVC, o certificado UL área segura referente ao produto foi atualizado, permitindo a operação do motor em até 80 °C.

6.3.1.2 Problema 2: código de temperatura

Na consulta técnica apresentada no Quadro 6.3 é questionado se o motor projetado para o cliente⁽¹⁾ está apto a receber o código de temperatura de superfície T3 de acordo com a certificação CSA área classificada.

Quadro 6.3 - Consulta técnica de um produto que deve atender o Tcode T3

Análise	Consulta
Vendas	Favor avaliar motor os motores para o cliente ⁽¹⁾ . Deve-se ainda verificar se o motor atende design B, devido aos problemas recentes das linhas elétricas, e garantir código de temperatura T3 (se necessário colocar certificações no fluxo de projeto). Demais características conforme o configurador do produto e folha de dados 145190.2016.
Elétrica ⁽²⁾	Projeto elétrico especial com pacote 220 mm, material de chapa 519-50 e número da folha de dados 145190.2016 (revisada). <ul style="list-style-type: none"> • Desenho, colocar nota: código de temperatura T3 • Certificações, informar se é necessário ensaio especial ou apenas nota no ME. • Detalhamento, seguir folha de cálculo 413511551
Conformidade ⁽²⁾	Para estas característica, precisamos que sejam realizados ensaios padrão CSA, para avaliação.
SEVC	Olá Bruno Haselein. Foram identificadas inconformidades no Tcode solicitado. Tcode de gases: T3 (200°C) > T2D. Favor verificar se o projeto elétrico atende o Tcode solicitado e solicitar ensaio certificação Div 2 caso a engenharia considere necessário. No que tange as certificações do produto, são atendidas CSA, UL área segura e, portanto, todas as certificações selecionadas são atribuíveis ao produto. Caso queira verificar os certificados atendidos, estes podem ser acessados através do(s) link(s): CSA 2156668 , E104590 - Vol.05 - Sec.10 e Energy Efficiency Verification . A marcação completa CSA será: Class I, Div 2, Gr. A, B, C and D - T2D Class II, Div 2, Gr. F and G - T4 Em relação a marcação do inversor, se o fator de serviço for 1.00, este é contemplado pelas certificações CSA área classificada, seu Tcode é T3, torque constante 20:1 e torque variável 1000:1. Caso deseje um f.s >1.00 e <= 1.15 na linha do inversor, enviar claim para conformidade.

Fonte: Acervo interno WEG (2018)

(1) Valor real omitido.

(2) Projeto no qual não ocorre análise mecânica.

A necessidade de solicitação testes adicionais para a certificação, que são realizados nos laboratórios da empresa, é identificada pelo EDC e SEVC. Todavia, o SEVC apresenta as inconsistências relativas ao código de temperatura solicitado para o produto, sugerindo as ações caso estas vão ao encontro das sugeridas pela engenharia. Não obstante, a marcação completa de área classificada é apresentada, juntamente com as características do inversor.

6.3.1.3 Problema 3: múltiplas certificações

Na consulta técnica apresentada no Quadro 6.4 é questionado se o motor projetado para o cliente⁽¹⁾ está apto a receber as certificações CSA área classificada, e UL e NOM ANCE área segura.

Quadro 6.4 - Consulta técnica de um produto que deve possuir certificação CSA área classificada, e UL e NOM ANCE área segura

Análise	Consulta
Vendas	Favor avaliar motor os motores para o cliente ⁽¹⁾ . Mecânica, verificar a possibilidade de fornecer motor com dupla ponta de eixo (eixo traseiro com a mesma dimensão da ponta de eixo dianteira). Certificação, verificar se motor está coberto pela certificação CSA área classificada, e UL e NOM ANCE área segura.
Mecânica ⁽²⁾	Eixo especial 75x140 mm com chaveta 20x125 mm. Utilizar como base o desenho 12131967 que já possui furos roscados.
Conformidade ⁽²⁾	Não é possível informar os certificados CSA/UL na mesma placa com certificação NOM-ANCE, são regras e nomenclaturas diferentes, mas podemos enviar a placa CSA/UL fixa no motor e a NOM-ANCE em avulsa. O cliente instalando o motor no México, tem responsabilidade de colocar a placa NOM-ANCE no motor.
SEVC	Olá Bruno Haselein. Ao verificar a configuração do produto, foi identificado que a característica referente ao país de aplicação do produto está vazia. Desse modo, nesta simulação apenas serão consideradas as necessidades legais do mercado EUA e Canadá. Destacamos que não é possível informar os certificados CSA e UL na mesma placa com certificação NOM ANCE, são regras e nomenclaturas diferentes, mas podemos enviar a placa CSA/UL fixa no motor e a NOM ANCE em avulsa. O cliente instalando o motor no México, tem responsabilidade de colocar a placa NOM ANCE no motor. Caso queira esta solução, favor codificar mercado EUA/CANADA, sem placa padrão cliente, certificação CSA/UL e placa em avulso sim. Além disso, criar nota no ME: Fornecido com duas placas de identificação, sendo uma conforme mercado EUA e Canadá, e outra em avulso conforme mercado México. O idioma da placa principal será espanhol devido a característica placa padrão cliente Petrobras México. No que tange as certificações do produto, são atendidas CSA área classificada, UL área segura e NOM ANCE área segura e, portanto, todas as certificações selecionadas são atribuíveis ao produto. Caso queira verificar os certificados atendidos, estes podem ser acessados através do(s) link(s): CSA 2156668 , E104590 - Vol.05 - Sec.10, NOM-ANCE 2017MOT00485 e Energy Efficiency Verification . A marcação completa CSA será: Class I, Div 2, Gr. A, B, C and D - T3 Class I, Zone 2, IIC - T3 Class II, Div 2, Gr. F and G - T3C Em relação a marcação do inversor, se o fator de serviço for 1.00, este é contemplado

Análise (continuação)	Consulta (continuação)
SEVC	pelas certificações CSA área classificada, seu Tcode é T2C, torque constante 20:1 e torque variável 1000:1.

Fonte: Acervo interno WEG (2018)

(1) Valor real omitido.

(2) Projeto no qual não ocorre análise elétrica.

A impossibilidade de introduzir todos os logos na mesma placa devido à necessidade de diferentes idiomas da placa de identificação para cada um dos logos é destacada por EDC e SEVC. Porém, o SEVC explica em detalhes a alternativa de procedimento para obtenção de duas placas de identificação. Além disso, o SEVC apresenta a marcação de área do produto.

6.3.1.4 Problema 4: conjunto porta escova

Na consulta técnica apresentada no Quadro 6.5 é questionado se o motor projetado para o cliente⁽¹⁾ está apto a utilizar o conjunto porta escova de acordo com a certificação CSA área classificada.

Quadro 6.5 - Consulta técnica de um produto que deve utilizar conjunto porta escova e certificação CSA área classificada

Análise	Consulta
Vendas	Motor especial cliente 58025. Favor definir projeto elétrico e mecânico para motor padrão cliente ⁽¹⁾ , levar em consideração as informações enviadas na consulta técnica 414759106 em anexo. Além disso, providenciar folha de dados e desenho em inglês.
Elétrica ⁽²⁾	<p>Projeto elétrico especial com pacote 510 mm, material da chapa 519-50 Tp, flange com mancal ventilado, placa em 150 HP, CHP 20 - 60 Hz, torque constante de 673 lb-ft, conforme descrito na folha de dados 166529/17. Primeiro fornecimento deve apresentar um protótipo funcional para homologação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalar sensores PT-100 <ul style="list-style-type: none"> ○ 1x mancal ○ 2x fase cabeça de bobina dianteira • Ensaio de Tipo • Ensaio Especial com inversor: <ul style="list-style-type: none"> ○ 20Hz - 133V - 58kW ○ 60Hz - 400V - 175kW • Ensaio de ruído em 50Hz na rede e 60Hz com inversor a vazio • Ensaio de vibração base elástica <p>Certificações, verificar a possibilidade de utilização de conjunto porta escova.</p> <p>Vendas, alterar os seguintes pontos no configurador do produto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potência 240 HP • Tensão 400V • Frequência 50Hz • Design A
Conformidade ⁽²⁾	Certificação CSA área classificada não abrange conjunto porta escova. Além disso, como informação, o certificado da CSA área classificada será atualizado para inclusão de potências maiores que 200 HP nas características atuais do certificado, além de mencionar o 50 Hz.

Análise	Consulta
SEVC	<p>Olá Bruno Haselein. Ao verificar a configuração do produto, foi identificado que a característica referente ao país de aplicação do produto está vazia. Desse modo, nesta simulação apenas serão consideradas as necessidades legais do mercado EUA e Canadá.</p> <p>A utilização de conjunto porta escova não é contemplada na certificação CSA área classificada devido a possibilidade de geração faíscas na atmosfera explosiva.</p> <p>Ademais, de acordo com a configuração do produto (frequência 50 Hz), não é necessário que este atenda o nível mínimo de eficiência energética (MEPS) do(s) país(es) EUA e Canadá. Porém, mercado EUA e Canadá possui frequência padrão 60 Hz, portando não se recomenda enviar motor 50 Hz pois será considerado nível de eficiência em 60 Hz.</p> <p>Por fim, o idioma da placa será inglês devido a característica mercado final EUA/Canadá, mas caso deseje um idioma diferente, deve-se enviar nota ME.</p> <p>do(s) país(es) EUA e Canadá. Porém, mercado EUA e Canadá possui frequência padrão 60 Hz, portando não se recomenda enviar motor 50 Hz pois será considerado nível de eficiência em 60 Hz.</p> <p>Por fim, o idioma da placa será inglês devido a característica mercado final EUA/Canadá, mas caso deseje um idioma diferente, deve-se enviar nota ME.</p>

Fonte: Acervo interno WEG (2018)

- (1) Valores reais omitidos.
(2) Projeto no qual não ocorre análise mecânica.

A identificação da incompatibilidade de certificação CSA área classificada e utilização de conjunto porta escova no produto é realizada pelo EDC e SEVC. Nesse cenário, certificações pelo programa de categoria não podem ser sugeridas devido à constante possibilidade do conjunto porta escova gerar faíscas na atmosfera explosiva. Todavia, mesmo ambas as respostas não orientando ao processo, o SEVC justifica a impossibilidade. Destaca-se que nesse caso o EDC consegue apresentar futuras modificações no certificado.

6.3.1.5 Problema 5: temperatura ambiente de -20°C até +55°C

Na consulta técnica apresentada no Quadro 6.6 é questionado se a temperatura do ambiente de operação do motor de -20 °C até +55 °C é contemplada pelas certificações CSA área segura e UL área segura.

Quadro 6.6 - Consulta técnica de um produto que deve operar em uma temperatura ambiente de -20 °C até +55 °C

Análise	Consulta
Vendas ⁽¹⁾	<p>Motor moto freio com conjunto de ventilação forçada. Este motor 13495219 foi estornado pela engenharia conforme consulta técnica 414725983.</p> <p>Voltamos para o cliente e ele aprovou a alteração da faixa de temperatura deste motor para -20 °C até +55 °C. Porém quando fui atualizar o configurador do produto, está dando erro de certificação CSA área segura.</p> <p>Certificações, favor avaliar se este motor atende CSA área segura e UL área segura operando de -20 °C até +55 °C. Se não atende CSA, atende somente UL? Em caso negativo, favor informar prazo e custo para certificação deste motor.</p>

Análise	Consulta
Conformidade ⁽¹⁾	O motor TEBC não está certificado para condição de temperatura ambiente +55 °C. Com relação a UL está Ok para as condições especificadas.
Vendas ⁽¹⁾	E se fosse para certificar, qual seria o prazo e custo?
Conformidade ⁽¹⁾	O custo estimado para certificação CSA pelo programa de categoria é de US\$ x,00 ⁽²⁾ e prazo para recebimento do certificado de aproximadamente 2 meses após envio dos relatórios de ensaios para CSA.
SEVC	<p>Olá Bruno Haselein. Ao verificar a configuração do produto, foi identificado que a característica referente ao país de aplicação do produto está vazia. Desse modo, nesta simulação apenas serão consideradas as necessidades legais do mercado EUA e Canadá.</p> <p>O nível de eficiência configurado High Efficiency não atende ao padrão mínimo de eficiência (MEPS) do(s) país(es) EUA e Canadá e, portanto, o produto não poderá operar no local. Para atender ao MEPS, configure o produto com um dos seguintes valores: NEMA Premium Efficiency, Super Premium Efficiency, IE3 - Premium ou IE4. Maiores detalhes do escopo do MEPS podem ser acessados no link abaixo. Destaca-se que produtos fora do escopo do MEPS não necessitam atender os níveis mínimos de eficiência do país em questão. link MEPS.</p> <p>No que tange as certificações do produto, são atendidas CSA área segura, UL área segura e, portanto, todas as certificações selecionadas são atribuíveis. Caso queira verificar os certificados atendidos, estes podem ser acessados através do(s) link(s): CSA 2194017 E104590 - Vol.05 - Sec.10.</p>

Fonte: Acervo interno WEG (2018)

(1) Projeto no qual não ocorre análise elétrica e mecânica.

(2) Valores reais omitidos.

As respostas geradas pelo EDC e SEVC diferem em relação ao atendimento da certificação CSA área segura e nível mínimo de eficiência. De acordo com a avaliação do EDC, o produto não atende ao certificado CSA área segura, sendo então apresentada a possibilidade de realização de uma certificação específica. Contudo, foi necessário o envio de duas mensagens à equipe de conformidade para o vendedor ter acesso a todas as informações necessárias. Destaca-se que, caso o SEVC identificasse o não cumprimento de uma das certificações solicitadas, já seria apresentado em sua resposta o preço, custo e procedimento para realização da certificação pelo programa de categoria. Todavia, o SEVC identificou que o produto atende as certificações solicitadas, porém não ao nível mínimo de eficiência obrigatório no mercado selecionado. Por esse motivo, foram sugeridos valores de eficiência para serem configurados.

6.3.2 Resultados da avaliação da amostra de projetos

A verificação das respostas geradas pelo SEVC e comparação com as elaboradas por EDC permitem a estimativa numérica do percentual de redução e consultas técnicas. A redução percentual estimada para cada tipo de certificação é apresentada na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Percentual de atendimento de consultas técnicas relativas às certificações

Certificação	Percentual atendido (%)
CSA área segura	75
CSA classe I, divisão 2	69
CSA energia verificada	88
UL área segura	80
UL <i>fire pump</i>	68
NOM ANCE área segura	80
EAC área segura	100
CE área segura	0 ⁽¹⁾
EAC área classificada	0 ⁽²⁾
ATEX área classificada	0 ⁽²⁾
IECEX área classificada	0 ⁽²⁾

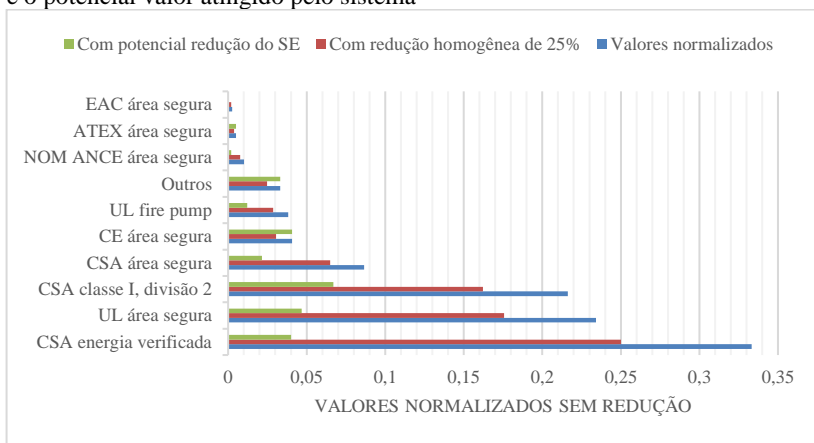
Fonte: Autoria própria

(1) Em fase de validação.

(2) Em fase de implementação.

A redução prevista de consultas técnicas pode ser calculada a partir do percentual de atendimento de consultas técnicas relativas às certificações. Na Figura 6.9 é apresentada a comparação normalizada entre o número atual de dúvidas referentes ao mercado norte americano, a redução homogênea de 25,00 % das consultas técnicas, o que está de acordo com as metas estabelecidas, e o valor resultante da redução potencial de consultas de cada tipo de certificação, a qual é baseada no percentual de atendimento da Tabela 6.1, proporcionada pela versão atual do SEVC. Verifica-se uma redução total de 73,14 % de acordo com o percentual previsto, a qual ocorre em grande parte pela elevada sistematização das certificações CSA energia verificada, UL área segura e CSA classe I, divisão 2. Todavia, desconsiderando a certificação de eficiência (CSA energia verificada), fator pouco questionado nas consultas técnicas, a redução é de 65,71 %.

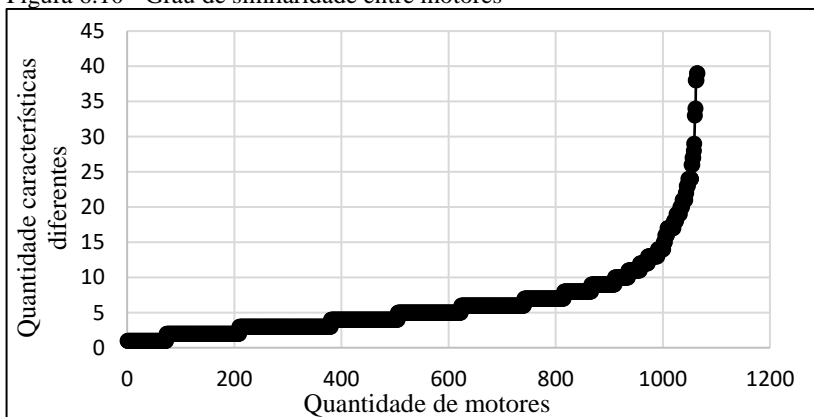
Figura 6.9 - Relação entre o número normalizado de dúvidas, a meta de redução e o potencial valor atingido pelo sistema



Fonte: Autoria própria

A utilização do algoritmo kNN está limitada a sugestões de potenciais alterações na configuração do produto de acordo com o banco de dados elaborado. Para analisar a aplicabilidade desta solução foram selecionados aleatoriamente 1067 motores vendidos nos últimos 24 meses. Desse modo é possível verificar a quantidade acumulada de motores e o número de características distintas, conforme apresentado na Figura 6.10. Todavia, para a validação foram analisadas todas as características do produto, e não apenas as que constam nos certificados.

Figura 6.10 - Grau de similaridade entre motores



Fonte: Acervo interno WEG (2018)

Analogamente à Figura 6.10, os resultados apresentados na Tabela 6.2 indicam que, para um produto qualquer, existe a probabilidade de 6,85 % de um ou mais motores do banco de dados diferirem em valores de apenas uma única característica, i.e., para 73 motores dos 1067 motores foi encontrado um ou mais motores no banco de dados que diferem em um único valor de característica. Nesse caso, o SEVC sugeriria a alteração de um único valor. Ademais, 58,39 % da amostra de teste diferem em valores de até cinco características dos motores do banco de dados.

Tabela 6.2 - Relação entre número de características distintas e percentual normalizado de motores

Quantidade de características diferentes	Quantidade de itens similares	Percentual acumulado da amostra (%)
1	73	6,84
2	136	19,59
3	171	35,61
4	125	47,33
5	118	58,39
Tamanho da amostra	1067	

Fonte: Acervo interno WEG (2018)

6.3.3 Resultados de usabilidade do SEVC

Após a validação da amostra de problemas por EDC, teve início a fase de testes de usabilidade do SEVC com a equipe de vendas. Nesta etapa, o treinamento de utilização do sistema foi realizado para quatro colaboradores da equipe de vendas internacionais do mercado norte americano e disponibilizado o manual de uso e, quatro meses após o início da utilização do SEVC, teve-se o *feedback* da equipe destes colaboradores. Com objetivo de estabelecer indicadores de qualidade relativos ao SEVC, um questionário foi aplicado aos avaliadores, com a seguinte escala: (1) muito insatisfeito; (2) insatisfeito; (3) neutro; (4) satisfeito; (5) muito satisfeito. Os resultados são apresentados na Tabela 6.3, na qual a nota corresponde ao valor médio obtido.

Tabela 6.3 - Notas atribuídas ao modelo padrão de consultas técnicas e ao SEVC pelo público alvo

Característica	Nota	Comentários
Tempo para atendimento das consultas técnicas realizadas pela equipe de conformidade	3,93	
Tempo para atendimento das consultas técnicas realizadas pelo SEVC	4,40	

Característica	Nota	Comentários
Qualidade das respostas (completude e estruturação) das consultas técnicas realizadas pela equipe de conformidade	3,67	Em algumas situações seria interessante explicitar as opções mais próximas ao solicitado Precisam ser mais detalhistas, confirmando que tudo que foi solicitado realmente foi avaliado
Qualidade das respostas (completude e estruturação) geradas pelo SEVC	4,00	O programa é bom, tem respostas completas, o que está disponível no programa já ajuda muito
Dificuldade em utilizar o sistema especialista	3,20	O procedimento é bem simples
Velocidade computacional do SEVC	3,20	
Abrangência de casos solucionáveis pelo SEVC	3,40	As respostas que obtive no programa especialista foram as mesmas apresentados pela equipe de conformidade Ajuda principalmente a saber a certificação padrão do motor, porem se o motor necessitar de outras certificações o programa não informa se atende ou não. Mas isso se resolve incluindo mais dados no programa
Realização da consulta técnica sem necessidade de especificar a dúvida no SEVC	4,20	

Fonte: Acervo interno WEG (2018)

De acordo com as respostas do público alvo, conclui-se que a satisfação quanto ao tempo de atendimento das consultas técnicas e qualidade das respostas é maior com a utilização do SEVC do que com EDC. Mesmo o SEVC fazendo uso de uma interface semelhante à interface do configurador de produto, o que potencialmente reduz o impacto na rotina atual de trabalho, e com tempo de execução do sistema de aproximadamente 30 segundos, o nível de satisfação dessas características é próximo ao neutro. Em relação à abrangência dos casos solucionáveis, as respostas foram consideradas semelhantes às enviadas pelos EDC. Por fim, teve-se elevada satisfação quanto a não necessidade de especificar a dúvida referente à configuração, possibilitando uma análise geral de conformidade.

A utilização do SEVC consiste em um processo interativo de verificação da conformidade legal e comercial no qual, de acordo com a resposta calculada, alterações da configuração do produto são realizadas. Não obstante, após o término das interações, o conjunto de especificações, juntamente com a resposta final calculada, pode ser arquivado, o que gera um número de identificação de consulta técnica automático. Desse modo, tem-se rastreabilidade da verificação pelo SEVC, o que permite a não verificação por EDC e conseqüente redução do lead time do produto.

Diversos estudos de caso foram apresentados objetivando a comparação da completude da resposta emitida por EDC e SEVC. De acordo com a validação da amostra de projetos, a redução de consultas técnicas é de 73,14 %, valor que excede a meta inicial de 25,00 %. No que tange a utilização do algoritmo kNN, a probabilidade média de um produto qualquer diferir em valores uma única característica de um ou mais motores do banco de dados é de 6,85 % e 58,39 % de diferir em valores de até cinco características.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As respostas geradas pelo SEVC são, na maioria dos casos, mais completas que as elaboradas por EDC. Isso ocorre devido à opção por elaborar respostas abrangentes sobre a configuração em função da proposta de utilização interativa do sistema, na qual o usuário altera a configuração de acordo com o resultado emitido pelo SEVC. No entanto, por vezes a resposta gerada é demasiada extensa, o que pode confundir o usuário devido ao número de informações apresentadas. Por esse motivo, EDC consideram respostas sucintas como ideais. Contudo, o SEVC não identifica com exatidão qual a dúvida do usuário, não sendo possível determinar qual a resposta mais sucinta a ser emitida. Todavia, destaca-se que as regras do sistema foram elaboradas a partir das dúvidas existentes nas consultas técnicas avaliadas, o que permitiu a redução de mensagens de não interesse.

Atualizações em certificados, restrições legais e comerciais, e potenciais orientações são rapidamente introduzidas no SEVC e, conseqüentemente, estas informações são difundidas entre as partes interessadas. Esse fator é de grande importância, pois conforme constatado nos estudos de caso, em um prazo inferior a 12 meses, diferentes respostas devem ser elaboradas para uma mesma configuração devido a alterações nas fontes de informações. Em outras palavras, duas configurações idênticas podem receber respostas distintas em consultas técnicas de acordo com vigência das fontes de informação, o que permite a conclusão errônea da conformidade do produto se a base de informações do vendedor for apenas consultas técnicas já realizadas. Por exemplo, tem-se o problema discutido na seção 6.3.1.1, no qual foi constatado que a certificação UL área segura não contempla a temperatura de 65 °C. Todavia, quando o sistema foi executado a resposta já estava atualizada com a versão do certificado, a qual garante até 80 °C. Conclui-se que atualizações no sistema permitem que novos casos gerem resposta atualizada.

A divisão do SEVC em classes relativas às especificações de cliente, restrições de mercado e comerciais, e restrições técnicas se mostrou excelente para a expansão incremental e manutenção. Desse modo, tem-se maior organização e conseqüente rastreabilidade dos grupos de regras, o que permite a localização de regras referentes às diversas fontes de informações utilizadas na elaboração do protótipo. Após o treinamento do EDC, este foi capaz de aumentar as funcionalidades do sistema através do cadastro dos certificados NOM ANCE, de regras de definição de certificações obrigatórias de acordo

com o mercado de aplicação, e MEPS. Além disso, o número total de regras necessária para verificar a conformidade pode ser reduzido através arquitetura elaborada para o SEVC, na qual as inconsistências de projeto são identificadas de forma automática uma vez cadastradas as restrições.

O algoritmo kNN foi limitado à apresentação de soluções às inconsistências de certificações. Desse modo, é possível sugerir configurações semelhantes e, conseqüentemente, não realizar testes específicos de certificação do produto, algo que agrega custos e diminui a sua competitividade comercial. A solução se mostrou de fácil manutenção e implementação para novas linhas de produtos. Contudo, existe a possibilidade de ocorrer a sugestão de um valor de característica não mais contemplado pelo certificado, ou seja, a conformidade da resposta depende de atualizações no banco de dados.

A resposta automática de toda e qualquer dúvida técnica não é objetivo do SEVC devido ao elevado custo de completa automatização. Não obstante, por muitas vezes dúvidas são emitidas ao EDC apenas uma vez, o que não justifica sua elaboração de uma regra específica. Mesmo o tempo médio de resposta de consultas técnicas, determinado de acordo com a relação entre o total de consultas no ano de 2017 e horas úteis do colaborador responsável pela resposta, sendo este aproximadamente duas horas, enquanto do SEVC é de trinta segundos, a elaboração e validação de regras exigem horas de um profissional específico.

A satisfação quanto ao tempo de atendimento e qualidade da resposta do SEVC é elevada e, conforme destacado no capítulo inicial, existe certa resistência à utilização dos EDC devido ao tempo necessário para recebimento da resposta. Em adição, a satisfação pela não necessidade de especificação da dúvida técnica através do SEVC é elevada. Todavia, não é esperado uma redução de consultas técnicas igual ao potencial definido pelos EDC, visto que as notas de dificuldade de utilização e velocidade computacional são medianas.

A rastreabilidade da execução da avaliação técnica de uma configuração no SEVC através do ID_{sevc} mostrou-se uma excelente forma de simplificar o fluxo de projeto. Isso ocorre devido ao baixo impacto no modelo atual de projeto de motores especiais uma vez que as repostas emitidas pelo SEVC, juntamente com o conjunto de valores de características do produto, podem ser associadas ao fluxo através de um número de identificação.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1.1 Elaboração de respostas de acordo com a dúvida do usuário

A resposta gerada pelo SEVC é, por vezes, demasiada extensa devido a não capacidade do sistema de identificar a dúvida do usuário. Em outras palavras, o SEVC se limita a avaliar a configuração introduzida e emitir uma resposta de acordo. Como alternativa, é sugerido o desenvolvimento de uma interface que permita que o SEVC emita perguntas, aumentando a interatividade e qualidade da resposta por meio da captação de informação.

7.1.2 Disponibilização do SEVC para filiais

O aumento da autonomia técnica de filiais da empresa é de interesse as equipes internas de vendas. Desse modo, a carga de trabalho relativa a assuntos já dominados é reduzida. Portanto, é justificável que filiais possam utilizar o sistema especialista de conformidade para saneamento de dúvidas. Desse modo, inconsistências de projeto poderão ser identificadas em uma etapa anterior de projeto, potencializando a difusão de informações e reduzindo a necessidade da verificação da configuração do produto por equipes internas de vendas.

Na versão atual do SE, as respostas são geradas apenas em português, porém, para que o sistema possa ser utilizado ao redor do mundo, as mensagens devem ser traduzidas. Durante a elaboração do sistema, todas as características foram cadastradas com descrições e valores traduzidos para inglês e espanhol. Ademais, a interface do SE já permite a troca de linguagem. Desse modo, após a tradução das mensagens emitidas ao usuário, o sistema já está apto a ser utilizado no exterior.

Como maior impacto dessa proposta tem-se a revisão do fluxo de projeto, pois é necessário definir com clareza quais atribuições podem ser passadas a filiais. Não obstante, de acordo com as decisões tomadas, revisões no fluxo de projeto podem ser necessárias. Todavia, destaca-se o interesse em uma disponibilização imediata do sistema apenas para saneamento de dúvidas.

7.1.3 Integração do SEVC com sistemas de venda guiada

Sistemas de venda guiada permitem que o usuário final configure o produto de acordo com suas necessidades. Na empresa, estudos

recentes foram desenvolvidos para elaboração de um SE para auxílio venda de tintas. Este pode servir como base para um sistema de auxílio de vendas de motores elétricos. Não obstante, o SE de verificação de conformidade poderá ser utilizado para verificar a conformidade normativa do pedido do cliente.

7.1.4 Verificação de conformidade para um produto com múltiplos destinos

Por vezes o motor não é encaminhado diretamente ao local no qual irá operar. Nesse cenário, é comum que o produto seja transportado por diversos países, sendo necessário, quando aplicável, que este esteja de acordo com suas normas e regulamentos. Por esse motivo, sugere-se a introdução de regras referentes aos países intermediários no SE, possibilitando, caso haja suficientes informações de entrada, identificar todos os requisitos legais e comerciais que o produto deve atender. Não obstante, pode-se empregar uma lógica para verificar motores ainda não vendidos pelas filiais, porém aptos a operarem em diferentes países e, conseqüentemente, aumentar a competitividade do produto.

7.1.5 Validação da aplicação do algoritmo kNN para busca automática de placas similares

Em projetos de motores especiais, comumente placas especiais são elaboradas pela engenharia, o que se caracteriza por um trabalho altamente custoso devido a revisão técnica e normativa necessária para determinar as características a serem plotadas e respectivas disposições. Todavia, placas previamente elaboradas e similares a que deve ser elaborada potencialmente podem ser identificadas através o algoritmo de similaridade.

Placas identificadas através do algoritmo de mineração de dados apresentam maior probabilidade de serem distintas quando o projeto simulado possui elevado número de especialidades. Isso ocorre devido ao número finito de instâncias que compõem o banco de dados do sistema, o que estatisticamente tende a limitar a probabilidade de encontrar instâncias compostas por um conjunto de valores não usualmente desejados pelos clientes. Por esse motivo, recomenda-se limitar a busca de instâncias similares às características presentes nas regras de geração automática de placas.

7.1.6 Utilização dinâmica do kNN para sugestões de acordo com restrições impostas pelo cliente

A correta orientação à configuração do produto e soluções de projeto deve considerar quais valores são imprescindíveis à aplicação definida pelo cliente. Em outras palavras, os resultados do SEVC não devem ir de encontro à especificação deste, desconsiderando orientações que sugiram alteração nos valores especificados. Por esse motivo, o algoritmo kNN foi elaborado de modo a permitir alterações no peso das características, o que possibilita diferentes priorizações. Portanto, sugere-se a reestruturação da interface do SEVC com o usuário para permitir a definição de valores de características obrigatórios.

REFERÊNCIAS

ABB GROUP. **Global MEPS**: energy efficiency regulations for low voltage motors around the world. Informativo. Zurique, 2015. 12 p.

ABB GROUP. **Potentially Explosive Atmospheres**: the basics you need to know about motors and drives. Informativo. Zurique, 2015. 24 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT**: Normalização: Conceito: Níveis de Normalização. 2018, 1 p. Disponível em: < <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/niveis-de-normalizacao>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-17094**: Máquinas elétricas girantes - Motores de indução, Parte 1: Trifásicos. Ed. 2. Válida a partir de Outubro de 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5432**: Máquina elétrica girante - Dimensões e potenciais nominais. Válida a partir de agosto de 1983.

ACEEE. **Global Motor Energy Efficiency Program**. Informativo, Washington, 2015. 6 p.

ADVOCACIA-GERAL DA UNIÃO. Empresa que comercializa eletrodomésticos sem etiqueta do Inmetro tem que pagar multa. **Advocacia-Geral da União**, 13 jul. 2016. Disponível em: < <http://www.agu.gov.br/noticia/empresa-que-comercializa-eletrodomesticos-sem-etiqueta-do-inmetro-tem-que-pagar-multa--426796>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

AMATO, M. P.; GORETTI, B. **Cognitive Impairment in Multiple Sclerosis**. Translational Neuroimmunology in Multiple Sclerosis: From Disease Mechanisms to Clinical Applications. p. 365-384, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801914-6.00027-1>.

ATKINSON, R. C.; SHIFFRIN, R. M. **Human Memory: A Proposed System and its Control Processes.** 1968. Em K. W. SPENCE e J. T. SPENCE, **The Psychology of Learning and Motivation: II.** Oxford, England: Academic Press. [http://dx.doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3).

ARMSTRONG, D. J. **The Quarks of Object-Oriented Development.** Communications of the ACM, v. 49, n. 2, p. 123-128, 2006. ISSN 0001-0782.

BAARS, B. J.; GAGE, N. M. **Hearing and Speech.** Cognition, Brain, and Consciousness: Introduction to Cognitive Neuroscience. Ed. 2. p194-236, 2010. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375070-9.00007-3>

BABRAUSKAS, V. **Ignition Handbook: Principles and Applications to Fire Safety Engineering, Fire Investigation, Risk Management and Forensic Science.** Issaquah, WA: Fire Science Publishers. Society of Fire Protection Engineers, 2003.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem.** Barueri: Editora Manole, 2008.

BALDWIN, C. Y.; CLARK, K. B. Managing in an Age of Modularity. In Gilmore, J. H.; Pine II, J. B. **Markets of One: Creating Customer-Unique Value Through Mass Customization.** Harvard Business School Press, Boston, MA. 2000.

BARR, A.; FEIGENBAUM, E. **The Handbook of Artificial Intelligence.** Vol 1. William Kaufmann, Inc., 1981.

BEACH, T. H.; REZGUI, Y.; LI, H.; KASIM, T. **A Rule-Based Semantic Approach for Automated Regulatory Compliance in the Construction Sector.** Expert Systems with Applications. 42. ed., p. 5219-5231, 2015. ISSN 0957-4174.

BERRY, A. **The Super Intelligent Machine: An Electronic Odyssey.** London, Jonathan Cape, p. 9, 1983.

BINET, A. **The Mind and the Brain.** 1907. Kessinger Publishing, 2008. ISBN: 0548904898.

BISHOP, M. C. **Pattern Recognition and Machine Learning**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. ISBN-10: 0-387-31073-8.

BITTENCOURT, G. **Inteligência artificial: ferramentas e teorias**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

BOOCH, G. **Object Oriented Analysis and Design with Applications**. Benjamin/Cummings, Redwood City, CA, 1994.

BOTEGA, L. F. C. **Knowledge-Based System for Categorization and Selection of Creativity Support Techniques in Design**. 2016. (Dissertação de mestrado). Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, Brasil, 2016.

BRIDGE, D. **Topics in Artificial Intelligence**. Notas de aula. University College Cork, Department of Computer Science, Ireland, 2007.

BRITISH STANDARD. **BS EN 10204**: Metallic Products: Types of Inspection Documents. 2004, 1 p.

BURT, C. **The Causes and Treatment of Backwardness**. University Of London Press Ltd; Reprint edition. 1954. ASIN B00BH90C92.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **Descriptive Report and Test Results**: CSA Report 2156668. Certificação de produto. Ontário, 2016. 25 p.

CLARKSON, J. **Human Capability and Product Design**. Product Experience. P 165-198, 2008. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-008045089-6.50009-5>.

CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION. Motor Controllers for Submersible Pump Systems Recalled by Franklin Electric Due to Shock Hazard. **Consumer Product Safety Commission**, 18 fev. 2010. Disponível em: <<https://www.cpsc.gov/Recalls/2010/motor-controllers-for-submersible-pump-systems-recalled-by-franklin-electric-due-to>>. Acesso em: 20 maio 2018.

CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION. Nidec Motor Recalls Swimming Pool Motors Due to Electrical Shock Hazard. **Consumer Product Safety Commission**, 7 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.cpsc.gov/Recalls/2017/nidec-motor-recalls-swimming-pool-motors>>. Acesso em: 20 maio 2018.

CONSUMER PRODUCT SAFETY COMMISSION. Siemens Recalls Circuit Breakers Due to Fire Hazard. **Consumer Product Safety Commission**, 23 set. 2010. Disponível em: <<https://www.cpsc.gov/Recalls/2010/siemens-recalls-circuit-breakers-due-to-fire-hazard>>. Acesso em: 20 maio 2018.

COOLS, E. Recall: Honda Portable Generator, Model EG2800i. **Electrical Business**, Toronto, 24 jan. 2018. Disponível em: <<https://www.ebmag.com/recalls/recall-honda-portable-generator-20103>>. Acesso em: 20 maio 2018.

COWAN, N. **Sensational Memorability: Working Memory for Things We See, Hear, Feel, or Somehow Sense. Mechanisms of Sensory Working Memory.** p. 5-22, 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801371-7.00002-8>.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA C22.2 NO. 77-14: Motors with Inherent Overheating Protection.** *Ontário*, 2014, 28 p.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA C22.2 No. 100-14: Motors and Generators.** *Ontário*, 2014, 88 p.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **CSA C22.2 No. 390-10: Test Methods, Marking Requirements and Energy Efficiency Levels for Three-phase Induction Motors.** *Ontário*, 2010, 50 p.

COURTNEY, S. M. **Encyclopedia of Behavioral Neuroscience.** Elsevier Science. Ed. 1. 2010. ISBN: 9780080453965.

DUARTE, C. P. **Apostila de compliance de produto.** Jaraguá do Sul: WEG. 2017.

DHARANI, K. **Memory, Intelligence and Molecular Grid**. The Biology of Thought: A Neuronal Mechanism in the Generation of Thought - A New Molecular Model. p. 143-161, 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800900-0.00008-7>.

DYM, C. L.; LEVITT, R. E. **Knowledge-Based Systems in Engineering**. New York: McGraw-Hill. 1991.

ELMARAGHY, H.; SCHUH, G.; ELMARAGHY, W.; PILLER, F.; SCHÖNSLEBEN, P. **Product Variety Management**. CIRP Annals. 2v. 62. ed. p. 629-652, 2013.

EMMITT, S. **Observing the Act of Specification**. Design Studies. Ed. 22, p. 397-408, 2001. DOI: 10.1016/S0142-694X(00)00046-6.

EVBUOMWAN, N. F. O.; SIVALOGANATHAN, S.; JEBB A. A. **A Survey of Design Philosophies, Models, Methods and Systems**. Ed. 210. V. 4. p. 301-320, 1996. DOI https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1996_210_123_02

FERREIRA, J. C. E. **Integração da manufatura**. Notas de aula. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2017.

FETTERMANN, D. C.; ECHEVESTE, M. E. S. **Desenvolvimento de produto para customização em massa**: alternativas para o setor de móveis modulados. Espacios. 32v. p. 12, 2011.

FLEIG, A. M. **Sistematização da concepção de produtos modulares**: um estudo de caso na indústria de refrigeração. 2008, dissertação de mestrado em engenharia mecânica - UFSC. Florianópolis, SC. 2008.

FIGUEIREDO, D. L. M. **Avaliação da conformidade**. Notas de aula. Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Graduação em Engenharia Mecânica, Belo Horizonte, 2017.

FULTON J. F.; JACOBSEN C. F. **The Functions of the Frontal Lobes**: A Comparative Study in Monkeys, Chimpanzees, and Man. Abstracts of the Second International Neurological Congress. London: International Neurological Congress, 1935, p. 70-71.

GIARRATANO, J. C.; RILEY, G. **Expert Systems: Principles and Programming**. 4v. Thomson Course Technology, 2005. ISBN 9780534384470.

GIBLIN, C.; LIU, A. Y.; MÜLLER, S.; PFITZMANN, B.; ZHOU, X. **Regulations Expressed as Logical Models (realm)**. Relatório técnico RZ 3616, IBM Research, Zurich, 2005.

GLANZER, M.; CUNITZ, A. R. **Two Storage Mechanisms in Free Recall**. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior. Ed. 5. p. 351-360, 1966.

GLICKEN, M. D. **Evidence-Based Practice with Alzheimer's Disease and Dementia**. Evidence-Based Counseling and Psychotherapy for an Aging Population. Parte V, 2009. ISBN: 9780080958538.

GODDARD, N. **Psychology**. Core Psychiatry. Ed. 3. p. 63-82, 2012. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-3397-1.00005-7>.

GONZALEZ, A. J.; DANKEL, D. D. **The Engineering of Knowledge-Based Systems: Theory and Practice**. Prentice-Hall, Inc, 1993.

GROOME, D. **An Introduction to Cognitive Psychology: Processes and Disorders**. Psychology Press. 347 p., 1999. ASBN 9780863776397.

HAJDASZ, M. (2014). **Flexible Management of Repetitive Construction Processes by an Intelligent Support System**. Expert Systems with Applications, Ed. 41, p. 962-973. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2013.06.063><<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417413004582>>.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data Mining: Concepts and Techniques**. Ed. 3. Waltham, Elsevier Inc, 2012. ISBN 978-0-12-381479-1.

HASSANAT, A. B.; ABBADI M. A.; ALTARAWNEH G. A.; ALHASANAT A. A. **Solving the Problem of the k Parameter in the kNN Classifier Using an Ensemble Learning Approach**. International Journal of Computer Science and Information Security, Ed. 12, No. 8, 2014.

HEALTH CANADA. Chrysler Issued a Recall on The Town & Country, Grand Caravan, Journey, And Promaster Models. **Health Canada**, 15 jun. 2016. Disponível em: <<http://healthycanadians.gc.ca/recall-alert-rappel-avis/tc/2016/58914r-eng.php>>. Acesso em: 20 maio 2018.

HEALTH CANADA. Mitsubishi Fuso issued a recall on the FEC52, FEC72, FEC92, and FGB72 models. **Health Canada**, 01 abril 2016. Disponível em: <<http://healthycanadians.gc.ca/recall-alert-rappel-avis/tc/2016/57366r-eng.php>>. Acesso em: 20 maio 2018.

HEALY, A. F. **Short-term Memory, Cognitive Psychology of**. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. p. 14046-14049, 2001. DOI <https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/01524-2>.

HECHENBICHLER, S. **Weighted k-Nearest-Neighbor Techniques and Ordinal Classification**. Sonderforschungsbereich p. 386, Paper 399, 2004.

GARDNER, H; KORNHABER, M; CHEN, J-Q. **The Theory of Multiple Intelligences**. Edited by Robert J. Sternberg, Cornell University, New York. Publisher: Cambridge University Press. 2018. p 116-129. <https://doi.org/10.1017/9781316817049.009>.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60034-1: Rotating Electrical Machines - Part 1: Rating and Performance**. Genebra, 2017, 148 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60034-2-1: Rotating Electrical Machines - Part 2-1: Standard Methods for Determining Losses and Efficiency from Tests (Excluding Machines for Traction Vehicles)**. Genebra, 2014, 186 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC TS 60034-2-3: Rotating Electrical Machines - Part 2-3: Specific Test Methods for Determining Losses and Efficiency of Converter-Fed AC Induction Motors**. Genebra, 2013, 44 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60034-5**: Rotating Electrical Machines - Part 5: Degrees of Protection Provided by the Integral Design of Rotating Electrical Machines (IP Code) - Classification. Geneva, 2000, 39 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60034-6**: Rotating Electrical Machines - Part 6: Methods of Cooling (IC Code). Geneva, 1991, 39 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60034-7**: Rotating Electrical Machines - Part 7: Classification of Types of Constructions and Mounting Arrangements (IM Code). Geneva, 1992, 45 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60034-9**: Rotating Electrical Machines - Part 9: Noise Limits. Geneva, 2003, 25 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60034-14**: Rotating Electrical Machines - Part 14: Mechanical Vibration of Certain Machines with Shaft Heights 56 mm and Higher - Measurement, Evaluation and Limits of Vibration Severity. Geneva, 2003, 29 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC TS 60034-25**: Rotating Electrical Machines - Part 25: AC Electrical Machines used in Power Drive Systems - Application Guide. Geneva, 2014, 180 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60034-30-1**: Rotating Electrical Machines - Part 30-1: Efficiency Classes of Line Operated AC Motors (IE Code). Geneva, 2014, 50 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60050 IEV ref. 426-01-XX**: Equipment for Explosive Atmospheres: General Terms. Geneva, 2008.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60050 IEV ref. 426-03-XX**. Equipment for Explosive Atmospheres: Areas and Zones. Geneva, 2008.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60050 IEV ref. 426-04-XX**: Equipment for Explosive Atmospheres: Construction of Electrical Apparatus (General). Genebra, 2008.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60050 IEV ref. 426-06-XX**: Equipment for Explosive Atmospheres: Flameproof Enclosure "D". Genebra, 2008.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60050 IEV ref. 426-08-XX**: Equipment for Explosive Atmospheres: Increased Safety "e". Genebra, 2008.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60050 IEV ref. 426-12-XX**: Equipment for Explosive Atmospheres: Encapsulation "m". Genebra, 2008.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60050 IEV ref. 426-13-XX**: Equipment for Explosive Atmospheres: Type of Protection "n". Genebra, 2008.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60050 IEV ref. 426-17-XX**: Equipment for Explosive Atmospheres: Protection by Pressurization (Dust) "pD". Genebra, 2008.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60079-0**: Explosive Atmospheres - Part 0: Equipment - General Requirements. Genebra, 2017, 279 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60079-1**: Explosive Atmospheres - Part 1: Equipment Protection by Flameproof Enclosures "d". Genebra, 2014, 189 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60079-2**: Explosive Atmospheres - Part 2: Equipment Protection by Pressurized Enclosure "p". Genebra, 2014, 140 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60079-7**: Explosive Atmospheres - Part 7: Equipment Protection by Increased Safety "e". Genebra, 2015, 237 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60079-15**: Explosive Atmospheres - Part 15: Equipment Protection by Type of Protection "n". Genebra, 2017, 63 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60079-20-1**: Explosive Atmospheres - Part 20-1: Material Characteristics for Gas and Vapour Classification - Test Methods and Data. Genebra, 2010, 152 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60079-31**: Explosive Atmospheres - Part 31: Equipment Dust Ignition Protection by Enclosure "t". Genebra, 2013, 28 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60092**: Series, Electrical Installations in Ships - All Parts. Genebra, 2018.

JIAO, J.; MA, Q.; TSENG, M. M. **Toward High-Added Products and Services: Mass Customization and Beyond**. Technovation, Ed. 23. p. 809-821, 2003.

KAMAL, M. M.; IRANI, Z. **Analysing Supply Chain Integration through a Systematic Literature Review: A Normative Perspective**. Supply Chain Management: An International Journal, Ed. 19, p. 523-557, 2014. <http://dx.doi.org/10.1108/SCM-12-2013-0491>.

KRASLAWSKI, A., KOIRANEN, T. e NYSTRÖM, L. **Case-Based Reasoning System for Mixing Equipment Selection**. Computers and Chemical Engineering. Ed. 19., No 1, p. 821-826, 1995.

KURZWEILL, R. **The age of Intelligent Machines**. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 1990.

LAW, K.; LAU, G. **REGNET: Regulatory Information Management, Compliance and Analysis**. International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance. Ed. 6, p. 175-183, 2012. DOI: 10.1145/2463728.2463764.

LI, Y.; XUE, D.; GU, P. **Design for Product Adaptability**. Journal of Concurrent Engineering: Research and Application (CERA), 16v, p. 221-232, 2008.

LIEBOWITZ, J. **The Handbook of Applied Expert Systems**. CRC Press, p. 736, 1997. ISBN 9780849331060.

LINDEMANN, U.; MAURER, M.; BRAUN, T. **Structural Complexity Management: An Approach for the Field of Product Design**. Berlin: Springer. 2009.

LIU, Y.; MULLER, S.; XU, K. **A Static Compliance-Checking Framework for Business Process Models**. IBM Systems Journal. Ed. 46, p. 335-361, 2007. DOI: 10.1147/sj.462.0335.

LUGER, G. F.; STUBBLEFIELD, W. A. **Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving**. Benjamin/Cummings, Redwood City, California, second edition. 1993.

LUSTOSA, V. G; ALVARENGA, R. **O estado da arte em inteligência artificial**. Colabor@ Revista Digital da CVA, Brasília, V. 2, set. 2004. ISSN 1519-8529.

KURZWEIL, R. **The Age of Intelligent Machines**. Massachusetts Institute of Technology Press. 580 p., 1990. ISBN: 9780262111218.

MACKAY, D; SHIU, W. Y.; MA, K. C.; LEE, S. C. **Handbook of Physical-Chemical Properties and Environmental Fate for Organic Chemicals**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006. ISSN: 978-1-56670-687-2.

MALSANE, S.; MATTHEWS, J.; LOCKLEY, S.; LOVE, P. E. D.; Greenwood, D. **Development of an Object Model for Automated Compliance Checking**. Automation in Construction. Ed. 49, p. 51-58, 2015. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.10.004>.

MARTIN, J. **Alien Intelligence**. The Journal of Business Strategy, Ed. 22, p. 18-23, Boston, 2001.

MASSIRER, D. A. **Sistema especialista protótipo para auxílio à verificação da estrutura de produto de motores elétricos**. 2007 (Dissertação de Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. UFSC, Florianópolis. 2007.

MATELLI, J. A. **Sistemas baseados em conhecimento para projeto de plantas de cogeração a gás natural**. 2008 (Tese de doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. UFSC, Florianópolis. 2008.

MCCARTHY, J.; MINSKY, M. L.; ROCHESTER, N.; SHANNON, C. E. **Dartmouth AI Project Proposal**. Aug. 31, 1955.

MEYER, M. H.; LEHNERD, A. P. **The Power of Product Platforms: Building Value and Cost Leadership**. The Free Press, New York, NY. 1997.

MOON, S. K.; MCADAMS, D. A. **A Platform-Based Strategic Design Approach for Universal Products**. Int. J. Mass Customization. Ed. 3, p. 227-246, 2010.

MULLIGAN, N. W. **Attention and Memory**. Learning and Memory: A Comprehensive Reference. Vol. 2. p. 7-22, 2008. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-012370509-9.00134-0>.

MYRODIA, A.; KRISTJANSDOTTIR, K.; HVAM L. **Impact of Product Configuration Systems on Product Profitability and Costing Accuracy**. Computers in Industry. Ed 88. p. 12-18, 2017. DOI <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2017.03.001>.

NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS ASSOCIATION. **NEMA MG-1: Motors and Generators**. Rosslyn, 2016.

NEWELL, A.; SIMON, H. A. **GPS, a Program that Simulates Human Thought**. New York: McGraw-Hill. 1963.

NORDLANDER, T. E. **AI Surveying: Artificial Intelligence in Business**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Montfort. 2001.

NOY, N. F. **Semantic Integration: A Survey of Ontology-Based Approaches**. ACM Sigmod Record. Ed. 33, p. 65-70, 2004. DOI: 10.1.1.133.9667.

Online Business Dictionary. Disponível em: <http://www.businessdictionary.com/>. Acesso em 20 de julho de 2017.

OSBORNE, M. J.; RUBINSTEIN, A. **A Course in Game Theory**. MIT, Massachusetts, MA. 2002.

PANCZYK, T. D. **A Smart Choice for Collectors? Credit Card Management**. Ed. 12, V. 11, p. 78-88, 1999.

PARK, M.; LEE, H. S.; KWON, S. **Construction Knowledge Evaluation Using Expert Index**. Journal of Civil Engineering and Management. Ed. 16, p. 401-411, 2010. ISSN 1392-3730 print / ISSN 1822-3605 online. doi: 10.3846/jcem.2010.46.

PIAGET, J. **O nascimento da inteligência na criança**. Ed. 4. Rio de Janeiro: Zahar, 1982.

PMO Marketing WMO. **Metodologia de desenvolvimento de novos produtos WMO**. WEG Equipamentos Elétricos S/A - Motores, 2017.

Relatório de Indicadores do Departamento de Engenharia de Produto - WMO. **Percentual de detalhamentos sem erros identificados na verificação de projetos**. WEG Equipamentos Elétricos S/A - Motores, 2017.

RICH, E.; KNIGHT, K.; NAIR, S. B. **Artificial Intelligence**. Índia: Tata McGrawHill, 2009. ISBN 0070087709.

RIGONI, E. **Metodologia para implementação da manutenção centrada na confiabilidade**: uma abordagem fundamentada em sistemas baseados em conhecimento e lógica *fuzzy*. 2009 (Tese de doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. UFSC, Florianópolis. 2009.

RODRIGUES, E. A. **Aplicação da modularidade no projeto do produto e na produção**: uma análise em uma montadora de caminhões e ônibus. Revista GEPROS, p. 79-92. 2009.

ROEDIGER, H. L.; ZAROMB, F. M.; GOODE, M. K. **A Typology of Memory Terms**. Learning and Memory: A Comprehensive Reference. Vol. 1. p. 11-24, 2008. DOI <https://doi.org/10.1016/B978-012370509-9.00047-4>.

ROGONI, E. **Metodologia para implantação da manutenção centrada na confiabilidade**: uma abordagem fundamentada em sistemas baseado em conhecimento e lógica *fuzzy*. 2009 (Tese de doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. UFSC, Florianópolis. 2009.

ROZENFELD, H.; **Engenharia simultânea**. Instituto de Gestão de Desenvolvimento de Produtos, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/Conteudo/EngenhariaSimultanea#eztoc121572_4>. Acesso em 30 de julho de 2018.

SAEKI, M.; KAIYA H.; HATTORI, S. **Applying a Model Checker to Check Regulatory Compliance of Use Case Models**. Conference on Advanced Information Systems Engineering (CAiSE). Amsterdam, Holanda, 2009.

SAMWORTH, R. J. **Optimal Weighted Nearest Neighbour Classifiers**. The Annals of Statistics. Ed. 40, p. 2733–2763, 2012. DOI: 10.1214/12-AOS1049.

SCHALKOFF, R. J. **Artificial Intelligence: An Engineering Approach**. McGraw-Hill, New York. 1990.

SCHUH, G.; ARNOSCHT, J.; RUDOLF, S. **Integrated Development of Modular Product Platforms**. Proceedings of PICMET '10. Phuket, Thailand. p. 1928-1940. 2010.

SIEMENS AG. **Minimum Energy Performance Standards: MEPS regulations worldwide**. Informativo. Munique, 2016. 32 p.

SILWATTANANUSARN, T.; TUAMSUK, K. **Data Mining and its Applications for Knowledge Management: A Literature Review from 2007 to 2012**. International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process (IJDMP). Ed. 2, No. 5, 2012.

SILVA, J. C. **Expert System Prototype for Hydraulic System Design Focusing on Concurrent Engineering Aspects**. 1998. (Tese de Doutorado). Pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFSC, Brasil. 1998.

SILVA, J. C.; MATELLI, J. A.; BAZZO, E. **Development of a Knowledge-Based System for Cogeneration Plant Design: Verification, Validation and Lessons Learned.** Knowledge-Based Systems. Ed. 67, p. 230-243, 2014. DOI: 10.1016/j.knosys.2014.05.002.

SLOMAN, A.; LOGAN, B. **Building Cognitively Rich Agents using the SIM_agent Toolkit Association for Computing Machinery.** Ed. 3, V. 42, p. 8. 1999.

SPRAGUE, R. A.; SINGH, K. J.; WOOD, R. T. **Concurrent Engineering in Product Development.** IEEE Design and Test of Computers, Ed. 8, no. 1, p. 6-13, 1991.

TITUS, A. M.; REVEST, P.; SHORTLAND, P. **Dementia.** The Nervous System. Ed. 2. p. 251-266, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-3373-5.00014-9>.

TURING, A. M. **Computing Machinery and Intelligence.** Mind 49, p. 433-460, 1950.

UNDERWRITERS LABORATORIES. **UL 1004-1:** Standard for Rotating Electrical Machines - General Requirements. Northbrook, 2012.

UNDERWRITERS LABORATORIES. **UL 1004-3:** Standard for Thermally Protected Motors. Northbrook, 2015.

UNDERWRITERS LABORATORIES. **UL 1004-4:** Standard for Electric Generators. Northbrook, 2018.

UNDERWRITERS LABORATORIES. **UL 1004-5:** Standard for Fire Pump Motors. Northbrook, 2014.

UNDERWRITERS LABORATORIES. **UL 1004-6:** Standard for Servo and Stepper Motors. Northbrook, 2012.

UNDERWRITERS LABORATORIES. **UL 1004-7:** Standard for Electronically Protected Motors. Northbrook, 2018.

UNDERWRITERS LABORATORIES. **UL 1004-8**: Standard for Inverter Duty Motors. Northbrook, 2013.

UNDERWRITERS LABORATORIES. **UL 1004-9**: Standard for Form Wound and Medium Voltage Rotating Electrical Machines. Northbrook, 2016.

ULIYAR, S. **A primer**: Oracle Intelligent Bots - Powered by Artificial Intelligence. Versão digital, 2017. Disponível em: <<http://www.oracle.com/us/technologies/mobile/chatbots-primer-3899595.pdf>>.

WAIDE, P.; BRUNNER, C. U. **Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems**. International Energy Agency: Energy Efficiency Series. 2011. 132 p.

WATERMAN, D. A. **A Guide to Expert Systems**. Addison-Wesley. Publishing Company, 1986.

WATSON, R.; LOCKLEY, S. R.; SHAABAN, S. **Creating Usable Models for Re-Usable Data - Managing Electronic Project Specification Information**. Engineering Construction and Architectural Management. Ed. 9, p. 272–283, 2002. DOI: 10.1108/eb021222.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. **CSA Report 2156668**. Certificação de produto. Jaraguá do Sul, 2016. 4 p.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. **CSA Report 2194017**. Certificação de produto. Jaraguá do Sul, 2017. 4 p.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. **Electric Motors for Explosive Atmospheres**: Instructions Manual for Installation, Operation and Maintenance of Electric Motors. Manual. Jaraguá do Sul, 2017, 29 p.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. **Guide to Explosive Atmospheres**. Manual. Jaraguá do Sul, 2017. 1 p.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. **Manual geral de instalação, operação e manutenção de motores elétricos para atmosferas explosivas**. Manual. Jaraguá do Sul, 2017. 174 p.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. **Motores - aplicações em áreas classificadas**. Catálogo. Jaraguá do Sul, 2016. 20 p.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. **Regulamentações globais de eficiência para motores elétricos de baixa tensão**. Informativo. Jaraguá do Sul, 2017. 12 p.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. **W22 motor elétrico trifásico**: catálogo técnico mercado brasileiro. Jaraguá do Sul, 2017. 52 p.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. **W22Xd - Flameproof Motors**. Catálogo. Jaraguá do Sul, 2013. 188 p.

WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S.A. **WPS - 19959**: procedimento de avaliação de consultas técnicas. Manual de atividades. Jaraguá do Sul, 2017. 7 p.

WIX, J.; NISBET, N.; LIEBICH, T. **Using Constraints to Validate and Check Building Information Models**. eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: European Conference on Product and Process Modelling. Ed. 7, p. 467-475, 2008. ISBN 9781138032804.

WU, X.; KUMAR, V.; Quinlan, J. R.; [et al.]. **Top 10 Algorithms in Data Mining**. Knowledge and Information Systems. Ed. 14. p. 1-37, 2008. DOI 10.1007/s10115-007-0114-2.

YAM, P. **Intelligence Considered**. Scientific American Presents. p. 6-11. 1998.

YANG, Q.; XU, X. **Design Knowledge Modeling and Software Implementation for Building Code Compliance Checking**. Building and Environment. Ed. 39, p. 689-698, 2004.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2003.12.004><<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013230300283X>>.

APÊNDICE A - DEFINIÇÕES RELATIVAS À ATMOSFERA EXPLOSIVA

APÊNDICE A1 - ÁREAS

A área de aplicação de um produto é definida como segura ou classificada. Área segura é aquela na qual não é esperada ocorrência de uma atmosfera explosiva, em quantidades tais que requeiram precauções especiais para a construção, instalação e uso de equipamentos elétricos (IEC 60050 IEV número 426-03-02). Área classificada é aquela na qual uma atmosfera explosiva está presente, ou pode estar presente, em quantidades tais que requerem precauções especiais para projeto, fabricação, instalação, inspeção e manutenção de equipamentos elétricos (IEC 60050 IEV número 426-03-01).

APÊNDICE A2 - ZONAS, CLASSES E DIVISÕES

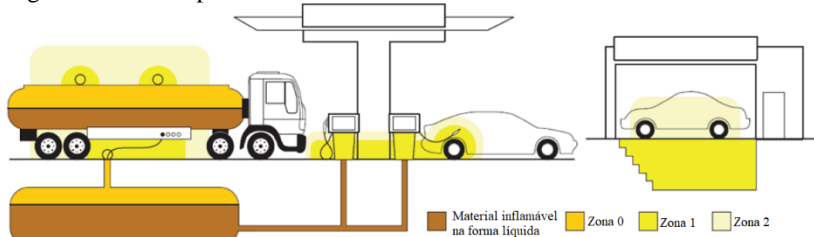
De acordo com normas IEC, áreas classificadas são divididas em zonas, as quais são baseadas na frequência da ocorrência e na duração de uma atmosfera explosiva. De modo análogo, normas NEC apresentam um sistema de classe e divisão para classificação da área. Os termos, comumente difusos, são descritos no Quadro A.1. Em adição, o sistema de zonas em atmosfera explosiva contendo vapores de combustível é exemplificado na Figura A.1.

Quadro A.1 - Zonas, classes e divisões

Símbolo (norma)	Descrição
Zona 0 (IEC) / Classe I Divisão 1 (NEC)	Área na qual uma atmosfera explosiva de gás ou vapor está presente continuamente, por longos períodos ou frequentemente (IEC 60050 IEV número 426-03-03, 2008).
Zona 1 (IEC) / Classe I Divisão 1 (NEC)	Área na qual uma atmosfera explosiva de gás ou vapor pode estar presente eventualmente em condições normais de operação (IEC 60050 IEV número 426-03-04, 2008).
Zona 2 (IEC) / Classe I Divisão 2 (NEC)	Área na qual não se espera que uma atmosfera explosiva de gás ou vapor ocorra em operação normal, porém se ocorrer, permanece somente por um curto período de tempo (IEC 60050 IEV número 426-03-05, 2008).
Zona 20 (IEC) / Classe II Divisão 1 (NEC)	Área na qual uma atmosfera explosiva, na forma de uma nuvem de poeira combustível no ar, está presente continuamente, por longos períodos ou frequentemente (IEC 60050 IEV número 426-03-23, 2008).
Zona 21 (IEC) / Classe II Divisão 1 (NEC)	Área na qual uma atmosfera explosiva, na forma de uma nuvem de poeira combustível no ar, pode estar presente eventualmente em condições normais de operação (IEC 60050 IEV número 426-03-24, 2008).
Zona 22 (IEC) / Classe II Divisão 2 (NEC)	Área na qual na qual não se espera que ocorra uma atmosfera explosiva em operação normal, na forma de uma nuvem de poeira combustível no ar, porém, se ocorrer permanece somente por um curto período de tempo (IEC 60050 IEV número 426-03-25, 2008).

Fonte: IEC 60050 IEV Ref. 426-03-XX (2008)

Figura A.1 - Exemplo de zonas de área classificada



Fonte: Adaptada de Duarte (2017)

APÊNDICE A3 - NÍVEL DE PROTEÇÃO DO EQUIPAMENTO

De modo semelhante aos sistemas de zona, e classe e divisão, o nível de proteção atribuído ao equipamento (*Equipment Protection Level - EPL*) é baseado na probabilidade do equipamento se tornar fonte de ignição. Ademais, a classificação distingue gases, poeiras e atmosfera de minas susceptíveis a grisú. No Quadro A.2 é apresentada a descrição de EPL, detalhados na norma IEC 60079-0, item 3.18 (2017).

Quadro A.2 - Nível de proteção do equipamento

Símbolo	Descrição
Ga	Equipamento para atmosferas explosivas de gás, com nível de proteção “muito alto”, que não seja uma fonte de ignição em condição normal de operação, durante falhas esperadas ou durante falhas raras.
Gb	Equipamento para atmosferas explosivas de gás, com nível de proteção “alto”, que não sejam uma fonte de ignição em condição normal de operação, durante falhas esperadas. Exemplos: motores “Ex d” para grupo II e “Ex e”.
Gc	Equipamento para atmosferas explosivas de gás, com nível de proteção “elevado”, que não seja uma fonte de ignição em condição normal de operação. Exemplo: motores “Ex n”.
Da	Equipamento para atmosferas explosivas de poeira, com nível de proteção “muito alto”, que não seja uma fonte de ignição em condição normal de operação, durante falhas esperadas ou durante falhas raras.
Db	Equipamento para atmosferas explosivas de poeira, com nível de proteção “alto”, que não seja uma fonte de ignição em condição normal de operação, durante falhas esperadas. Exemplos: motores “Ex tb”.
Dc	Equipamento para atmosferas explosivas de poeira, com nível de proteção “elevado”, que não seja uma fonte de ignição em condição normal de operação. Exemplo: motores “Ex tc”.
Ma	Equipamento para instalação em uma mina de carvão sujeita a grisú, com nível de proteção “muito alto”, que não seja uma fonte de ignição em condição normal de operação, durante falhas esperadas ou falhas raras, mesmo quando energizados na presença de um vazamento de gás.
Mb	Equipamento para a instalação em uma mina de carvão sujeita a grisú (gás metano), com nível de proteção “alto”, que não seja uma fonte de ignição em condição normal de operação ou durante falhas esperadas, no período de tempo entre ocorrer um vazamento de gás e o equipamento ser desenergizado. Exemplo: motores “Ex d” para grupo I.

Fonte: IEC 60079-0 (2017)

APÊNDICE A4 - GRUPOS

Os grupos de gases são divididos de acordo com a natureza da atmosfera explosiva para qual é destinado. Grupo I são gases presentes em minas de carvão suscetíveis ao gás grisú (metano), e grupo II são gases presentes em locais não suscetíveis ao gás grisú, sendo estes subdivididos conforme o Quadro A.3.

Quadro A.3 - Grupos de gases

Símbolo (norma)	Descrição
Grupo IIA (IEC) / D (NEC)	Propano, acetona, butano, gás natural, gasolina, álcool etílico, álcool metílico, benzeno, etc.
Grupo IIB (IEC) / C (NEC)	Etileno, ciclopropano, butadieno 1-3, etc.
Grupo IIC (IEC)	Hidrogênio, acetileno, etc.
Grupo B (NEC)	Hidrogênio.
Grupo A (NEC)	Acetileno.

Fonte: Duarte (2017)

Grupos de poeira são subdivididos em de acordo com o Quadro A.4, com exceção das minas suscetíveis ao grisú.

Quadro A.4 - Grupos de poeiras

Símbolo (norma)	Descrição
Grupo IIIA (IEC)	Fibras combustíveis / partículas suspensas combustíveis - partículas sólidas, incluindo fibras, maiores do que 500 µm.
Grupo IIIB (IEC)	Poeiras não condutoras / não condutivas - partículas sólidas de 500 µm ou menores, com resistividade elétrica $\leq 10^3 \Omega.m$.
Símbolo (norma)	Descrição
Grupo IIIC (IEC)	Poeiras condutoras / condutivas - partículas sólidas de 500 µm ou menores, com resistividade elétrica $> 10^3 \Omega.m$.
Grupo E (NEC)	Poeiras metálicas combustíveis, por exemplo: alumínio, magnésio e suas ligas comerciais.
Grupo F (NEC)	Poeiras de carvão com mais de 8 % de ligações voláteis.
Grupo G (NEC)	Outros tipos de poeira.

Fonte: Duarte (2017)

APÊNDICE A5 - TIPO DE PROTEÇÃO

Equipamentos elétricos podem ser classificados de acordo com conjunto de medidas aplicadas para evitar a ignição de uma atmosfera explosiva circundante. Para tal fim, tem-se as definições de tipos de proteção, apresentadas no Quadro A.5.

Quadro A.5 - Tipos de proteção

Símbolo (norma)	Descrição
Ex d	Involúcro à prova de explosão: tipo de proteção no qual as partes que podem causar ignição de uma atmosfera explosiva de gás ou vapor são montadas no interior de um invólucro capaz de resistir à pressão desenvolvida durante uma explosão da mistura explosiva no interior do invólucro e não propagar os gases quentes oriundos desta explosão para a atmosfera explosiva (IEC 60050 IEV número 426-06-01, 2008).
Ex p	Proteção por sobrepressão: tipo de proteção em que um gás de proteção é aplicado a um invólucro para evitar a formação de uma atmosfera de poeira explosiva dentro do invólucro, mantendo uma sobrepressão contra a atmosfera circundante (IEC 60050 IEV número 426-17-01, 2008).
Ex e	Segurança aumentada: tipo de proteção empregada em equipamentos elétricos aos quais medidas adicionais são aplicadas de modo a ampliar a segurança do equipamento em relação à possibilidade de ocorrência de temperaturas excessivas, arcos elétricos e centelhas em serviço normal ou sob condições anormais especificadas (IEC 60050 IEV número 426-08-01, 2008).
Ex n	Não acendível: tipo de proteção aplicada a equipamentos elétricos que, em operação normal e em certas condições anormais especificadas, o equipamento não seja capaz de provocar ignição em uma atmosfera explosiva ao seu redor (IEC 60050 IEV número 426-13-01, 2008).
Ex m	Encapsulamento: tipo de proteção pelo qual partes que são capazes de incendiar uma atmosfera explosiva tanto por faíscas quanto por aquecimento estão contidas em um composto de tal forma que a atmosfera explosiva não possa ser inflamada sob condições operacionais ou de instalação (IEC 60050 IEV número 426-12-01, 2008).
Ex t	Proteção por Invólucro: tipo de proteção para atmosfera explosiva de poeira, onde o invólucro é protegido contra a penetração de poeira e a temperatura superficial máxima é limitada (IEC 60079-31 item 3.1, 2013).

Fonte: IEC 60050 IEV Ref. 426-XX-XX (2008) e IEC 60079-31 (2013)

APÊNDICE A6 - CLASSE DE TEMPERATURA - Tcode

A classe de temperatura (Tcode) é definida pela norma IEC 60050 IEV número 426-01-05 (2008) como um sistema de classificação de aparelhos elétricos, baseado na sua temperatura máxima de superfície, relacionado com a atmosfera explosiva específica para a qual se destina a ser utilizado. Por esse motivo, é necessária a verificação de que o Tcode é inferior à TAI. Destaca-se que, por critério de segurança, a classe de temperatura, a qual tem os valores apresentados na Tabela A.1, deve ser maior ou igual a máxima temperatura superficial do equipamento. Portanto, um motor com temperatura máxima de superfície de 101 °C será classificado como T4 para IEC e T4A para NEMA.

Tabela A.1 - Relação entre máxima temperatura superficial do motor e classe de temperatura

Classe de temperatura		Máxima Temperatura
IEC	NEC	Superficial
T1	T1	450 °C (842 °F)
T2	T2	300 °C (572 °F)
-	T2A	280 °C (536 °F)

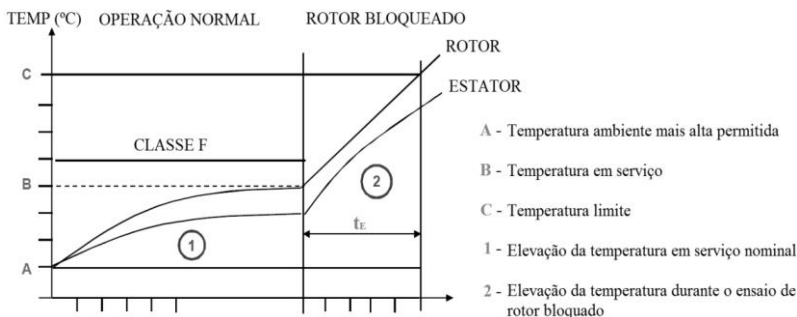
Classe de temperatura		Máxima Temperatura Superficial
IEC	NEC	
-	T2B	260 °C (500 °F)
-	T2C	230 °C (446 °F)
-	T2D	215 °C (419 °F)
T3	T3	200 °C (392 °F)
-	T3A	180 °C (356 °F)
-	T3B	165 °C (329 °F)
-	T3C	160 °C (320 °F)
T4	T4	135 °C (275 °F)
-	T4A	120 °C (248 °F)
-	T5	100 °C (212 °F)
-	T6	85 °C (185 °F)

Fonte: Duarte (2017)

APÊNDICE A7 - GENERALIDADES

O intervalo de tempo entre o bloqueio de um rotor alimentado com corrente alternada, atuando na temperatura de equilíbrio de regime nominal e à temperatura ambiente máxima, e o atingimento da temperatura-limite do estator ou rotor, conforme a Figura A.2 (IEC 60050 IEV número 426-08-03), é definido com tempo t_e .

Figura A.2 - Tempo t_e

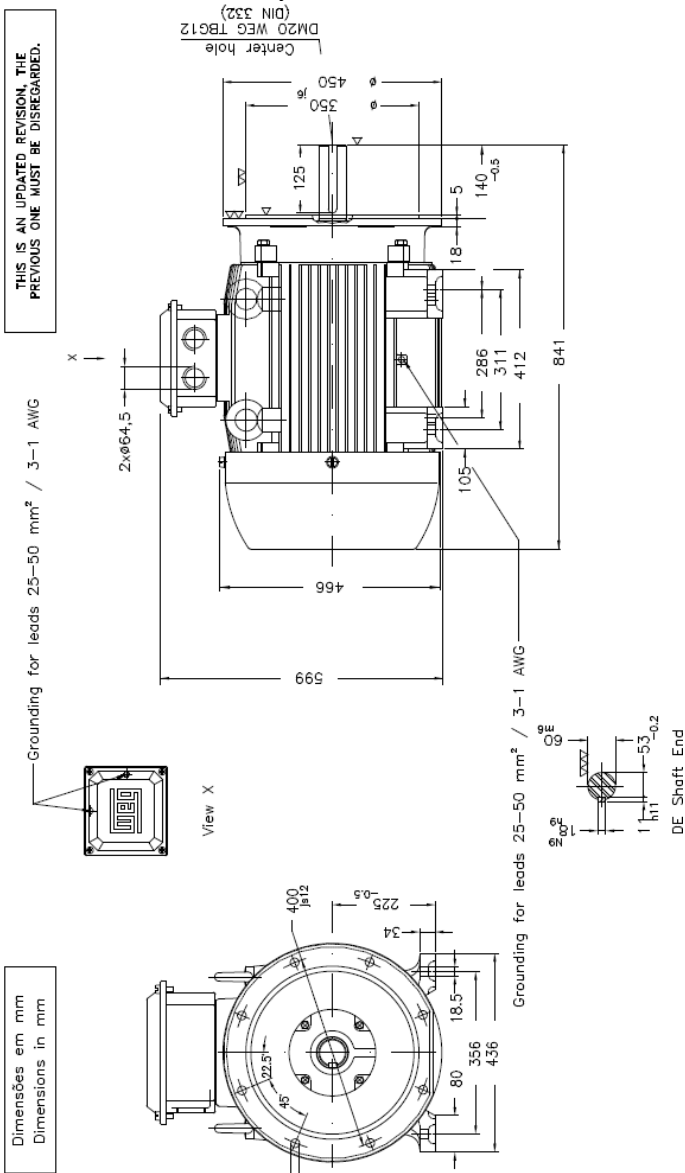


Fonte: Duarte (2017)

O símbolo “X” junto ao número e identificação do produto indica condições especiais de instalação, utilização e manutenção do equipamento, as quais são descritas no certificado (IEC 60050 IEV número 426-04-32).

ANEXO A - DESENHO DE MOTOR ESPECIAL


Figura A.1 - Desenho de motor especial



Fonte: Acervo interno WEG (2018)

ANEXO B - FOLHA DE DADOS

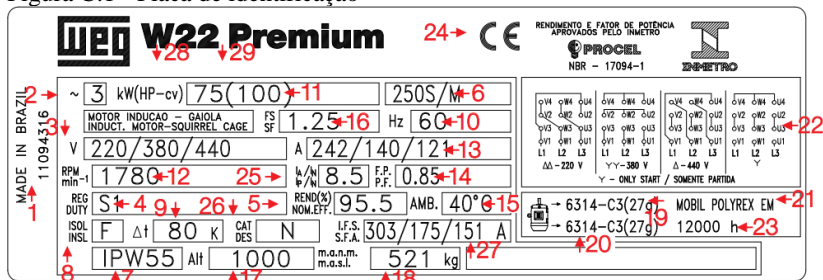
Figura B.1 - Folha de dados

	Stiavelli Irio Srl		No.:		
			Date: 02-FEB-2015		
DATA SHEET					
Three-phase induction motor - Squirrel cage rotor					
Customer	:				
Product line	:	W22 - Cast Iron Frame - Premium Efficiency - IE3			
Frame	:	315S/M			
Output	:	132 kW			
Frequency	:	50 Hz			
Poles	:	4			
Full load speed	:	1490			
Slip	:	0.67 %			
Voltage	:	400/690 V			
Rated current	:	231/134 A			
Locked rotor current	:	1730/1000 A			
Locked rotor current (l/lrn)	:	7.5			
No-load current	:	83.0/48.1 A			
Full load torque	:	846 Nm			
Locked rotor torque	:	230 %			
Breakdown torque	:	270 %			
Design	:	N			
Insulation class	:	F			
Temperature rise	:	80 K			
Locked rotor time	:	30 s (hot)			
Service factor	:	1.00			
Duty cycle	:	S1			
Ambient temperature	:	-20°C - +40°C			
Altitude	:	1000			
Degree of Protection	:	IP55			
Approximate weight	:	1010 kg			
Moment of inertia	:	3.7921 kgm ²			
Noise level	:	71 dB(A)			
	D.E.	N.D.E.	Load	Power factor	Efficiency (%)
Bearings	6319 C3	6316 C3	100%	0.86	95.8
Regreasing interval	11000 h	13000 h	75%	0.82	95.7
Grease amount	45 g	34 g	50%	0.74	95.1
Notes:					
Efficiencies according to the indirect method of IEC 60034-2-1:2007 with stray load losses determined from measurement.					
Performed by			Checked		

Fonte: Acervo interno WEG (2018)

ANEXO C - INFORMAÇÕES DA PLACA DE IDENTIFICAÇÃO

Figura C.1 - Placa de identificação



Fonte: WEG - W22, motor elétrico trifásico: catálogo técnico mercado brasileiro (2017)

Quadro C.1 - Informações da placa de identificação

Nº	Característica	Símbolo
1	Código do motor (material SAP)	
2	Número de fases	~
3	Tensão nominal de operação (V)	V
4	Regime de serviço	REG. / DUTY
5	Rendimento (%)	REND. / NOM. EFF. / EFF.
6	Modelo da carcaça	CARC. / FRAME
7	Grau de proteção	IP
8	Classe de isolamento	ISOL. / INSL. / INS.CL.
9	Elevação de Temperatura (K)	ΔT
10	Frequência (Hz)	Hz
11	Potência (kW / HP / cv)	kW (HP-cv) / kW / HP
12	Rotação nominal por minuto (RPM)	RPM / min-1
13	Corrente nominal de operação (A)	A
14	Fator de potência	F.P / P.F
15	Temperatura ambiente (°C)	AMB.
16	Fator de serviço	F.S. / S.F.
17	Altitude (m.a.n.m. / m.a.s.l.)	ALT.
18	Massa (kg / lb)	kg / lb / WEIGHT
19	Especificação do rolamento dianteiro e quantidade de graxa	
20	Especificação do rolamento traseiro e quantidade de graxa	
21	Tipo de graxa utilizada nos rolamentos	
22	Esquema de ligação	
23	Intervalo de relubrificação do motor (h)	
24	Área Classificada / Tipo de Proteção / Certificação 1)	
25	Relação da corrente de partida/corrente nominal	IA/IN / IP/IN
26	Categoria de conjugado	CAT. / DES.
27	Corrente no fator de serviço (A)	I.F.S. / S.F.A.
28	Data de Fabricação	
29	Número de Série	

Fonte: WEG - W22, motor elétrico trifásico: catálogo técnico mercado brasileiro (2017)

