



CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA

FABRICIO BALBINOT

**RELÉ INTELIGENTE PARA PISCA DIRECIONAL E PISCA ALERTA
APLICADO EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS COM LANTERNAS LED**

Caxias do Sul

2021

FABRICIO BALBINOT

**RELÉ INTELIGENTE PARA PISCA DIRECIONAL E PISCA ALERTA
APLICADO EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS COM LANTERNAS LED**

Trabalho apresentado para o Curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário Uniftec como parte dos requisitos para avaliação da unidade curricular de Estágio.

Orientador: Prof. Rodrigo Brandt

Caxias do Sul

2021

FABRICIO BALBINOT

**RELÉ INTELIGENTE PARA PISCA DIRECIONAL E PISCA ALERTA
APLICADO EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS COM LANTERNAS LED**

Trabalho apresentado para o Curso de Engenharia Elétrica, do Centro Universitário Uniftec como parte dos requisitos para avaliação da unidade curricular de Estágio.

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Professor Orientador: Esp. ou Me ou Dr. Xxxx XXI

Professor Avaliador: Esp. ou Me ou Dr. Xxxx XXI

Professor Avaliador: Esp. ou Me ou Dr. Xxxx XXI

**Caxias do Sul
2021**

RELÉ INTELIGENTE PARA PISCA DIRECIONAL E PISCA ALERTA APLICADO EM VEÍCULOS AUTOMOTIVOS COM LANTERNAS LED

Fabricao Balbinot

Autor

fabricao94.balbinot2@gmail.com

Prof. Rodrigo Brandt

Orientador

rodrigobrandt@gmail.com.br

Resumo: O controle de lanternas de pisca direcional e pisca de advertência para sinalizas LED é uma tarefa que demanda precisão para a obtenção de resultados aceitáveis, desta forma o presente relatório descreve o desenvolvimento de um relé de pisca direcional e de advertência inteligente para lanternas de LED. Todas as partes de projeto do sistema embarcado serão abordadas, desde o estudo das curvas de carga das lanternas LED, desenvolvimento do circuito, desenvolvimento do firmware, toda a lógica de calibração em linha produtiva, além da lógica de calibração para a montadora. O intuito do projeto é trazer benefícios frente aos relés que já existem no mercado. Para anteder a esta premissa o relé foi pensado para ser configurável e parametrizável, tanto em linha de produção do fabricante quanto em linha de produção de montadoras de veículos. Durante o desenvolvimento são abordadas metodologias de projeto para todas as principais partes que compõem um circuito eletrônico, também são explicados os desafios e dificuldades encontradas, visto que além do funcional devemos atender o orçamento pré-determinado. Ao final do projeto vimos que as expectativas iniciais foram atendidas funcionando como o esperado, podendo assim avançar para as etapas finais de certificação do produto realizadas em laboratório dedicado para ensaios de produtos eletrônicos automotivos, ocorrendo testes, elétricos, climáticos, eletromagnéticos e mecânicos.

Palavras-chave: Sistemas Embarcados. Relé. Lanternas. LED. Controle.

INTELLIGENT RELAY FOR DIRECTIONAL FLASHING AND FLASHING ALERT APPLIED IN AUTOMOTIVE VEHICLES WITH LED SIGNALS

Fabricio Balbinot

Author

fabricao94.balbinot2@gmail.com

Rodrigo Brandt

Teacher Advisor

rodrigobrandt@gmail.com.br

Abstract: The control of directional flashing and warning flashlights for LED lights is a task that requires precision to obtain acceptable results, this report describes the development an intelligent relay for directional and warning flashing for LED flashlights. All parts of the embedded system design will be covered, from the study of LED flashlight load curves, circuit development, firmware development and all the calibration logic in the production line, in addition to the calibration logic for the assembler. The purpose of the project is to bring benefits compared to what already exists on the market. To meet this premise, the relay was designed to be configurable and parameterizable both in the production line of the relay manufacturer and in the production line of assembler's vehicles. During development, design methodologies are discussed for all the main parts that make up an electronic circuit, the challenges and difficulties encountered are also explained, since in addition to being functional, we must meet the predetermined budget. At the end of the project, we saw that the initial expectations were met, working as expected, thus being able to advance to the final stages of product certification carried out in an appropriate testing laboratory, where electrical, climatic, electromagnetic and mechanical tests will take place.

Keywords: Embedded Systems, Relay. Flashlight. LED. Control.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Topologia básica de fonte linear.	15
Figura 2 - Topologia básica de um conversor Buck.	16
Figura 3 - Formas de onda de pulsos de tensão e sua amplitude.	17
Figura 4 - Exemplo de ligação de proteção em um sistema eletrônico.	17
Figura 5 - Filtro com capacitor especial.	18
Figura 6 - Filtro tipo T em um circuito de teste.	19
Figura 7: Topologia de um MCU.	20
Figura 8 - Tempo de retenção da memória.	20
Figura 9: União dos manuais da AIAG e VDA.	21
Figura 10 - Ligação do sistema de luzes de sinalização.	27
Figura 11 - Topologia do hardware do relé.	28
Figura 12 - Simulação 3D de PCI.	30
Figura 13 - Fluxograma inicial.	33
Figura 14 - Rotina de calibração.	34
Figura 15 - Fluxo de configuração.	35
Figura 16 - Rotina operacional.	37
Figura 17 - Protótipo finalizado.	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de carga de um trio de lanternas.....	12
Gráfico 2 - Atenuação da frequência em função da capacitância.	18
Gráfico 3 - Curva de carga lanternas 24Vdc.	26
Gráfico 4 - Curva de carga lanternas 12Vdc.	26
Gráfico 5 - Curva de carga de lanternas reais de um veículo.....	31
Gráfico 6 - Limite de análise fixo.	32
Gráfico 7 - Limite de análise variável conforme curva de carga.	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIAG	Automotive International Action Group
APQP	Advance Product Quality Planning
CI	Circuito Integrado
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
ECU	Electronic Control Unit
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EMC	Electromagnetic compatibility
EMI	Electromagnetic interference
ESD	Electrostatic Discharge
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
GND	Graduated Neutral Density filter
IATF	International Automotive Task
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
LED	Light Emitting Diode
MCU	Microcontrolador
PCI	Placa de Circuito Impresso
PN	Part Number
PPAP	Production Part Approval Process
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory
ROM	Read Only Memory
VDC	Voltage ata Direct Current
VDA	Verband der Automobilindustrie

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	11
2.1 OBJETIVOS GERAIS	11
2.2 JUSTIFICATIVA	11
3 LEGISLAÇÃO	13
3.1 CONTRAN	13
3.1 RESOLUÇÃO Nº 667, DE 18 DE MAIO DE 2017 - Anexo 1	13
4 HARDWARE E SOFTWARE DE SISTEMAS EMBARCADOS	14
4.2 CIRCUITOS ELETRÔNICOS	14
4.2.1 Fonte	14
4.2.2 Proteções	16
4.2.3 Processamento	19
5 FMEA DE PROJETO	21
6 METODOLOGIA	22
6.1 SOLICITAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO	22
6.2 PROPOSTA EXECUTIVA	23
6.3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	23
6.4 DESENVOLVIMENTO DA PCI E MONTAGEM DE PROTÓTIPOS	23
6.5 DESENVOLVIMENTO DE FIRMWARE	24
6.6 TESTES DE HOMOLOGAÇÃO EM LABORATÓRIO	24
6.7 ENVIO DE PROTÓTIPOS AO CLIENTE	24
6.8 MONTAGEM EM LINHA DE PRODUÇÃO	25
7 DESENVOLVIMENTO DO PROEJTO	25
7.1 ESTUDO DAS LANTERNAS E SISTEMA DE PISCA	25
7.2 PROJETO DO HARDWARE	27
7.3 REVISÃO DO CIRCUITO E REUNIÃO DE DFEMA	29
7.4 DESENVOLVIMENTO E MONTAGEM DA PCI	29
7.4 DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE	30
7.4.1 Análise inicial de lógica de controle e configuração	30
7.4.2 Visão geral das lógicas	33
7.4.3 Lógica de calibração	34
7.4.4 Lógica de configuração	34
7.4.5 Lógica operacional	36
7.5 TESTES DE LABORATÓRIO	38
7.6 APROVAÇÃO	38
8 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O estágio será realizado na empresa LOHR Sistemas Eletrônicos Ltd. fundada em 1992 na cidade de Caxias do Sul. Sua atuação iniciou no mercado de automação industrial, porém em 1995 passou a se dedicar apenas a desenvolver e fabricar soluções eletrônicas para sistemas embarcados. Hoje a empresa é referência nacional no desenvolvimento de sistemas embarcados, como ECUs, displays de visualização, relés e sensores para os segmentos agrícola, rodoviário, de construção e mineração. (LOHR SISTEMAS ELETRONICOS)

Sistemas automotivos são sinônimos de qualidade, confiabilidade e segurança sendo estes motivos para que montadoras exijam de seus fornecedores a certificação IATF, assim elas possuem garantia de que o desenvolvimento dos projetos sejam bem definidos e garantam o sucesso final, o desenvolvimento do estágio seguirá diretrizes de desenvolvimentos regidas pela IATF.

Cada vez mais a tecnologia LED é empregada em sistemas automotivos, seja para iluminação, indicadores de painel, delimitadoras externas, sistema de pisca direcional, pisca alerta, entre outros. Veículos de pequeno porte costumam utilizar um conjunto de seis lanternas LED divididas em dois subconjuntos de três, um subconjunto para o lado esquerdo e outro para o lado direito, cada subconjunto é composto por uma sinaleira frontal, uma lateral e uma traseira, responsáveis por sinalizar ações do condutor. Estas lanternas por sua vez são controladas através relés dedicados, ou até mesmo de ECUs, dependendo de qual sistema embarcado o veículo utiliza. Devido a grande quantidade de fabricantes e diferentes modelos de lanternas de LED, cada conjunto de lanternas necessita de um controlador específico.

Devido a demanda de mercado de um controlador inteligente para lanternas do tipo LED, o projeto de estágio se baseará no desenvolvimento de um relé inteligente para controle de lanternas de pisca direcional e pisca alerta visando a facilidade e agilidade de calibração em linha de produção e pensando em possibilitar que a montadora possa configurar este relé diretamente no veículo se necessário independente de qual o conjunto de lanternas está utilizando.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O trabalho de estágio tem como objetivo projetar um relé de pisca direcional e pisca alerta para veículos automotivos que utilizam lanternas do tipo LED seguindo as diretrizes de projeto conforme APQP e IATF, proporcionado as montadoras dos veículos atenderem a resolução nº 667, de 18 de maio de 2017 do CONTRAN no que diz respeito a luzes de indicação de pisca direcional e pisca alerta.

2.1.1 Objetivos específicos

- a) Projetar Hardware que atenda total ou integralmente as normativas de testes automotivos.
- b) Projetar lógica de controle que atenda a RESOLUÇÃO Nº 667, DE 18 DE MAIO DE 2017 do CONTRAN;
- c) Projetar firmware que possibilite a parametrização em linha de produção;
- d) Projetar firmware com lógica para que a montadora possa apagar a configuração de fábrica e reconfigurar o relé em linha de montagem;
- e) Aplicar a ferramenta de FMEA;

2.2 JUSTIFICATIVA

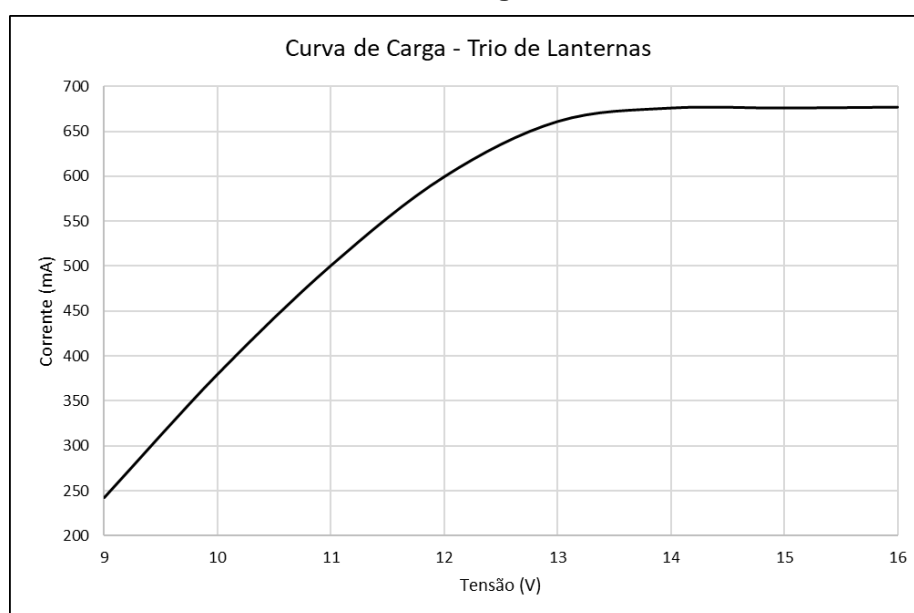
Lanternas do tipo LED possuem baixo consumo se comparadas com lâmpadas incandescentes, muito utilizadas até pouco tempo atrás, um controlador simples consegue fazer o processo de pisca destas lanternas, porém identificar a perda de uma lanterna, seja por desconexão, ou por queima, se torna uma tarefa difícil já que é necessário identificar pequenas perdas de corrente para indicar ao condutor do veículo que algo está errado com os sistemas de sinalização. Por este motivo cada conjunto de lanternas LED necessita um relé específico para controle. A curva de carga que o relé interpreta deve ser bem definida e a mais fiel possível da curva de carga real das lanternas. Além da leitura de pequenas correntes a tensão de funcionamento também influencia e altera a curva de carga das lanternas.

A faixa de operação utilizada como referência para sistemas 12Vdc é de 9Vdc

a 16Vdc já para a tensão 24Vdc, a faixa operacional é de 18Vdc a 32Vdc. (ISO 16750-2:2012)

O Gráfico 1 mostra a curva de carga medida em bancada de um subconjunto de lanternas composto por uma sinaleira frontal, uma lateral e uma traseira, como é possível observar há grande variação de corrente considerando os pontos iniciais e finais de tensão.

Gráfico 1 - Curva de carga de um trio de lanternas.



Fonte: o autor.

Sempre que uma sinaleira do conjunto for substituída por outra com uma curva de carga diferente há um risco grande de o relé não operar corretamente, indicando falso positivo, ou falso negativo em tensões específicas, ou até mesmo em toda a faixa funcional. Nos últimos 3 anos houve a necessidade de realizar 4 ajustes em um relé fornecido para uma montadora, devido a mudança da curva de carga das lanternas, que muitas vezes nem sabia da alteração de suas lanternas, mas pelo fato de alterar o tipo e modelo de LEDs a curva de carga era modificada e o relé apresentava instabilidade em seu funcionamento.

O processo para ajuste consistia em solicitar o conjunto de lanternas à montadora, em seguida, levantar a curva de carga das lanternas com a ajuda de uma fonte variável. O levantamento da curva era realizado através do depurador do microcontrolador embarcado no relé, assim, além de levantarmos a curva de corrente

em função da tensão também era levantada a curva de carga da resposta analógica do MCU em função da tensão, pois são os valores correspondentes analógicos que o microcontrolador interpretava e utilizava no equacionamento. Todo este processo demanda horas da engenharia, além de horas de testes para garantir que tudo estaria funcional. Pensando em melhorar este processo, surgiu a necessidade de um relé inteligente, uma solução prática que trará rapidez em novas aplicações e ajustes das já existentes, além de possibilitar ao cliente a utilização de um mesmo relé para diferentes conjuntos de lanternas LED.

3 LEGISLAÇÃO

3.1 CONTRAN

O Código Nacional de Trânsito, CONTRAN, é um órgão governamental que rege normativas para veículos de rodagem. Dentro dele há uma série de resoluções que obrigam as montadoras aplicarem nos veículos o que é estipulado. A Resolução 667 de 18 de maio de 2017 determina as condições técnicas para todo o sistema de iluminação em veículos que circulam no Brasil, ela entrou em vigor no momento de sua publicação, substituiu integralmente a antiga resolução 227 de 9 de fevereiro de 2007 e passou a ter efeito prático a partir de 1 de janeiro de 2021. Todos os veículos deverão se enquadrar integralmente na normativa, inclusive os sistemas de lanternas de pisca. (CONTRAN - RESOLUÇÃO N 667, DE 18 DE MAIO DE 2017).

3.1 RESOLUÇÃO Nº 667, DE 18 DE MAIO DE 2017 - Anexo 1

O pisca direcional é utilizado para indicar aos outros condutores para qual direção o condutor pretende ir, direita ou esquerda, sempre acionando a metade do conjunto de lanternas de sinalização, além disso as mesmas lanternas são utilizadas no pisca de advertência conhecido popularmente como pisca alerta, este por sua vez aciona todo o conjunto simultaneamente.

Em condições normais e sem falhas a frequência dos piscas direcional e alerta deve ser de 90 lampejos por minuto com uma tolerância de ± 30 lampejos por minuto, quando ocorrer a perda de uma sinaleira durante o acionamento do pisca direcional o condutor deve ser alertado através de indicação sonora, ou visual. Para o segundo

modo de indicação o veículo deve possuir uma luz intermitente no painel, que na eventualidade de mau funcionamento deve ser extinta, ou permanecer sempre acesa, ou ainda mostrar uma alteração notável na frequência dos lampejos. (CONTRAN - RESOLUÇÃO N 667, DE 18 DE MAIO DE 2017, Anexo 1)

4 HARDWARE E SOFTWARE DE SISTEMAS EMBARCADOS

Um sistema embarcado pode ser definido como uma unidade que possui capacidade processamento, por meio de um software denominado firmware, que está inserido dentro da unidade de processamento. Este é responsável por armazenar informações, ler entradas, processar a informação e gerar saídas. (OLIVEIRA, 2010, ANDRADE, 2010)

4.2 CIRCUITOS ELETRÔNICOS

O Hardware de um sistema embarcado é composto por componentes eletrônicos denominados de circuitos integrados, possuem os mais variados tipos de formatos e dimensões, podendo conter milhões de transistores interligados entre si em seu interior. De forma simplificada unindo os circuitos integrados a uma memória e uma unidade de processamento teremos um microcontrolador. (OLIVEIRA, 2010, ANDRADE, 2010)

A seguir são abordados tópicos referentes ao hardware de um sistema embarcado.

4.2.1 Fonte

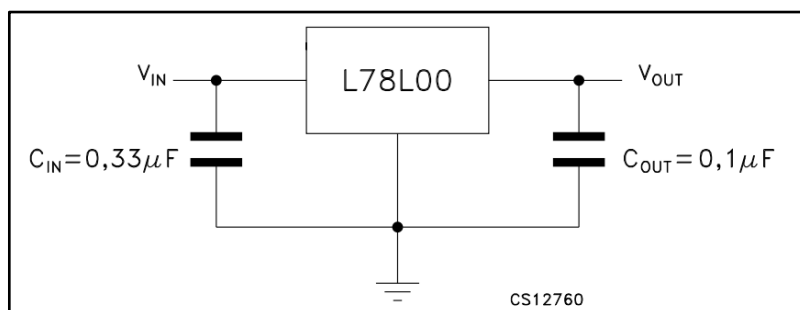
Em um sistema de um automóvel existem dois fornecedores de energia elétrica, sendo um o acumulador(bateria) e um conversor(alternador). O acumulador force energia para a partida do veículo, após a partida o alternador converte parte da energia mecânica da rotação do motor em energia elétrica carregando a bateria, além de alimentar as cargas consumidoras do veículo. (BOSCH, 205, p. 960)

Todo sistema embarcado precisa estar alimentado com uma tensão em nível compatível para que possa operar e processar os dados, contudo nenhuma dois fornecedores de energia do automóvel são compatíveis.

Para compatibilizar o nível de tensão do veículo com o nível de tensão utilizado pela eletrônica embarcada é necessário um conversor de nível de tensão, a fonte, esta tem a função de rebaixar a tensão de entrada para níveis aceitáveis para o sistema embarcado.

Conforme datasheet do fabricante, ST- L78L series DS0424, as fontes lineares são reguladoras de tensão formadas principalmente pela integração entre diodos zener e resistores, além de utilizar transistores e diodos comuns. Estas fontes fornecem uma tensão de saída de baixo ruído e requerem poucos componentes externos ao CI, apenas dois capacitores para filtro. A Figura 1 mostra a topologia básica para uma fonte linear da série L78L, os últimos dois dígitos do PN representados por 00 na figura representam a tensão de saída, portanto esta família de chips pode possuir uma tensão de saída de 3.3, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18 ou 24Vdc de acordo com o final do PN. Pontos como tensão máxima de entrada e potência dissipada devem ser avaliados com cautela, para o correto dimensionamento do circuito.

Figura 1 - Topologia básica de fonte linear.



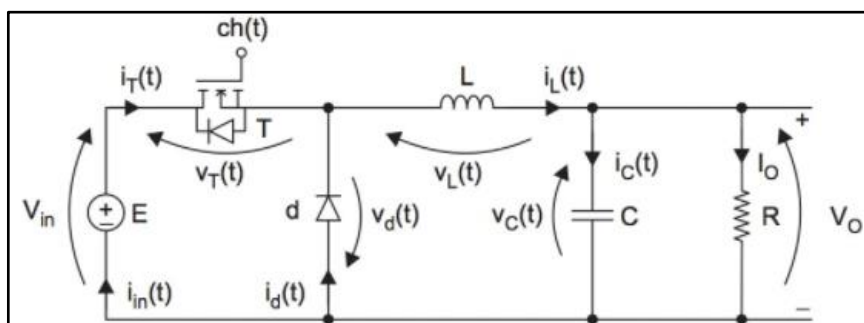
Fonte: Datasheet L78L series DS0424.

Além das fontes lineares também é muito comum a utilização de fontes chaveadas no hardware de sistemas embarcados. Como o próprio nome já diz o princípio básico de funcionamento é o chaveamento. É necessário um circuito de controle para a chave, ele tem o propósito de regular o tempo em que a chave fica fechada e aberta, além de controlar a frequência de chaveamento. Esta chave pode ser um transistor, ou um circuito integrado dedicado, além da chave outros dois componentes são muito importantes para fontes chaveadas assíncronas, que são um indutor e um diodo. Existem inúmeras configurações de fontes chaveadas como por exemplo, Boost, Buck, Buck-Boost, CUK, SEPIC e ZETA, ambas utilizam

chaveamento como princípio básico de funcionamento. (Mello, 2011, p.17)

Para aplicações que necessitem apenas de rebaixamento de tensão pode-se empregar a topologia Buck. Controlando a frequência de chaveamento, ou o duty cycle através de um controlador, pode-se ajustar a saída para a tensão desejada. Para o correto funcionamento de uma fonte chaveada é necessário dimensionar adequadamente os componentes do circuito, sendo os de maior importância, o indutor e o diodo. A Figura 2 mostra a topologia básica de um conversor buck. (Arrabaça, 2013, p.55)

Figura 2 - Topologia básica de um conversor Buck.



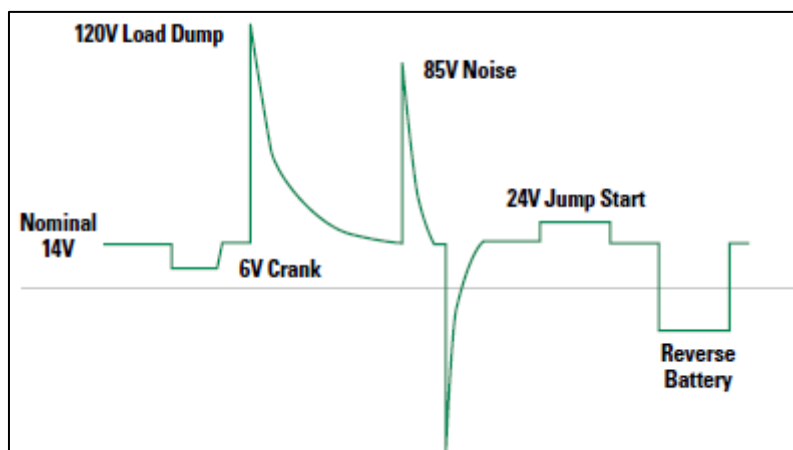
Fonte: Arrabaça, 2013.

Para o correto dimensionamento de fontes chaveadas, uma literatura técnica deve ser consultada, pois são muitas as grandezas que necessitam ser controladas, além do layout das PCBs ser um ponto crítico para o funcionamento adequado da fonte.

4.2.2 Proteções

Conforme menciona a Application Note da Littelfuse um dos desafios dos engenheiros de produtos eletrônicos é a criação de métodos e circuitos para proteção contra transientes de ESD, chaveamento de cargas indutivas, desconexões de circuitos de potência, entre outros geradores de transientes elétricas que podem ocorrer com frequência em sistemas alimentados por bateria e alternador. A Figura 3 mostra a forma de onda de alguns tipos de surtos de tensão que podem ocorrer em um sistema automotivo, em momento de partida, de desconexão do GND da bateria, chaveamento de cargas indutivas, como motores DC e inversão de polaridade.

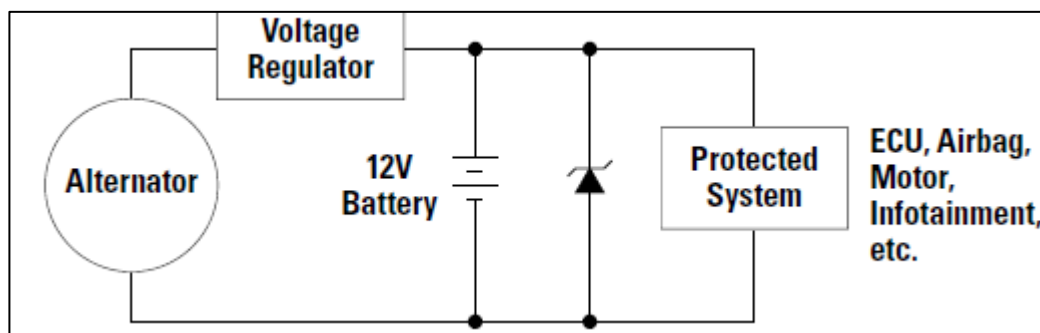
Figura 3 - Formas de onda de pulsos de tensão e sua amplitude.



Fonte: Littelfuse Application, 2020.

A proteção comumente faz parte do primeiro estágio de todo circuito eletrônico como mostra a Figura 4. Neste exemplo utiliza-se um diodo supressor para proteção contra surtos de tensão, ele conduz a energia excedente da entrada para GND suportando altas descargas de energia por um tempo na ordem de milissegundos dependendo da potência do componente.

Figura 4 - Exemplo de ligação de proteção em um sistema eletrônico.



Fonte: Littelfuse Application, 2020

A metodologia do diodo supressor utiliza apenas com um componente eletrônico, contudo existem outras topologias. Para escolher a proteção correta é preciso levar em consideração topologias atrativas economicamente e circuitos que caibam no espaço disponível em PCI, mas que da mesma forma atendam a especificação inicial de proteção independente de qual topologia circuito for utilizado.

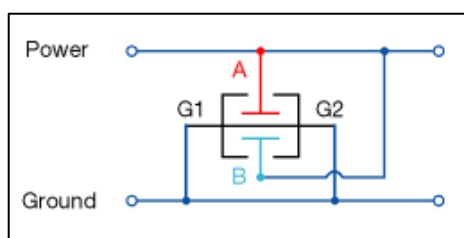
Outro tipo de ruído que um circuito eletrônico automotivo necessita proteção é interferência eletromagnética, EMI, este tipo de interferência é gerado pela indução nos em chicotes elétricos que passam próximos a fontes geradores de campo

magnético, como motores e solenoides.

Existem inúmeras metodologias para proteção contra EMI, como por exemplo a utilização de indutores chokes, capacitores, varistores, resistores em série, entre outros componentes que não são muito comuns em sistemas embarcados, como supressores de gás. Atualmente existem circuitos integrados específicos para este tipo de proteção, possuindo um arranjo LC, ou até mesmo RLC integrados em um único chip. Os filtros para proteção contra EMI devem ser posicionados o mais próximo possível da entrada de tensão na fonte do circuito e distantes de circuitos sensíveis conforme artigo 1167 da Maxim Integrated sugere.

A Figura 5 mostra uma topologia de circuito que aplica capacitores especiais, não evasivos, comumente utilizados para proteção e filtros, seja de fontes ou circuitos de entradas em módulos eletrônicos.

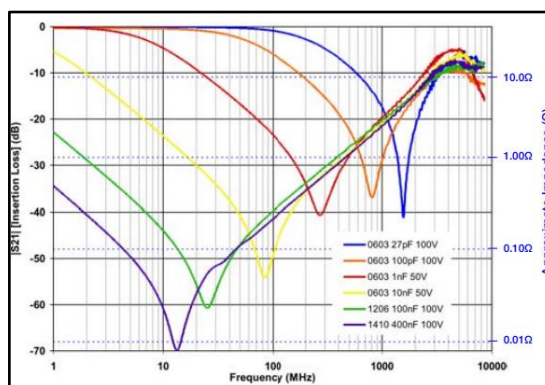
Figura 5 - Filtro com capacitor especial.



Fonte: JOHANSON.

Como pode-se ver na Figura 5 o componente é ligado paralelamente às linhas de alimentação. Cada PN filtra faixas de frequência específicas como o Gráfico 2 mostra, cabe aos projetistas avaliarem qual frequência, ou frequências necessitam ser filtradas para garantir o funcionamento correto do sistema.

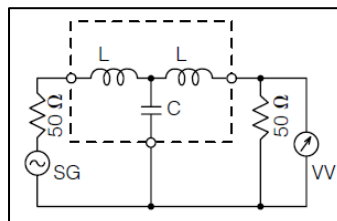
Gráfico 2 - Atenuação da frequência em função da capacitância.



Fonte: JOHANSON X2Y® FILTER & DECOUPLING CAPACITORS

Na Figura 6 é mostrado o esquema elétrico de um filtro do tipo T também muito utilizado em proteções contra EMI. A grande diferença deste CI em relação ao apresentado anteriormente é que ele é evasivo, ou seja, se ele for retirado do circuito ele interromperá o caminho da tensão até a entrada da fonte. A seguir é possível ver o componente representado pelas linhas tracejadas submetido a um setup de teste.

Figura 6 - Filtro tipo T em um circuito de teste.



Fonte: Panasonic.

Além dos circuitos de proteção contra surtos de tensão e contra EMI, deve-se prever um circuito de proteção contra inversão de polaridade da bateria de forma a atender os testes conforme a ISO 16750-2: 2012 determina. Esta proteção pode ser realizada utilizando diodos retificadores, tipo schottky, ou circuitos para aplicações de potência como utilização de mosfets. É muito comum a utilização de um diodo na entrada do circuito eletrônico para prevenir danos ao circuito caso ocorra a inversão de polaridade da alimentação, mas também existem topologias que utilizam um diodo na saída do circuito a GND.

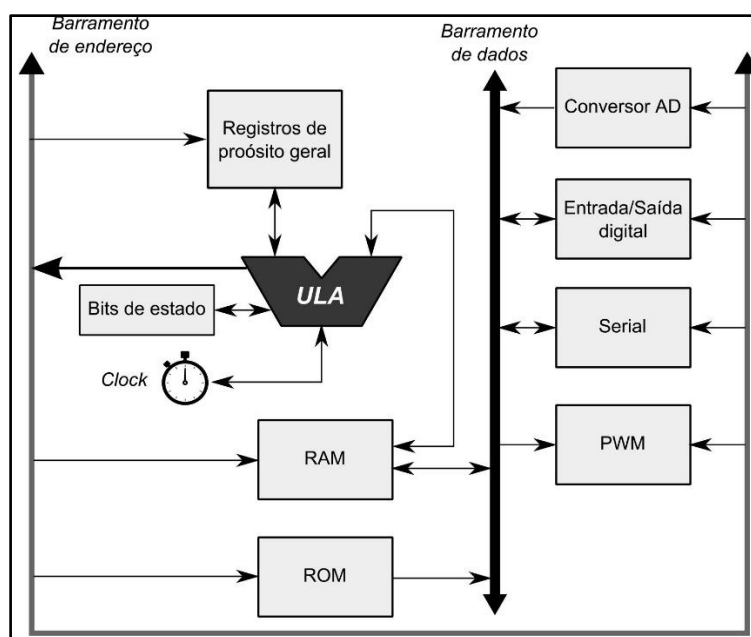
4.2.3 Processamento

O processamento das informações em sistemas embarcados pode ser realizado utilizando um microcontrolador.

Os microcontroladores foram desenvolvidos para que cada circuito não necessite de chips específicos de controle, assim os microcontroladores podem ser programados de acordo com a necessidade de cada aplicação. No início da era dos microcontroladores ele possui apenas a unidade de processamento, sendo necessário a utilização de periféricos externos como memórias ROM, RAM e registradores de deslocamento, por este motivo as PCs se tornavam complexa, a partir de então as empresas passaram a produzir chips com periféricos integrados à unidade de processamento em um único chip. (ALMEIDA, 2016)

Conforme pode-se na Figura 7 um MCU possui periféricos temporizadores, de comunicação serial, de conversores analógicos, de módulos PWM, de memória RAM, de memória ROM, além de conexões externas para leitura de sinais e acionamento de atuadores.

Figura 7: Topologia de um MCU.



Fonte: ALMEIDA.

É dentro das memórias que toda a lógica de programação é armazenada e executada. Os MCUs possuem capacidade de manter sua memória integral por períodos superiores a 20 anos se todas as especificações do datasheet forem seguidas, no caso da família de MCUs PIC16F152 este tempo é de 40 anos conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 - Tempo de retenção da memória.

MEM32	TP_RET	Characteristic Retention	—	40	—	Year	Provided no other specifications are violated
-------	--------	--------------------------	---	----	---	------	---

Fonte: datasheet PIC16F152

Os MCUs são ideais para controle de sistemas embarcados, visto a grande quantidade de funcionalidades que ele dispõe, além de não necessitar de periféricos externos, já que todos eles estão integrados em um único CI.

5 FMEA DE PROJETO

Os FMEAs são tão importantes no âmbito automotivo que existe um manual criado especificamente para este tipo de análise. As instituições AIAG e VDA são associações independentes as quais possuíam manuais de análise de falhas próprios, mas em comum acordo criam um único manual, criando uma metodologia completa para análise dos efeitos dos modos de falhas em 7 passo.

Figura 9: União dos manuais da AIAG e VDA.



Fonte: LOHR.

Os sete passos para a realização de um FMEA conforme manual estão listados a seguir.

- a) Planejamento e Preparação
- b) Análise da Estrutura
- c) Análise da Função
- d) Análise da Falha
- e) Análise de Risco
- f) Otimização
- g) Documentação dos Resultados

Análise de DFMEA resume-se a análise de FMEA voltada para projeto, não analisa falhas do processo produtivo, mas apenas falhas que podem ocorrer durante a execução do projeto, é por este motivo que a análise deve ser realizada ao início do

projeto, visando mitigar quaisquer tipos de falhas que possam ocorrer. A análise não é algo trivial e é imprescindível ser realizada por uma equipe multidisciplinar a fim de se obter uma visão global do projeto.

Outros segmentos se espelham nos FMEAs realizado na indústria automotiva, pois ela é tratada como um exemplo de planejamento.

6 METODOLOGIA

A empresa possui etapas de desenvolvimento bem definidas, garantindo a excelência no desenvolvimento de projetos conforme IATF determina. Abaixo são mostradas e explicadas algumas das principais etapas de desenvolvimento do projeto do relé de pisca para lanternas LED. Dentro de cada etapa existem inúmeras atividades e documentos que devem ser executadas e preenchidos tudo descrito e documentado em instruções operacionais e manuais. Esta metodologia foi aplicada durante o projeto do estágio.

- a) Solicitação de desenvolvimento
- b) Proposta executiva
- c) Desenvolvimento do protótipo
- d) Desenvolvimento da PCI e montagem de protótipos
- e) Desenvolvimento do firmware
- f) Testes de homologação em laboratório
- g) Envio de protótipos ao cliente
- h) Produção

6.1 SOLICITAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO

Nesta etapa a engenharia recebe a solicitação formalizada vinda do setor de vendas, analisa-se se são necessárias mais informações para propor uma solução. De posse das informações recebidas do cliente, denominadas dados de entrada faz-se a análise crítica de cada informação. Também são revisados testes de outros projetos e normas. Tudo que possa impactar no desenvolvimento do projeto deve ser avaliado nesta etapa.

6.2 PROPOSTA EXECUTIVA

Após a análise de todas as informações é gerada uma proposta de execução do projeto, nesta etapa são definidos prazos de desenvolvimento, recursos necessários, stakeholders, riscos envolvidos. Após a emissão da proposta executiva, ela é avaliada pela gerência e direção da empresa, podendo ser aprovada ou reprovada. Caso aprovada as novas etapas são desenvolvidas e se não aprovada todas as análises e documentações são arquivadas para consulta futura. Juntamente com a proposta envia-se a estrutura preliminar do projeto, para que a primeira cotação possa ser realizada.

6.3 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Esta etapa é iniciada pelas reuniões de DFMEA, onde são levantados todos os potenciais riscos de falha relacionadas ao projeto, após estas reuniões ocorre a revisão do circuito eletrônico do projeto, realizando ajustes se necessário. Após todos os riscos serem levantados e o circuito ser revisado, a estrutura do projeto é reenviada para cotação caso haja alterações no produto, seja na parte eletrônica, ou mecânica.

Ao final desta etapa o circuito do produto está bem definido e pronto para ser transferido para uma PCI.

6.4 DESENVOLVIMENTO DA PCI E MONTAGEM DE PROTÓTIPOS

Nesta etapa o esquemático do circuito do protótipo é desenhado na PCI, pelo setor responsável dentro da engenharia. Após realizar todas as ligações na PCI de acordo como o esquemático, são solicitadas amostras de placas ao fabricante de PCIs. Todo o processo utiliza softwares de alta tecnologia, acelerando e mitigando falhas no desenvolvimento. Após o desenvolvimento da PCI solicita-se a compra das primeiras unidades de placas.

Quando as PCIs chegam na empresa, inicia-se o processo de montagem automatizada, as máquinas pick-and-place montam todos os componentes programados previamente em software de controle pelo projetista. Após as placas serem montadas, já é possível realizar os primeiros testes de integração do firmware com o hardware se este já estiver pronto.

6.5 DESENVOLVIMENTO DE FIRMWARE

O desenvolvimento de firmware pode iniciar logo após a liberação de compras de placas descrita anteriormente, como as placas demoram no mínimo 10 dias para chegarem a empresa, o firmware começa a ser escrito, assim quando as placas chegarem e forem montadas já é possível realizar os primeiros testes e ajustes. Existe um manual criado pela empresa específico para esta etapa, descrevendo as boas práticas de programação.

6.6 TESTES DE HOMOLOGAÇÃO EM LABORATÓRIO

Após o firmware ser integrado com o hardware e os testes iniciais em bancada serem executados o produto é enviado ao laboratório interno para testes de homologação.

Os equipamentos simulam surtos e ruídos de tensão e corrente comuns em automóveis, além de submeter o produto a altas temperaturas, atestando a qualidade do produto e eliminando problemas no usuário final. Quando algo de errado é encontrado durante os testes é necessário revisar o projeto, eliminar a falha e testar novamente o produto.

Ao final dos testes protótipos podem ser enviados ao cliente.

6.7 ENVIO DE PROTÓTIPOS AO CLIENTE

É nesta etapa que as primeiras peças são enviadas ao cliente para que ele realize os testes na aplicação final. O cliente pode aprovar integralmente o produto, ou parcialmente, solicitando alteração de algum ponto, neste caso é necessário um novo envio com os protótipos atualizados.

Todo o processo deve ser registrado através de documentação específica, assim tanto o fabricante quanto o cliente possuirão garantias do que foi acordado entre as partes. Ao final dos testes do cliente com o produto aprovado, o produto pode ser inserido em linha de produção.

6.8 MONTAGEM EM LINHA DE PRODUÇÃO

Nesta etapa a engenharia passa todas as informações necessárias para a produção fabricar os produtos em larga escala. O acompanhamento dos primeiros lotes é realizado de forma ativa até que não seja mais necessário o acompanhamento da engenharia, neste momento a engenharia encerra o projeto ficando disponível para desenvolver novos projetos e produtos.

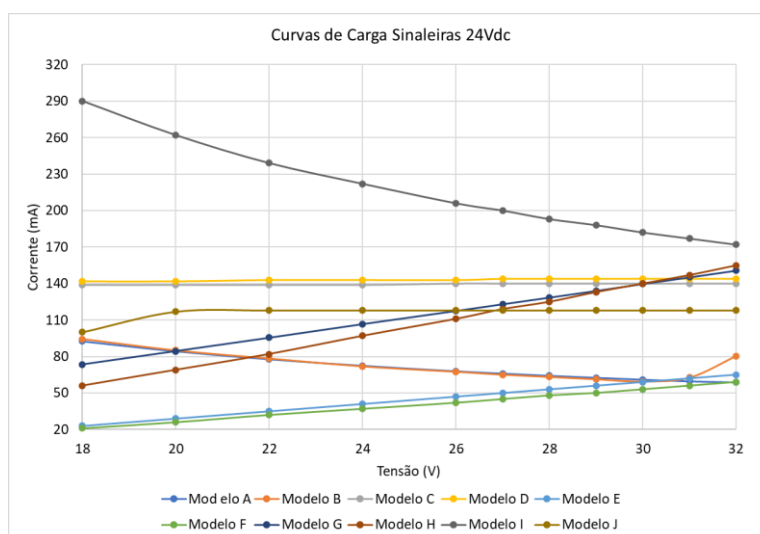
7 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

No ano de 2018 realizaram-se estudos para desenvolver um relé de pisca inteligente para sinaleiras LED, porém o projeto foi congelado e até 2020, ano em que o desenvolvimento se tornou uma necessidade, recebendo-se uma solicitação de desenvolvimento para dar sequência o projeto.

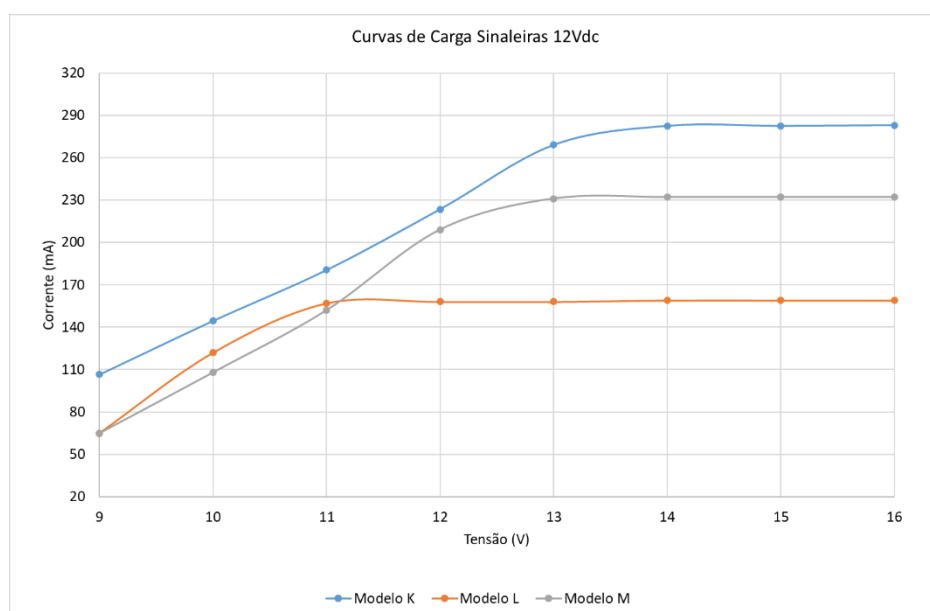
7.1 ESTUDO DAS LANTERNAS E SISTEMA DE PISCA

Para o desenvolvimento de um relé de pisca para lanternas LED é imprescindível conhecer as lanternas, principalmente no que diz respeito a curva de carga, já que toda a lógica se baseia no consumo. Ao longo dos anos foram ensaiados inúmeros modelos de lanternas de fabricantes diferentes e de mesmos fabricantes. Utilizando um multímetro, cada modelo de lanterna teve seu consumo aferido em todo o range de tensão de operação, possibilitando a construção de gráficos comparativos.

O Gráfico 3 mostra o comportamento da corrente de lanternas 24Vdc. Observa-se que há grande variação entre os modelos, além disso um mesmo modelo com revisões diferentes também possui diferença na curva de carga. Observa-se também que há grande variação de corrente na mesma lanternas entre os pontos máximos e mínimos de tensão como por exemplo o modelo I, com uma variação de 120mA. Com exceção dos modelos C e D a variação de corrente da lanterna I é maior que a carga total das outras lanternas. Durante o desenvolvimento da lógica funcional do relé será mostrado os efeitos que esta situação pode causar.

Gráfico 3 - Curva de carga lanternas 24Vdc.**Fonte: o autor.**

Também foram ensaiadas lanternas com tensão de operação de 12Vdc, como mostra o Gráfico 4. Pode-se ver que a curva de carga possui maior variação de corrente entre os pontos máximos e mínimos da tensão de operação.

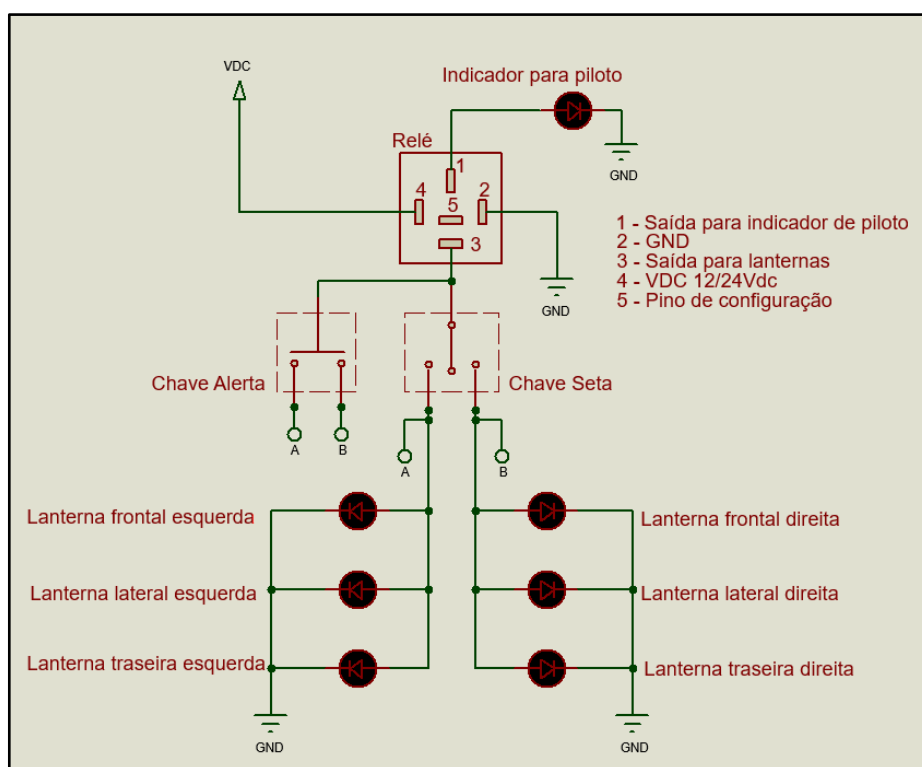
Gráfico 4 - Curva de carga lanternas 12Vdc.**Fonte: o autor.**

Este estudo é a base para o desenvolvimento de todo o projeto do relé tanto para dimensionamento do hardware quanto do firmware e lógica de programação.

Outro ponto a ser estudado é como as lanternas são ligadas ao relé. A Figura

10, mostra como são as ligações entre as chaves seta, e chave alerta. Pode-se ver que o relé não aciona diretamente as lanternas, o acionamento é realizado por chaves manuais o único acionamento direto é para o indicador de piloto. A chave seta é responsável por acionar qual dos lados o pisca direcional será acionado, já a chave alerta aciona todo o conjunto de sinaleiras simultaneamente. Para o funcionamento correto o relé deverá aguardar com sua saída principal sempre ligada e saída indicadora de piloto desligada. Quando o relé detectar carga na saída deverá piscar em sincrônica com o indicador piloto, a perda total de carga significará que o pisca foi desligado, portanto o indicador de piloto deverá ser desligado e a saída principal mantida acionada. No esquema de ligação o pino 5 não é conectado a nada, já que é o pino de configuração, a conexão ou não deste pino ficará a critério da montadora, sugere-se que seja preparada um espera chicote elétrico caso um dia seja necessário reconfirmá-lo.

Figura 10 - Ligação do sistema de luzes de sinalização.



Fonte: o autor.

7.2 PROJETO DO HARDWARE

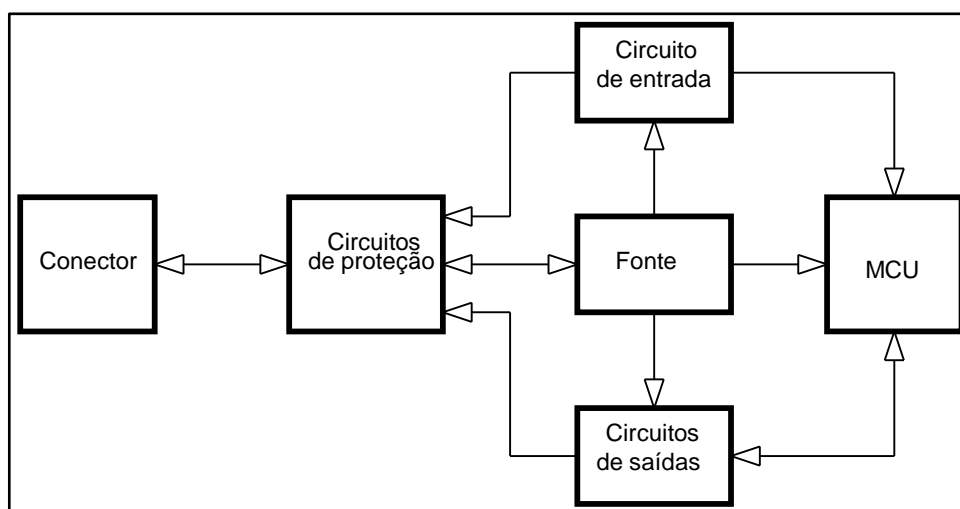
Após a análise dos dados de entrada projetou-se o circuito, pensou-se na

utilização de um conector padrão de 5 pinos, atendendo a necessidade das funções que são, dois pinos para saídas, uma para lanternas e uma para indicador de painel, uma entrada de programação para realizar a comunicação com a jiga e para configurar o relé para novas lanternas, e dois pinos para alimentação, positiva e negativa conforme mostra esquema da Figura 10.

Um pré-requisito do projeto foi manter a compatibilidade com versões de relés anteriores, além da utilização de materiais já utilizados em linha de produção. Para atender estes dois pontos todo o circuito foi projetado para caber em uma placa com dimensões de 24mm x 34mm.

A Figura 11 mostra a topologia do hardware do relé. Cada bloco possui funções específicas, sendo a fonte o ponto central, pois ela é responsável por fornecer uma tensão estabilizada para os demais circuitos. O MCU gerencia os sinais elétricos da entrada e controla as saídas de acordo com o sinal da entrada, ou de acordo com o sinal de feedback das saídas.

Figura 11 - Topologia do hardware do relé.



Fonte: o autor.

O projeto do hardware é capaz atender tensões de operação de 9Vdc a 32Vdc, desta forma não é necessário criar variações montagem para diferentes para aplicação 12Vdc e 24Vdc.

Após o circuito preliminar estar pronto preencheu-se a proposta executiva, enviando-a juntamente com a estrutura para que fosse avaliada pelos setores comerciais e Direção. Aprovou-se a proposta por ambas as partes, desta forma

continuou-se o projeto.

7.3 REVISÃO DO CIRCUITO E REUNIÃO DE DFMEA

Formou-se uma equipe multidisciplinar para realização das reuniões de DFMEA, durante as reuniões levantou-se inúmeras potenciais falhas relacionadas a projeto.

Durante a revisão do circuito com base no documento de DFMEA encontrou-se uma situação que poderia ocasionar problemas no projeto, o dimensionamento incorreto de um resistor de um diodo zener. A potência do resistor não estava corretamente dimensionada para tensões acima de 30Vdc, sendo necessário substituir o resistor por um de mesmo valor de resistência ôhmica, porém com potência maior, para atender adequadamente operações até 32Vdc.

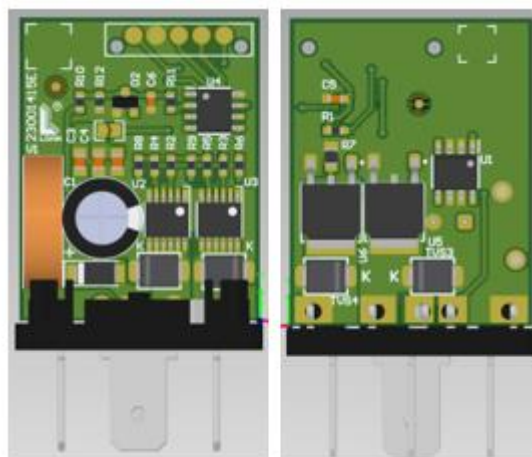
Ao total foram levantados mais de vinte riscos potenciais de falhas de projeto, para cada um foram levantadas uma ou mais ações de prevenção e detecção. Com a finalização da revisão do circuito baseada nas ações de prevenção e detecção do DFMEA enviou-se o circuito juntamente com a solicitação de desenvolvimento de PCI para os responsáveis pela transferência do esquemático para a PCI.

7.4 DESENVOLVIMENTO E MONTAGEM DA PCI

O circuito é considerado simples, porém a tarefa de acomodar todos os componentes respeitando as boas práticas em uma placa de dimensões pequenas para um circuito com inúmeras funções, tornar-se um desafio. Nesta etapa os componentes foram alocados na PCI. Análoga a montagem de um quebra cabeça, cada componente precisa ser posicionado estrategicamente de forma a reduzir o comprimento de trilhas, otimizando o espaço disponível.

A Figura 12 mostra a simulação 3D de uma placa eletrônica, a fim de preservar a política de privacidade a imagem não representa a placa do relé desenvolvido e sim de um produto similar.

Figura 12 - Simulação 3D de PCI.



Fonte: o autor.

7.4 DESENVOLVIMENTO DO FIRMWARE

O firmware deste relé foi dividido em três grandes partes, a primeira é a lógica operacional do produto aonde a tensão de entrada e a corrente de carga são analisadas e as saídas são acionadas. A segunda grande parte é a lógica de calibração, para que o relé possua uma calibração em linha de produção aumentando a performance e precisão. Por fim a terceira grande parte é a lógica de configuração do cliente, esta lógica permite a reconfiguração do relé pela montadora caso ela necessite utilizar um novo modelo de lanterna.

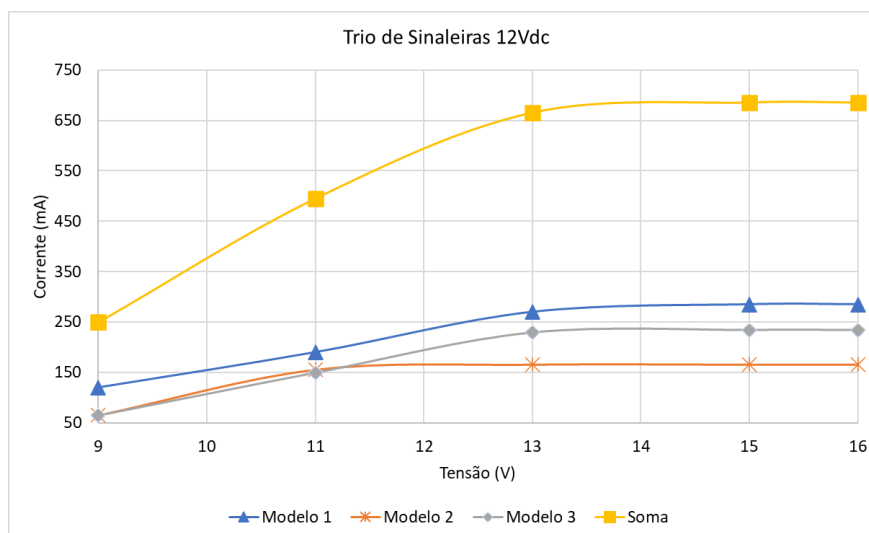
7.4.1 Análise inicial de lógica de controle e configuração

Como mencionando em capítulos anteriores a variação da corrente em função da tensão é indesejável, faz-se necessário utilizar lógicas em firmware para contornar esta situação. No Gráfico 5 é mostrado a curva de carga das lanternas utilizadas em um veículo, estas cargas foram as primeiras utilizadas no desenvolvimento do relé.

A curva Soma representa a soma de um trio de lanternas, enquanto as outras três curvas representam a carga individual de cada lanterna, como pode-se observar há grande variação da corrente em função da tensão de alimentação, sendo assim a tensão de alimentação também precisa ser monitorada. O hardware foi preparado para que fosse possível ler a tensão de alimentação através de entradas analógicas do MCU. Este é um exemplo prático, e mostra que a curva de carga é crescente até

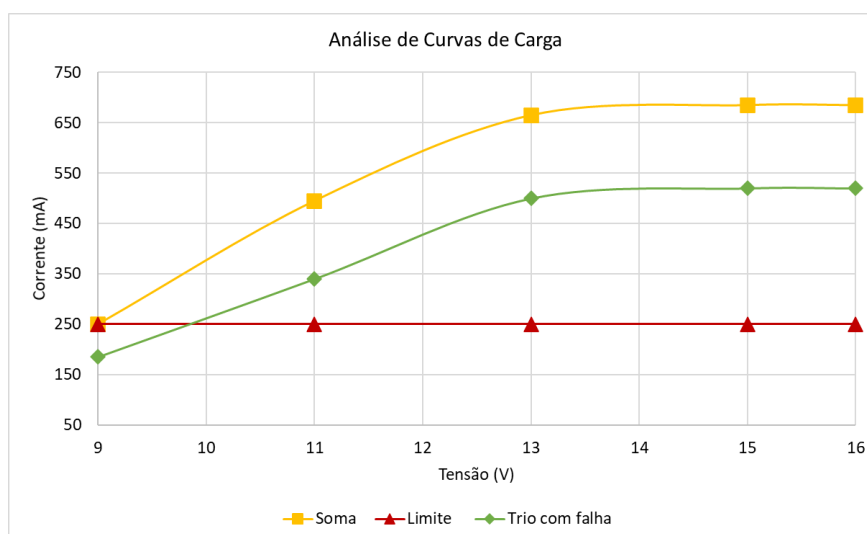
13Vdc e depois é estável até 16Vdc. Este comportamento não ocorre em todos os modelos de lanternas, já que há situações que o nível de corrente é inversamente proporcional a tensão de alimentação como a sinaleira modelo I do Gráfico 3.

Gráfico 5 - Curva de carga de lanternas reais de um veículo.



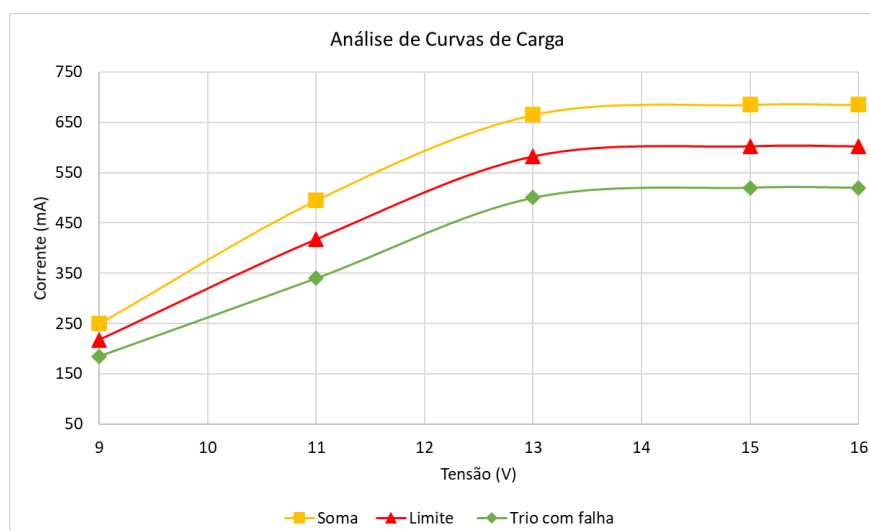
Fonte: o autor.

Sendo necessário indicar falha ao motorista caso ocorra queima de uma lanterna conforme o CONTRAN determina, poderíamos estipular que quando a corrente do trio seja menor do que 250mA o relé altere a frequência do pisca direcional. A solução proposta funcionaria corretamente em 9V se ocorrer a perda de qualquer uma das lanternas, porém para tensões acima de 10Vdc o relé não indicaria a perda de sinaleiras de menor consumo conforme o Gráfico 6 mostra. A curva Soma representa a curva original do trio sem falha, já na curva Trio com falha temos a simulação da perda da lanterna de menor consumo (Modelo 2) do conjunto e a linha Limite representa o nível em que o relé precisa indicar falha. Observando o Gráfico 6 é possível ver que o relé indicará falha apenas em tensões menores que 10Vdc, por este motivo é preciso relacionar a tensão de entrada com a curva de corrente, para criar uma solução que possa operar corretamente de 9Vdc a 16Vdc sem apresentar problemas.

Gráfico 6 - Limite de análise fixo.

Fonte: o autor.

Como visto anteriormente a análise em um nível fixo de corrente não atenderá o que o CONTRAN determina em todo o range de tensão. A seguir o Gráfico 7 mostra como deve ser o limite de análise, ele precisa acompanhar a curva original, porém com um offset negativo, idealmente este offset pode ser fixo, como por exemplo, 50mA, ou pode ser calculado utilizando a diferença entre a curva original e a curva sem a sinaleira de menor consumo dividido por dois. Este método é eficaz, porém é um método demorado quando novas configurações de lanternas precisam ser criadas.

Gráfico 7 - Limite de análise variável conforme curva de carga.

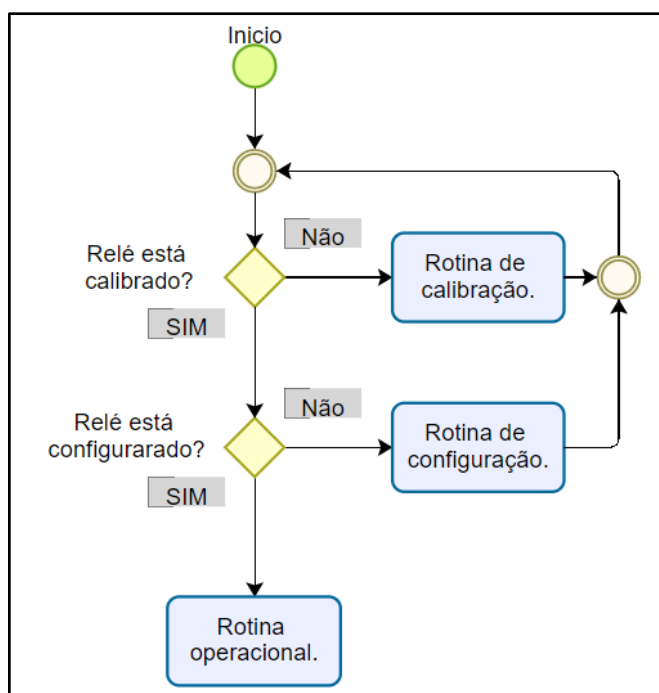
Fonte: o autor.

Para facilitar a produção em linha de produção e para agilizar a produção de relés com nova configuração de lanternas, o firmware será preparado para receber, através da jiga de calibração, a curva de carga dos subconjuntos de sinaleiras como por exemplo a curva Soma do Gráfico 7, assim não é necessário realizar nenhum tipo de análise ou simulação. Também se pensou em possibilitar a configuração do offset baseado na curva de carga, desta forma a indicação de falha ocorrerá quando a corrente lida for menor que a subtração da curva de carga pelo offset. Além destes parâmetros também se pensou em possibilitar a configuração de outros parâmetros como, número de lampejos por minuto e tensão da aplicação 12Vdc, ou 24Vdc.

7.4.2 Visão geral das lógicas

Como mencionado no início deste capítulo o firmware possui três grandes partes. A Figura 13 mostra o fluxograma geral que divide cada uma das três partes. Caso o relé não esteja calibrado ele fica aguardando a jiga realizar sua calibração, contudo se o relé já foi calibrado, ele aguarda sua configuração, esta por sua vez pode ser realizada pela jiga de calibração, ou pelo cliente final. Se o relé já foi calibrado e configurado ele executará a rotina operacional.

Figura 13 - Fluxograma inicial.

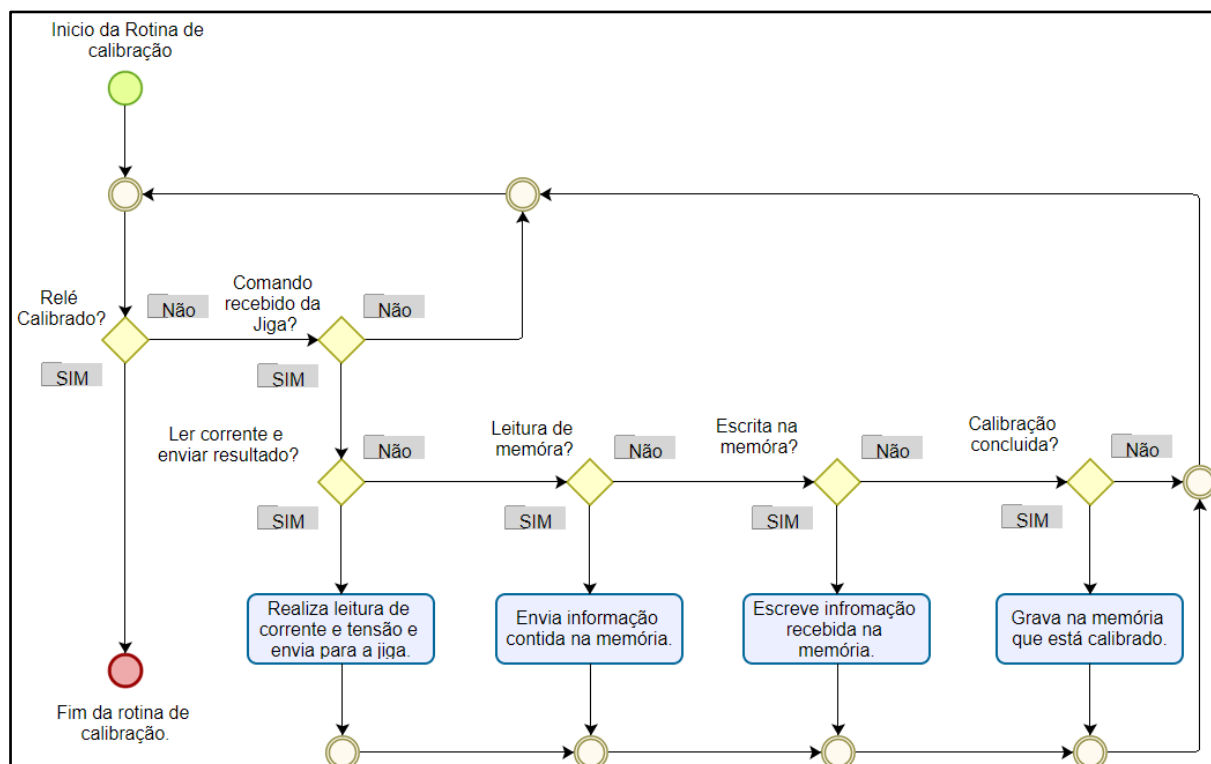


Fonte: o autor.

7.4.3 Lógica de calibração

A lógica de calibração consiste em aplicar cargas conhecidas e aferir o resultado que o relé está lendo. Isto se faz necessário já que o circuito utilizado para controlar as lanternas pode possuir pequenas variações entre um componente e outro, portanto para o relé ler a corrente real é preciso calibrá-lo previamente. Relacionando as cargas conhecidas com a resposta do relé teremos equações de calibração, estas ficam armazenadas na memória não volátil do relé, mais especificamente dentro do MCU, sendo utilizadas para a leitura de corrente e tensão. A Figura 14 mostra o fluxograma da rotina da calibração.

Figura 14 - Rotina de calibração.



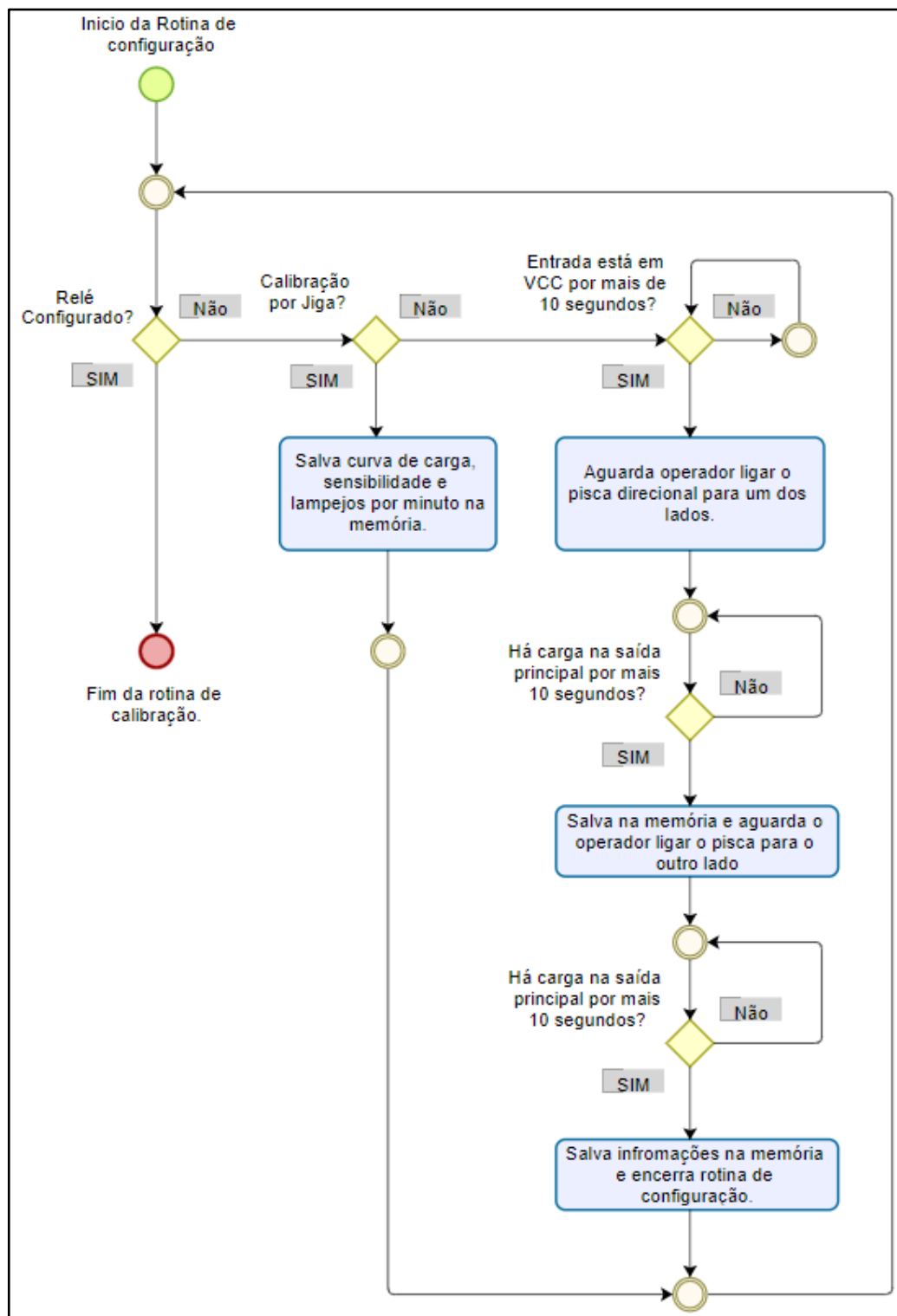
Fonte: o autor.

7.4.4 Lógica de configuração

Conforme mostra a Figura 13 após a calibração o relé ficará esperando a configuração, esta pode ser realizada por dois métodos. Os dois métodos utilizam o mesmo pino como entrada de informação, a diferença é que um método é realizado pela jiga de calibração, já o segundo método pode ser executado pela montadora, ou

usuário final. O fluxograma da condição de configuração é mostrado a seguir.

Figura 15 - Fluxo de configuração.



Fonte: o autor.

Através da jiga é possível equacionar a curva das cargas e salvar as equações

na memória do relé, além da sensibilidade e número de lampejos por minuto. A curva de carga salva no primeiro relé produzido é mostra Gráfico 7 de legenda Soma, já a curva limite é interpretada através da resposta equação da curva de carga para a tensão específica subtraída da sensibilidade, portanto quando a corrente lida estiver abaixo da curva limite o relé realizará a indicação de falha. A equação deve ser previamente informada pela jiga de calibração conforme especificação das lanternas.

Para o método de configuração na montadora a sensibilidade e o número de lampejos é padrão. Já o nível de corrente será o que o relé lerá na aplicação, para este caso a indicação de falha é restrita para o veículo com o motor ligado, pois desta forma o alternador manterá a tensão estável sem variações.

Após o relé estar calibrado e configurado ele não entrará mais nestas rotinas e passará sempre a executar o modo operacional. Caso seja necessário reconfigurar o relé é possível apagar a configuração mantendo a entrada em GND por dois minutos.

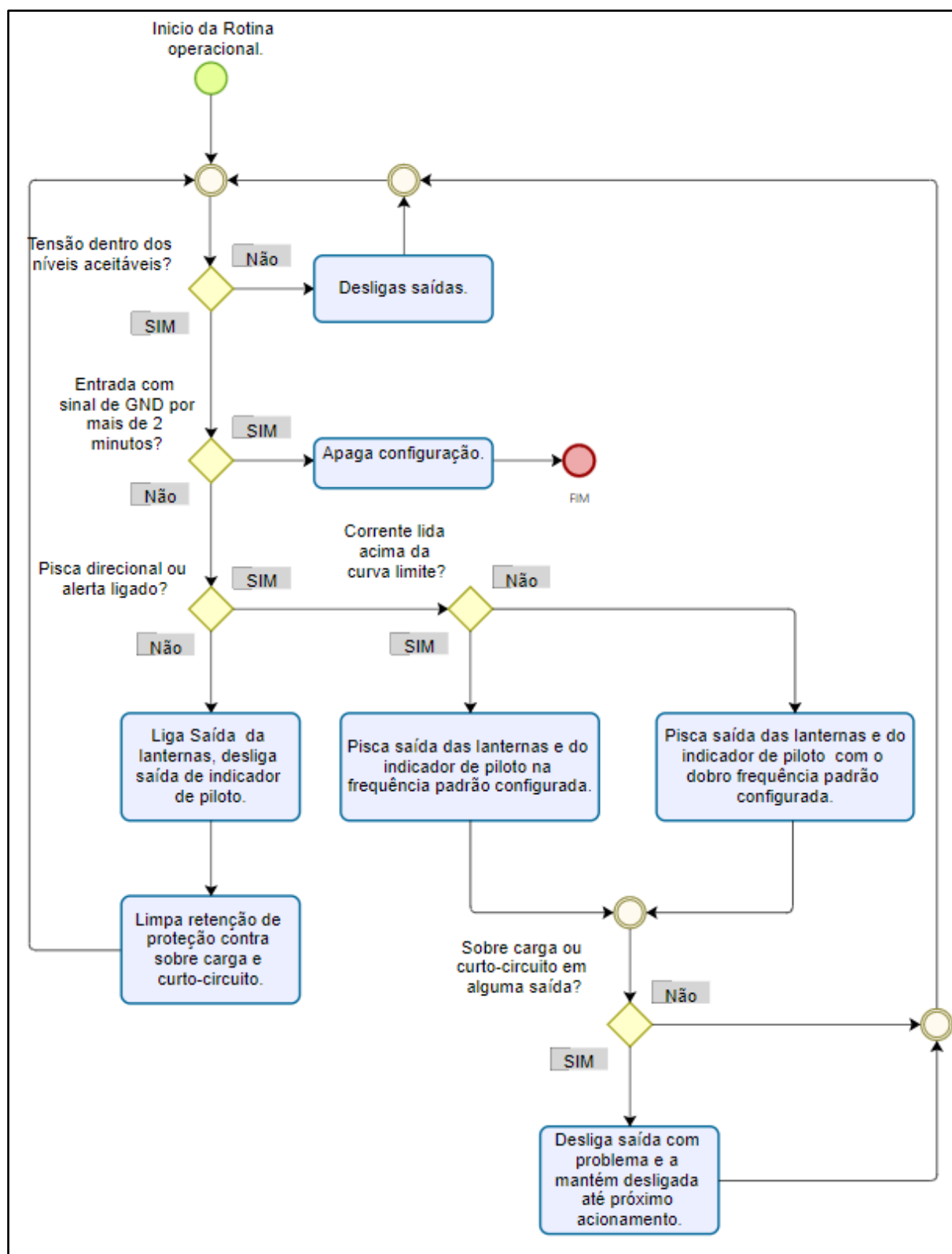
7.4.5 Lógica operacional

A lógica operacional é responsável por ler as entradas e controlar as saídas, além de executar as proteções de que o hardware não possui, como proteção de sobre carga e tensão fora da faixa operacional. Todo funcionamento tem como base a leitura da corrente da saída principal, pois não é o relé que realiza o acionamento das lanternas, mas sim a chave seta, por este motivo o relé fica com a saída das lanternas acionada, monitorando a corrente consumida pela carga, conforme mostrado na Figura 16.

Só existe uma forma de sair rotina operacional, que é apagando a configuração através do pino de configuração, caso este pino esteja flutuando, ou em VDC, o relé permanecerá na rotina operacional para sempre, conforme Figura 16 mostra.

Se o relé estiver calibrado para tensões de 12Vdc, ele não ligará nenhuma das saídas se a tensão estiver fora dos limites de 9Vdc a 16Vdc, desta forma ele protegerá as lanternas e economizará bateria se ela estiver abaixo de 9Vdc. As proteções de sobre carga e curto-circuito ocorrem de forma individual, portanto a saída que apresentar sobre carga, ou curto-circuito será desligada até que um novo ciclo de pisca ocorra, o número máximo de proteções que o relé permite é 10, após isso ele desliga e só volta a operar a alimentação for reiniciada, ou após um tempo de 30 minutos contado a partir do momento da décima proteção.

Figura 16 - Rotina operacional.



Fonte: o autor.

As três rotinas principais são interligadas dentro do firmware e uma tem dependência da outra. Após os testes de bancada comprovou-se que as rotinas

projetadas funcionam como o esperado.

7.5 TESTES DE LABORATÓRIO

Após o término do firmware e dos testes de bancada, enviou-se quatro unidades do relé para serem homologadas em laboratório. Estas peças passaram pelo processo mais fiel possível do processo que seria aplicado em linha de produção sendo calibradas e configuradas utilizando a jiga de calibração.

Nesta etapa todos os testes são executados conforme a ML002E, norma interna, mas que utiliza como referência normas internacionais da ISO e IEC. É necessário aproximadamente oito mês para que o produto passe por todos os testes especificados na ML002E, dentre quais executam-se testes climáticos, de vibração e pulsos de tensão, testes de EMI e ESD. O cronograma do projeto prevê a liberação dos primeiros protótipos no dia 13 de dezembro de 2021.

Após a homologação do laboratório interno as peças serão enviadas para a montadora realizar seus testes na aplicação final.

7.6 APROVAÇÃO

Esta é a etapa que o cliente validará a solução, como mencionado no subtópico anterior a previsão de entrega de protótipos é dia 13 de dezembro de 2021, contudo o projeto ainda não chegou a esta etapa.

No momento em que o cliente receber as peças ele deverá formalizar a aprovação através de um certificado de aprovação de protótipo e por fim deverá realizar a aprovação final assinando o PPAP submetido junto ao primeiro lote produtivo. Após toda documentação de aprovação estar assinada o projeto entra em linha produtiva, não sendo mais necessário o acompanhamento intensivo da engenharia.

8 CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento do projeto observou-se a importância de seguir uma metodologia determinada e clara, além da real importância de documentar todas

etapas e decisões. A documentação fez-se fundamental em momentos de dúvida, resolução de problemas e debates sobre quais caminhos seguir. Até o momento o projeto segue conforme o planejado, mostrando-se eficaz em todos os testes realizados em bancada e em laboratório.

Durante o desenvolvimento este foi um dos projetos auditados por auditores externos para a certificação IATF, sendo a LOHR conseguindo esta certificação no segundo semestre de 2021.

Sem nada mais a descrever encerasse o relatório com uma imagem das primeiras peças produzidas.

Figura 17 - Protótipo finalizado.



Fonte: LOHR.

REFERÊNCIAS

AIAG & VDA, FMEA Handbook – Failure Mode and Effects Analysis. 1ª ed. 2019.

ALMEIDA, Rodrigo. D. **Programação de Sistemas Embarcados - Desenvolvendo Software para Microcontroladores em Linguagem C**. Grupo GEN, 2016.

9788595156371. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595156371/>>. Acesso em: 02 out. 2021.

ARRABAÇA, Devair. A.; GIMENEZ, Salvador. P. **Conversores de Energia Elétrica CC/CC para Aplicações em Eletrônica de Potência - Conceitos, Metodologia de Análise e Simulação**. Editora Saraiva, 2013. 9788536518305. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518305/>>. Acesso em: 10 out. 2021.

CONTRAN. **RESOLUÇÃO Nº 667, DE 18 DE MAIO DE 2017**. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao6672017.pdf>>. Acesso em: 01 de set. 2021.

CONTRAN. **RESOLUÇÃO Nº 667, DE 18 DE MAIO DE 2017 ANEXO 1**. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/anexos_resolucao_667_17_atualizado.rar>. Acesso em: 01 de set. 2021.

BOSCH. **Manual de tecnologia automotiva**. Editora Blucher: 2005. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521215523/>>. Acesso em: 13 out. 2021.

INTERNATIONAL AUTOMOTIVE TASK. **IATF 16949:2016**

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16750-2:2012. Road vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment — Part 2: Electrical loads**. 4 ed. nov. 2012.

[JOHANSON. **JOHANSON X2Y® FILTER & DECOUPLING CAPACITORS**. Disponível em: <<https://www.johansondielectrics.com/downloads/x2y-filter-and-decoupling-capacitors.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2021.]

[LITTELFUSE. **Automotive Circuit Protection using Littelfuse Automotive TVS Diodes**. Disponível em: <https://m.littelfuse.com/~media/electronics/application_notes/littelfuse_tvs_diode_automotive_circuit_protection_using_automotive_tvs_diodes_application_note.pdf.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2021.]

[MAXIM INTEGRATED. **PRACTICAL ASPECTS OF EMI PROTECTION**. Disponível em: <<https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/1/1167.html>>. Acesso em: 14 nov. 2021.]

MELLO, Luiz.Fernando.Pereira. D. **Projetos de Fontes Chaveadas - Teoria e Prática**. Editora Saraiva, 2011. 9788536520124. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520124/>>. Acesso em: 17 out. 2021.

[MICROCHIP TECHNOLOGIES. **DS40002195B - PIC16F15213/14/23/24/43/44 Full-Featured 8/14/20-Pin Microcontrollers**. Disponível em: <<https://www.microchip.com/en-us/product/PIC16F15213>>. Acesso em: 20 nov. 2021.]

OLIVEIRA, André.Schneider. D.; ANDRADE, Fernando.Souza. D. **Sistemas Embarcados - Hardware e Firmware na Prática**. Editora Saraiva, 2010. 9788536520346. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520346/>>. Acesso em: 02 dez. 2021.

[PANASONIC, **Panasonic Coil type EMI Filters**. Disponível em: <<https://www.tti.com/content/dam/ttiinc/manufacturers/panasonic/Products/pdf/ELKE.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2021.

[ST. **L78L Positive voltage regulators**. Disponível em: <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/l78l.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2021.]