

Ismael Pinheiro Matiola

***Plataforma automatizada de testes de conformidade
da tecnologia PoE***

São José – SC

Outubro / 2015

Ismael Pinheiro Matiola

***Plataforma automatizada de testes de conformidade
da tecnologia PoE***

Monografia apresentada à Coordenação do
Curso Superior de Tecnologia em Sistemas
de Telecomunicações do Instituto Federal de
Santa Catarina para a obtenção do diploma de
Tecnólogo em Sistemas de Telecomunicações.

Orientador:

Prof. Dr. Eraldo Silveira e Silva

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES
INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

São José – SC

Outubro / 2015

Prof. Eraldo Silveira e Silva, Dr.
Orientador

Prof. Saul Silva Caetano, Dr.
IFSC

Odilson Tadeu Valle, Dr
IFSC

*Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem
foram conquistadas do que parecia impossível.*

Charles Charplin

Agradecimentos

Agradeço aos meus irmãos que sempre me apoiaram, incentivaram e ajudaram, a minha noiva Vanessa Sens pela paciência e motivação durante o tempo que estamos juntos e em especial aos meus pais, Sérgio Matiola que me ensinou todos os valores e princípios importantes a serem seguidos e a minha mãe Nilcéia Pinheiro Matiola, que apesar de estar presente apenas nas lembranças, foi a pessoa que mais me motivou, sempre repetindo conselhos e palavras que fizessem eu acreditar e realizar meus sonhos.

Ao meu Orientador, Professor Eraldo Silveira e Silva, pela disponibilidade, paciência, e colaboração nos seus conhecimentos valiosos que foram repassados.

Ao Professor Volney Durte Gomes, um imenso agradecimento pelos importantes conselhos e colaborações durante o andamento do projeto.

Ao Instituto Federal pela oportunidade de estudar com profissionais altamente capacitados.

E a todos que participaram da minha caminhada no Instituto.

Resumo

A realização de testes de conformidade na área de redes exige muitas vezes arranjos e procedimentos manuais com complexidade acentuada. Este trabalho propõe uma plataforma automatizada para testes de conformidade dos protocolos *Power over Ethernet* IEEE802.3AF usando ferramentas de baixo custo já existentes. O foco principal é no teste de conformidade do dispositivo fonte de energia (PSE). Para tanto, foi desenvolvido um equipamento similar a um equipamento receptor de energia (PD), com a função de realizar uma bateria de testes certificadores, analisando e avaliando o comportamento da fonte conectada a ele, afim de homologá-la ou não. Com fins de testar o certificador em sua plenitude, foi desenvolvido também um Simulador de PSE, que permite simular PSEs que estão dentro e fora da norma. Apesar da norma prever cinco etapas, somente a fase de detecção foi explorada bem como sua transição para a segunda etapa, a classificação. Os resultados preliminares se mostraram bastante satisfatórios para esta fase.

Abstract

Compliance testing in the area of networks often requires manual arrangements and procedures of great complexity. This work proposes an automated platform for conformance testing of protocols *IEEE802.3af Power over Ethernet* using low-cost existing tools. The main focus was on compliance testing of power supply device (PSE). To perform this task, a device similar to a power receiving device (PD) has been developed to implement a set of certification tests. It allows to analyze and to evaluate the behavior of the source connected to it, in order to endorse it or not. In order to test this certifier in its fullness, a PSE Simulator was also developed, simulating PSEs that are in and out of the norm . Although the standard provide five steps , only the detection phase was explored and its transition to the second stage classification. Preliminary results were quite satisfactory for this stage.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas p. 12

List of Abbreviations p. 12

1 Introdução p. 13

1.1 Motivações e Justificativa p. 13

1.2 Objetivos p. 14

1.3 Visão Geral p. 14

1.4 Organização do Trabalho p. 15

2 Fundamentação Teórica p. 17

2.1 Conceitos em Testes de Conformidade e Homologação p. 17

2.1.1 Normatizações p. 17

2.1.2 Homologações p. 18

2.2 PoE - Power Over Ethernet p. 19

2.2.1 O PoE como um sistema de transmissão de energia p. 19

2.2.2 PoE IEEE802.3AF p. 20

2.2.3 PoE IEEE802.3AT p. 26

2.2.4 Testes de Conformidade em Equipamentos PoE p. 28

2.3 Tecnologia e Conceitos Adicionais Utilizados neste Trabalho p. 31

2.3.1	Plataforma Arduino	p. 31
2.3.2	O PWM	p. 32
2.3.3	Amplificador Operacional	p. 33
2.4	Conclusão	p. 34
3	Certificador de Assinatura de detecção da tecnologia PoE	p. 35
3.1	Visão Geral do Sistema de Certificação de Detecção de Assinatura do PoE . .	p. 35
3.2	O Certificador de PSE	p. 37
3.2.1	<i>Hardware</i> do Certificador de PSE	p. 37
3.2.2	<i>Software</i> do Certificador de PSE	p. 40
3.3	Emulador de PSE	p. 47
3.3.1	<i>Hardware</i> do Emulador de PSE	p. 47
3.3.2	<i>Software</i> do Emulador	p. 50
3.4	Visão da Certificação nas 5 Fases	p. 54
3.5	Conclusão	p. 57
4	Testes de Validação do do Sistema de Certificação	p. 58
4.1	Análise e Leitura das tensões do Pulso de Detecção	p. 58
4.2	Cenário de teste com circuito aberto	p. 63
4.3	Chaveamento de Carga e Validação da Assinatura	p. 67
4.4	Conclusão	p. 71
5	Conclusões Gerais	p. 72
5.1	Trabalhos futuros	p. 73
	Referências Bibliográficas	p. 74

Lista de Figuras

2.1	Transmissão de energia através da alternativa A(IEEE802.3AF, 2003)	p. 21
2.2	Transmissão de energia através da alternativa B (IEEE802.3AF, 2003)	p. 21
2.3	Tipos de equipamentos PoE (PERLE, 2014)	p. 22
2.4	Etapas do funcionamento de um PSE (MENDELSON, 2004)	p. 23
2.5	Limites da carga de detecção do PD. (MENDELSON, 2004)	p. 23
2.6	Faixa de operação da corrente (MENDELSON, 2004)	p. 25
2.7	Faixa limite da corrente (MENDELSON, 2004)	p. 25
2.8	Estrutura do pacote LLDP no quadro Ethernet (IOL, 2009)	p. 27
2.9	Estrutura dos TLVs (IOL, 2009)	p. 28
2.10	Entradas e saídas do Arduino	p. 32
2.11	Pulso PWM	p. 33
2.12	Circuito não-inversor (VITORINO, 2012)	p. 34
3.1	Visão geral do Emulador de PSE e do Certificador de PSE	p. 36
3.2	Visão geral do hardware do Equipamento de Certificador de PSE	p. 38
3.3	Implementação utilizando transistores com a função de chave	p. 40
3.4	Fluxograma do Equipamento de Certificação	p. 41
3.5	Máquina de Estado do Softwre de Análise e Leitura se Tensões	p. 42
3.6	Estados analisados através do <i>software</i> de Leitura e Análise de Patamares	p. 44
3.7	Máquina de Estado	p. 45
3.8	Máquina de Estado do Software de chaveamento	p. 47
3.9	Tensão após a passagem pelo filtro	p. 48
3.10	Circuito amplificador utilizado na implementação	p. 49

3.11	Visão Geral do Hardware Emulador integrado ao PD	p. 50
3.12	Exemplo de configuração do pulso de detecção do Emulador PSE	p. 52
3.13	Fluxograma do <i>Software</i> Do Equipamento Emulador	p. 52
3.14	Maquina de Estado do Software do Emulador	p. 54
4.1	Gráfico dos resultados obtidos	p. 60
4.2	Pulsos coletados pelo osciloscópio	p. 61
4.3	Gráfico dos resultados obtidos	p. 62
4.4	Gráfico dos resultados obtidos	p. 63
4.5	Pulsos coletados pelo osciloscópio	p. 64
4.6	Pulsos coletados pelo osciloscópio	p. 69

Lista de Tabelas

2.1	Classificação do PD	p. 24
2.2	Classificação IEEE802.3AT	p. 26
4.1	Parâmetros configurados para o Teste de Análise e Leitura de Tensão	p. 59
4.2	Parâmetros configurados para os Testes de Análise e Leitura dos Patamares	p. 64
4.3	Principais características dos pulsos configurados	p. 67
4.4	Resultados da certificação obtidos através do monitoramento do Equipamento de Certificação PSE	p. 67
4.5	Parâmetros configurados para o Teste de Chaveamento de Impedâncias	p. 68
4.6	Configurações do Chaveamento de Impedâncias	p. 68
4.7	Resultados obtidos na validação certificação do teste de chaveamento de cargas	p. 71

Lista de Abreviaturas

AMPOP *Amplificador Operacional*

ANATEL *Agencia Nacional de Telecomunicações*

IEEE *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IP *Internet Protocol*

IPv6 *Internet Protocol version 6*

LLDP *Link Layer Discovery Protocol*

LLDP-MED *Link Layer Discovery Protocol-Media*

MAC *Media Access Control*

PD *Power Device*

PoE *Power over Ethernet*

PSE *Power Sourcing Ethernet*

PWM *Pulse Width Modulation*

ROM *Read-Only Memory*

SDL *Simple Direct Media Layer*

SIP *Session Initiation Protocol*

TLV *Type Length Value*

TTCN *Testing and Test Control Notation*

TTL *Time to Live*

UML *Unified Modeling Language*

3GPP *3rd Generation Partners Project*

1 *Introdução*

1.1 **Motivações e Justificativa**

Quando é realizada a compra de um produto, é importante conhecer a qualidade e a procedência do mesmo. No caso de um produto de tecnologia, para um consumidor avaliar se o produto está ou não realizando suas funções com o desempenho esperado, a tarefa é particularmente complexa. Fica então a cargo dos órgãos fiscalizadores responsáveis a garantia da conformidade destes produtos com normas e regulamentos. Com a invasão de produtos importados na área de telecomunicações com procedência muitas vezes duvidosa, está cada vez mais difícil confiar nos enunciados das especificações contidas nas caixas dos fabricantes, além de que muitos destes produtos não possuem os selos de certificações de homologação da *Agencia Nacional de Telecomunicações* (ANATEL).

Mesmo grandes empresas, que muitas vezes importam produtos prontos de outros países, não conseguem realizar uma análise detalhada do funcionamento dos protocolos envolvidos em determinados equipamentos, dado a complexidade dos experimentos a serem realizados. A partir dessa necessidade de análise do desempenho e do funcionamento dos equipamentos comprados e comercializados, viu-se que seria de grande importância a realização de um projeto que realiza-se baterias de testes que certificassem determinada tecnologia, ou protocolo.

Uma tecnologia que despertou um grande interesse pelo fato do autor ter trabalhado com a mesma e que vem crescendo muito e facilitando o dia-dia das telecomunicações é a tecnologia *Power over Ethernet* (PoE). Atualmente existem dois padrões: o *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.3af e o IEEE 802.3at. O PoE é uma tecnologia de sistema de transmissão de energia elétrica através do cabeamento da ethernet. A tecnologia permite que um equipamento fonte de energia possa reconhecer automaticamente que um equipamento, que está do outro lado da linha de transmissão e alimentá-lo caso compatível com o padrão.

A utilização dessa função é algo inovador, pois com o uso desses protocolos é possível e que sejam implementadas redes com câmeras *Internet Protocol* (IP), telefones IP, *access points* e

outros equipamentos terminais alimentados pelo mesmo cabo que recebe dados. Visto que essa tecnologia está em expansão e atualmente existem poucos laboratórios capacitados para realizar testes elaborados para normatizar seus equipamentos, escolheu-se os padrões PoE como ponto inicial para um trabalho na área de verificação de conformidade de equipamentos de rede com implicações em hardware e software associados a camada física.

O presente trabalho se enquadra dentro da área de conformidade de protocolos, identificando as complexidades associadas a esta atividade e lançando as bases para que se possa atuar de forma profissional na área. Para tanto, fez-se necessário escolher um determinado protocolo/tecnologia como referência inicial.

1.2 Objetivos

O projeto de conclusão de curso proposto visou planejar e implementar um subconjunto de testes automatizados de conformidade dos protocolos PoE IEEE802.3AF usando ferramentas de baixo custo. O foco principal foi na certificação do dispositivo *Power Sourcing Ethernet* (PSE), ou seja, o dispositivo fonte de energia.

Como objetivos específicos tem-se:

- o desenvolvimento de um protótipo de um dispositivo de certificação que se comporta de forma similar a um PD (receptor da alimentação). Ele tem a função de realizar uma bateria de testes certificadores analisando e avaliando o comportamento da fonte conectada a ele, afim de homologá-la ou não;
- desenvolvimento de um protótipo de simulador de fonte PSE, de forma a permitir a validação do equipamento certificador.

1.3 Visão Geral

O tema principal abordado ao longo do trabalho, é a certificação da tecnologia *Power over Ethernet*, o PoE. O PoE permite realizar a alimentação dos equipamentos conectados a ela através do cabo de rede ethernet. Essa tecnologia trabalha com protocolos físicos, e para que funcione adequadamente, não existindo a possibilidade de danificar nenhum equipamento, ela executa 5 etapas bem definidas: detecção, classificação, início da alimentação, operação, desconexão. Todas essas etapas possuem suas particularidades e modo de funcionamento, e portanto, o projeto de um certificador deve prever arranjos diferentes em cada fase.

A detecção possui a função de identificar equipamentos compatíveis, para que não ocorra a alimentação equivocada de um *Power Device* (PD), danificando-o. A classificação é realizada para que um *switch* tenha controle da potência necessária para alimentar um PD, essa etapa é de importância para que se controle o quanto de potência o PSE ainda dispõe para fornecer. A etapa de início serve para que a tensão seja aumentada gradualmente, evitando interferência nos dados transmitidos. A operação é a fase de funcionamento do PSE, ou seja, o momento em que a tensão foi estabelecida entre os valores descritos na norma. Por último vem a desconexão, que por sua vez possui a finalidade de evitar que ocorra a queima de equipamentos, no caso de picos de correntes, quedas de tensões entre outros.

O projeto de conclusão de curso tem a finalidade de construção de um protótipo de equipamento certificador da tecnologia IEEE802.3AF, sendo implementado com ferramentas capazes de identificar e analisar cada etapa desse protocolo.

Neste projeto foram implementados dois protótipos, o primeiro foi a criação do Equipamento de Certificação PSE. Esse equipamento possui diversas funcionalidades como: leitura de tensões, análise de tempos, chaveamento controlado de impedâncias, entre outras. Ele foi projetado para que ao conectar uma fonte PoE nele, seja realizado uma bateria de testes certificadores afim de validar o comportamento da fonte.

Para que seja validado o comportamento do Equipamento de Certificação PSE, viu-se a necessidade de implementar um segundo protótipo, o Emulador PSE. Este dispositivo possui como principal propósito simular uma fonte PoE com variados tipos de comportamentos, alguns desses seguindo a risca as recomendações da norma e outros ignorando algumas das recomendações.

Com a elaboração dos dois protótipos, foi possível criar e implementar variados ambientes de testes certificadores com o intuito de verificar se realmente o Equipamento de Certificação PSE está atuando conforme o projetado. Devido a complexidade e o curto tempo de duração do projeto, foi projetado e executado teste da fase de detecção e a transição para a classificação.

1.4 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma: o capítulo 1 apresenta as motivações e objetivos do trabalho proposto. No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica e as tecnologias e recursos necessários no desenvolvimento do TCC. O capítulo 3 trata do projeto dos dispositivos previstos para a certificação. O capítulo 4 contém os testes realizado para a validação do certificador e os resultados atingidos. Finalmente, o capítulo 5 contém as con-

clusões gerais do projeto.

2 *Fundamentação Teórica*

Neste capítulo são inicialmente apresentados conceitos básicos sobre normatização, homologação e testes de conformidade. Na sequência, é revista a tecnologia PoE que foi utilizada como base neste trabalho. Finalmente, são apresentados brevemente as ferramentas e tecnologias usados para a implementação dos testes de conformidade.

2.1 **Conceitos em Testes de Conformidade e Homologação**

2.1.1 **Normatizações**

Em redes de computadores a necessidade de normatização é essencial para garantir a interoperabilidade entre equipamentos fabricados por diferentes empresas. No que se refere a redes locais, por exemplo, o IEEE se destaca na proposição de normas para as camadas físicas e de enlace. Em camadas superiores pode-se citar a IETF.

É interessante observar que muitas vezes as normas criadas não são claras. A maioria delas se utiliza de linguagem natural que pode gerar ambiguidades de interpretação. Maior clareza de descrição de normatizações pode ser alcançada através do uso de formalismos específicos tais como o *Simple Direct Media Layer* (SDL) e *Unified Modeling Language* (UML) (ETSI, 2003).

Uma maneira para que seja assegurado que um equipamento realize as funções definidas pelo fabricante, conforme é previsto pela norma, é através da realização de testes de conformidade. A realização de testes de conformidade, não visa influenciar a maneira com que o equipamento deve ser projetado e implementado, mas sim validar se as funcionalidades das aplicações estão em consonância com as especificações descritas na norma. Os próprios testes de conformidade podem ser descritos por formalismos para evitar ambiguidades ou interpretações errôneas quando realizados por diferentes pessoas. Um exemplo é o *Testing and Test Control Notation* (*Testing and Test Control Notation* (TTCN)) empregado em testes de conformidade do *Internet Protocol version 6* (IPv6), *Session Initiation Protocol* (SIP), *3rd Generation Partners Projec* (3GPP), entre outros (ETSI, 2003).

Os testes de conformidades podem ser elaborados de diversas maneiras, podendo ser realizados de forma manual ou automatizada. Na forma manual tem-se um procedimento que o executor dos testes deve seguir, sendo os resultados analisados em função da funcionalidade ou desempenho esperado. Na forma automatizada, os procedimentos de testes são incorporados a uma plataforma programável com hardware apropriado para os equipamentos envolvidos.

2.1.2 Homologações

Para que um produto possa entrar no mercado, necessariamente deve ser reconhecido formalmente (homologado) pelo órgão responsável por regulamentar, outorgar e fiscalizar as leis criadas ou adotadas pelo país. Na área das telecomunicações no Brasil o órgão responsável é a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações). A ANATEL é uma autarquia administrativa independente e não subordinada a nenhum órgão do governo, podendo somente ser contestada judicialmente. Portanto, para que um produto possa ser comercializado, deve obrigatoriamente possuir um certificado, o qual é o resultado de um conjunto de testes que informam que o produto está regulamentado com as leis vigentes do nosso país (ANATEL, 2000).

Segundo a ANATEL os testes de homologação são realizados em todos em laboratórios credenciados pelo INMETRO e podem ser realizados pelos OCD (Organismos de Certificação Designados), ou seja, instituições técnicas que por delegação da ANATEL realiza os procedimentos de conformidade dos produtos. A homologação visa sobretudo:

- I - assegurar que os produtos comercializados ou utilizados no País estejam em conformidade com os Regulamentos editados ou com as normas adotadas pela Anatel;*
- II - assegurar que os fornecedores dos produtos atendam a requisitos mínimos de qualidade para seus produtos;*
- III - assegurar que os produtos para telecomunicação comercializados no País, em particular aqueles ofertados pelo comércio diretamente ao público, possuam um padrão mínimo de qualidade e adequação aos serviços a que se destinam;*
- IV - assegurar o atendimento aos requisitos de segurança e de não agressão ao ambiente;*
- V - facilitar a inserção do Brasil em acordos internacionais de reconhecimento mútuo;*
- VI - promover a isonomia no tratamento dispensado aos interessados na certificação e na homologação de produtos para telecomunicação;*
- VII - dar tratamento confidencial às informações técnicas, que assim o exijam, dentre as disponibilizadas pelas partes interessadas por força deste Regulamento. (ANATEL, 2000)*

2.2 PoE - Power Over Ethernet

Nesta sessão serão revistos os dois principais protocolos escolhidos como referência para o trabalho de teste de conformidade proposto: as normas IEEE 802.3AF e AT.

2.2.1 O PoE como um sistema de transmissão de energia

Os protocolos IEEE 802.3AF e AT, através de cabos de rede de categoria 5 ou superior, permitem alimentar dispositivos que precisam de baixa potência, tais como câmeras IP, *Switches*, telefones IP entre outros. Essa alimentação é chamada de PoE(Power over Ethernet). O primeiro padrão desenvolvido foi IEEE802.3AF, em junho de 2003, que provê potências máximas de até 15,4 W em corrente contínua, 48V DC e 350mA. Já o padrão mais recente, criado em 2009, o IEEE802.3AT, que ficou conhecido como PoE+, oferece potências de até 30 W. (MENDELSON, 2004).

Para que haja um maior entendimento da tecnologia, pode-se analisá-la como um sistema de transmissão de energia elétrica seguro, que trabalha em paralelo com transmissão de dados, ou seja, através de um único cabo de par trançado é possível ter uma rede de dados e alimentar o dispositivo. Para que exista um sistema PoE, é necessário a composição de alguns elementos:

- *Power Sourcing Equipament (PSE)* – É o equipamento que fornece energia através do cabo de rede para o dispositivo alimentado.
- *Powered Device (PD)* – É o equipamento que é alimentado pelo PSE, podendo seguir uma norma como o IEEE802.3AF ou IEEE802.3AT, ou simplesmente não ser padronizado, seguindo apenas as conformidades dos fabricantes (MENDELSON, 2004).

Os principais benefícios dessa tecnologia são:

- Redução de custos – o PoE reduz gastos e tempos extras, evitando a necessidade de instalação separadamente da infraestrutura da rede elétrica;
- Simplicidade e mobilidade – Os equipamentos alimentados pelos PSE podem ser facilmente deslocados sem a necessidade de tomadas, além de acelerar a implantação de equipamentos como câmeras e access point;
- Confiabilidade – Com apenas um no-break é possível se criar um bom nível de segurança, em caso de queda de energia.(MENDELSON, 2004).

Deve ser observado que ao ser implementado um sistema PoE, algumas limitações físicas devem ser levadas em consideração. Por exemplo, os cabos UTP, comumente utilizados em infraestrutura de Ethernet, suportam níveis de tensão não superiores a 80 Vdc, enquanto os conectores RJ-45, suportam no máximo, 250 Volts e uma corrente 1,5 A. A resistência máxima do sistema não pode ultrapassar os 20Ω , isso inclui 100 metros de cabos horizontais, cabos de manobras, conectores e equipamentos não ativos na rede.

2.2.2 PoE IEEE802.3AF

O protocolo IEEE802.3 AF deu início à possibilidade de alimentação através do cabo ethernet (IEEE802.3AF, 2003). Ele foi impulsionado por grandes empresas como Nortel, Cisco e *PowerDsine*, pois até então não existia nenhum padrão para tal atividade. Essa norma foi aprovada em meados de 2003.

O IEEE802.3AF é composto basicamente por PSEs e PDs. Para que seja permitido pela norma é imprescindível que o PSE não prejudique a infraestrutura de cabeamento já existente, visto que a introdução de corrente contínua em uma rede de dados está sujeita a ruídos que acabam degradando a rede. Dessa forma, se faz necessário que seja mantida a integridade dos dados transmitidos.

O padrão PoE na norma IEEE802.3AF, define a tensão de operação normalmente em 48VDC, mas essa tensão pode variar entre 44-57VDC. A corrente entre 350-400mA, valor estipulado para que não ocorra aquecimento dos cabos ethernet, com uma potência de saída mínima de 15,4W na saída da porta do equipamento ativo (PSE) e a potência máxima que o PD poderá receber é 12,95W devido a perda de potência do meio

O PSE do padrão IEEE802.3AF possui duas formas de alimentar o PD, chamadas de alternativa A e alternativa B. A alternativa A, como ilustrado na figura 1, utiliza os mesmos pares da transmissão de dados em transmissões 10 base T, 100 base TX ou 1000 T, ou seja os pinos 1/2 e 3/6, chamado em modo de energia fantasma. Já a alternativa B, como mostra a figura 2, fornece a transmissão nos pares de reposição, sendo 4/5,7/8.

Os pinos 1/2 No modo A e os 3/4 no modo B formam um dos lados dos 48V e os pinos 3/4 no modo A e os 7/8 no modo B o outro lado, então não existe uma polaridade permitindo o PoE utilizar cabos *crossover*, *pach cables*. (IEEE802.3AF, 2003)

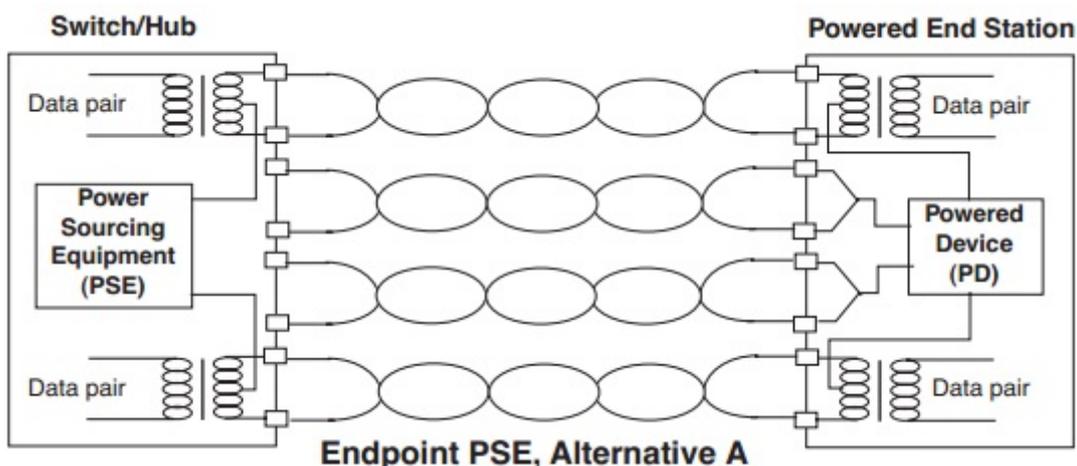


Figura 2.1: Transmissão de energia através da alternativa A (IEEE802.3AF, 2003)

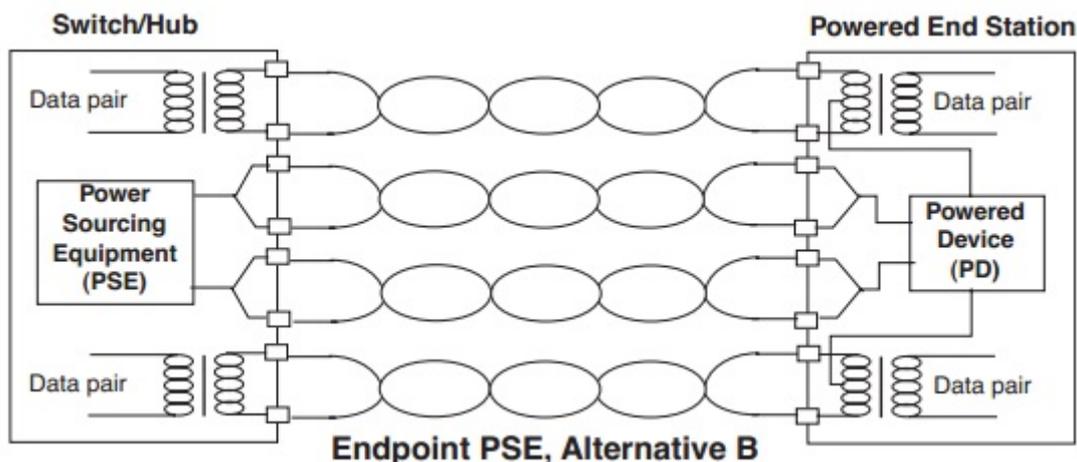


Figura 2.2: Transmissão de energia através da alternativa B (IEEE802.3AF, 2003)

Como já mencionado acima, o PSE é uma espécie de *switch* distribuidor de energia. É o equipamento que envia energia para o PD. Atualmente encontram-se dois tipos básicos de PSE, o *Endspan* e o *Midspan* (ver figura 3). O *Endspan* fica integrado juntamente com o *switch* comutador, enquanto o *Midspan* fica entre o *switch* e o equipamento que receberá alimentação. Normalmente o *Endspan* é utilizado em projetos iniciais, no qual a infra-estrutura da rede não existe. O *Midspan* serve para implementar a tecnologia PoE quando já se possui infra-estrutura, para que não seja preciso trocar os *switches*.

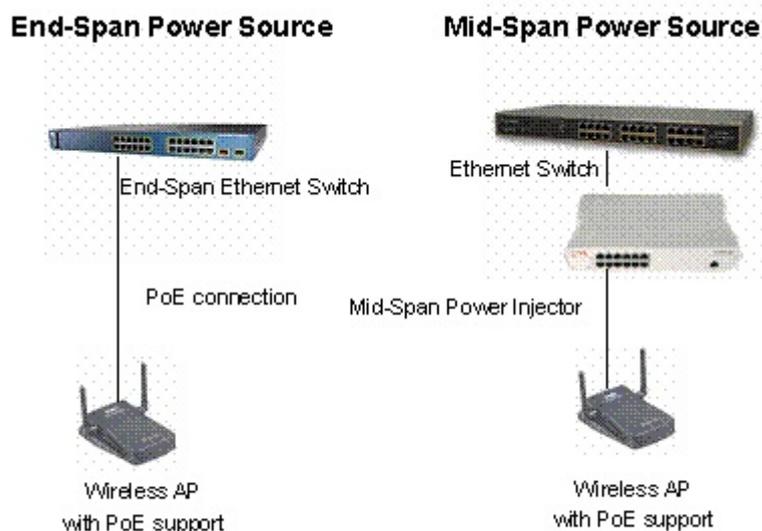


Figura 2.3: Tipos de equipamentos PoE (PERLE, 2014)

Segundo a norma IEEE 802.3AF, o PD é um dispositivo capaz de ser alimentado por um PSE através do cabo de rede por intermédio da interface ethernet. Para que essa alimentação ocorra de uma maneira segura e eficiente, evitando qualquer risco de danos na placa ethernet do PD, é necessário que os equipamentos sigam os requisitos exigidos pela norma.

Para que o equipamento esteja de acordo com as normas de segurança e de funcionamento, o PSE devem possuir um protocolo com 5 etapas, como pode-se visualizar na Figura 2.4, para que ocorra uma alimentação, que são:

- Detecção;
- Classificação;
- Início da alimentação;
- Operação;
- Desconexão.

Detecção: Antes mesmo de ser aplicada uma a tensão de 44V, a norma de segurança determina que primeiro seja feito o reconhecimento de compatibilidade de um PD. Alguns autores chamam esse método de "*Resistive Power Discovery*", processo que envolve testes para que aconteça o reconhecimento de uma resistência com valores entre $19K\Omega$ e $26,5K\Omega$ e da corrente

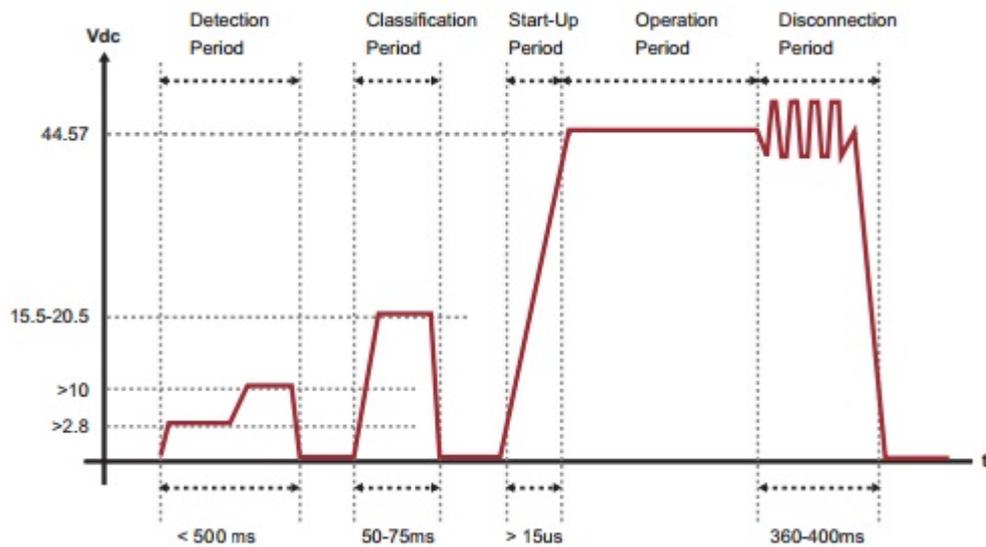


Figura 2.4: Etapas do funcionamento de um PSE (MENDELSON, 2004)

drenada pelo PD. Neste reconhecimento inicial, o PSE envia um pulso, chamado de pulso de detecção. O pulso de detecção baseia-se em enviar dois patamares de tensão, enviando primeiramente um patamar com a tensão no valor 2,8V e um segundo patamar com uma tensão no valor de 10,5V. A fonte PSE permanece encaminhando o pulso de detecção até que seja reconhecido um PD com a resistência compatível, caso contrário permanece enviando o pulso de detecção. É previsto para que a fonte PSE esteja operando de acordo com a norma, que cada pulso de detecção não ultrapasse a marca de 500ms. A Figura 2.5, ilustra os valores limites da resistência exigidos pela norma, para que aconteça uma compatibilidade de acordo com a leis vigentes.

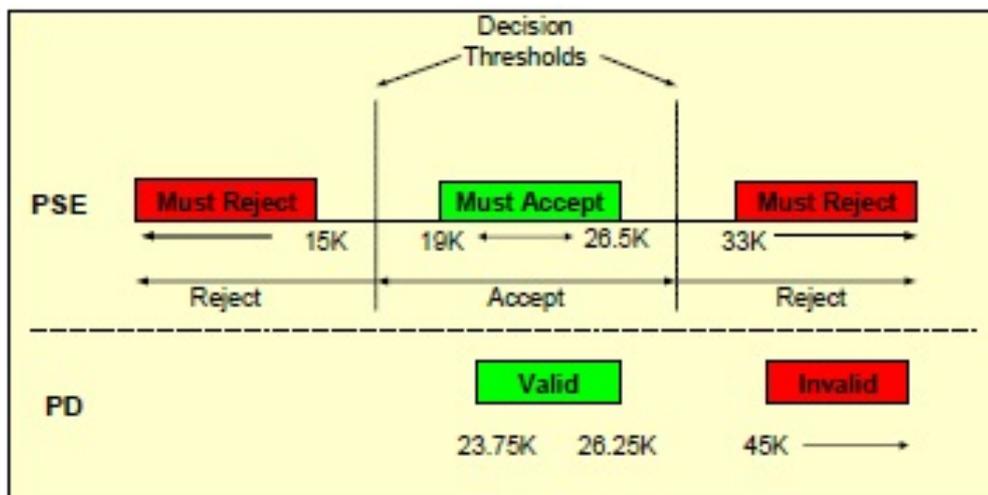


Figura 2.5: Limites da carga de detecção do PD. (MENDELSON, 2004)

Classificação A fase de classificação acontece logo após o PSE reconhecer o PD como compatível ao padrão IEEE802.3AF. Dessa forma, ao ser concluída a etapa de detecção, o PSE entra no processo de classificação, na qual é aplicada uma tensão entre 15,5V e 20V ao PD e é medido a corrente para determinar em qual classe ele será enquadrado. A finalidade desta etapa é verificar se a capacidade de alimentação do PSE encontra-se ou não sobrecarregada, podendo assim possuir uma análise se é possível ou não conectar mais equipamentos para serem alimentados. O PSE trabalha com 5 classes, conforme Tabela 2.1, salientando-se que a classe 0, acontece quando o PD não solicita classificação, então é encaminhado para o PD a potência máxima.(IEEE802.3AF, 2003)

Tabela 2.1: Classificação do PD

Classe	Corrente medida para classificação (mA)	Potência enviada para a classificação	Etapa
0	0 - 4	0,44 - 12,95	Default
1	9 - 12	0,44 - 3,84	Opcional
2	17 - 20	3,84 - 6,49	Opcional
3	26 - 30	6,49 - 12,95	Opcional
4	36 - 44	Reservado para uso futuro	Reservado para uso futuro

Início da alimentação: Assim que a etapas de detecção e classificação do PD forem concluídas, a tensão do PSE volta a zero e inicia-se o período de alimentação. Essa alimentação acontece de forma gradual para que não ocorra nenhum dano a interface de entrada do PD, além de evitar que seja causado ruídos que interfiram na transferência de dados. Essa etapa possui apenas uma determinação: deve acontecer dentro do tempo estipulado pela norma, que é de 15 micro segundos. A fase de início da alimentação acontece quando a tensão alcança o valor de operação, atingindo a tensão máxima de 44 VDC. (IEEE802.3AF, 2003)

Operação: Para que o PSE permaneça operando, é necessário que forneça a tensão dentro da norma (44VDC-57VDC), fornecendo uma potência máxima de 15,4 W. Segundo a norma, existem alguns limites de operação da corrente no PSE. Existe um I_{min} , uma corrente mínima que ele pode operar que vai de 5 à 10mA, a I_{lim} , que é a corrente limite da operação, ficando entre 400 e 450 mA e a I_{cut} , que é o limite de segurança em que o PSE consegue trabalhar com a sobrecarga antes de desconectar. Pode-se entender melhor visualizando a figura 2.6.

O padrão IEEE802.3AF prevê um mecanismo de proteção, nos casos em que possa ocorrer sobrecarga, Caso seja enviado pelo PSE uma potência mais elevada que a máxima potência

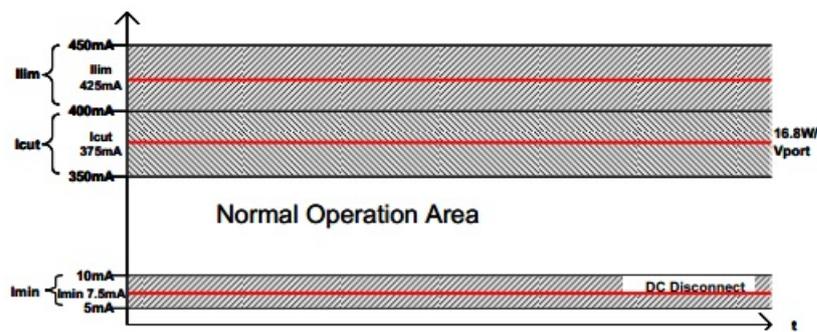


Figura 2.6: Faixa de operação da corrente (MENDELSON, 2004)

recebida pelo PD, devido a curtos circuitos provenientes do cabeamento estruturado ou até mesmo do dispositivo alimentado, o PSE cancela o envio de tensão instantaneamente. Para estes casos a energia do PSE deve ser cortada entre 50 e 75 ms, conforme mostra a figura 2.7. (IEEE802.3AF, 2003)

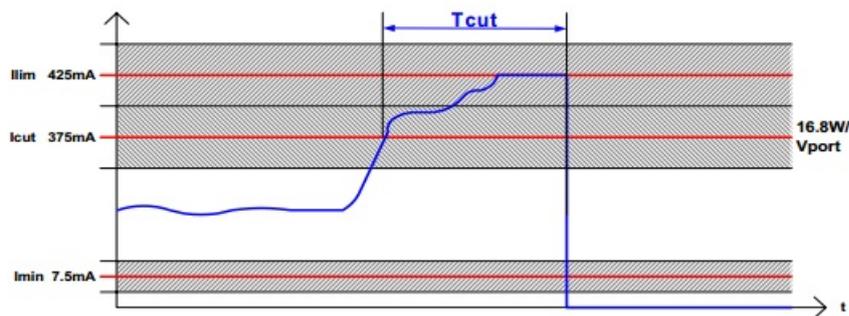


Figura 2.7: Faixa limite da corrente (MENDELSON, 2004)

Desconexão Essa última operação pode parecer menos importante, porém a norma IEEE 802.3 prevê que sempre que for desconectado o PD da energia, ou seja, do PSE, esse desligamento deve ser de uma forma segura. Para isso, é preciso que aconteça em um pequeno intervalo de tempo, devido ao risco de conectar o cabo energizado em um equipamento não compatível ao protocolo PoE causando danos ao dispositivo.

A norma prevê que o tempo de desligamento esteja entre 300 e 400 ms para cortar o fluxo de corrente elétrica, limite de tempo aceitável, se comparar com a velocidade humana para desconectar o cabo ethernet de um dispositivo e conectar em outro. Existem dois métodos de detecção de desconexão o *DC Disconnect* e o *AC Disconnect*.

No primeiro método, o *DC Disconnect*, o desligamento acontece quando a corrente atinge um valor menor que o I_{min} , ou seja, entre 5 e 10mA por um tempo entre 300 e 400ms. O método AC

disconnect realiza esse controle medindo a potência e a impedância, ocorrendo quando é maior que $27K\Omega$ ou $1980k\Omega$, respeitando-se assim, o tempo exigido pela norma. (IEEE802.3AF, 2003)

2.2.3 PoE IEEE802.3AT

O padrão IEEE 802.3AT é uma evolução do padrão antigo, conhecido como IEEE802.3AF. Esse padrão, além de alimentar os equipamentos com potência de até 15W, incorporou também uma nova classe na qual é possível alimentar equipamentos com uma potência de até 30W por porta. Pode-se perceber analisando a Tabela 2.2.

Assim como o padrão anterior, ele também possui todas as cinco etapas em sua operação, ou seja, detecção, classificação, início, operação e desligamento.

Como informado anteriormente, a 5 classe (classe 4) foi reservada para futuras aplicações, a qual foi implementada para equipamentos que necessitam de potência de até 25.5W.

Tabela 2.2: Classificação IEEE802.3AT

Tipo de PSE	Classificação	Potência máxima de Saída no PSE (W)	Potência mínima de Saída no PSE (W)
Tipo 1	Classe 0	15.4	0.5
Tipo 1	Classe 1	4.0	0.5
Tipo 1	Classe 2	7.0	4.0
Tipo 1	Classe 3	15.4	7.0
Tipo 2	Classe 4	30.0	

Assim como no padrão IEEE802.3AF, a etapa de detecção do PD é feita através do reconhecimento resistor de $25K\Omega$ (entre $19K\Omega$ e $26,5K\Omega$). Já na etapa de classificação, é preciso dar uma atenção maior, visto que é a principal modificação em relação ao padrão AF. Alguns autores tratam os equipamentos que necessitam de potência até 15,4W como PD do tipo 1, já os que necessitam de uma potência maior de tipo 2.

É importante ressaltar que equipamentos compatíveis ao padrão IEEE802.3AF podem ser alimentados pelos PSE IEEE802.3AT. A classificação da classe pertencente dos equipamentos com potência inferior a 15,4W é feita apenas através de um protocolo físico, ou seja, conforme o método de classificação descrito no padrão AF.

Quando se trata de equipamentos que precisam de uma potência de 25,5W (valor que já

considera a perda pro meio), é enviado pelo PSE uma tensão entre 15,5V e 20,5V, é feita uma negociação através de um protocolo da camada de enlace para solicitar a potência a ser enviada, diferentemente do padrão anterior que utiliza apenas de um protocolo físico.(IEEE802.3AT, 2009)

Link Layer Discovery Protocol-Media (LLDP-MED)

O protocolo utilizado para essa classificação é o *Link Layer Discovery Protocol* (LLDP). Esse protocolo opera na camada 2, e tem como função realizar dinamicamente a identificação de algumas informações sobre os vizinhos na rede, como por exemplo, o *host name*, o endereço físico(*Media Access Control (MAC)*), entre outras informações. Esse protocolo, quando utilizado em uma rede ethernet, é encapsulado dentro do quadro ethernet. Essa mensagem encaminhada é chamada de LLDPDU. Além das informações comuns do quadro ethernet, como o *MAC address* de origem, *MAC address* de destino e o *Type*, encontramos o campo *data*, também chamado de LLDPDU, dentro do qual existe uma sequência de campos chamados de TLV (*type length value*). Alguns dos *Type Length Value* (TLV) mais importantes são: de identificação de chassi, de identificação da porta, de *Time to Live* (TTL) e TLV do fim do LLDPDU, sendo que esses citados devem obrigatoriamente estar dentro do *data*. Importante ressaltar que dependendo da aplicação, o campo *data* pode possuir até 28 TLV. A figura 2.8 possui os principais pacotes pertencentes ao LLDP como já descrito.(HBC, 2003)

LLDP Ethernet frame structure									
Preamble	Destination MAC	Source MAC	Ethertype	Chassis ID TLV	Port ID TLV	Time to live TLV	Optional TLVs	End of LLDPDU TLV	Frame check sequence
	01:80:c2:00:00:0e, or 01:80:c2:00:00:03, or 01:80:c2:00:00:00	Station's address	0x88CC	Type=1	Type=2	Type=3	Zero or more complete TLVs	Type=0, Length=0	

Figura 2.8: Estrutura do pacote LLDP no quadro Ethernet (IOL, 2009)

Um agente LLDP pode enviar a seus vizinhos, informações sobre seus recursos e status atual, associados a sua interface, porém, não pode solicitar essas informações de outros dispositivos. A figura 2.9 mostra os principais campos utilizados nesse protocolo.

Para utilização desse protocolo no padrão de alimentação PoE, foi implementado o protocolo LLDP-MED (*Media Endpoint Discovery extension*). Esse protocolo é uma extensão do LLDP. O LLDP-MED fornece suporte para aplicações de VOIP, além de fornecer TLVs adicionais, servindo de recurso para descoberta de *Power over Ethernet (PoE)*. Chamado de *Power Management TLV*, através deste campo é possível realizar um gerenciamento avançado de energia.(HBC, 2003)

TLV Type	TLV Name	Usage in LLDPDU
0	End of LLDPDU	Mandatory
1	Chassis ID	Mandatory
2	Port ID	Mandatory
3	Time To Live	Mandatory
4	Port Description	Optional
5	System Name	Optional
6	System Description	Optional
7	System Capabilities	Optional
8	Management Address	Optional
9-129	Reserved	Optional
127	Organizationally specific TLVs	Optional

Figura 2.9: Estrutura dos TLVs (IOL, 2009)

Os campos gerados pelo LLDP-MED são os seguintes:

- *Inventory-management* – gerenciamento de inventário;
- *Location* – localização do TLV;
- *Network policy* – TLV de política de rede (utilizada em VLAN);
- *Power management* – Gestão de energia. (IOL, 2009)

2.2.4 Testes de Conformidade em Equipamentos PoE

Pode-se observar que as normas associadas ao PoE apresentam protocolos de camada física e de camada 2, trazendo dificuldades adicionais no que se refere a rápida realização de testes de conformidades. A informação sobre estes testes é relativamente escassa mas pode-se destacar o trabalho do Laboratório UNH-IOL.

Dada uma dificuldade encontrada tanto para os clientes como para os desenvolvedores de produtos voltados para área de redes, a *University of New Hampshire* (Universidade da Nova Hampshire) criou um laboratório, UNH-IOL (*University of New Hampshire InterOperability Laboratory*) com o intuito de ajudar no desenvolvimento e nos testes de equipamentos.

O UNH-IOL disponibiliza testes de conformidade para *switches* que possuem a função *Power over Ethernet*, ou seja, *switches* que operam com os protocolos IEEE802.3AF e IEEE802.3AT, foco principal deste trabalho. Os testes realizados seguem um padrão, ou seja, são todos organizados da mesma forma. Devendo cada teste possuir alguns parâmetros de conformidade, como o número do teste, o seu propósito, as referências encontradas sobre os protocolos, equipamentos necessários, suposições do experimento, o procedimento, os resultados

obtidos e os possíveis problemas encontrados durante a realização do teste. Como este trabalho visa alguns testes de conformidade, foram realizados os estudos de testes da universidade, no qual envolvessem a mesma tecnologia abordada neste projeto, possuindo como foco a fase de detecção. Abaixo será reportado os principais tópicos e resultados dos testes relativos a esta fase.(IOL, 2009)

Testes de Conformidade do PSE

A primeira bateria de teste realizadas pela UNH-IOL visa identificar e verificar as características válidas associadas a assinatura de detecção no PSE. São eles:

1. Validação da Pinagem do PD;
2. Detecção do circuito do PD;
3. Detecção do circuito de proteção contra curto;
4. Verificação das tensões de saída do circuito;
5. Verificação do tempo da fase de detecção;
6. Verificação dos limites da detecção.

Na validação da pinagem do PD, é realizado um cenário conectando um simulador de PD na Fonte PSE, com a intenção de verificar em quais pares está sendo fornecido a energia, se é através da alternativa A ou B.

O segundo teste está associado a detecção do circuito do PD e visa verificar se a fonte reconhece a carga conectada à saída da alimentação da fonte PSE, simulando um PD. A análise do teste foi novamente realizada de forma manual com o auxílio do osciloscópio.

O terceiro teste elaborado nessa fase, consiste em analisar quando o PD encontra-se em curto, ou seja, foi elaborado um cenário com um simulador de PD curto-circuitado. Com a utilização de um equipamento de medição de corrente, foi efetuado o monitoramento. Nesse teste espera-se que a fonte PSE possua um circuito de proteção que limite a corrente em $5mA$ em casos em que o PD possua um curto-circuito.

O quarto teste elaborado pela UNH-IOL, consiste em monitorar o pulso de detecção, analisando com o auxílio de um osciloscópio se os níveis de tensão estão de acordo com a norma, possuindo dois patamares, um primeiro com 2,8V e outro com 10.5V.

Já o quinto experimento tem como objetivo principal verificar se o tempo total de um pulso de detecção encontra-se dentro do tempo informado pela norma (500ms). Novamente a monitoração desde teste acontece manualmente com o auxílio de um osciloscópio.

O último teste realizado nesta etapa, foi a verificação dos limites da detecção. O foco deste teste foi analisar os limites da resistência do PD. Neste experimento foi inserido uma resistência compatível com o padrão, em seguida a resistência foi reduzida até atingir o valor limite inferior de $19K\Omega$, na sequência o valor da resistência foi aumentado até atingir os limites da resistência máxima, atingindo um valor de $26,5K\Omega$.

Testes de Conformidade do PD

Assim como feito com o PSE, para verificar se um equipamento (PD) está seguindo as exigências do padrão IEEE802.3AT se faz necessária a realização de alguns testes de conformidade. Abaixo vamos mostrar, de forma genérica, os testes envolvendo a fase de detecção realizados pelo UNH-IOL para este fim.

Os principais testes focados na análise do PD na fase de detecção estabelecido pela UNH-IOL, foram os seguintes:

1. Validação da Pinagem do PD e do recebimento de energia;
2. Características válidas da assinatura de detecção;
3. Características não válidas da assinatura de detecção,

Nesta etapa a realização dos testes do PD deve, necessariamente ser física.

O primeiro teste realizado referente a detecção foi a análise de recebimento de energia do PSE e a verificação se o PD aceita as duas formas de alimentação, alternativa A e alternativa B. Neste teste espera-se que todos os dois tipos de alimentação sejam aceitos pelo PD, uma vez que a norma informa que o PD deve estar preparado para as duas alternativas.

Na validação da assinatura de detecção foi realizado alguns procedimentos para verificar características importantes no circuito do PD, como: resistência válida, capacitância e indutância. Este teste visa verificar se o valor da resistência do PD encontra-se dentro dos valores estipulados, verificando a corrente do sistema. O monitoramento do teste é realizado através de um amperímetro e do osciloscópio.

Por fim é realizado uma bateria de testes configurando um cenário impróprio para a

detecção, ou seja, foram forçados valores limites para a corrente e injetando valores de tensões inválidos para a detecção, sendo de 3,2V para o primeiro patamar e 10,2V para o segundo.

2.3 Tecnologia e Conceitos Adicionais Utilizados neste Trabalho

Nesta seção serão apresentadas as principais tecnologias utilizadas na implementação do projeto. Todas elas foram usadas ou no projeto do Equipamento de Certificação PSE ou no Emulador PSE. Foram enfatizados as características gerais e suas utilidades no projeto prático.

2.3.1 Plataforma Arduino

O Arduino é uma plataforma computacional que permite automação de projetos eletrônicos e robóticos, devido sua base de dados, seu *software* e seu *hardware* serem *open-source* (código aberto), possuir baixo custo e ser de fácil acesso, é muito comum encontrá-lo em projetos universitários. Sua composição é baseada em um microcontrolador que possui entradas digitais e analógicas e saídas digitais. Para realizar a programação do Arduino, é utilizado uma IDE (*IntegrateDevelopment Environment*) bastante simples, e possui uma linguagem de programação padrão, baseada em *Wiring*, na qual pode ser implementada através de C ou C++, linguagem bastante conhecida por todos programadores. (ARDUINO.CC, 2015)

Arduino Uno No projeto a ser implementado, foi utilizada uma versão mais atual do Arduino, o Arduino Uno. Os desenvolvedores do Arduino optaram por utilizar os micros controladores da empresa ATMEL, da linha ATmega, atualmente pode-se encontrar nos diversos modelos de microcontroladores nas versões do Arduino, como, ATmega8, ATmega162, ATmega328. A diferença entre cada um está na quantidade de memória de programa (*Read-Only Memory* (ROM)), nos módulos de entradas e saídas disponíveis no equipamento. Na figura 2.10 é possível verificar as principais entradas e saídas utilizadas no Arduino uno.

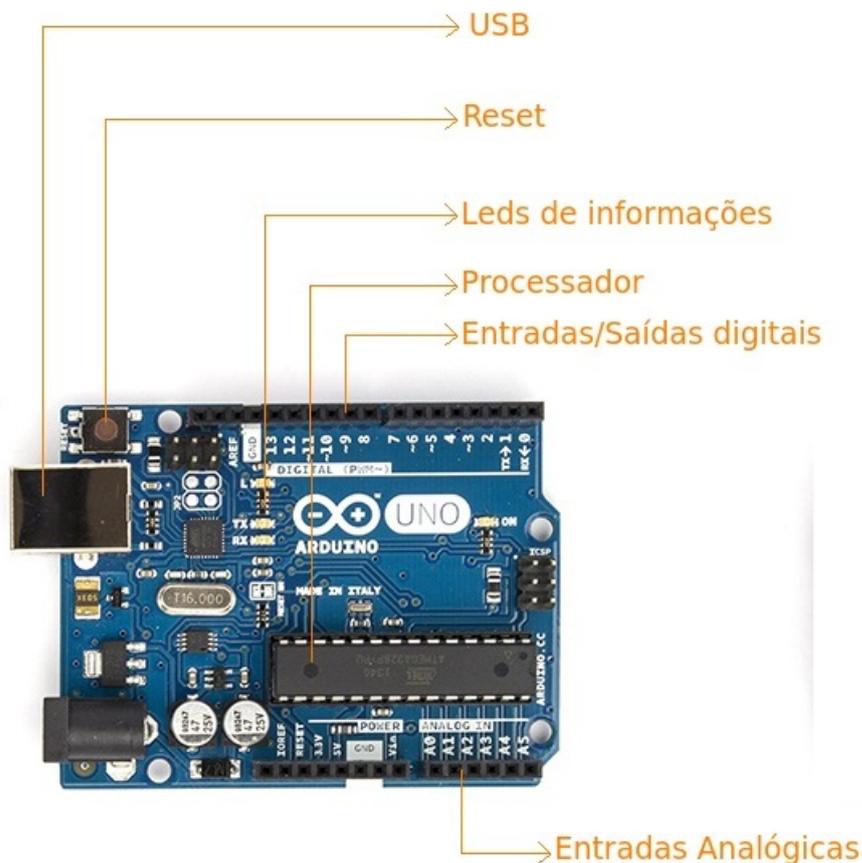


Figura 2.10: Entradas e saídas do Arduino

2.3.2 O PWM

Uma das funções existentes no Arduino, que será necessária para a implementação do projeto, são saídas pulsantes, ou seja, saídas *Pulse Width Modulation* (PWM) (*Pulse Width Modulation*). Muitos livros tratam essas saídas como analógicas, mas na verdade são saídas digitais que funcionam através de modulação por largura de pulso. A modulação de pulso nada mais é que a alteração da largura do pulso de um sinal de onda quadrada.

No Arduino, esta função é definida como *analogWrite*, e trabalha com 8 bits. Esses 8 bits funcionam como um contador, portanto, ele trabalha com uma relação entre o tempo selecionado e a tensão de 0V ou 5V. Por exemplo, quando é configurado com o valor de 127, a saída ficará alta em nível 50 % do pulso e os outros 50 % estará em nível baixo. Portanto a tensão média será 2,5 V o que pode ser visto com mais detalhes na figura abaixo. O Arduino Uno pos-

sui 6 saídas PWM, observadas na figura 2.11, na qual todas as saídas se encontram marcadas com um \sim , e formam dois grupos, os pinos 5 e 6 trabalham com uma frequência de 1kHz e os pinos 3, 9, 10 e 11 com 500Hz. (ARDUINO.CC, 2015)

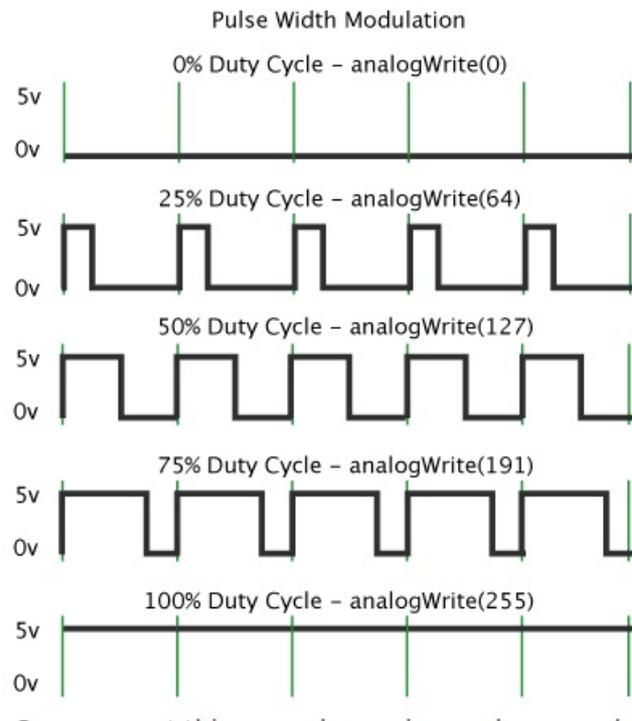


Figura 2.11: Pulso PWM

2.3.3 Amplificador Operacional

Na implementação do trabalho, houve a necessidade da utilização de um *Amplificador Operacional* (AMPOP) conectado ao circuito que emula uma fonte PSE. OAMPOP é conectado na saída PWM do Arduino e foi projetado para que funcione ampliando a tensão injetada pela saída analógica. Essa implementação serviu para possibilitar que a tensão injetada pelo Emulador PSE atinja valores equivalentes às fases de detecção e classificação.

Para esta aplicação foi utilizada uma configuração de circuito amplificador não-inversor com malha fechada. Portanto, a tensão de saída terá um ganho positivo em relação a tensão de entrada. Como a tensão diferencial entre o terminal positivo e o terminal negativo é zero, devido ao curto circuito virtual existente, as tensões dos terminais são espelhadas. Com isso é possível analisar o funcionamento do AMPOP.

Uma vez que V_i (tensão de entrada) é igual a tensão no terminal negativo é possível se obter a diferença de potencial de R_1 e, como a corrente no terminal negativo é zero, entende-se

que a corrente que passa pelo resistor R_1 é igual a corrente que passa pelo resistor R_2 . Sendo assim, pode-se dizer que o valor de V_o (tensão de saída) é $V_{R1} + V_{R2}$. Dessa forma, é possível concluir que o ganho deste circuito é uma relação entre R_1 e R_2 e o ganho do amplificador é calculado através da fórmula $1 + R_2/R_1$. Podemos verificar o funcionamento e os resultados analisando a Figura 2.12.(PERTENCE, 2003)

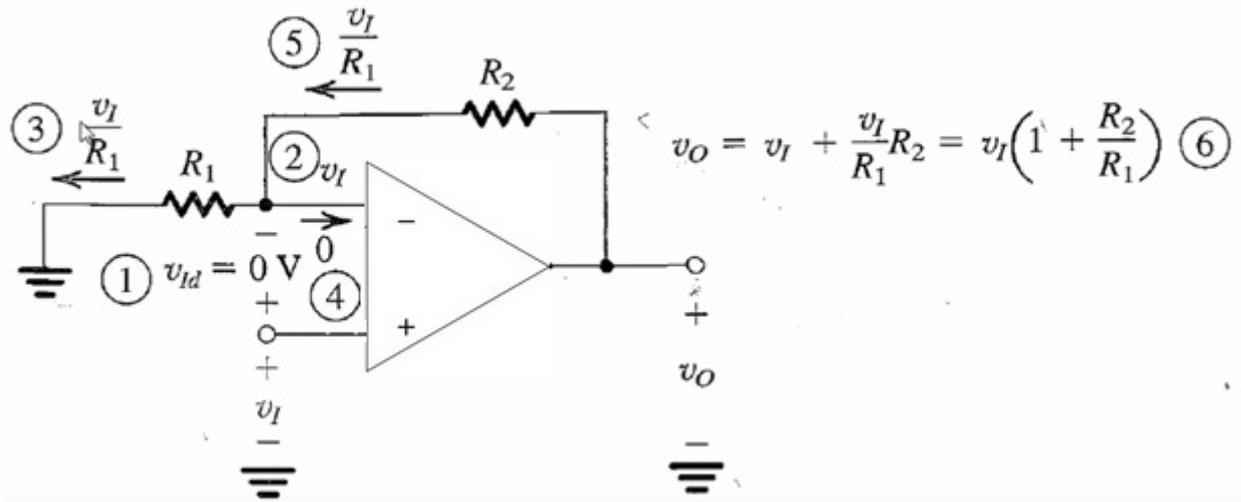


Figura 2.12: Circuito não-inversor (VITORINO, 2012)

2.4 Conclusão

A realização de testes de certificação em equipamentos IEEE802.3AF e AT não é trivial. Essas normas, possuem protocolos físicos e de enlace que necessitam de uma série de procedimentos específicos.

A realização manual de testes de conformidade em equipamentos PoE pode levar um tempo considerável e a possibilidade de automatizar um subconjunto destes testes é o ponto a ser investigado.

O projeto proposto se enquadra dentro deste contexto e teve como função a realização de testes de conformidade aplicados de forma automatizada focando a fase de detecção. No próximo capítulo é explorado o projeto realizado para a plataforma de teste.

3 Certificador de Assinatura de detecção da tecnologia PoE

Este capítulo apresenta o projeto do certificador de assinatura do protocolo PoE IEEE802.3AF. O foco do trabalho foi na certificação da fase de detecção dos dispositivos PSE, ou seja, os dispositivos fonte de energia. A detecção de assinatura é a primeira de 5 etapas do protocolo. Uma homologação de um equipamento deve se aplicar sobre todas estas etapas. Entretanto, dado a complexidade e restrições de tempo, o escopo do trabalho foi restrito a esta primeira etapa.

Inicialmente é apresentada uma visão geral do sistema de Certificação de Detecção de Assinatura do PoE. Na sequência, são detalhados o *hardware* e o *software* de um emulador de PD que permite emular o comportamento do PD e verificar o funcionamento do PSE. Em seguida, são descritos o *hardware* e o *software* de um emulador PSE desenvolvido para gerar diferentes situações do comportamento do PSE.

3.1 Visão Geral do Sistema de Certificação de Detecção de Assinatura do PoE

Na primeira fase do PoE IEEE802.3AF, a detecção de assinatura, a função da fonte PSE é verificar se o equipamento passivo PD possui uma resistência específica. A norma prevê que para não ocorrer erros que possam causar danos à interface de rede do equipamento PD é necessário que o PSE passe para a próxima fase somente após o reconhecimento de uma carga entre $19K\Omega$ e $26,5K\Omega$.

Outras duas características importantes nesta etapa são os valores de tensões enviadas pelo PSE, primeiramente enviando um pulso de 2,8V e em seguida um segundo pulso de 10,5V, além de possuir um tempo máximo para etapa, que é de 500ms, para que não danifique nenhum equipamento.

A Figura 3.1 proporciona uma visão geral do sistema de detecção projetado. Pode-se identificar dois componentes básicos: um Emulador de PSE e um Certificador de PSE. Este último emula o comportamento de um PD e permite reconhecer se o PSE está atuando dentro da norma. O objetivo inicial foi o de validar o PSE mas logo concluiu-se a necessidade de construir um emulador de PSE capaz de simular o comportamento inicial do mesmo que é a geração de um patamar de tensão a ser detectado pelo PD. Desta forma, pode-se gerar patamares dentro e fora do padrão previsto e testar se o certificador de PSE realmente consegue homologar o PSE.

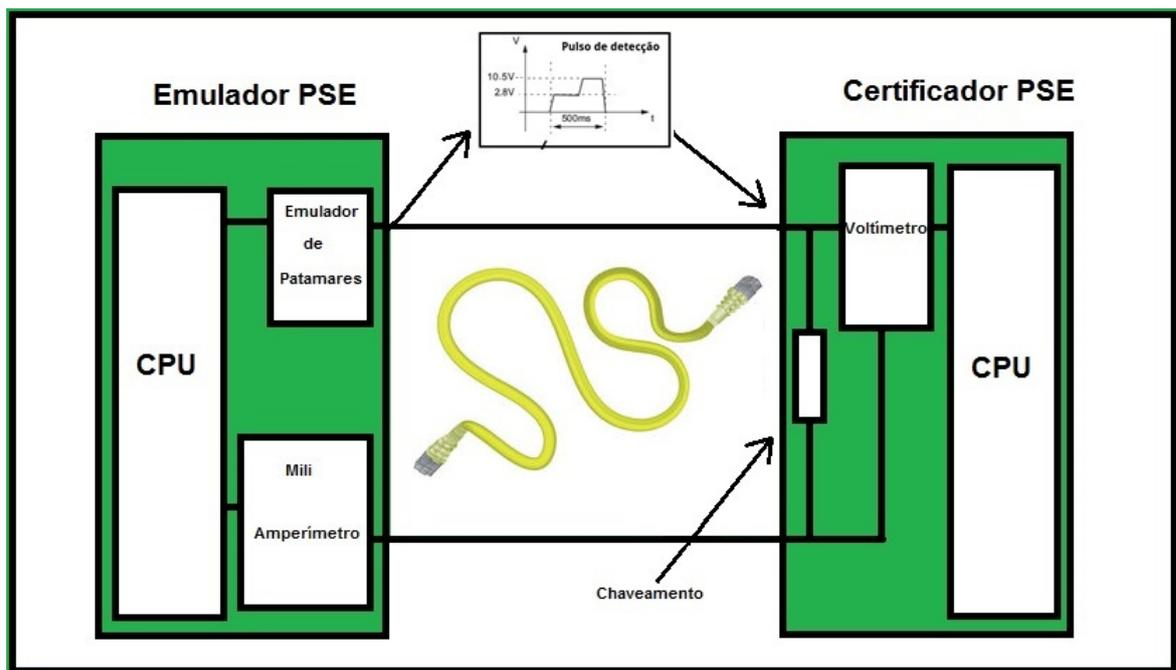


Figura 3.1: Visão geral do Emulador de PSE e do Certificador de PSE

Em termos de *hardware*, o emulador de PSE deve ter um gerador de tensão controlado capaz de gerar os patamares de tensão desejados. Como o certificador de PD, ao reconhecer o patamar coloca uma impedância específica produzindo uma corrente elétrica de valor determinado, o emulador de PSE também deve ser capaz de medir a corrente no circuito no momento que está gerando o patamar de tensão. Neste sentido, o emulador de PSE também deve ter um miliamperímetro.

No lado do Certificador é necessário um circuito reconhecedor do padrão associado ao patamar de tensão forçado pelo emulador de PSE. Também existe a necessidade de um chaveador de impedância capaz de gerar impedâncias associados a assinatura de detecção e também fora deste padrão. Através deste protótipo, é possível realizar testes de conformidade das fontes PSE que alimentam o circuito tanto com a alternativa A quanto com a alternativa B, visto que foi projetado para um teste universal dessa tecnologia.

Desta forma, com o sistema projetado pode-se validar o Certificador de PSE.

Na sequência, são descritos cada um dos componentes do sistema.

3.2 O Certificador de PSE

O objetivo do Certificador de PSE é permitir que uma fonte PoE homologada ou não, seja conectada a ele para que ocorra a sua análise de certificação. Essa análise acontece por meio de uma bateria de testes elaborados.

O certificador de PSE, nesta etapa, será capaz de reconhecer o tempo total em que ocorreu o pulso de detecção, o tempo de cada patamar, os valores de tensão dos patamares, se houve irregularidades durante os testes realizados e se a fonte injetora de tensão está ou não cumprindo a norma IEEE802.3AF. Além dessa validação o certificador será capaz de gerar o chaveamento de impedâncias relacionados com a assinatura de detecção. O certificador de PSE é composto por um *hardware* de alta capacidade de leitura e escrita e um *software* capaz de testar e analisar todas as características do pulso de detecção além de agir ativamente realizando chaveamentos. Esses componentes são descritos na sequência.

3.2.1 *Hardware* do Certificador de PSE

O *hardware* do Certificador possui um divisor de tensão na interface do cabo de rede projetado para condicionar a tensão recebida do PSE para que seja injetado em uma entrada analógica de um Arduino. Desta forma um programa poderá identificar e validar os padrões recebidos do PSE.

Adicionalmente, projetou-se um subsistema de chaveamento de carga também colocado na entrada do sistema. Desta forma, uma vez reconhecido o padrão inicial do PSE, o Certificador pode chavear um circuito inicialmente aberto (considerando que o divisor de tensão possui alta resistência) para a carga padrão. A figura 3.2 mostra o esquema completo do equipamento de certificação.

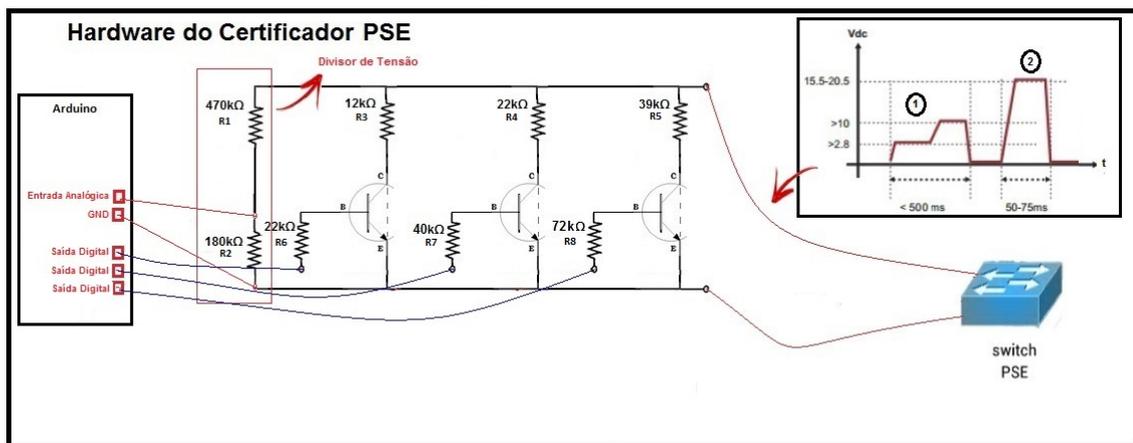


Figura 3.2: Visão geral do hardware do Equipamento de Certificado de PSE

Foi escolhido para utilizar como hardware central do projeto, o Arduino. Essa escolha foi atribuída pelo fato de dele possuir as seguintes características:

- Possibilidade de ler tensões com suas entradas analógicas;
- Possibilidade de leitura de uma entrada na casa de micro segundos;
- Possui plataforma programável;
- Baixo Custo;
- *software e hardware* serem abertos.

É possível verificar através da figura 3.2, que foi criado um circuito utilizando alguns resistores e transistores. Inicialmente foi projetado a construção de um divisor de tensão (R1 e R2), o qual possui a finalidade de limitar uma tensão máxima de 5V na entrada analógica do Arduino, a fim de não danificá-la. Para um funcionamento adequado do projeto na fase de detecção, o divisor de tensão foi planejado para receber no máximo uma tensão de 18V, visto que essa é tensão máxima enviada por uma fonte PoE na fase transitória entre a detecção e classificação. Portanto, quando a fonte fornecer 18V, a diferença de potencial sobre o resistor conectado a entrada analógica do Arduino deverá ser de 5V. Foi calculado, a utilização de resistores (R3, R4 e R5) na escala de $k\Omega$, visto que na segunda parte da implementação dos testes envolvendo a detecção, foram utilizados resistores de $12k\Omega$, $22k\Omega$ e $39k\Omega$, portanto os resistores do divisor de tensão necessariamente foram arbitrados com valores maiores que os três resistores do chaveamento. Isso foi necessário pelo fato de que, ao realizar um chaveamento de carga, a corrente deverá passar pelo resistor chaveado.

Para a certificação na etapa de transição entre a fase de detecção e classificação foram implementados no projeto a utilização de três transistores NPN BC548, podendo ser verificado na Figura 3.3. Todos com a mesma finalidade, funcionar como chave. Cada um dos transistores teve sua base conectada a uma saída analógica do Arduino através de um resistor (R6, R7 e R80, para que fossem controlados. Sabe-se que para um transistor operar como uma chave fechada, é preciso que esteja saturado, e para isso acontecer a corrente de base deve ser maior ou pelo menos igual à um determinado valor especificado pelas curvas características do coletor. Portanto, para chegar ao valor exigido para saturação do transistor deve-se realizar o seguinte cálculo.

$$I_c \leq I_b \cdot \beta \quad (3.1)$$

O valor de β pode variar de acordo com o transistor, podendo ser encontrado no *datasheet* do componente. E para o cálculo de saturação deve ser utilizado sempre o valor de β mínimo. E através do *datasheet* do transistor BC548, foi visto que o valor de seu β mínimo é 120.

Devido o valor β mínimo do transistor BC548 ser 120, para que ocorra a saturação, a corrente de I_b deve possuir um valor de no mínimo 12% da corrente I_c . E neste projeto, foi estabelecido um resistor conectado à base do transistor para que I_b possuísse um valor de 20% da corrente total do circuito (I_t), garantindo assim que a saída do Arduino ao alimentar a base do transistor, mantenha-o operando. Vale lembrar que adotando esse valor, foi necessário aumentar os valores das resistências chaveadas em 20%, para que os circuitos permanecessem simulando cargas de $12K\Omega$, $22K\Omega$ e $39K\Omega$. Esse aumento foi necessário pois a corrente total do circuito no momento em que o transistor opera como chave fechada é $I_b + I_c$. Na figura 3.3 é possível analisar o circuito e a utilização dos componentes além da forma com que foi construído o circuito, visando uma implementação de chaveamento de carga.

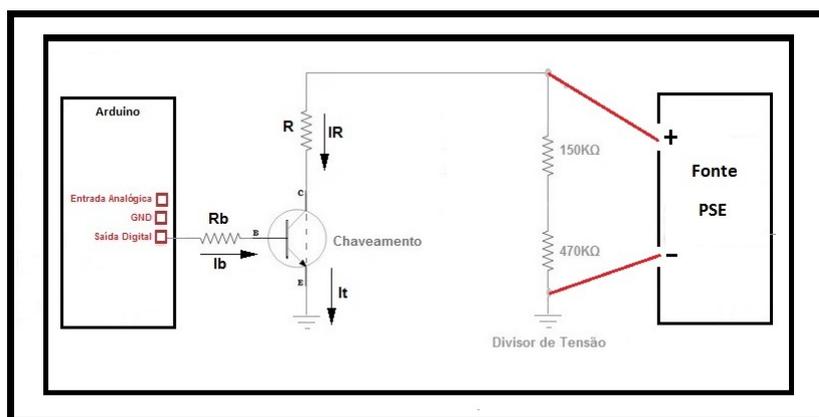


Figura 3.3: Implementação utilizando transistores com a função de chave

Para calcular o R indicado na figura para uma carga equivalente de $R_1 = 12K\Omega$ aplica-se a fórmula $R = V/I_R$ onde $V = 10.5V$ e I_R é computado por $I_t - I_b$. A corrente I_t pode ser calculada por $I_t = \frac{V}{R_1}$. A corrente I_b foi calculada para 200 resistor $R_b = \frac{V_{ard}-0.7}{I_b}$ onde V_{ard} é a tensão fornecida pelo Arduino. Para demais cargas o procedimento é similar.

3.2.2 Software do Certificador de PSE

O software do equipamento de certificação foi projetado para realizar duas etapas: (i) o reconhecimento do patamar de tensão colocado pelo PSE, validando o tempo do pulso e os níveis de tensão e, (ii) o chaveamento de carga, uma vez que o patamar tenha sido validado.

Para a realização da primeira etapa desenvolvida, foram elaborados dois procedimentos. O primeiro com a função de ler todas as tensões enviadas pela fonte PoE, a fim de informar ou não uma possível homologação. Trata-se de um procedimento rápido para habilitar a realização do segundo procedimento. Já o segundo procedimento dessa etapa possui um mecanismo mais complexo. Sua função é analisar os tempos e as tensões de cada patamar, e em seguida diagnosticar a fonte como certificada ou não nessa etapa.

A segunda etapa foi implementada para validar a transição entre a fase de detecção e classificação. Nessa etapa é realizado o chaveamento de resistências com a finalidade de verificar o comportamento da fonte PoE. Através da figura 3.4, pode-se ter uma ideia do funcionamento do software.

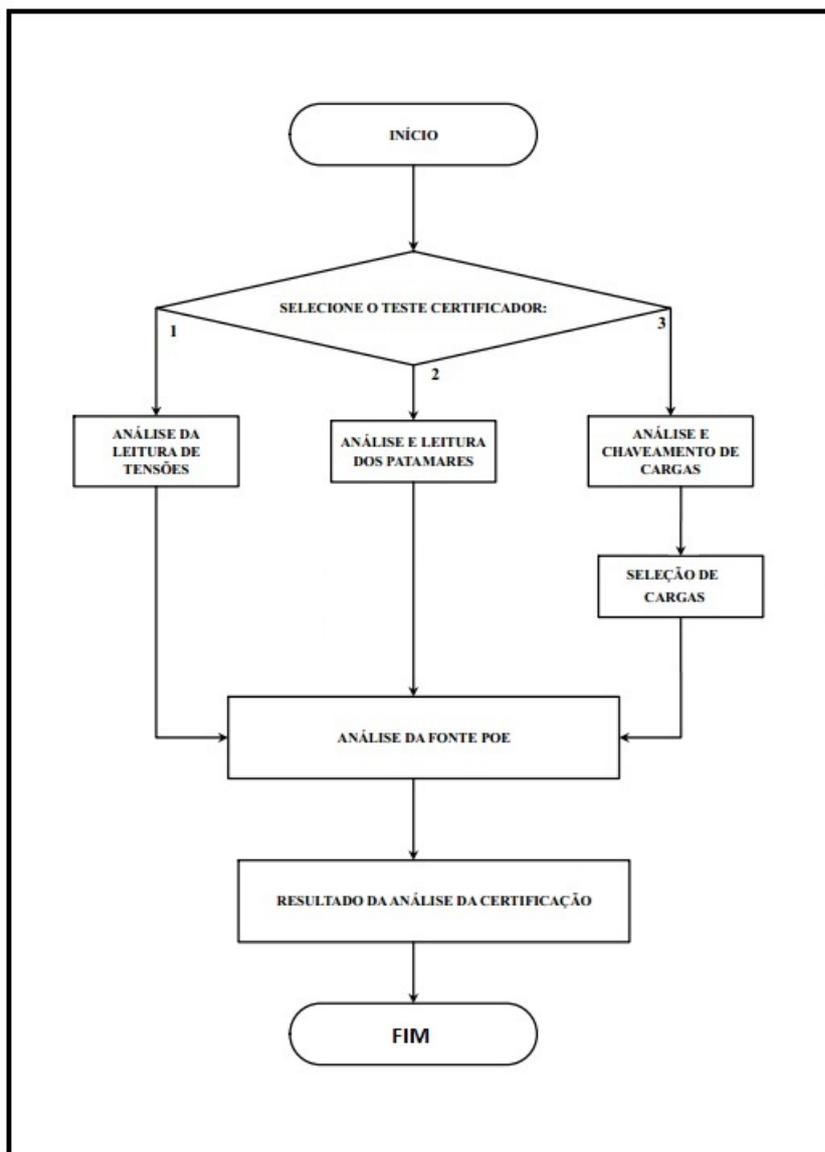


Figura 3.4: Fluxograma do Equipamento de Certificação

Na sequência estas etapas e os procedimentos são detalhados.

Análise e Leitura de Tensões O *software* de análise e leitura de tensão foi projetado com a finalidade de examinar, monitorar e garantir se as tensões enviadas pela fonte PoE em cada patamar do pulso de detecção estão de acordo com os valores estipulados pela norma. Por intermédio das entradas analógicas que o Arduino possui, foi possível implementar um voltímetro. Para que o *software* consiga realizar o monitoramento através do voltímetro e realizar uma análise, foi projetado um *timer* com o objetivo de controlar durante um determinado tempo o funcionamento do sistema.

Dessa forma, por meio do voltímetro, o Equipamento de Certificação PoE permanece monitorando as tensões enviadas pela fonte durante um intervalo de 20 segundos e após essa análise é realizado a soma de quantas vezes as tensões atingem o valor de cada patamar, ou seja, foram criados três contadores: Patamar 1, Patamar 2 e Patamar 3, que são incrementados de acordo com as coleta das tensões, verificando assim se estão entre 0V e 0,5V ou entre 2,5V e 3V, ou 10,3V e 10,8V respectivamente. Ao final do teste, ao obter os dados coletados, o *software* faz uma avaliação das tensões enviadas pela fonte PoE informando a possibilidade de certificação ou não da fonte. Se o resultado obtido for negativo, não é necessário realizar os próximos testes. Caso exista possibilidade de certificação é necessário realizar os próximos testes certificadores, para que ocorra uma possível homologação da fase de detecção. É possível uma melhor compreensão do funcionamento *software* verificando a Figura 3.5.

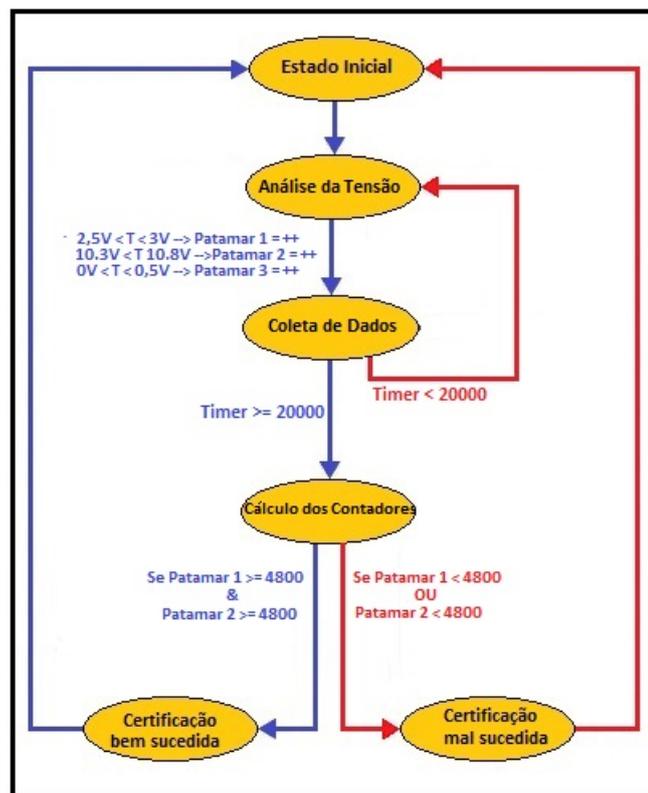


Figura 3.5: Máquina de Estado do Software de Análise e Leitura de Tensões

Como ilustrado na Figura 3.5, o *software* foi projetado para funcionar com 5 estados:

1. Estado inicial, onde é selecionado o início do *software*;
2. Análise da tensão, estado que é responsável pelo monitoramento;
3. Coleta de dados, onde é gravado o valor lido pelo voltímetro;

4. Cálculo dos contadores, estado em que acontece a análise dos resultados obtidos;
5. Resultado da análise, estado responsável por informar o resultado do teste.

O primeiro estado, nomeado como estado inicial, possui o objetivo de inicializar o programa, e essa inicialização acontece somente com a ação do usuário, resultando na ativação do *timer*. Portanto para que o *software* opere no segundo estado, obrigatoriamente deve existir um comando executado através da intervenção por parte do usuário. O estado 2, a análise de tensão, é o momento em que o voltímetro implementado no equipamento de certificação PSE mede a tensão e armazena em sua variável, em seguida passa a operar no próximo estado.

Já o estado 3, a coleta de dados, é o instante em que o software analisa o valor armazenado e incrementa um dos 4 contadores implementados no projeto (patamar 1, patamar 2, patamar 3 e outros patamares) de acordo com o valor lido. Após o incremento, é verificado se o tempo de duração do sistema já ultrapassou os 20 segundos, caso esse tempo seja superado, o *software* passa a operar no estado de cálculo de contadores, caso contrário é reencaminhado para a análise de tensão.

O estado 4, o cálculo dos contadores, resumio em coletar os valores dos patamares e analisar se a certificação foi ou não concluída com sucesso. Caso os valores do patamar 1 e patamar 2 superarem o valor de 4800 a certificação é bem sucedida, caso contrário é invalidada. O último estado tem o objetivo apenas de informar o usuário se a certificação foi ou não bem sucedida.

Análise e Leitura de Patamares Atuando em conjunto com o software de leitura de tensões, foi projetado um *software* com o objetivo de analisar e reconhecer os patamares de detecção. Com a implementação do software de leitura e análise dos patamares, é possível obter os valores das tensões injetadas nas portas de entrada analógica do Arduíno, reconhecer o início de cada pulso de detecção e calcular o tempo total de cada pulso enviado pela fonte PoE. Esse software foi planejado para que a análise do pulso ocorra em 5 estados. Através da figura 3.6 pode-se visualizar a forma com que foi segmentado o pulso de detecção para que software possa examinar com eficiência o comportamento de cada pulso.

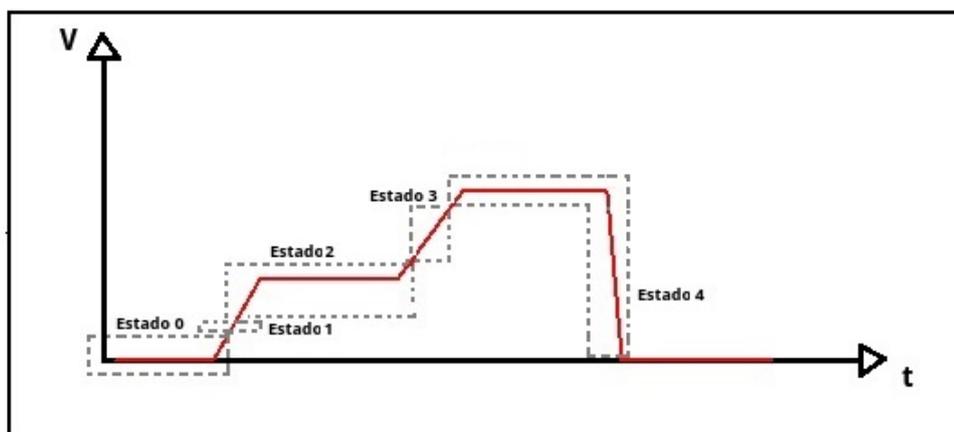


Figura 3.6: Estados analisados através do *software* de Leitura e Análise de Patamares

O software foi projetado através de uma máquina de estados, São 5 estados principais e vários eventos que realizam a transição entre eles. Abaixo será descrito e explicado o funcionamento de cada um desses estados e os eventos e as ações associadas as transições.

O primeiro estado, o 0, tem a função de sincronizar o software com a tensão 0V na linha (alimentação do PoE). Caso o princípio da análise ocorra no meio do pulso, esse estado aguarda até que o valor seja retornado a 0V. Portanto, o software só irá para o estado 1 quando a linha estiver em 0V.

O software se mantém no estado 1 enquanto não for detectado o início de um teste. Ao ser detectado o início de um pulso um *timer* (temporizador) é disparado. Ele será responsável pelo controle do tempo de realização de cada pulso. Esse relógio tem a obrigação de invalidar um pulso quando esse atingir um tempo superior aos 500ms informados na norma.

Ao ser detectado um início de patamar o sistema entra no estado 2. Nesse estado, o software é capaz de verificar o nível de tensão recebido da fonte PoE, e através do *timer* analisar se o tempo do pulso encontra-se dentro do valor previsto pela norma. O sistema só passará para o próximo estado no momento que a tensão se superar os 2,8V descrito na norma. Porém se a fonte for desligada ou encaminhar uma tensão menor que 2V, esse estado será capaz de invalidar a homologação devido uma queda brusca na tensão da fonte.

O início do segundo patamar de um pulso de detecção acontece na borda de subida do pulso após ultrapassar a tensão do primeiro patamar (2,8V). Sendo assim o *software* passa a operar no estado 3 no momento em que a tensão atinge o nível de 3V, esse testado tem como principais funcionalidades filtrar os valores das tensões e registrar o tempo total da borda de subida após o primeiro patamar.

Por fim, o estado 4 tem como função analisar o retorno do pulso até a tensão de 0V, invalidar as homologações caso superem os 500ms, ou caso ocorra um envio de tensão acima dos 10,5V descritos na IEEE802.3AF. Por fim ele julga se o pulso de detecção da fonte PSE está ou não homologada de acordo com a norma.

Através da máquina de estado ilustrado na figura 3.7 é possível obter um melhor entendimento do funcionamento do *software*.

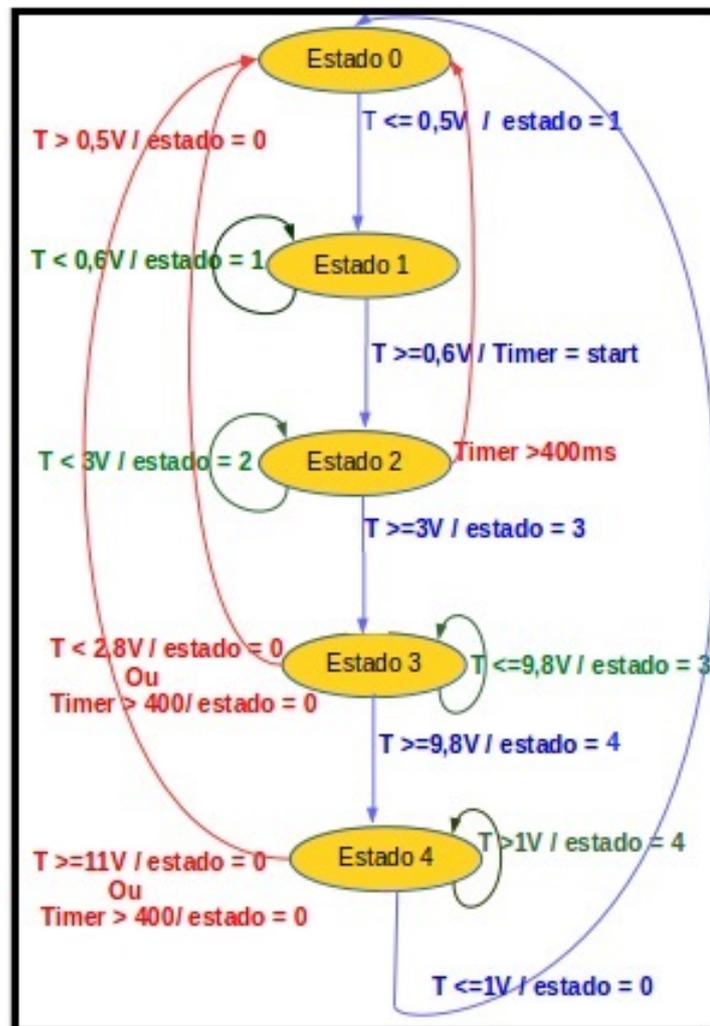


Figura 3.7: Máquina de Estado

Chaveamento de Impedâncias A segunda parte do código foi planejada para realizar um teste de chaveamento de cargas, ou seja, através do *software* é possível realizar o chaveamento de distintas resistências, com o intuito de analisar o comportamento da fonte PSE, a fim de homologar ou não a fase transitória entre a detecção e a classificação. Para isso foram utilizados transistores, operando como chaves, sendo manipulados pelas saídas digitais do Arduino, conforme descrito na seção anterior.

Ao selecionar a opção de teste de impedância, o usuário escolherá qual resistência será conectada ao circuito. Nesse projeto foram implementadas três resistências: a primeira com um valor abaixo, uma segunda com o valor dentro e uma última com o valor acima do estipulado pela norma IEEE802.3AF.

Após o software enviar o comando para que o hardware efetue o fechamento de uma chave, ele analisa o comportamento da fonte e em seguida informa se o teste realizado foi homologado ou não.

O resultado esperado quando é realizado o chaveamento de uma resistência abaixo do padrão, é que a fonte PoE não realize a etapa de transição entre a detecção e a classificação, Portanto espera-se que a fonte permaneça injetando os pulsos de detecção até que seja reconhecido um PD compatível. Qualquer resultado diferente desse, a fonte será imediatamente invalidada pelo certificador.

Quando é realizado um chaveamento que insere uma resistência dentro dos valores estipulados pela norma, espera-se que a fonte PoE reconheça essa resistência e siga para a fase de classificação. Assim para que aconteça a certificação dessa fonte, após o reconhecimento da impedância a fonte deverá injetar uma tensão entre 15,5V e 20V, caso contrário o certificador irá invalidar a homologação.

Por fim, quando o software dá o comando para chavear uma resistência acima do valor estipulado pelo padrão, a fonte PoE deverá atuar de acordo com o seu comportamento quando é realizado um chaveamento com cargas inferiores. Espera-se que a fonte reconheça o PD como incompatível com o padrão IEEE802.3AF, e permaneça enviando o pulso de detecção até que seja conectado um PD compatível. Novamente qualquer comportamento diferente do informado acima, o certificador invalidará a homologação.

A figurar 3.8 mostra com detalhes o funcionamento da certificação através de chaveamento de impedâncias.

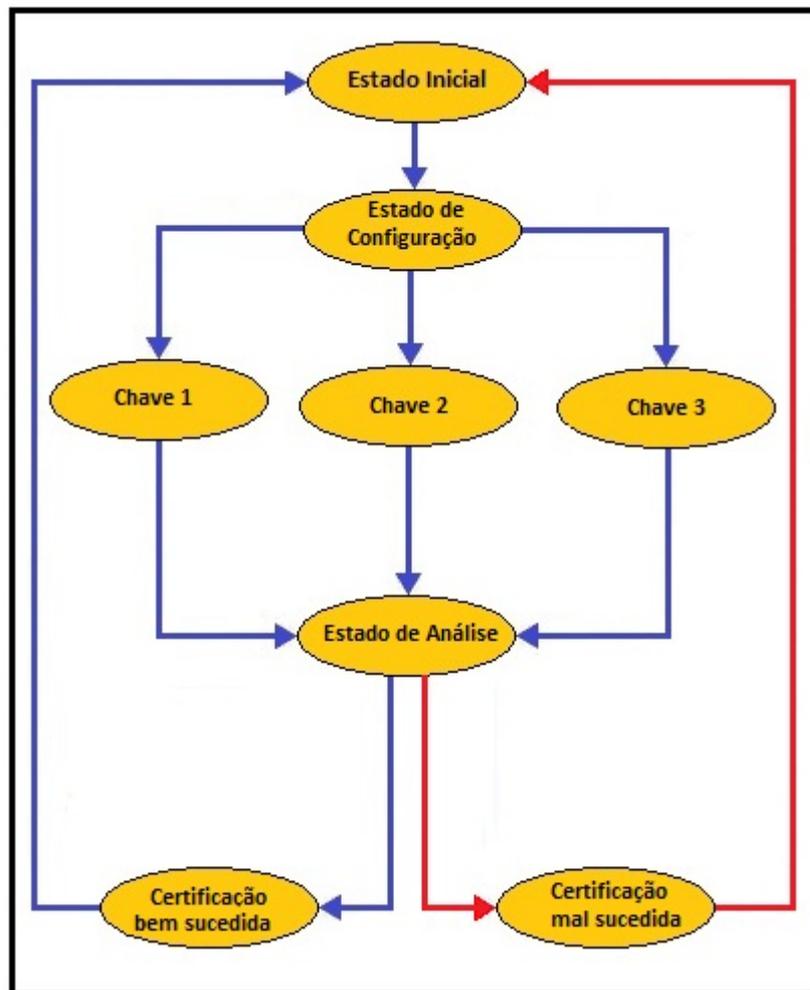


Figura 3.8: Máquina de Estado do Software de chaveamento

3.3 Emulador de PSE

O emulador de PSE foi projetado com a finalidade de emular uma fonte PSE. Este emulador servirá para simular variados tipos de fonte PoE com o intuito de validar as homologações do certificador. Com a utilização desse equipamento, será possível a programação de fontes compatíveis e incompatíveis com as determinações da norma IEEE802.3AF, a fim de regular e examinar o comportamento do certificador.

3.3.1 Hardware do Emulador de PSE

O Emulador de PSE se comporta basicamente como uma fonte de tensão controlada programável. Para tanto foi usado uma plataforma Arduíno sendo uma das saídas PWM usada como base para uma fonte de alimentação controlada. A saída PWM (Pulse Width Modulation)

gera uma tensão pulsante e, através do software é possível controlar a frequência de uma onda retangular e também o tempo em que o sinal fica em nível lógico alto (duty cycle), podendo-se obter dessa forma tensões médias nos valores entre 0V e 5V. Para se obter um nível DC a partir do PWM, deve-se utilizar um filtro RC em série conectado a esta saída, de forma a filtrar as frequências mais altas do sinal. Pode-se obter um melhor entendimento analisando a Figura 3.9.

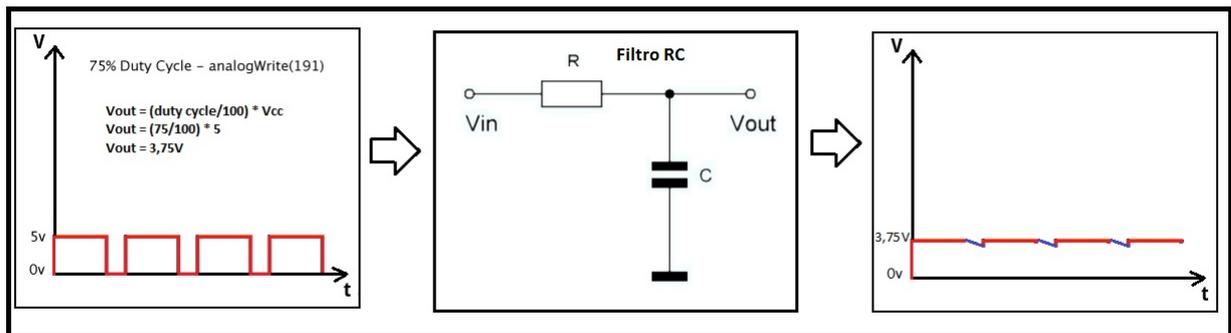


Figura 3.9: Tensão após a passagem pelo filtro

Um filtro passa baixa desta natureza pode ser calculado baseando-se na frequência de corte que é dada por:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.2)$$

Na saída do filtro RC obtém-se tensões quase contínuas e controláveis entre 0V e 5V, via programação do *duty cycle*. Como consequência, é necessário a implementação de um circuito amplificador, visto que na fase de detecção de assinatura, as tensões enviadas pela fonte PSE variam de 0V à 10,5V e na etapa de transição da detecção para a classificação variam de 15,5V à 20,5V.

O circuito amplificador utilizado foi baseado no ampop LM741. Conforme explicado no capítulo 2, fazendo uso desse componente é possível obter ganhos consideráveis das tensões de entrada. A configuração utilizada no sistema é de um circuito amplificador não-inversor em malha fechada, sendo que o ganho adquirido de tensão após a passagem pelo amplificador está diretamente relacionado com as resistências adotadas em R2 e R1 que pode ser vista através da figura 3.10. Ao analisar a Figura pode-se verificar que os valores adotados para R1 e R2, foram respectivamente 39KΩ e 120KΩ. Através do cálculo do ganho é possível concluir que a tensão de saída será 4,08 vezes maior que a tensão de entrada. Consequentemente as tensões de saída poderão alcançar valores entre 0V à 20,5V.

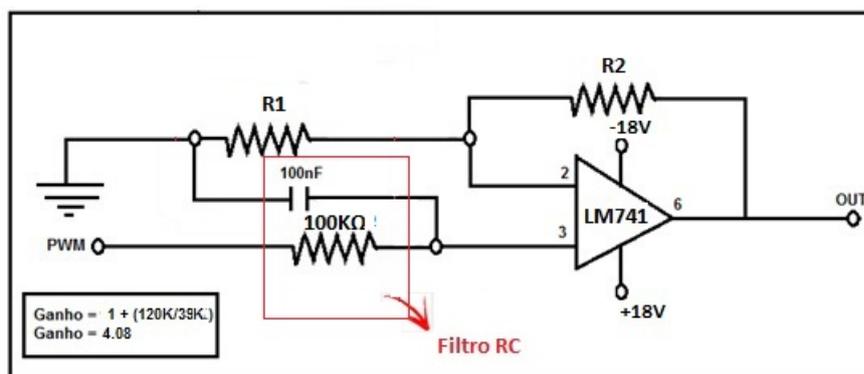


Figura 3.10: Circuito amplificador utilizado na implementação

Para o sistema realizar a etapa de transição entre a fase de detecção e a fase de classificação é necessário que o sistema consiga analisar leituras de impedâncias distintas, ou seja, para que o emulador consiga passar para a fase de classificação, deverá reconhecer o PD como compatível, e esse reconhecimento acontece através de um chaveamento de carga por parte do PD.

A fase de transição acontece no momento em que é gerado o patamar de 10.5V no PSE. Para que o Emulador passe a enviar o pulso de classificação é necessário o reconhecimento de uma resistência dentro dos padrões da norma. Esse reconhecimento acontece através de uma implementação de um miliamperímetro projetado no hardware do Emulador, capaz de averiguar o valor da resistência do PD. Na realização desse sistema foi inserido um resistor de baixa resistência, que pode ser visto na Figura 3.11 nomeado como R_a (Resistor amperímetro). Na construção do miliamperímetro foi adotado um valor baixo para o resistor R_a em relação aos outros, para que ele não interfira no restante do funcionamento do circuito.

A funcionalidade de reconhecimento de impedância do miliamperímetro, baseia-se em calcular a diferença de potencial entre os terminais do resistor R_a . Como o valor da resistência de R_a já é conhecido, ao medir o valor de sua tensão é possível obter o valor da corrente que passa no sistema. Com a obtenção da corrente do sistema em conjunto com a tensão que é injetada pelo Emulador no momento da transição (10.5V), é possível calcular a resistência equivalente do PD.

Uma vez que o valor medido da tensão em cima do resistor R_a é muito pequeno, foi necessário projetar um amplificador operacional com a finalidade de reduzir os erros de medição. Visto que ao amplificar as tensões coletadas, os intervalos medidos, passam a ser ampliados. Por exemplo, quando o PD chavear uma carga de 18KΩ, a tensão lida em cima do resistor R_a será de aproximadamente 0,37V, já chaveando uma resistência de 19KΩ, a tensão lida passa a ser de aproximadamente 0,35V, com a utilização de um amplificador com um ganho de 10 por

exemplo, as tensões lidas passam a ser respectivamente 3,7V e 3,5V, ou seja ao amplificar as tensões lidas foi ampliado o intervalo entre as tensões que antes era de 0,02V passou a ser de 0,2V, com isso reduziu a possibilidade de uma leitura equivocada.

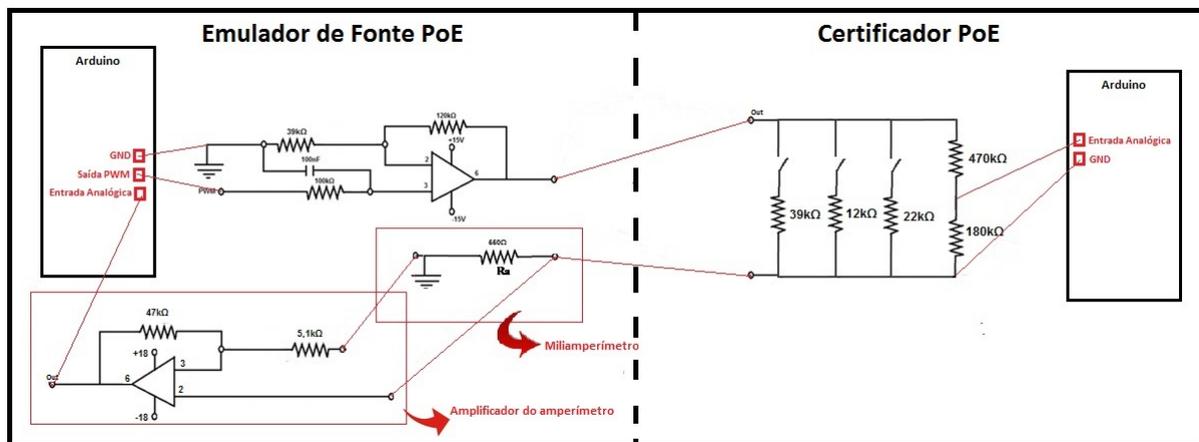


Figura 3.11: Visão Geral do Hardware Emulador integrado ao PD

3.3.2 Software do Emulador

Foi projetado um software para o sistema de emulador de fonte PSE, para que em conjunto com o hardware do Arduino seja possível criar uma plataforma de testes flexíveis. Desta forma é possível gerar uma grande quantidade de configurações de pulsos aferindo assim o funcionamento do certificador.

Para essa implementação do software, foram utilizados alguns recursos existentes na plataforma do Arduino como:

- Criação de um timer;
- Configuração e monitoramento das saídas PWM;
- Geração de vários patamares de tensão da porta PWM;
- Sincronismo entre o timer e os valores das saídas PWM;
- Função voltímetro.

Através do software, o usuário tem a possibilidade de escolher a duração de cada patamar, os níveis de tensões enviados e a quantidade de vezes em que será enviado o pulso configurado (quantidade de ciclos).

O *software* do Emulador se utiliza de um *timer* (temporizador), o qual será utilizado para controlar o *duty cycle* do PWM do Arduino. Com isso o código possuirá quatro variáveis de tempo, t_0 , t_1 , t_2 e t_3 , funcionando em concomitância, com três variáveis de tensões, V_1 , V_2 e V_3 e por fim uma variável nomeada como *ciclos*, que será o número de vezes que se repetirá o pulso de detecção configurado. Todas essas variáveis devem ser configuradas pelo usuário na inicialização do software.

O ajuste inicial do software de emulação serve para configurar um pulso de detecção. O software pode ser representado por três estados. Um primeiro que é iniciado em t_0 e finalizado em t_1 , com uma tensão de V_1 , esse estado pode ser nomeado como período de repouso, visto que geralmente t_0 é configurado como 0 segundos e V_1 é com uma tensão de 0V. Já o segundo estado, é equivalente ao primeiro patamar do pulso de detecção, seu tempo de duração está relacionado com o valor atribuído a t_1 e a t_2 , e o valor de sua tensão com o V_2 . Por fim o terceiro e último estado é correspondente ao terceiro patamar, seu início acontece em t_2 e seu término em t_3 e sua tensão é o valor atribuído ao V_3 .

Portando o funcionamento do softwares pode ser resumido da seguinte maneira:

Ao iniciar o software, o usuário deverá digitar os valores adotados para os quatro valores de tempo: t_0 , t_1 , t_2 e t_3 . Em seguida 3 valores de tensão: V_1 , V_2 e V_3 . Geralmente será configurado t_0 como 0s, pois marcará o início do pulso. O valor de t_1 menos t_0 será o tempo de duração do primeiro estado, com uma tensão configurada através da variável V_1 , que quase sempre é configurada com o valor de 0V, informando o período de repouso da fonte. O valor atribuído a t_2 menos t_1 será o tempo de duração do primeiro patamar, com uma tensão no valor de V_2 . Já o valor inserido de t_3 menos t_2 será o tempo de duração do segundo patamar com uma tensão de V_3 .

Após essas configurações será escolhido a quantidade de vezes que esse pulso se repetirá, escolhendo um valor para a variável *ciclos*. Com a análise de um exemplo de pulso configurado através da Figura 3.12 e do fluxograma encontrado na Figura 3.13, é possível obter uma noção do funcionamento do programa.

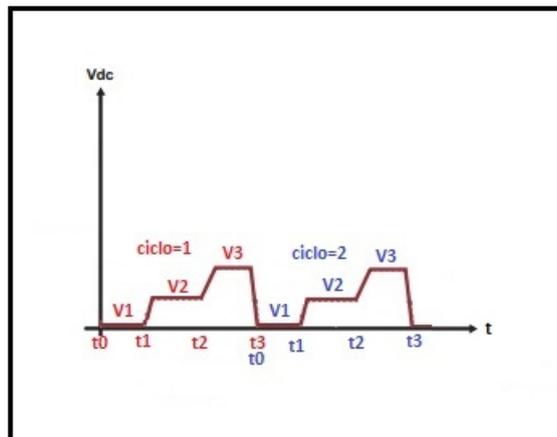


Figura 3.12: Exemplo de configuração do pulso de detecção do Emulador PSE

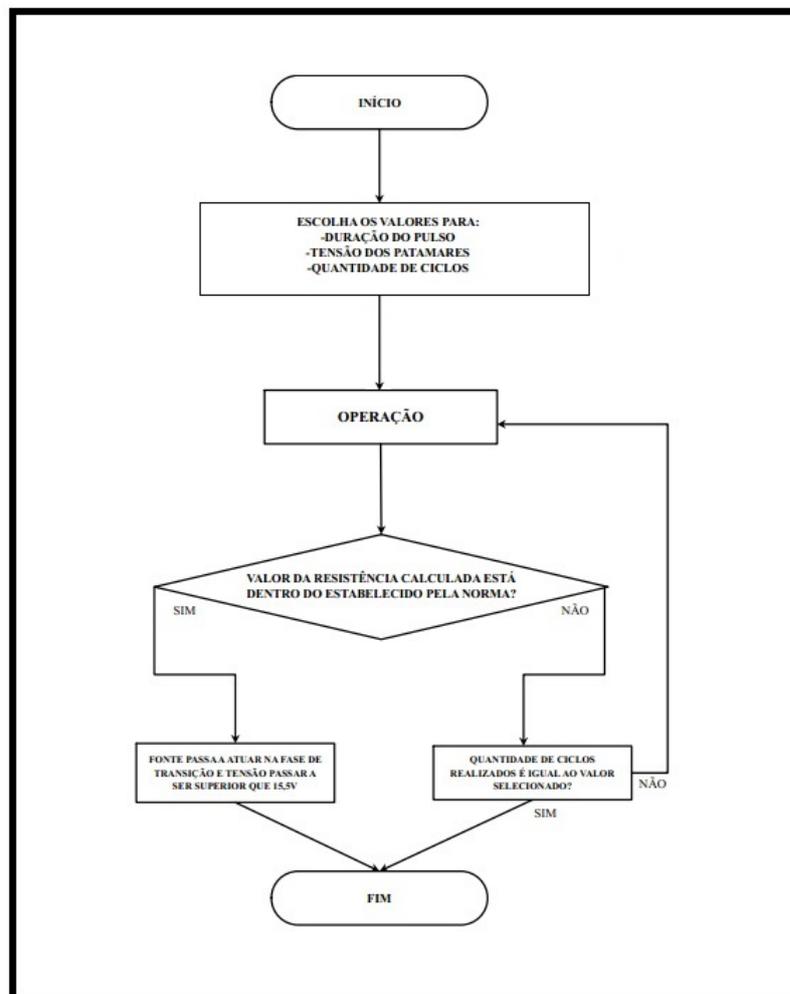


Figura 3.13: Fluxograma do *Software* Do Equipamento Emulador

Para realizar a configuração dos valores de cada tensão, serão configurados valores entre

0 e 255, visto que as saídas PWM são tensões médias de pulsos digitais que trabalham com registradores de 8 bits. Os valores das tensões poderão ser configuradas com valores 0V e 18V. Para que seja obtido um melhor entendimento de qual valor binário corresponderá ao valor decimal, pode ser calculado através de uma regra de três simples, por exemplo, ao utilizar um valor de 40 no registrador, é obtido 2,8V e um valor de 149 para obter 10,5V.

Após a escolha do número de ciclos, a fonte entra em estado de operação. É nesta etapa que o software foi planejado para executar o reconhecimento do valor da impedância no circuito do PD, a fim de validar a compatibilidade com o padrão IEEE802.3AF. Para a realização dessa etapa, conforme já mencionado, foi implementado um miliamperímetro no Emulador de PSE que faz a verificação da corrente do sistema no momento em que é iniciado o segundo patamar, ou seja, o momento em que é injetado a tensão V_3 .

Quando a fonte entra no último estágio do pulso, que supera o tempo de t_2 , momento em que inicia-se o envio da tensão V_3 , é acionado o miliamperímetro, o qual faz a verificação da tensão em cima do resistor R_a , calculando a corrente. Através dessa corrente é possível obter o valor da resistência do PD, a fim de analisar se a impedância calculada está dentro dos valores exigidos pela norma. O funcionamento do software pode ser melhor analisado através da figura 3.14, que descreve a máquina de estados dessa etapa do *software*.

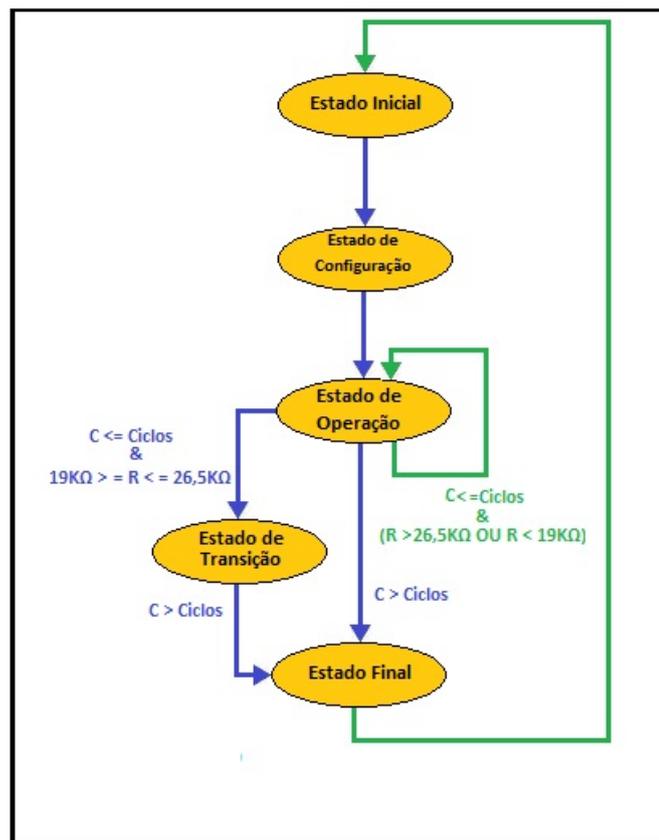


Figura 3.14: Máquina de Estado do Software do Emulador

3.4 Visão da Certificação nas 5 Fases

Próximas Etapas do Certificador Para finalizar uma homologação completa da tecnologia IEEE802.3AF, é necessário a implementação de um projeto que abranja todas as suas 5 fases. Como a elaboração de testes certificadores dessa tecnologia envolve etapas bastante complexas, foi desenvolvido e implementado apenas os testes certificadores da fase de detecção e sua transição para a classificação. Portanto nos próximos parágrafos serão descritos as necessidades envolvidas no projeto para que sejam implementados os testes certificadores para todas as etapas dessa tecnologia.

Sabe-se que após finalizar a fase de detecção, a tecnologia utiliza de um protocolo físico para realizar a fase de classificação. Segundo a norma IEEE802.3AF, essa etapa não é obrigatória nos dispositivos PSE, visto que a sua principal funcionalidade é realizar o controle da potência, ou seja, ela serve para que haja um controle da potência total enviada pelo PSE. A existência dessa etapa somente possui utilidade quando implementada em switches, haja vista possuírem várias portas com a tecnologia PoE, porém, há um limite máximo de potência total

enviada. A norma exige que nesta fase seja enviado um pulso entre 15,5V e 20,5V com a faixa de tempo entre 50ms e 70ms e através dessa tensão é calculada a potência que será enviada para o PD.

Para a elaboração de um sistema de certificação da fase de classificação pode ser adaptado um novo divisor de tensão, planejado para receber tensões de até 20,5V na entrada do hardware certificador. Essa alteração é possível através de um chaveamento de resistências. Novamente a implementação do software de certificação necessitará de um voltímetro trabalhando em sincronismo com um *timer*, para que o certificador reconheça o valor da tensão e o tempo total do pulso de classificação. Nessa etapa do projeto, o software deverá verificar se a fonte possui ou não a fase de classificação. Não havendo a classificação, o certificador realizará o reconhecimento e deverá pular diretamente para a homologação da fase de envio de tensão, caso contrário analisará o comportamento da norma e informará ao usuário através de sua interface gráfica o valor da tensão enviada e do tempo total do pulso. Caso o padrão da fonte PSE seja o IEEE802.3AT, será necessário realizar um teste certificador na camada de enlace. Visto que este padrão possui um protocolo, o LLDP, para realizar a verificação da quantidade de potência será enviado para o PD. Neste caso poderá ser projetado um sistema de troca de pacotes, afim de forçar negociações e de analisar quais pacotes estão sendo enviados pela fonte. Neste teste de conformidade, existe a possibilidade de utilizar softwares que realizam varreduras na rede, para que seja analisado o comportamento da fonte PSE nesta etapa.

O sistema de certificação da fase de início de alimentação possuirá características bem próximas da fase de classificação, visto que nesta etapa o equipamento certificador deverá realizar dois controles, o valor da tensão enviada e o tempo total do início da alimentação até o momento em que é atingido a tensão total de alimentação. Como a tensão pode chegar até 57V, pode ser necessário novamente alterar o divisor de tensão para um valor que ao receber 57V não ultrapasse os 5V permitidos na entrada analógica do Arduino. Novamente o software necessitará de um *timer* que será o responsável por analisar se o tempo de início não ultrapassou os 15 micro segundos exigidos na norma. Ao final do teste o certificador deverá informar ao usuário o tempo do início e o valor da tensão da fonte, além de gerar a informação se a fonte foi ou não homologada na fase de início da alimentação.

A fase de operação, em conjunto com a detecção são as fases mais complexas, visto que nessa etapa para que ocorra uma validação da fonte é necessário analisar variados comportamentos. Na operação, o equipamento de certificação deverá realizar o controle dos limites de funcionamento da fonte, analisar e calcular os valores da corrente que passam pelo sistema, e julgar o comportamento de acordo com o chaveamento realizado. Para realizar o projeto do

sistema de certificação deverá ser levado em consideração os limites de operação que pode ser vistos nas figuras 2.6 e 2.7.

O hardware pode ser adaptado para realizar o chaveamento de cargas a fim de validar o comportamento da fonte em três casos distintos:

1. chaveando para uma resistência em que a corrente fique abaixo dos 5mA valor mínimo da corrente exigida pela norma;
2. chaveando para uma resistência em que a corrente esteja dentro do limite;
3. chaveando para uma resistência que faça com que a corrente se eleve acima dos 450mA permitidos pela norma.

Para a implantação do sistema de certificação poderá ser utilizado o mesmo divisor de tensão da fase anterior, visto que a tensão máxima encaminhada é a mesma. Existe a necessidade de utilização de transistores operando com a função de chaveamento, exatamente como foi elaborado na fase de detecção, e um miliamperímetro a fim de verificar as correntes do sistema após os chaveamentos.

A última fase pertencente ao protocolo da tecnologia IEEE802.3AF é a desconexão, para a realização de um teste certificador dessa etapa será necessário que o equipamento de certificação analise dois comportamentos da fonte: a tensão e o tempo total desde o desligamento até a tensão cair à 0V. Para isso é necessário a utilização do voltímetro em sincronismo a um *timer*. Na homologação desta etapa o certificador irá analisar a desconexão da fonte através de seu relógio, e quando for verificado que a tensão atingiu 0V, será impresso na interface gráfica o tempo de desconexão, que para uma homologação bem sucedida deverá acontecer entre 360 e 460 segundos.

Próximas Etapas do Emulador PSE Para que seja possível validar os testes homologadores de todas as etapas do equipamento de certificação, será necessário dar continuidade na implementação do equipamento emulador de fonte PSE. Assim como no certificador, o Emulador deverá comportar-se diferentemente em cada fase. Na fase de classificação a fonte PSE tem a finalidade de enviar tensões entre 15,5V e 20,5V, com isso para a elaboração do sistema de emulação nesta fase pode ser necessário alterar o amplificador utilizado, visto que o LM741, possui uma limitação da tensão amplificada de no máximo 18V. Como a classificação possui apenas a função de controle da potência total enviada, o emulador além de possuir a função de fonte controlada, deverá através do miliamperímetro utilizado na detecção, calcular a corrente absorvida pelo PD a fim de calcular a potência total do sistema.

Na fase de início da alimentação a necessidade será projetar o emulador para que atinja tensões de até 57V, e um tempo de resposta que não pode ultrapassar os $15\mu s$ dos estabelecidos pela norma, desta forma deverá ser calculado um filtro RC para que cumpra esses requisitos.

Após a fase de início da alimentação, será projetado para que a fonte controlada do emulador entre em operação, passando a enviar uma tensão contínua entre 44V e 57V. Além disso com a leitura do miliamperímetro deverá ser analisada continuamente se a corrente do sistema encontra-se dentro dos limites de operação, ou seja, no momento em que for registrado um pico ou uma queda brusca de corrente a fonte deverá passar para a fase de desconexão, caso contrário permanecerá alimentando o PD.

Por fim, para finalizar, a implementação do emulador de fonte PSE, será projetado através do Arduino um software para operar na fase de desconexão. Nesta etapa será elaborado um sistema que permitirá a configuração de uma fonte PoE que atue realizando dois comportamentos distintos: um primeiro que terá a duração de desligamento dentro dos valores estipulados pela norma e um outro realizando um desligamento demorado. Dessa forma haverá possibilidades do certificado analisar o comportamento das fontes homologada e não homologadas.

3.5 Conclusão

O projeto planejado e elaborado teve a função de analisar e certificar a tecnologia PoE, normatizada pela IEEE802.3AF. A proposta inicial era realizar um projeto de implementação da homologação completo, envolvendo as cinco etapas existente nessa tecnologia. Porém, devido ao curto disponível e da complexidade de implementação de cada teste certificador, foi colocado em prática o projeto de testes analisadores e certificadores apenas da fase de detecção e sua transição para o segundo protocolo, a classificação.

No próximo capítulo são detalhados a análise dos testes dos sistemas desenvolvidos.

4 Testes de Validação do do Sistema de Certificação

Esse capítulo tem como objetivo descrever os testes de validação do sistema de certificação proposto, bem como os resultados obtidos e as dificuldades encontradas ao longo dos testes. A certificação da fase de detecção baseou-se nos três testes descritos que foram: (i) Análise e Leitura das tensões;(ii) Análise e Leitura dos Patamares; e (iii) Chaveamento de Impedâncias.

No primeiro teste projetado, o foco foi validar o valor das tensões dos patamares da fonte PoE. Trata-se de um teste inicial com fins de rejeitar fontes com saídas completamente fora do padrão. Para o segundo teste de certificação, a análise e leitura dos patamares, foram elaborados seis configurações variadas para o Emulador PSE: duas dessas seguindo as características exigidas na norma e outras quatro ignorando alguns requisitos descritos nela. Por fim, para validar o teste de chaveamento de impedâncias, elaborou-se testes com diferentes configurações de carga.

4.1 Análise e Leitura das tensões do Pulso de Detecção

Objetivo: Este teste foi elaborado para comprovar o funcionamento do Software implementado no Equipamento de Certificação no que se refere a análise de tensões do pulso de detecção descrito na seção 3.2.2.

Trata-se de um teste preliminar com duas finalidades:

1. Aferir as tensões e o número de leituras realizadas pelo Equipamento Certificador de PSE. Deve ser observado que este teste é unicamente do interesse do fabricante do equipamento;
2. Testar de forma preliminar a fonte PSE a fim de descartar equipamentos completamente fora do padrão.

As tensões lidas pelo software são memorizadas e contabilizadas, o que possibilita verificar o número de vezes em que foram efetuadas leituras com os valores dentro de cada patamar do pulso de detecção.

O foco principal do teste é o monitoramento das tensões enviadas pelo PSE, porém com os dados coletados e inseridos nos contadores, é possível obter uma boa noção do tempo de atuação em cada patamar.

Neste teste, o Equipamento de Certificação PSE permanece monitorando a tensão injetada pelo Emulador PSE durante 20 segundos e ao final dele pode-se obter a quantidade de leituras efetuadas por segundo que o Equipamento de Certificação PSE consegue realizar. Esse primeiro experimento prático com 4 pulsos constantes, serviu para ajustar o software projetado, antes de realizar os outros dois testes desta etapa além obter parâmetros principais que servirão para avaliar se a quantidade de Patamares lidos são o suficiente para certificação da fonte.

Procedimentos: O Emulador de PSE foi parametrizado, via interface do software, para 6 configurações distintas conforme mostrados na tabela 4.1. As quatro primeiras configurações, foram realizadas de tal forma que o Emulador de PSE atue equivalente a uma fonte DC, gerando tensões de 2.8V, 10.5V, 0V e 4V. Isto permitirá aferir a leitura de tensão do Certificador bem como a taxa real de leitura do mesmo. Todos os valores escolhidos de tensão são característicos da norma com exceção do 4V.

As duas últimas configurações simulam dois pulsos de detecção fora e dentro do padrão padrão IEEE802.3AF, tendo como objetivo uma validação rápida do comportamento do Certificador.

Tabela 4.1: Parâmetros configurados para o Teste de Análise e Leitura de Tensão

Pulso	Duração Total do Pulso (ms)	Duração do Tempo em Repouso (ms)	Duração do Primeiro Patamar (ms)	Duração do Segundo Patamar (ms)	Valor da Tensão no Primeiro Patamar (V)	Valor da Tensão no Primeiro Patamar (V)	Pulso Cumprindo Requisitos da Norma?
1	500	0	500	0	2.8	-	NÃO
2	500	0	0	500	-	10.5	NÃO
3	500	500	0	0	-	-	NÃO
4	500	0	500	0	4	-	NÃO
5	400	150	200	200	4	10.5	NÃO
6	400	150	200	200	2.8	10.5	SIM

Para todas as configurações do Emulador de PSE acima, o Equipamento de Certificação de Fonte PSE foi configurado para realização do teste de Análise e Leitura das Tensões, permitindo realizar um relatório das leituras obtidas em 20 segundos de monitoramento.

Para todas as seis configurações testadas, os teste foram repetidos 3 vezes.

Resultados: O primeiro experimento realizado envolvendo a análise e leitura de tensões, foi implementado com a finalidade de verificar a velocidade de leitura do Equipamento Certificador PSE, como já informado anteriormente. Para esta validação foram utilizados quatro pulsos distintos. Após a configuração do emulador e do certificador, foram inicializados os testes.

Os resultados dos quatro primeiros testes realizados podem ser vistos na figura 4.1. Em cada teste, todas as leituras realizadas foram reconhecidas corretamente. Foi observado que para 0V o certificador conseguiu efetuar mais leituras por segundo. Estas taxas de leitura permitiram ajustar o *software* para as próximas etapas.

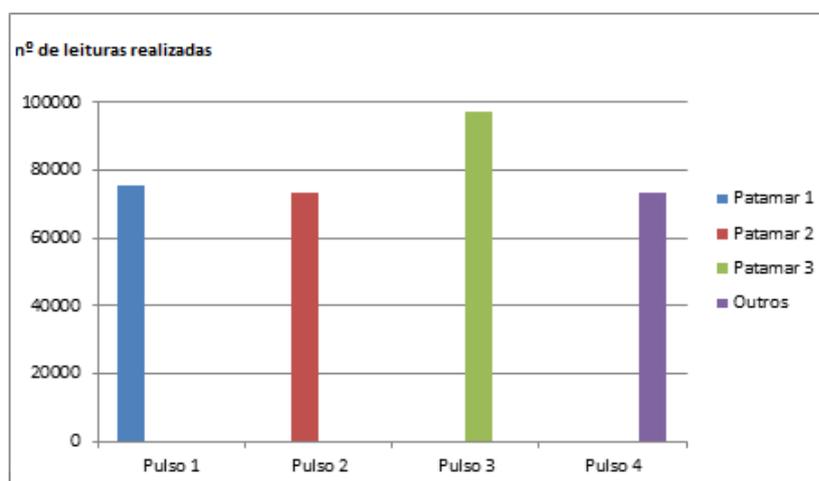


Figura 4.1: Gráfico dos resultados obtidos

Com o auxílio do osciloscópio foi possível visualizar o resultado obtido da saída do Emulador PSE, visto que para atestar a validação do Equipamento de Certificação, é necessário ter certeza que o Emulador está atuando de acordo com as configurações realizadas. É possível visualizar o comportamento de cada um dos 6 pulsos configurados no Emulador PSE através da Figura 4.2.

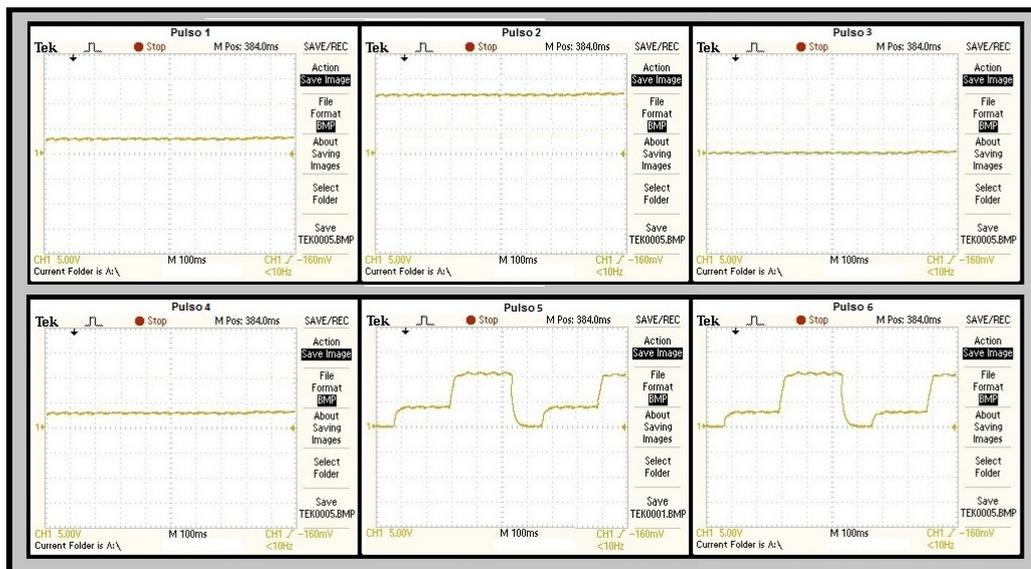


Figura 4.2: Pulsos coletados pelo osciloscópio

O teste realizado na quinta configuração foi a validação de um pulso incompatível com a norma, possuindo uma tensão de 4V no primeiro patamar. Ao término de 20s foi analisado pelo *software* a quantidade de vezes em que foram efetuado leituras em cada patamar, lembrando que o patamar 1 equivale a tensões entre 2.5V e 3V, o patamar 2 entre 10.3V e 10.8V, o patamar 3 entre 0V e 0,5V e a variável outros é equivalente as tensões diferentes dos 3 patamares.

O comportamento do Certificador PSE foi conforme o projetado, invalidando a certificação devido ao baixo número de coletas efetuadas com o valor de tensão equivalente ao patamar 1, que foram de aproximadamente 1500 leituras durante os 20 segundos, valor este muito abaixo do esperado para uma possível homologação. Já a quantidade de leituras efetuadas dentro do patamar 2, foram de aproximadamente 24200 leituras, essa quantidade de coletas efetuadas no patamar 2 significa que a fonte PoE está injetando um pulso com as características próximas ao do segundo patamar da Detecção, Já no patamar 3 foram obtidos valores próximos de 26200 leituras, significando o tempo em que a fonte permaneceu enviando 0V e por fim um número aproximado de 26700 leituras que não se enquadraram em nenhum dos patamares, valor muito alto para a certificação, dessa forma entende-se que esse valor superou as expectativas pelo fato do primeiro pulso enviado pelo Emulador PSE estar em desacordo com o esperado, enviando uma tensão diferente dos 2.8V estabelecidos na norma IEEE802.3AF .

Outra característica do *software* do Equipamento de Certificação PSE que foi possível analisar, foi o fato de existirem coletas equivalentes ao patamar 1, uma vez que o Emulador foi configurado para não enviar níveis de tensões de 2.8V. Isso se dá devido as leituras realizadas

nas bordas de subida e descida, ou seja, a fonte inicia em 0V, porém para atingir os 4V, necessariamente atinge por um breve tempo o valor de 2.8V. O mesmo ocorre na borda de descida após finalizar o tempo do patamar 2. Por esse motivo é que foram executadas coletas de tensões equivalentes ao primeiro patamar, porém o que valida como adequado o comportamento do Equipamento de Certificação PSE é o fato de serem realizadas pouquíssimas leituras com esse valor de tensão.

Com os resultados obtidos com a realização do monitoramento do Equipamento de Certificação PSE, foi possível a criação de dois gráficos, que podem ser observados na Figura 4.3, o qual mostra qual era a expectativa dos resultados e qual foi o real resultado obtido neste experimento.

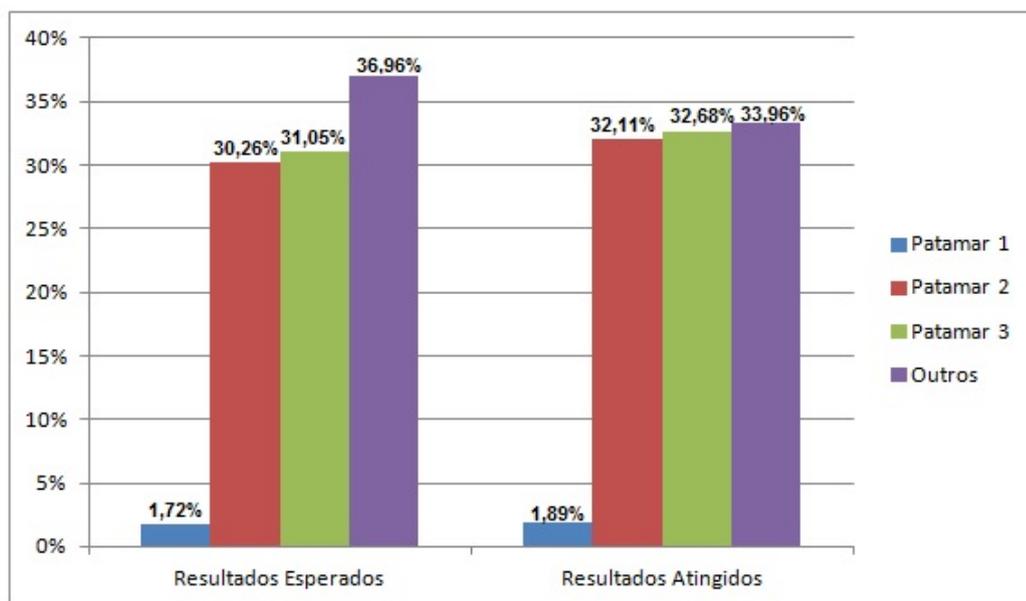


Figura 4.3: Gráfico dos resultados obtidos

Por fim foi colocado em prática a configuração para que o Emulador PSE injetasse um pulso compatível com que a norma prevê. Após os 20 segundos de análise e a configuração para que fosse realizado a execução de 3 repetições de testes no Equipamento de Certificação PSE, os resultados obtidos foram satisfatórios, visto que todos foram certificados com grande possibilidade de homologação, validando o teste inicial para que fosse inicializado os próximos testes certificadores (Análise e Leitura dos Patamares e Chaveamento de Impedâncias).

Através do gráfico da Figura 4.4 é possível analisar a expectativa que esperava-se deste teste e o resultado atingido durante o monitoramento do Emulador PSE.

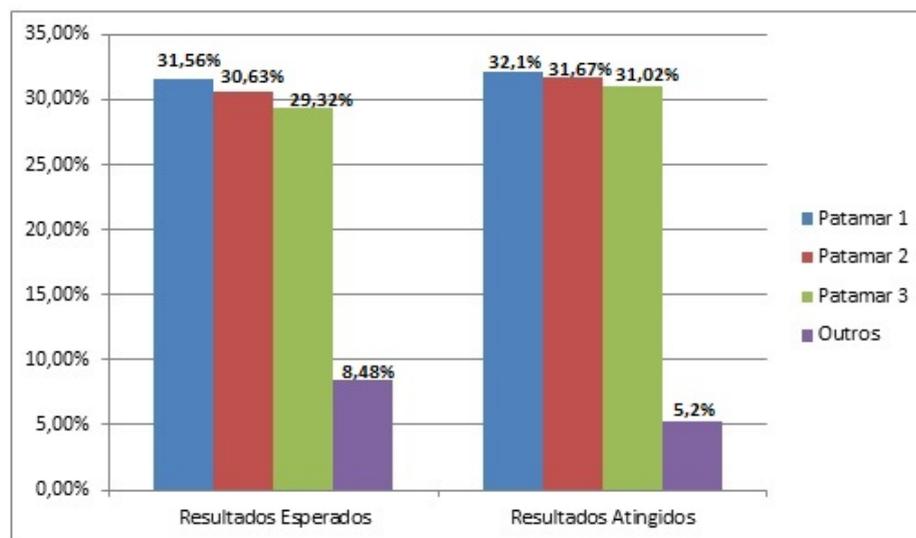


Figura 4.4: Gráfico dos resultados obtidos

Deve ser ressaltado que os testes acima permitem apenas um primeiro diagnóstico sobre o perfil dos patamares da fase de detecção. Na sequência são realizados testes usando os módulos de *software* que permitem um detalhamento desta fase.

4.2 Cenário de teste com circuito aberto

Objetivos: Este teste visa validar o módulo de software apresentado na seção 3.2.2 que possui a função de monitorar e analisar o comportamento da fonte PoE no momento em que envia o pulso de detecção.

Neste teste, o Equipamento de Certificação PSE coloca alta impedância na linha. A fonte PSE, nesta situação, não reconhece o certificador como uma resistência compatível ao padrão e permanecerá enviando o pulso de detecção (dois patamares) com período de 500ms. O certificador realizará a análise de 10 pulsos com diferentes configurações, a fim de verificar se os tempos e as tensões enviadas são compatíveis ou não com o padrão IEEE802.3AF.

Procedimentos: Para verificar a capacidade do Certificador de detectar pulsos inválidos e válidos, o Emulador PSE foi configurado com seis pulsos distintos. Dois deles com algumas características distintas, porém adotando valores permitidos pela norma, e outros 4 não obedecendo as regras estabelecidas por ela. Os 6 pulsos configurados podem ser analisado através da Tabela 4.2:

Tabela 4.2: Parâmetros configurados para os Testes de Análise e Leitura dos Patamares

Pulso	Duração Total do Pulso (ms)	Duração do Tempo em Repouso (ms)	Duração do Primeiro Patamar (ms)	Duração do Segundo Patamar (ms)	Valor da Tensão no Primeiro Patamar (V)	Valor da Tensão no Segundo Patamar (V)	Pulso Cumprindo Requisitos da Norma?
1	440	120	220	220	2.8	10.5	SIM
2	160	100	100	200	2.8	10.5	SIM
3	560	100	260	300	2.8	10.5	NÃO
4	700	200	520	180	2.8	10.5	NÃO
5	400	120	200	200	2	9	NAO
6	400	200	200	200	4	12	NAO

É importante ressaltar que o tempo em que a fonte permanece com 0V, não pertence ao tempo total do pulso.

Resultados: Após a configuração do Emulador PSE, foram capturadas imagens dos pulsos configurados, com o auxílio de um osciloscópio, afim de averiguar se o comportamento do Emulador PSE estava de acordo com o planejado em cada teste. É possível ter uma melhor percepção dos resultados obtidos pelo osciloscópio através da Figura 4.5.

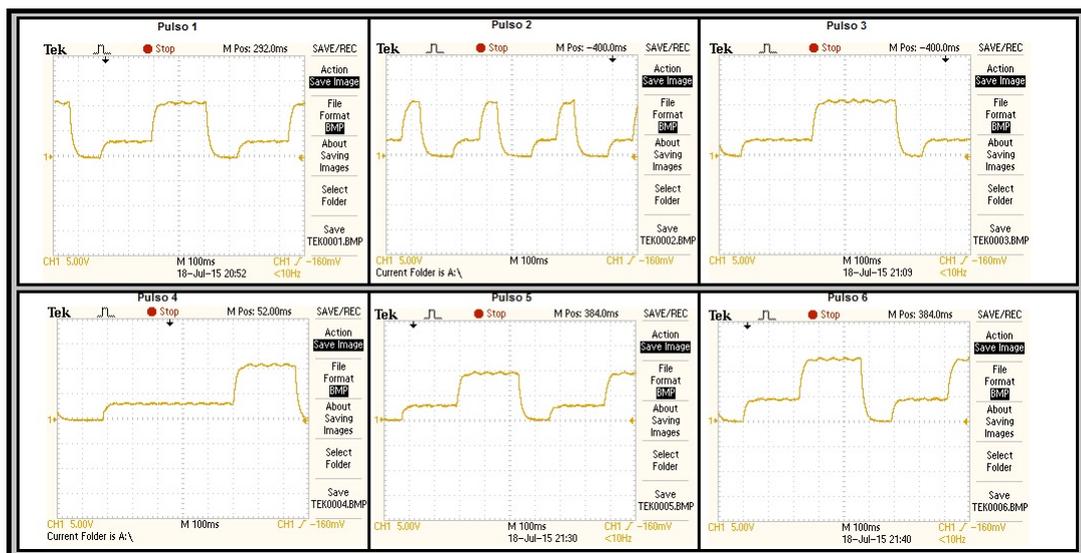


Figura 4.5: Pulsos coletados pelo osciloscópio

A primeira análise realizada, foi do pulso configurado para obter valores dentro dos limites da norma, possuindo um tempo de 440ms. Ao final de cada pulso foi efetuado uma análise, a qual informa os tempos e se a homologação do pulso foi ou não bem sucedida. Os resultados obtidos nesse primeiro pulso foram bastante motivadores, visto que em cada homologação bem sucedida, o tempo do pulso informado pelo equipamento de Certificação PSE, ficou muito próximo dos configurados no emulador. Pode-se verificar através das Tabelas 4.3 e 4.4 na configuração do pulso 1.

Ao final dos 10 pulsos, foi possível verificar que os resultados foram satisfatórios, obtendo

um percentual de 100 % dos pulsos analisados.

No segundo teste elaborado para certificar o pulso de detecção, assim como no primeiro, foi configurado no Emulador PSE valores compatíveis com a norma, porém neste os valores de tempo configurados, foram reduzidos, a fim de avaliar o tempo de leitura do certificador. Portanto foi aferido um pulso com um tempo de 160ms e com os patamares de acordo com a IEEE802.3AF. Após o término das configurações do emulador, foi conectado ao certificador que por sua vez teve seu teste 2 selecionado, realizando assim a análise dos pulsos. Novamente as leituras dos tempos foram precisos, realizando medidas muito próximas das configuradas. As configurações e valores obtidos através do Equipamento de certificação PSE pode ser melhor observado nas Tabelas 4.3 e 4.4 no pulso 2.

Ao finalizar os 10 pulsos, todos foram homologados, comprovando o ótimo resultado das funções de leitura de tempo e tensões dos patamares.

O terceiro cenário consiste em avaliar a análise do certificador em um pulso inválido, neste caso envolvendo um tempo superior ao de 500ms. Lembrando que o tempo do pulso é validado entre o início do primeiro patamar e o final do segundo, sendo assim o tempo em que permanece com 0V não é somado ao tempo total do pulso. Neste ambiente, o Emulador PSE foi ajustado com um pulso de 560ms e as tensões dos patamares permanecendo dentro dos limites da norma. Durante a realização do teste foi possível verificar que ao superar os 500ms o pulso já estava sendo invalidado, informando que a fonte encontrava-se fora do padrão. Como foi visto no capítulo 3, o software de certificação de patamares possui 5 estados, possui um time implementado no segundo estado, sendo assim dependendo os valores de cada patamar, o pulso pode ser invalidado no terceiro, quarto ou quinto estado, e caso a fonte permaneça com uma tensão zero por mais de 5 segundos, o certificador informa que a fonte encontra-se com defeito, ou queimada. Neste teste todos os 10 pulsos foram invalidados no estado 4, devido acontecer o estouro devido exceder os 500ms permitidos. As Tabelas 4.3 e 4.4 ilustram os resultados obtidos pelo Equipamento de Certificação PSE através da configuração do pulso 3.

E após finalizar os 10 pulsos, o certificador informou que nenhum pulso foi analisado como válido. Portanto além do reconhecimento de pulsos válidos, o certificador obteve um ótimo desempenho com os pulsos fora do padrão exigido.

Assim como o terceiro, o quarto teste consiste em avaliar o resultado validade pelo certificador quando um pulso possui um tempo superior ao permitido pela norma. Porém, neste caso foi configurado um tempo superior aos 500ms ainda no primeiro patamar. Ao executar o teste, o certificador analisou e invalidou o pulso, a validação negativa do pulso ocorreu no estado 2 devido o estouro do *timer*. Isto aconteceu neste estado, pelo fato da tensão do pulso

em nenhum momento antes dos 500ms permitidos pela norma ultrapassar o valor de 3V, dessa forma o Equipamento de Certificação PSE entende que o pulso de detecção possui um tempo acima do permitido pela norma. Os resultados obtidos nesse experimento pode ser visualizado e melhor entendido através das Tabelas 4.3 e 4.4 na configuração realizada para o pulso 4.

Ao finalizar o quarto teste e novamente forçando para que o tempo do Emulador PSE seja maior que os 500ms, foi possível verificar que o tempo de leitura e resposta do certificador estão com um funcionamento adequado. Visto que ao finalizar os 10 ciclos, todos foram invalidados no mesmo estado.

No quinto teste foi elaborado um método diferenciado. Seu objetivo foi avaliar se o certificador obtém respostas positivas de teste de tensões dos patamares. Portanto, o Emulador PSE foi configurado para injetar um com tempo de 400ms, ou seja, valor que cumpre os requisitos da norma, porém os valores de cada um dos patamares foram configurados com tensões abaixo do que a norma prevê: 2V para o primeiro patamar e 9V para o segundo. Ao conectar o emulador e dar início ao teste certificador, todos os pulsos 10 foram invalidados devido a queda brusca de tensão no estado 3, o quarto estado do software. O motivo do Equipamento de Certificação PSE entender que houve uma queda de tensão foi o fato da tensão não ter alcançado o valor de 10V, requisito este para que o software atue no estado 4. Com isso o pulso chegou até o estado 3 e ao *timer* da fonte atingir os 400ms, a fonte voltou ao seu período de repouso, com uma tensão equivalente à 0V, fazendo que o pulso fosse invalidado por queda de tensão. Pode-se ter um melhor entendimento analisando as tabelas 4.3 e 4.4.

Ao final do experimento, o certificador analisou os 10 pulsos invalidando todos, comportamento conforme o esperado.

O sexto e último teste de patamar de tensão, foi elaborado para que fossem injetados tensões acima dos permitidos pela norma. O Emulador PSE foi ajustado para fornecer um pulso com um tempo de 400ms e tensões de 4V e 12V para os patamares 1 e 2 respectivamente. Ao executar os testes, o Equipamento de Certificação PSE invalidou os pulsos analisados, pelo fato do segundo patamar atingir um valor acima de 11V no estado 4, caracterizando um pulso fora da norma. É possível a realização de uma análise mais detalhada analisando as tabelas 4.3e 4.4, visto que mostram as principais características de Configuração do Emulador PSE e do resultado obtido após o monitoramento do Equipamento de Certificação PSE.

E por fim, novamente o certificador conseguiu analisar todos os 10 pulsos inválidos, permanecendo um percentual de 100 % de acertos da validação de pulso

Tabela 4.3: Principais características dos pulsos configurados

Nº do Pulso	Tempo Total do Pulso configurado pelo Emulador PSE(ms)	Valor da Tensão no Patamar 1 (V)	Valor da Tensão no Patamar 2 (V)	Principais Características do Pulso
1	440	2,8	10,5	Pulso configurado seguindo os requisitos da Norma
2	160	2,8	10,5	Pulso configurado seguindo os requisitos da Norma
3	560	2,8	10,5	Pulso com um tempo de 60ms superior ao exigido na norma
4	700	2,8	10,5	Pulso com um tempo superior ao exigido na norma, com tempo de duração de 520ms no patamar 1
5	400	2	9	Pulso com as tensões do patamar 1 e 2 inferiores as exigidas pela norma
6	400	4	12	Pulso com as tensões do patamar 1 e 2 superiores as exigidas pela norma

Tabela 4.4: Resultados da certificação obtidos através do monitoramento do Equipamento de Certificação PSE

Nº do Pulso	Tempo Total do Pulso reconhecido pelo Equipamento de Certificação PSE (ms)	Resultado da Homologação	Motivo da Invalidação	Nº de Pulsos Válidos	Nº de Pulsos Inválidos
1	443	Adequado	Não se Aplica	10	0
2	164	Adequado	Não se Aplica	10	0
3	501	Inadequado	Tempo total do pulso excedido no estado 4	0	10
4	501	Inadequado	Tempo total do pulso excedido no estado 2 ao atingir um tempo maior que 500ms no envio do patamar 1	0	10
5	-	Inadequado	Devido a queda de tensão no estado 3, a fonte não chegou a atingir o valor de tensão equivalente ao patamar 2, sendo invalidado	0	10
6	-	Inadequado	Devido ao pico de tensão no estado 4, a fonte o pulso foi invalidado	0	10

Após a aplicação dos testes de certificação relacionados a verificação dos tempos e tensões de patamares, o comportamento do certificador analisando cada pulso em separado, foi satisfatório. Além de analisar corretamente todos os seis testes realizados, também conseguiu averiguar com muita eficiência os tempos dos pulsos, detectando valores muito próximos dos estabelecidos na configuração do emulador PSE, trabalhando com uma margem de erro mínima, sendo abaixo dos 10 % estabelecidos. Com isso pode-se constatar que o funcionamento do equipamento de certificação nos testes de patamares encontra-se apropriado. Vale lembrar que uma vez que a fonte passe pelo teste de patamar, não pode-se julgar como certificada pela norma IEEE802.3AF, já que para ocorrer a homologação na fase de detecção a fonte PSE deverá superar os três testes implementados no certificador.

4.3 Chaveamento de Carga e Validação da Assinatura

Objetivos: Este teste visa validar o módulo de software apresentado na seção 3.2.2 que possui a função de realizar um chaveamento controlado de impedâncias, afim de validar o com-

portamento do PSE.

Neste experimento o Equipamento de Certificação PSE tem por finalidade forçar valores de impedâncias, sendo esses valores, abaixo, dentro e acima dos limitados definidos pela norma, e com esses chaveamentos de cargas, ser capaz de analisar o funcionamento de uma fonte ao deparar-se com um dos três valores de resistência, podendo assim, através do comportamento do PSE em cada chaveamento, homologar ou não o PSE nesta etapa de transição.

Procedimentos: Para colocar em prática a implementação do teste de chaveamento de carga, foi necessário realizar uma configuração no Emulador PSE, para que possua todos os requisitos descritos na norma. No Emulador PSE foi desenvolvido um software que funciona equivalente a um miliamperímetro, para que ele permaneça monitorando por todo tempo a corrente que passa pelo sistema. Esse procedimento foi fundamental para que o Emulador PSE conseguisse reconhecer qual a resistência equivalente do PD, e dependendo da impedância encontrada, enviar ou não a tensão para efetuar a classificação do PD. Para realizar o procedimento de validação dos testes certificadores da fase de transição foi criada uma configuração única para o Emulador PSE, visto que para que ocorra a fase de transição o pulso de detecção da fonte deve estar de acordo com a norma. Através da tabela 4.5 é possível verificar as configurações realizadas no Emulador PSE para execução da validação dos testes certificadores nesta etapa.

Tabela 4.5: Parâmetros configurados para o Teste de Chaveamento de Impedâncias

Pulso	Duração Total do Pulso (ms)	Duração do Tempo em Repouso (ms)	Duração do Primeiro Patamar (ms)	Duração do Segundo Patamar (ms)	Valor da Tensão no Primeiro Patamar (V)	Valor da Tensão no Primeiro Patamar (V)	Pulso Cumprindo Requisitos da Norma?
1	400	150	200	200	2.8	10.5	NÃO

No software de certificação foram realizadas três configurações distintas, cada uma chaveando um valor de resistência diferente. As configurações adotadas em cada uma das configurações pode ser visualizada através da Tabela 4.6

Tabela 4.6: Configurações do Chaveamento de Impedâncias

Configuração	Valor da Resistência Chaveada (Ohms)	Característica Principal do Chaveamento
1	12K	Valor da resistência inferior dos limites da norma
2	22K	Valor da resistência dentro dos limites da norma
3	39K	Valor da resistência superior dos limites da norma

No primeiro teste ao selecionar a chave 1, que quando ativada insere uma resistência de $12K\Omega$, o certificador não deverá receber tensões acima de 10,5V para que ocorra a homologação. Já na aplicação do segundo teste selecionando a chave 2, será inserido uma resistência de $22K\Omega$, que por sua vez é um valor aceito pela norma, devendo então, receber

uma tensão de mais de 15.5V para ser validado com uma homologação positiv. Essa tensão superior aos 15.5V significa que a fonte PSE iniciou a fase de classificação. Já a terceira chave, assim como a primeira, com uma valor fora dos limites exigidos pela norma, ao ser ativada, o certificador não poderá receber valores de tensões acima de 10.5V, ou seja, a fonte deverá permanecer enviando o pulso de detecção.

Resultados: O primeiro procedimento realizado para iniciar a validação do teste certificador, foi inserir os parâmetros de configuração do Emulador PSE. Ao finalizar a sua configuração, foi obtida com a utilização de um osciloscópio o resultado da saída do Emulador PSE, para que fosse comprovado o comportamento dele. Para uma melhor compreensão do pulso configurado para essa validação do teste de certificação, é possível analisar o pulso injetado por meio da Figura 4.6.

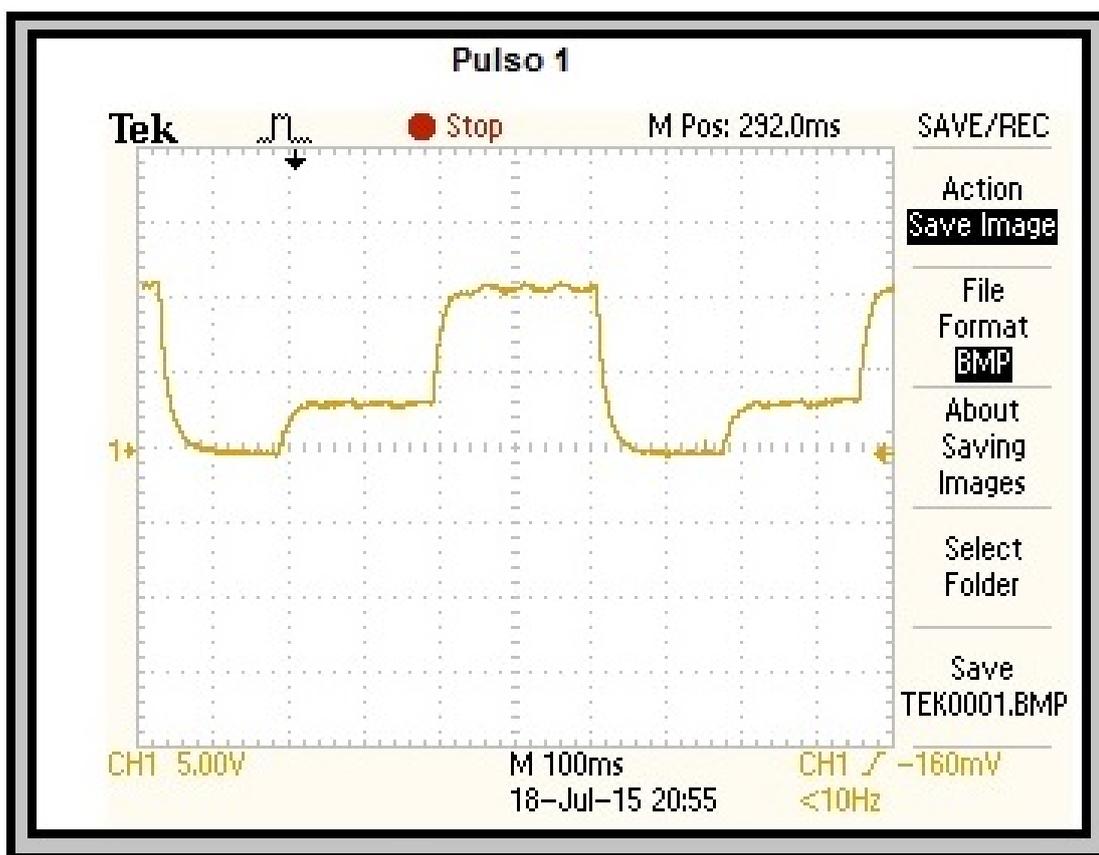


Figura 4.6: Pulsos coletados pelo osciloscópio

Na realização do primeiro teste, foi selecionado no *software* do Equipamento de Certificação PSE a opção 3, para que efetuasse o testes de carga, em seguida foi escolhido a opção de chaveamento 1, com 12K Ω . Após isso foi escolhido o tempo em que o sistema

permaneceria funcionando, no qual foi configurado para 50 segundos. Em seguida foi selecionado para ser efetuado o início de ambos os *softwares*. Para que seja efetuado uma análise completa desse teste, deve ser obrigatoriamente monitorado os dois sistemas, o Equipamento de Certificação PSE e o Emulador PSE. Neste experimento foi necessário monitorar a fonte pelo fato dela informar os valores da impedância encontrada no circuito do PD (Equipamento de Certificação PSE). No momento em que a resistência de $12K\Omega$ foi inserida no circuito do Equipamento de Certificação PSE, o Emulador PSE identificou que o PD estava chaveando uma resistência de aproximadamente $13K\Omega$, um valor muito próximo dos $12K\Omega$ inseridos. Com isso permaneceu enviando o pulso de detecção até atingir o valor de ciclos configurados no Emulador PSE (200 ciclos). Já na interface do certificador, foi possível verificar que ele manteve-se monitorando as tensões enviadas, e como a resistência chaveada foi menor que o valor exigido pela norma, o Equipamento de certificação PSE aguardou os 50 segundos de operação, e uma vez que a fonte não modificou seu pulso, permanecendo o envio do pulso de detecção, a primeira etapa da validação do teste de chaveamento de carga foi homologada com sucesso. Os resultados obtidos durante esse monitoramento podem ser visualizados na Tabela 4.7 no final desta seção.

A segunda etapa do teste 2, foi preparar o Equipamento de certificação PSE para executar um chaveamento com uma resistência dentro dos valores permitidos pela norma, neste caso de $22K\Omega$, com a finalidade de avaliar o funcionamento da fonte PoE quando é encontrado uma impedância compatível com a norma. Ao dar início, foi possível verificar que o Emulador PSE identificou imediatamente o valor inserido pelo certificador, informando que a resistência equivalente encontrava-se próxima dos $23K5\Omega$, valor novamente bastante satisfatório, visto que o erro permanece abaixo percentual 10 %. E ao analisar o monitoramento do Equipamento de Certificação PSE, foi percebido que ao chavear a resistência, a fonte reconheceu a compatibilidade realizando a fase de transição, injetando uma tensão de entre 15,5V e 20V, tensão esta referente ao pulso de classificação. Os resultados obtidos durante essa certificação podem ser analisados através da Tabela 4.7

No terceiro e último cenário de testes de carga, foi realizado a configuração para que o certificador realizasse o chaveamento de uma carga superior à $26K\Omega$. O Emulador PSE novamente foi configurado para que enviasse uma tensão conforme a norma prevê, e em seguida o software do Equipamento de Certificação PSE foi ajustado para ativar a chave 3, inserindo uma resistência de $39K\Omega$. Novamente o emulador PSE teve um comportamento adequando, informando que a resistência equivalente do PD era de aproximadamente $42K\Omega$, permanecendo a enviar os pulsos de detecção. Ao verificar o monitoramento do Equipamento de Certificação PSE, foi visto que mais uma vez ele averiguou corretamente as tensões, chegando ao final de

seu funcionamento sem receber tensões inválidas. Com isso no final dos pulsos foi validado como fonte homologada. Os resultados atingidos nesse experimento pode ser visualizado na Tabela 4.7

Tabela 4.7: Resultados obtidos na validação certificação do teste de chaveamento de cargas

Nº da Chave	Valor da Resistência Chaveada pelo Equipamento Emulador PSE (ohms)	Valor da Carga é compatível com o padrão IEEE802.3AF	Valor da Resistência Reconhecida pelo Emulador PSE (ohms)	Tensão transmitida pelo Emulador PSE após o Chaveamento	Resultado esperado para Homologação	Resultado da análise do Equipamento de Certificação PSE
1	12K	NÃO	13,1K	2,8 - 10,5	Emulador PSE permanece injetando o pulso de detecção	Homologação com exito
2	22K	SIM	23,5K	15,5	Emulador PSE passa a injetar o pulso de classificação	Homologação com exito
3	39K	NÃO	42K	2,8 - 10,5	Emulador PSE permanece injetando o pulso de detecção	Homologação com exito

4.4 Conclusão

Após finalizar todos os testes certificadores projetados ao longo do projeto, foi visto que a complexidade e a quantidade de tecnologias envolvidas para que fossem obtido resultados satisfatórios eram inúmeras. E sabe-se que para execução de todos os experimentos envolvidos neste capítulo, foi necessário estudar as tecnologias envolvidas e seus protocolos, principalmente ir a fundo no que se refere a tecnologia central do trabalho, que encontra-se estabelecido na norma IEEE802.3AF.

Com base nos capítulos anteriores, foi visto que toda tecnologia utilizada durante o projeto foi levado em conta, seu custo, a dificuldade de adquirir os equipamentos e a familiaridade com o ambiente acadêmico.

E ao término de todos os experimentos, foi satisfatório os valores atingidos, conseguindo realizar uma análise eficiente e dentro dos limites estabelecidos pela norma. Além de obter 100 % de eficácia nos testes realizados. Analisando minuciosamente as imagens dos resultados obtidos pelo Equipamento de Certificação PSE e pelo Emulador PSE foi possível verificar que os tempos, as tensões e os monitoramentos realizadas pelos dois equipamentos possuíram uma margem de erro muito pequena, atingindo em todos os casos uma margem menor que os 10%.

5 *Conclusões Gerais*

Este projeto teve como foco a certificação automática de PSEs da tecnologia *Power Over Ethernet*, conhecida pela sigla PoE.

Os principais objetivos do projeto foram atingidos, visto que a implementação de um hardware em conjunto com um software obtiveram resultados de acordo com o planejado. Apesar de ter realizado apenas a certificação apenas da detecção e da transição para a classificação, os testes foram bastante específicos e com análises detalhadas do funcionamento do protocolo. A plataforma automatizada de testes mostrou-se bastante segura e um indicativo promissor para realização das próximas etapas.

A decisão de realizar a implementação com foco na detecção e sua transição foi a constatação de que um sistema automático necessitaria de uma eletrônica relativamente complexa voltada aos testes da camada física. Estes circuitos foram controlados por software embarcado, o que permitiu dotá-lo de um certo nível de automação. O proponente deste trabalho teve que conjugar estes sistemas de diferentes áreas o que limitou o trabalho, dado o espaço de tempo previsto para conclusão.

Ao longo do trabalho teve-se a intenção e o cuidado para ter como uma das metas principais a utilização de softwares abertos e hardwares de fácil acesso ao âmbito acadêmico, para que seja viável a continuação do trabalho, e uma possível implantação de laboratórios certificadores no Instituto.

A principal ferramenta de automatização utilizada foi o Arduino, e essa escolha ocorreu não somente pelo fato dele possuir uma grande gama de funcionalidades, mas também pelo seu custo e ser bastante difundido em ambientes acadêmicos.

Para um trabalho futuro seria de grande importância a realização de um pequeno *up grade* do sistema certificador, afim de certificar todas as 5 etapas, visto que com a experiência adquirida durante o estudo e implementação do projeto, pode facilitar a complementação de um software homologador de toda a tecnologia.

5.1 **Trabalhos futuros**

Existe várias possibilidades de dar continuidade ao projeto construído ao longo do semestre, algumas delas são:

- Implementação dos testes de certificação da fase de classificação;
- Implementação dos testes de certificação da fase de início da alimentação;
- Implementação dos testes de certificação da fase de operação;
- Implementação dos testes de certificação da fase de desconexão;
- Implementação de todas as etapas do emulador PSE;

Após finalizar a implementação de um conjunto de testes certificadores de todas as fases existentes na tecnologia PoE pertencente a norma IEEE802.3AF, pode-se realizar um estudo mais detalhado da tecnologia normatizada pela IEEE802.3AT, para que sejam elaborados testes certificadores envolvendo os protocolos de redes.

Referências Bibliográficas

- ANATEL. *Regulamento da Agência Nacional de Telecomunicações-Resolução 242. 2000.* 2000. Disponível em: <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/15-2000/129-resolucao-242>>. Último acesso em 20 de junho de 2014.>.
- ARDUINO.CC. *Arduino.* 2015.
- ETSI. *Testing and Interoperability.* 2003. Disponível em: <<http://www.etsi.org/about/how-we-work/testing-and-interoperability>>. Último acesso em 25 de junho de 2014.>.
- H3C. *H3C S3100-52P Ethernet Switch Operation Manual-Release 1702-6W100.* 2003. Disponível em: <http://www.h3c.com/portal/Technical_Support...Documents/Technical_Documents/Switches/H3C_S3100_Series_Switches/Configuration/Operation_Manual/H3C_S3100-52P_OM-Release_1702-6W100/201004/672845_1285_0.htm>. Último acesso em 5 de junho de 2015.>.
- IEEE802.3AF. *IEEE 802.3 Working Group, IEEE Std 802.3AF-2003 -Data Terminal Equipment (DTE) Power via Media Dependent Interface (MDI).* 2003.
- IEEE802.3AT. *IEEE 802.3 Working Group, IEEE Std 802.3at-2009 -Data Terminal Equipment (DTE) Power via Media Dependent Interface (MDI).* July 2009.
- IOL. *INTER OPERABILITY LABORATORY, Power over Ethernet Services.* 2009. Disponível em: <<https://www.iol.unh.edu/services/testing/poe/testsuites>>. Último acesso em 15 de junho de 2014.>.
- MENDELSON, G. *White paper: All You Need To Know About Power over Ethernet (PoE) and the IEEE 802.3af Standard.* [S.l.], june 2004. Disponível em: <https://portal.chippc.com/support/downloads/files/PoE_and_IEEE802_3af.pdf>.
- PERLE. *A Background on Power Over Ethernet (PoE and PoE+).* 2014. Disponível em: <http://www.perle.com/supportfiles/PoE_Background_Technical_Note.shtml>. Último acesso em 15 de junho de 2014.>.
- PERTENCE, A. J. *Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos.* [S.l.]: São Paulo, 2003.
- VITORINO, B. *Amplificadores Operacionais - Configurações e Aplicações.* 2012.