



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA**

TAIANE JANAINA SOARES PAIVA DOMINGUES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TESTE DE
CONFIABILIDADE BURN-IN DE BAIXO CUSTO PARA FONTES
CHAVEADAS PARA SIMULAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO PRODUTO,
COM CAPACIDADE REDUZIDA**

Manaus

2021

TAIANE JANAINA SOARES PAIVA DOMINGUES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TESTE DE
CONFIABILIDADE BURN-IN DE BAIXO CUSTO PARA FONTES
CHAVEADAS PARA SIMULAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO PRODUTO,
COM CAPACIDADE REDUZIDA**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Eletrônica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletrônico.

Orientador: Prof. Fábio de Sousa Cardoso, Dr.

Manaus

2021

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia – EST

Reitor:

Cleinaldo de Almeida Costa, Dr.

Vice-Reitor:

Cleto Cavalcante de Souza Leal, Me.

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo, Me.

Coordenador do Curso de Engenharia Eletrônica:

Bruno da Gama Monteiro, Me.

Banca Avaliadora composta por:

Data da defesa: 09/12/2021.

Prof. Fábio de Sousa Cardoso, Dr (Orientador)

Prof. Bruno da Gama Monteiro, Me.

Prof. Daniel Guzmán del Río, Dr

CIP – Catalogação na Publicação

Domingues, Taiane Janaina Soares Paiva Domingues

Desenvolvimento de um sistema de teste de confiabilidade Burn-in de baixo custo para fontes chaveadas para simulação da vida útil do produto, com capacidade reduzida/ Taiane Janaina Soares Paiva Domingues; [orientado por] Fábio de Sousa Cardoso – Manaus: 2021. 75. p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica). Universidade do Estado do Amazonas, 2021.

1. Fontes chaveadas. 2. Raspberry. 3. Burn-in. I. Sousa Cardoso, Fábio.

TAIANE JANAINA SOARES PAIVA DOMINGUES

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TESTE DE
CONFIABILIDADE BURN-IN DE BAIXO CUSTO PARA FONTES
CHAVEADAS PARA SIMULAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO PRODUTO,
COM CAPACIDADE REDUZIDA**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Eletrônica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletrônico.

Nota obtida: (9,5)

Aprovada em _09/12/2021_

Área de concentração: Engenharia de Confiabilidade, Sistemas Eletrônicos.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Fábio de Sousa Cardoso, Dr.

Avaliador: Bruno da Gama Monteiro, Me.

Avaliador: Daniel Guzmán del Río, Dr

Manaus
2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu avô, o maior incentivador para que eu estudasse Engenharia, falecido em 31 de março de 2021.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me manter forte e firme em meus objetivos. À minha família, em especial ao meu marido que sempre me apoiou e confiou em minhas escolhas. Aos amigos de universidade, por compartilharem de seus conhecimentos e suporte quando mais precisei. Ao meu orientador pela paciência e incentivo. Ao professor da disciplina de TCC pelas instruções de formatação do trabalho escrito.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um sistema de teste de vida útil, destinado a fontes chaveadas, com uma baixa capacidade de unidades a serem testadas, e possuindo um pequeno custo econômico de investimento. O sistema desenvolvido utiliza, para a simulação de acionamento e desligamento das fontes chaveadas, o módulo microprocessado *Raspberry*, que juntamente com relés, sensores e display, formam os componentes utilizados nesse projeto. Valores medidos de tensão, de corrente, de temperatura e umidade ambiente são coletados através dos sensores e seus dados armazenados para monitoramento e validação do sistema. Foi realizado um estudo buscando fundamentação teórica para o desenvolvimento deste trabalho, sobre os seguintes temas: conceitos de testes de confiabilidade e seus principais tipos; testes de *Burn-in*; funcionamento de fontes chaveadas e seus principais componentes. Ademais, são explorados os estudos referentes a microcontroladores, sensores e relés, que foram utilizados na montagem do protótipo. Além disso, é realizado a apresentação das etapas e materiais necessários à construção do sistema de teste de *Burn-in*, seguida da descrição detalhada do experimento, ferramentas e programas utilizados. Como resultado das experiências descritas ao longo do trabalho são exibidos os gráficos de leitura dos valores coletados pelos sensores de tensão e corrente, após a execução dos testes de simulação de vida útil, com acionamentos, desligamentos e simulação de carga na saída dos adaptadores por determinado período. Por fim, os dados obtidos demonstraram que, o dispositivo desenvolvido atende aos requisitos propostos de acionamento, controle e monitoramento de um teste de vida útil em fonte chaveada.

Palavras-chave: Fontes chaveadas. *Raspberry*. *Burn-in*.

ABSTRACT

The present work has as objective to present the development of a life test system, destined to switched power supplies, with a low capacity of units to be tested, and having a small economic cost of investment. The system developed uses the Raspberry microprocessor module, which together with relays, sensors and display, form the components used in this project, for a simulation of switching on and off of the switching power supplies. Measured values of voltage, current, temperature and ambient humidity are collected through the sensors and their data stored for system monitoring and validation. A study was carried out seeking the theoretical foundation for the development of this work, on the following topics: concepts of reliability tests and their main types; Burn-in testicles; functioning of switched sources and their main components. Furthermore, studies referring to microcontrollers, sensors and relays, which were used in the assembly of the prototype, are explored. In addition, the steps and materials used to build the Burn-in test system are presented, followed by a detailed description of the experiment, tools and programs used. As a result of the experiences throughout the work, the reading graphs of the values collected by the voltage and current sensors are selected, after carrying out the simulation tests of the useful life, with activations, shutdowns and load simulation at the output of the adapters for a certain period . Finally, the data obtained showed that the developed device meets the proposed activation, control and monitoring requirements of a lifetime test in a switched source.

Keywords: Switched sources. Raspberry. Burn-in.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Retificador trifásico e filtro de saída capacitivo	17
Figura 2 - Formas de onda de tensão e corrente de um retificador trifásico.....	18
Figura 3 - Regulação linear da tensão de saída de uma fonte de tensão contínua.	18
Figura 4 - Diagrama de blocos da regulação de tensão de uma fonte chaveada.....	19
Figura 5 - Diferentes tipos de conversores	21
Figura 6 - Diagrama elétrico do conversor Buck.....	21
Figura 7 - Diagrama elétrico do conversor Boost	22
Figura 8 - Diagrama elétrico do conversor Buck-Boost	22
Figura 9 - Diagrama elétrico do conversor Flyback.....	23
Figura 10 - Diagrama elétrico do conversor Forward.....	23
Figura 11 - Exemplificação de variadores de tensão utilizando TRIACs e SCRs	24
Figura 12 - Ciclo-conversor com entrada trifásica e saída monofásica	25
Figura 13 - Conversor em matriz com entrada e saída monofásica	25
Figura 14 - Configuração para um retificador não controlado e controlado	26
Figura 15 - Representação de uma ponte retificadora.....	27
Figura 16 - Representação de um retificador de meia onda	27
Figura 17 - Representação de um retificador em ponte de onda	28
Figura 18 - Circuito representativo do conversor CC-CA.....	28
Figura 19 - Estrutura básica de um sistema microprocessado.....	29
Figura 20 - <i>Raspberry</i>	30
Figura 21 - Sensor de temperatura e umidade	32
Figura 22 - Endereçamento do sensor INA219	33
Figura 23 - Estrutura simplificada de um relé	34
Figura 24 - Relé contato fechado	34
Figura 25 - Relé contato aberto	35
Figura 26 - Esquema de memória <i>Flash</i>	36
Figura 27 - Módulo display	36
Figura 28 - Diagrama de funcionamento do teste	39
Figura 29 - Diagrama de arquitetura do teste	40
Figura 30 - Ligação do sensor DHT11	41
Figura 31 - Sistema de medição do INA219	42

Figura 32 - Instalação das bibliotecas <i>Raspberry</i>	43
Figura 33 - Circuito de controle	44
Figura 34 - Circuito <i>Raspberry</i>	44
Figura 35 - Circuito LCD	45
Figura 36 - Comunicação e barramentos I2C.....	46
Figura 37 - Estrutura do projeto.....	47
Figura 38 - Esquema elétrico atualizado	48
Figura 39 - Estrutura e pinagem <i>Raspberry</i>	50
Figura 40 - Estrutura e pinagem INA219.....	50
Figura 41 - Estrutura do protótipo.....	51
Figura 42 - Teste com os adaptadores.....	52
Figura 43 - Gráfico de tensão	52
Figura 44 - Gráfico de corrente	53
Figura 45 - Tabela de gastos.....	54
Figura 46 - Coleta dados de tensão	55
Figura 47 - Coleta dados de corrente	55

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	13
1.1. TESTE DE CONFIABILIDADE	13
1.1.1. Testes de Burn-in	16
1.2. FONTES CHAVEADAS	16
1.3. CONVERSORES	20
1.3.1. Conversores CC-CC	21
1.3.2. Conversores CA-CA	23
1.3.3. Conversores CA-CC	25
1.3.4. Conversores CC-CA	28
1.4. MICROCONTROLADORES	29
1.4.1. Raspberry	30
1.5. SENSORES	31
1.5.1. Sensor de Temperatura DHT11	31
1.5.2. Sensor de Tensão e Corrente INA219 De Alta Precisão	32
1.6. RELÉ	33
1.7. CARTÃO DE MEMÓRIA	35
1.8. MÓDULO DISPLAY	36
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3. IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	39
3.1. PREPARAÇÃO DO AMBIENTE NO RASPBERRY MODELO B	40
3.2. LEITURA E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS DOS SENSORES DE TEMPERATURA.....	41
3.3. LEITURA E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS DOS SENSORES INA219... 41	
3.4. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA	42
3.5. DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE PARA COLETA DE DADOS.....	46
3.6. DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DE VALIDAÇÃO.....	47
4. RESULTADOS OBTIDOS	49
4.1. VALIDAÇÃO DOS DADOS COLETADOS PELOS SENSORES.....	49
4.2. DESEMPENHO DO SISTEMA EM TESTE DE BURN-IN	49
4.3. VALIDAÇÃO DO BAIXO CUSTO DO PROJETO	53
4.4. SIMULAÇÃO DE TESTE DE VIDA ÚTIL.....	54
CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
APÊNDICE A – CÓDIGO PARA LEITURA DE DADOS DO SENSOR DE TEMPERATURA.....	60
APÊNDICE B – CÓDIGO PARA LEITURA DE DADOS DO SENSOR INA219.....	61

APÊNDICE C – CÓDIGO PARA ACIONAMENTO DOS RELÉS.....	65
APÊNDICE D – CÓDIGO GERAL SEM A IMPORTAÇÃO DE DADOS	66
APÊNDICE E – CÓDIGO DE EXPORTAÇÃO DE DADOS	70
APÊNDICE F – RESULTADO DO TESTE DE EXPORTAÇÃO	71
APÊNDICE G – CÓDIGO GERAL DO PROGRAMA	72

INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento econômico, houve um aumento na demanda, por produtos e sistemas, que possuem melhor desempenho a custos competitivos. Ao mesmo tempo, faz-se necessário a redução de falhas, principal causadora do aumento dos custos de produção. O conhecimento decorrente da análise de tempo de falha e da busca da minimização de sua ocorrência proporciona informações a respeito da confiabilidade (LAFRAIA, 2001).

Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), em seu sentido mais amplo, a confiabilidade está associada à operação bem-sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas, ou seja, confiabilidade é a probabilidade de um item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período pré-determinado.

Devido as constantes renovações de produtos no mercado, criou-se a necessidade de efetuar testes cada vez mais rigorosos, que consigam mensurar a eficiência e o ciclo de vida útil de um produto. Deste modo, as empresas tendem a investir cada vez mais em testes de confiabilidade, com o intuito de verificar o tempo até a falha de um produto. Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), o tempo até a falha de uma unidade é o tempo transcorrido desde o momento em que a unidade é colocada em operação até sua primeira falha.

Um teste de *Burn-in* é um processo pelo qual se garante, com um determinado nível de confiança, que um produto não sofrerá falhas antes de decorrido um determinado período de utilização. Para tal, os componentes que compõem o produto são ensaiados em condições simuladas da realidade ou, por vezes, mais exigentes, de modo a que as falhas infantis se manifestem e os componentes falhados sejam substituídos ou corrigidos, antes de o produto chegar ao mercado e ser colocado em serviço (ASSIS, 2016). No caso de componentes eletrônicos ou de circuitos integrados complexos, os testes são realizados frequentemente em condições de vida acelerada, causando-lhes estresse, fazendo-os funcionar em condições de temperatura e de umidade elevadas, seguindo perfis temporais pré-definidos, ao mesmo tempo que sujeitos a sobretensões (ASSIS, 2016).

Por vezes, as falhas podem surgir da interação entre diferentes componentes, circunstâncias nas quais os produtos são testados já montados com todos os seus componentes. Estes testes são realizados de modo a prevenir reclamações resultantes da manifestação de falhas infantis (ASSIS, 2016).

Atualmente, as máquinas de teste de *Burn-in* para fontes chaveadas disponíveis no mercado, além do alto custo de investimento, são apenas fabricadas para testes em larga escala,

ou seja, capacidade superior a 90 (noventa) produtos por teste. Essa realidade, inviabiliza a obtenção do equipamento para testes laboratoriais de confiabilidade, que necessitam baixa capacidade de teste. Esse projeto de pesquisa trata sobre o desenvolvimento de um sistema de teste de confiabilidade de baixo custo, para fontes chaveadas, com capacidade de testes em baixa escala, possibilitando e viabilizando a obtenção do uso do teste de *Burn-in* em laboratórios de confiabilidade.

1. REFERÊNCIAL TEÓRICO

Estando bem definido a problemática em questão e a proposta apresentada é necessário a realização de uma extensa pesquisa bibliográfica visando definir e fundamentar as melhores ferramentas e técnicas necessárias para o cumprimento dos requisitos do projeto. Um dos fatores que impulsionou a formulação da hipótese foi a existência única e exclusivamente de dispositivos de testes de *Burn-in* em larga escala, para testes em quantidades superiores a 90 amostras e de alto custo. Este entendimento é fundamental para que a justificativa do projeto seja compreendida, ao se propor o desenvolvimento de uma solução de baixo custo e específica para testes de *Burn-in* em pequena escala.

A solução exige que seja utilizado um microcontrolador de rápido processamento e tempo de resposta reduzido, uma vez que as coletas de medição devem ser realizadas em curtos períodos de medição. Uma outra característica desse sistema é que este deve operar em regime de tempo real, visto que ao se iniciar o teste este deve realizar as medições a cada minuto em um longo período pré-definido. Sendo necessária a realização de uma revisão bibliográfica sobre sistemas de tempo real.

Além do microcontrolador, é necessário especificar os sensores utilizados para coleta de medição e a precisão que estes devem possuir para confiabilidade e capacidade do teste. Os conceitos de conversores DC/AC precisam ser revisados devido a necessidade de utilização neste projeto, uma vez que o microcontrolador enviará o comando para acionamento e desligamento em tensão DC e as fontes chaveada só funcionam via tensão AC.

1.1. TESTE DE CONFIABILIDADE

São testes onde são validadas as entradas, saídas e operações efetuadas em relação aos requisitos definidos previamente para a aplicação, componente ou produto. Sua função é de assegurar que o produto terá seu correto funcionamento durante sua vida útil.

Existem diferentes tipos de teste, estes são implementados e executados. Cada tipo de teste possui um objetivo e uma técnica de suporte específicos. O foco de cada técnica está em testar uma ou mais características ou atributos do objetivo do teste. Para que isto ocorra, existem os seguintes tipos de testes: teste de função, teste de segurança, teste de volume, teste usabilidade, teste de integridade, teste de estrutura, teste de estresse, teste de tamanho real, teste

de contenção, teste de carga, perfil de desempenho, teste de configuração e teste de instalação (IBM COPYRIGHT CORPORATION, 2006).

Os testes de função são testes que possuem o objetivo de validar que o produto funcione conforme pretendido, fornecendo os serviços, métodos ou casos de uso requeridos., já os de segurança são testes com foco em garantir que os dados (ou sistemas) do objetivo do teste estejam acessíveis somente aos agentes para os quais são destinados. Esse teste é implementado e executado em vários destinos de teste.

Os testes de volume são testes com foco em verificar a habilidade do objetivo do teste em manipular as quantidades de dados, como entrada, saída ou residentes no banco de dados, enquanto os de usabilidade se concentra em: Fatores humanos, estéticos, consistência na interface com o usuário, ajuda on-line e sensível ao contexto, assistentes e agentes, documentação do usuário e materiais de treinamento.

Os testes de integridade enfatizam a avaliação da robustez do objetivo do teste (resistência aos defeitos) e compatibilidade técnica em relação a linguagem, sintaxe e uso dos recursos. Esse teste é implementado e executado em diferentes objetivos de teste, incluindo as unidades e as unidades integradas, já os testes de estrutura possuem foco na avaliação da adequação do objetivo do teste em relação ao design e formação. Geralmente, esse teste é feito para aplicativos ativados na Web, assegurando que todos os links estão conectados, o conteúdo apropriado é exibido e nenhum conteúdo é órfão.

O teste de estresse enfatiza a avaliação de como o sistema responde em condições normais. O estresse no sistema pode incluir cargas de trabalho extremas, memória insuficiente, serviços e hardware indisponíveis ou recursos compartilhados limitados. Normalmente, esses testes são executados para compreender melhor como e em quais áreas o sistema será dividido, para que os planos de contingência e a manutenção possam ser planejados e orçados com bastante antecedência.

O teste em tamanho real compara o desempenho de um objetivo do teste novo ou desconhecido com uma carga de trabalho e um sistema de referência conhecidos, enquanto os de contenção são concentrados na validação da habilidade do objetivo do teste para manipular aceitavelmente as demandas do agente em um mesmo recurso (registros de dados, memória e assim por diante).

O teste de carga é utilizado para validar e avaliar a aceitação dos limites operacionais de um sistema em cargas de trabalho variadas enquanto o sistema em teste permanece constante. Em algumas variações, a carga de trabalho permanece constante e a configuração do sistema

em teste é variada. Geralmente, as medições são tomadas com base na taxa de transferência de dados da carga de trabalho e no tempo de resposta da transação alinhado. As variações na carga de trabalho normalmente incluem a emulação das cargas de trabalho médias e máximas que ocorrem dentro de tolerâncias operacionais normais.

O perfil de desempenho é um teste em que o perfil de cronometragem do objetivo do teste é monitorado, incluindo o fluxo de execução, o acesso a dados, as chamadas de função e do sistema para identificar e abordar gargalos de desempenho e processos ineficientes, enquanto o teste de configuração possui o foco em garantir que o objetivo do teste funcione conforme pretendido em diferentes configurações de hardware e software. Esse teste também pode ser implementado como um teste de desempenho do sistema.

O teste de instalação possui foco em garantir que o objetivo do teste seja instalado como pretendido em diferentes configurações de hardware e software e em diferentes condições (como espaço insuficiente em disco e interrupções de energia). Esse teste é implementado e executado em aplicativos e sistemas.

Para a realização de testes de confiabilidade em um produto usa-se como base a análise estatística, para considerar a possibilidade de falha, de forma a calcular o mais próximo à realidade de um produto por exemplo. Falhas podem acarretar comprometimentos significativos para a imagem institucional das empresas. Todo equipamento elétrico-eletrônico pode vir a falhar, entretanto as empresas fabricantes realizam testes em amostras para detectar o tempo médio até a falha, ou do inglês *Mean Time To Failure* (MTTF). A partir dos resultados a empresa estabelece o seu termo de garantia para o produto.

O tempo até a falha de uma unidade é o tempo transcorrido desde o momento em que a unidade é colocada em operação até sua primeira falha (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Dentro da Análise do Tempo de Falha estão inclusas as funções de confiabilidade $R(t)$ e de risco ou taxa de falha $h(t)$. A função de confiabilidade $R(t)$ informa a probabilidade de a unidade apresentar sucesso na operação (isto é, ausência de falhas) no intervalo de tempo $(0,t)$ e ainda estar funcionando no tempo t . A função de confiabilidade $R(t)$ é também denominada função de sobrevivência (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Com a função de risco é possível apresentar a parcela da amostra que falhará antes do tempo pré-determinado pela censura. Segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), a função de risco $h(t)$ é, provavelmente, a mais popular das medidas de confiabilidade, tal função pode ser interpretada como a quantidade de risco associada a uma unidade no tempo t . É bastante útil na

análise do risco a que uma unidade está exposta ao longo do tempo, servindo como base de comparação entre unidades com características distintas.

1.1.1. Testes de Burn-in

Segundo Assis (2016), *Burn-in* é um termo anglo-saxônico que designa um teste usado na fabricação discreta e repetitiva de produtos, com o objetivo de eliminar itens defeituosos que apresentem tempos de vida inferiores ao tempo especificado, de modo que só os que passam no teste cheguem ao mercado com a fiabilidade desejada. Estes testes são realizados durante um intervalo de tempo determinado por cálculo em condições físicas que simulam situações típicas de uso ou até mais severas, também conhecido como testes de vida acelerada. Os itens que sobrevivem são aceitos e colocados em serviço, vendidos ou submetidos a testes adicionais.

Segundo Assis (2016), o teste de *Burn-in* é um processo pelo qual se garante através de um determinado nível de confiança que um sistema/produto não sofrerá falhas antes de decorrido um determinado período de utilização. Para que isto seja possível, os componentes que compõem o sistema são ensaiados em condições simuladas da realidade, ou em alguns casos mais exigentes, de modo a que as falhas se manifestem e os componentes falhados sejam substituídos ou reparados, antes de o sistema/ produto chegar ao mercado e ser colocado em serviço. Para componentes eletrônicos ou de circuitos integrados complexos, os testes são realizados frequentemente em condições de vida acelerada causando-lhes estresse, fazendo-os funcionar em condições de temperatura e de umidade elevadas seguindo perfis temporais pré-definidos, ao mesmo tempo que sujeitos a sobretensões. Os testes de *Burn-in* constituem um custo importante de produção, pois devem ser criteriosamente concebidos, seguindo normas e optando, sempre que possível, por testes não destrutivos.

1.2. FONTES CHAVEADAS

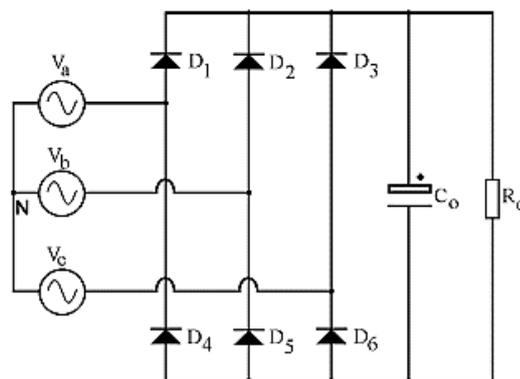
Todos os circuitos eletrônicos requerem uma fonte de tensão contínua, com determinado grau de estabilização. Isto pode ser obtido através de pilhas ou baterias em equipamentos de baixo consumo, mas na maioria das vezes, utiliza-se a energia disponível na rede elétrica local, através de um conversor. Num primeiro momento isso foi obtido através de conversores rotativos, como é o caso do sistema Ward-Leonard, constituído de uma máquina de corrente alternada na qual se obtinha uma corrente contínua. Porém, atualmente em sua

maioria utiliza-se um conversor estático (não-rotativo) denominado fonte de alimentação (MEHL, 2004).

As fontes de alimentação modernas podem ser classificadas em dois grandes grupos: com regulação linear ou com regulação por chaveamento. Desse modo, o que denominamos por fonte chaveada é, na verdade, um conversor estático de corrente alternada em corrente contínua com regulação por chaveamento.

A partir da tensão alternada disponível nos sistemas elétricos, obtém-se uma tensão utilizando um circuito retificador. Para isso, é necessário algum tipo de dispositivo que permita o fluxo da corrente elétrica em uma determinada direção, mas a bloqueie no sentido oposto. Os primeiros retificadores empregaram elementos pouco eficientes, como válvulas de mercúrio ou colunas de selênio, de modo que a conversão rotativa se mantinha como alternativa mais viável para potências elevadas. A partir da Segunda Guerra Mundial, no entanto, foram desenvolvidos os diodos com silício, que fizeram com que a conversão estática fosse dominante. A criação do tiristor, possibilitou um melhor controle da retificação, deste modo a conversão rotativa foi praticamente abandonada no final dos anos 60 em favor dos conversores estáticos. Apesar do contínuo progresso verificado no campo das fontes chaveadas, os circuitos de retificação são basicamente topologias clássicas. Na figura 1, observa-se o circuito do retificador trifásico conhecido como “ponte de Graetz”, formado por seis diodos e filtro de saída capacitivo (MEHL, 2004).

Figura 1 - Retificador trifásico formado por seis diodos conectados em “ponte de Graetz” e filtro de saída capacitivo.

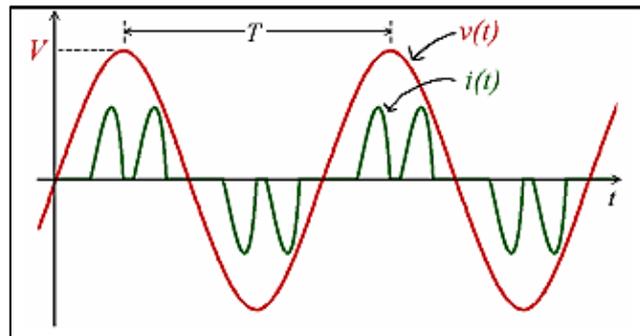


Fonte: (MEHL, 2004, p. 03).

Devido a sua simplicidade e baixo custo, o retificador trifásico da figura 1 é a opção mais utilizada como estágio de entrada de equipamentos eletrônicos de alta potência. Na figura 1, V_a , V_b e V_c representam uma rede trifásica, com o ponto neutro N . A retificação da corrente

é feita pelos diodos D1...D6. Para reduzir a ondulação da tensão de saída, um conjunto de capacitores eletrolíticos de valor elevado, representado na figura 1 como C_o , é normalmente conectado à saída retificada, em paralelo com a carga R_o . O circuito comporta-se, sob o ponto de vista da rede elétrica, como uma carga não linear, sendo a corrente drenada à rede tipicamente da forma mostrada na figura 2, onde é evidente a forma não-senoidal da corrente (MEHL, 2004).

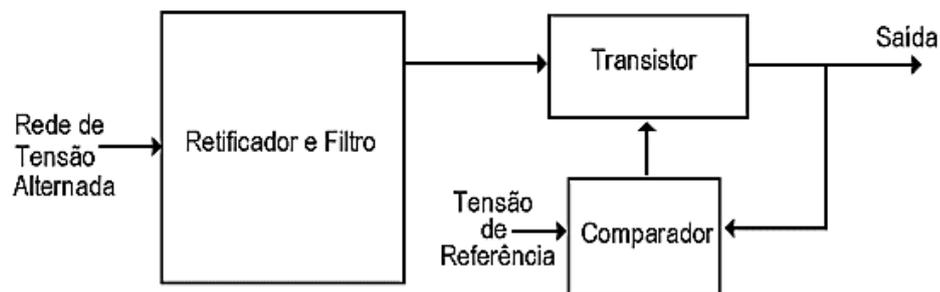
Figura 2 - Formas de onda de tensão e corrente típicas para o retificador trifásico básico.



Fonte: (MEHL, 2004, p. 03).

No entanto, além de ter-se a tensão contínua, é necessária sua regulação para um funcionamento estável do equipamento eletrônico. A regulação de tensão pode ser feita utilizando os reguladores lineares ou então através do controle do tempo de condução de um elemento semiconductor.

Figura 3- Regulação linear da tensão de saída de uma fonte de tensão contínua.

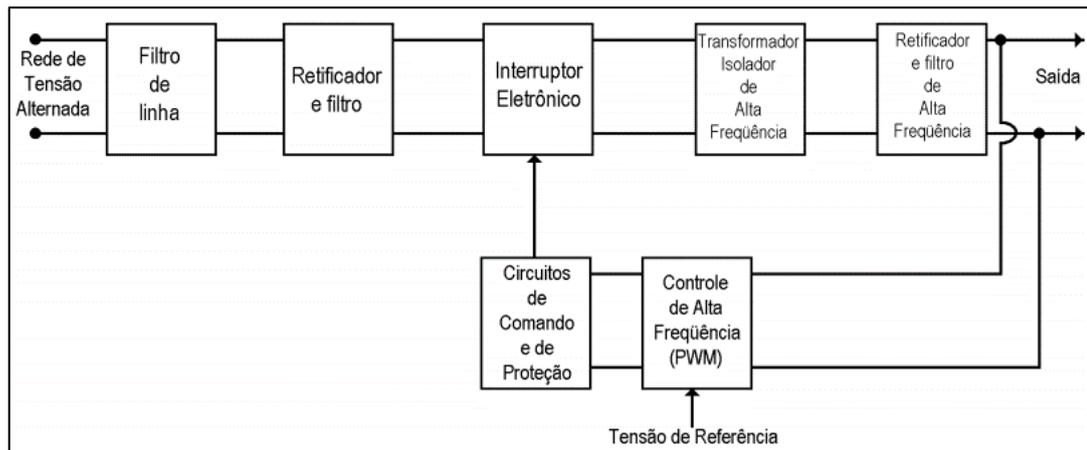


Fonte: (MEHL, 2004, p. 03).

A regulação linear caracteriza-se pelo controle da condutividade de um transistor, ajustando-se dessa forma a intensidade da corrente fornecida e obtendo-se a regulação. Após a retificação da tensão alternada, existe um elemento semiconductor (transistor) cuja condutividade pode ser ajustada. A tensão de saída é constantemente comparada com uma

tensão de referência e, dessa forma, o transistor age como um elemento de resistência variável e absorve qualquer variação de tensão (MEHL, 2004). Outra maneira de se obter a regulação da tensão de saída de uma fonte de tensão contínua é através do chaveamento de um dispositivo semicondutor em frequência elevada. A figura 4 ilustra esquematicamente essa alternativa, que é conhecida como fonte chaveada.

Figura 4 - Diagrama de blocos mostrando o mecanismo de regulação de tensão de uma fonte chaveada.



Fonte: (MEHL, 2004, p. 04).

Segundo Mehl (2004), um regulador chaveado é basicamente um conversor no qual tanto a tensão de entrada e saída são contínuas (conversor CC-CC). Conforme o tipo de conversor empregado, o valor da tensão de saída pode ser maior ou menor que a tensão de entrada, apesar que nas fontes usadas em telecomunicações normalmente a tensão de saída é menor que a de entrada. O interruptor eletrônico opera somente nos estados de saturação (ligado) e corte (desligado), com frequência de operação muito maior que a frequência da rede elétrica. O resultado é uma tensão alternada não-senoidal que é retificada novamente e entregue à carga. No esquemático da figura 4 tem-se os seguintes elementos: filtro de linha, retificador e filtro de entrada, interruptor eletrônico, transformador de alta frequência, retificador e filtro de alta frequência, controle de alta frequência, circuitos de comando e proteção.

O filtro de linha evita a passagem do ruído elétrico produzido pelo conversor para a rede elétrica; em algumas fontes há também o filtro de linha trabalha também no sentido inverso, evitando que ruído existente na rede elétrica seja transmitido para a fonte.

O retificador e filtro de entrada na maioria das fontes chaveadas faz-se a retificação direta da tensão disponível na rede elétrica. Isso elimina a necessidade de um transformador no circuito de entrada, que é volumoso e pesado. O interruptor eletrônico é um transistor operando

em condição de corte e saturação. Apesar das primeiras fontes chaveadas usarem transistores bipolares, esses foram logo abandonados em favor dos *MOSFETs*, que operam em frequências mais elevada com baixas perdas e permitem simplificar o circuito de chaveamento. Para evitar a produção de ruído audível, é necessário que a frequência de chaveamento do interruptor eletrônico seja maior que 20 kHz.

O transformador de alta frequência faz com que a tensão pulsada causada pelo chaveamento do interruptor eletrônico seja abaixada ou elevada para o nível desejado na saída. Este transformador possibilita também o isolamento elétrico entre a saída da fonte chaveada e a rede elétrica. O retificador e o filtro de alta frequência fazem com que a tensão pulsante disponível na saída do transformador seja retificada e filtrada.

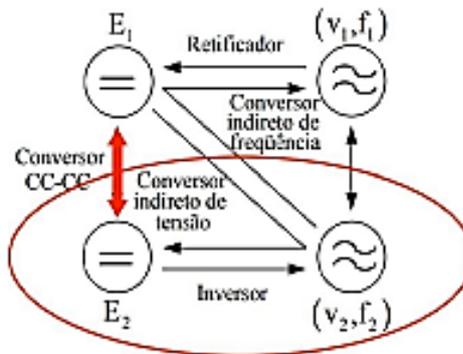
O controle de alta frequência é responsável pelo controle do tempo de condução do interruptor eletrônico. Normalmente o controle é feito através de um comparador, que recebe uma amostra da tensão de saída e compara-a com uma tensão de referência. Na maioria dos circuitos se a tensão de saída estiver baixa, o interruptor eletrônico é comandado a permanecer conduzindo por um tempo maior; se estiver alta, o comando determinará um tempo mais curto de condução. Por esse motivo o controle é chamado por largura de pulso, ou do inglês, *pulse width modulation* (PWM) e muitas vezes as fontes chaveadas são também conhecidas como Fontes PWM.

Normalmente as fontes chaveadas incorporam circuitos de proteção contra curto-circuito e outras condições anormais de funcionamento, que podem ser implementadas através de controles adicionais sobre o interruptor eletrônico. Há também circuitos auxiliares para o acionamento do interruptor eletrônico e, em alguns casos, de interruptores auxiliares, como é o caso das fontes ressonantes.

1.3. CONVERSORES

Os conversores elétricos são equipamentos utilizados para transmissão de sinal. Estes realizam conversão de potência, ou seja, convertem energia elétrica em níveis altos, médios ou baixos de potências. As aplicações desses equipamentos são as mais diversas, principalmente na área da engenharia eletrônica. Um conversor transforma um tipo de corrente em outro tipo, além da transformação de frequência. Na figura 5 é mostrado alguns diferentes tipos de conversores.

Figura 5 - Diferentes tipos de conversores.



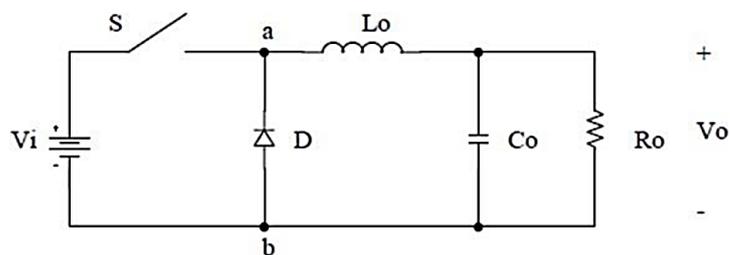
Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20314).

1.3.1. Conversores CC-CC

São classificados como sistemas formados por semicondutores de potência operando como interruptores onde sua principal função é controlar o fluxo de potência de uma fonte de entrada para uma fonte de saída (AHMED, 1998). Dentre os conversores de corrente contínua para corrente contínua têm-se os conversores do tipo *Buck*, *Boost*, *Buck-Boost*, *Flyback* e *Foward*.

O conversor *Buck* é utilizado como abaixador de tensão, e tem como característica entrada em tensão e saída em corrente. As principais características do conversor *Buck* são diminuir a tensão de saída, ter a corrente de saída de boa qualidade e ter a corrente na entrada descontínua (AHMED, 1998). Um diagrama deste conversor é apresentado na figura 6.

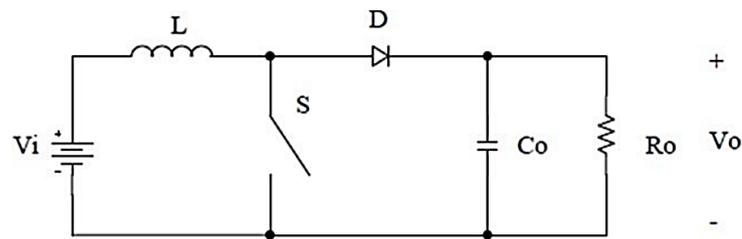
Figura 6 - Diagrama Elétrico do Conversor Buck.



Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20315).

O conversor *Boost* é um conversor elevador de tensão, possui entrada em corrente e saída em tensão. Os conversores *Boost* podem apenas aumentar a tensão na saída, a corrente de saída é descontínua e sua corrente na entrada tem boa qualidade (AHMED, 1998). Este conversor está esquematizado conforme o diagrama da figura 7.

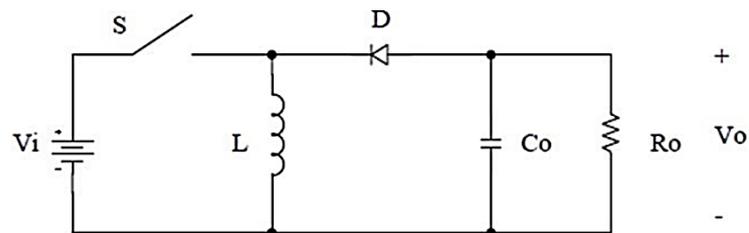
Figura 7 - Diagrama elétrico do conversor Boost.



Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20315).

Conversor *Buck-Boost* difere-se dos anteriores, pois pode operar como abaixador ou elevador de tensão, tem entrada e saída em tensão. Este conversor acumula energia e possui a corrente de entrada e saída descontínua (AHMED, 1998). O seu esquema é representado como mostra a figura 8.

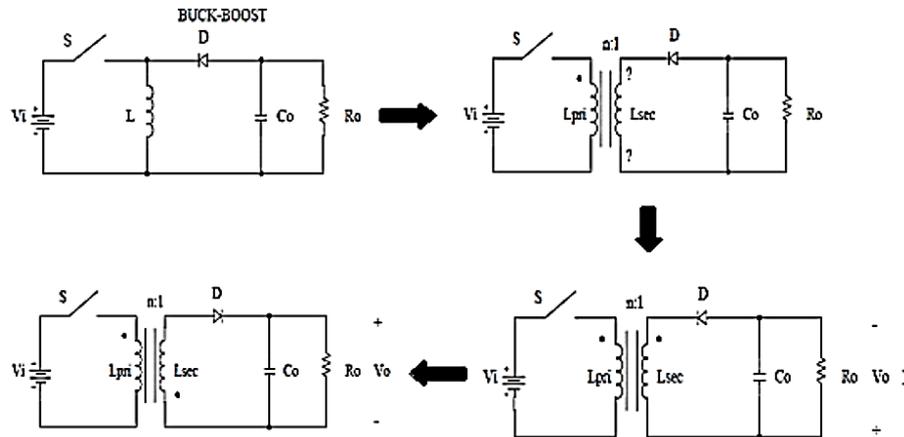
Figura 8 - Diagrama elétrico do conversor Buck-Boost.



Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20316).

Conversor *Flyback* (*Buck-Boost* isolado) é um conversor idêntico ao *Buck-boost*, mas apresenta isolação galvânica entre a tensão de entrada e de saída. Pode-se dizer que ele também é um conversor à acumulação de energia, sua saída é isolada da entrada, permite ajustar a razão cíclica de operação através da relação de transformação, possibilitando usar várias saídas, pode operar como elevador ou abaixador, a corrente de entrada e saída são descontínua (AHMED, 1998). Na figura 9 é possível analisar o diagrama elétrico do mesmo e a sequência de passos para obter o conversor *Flyback* do conversor *Buck-Boost*.

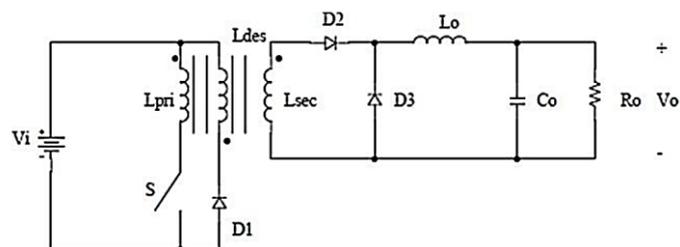
Figura 9 - Diagrama elétrico do conversor Flyback e como obtê-lo por meio do conversor Buck-Boost.



Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20317).

Conversor *Forward* ou *Buck* isolado é idêntico ao conversor *Buck*, porém apresenta isolamento galvânica entre a tensão de entrada e saída. Como principais características do conversor *Forward* pode-se citar que ele é um conversor de transferência direta de energia, sua saída é isolada da entrada, também permite ajustar a razão cíclica de operação através da relação de transformação, possibilita usar várias saídas, pode operar como abaixador, devido apenas à razão cíclica, a corrente de saída é de boa qualidade e a corrente de entrada é descontínua (AHMED, 1998). Na figura 10 é possível ver o diagrama elétrico do conversor *Forward*.

Figura 10 - Diagrama elétrico do conversor Forward.



Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20318).

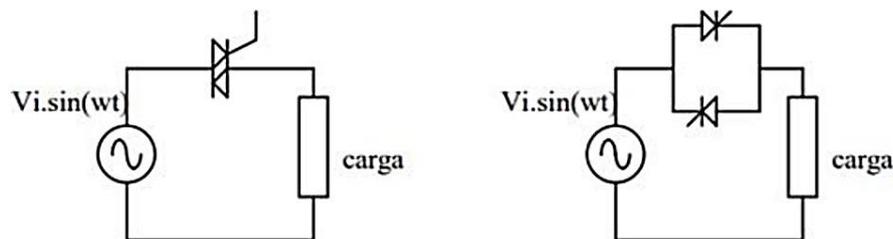
1.3.2. Conversores CA-CA

Os conversores CA-CA, trata-se de circuitos os quais, partindo de uma tensão de entrada alternada, produzem na saída uma tensão alternada com características diferentes da inicial, tanto em valor eficaz, como em frequência, assim como também pode ser em ambos os

valores (AHMED, 1998). Como exemplo de tais dispositivos, temos os: variadores de tensão, os ciclos conversores e os conversores em Matriz.

Os variadores de tensão são utilizados quando necessita-se alterar o valor de tensão e da corrente eficaz da carga, em situações em que a alimentação é por corrente alternada, o emprego dos variadores de tensão é usual. Tais dispositivos também podem ser designados como Gradadores, Contadores estáticos e Controladores. Para estes dispositivos, podem ser empregados tiristores, já que possuem comutação natural. Em baixas potências, utiliza-se de TRIACs, já em altas potências, utiliza-se 2 SCRs em antiparalelo, como é mostrado na figura 11.

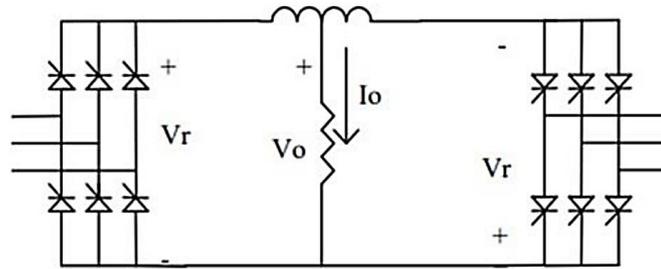
Figura 11 - Exemplificação de variadores de tensão utilizando TRIACs e SCRs em antiparalelo.



Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20319).

Os ciclos conversores possuem uma associação de retificadores controlados, de forma que os retificadores produzam, sobre a carga, tensões com valores médios opostos, para o caso de entradas trifásicas e saída monofásica. Os ciclos conversores permitem que a saída tenha frequência diferente da entrada. Sua utilização é, em grande maioria, no acionamento de grandes motores de corrente alternada, de indução ou síncronos, que trabalham na faixa de centenas ou milhares de KVA, em velocidades baixas (AHMED, 1998). Como existe uma alta potência requerida, a utilização de transistores não é aplicável, pois exige-se frequências baixas sobre a carga, o que possibilita a utilização de tiristores. Também são utilizados em alguns trechos de ferrovias europeias, com alimentação de 16 e 2/3 Hz. O diagrama deste conversor está presente na figura 12.

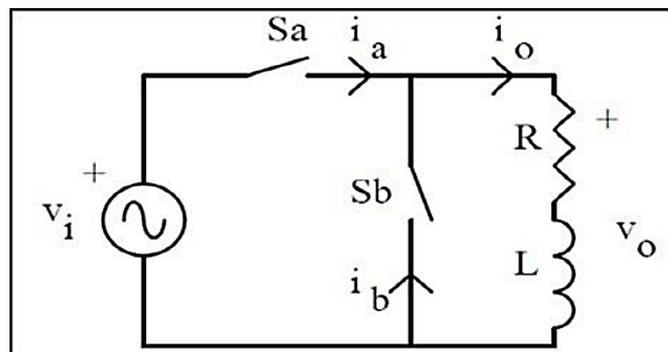
Figura 12 - Ciclo-conversor com entrada trifásica e saída monofásica.



Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20319).

Os conversores em Matriz são conceitualmente simples, os conversores em matriz têm sua aplicação reduzida por conta das suas comutações não ideais. Possui ausência de elementos acumuladores de energia, pois não há indutores nem capacitores no conversor, apenas interruptores, além de maior eficiência, comparado com um sistema composto por retificador e inversor, no qual haveria 4 interruptores no caminho da corrente, contra 2 neste conversor (AHMED, 1998). O diagrama deste conversor está presente na figura 13.

Figura 13 - Conversor em matriz com entrada e saída monofásica.



Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20320).

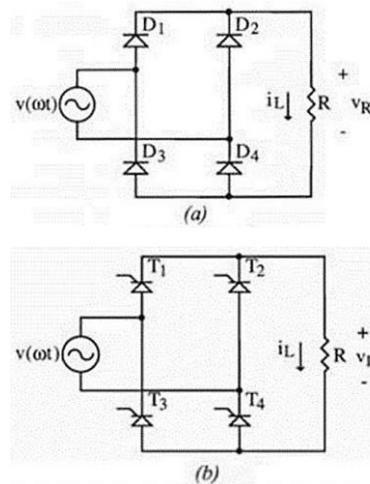
1.3.3. Conversores CA-CC

O fornecimento da rede elétrica é feito através de uma rede de distribuição em corrente alternada. Entretanto, em muitas aplicações a carga alimentada exige uma tensão contínua. Assim, realiza-se a conversão de corrente alternada para corrente contínua utilizando conversores CA-CC, chamados de retificadores (AHMED, 1998).

Esses podem ser classificados em diversas formas, como sua capacidade de ajustar o valor da tensão de saída, de acordo com o número de fases na tensão alternada de entrada, em função do tipo de conexão dos elementos retificadores. Os retificadores que possuem

capacidade de ajustar o valor da tensão de saída são chamados de controlados, pois utilizam tiristores ou transistores na sua composição (HART, 2011). Todavia, os retificadores que não possuem a capacidade de ajustar o valor da tensão de saída são chamados de não controlados, pois utilizam diodos como elementos de retificação. Pode-se observar na figura 14 a representação de retificadores controlados e não controlados.

Figura 14 - (a) Configuração para um retificador não controlado e (b) configuração para um retificador controlado.

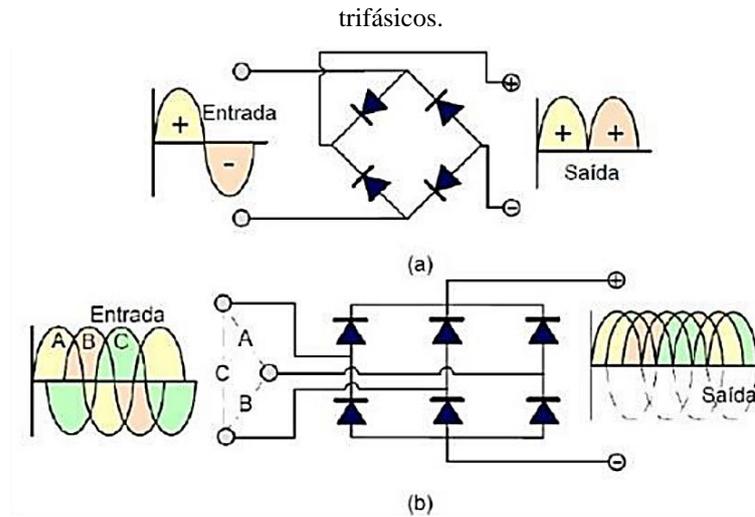


Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20321).

Além de serem definidos como controlados e não controlados, é possível classificar de acordo com o número de fases na tensão alternada de entrada (BARBI, 2006). O transformador monofásico é alimentado apenas por uma única fase e a energia é fornecida através de três fios: neutro, fase A e fase B. A energia monofásica é distribuída através de tomadas de uso doméstico comuns. O transformador trifásico é alimentado por três fases e a energia é fornecida através de quatro fios: neutro, fase A, fase B e fase V (ALVES, 2013).

A energia trifásica é caracterizada por três ondas monofásicas que trabalham juntas representado na figura 15.

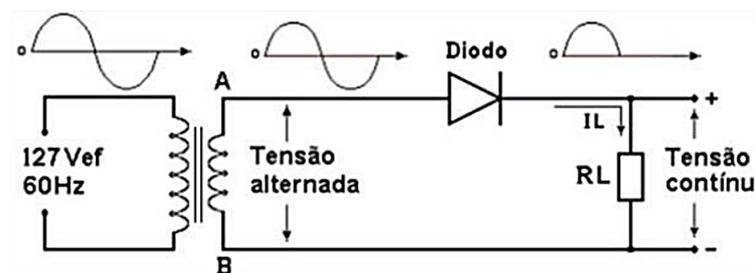
Figura 15 - Representação de uma ponte retificadora: (a) para sistemas monofásicos e (b) para sistemas trifásicos.



Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20321).

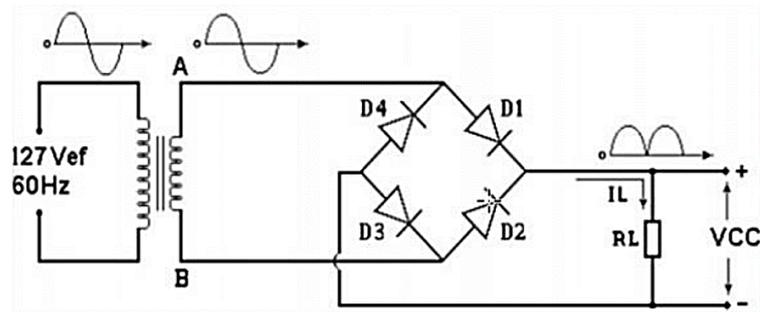
Para classificar em função do tipo de conexão dos elementos retificadores deve-se observar a tensão de saída. Podemos classificar entre dois tipos: os retificadores de meia onda ou os retificadores de onda completa (AHMED, 1998). Para retificadores classificados como meia onda, a tensão de saída é apenas um dos semiciclos de entrada, como pode ser observado na figura 16. Entretanto, para retificadores de onda completa, a tensão de saída é formada tanto pelo semiciclo positivo quanto o semiciclo negativo, como pode ser observado na figura 17.

Figura 16 - Representação de um retificador de meia onda.



Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20322).

Figura 17 - Representação de um retificador em ponte de onda completa.



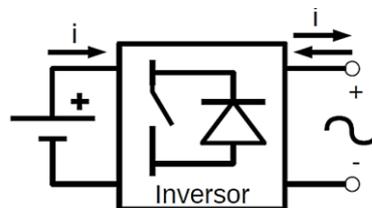
Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20322).

As aplicações dos retificadores são amplas, sendo aplicados em processos eletroquímicos soldagem elétrica, acionamentos à velocidade ajustável, sistemas HVDC, fontes de uso geral e ininterruptas, sistemas *no-break*, motores de acionamento contínuo (AHMED, 1998).

1.3.4. Conversores CC-CA

Um inversor/conversor é um dispositivo elétrico ou eletromecânico capaz de converter sinais elétricos CC em CA, como mostra a figura 18, e esse tipo de conversor fornece em sua saída tensão alternada, com frequência, forma e amplitude definidas por algum sistema de controle. Os tipos de chaves estáticas utilizadas são: *TBJ*, *MOSFET*, *GTO* ou *SCR* (GRAHAM, 2002).

Figura 18 - Circuito representativo do conversor CC-CA.



Fonte: (BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT, 2021, p. 20323).

Devido a importância e aplicações desses conversores, também chamados de inversores de frequência porque convertem tensões contínuas em alternadas pode-se elencar diversas características e aplicações deles que podem ser monofásicos, trifásicos ou n-fásicos.

Em princípio, a saída desse tipo de conversor deve ser independente de: alterações limitadas na tensão ou corrente presente no barramento CC; nas cargas alimentadas pela rede

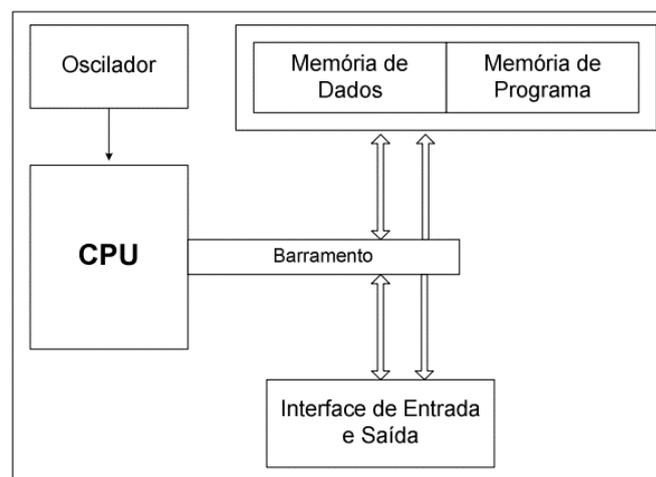
CA, situação de operação ilhada, ou na própria rede CA, mudanças na tensão e, em menor escala, na frequência (GRAHAM, 2002).

A principal aplicação dos inversores nos sistemas de geração distribuída e de acumuladores de energia é entregar energia elétrica à rede de distribuição em corrente alternada, dentro de padrões de qualidade adequados. Isso requer, principalmente, que a forma de onda da corrente resultante na rede tenha mínima distorção, ou seja, que se aproxime da forma senoidal (GRAHAM, 2002).

1.4. MICROCONTROLADORES

Segundo Lima (2010), um microcontrolador é o um sistema microprocessado com várias funcionalidades (periféricos) disponíveis em um único chip. Basicamente, um microcontrolador é um microprocessador com memórias de programa, de dados e *RAM*, temporizadores e circuitos de *clock* embutidos. O único componente externo que pode ser necessário é um cristal para determinar a frequência de trabalho. A grande vantagem de se colocar várias funcionalidades em um único circuito integrado é a possibilidade de desenvolvimento rápido de sistemas eletrônicos com o emprego de um pequeno número de componentes.

Figura 19 - Estrutura básica de um sistema microprocessado.



Fonte: (LIMA,2010, p. 04).

e imagens, possui baixo custo, em comparação a outros similares, o torna acessível tanto para uso pessoal quanto para uso comercial.

O *Raspberry pi* funciona com sistema operacional aberto chamado de *Raspbian*, trata-se de um sistema operacional GNU/Linux, otimizado para o *Raspberry pi*, oferecido sem custo ao usuário, baseado no Debian, um outro sistema operacional que também é disponibilizado gratuitamente.

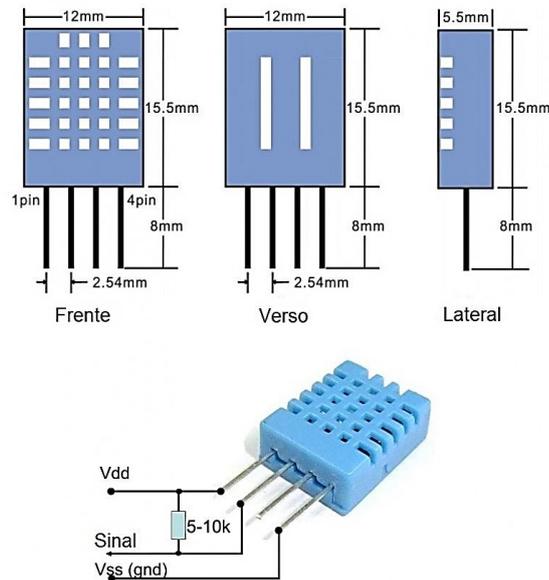
1.5. SENSORES

A palavra sensor é definida literalmente como “aquilo que sente”. Nos circuitos eletrônicos os sensores permitem a análise de uma determinada condição do ambiente, podendo ela ser simples como a luminosidade ou mais complexa como a rotação de um motor ou detecção de partículas subatômicas. São classificados como um tipo de transdutor, que é um componente que transforma um tipo de energia em outro, os sensores são transdutores específicos, pois transformam algum tipo de energia (luz, calor, movimento) em energia elétrica (PATSKO,2006).

1.5.1. Sensor de Temperatura DHT11

O Sensor Digital de Temperatura e Umidade DHT11 é um dispositivo calibrado, composto por uma saída digital da temperatura e da umidade. As especificações do sensor são: possui faixa de medição de umidade de 20 a 90% Umidade Relativa (UR) com $\pm 5,0\%$ UR de precisão, sua faixa de medição de temperatura (0° a 50°C) com $\pm 2,0^{\circ}\text{C}$ de precisão, alimentação de 3 a 5 VDC, corrente de $200\mu\text{A}$ a 500mA , seu tempo de resposta é de 2 segundos e suas dimensões são de $23,5 \times 12 \times 5,5$ mm, incluindo os terminais.

Figura 21 - Sensor de temperatura e umidade.



Fonte: (THOMSEN, 2015, s.p.).

1.5.2. Sensor de Tensão e Corrente INA219 De Alta Precisão

O Sensor de Tensão e Corrente INA219 é um pequeno módulo eletrônico desenvolvido para aplicação em diversos circuitos elétricos. Por meio do Arduino, AVR, PIC, *Raspberry pi*, ou outras plataformas de prototipagem é possível medir a tensão e a corrente DC.

O principal diferencial desse modelo é sua alta precisão de medição, permitindo tensões contínuas entre 0 e 26 V DC, além de permitir corrente máxima de 3,2A com incrível capacidade de resolução de 0,8mA (conversor analógico digital).

Muito fácil de integrar com outros módulos eletrônicos e microcontroladores, ele conta com comunicação do tipo I2C, o que significa que pode atuar em conjunto com o módulo ESP8266, com o Arduino ou qualquer outro com interface I2C.

A alimentação do Sensor INA219 pode variar entre 3 e 5.5VDC, onde permite chegar a 128 medições contínuas de forma a dar muito mais precisão a leitura, permitindo medições de corrente e de potência em Watts.

As características do sensor são: é um sensor de Tensão e corrente, é compatível com Arduino, Raspberry PI, PIC, AVR, entre outros, maior precisão que outros modelos, pinos para conexão junto ao Arduino, excelente relação custo x benefício (USINAINFO, s.d.)

Esse sensor é bastante amplo em relação ao endereçamento. Ele possui 2 pinos de endereço, sendo A0 e A1, possibilitando 16 endereços. Sua desvantagem é que os endereços devem ser feitos na base da solda, pois não existe um seletor ou pinos para *jumping*.

Figura 22 - Endereçamento do sensor INA219.

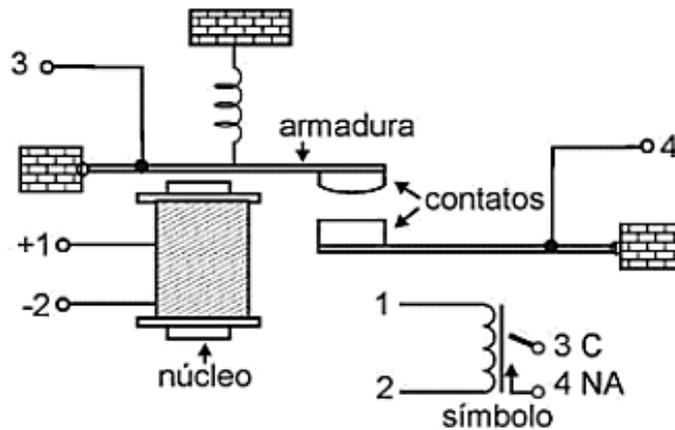
A1	A0	SLAVE ADDRESS
GND	GND	1000000
GND	V _{S+}	1000001
GND	SDA	1000010
GND	SCL	1000011
V _{S+}	GND	1000100
V _{S+}	V _{S+}	1000101
V _{S+}	SDA	1000110
V _{S+}	SCL	1000111
SDA	GND	1001000
SDA	V _{S+}	1001001
SDA	SDA	1001010
SDA	SCL	1001011
SCL	GND	1001100
SCL	V _{S+}	1001101
SCL	SDA	1001110
SCL	SCL	1001111

Fonte: (SUHANKO, 2016, s.p.).

1.6. RELÉ

Segundo Braga (2017), pode-se definir um relé como um dispositivo comutador eletromecânico. A estrutura simplificada de um relé é mostrada na figura 23 e, a partir dela, pode-se explicar seu princípio de funcionamento.

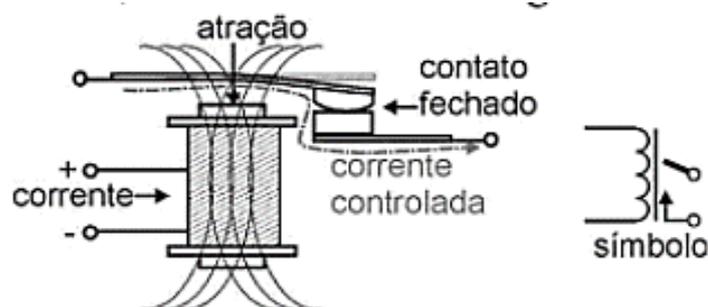
Figura 23 - Estrutura simplificada de um relé. Os terminais 1 e 2 são os terminais da bobina. Os terminais 3 e 4 correspondem aos contatos.



Fonte: (BRAGA, 2017, p. 19).

Nas proximidades de um eletroímã é posicionada uma armadura móvel de metal ferroso, que tem por finalidade controlar um jogo de contatos. Quando a bobina é percorrida por uma corrente elétrica, um campo magnético é criado. Atuando sobre a armadura, provocando sua atração. Com essa atração, a armadura e conseqüentemente os contatos se movimentam, o que faz com que o contato móvel se encoste no contato fixo inferior, e assim a corrente possa passar pelo circuito controlado, conforme mostra a figura 24.

Figura 24 – Relé contato fechado.

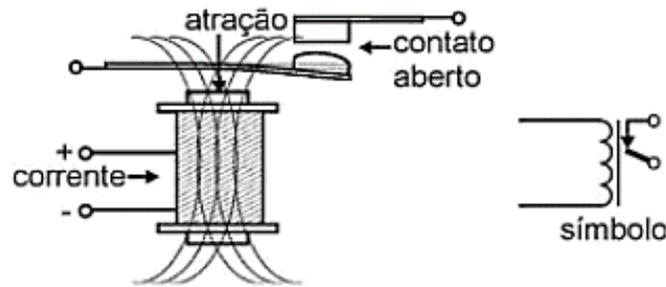


Fonte: (BRAGA, 2017, p.19).

Outra possibilidade de controle de um relé é explorada na configuração da figura 25. Nela, na condição normal, os contatos permanecem encostados um ao outro, e com isso a corrente controlada pode circular.

Quando a bobina é energizada, ou seja, quando através dela passa a circular uma corrente de controle, o campo magnético criado movimenta um dos contatos de modo que ele se separa do outro (BRAGA, 2017). Com a bobina energizada os contatos abrem.

Figura 25 - Relé contato aberto.



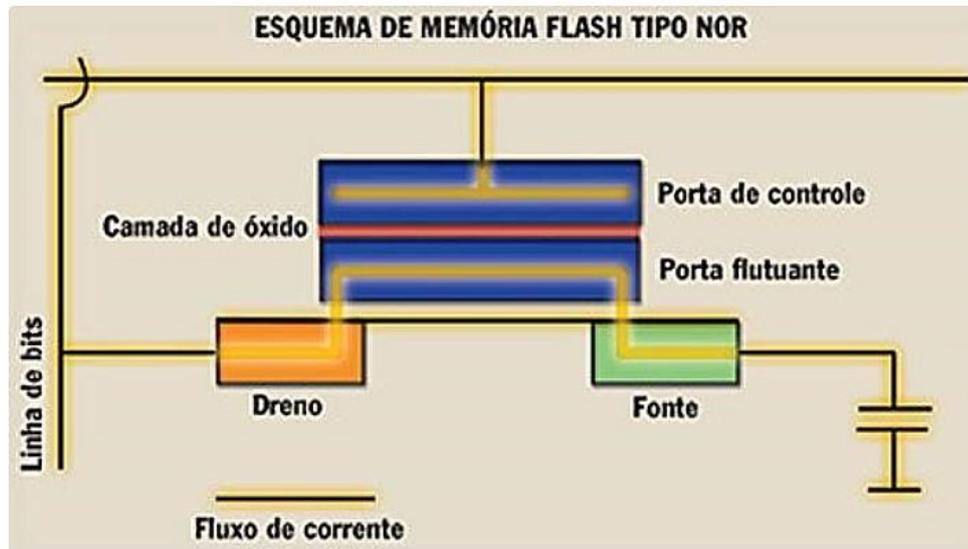
Fonte: (BRAGA, 2017, p.20).

Os relés podem ser energizados tanto a partir de uma fonte de corrente contínua como por uma fonte de corrente alterada. No entanto, os relés para corrente alternada devem ter uma construção diferente dos relés que devem ser energizados com corrente contínua (BRAGA, 2017).

1.7. CARTÃO DE MEMÓRIA

Cartão de memória ou cartão de memória flash é um dispositivo de armazenamento de dados com memória flash utilizado em consoles de videogames, câmeras digitais, telefones celulares, *MP3 players*, computadores e outros aparelhos eletrônicos. Podem ser regravados várias vezes, não necessitam de eletricidade para manter os dados armazenados, são portáteis e suportam condições de uso e armazenamento mais rigorosas que outros dispositivos baseados em peças móveis.

Os cartões de memória utilizam a chamada memória *flash* no seu processo de gravação. Também conhecida como armazenamento sólido, esse tipo de técnica de gravação e leitura acaba gerando equipamentos mais resistentes a impactos, mais rápidos na transferência de dados e com maior durabilidade.

Figura 26 - Esquema de memória *Flash*.

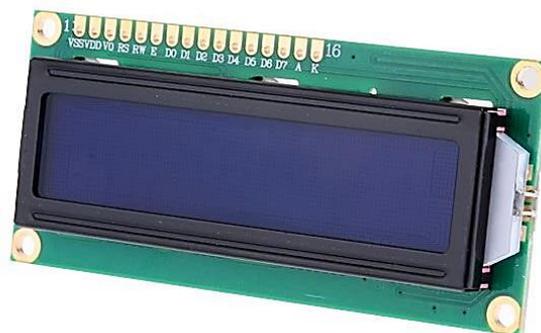
Fonte: (STOIDER, 2012, s.p.).

1.8. MÓDULO DISPLAY

Módulos de display LCD de caracteres alfanuméricos são interfaces de comunicação visual muito úteis e atraentes. Eles se encontram em quase todos os aparelhos domésticos, eletroeletrônicos, automóveis, instrumentos de medição etc. São dispositivos que possuem interfaces elétricas padronizadas e recursos internos gráficos e de software que permitem facilmente a permuta por outros de outros fabricantes, sem que seja necessário alterar o programa de aplicação (PUHLMANN, 2015).

Na figura 27 temos um exemplo de display de 16x2, onde são apresentadas 16 colunas por 2 linhas. Para conexão são utilizados 16 pinos, dos quais 12 são usados para conexões básicas, entre elas as conexões de alimentação, pinos 1 e 2, *backlight*, pinos 15 e 16, e contraste, pino 3.

Figura 27 - Módulo display.



Fonte: Autoria própria.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho é uma pesquisa aplicada, com o objetivo de realização de pesquisa exploratória sobre o material bibliográfico e de laboratório para elaboração de teste de confiabilidade *Burn-in* de baixo custo e baixa capacidade. Os procedimentos técnicos de pesquisa bibliográfica e experimental foram aplicados, assim como a utilização de abordagem hipotético-dedutivo e o método de procedimento monográfico em sua elaboração. Para a coleta de dados, foi utilizada a exportação dos valores coletados e a análise desses dados ocorreu globalmente.

Foi necessária uma revisão na literatura na área de sistemas microprocessados, sensores, circuitos elétricos, linguagens de programação, fontes chaveadas, conversores e tipos de conversores, relés e segurança em testes de confiabilidade. A construção do teste de confiabilidade *Burn-in* com baixo custo e baixa capacidade sendo dividida nas seguintes partes:

Na primeira etapa foram realizadas pesquisas referentes a fontes chaveadas, como quanto ao seu modo de funcionamento, evolução e mudanças que estas vieram a sofrer ao longo dos anos, levando em consideração a própria evolução que seus componentes críticos e sistemas sofreram. Também foi visto sobre os componentes que foram utilizados no projeto como microcontroladores, relés, display e sensores.

Após a etapa de pesquisa foi elaborado o diagrama em blocos do modo de funcionamento do sistema de *Burn-in*, desta forma, foram projetados os circuitos do protótipo e simulados de forma experimental. A coleta de dados de cada sensor, ocorreu com os valores de medição dos sensores INA219 e DHT 11 dispostos na tela do monitor.

Após a simulação e criação do programa de coleta de dados no *Raspberry*, foi implementado o chaveamento de tensão para acionamento e desligamento das fontes chaveadas, onde foi necessário à utilização de relés para este acionamento. Após a implementação destes acionamentos via relés o protótipo foi implementado para a realização da checagem do funcionamento e testado com aplicações de carga e utilização dos sensores de corrente, onde foi utilizado o INA219, sensor de alta precisão, de temperatura e umidade, onde foi utilizado o DHT11. Após esta etapa foram feitos os testes de calibração dos sensores, visando adequá-los às etapas posteriores de processamento, de modo que ruídos e medidas incoerentes não sejam repassadas ao modelo de aprendizado da máquina e realizado a análise do sistema e validação dos sensores.

Após a verificação da eficácia do programa criado, com o chaveamento de funcionamento das fontes e coleta de dados dos sensores, foi realizada a montagem final do protótipo, após a montagem concluída foi necessário realizar a programação para exportação dos dados coletados pelos sensores, para que desta forma pudéssemos armazenar ao final dos testes os valores coletados, após a finalização desta programação, foi realizado os testes com fontes chaveadas e coleta de dados.

Foi necessário o confronto dos valores medidos pelo sistema com os valores reais ofertados pelas fontes, de forma a se ter um estudo de confiabilidade nos valores medidos pelo sistema, após essa validação de confiabilidade foi desenvolvida uma interface para monitoramento em tempo real dos testes via monitor LCD.

Após a criação da interface e implementação da programação de exportação de dado foi realizado uma simulação com o protótipo em funcionamento, juntamente com a coleta de dados, estes eram armazenados com a utilização de cartão de memória. Esta etapa de exportação tem como importância a validação dos dados registrados e desta forma do protótipo do sistema.

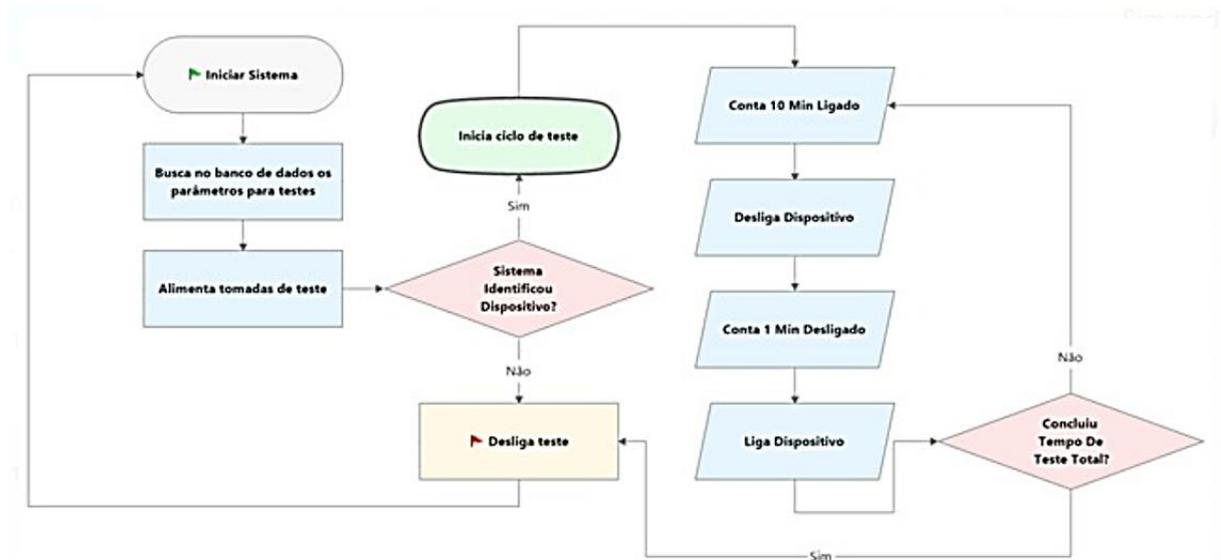
Para a realização do protótipo do sistema de controle e monitoramento do sistema de Burn-in, foram necessários os seguintes itens para montagem e testagem do sistema:

- 1 módulo *Raspberry* modelo B – microcontrolador utilizado no sistema;
- 2 sensores de corrente INA219 - um para monitoramento de cada fonte a ser monitorada;
 - 1 sensor de temperatura DHT11- para monitoramento do ambiente que o teste será realizado;
 - 2 módulos Relé 1 canal 5V – para acionamento e desligamento das fontes chaveadas;
 - 1 Kit cabo jumper Fêmea-Fêmea 40 unidades de 20cm – para conexões no circuito;
 - 1 cartão de memória SD 16GB Classe 10 – para arquivamento dos valores coletados pelos sensores;
 - 1 Display 16x2 – para testes e monitoramento dos valores coletados;
 - 1 monitor LCD;
 - 1 Mouse;
 - 1 Teclado de computador;
 - 1 Protoboard para montagem do sistema;
 - 5 Resistores para simulação de carga;
 - 2 Tomadas AC para conexão dos adaptadores.

3. IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

Este capítulo apresenta os procedimentos detalhados para a realização do projeto. Como elementos constituintes desta etapa estão a programação do *Raspberry* de forma que este faça a leitura dos dados fornecidos pelos sensores de temperatura e umidade, corrente e tensão ligados a ele. Também se mostra a programação do *Raspberry* para a construção do sistema de chaveamento via relé das fontes chaveadas a serem testadas para o correto acionamento e desligamento destas. Deste modo, teremos o protótipo do sistema de *Burn-in*, o desenvolvimento da interface de coleta de dados e exportação destes dados para validação e configuração do sistema. O sistema de *Burn-in* projetado obedecerá ao diagrama descrito na figura 28 para o seu modo de funcionamento.

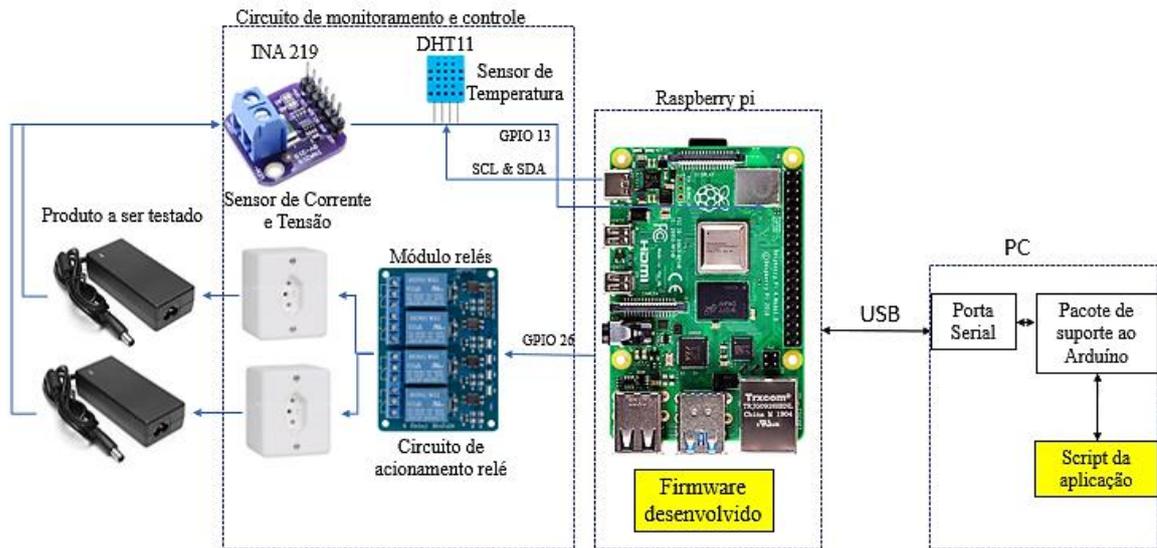
Figura 28 - Diagrama de Funcionamento do Teste.



Fonte: Autoria Própria.

A figura 29 ilustra o diagrama de arquitetura geral da solução. Pode-se observar os materiais utilizados, além das ligações e conexões necessárias para o funcionamento e coleta de dados da solução proposta. O diagrama mostra o produto a ser testado e como seu acionamento ocorre.

Figura 29 - Diagrama de arquitetura do Teste.



Fonte: Autoria Própria.

São apresentados neste capítulo os seguintes tópicos:

- Preparação do ambiente no *Raspberry* modelo B;
- Leitura e pré-processamento dos dados dos sensores de temperatura;
- Leitura e pré-processamento dos dados dos sensores de tensão;
- Desenvolvimento do protótipo do sistema de funcionamento *Burn-in*, chaveamento dos relés e acionamento dos adaptadores;
- Desenvolvimento de interface para coleta de dados dos sensores, calibração, modelagem e validação destes;
- Desenvolvimento da interface de validação do sistema e exportação de dados.

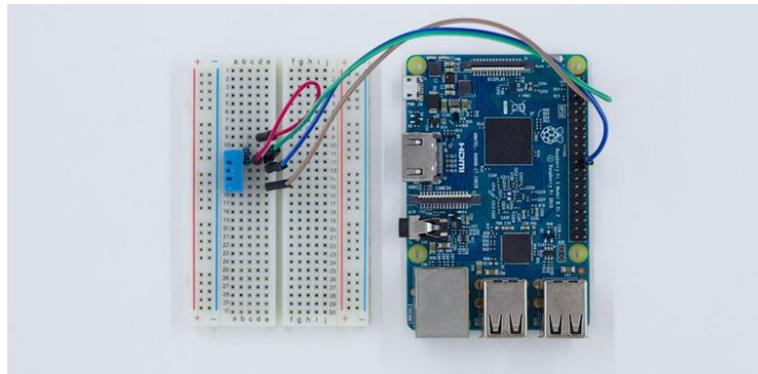
3.1. PREPARAÇÃO DO AMBIENTE NO RASPBERRY MODELO B

Durante a elaboração do projeto foram realizadas considerações de desenvolvimento e levantamento de requisitos do projeto, dentre esses requisitos alguns foram essenciais no processo de escolha do microcontrolador a ser utilizado. Fatores como tamanho reduzido, consumo energético, velocidade de processamento e necessidade de uso atrelado a um computador, fizeram o *Raspberry* ser a escolha mais adequada. Toda a programação do sistema foi desenvolvida em *Python*. Foram realizados teste no *Raspberry* a fim de verificar o correto funcionamento dos seus pinos de saída.

3.2. LEITURA E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS DOS SENSORES DE TEMPERATURA

Com a finalidade de realizar os testes de aquisição de dados do sensor de temperatura, bem como, aplicar os procedimentos para coleta de dados, procedeu-se a ligação do sensor de temperatura DHT11 na placa do *Raspberry*. Para a alimentação do sensor foi utilizado os 3.3V da placa, e como pino de entrada no *Raspberry*, o pino 22 (GPIO 25). Foi utilizado um resistor de 4,7k como *pull-up* para o pino de dados do sensor, conforme mostrado na figura 30.

Figura 30 - Ligação do sensor DHT11 no Raspberry.



Fonte: (THOMSEN, 2015, s.p.).

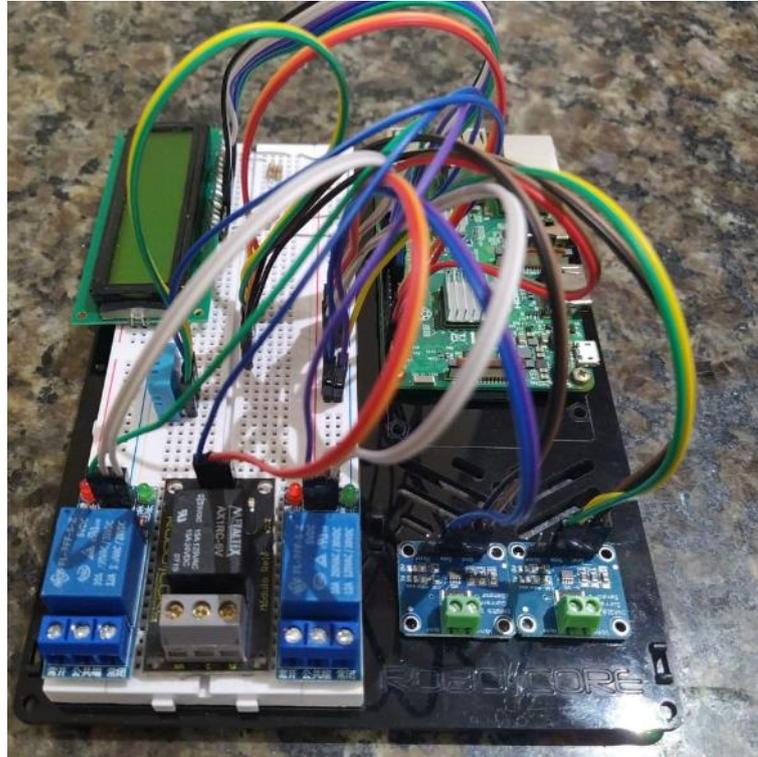
Foi utilizada a biblioteca da *Adafruit* para a utilização desse sensor. Essa biblioteca foi instalada diretamente no *Raspbian*, com isto foi carregada a interface de programação em *Python* do *Raspbian*, onde foi utilizado o código descrito no apêndice A para teste deste sensor e coleta de dados da temperatura e umidade do ambiente.

3.3. LEITURA E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS DOS SENSORES INA219

Com a finalidade de realizar os testes de aquisição de dados dos sensores INA219, bem como, aplicar os procedimentos para coleta de dados, procedeu-se com a ligação do relé, do sensor de tensão e corrente INA219 na placa do *Raspberry*, juntamente com um display 16x2, para visualização dos dados coletados. Para a conexão dos sensores no *Raspberry*, o pino Vcc foi conectado ao pino de 3,3V, o pino de aterramento do sensor foi conectado ao pino de aterramento do *Raspberry*, os pinos SDA e SCL do sensor são conectados aos pinos SDA e SCL do *Raspberry*, que são GPIO 2 e 3. Como o INA219 funciona a 3,3 V, não é necessária nenhuma mudança de nível. A comunicação utilizada pelo sensor é a comunicação I2C, para

termos um maior range de leitura nas medições. As conexão e modelo de medição montados encontram-se disponíveis na figura 31.

Figura 31 - Sistema para medição e teste do INA219.



Fonte: Autoria Própria.

Para a execução dos testes realizados nestes sensores foi utilizado o código descrito no apêndice B, onde foi coletado os valores de saída de tensão e corrente de adaptadores de fontes chaveadas. Os valores coletados foram informados via display de 16x2, colocados no sistema para teste.

3.4. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA

Para início do sistema de medição foi necessário a atualização e instalações das bibliotecas no *Raspberry*, isto ocorre devido a versão da plataforma adotada, versão B, e para se ter um correto funcionamento das programações, conforme mostrado na figura 32.

Figura 32 - Instalação das bibliotecas no *Raspberry*.

```

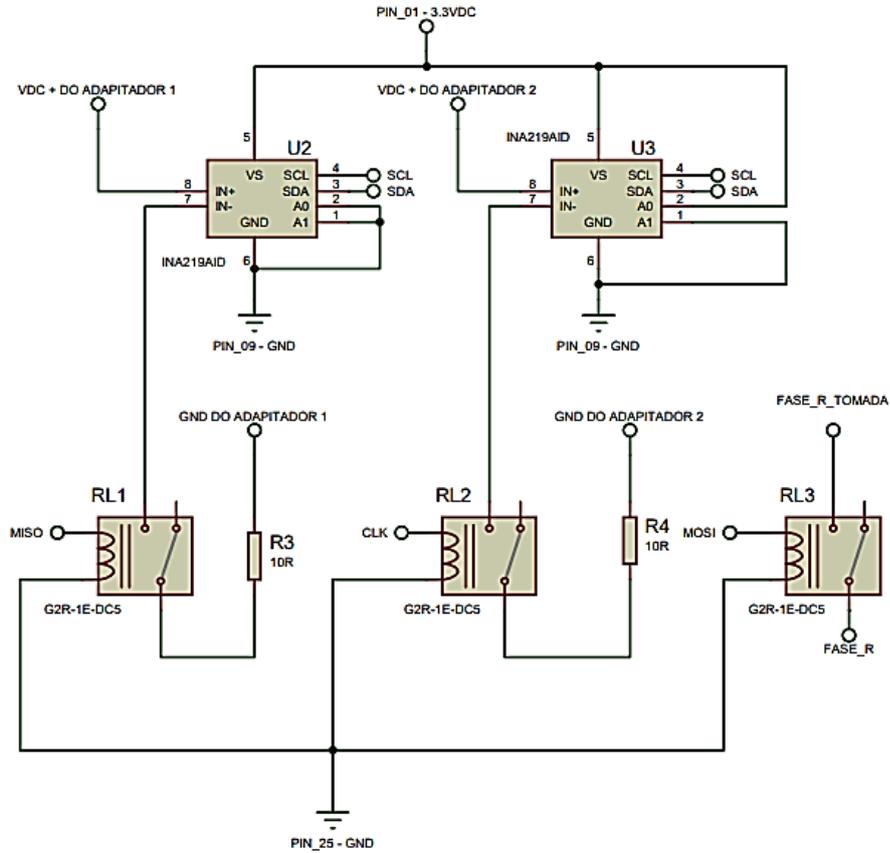
0 pacotes atualizados, 0 pacotes novos instalados, 0 a serem removidos e 0 não atualizados.
Atendido:1 http://archive.raspberrypi.org/debian buster InRelease
Atendido:2 http://rasbian.raspberrypi.org/rasbian buster InRelease
Lendo listas de pacotes... Pronto
adafruitador:~$ sudo pip install python-pip
Lendo listas de pacotes... Pronto
Construindo árvore de dependências
Lendo informação de estado... Pronto
python-pip is already the newest version (18.1.5rpt1).
0 seguinte pacote foi instalado automaticamente e já não é necessário:
python-colorzmq.
Utilize 'sudo apt autoremove' para o remover.
0 pacotes atualizados, 0 pacotes novos instalados, 0 a serem removidos e 0 não atualizados.
adafruitador:~$ sudo pip install RPLCD
Looking in indexes: https://pypi.org/simple, https://www.piwheels.org/simple
Collecting RPLCD
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/01/af/6e7e7ae07883d8854f3c009d34d889ef9d0d43daf20924790b16153/RPLCD-1.3.0-py2-none-any.whl (48kB)
    100% |#####| 51kB 468kB/s
Installing collected packages: RPLCD
Successfully installed RPLCD-1.3.0
adafruitador:~$ git clone https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_DHT.git
fatal: destination path 'Adafruit_Python_DHT' already exists and is not an empty directory.
adafruitador:~$ cd Adafruit_Python_DHT
adafruitador:~/Adafruit_Python_DHT$ sudo apt-get update
Atendido:1 http://archive.raspberrypi.org/debian buster InRelease
Atendido:2 http://rasbian.raspberrypi.org/rasbian buster InRelease
Lendo listas de pacotes... Pronto
adafruitador:~/Adafruit_Python_DHT$ sudo apt-get install build-essential python-dev
Lendo listas de pacotes... Pronto
Construindo árvore de dependências
Lendo informação de estado... Pronto
build-essential is already the newest version (12.6).
python-dev is already the newest version (2.7.18-1).
0 seguinte pacote foi instalado automaticamente e já não é necessário:
python-colorzmq.
Utilize 'sudo apt autoremove' para o remover.
0 pacotes atualizados, 0 pacotes novos instalados, 0 a serem removidos e 0 não atualizados.
adafruitador:~/Adafruit_Python_DHT$ sudo python setup.py install
Running install
Running build_egg
Running egg_info
creating Adafruit_DHT.egg-info
writing Adafruit_DHT.egg-info/PKG-INFO
writing top-level names to Adafruit_DHT.egg-info/top_level.txt
writing dependency links to Adafruit_DHT.egg-info/dependency_links.txt
writing manifest file 'Adafruit_DHT.egg-info/SOURCES.txt'
reading manifest file 'Adafruit_DHT.egg-info/SOURCES.txt'
reading manifest template 'MANIFEST.in'
writing manifest file 'Adafruit_DHT.egg-info/SOURCES.txt'
installing library code to build/bdist.linux-armv7/egg
running install_lib
running build_py
creating build

```

Fonte: Autoria própria.

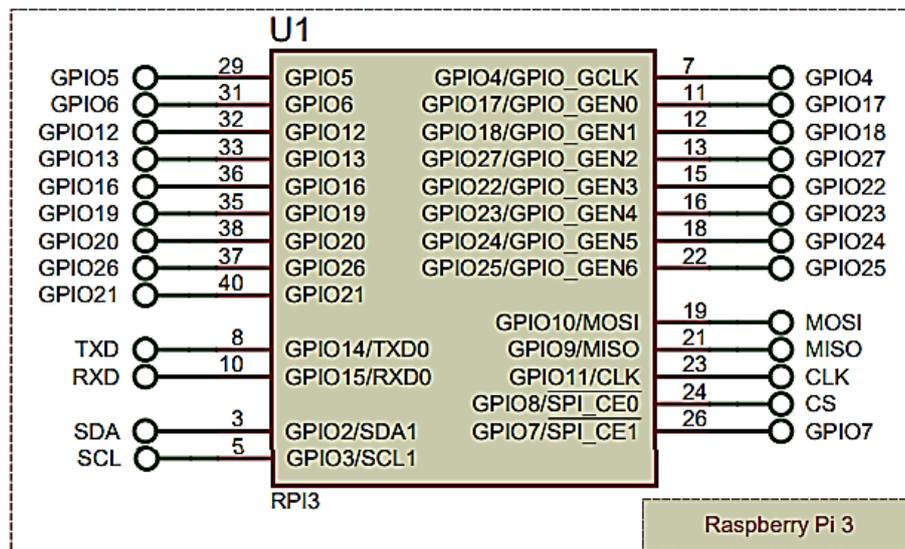
Para programação do sistema, inicialmente o usuário deve clicar em F5 e o programa aciona o relé 3, de modo que este acione as tomadas e assim ligue os adaptadores das fontes chaveadas. Assim que os adaptadores são ligados, o sensor INA219 faz a primeira leitura de tensão dos adaptadores. Após a primeira leitura de tensão do sensor, este indica que os adaptadores estão conectados ao sistema e assim, será acionado os relés 1 e 2, descritos como K1 e K2 no sistema. Com a leitura inicial do sensor INA219 é acionado as cargas RL1 e RL2, necessárias para que seja entregue corrente ao adaptador. Após esses acionamentos o sistema fica chaveando os acionamentos dos adaptadores a cada 1 minuto ou em qualquer variável de tempo pré-estabelecida. Na figura 33, é possível verificar o esquema elétrico do circuito de controle do sistema. Na figura 34, observa-se o esquema do *Raspberry pi* utilizado e na figura 35, é mostrado o esquema elétrico do módulo display utilizado.

Figura 33 - Circuito de controle.



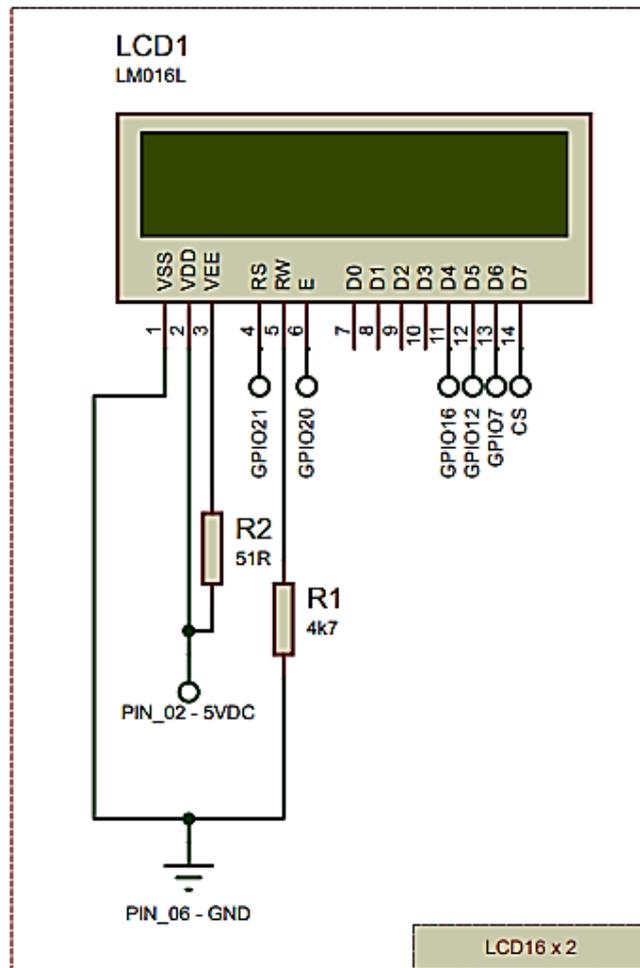
Fonte: Autoria Própria.

Figura 34- Circuito Raspberry pi.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 35 - Módulo display 16x2.



Fonte: Aatoria Própria.

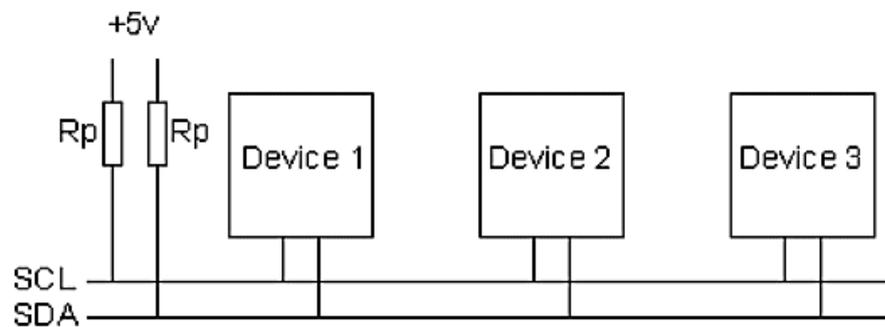
No *Raspberry* quando se trabalha com sinais digitais, as saídas dos pinos são positivas. Os relés encontrados usualmente no mercado possuem entrada negativa. Para que se possa realizar o acionamento dos motores foi necessário a utilização do módulo relé como placa de correção. Desta forma, no programa quando se configura a entrada como nível lógico 0 é para acionar o relé e quando se configura 1, desliga-se os relés. Para o teste do acionamento dos relés foi utilizado o código descrito no apêndice C.

No LCD1, que é o display 16x2, serão mostrados os valores de temperatura e corrente dos adaptadores utilizados durante a fase de testes. A cada intervalo de tempo esses dados serão coletados e armazenados.

3.5. DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE PARA COLETA DE DADOS

Para um correto funcionamento do protótipo, foi necessário sincronizar a leitura dos sensores com o acionamento dos relés. A comunicação do sensor de corrente com o *Raspberry* é via uma rede de comunicação I2C. Esta comunicação é composta de dois fios SDA e SCL, e alimentação VDD, tipicamente de 3.3V ou 5V. Estes fios de comunicação possuem *pull-ups*, conforme figura 36.

Figura 36 - Comunicação e barramentos I2C.

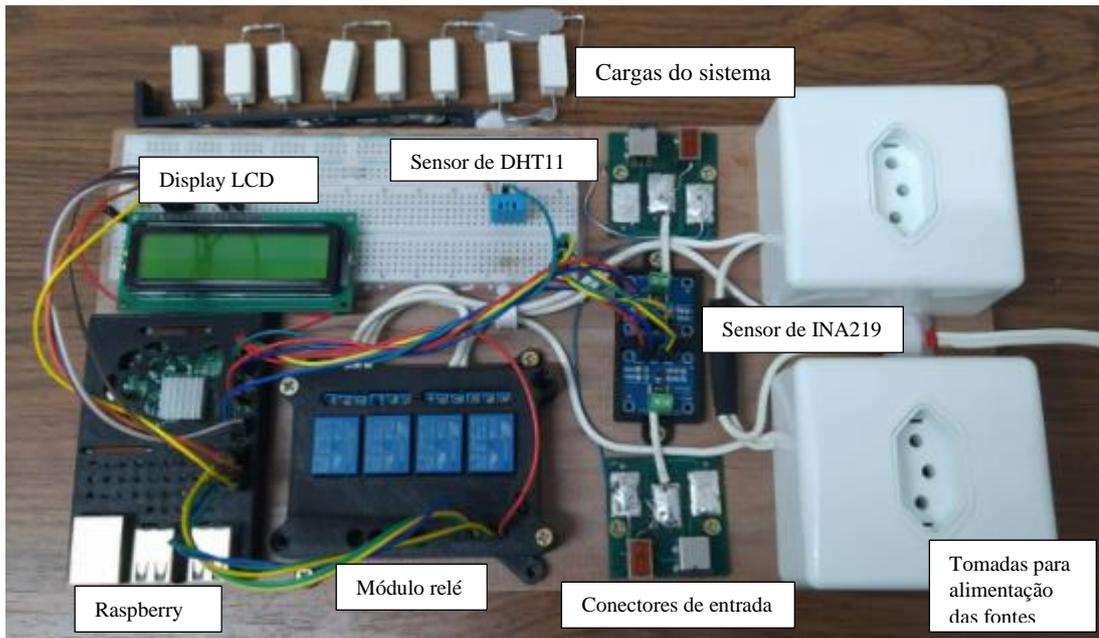


Fonte: (CAMARA, 2013, p.01).

Com a utilização da comunicação I2C é possível utilizar até 32 sensores com apenas dois cabos, colocando todos em paralelo, onde cada sensor seria endereçado com o pino GND. A lógica utilizada pelo *Raspberry* é uma lógica PNP, onde a saída dos seus pinos sempre será em borda alta (positiva). O *Raspberry* utilizado foi a versão 3. As bibliotecas disponíveis estão na versão 4, sendo necessário a formatação do *Raspbian* e a importação e instalação das bibliotecas individualmente da versão 3.

O código de exportação dos valores coletados pelos sensores está localizado no apêndice D, a estrutura do projeto com os sensores, relés, *Raspberry*, tomadas para encaixe dos adaptadores e módulo display, estão organizados conforme disposta na figura 37.

Figura 37 - Estrutura do projeto.



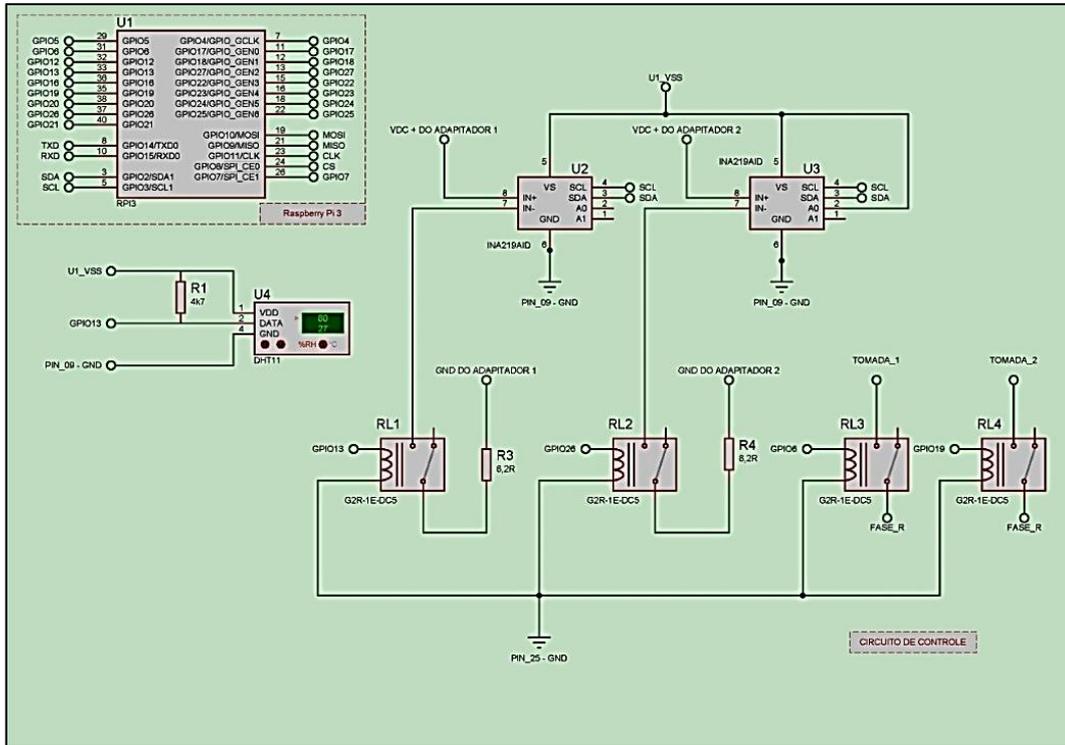
Fonte: Autoria Própria.

3.6. DESENVOLVIMENTO DA INTERFACE DE VALIDAÇÃO

O teste começa com os acionamentos dos relés e medição dos sensores de temperatura e corrente, os dados coletados pelos sensores são dispostos no módulo display para visualização do operador do teste e este é armazenado em arquivo de texto para disponibilização ao final do teste, este arquivo é salvo para validação da aprovação do teste.

Para este arquivamento de informações foi utilizado o código geral disposto no apêndice E. Ao se executar o programa completo com a leitura dos sensores e exportação dos valores coletados, houve um conflito de biblioteca com a exportação e o display utilizado. Isto ocorre devido a versão do *Raspberry* utilizado, com isto removeu-se o display e trabalhou-se com os dados exportados para o cartão de memória. O esquema elétrico atualizado com a retirada do display está disposto na figura 38.

Figura 38 - Esquema elétrico atualizado.



Fonte: Autoria Própria.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo está separado em 4 seções. A primeira seção apresenta a validação dos dados coletados pelos sensores de temperatura e corrente, a segunda seção apresenta os resultados dos testes com relés e sensores, onde são dispostos o protótipo funcional e a comparação dos valores informados no monitor e no arquivo de texto, a terceira seção apresenta os custos do projeto, onde é comparado o valor comercial dos testes de *Burn-in* disponíveis no mercado ao sistema proposto, a quarta seção realiza a simulação de um teste de vida útil em dois adaptadores e seus resultados.

4.1. VALIDAÇÃO DOS DADOS COLETADOS PELOS SENSORES

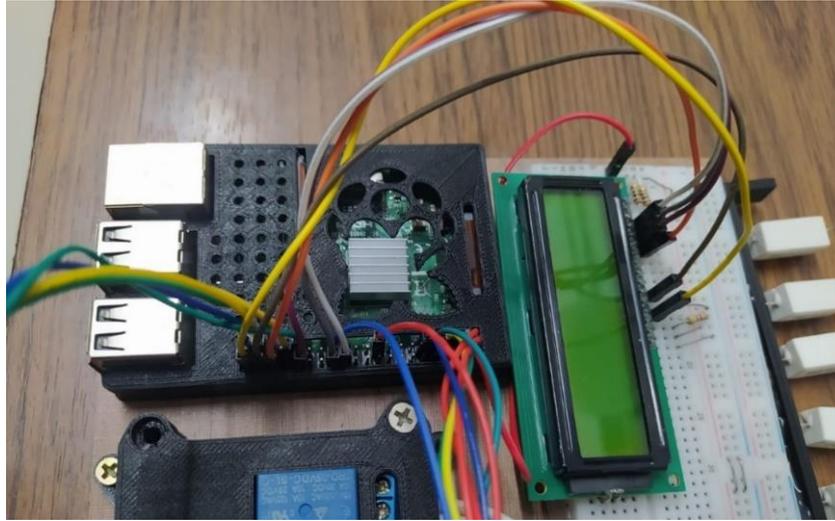
Os dados coletados pelos sensores foram validados através de multímetro e termômetros calibrados. Na validação do sensor de temperatura foi realizado coleta da temperatura pelo sensor e este dado foi confrontado com o termômetro disposto ao lado do projeto. As temperaturas coletadas pelos dois dispositivos tiveram uma diferença média em torno de $0,1^{\circ}\text{C}$. Esta diferença está de acordo com o grau de tolerância do sensor e está de acordo com a tolerância informada no certificado de calibração do termômetro.

Para validação dos sensores de corrente foi utilizado um multímetro da empresa Minipa de código ET-1649, desta forma foi coletado os valores medidos pelos sensores e foi colocado o multímetro em série com a entrada de medição para se obter a medição de correntes. Os dois sensores medidos obtiveram êxito em suas medições com os valores semelhantes ao coletado pelo multímetro.

4.2. DESEMPENHO DO SISTEMA EM TESTE DE BURN-IN

Para verificação do desempenho do sistema foi realizado os testes nos sensores conforme disposto na seção 4.1, para isto é necessário a verificação de cada sistema de forma individual. Na figura 39 são apresentadas as entradas e saídas do *Raspberry*, juntamente com as entradas do display de tipo 16x2, utilizado para visualização da coleta de dados em tempo real.

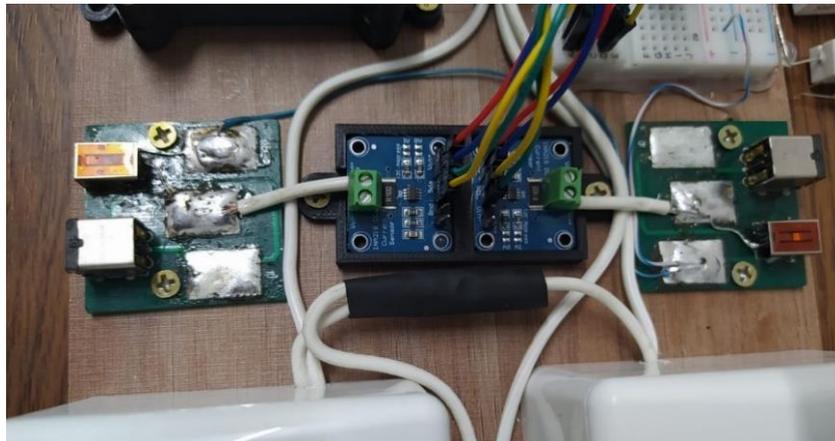
Figura 39 - Estrutura e pinagem Raspberry.



Fonte: Autoria Própria

Na figura 40 é disposto os plugs de entrada para os adaptadores de fontes chaveadas de modo que suas informações sejam enviadas aos sensores INA219 de corrente e tensão. Somente após a passagem pelos sensores INA219 é obtido a leitura das informações enviadas pelos adaptadores de fontes chaveadas.

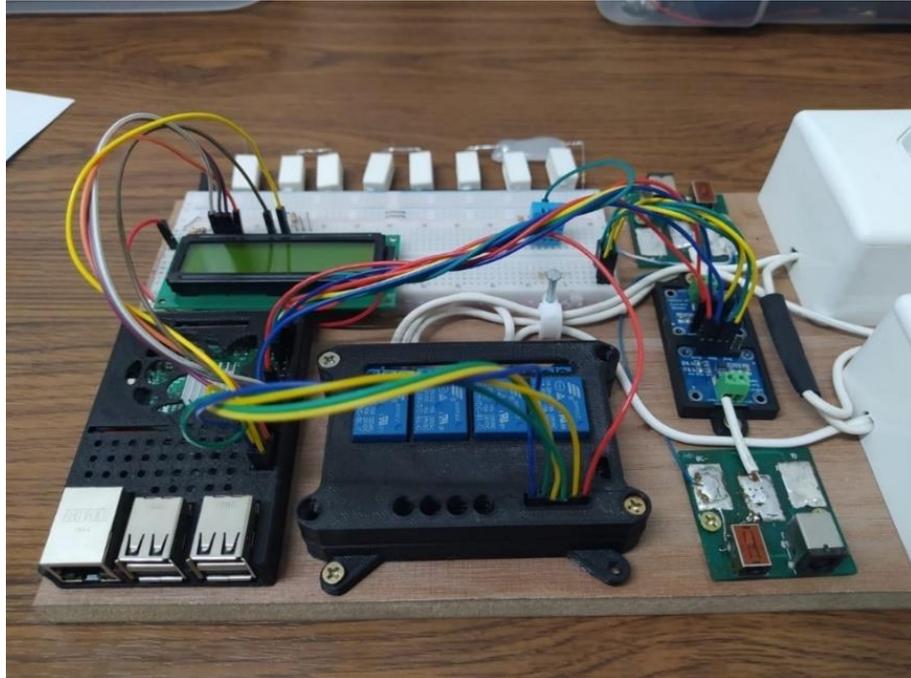
Figura 40 - Estrutura e pinagem INA219.



Fonte: Autoria Própria

Na figura 41 é disposto as entradas do *Raspberry*, ligações e relés utilizados para chaveamento de acionamento dos adaptadores, assim como, as ligações dos sensores de corrente e temperatura e as entradas da placa de comunicação com conector DC, para coleta de dados dos adaptadores de fontes chaveadas.

Figura 41 - Estrutura do protótipo.

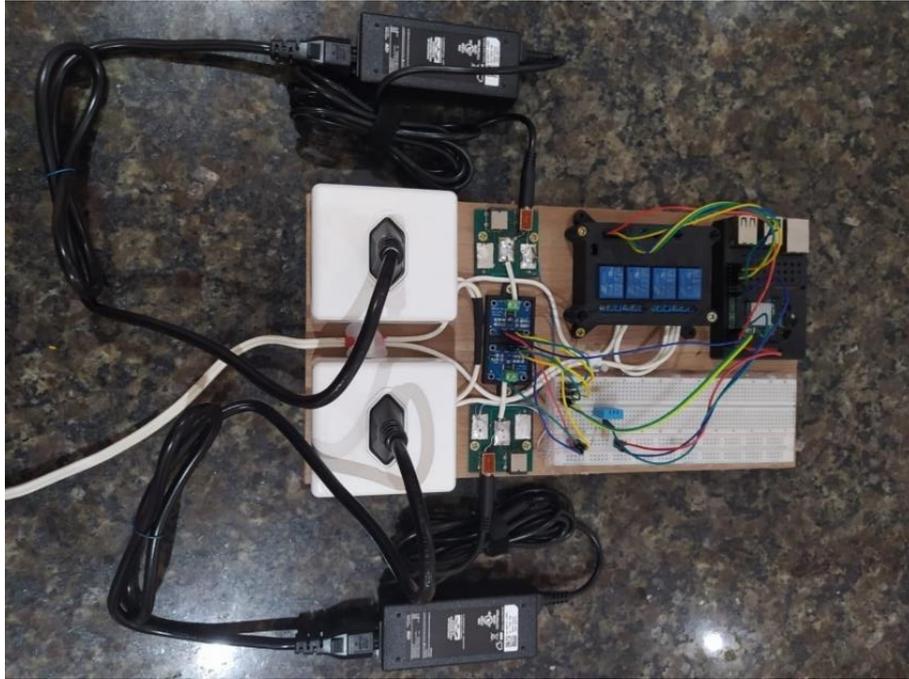


Fonte: Autoria Própria

Os resultados dos testes de simulação de *Burn-in* com exportação dos dados, valores coletados pelos sensores, tais como: temperatura e umidade com o sensor DHT11, tensão e corrente com os sensores INA219. Os dados coletados e os valores calculados, como potência, podem ser encontrados no apêndice F, que se refere ao resultado dos testes de funcionamento e exportação. O teste pode ser visto na figura 42 e o código geral do programa no apêndice G.

Para a realização do teste, clica-se em F5 para acionamento das tomadas. Com as tomadas acionadas, os sensores INA219 realizam a primeira coleta de tensão e corrente dos adaptadores de fontes chaveadas e o sensor DHT11, realiza a leitura da temperatura e umidade do ambiente. Com a leitura de tensão pelo sensor, os módulos relés são acionados, para chaveamento dos acionamentos e desligamento dos adaptadores, em intervalos de tempo pré-definidos. A cada chaveamento do relé as informações são coletadas pelos sensores, até que a quantidade estabelecida de chaveamentos seja atingida. Ao finalizar o teste, os dados coletados são salvos em um arquivo de texto, no cartão de memória inserido no *Raspberry*.

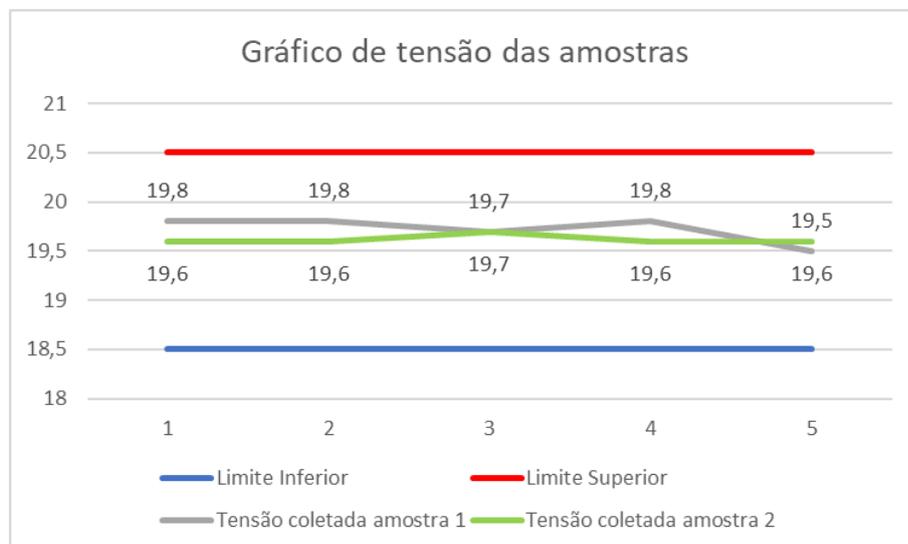
Figura 42 - Teste com os adaptadores.



Fonte: Autoria Própria.

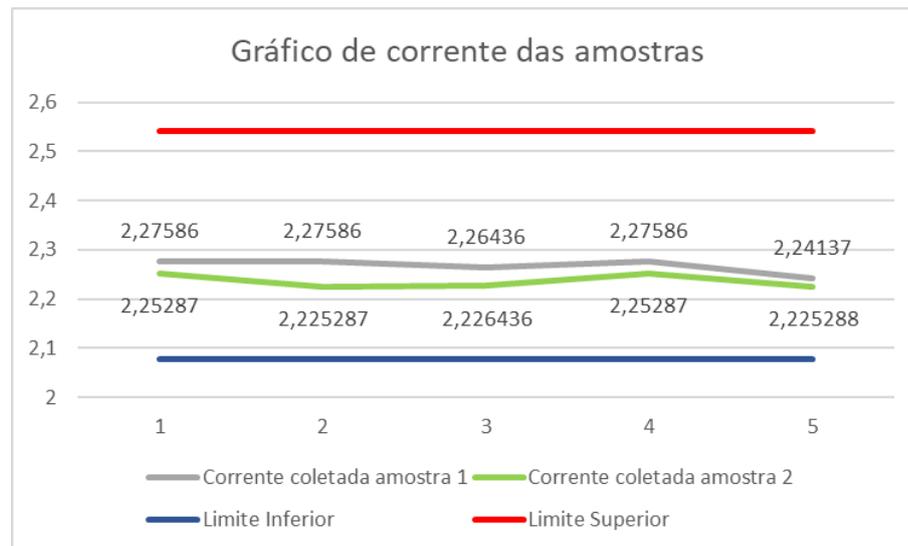
Os valores coletados de tensão e corrente pelo sensor INA219 podem ser vistos conforme figura 43 e 44, onde também são dispostos a especificação de corrente e tensão máxima e mínima para o produto. A linha cinza é referente a coleta de valores do sensor INA219 1, referente ao adaptador 1, e a linha verde é referente a coleta de valores do sensor INA219 2, referente ao adaptador 2.

Figura 43 – Gráfico de tensão.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 44 – Gráfico de corrente.



Fonte: Autoria Própria.

Foram realizados quatro chaveamentos de acionamento e desligamento dos adaptadores de fontes chaveadas. Estes acionamentos resultaram em cinco coletas de tensão e corrente. Destas, quatro coletadas nos chaveamentos e uma coletada no início do teste, logo após o comando F5. Os dados coletados de tensão e corrente ficaram dentro dos limites de aceitação do produto, conforme mostrado nas figuras 43 e 44. Com isto, o teste foi aprovado e validado.

4.3. VALIDAÇÃO DO BAIXO CUSTO DO PROJETO

Para validação do baixo custo do projeto, foram realizados levantamentos dos valores comerciais e capacidade dos sistemas de Burn-in disponíveis no mercado. Onde a empresa A, oferece um sistema de capacidade de 168 peças testadas simultaneamente, com custo de R\$ 128.566,17 (Cento e vinte e oito mil, quinhentos e sessenta e seis reais e dezessete centavos), e a empresa B, oferece um sistema de capacidade de 96 peças testadas, com custo de R\$ 72.694,95 (Setenta e dois mil, seiscentos e noventa e quatro reais e noventa e cinco centavos).

O sistema desenvolvido tem por finalidade a realização de testes em poucas unidades, duas peças, com um baixo custo. Visto isto, foi realizado a compra dos materiais necessários para a montagem do sistema, onde o valor gasto para confecção do protótipo foi de R\$ 1169,00 (Um mil, cento e sessenta e nove reais), com distribuição de gastos dispostos conforme figura 45.

Figura 45 – Tabela de Gastos.

Quantidade	Material Necessário	Valor
1	Raspberry	836,00
2	Sensor INA219	60,00
2	Sensor DHT 11	24,00
2	módulos Relé 1 canal 5V	30,00
1	Kit cabo jumper Fêmea-Fêmea 40 unidades de 20cm	18,00
1	cartão de memória SD 16GB Classe 10	68,00
1	monitor LCD	Disponível pelo usuário
1	Mouse	Disponível pelo usuário
1	Teclado de Computador	Disponível pelo usuário
1	Protoboard	111,00
2	Tomadas AC	22,00

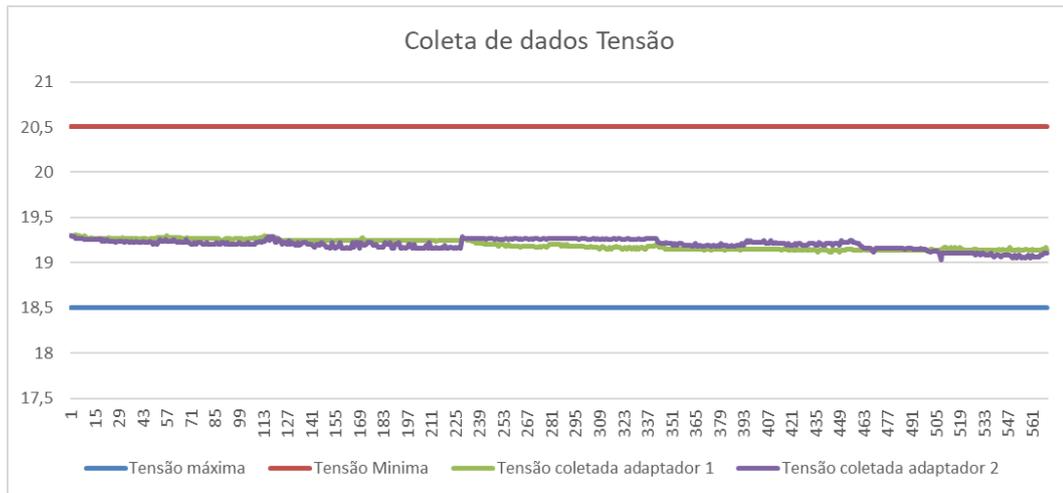
Fonte: Autoria Própria.

O valor gasto para montagem do sistema proposto é referente a 1,6% do valor do menor custo encontrado no levantamento realizado no mercado. Com estes dados, o baixo custo do sistema foi validado, conforme o objetivo proposto.

4.4. SIMULAÇÃO DE TESTE DE VIDA ÚTIL

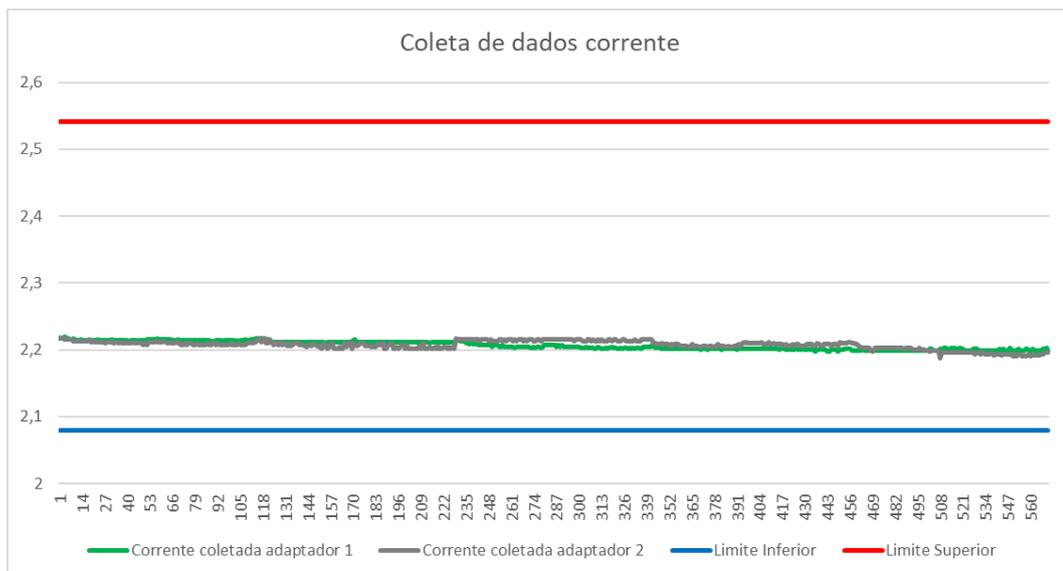
Para validação do sistema foi realizado uma simulação de teste de vida útil em dois adaptadores. Os testes de vida útil são realizados com o intuito de validar o produto e prevenir falhas infantis. Neste teste foi simulado uma condição de acionamento e desligamento das fontes, por um período de 48h com saídas de tensão e corrente registradas. Os registros de tensão e corrente coletados pelos adaptadores de fontes chaveadas são dispostos conforme figuras 46 e 47.

Figura 46 – Coleta de dados tensão.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 47 – Coleta de dados corrente.



Fonte: Autoria Própria.

Os valores de tensão e corrente foram coletados a cada 5 minutos, sempre que os adaptadores entravam em seus estados de acionamento, após 5 minutos, o teste entrava em estado *ON/OFF*, onde os adaptadores eram ligados e desligados no intervalo de 1s durante 5 vezes, até o estado de acionamento retornar. Esta simulação faz com que os adaptadores sejam estressados funcionalmente e que desta forma falhas infantis sejam detectadas.

Os dados coletados de tensão e corrente ficaram dentro dos limites de aceitação do produto e nenhuma falha foi encontrada no sistema ou adaptadores. Com isto, o sistema para teste de vida útil foi aprovado e validado.

CONCLUSÃO

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho foram feitas revisões sobre os assuntos: fontes chaveadas, *Raspberry* e sua linguagem *Raspbian*, sensores, relés, conversores, testes de confiabilidade, assuntos estes que foram desenvolvidos no referencial teórico.

Aplicou-se a sequência disposta na metodologia para obtenção das medições e realização dos testes em fontes chaveadas. Dela, também, cumpriu-se a estrutura para a construção do sistema de controle e monitoramento de testes de vida útil em fontes chaveadas. Em implementação se expôs a aplicação dos métodos para se obter os resultados medidos.

Durante o desenvolvimento da pesquisa foi adotado também por uma questão de conceito que em vez de colocarmos o tempo dos acionamentos e desligamentos do relé ao iniciarmos o programa seria colocado o número de vezes que o programa seria acionado, uma vez que o tempo de *on/off* dos relés terá uma duração padrão.

Nos testes de validação dos sensores, observou-se que o sensor INA219, atuava tanto com valores digitais quanto analógicos e sua diferença se encontrava no limite de medição entre cada um deles. Também foi observado que o sensor INA219 trabalhava com comunicação I2C, que possui apenas dois barramentos de comunicação, o SDA e SCL.

Nos testes de acionamento de relés, observou-se a necessidade na mudança da programação devido as saídas do *Raspberry* serem positivas, divergente das entradas negativas dos relés, para isto foi necessário alterar o programa para 0 (zero), o estado ligado do relé e para 1 (um) o estado desligado.

O dispositivo desenvolvido atendeu aos requisitos de testes e os resultados obtidos foram validados e aprovados. Quanto a etapa de extração de dados foi evidenciada que esta etapa ainda possui oportunidades de melhoria. Sugere-se como melhoria para a etapa de extração dos dados, o desenvolvimento de um relatório padrão utilizando *Power Bi*, que é uma ferramenta para geração de relatórios, desenvolvido pela empresa *Microsoft*, de forma a ser necessário apenas a extração de dados do sistema, após a finalização dos testes e inclusão desta, na base de dados do arquivo em *Power Bi*, para geração de relatórios com gráficos dos valores coletados e cálculos de capacidade destes. Outra sugestão é a realização de testes de vida útil destrutivo, onde este simula a vida útil de um produto até sua falha, este teste costuma simular mais de 12.000 chaveamentos no produto e deste modo determina seu tempo de vida.

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que os principais requisitos do sistema de *Burn-in* foram cumpridos, dado que o sistema é capaz de simular um teste de vida útil em

adaptadores de fontes chaveadas, de modo a detectar e registrar os valores de saída de tensão e corrente dos adaptadores, além de realizar a coleta da temperatura ambiente em que estes estão sendo testados. Deste modo, o teste é capaz de identificar possíveis falhas de operação em adaptadores. O sistema também atende ao requisito de baixo custo, com um investimento de R\$ 1169,00 (Um mil, cento e sessenta e nove reais), e baixa capacidade de unidades testadas, apenas duas unidades, conforme proposto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de Potência**. Ed. PRENTICE HALL, 1998, ISBN 8587918036.

ALVES, Pedro Henrique. **Desenvolvimento de Máquinas de Solda**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ASSIS, Rui. **Testes de Burn-in**, 2016. Disponível em: <http://www.rassis.com/artigos/Manutencao/Artigo_burn-in_Rui%20Assis.pdf>. Acesso em: 13 set. 2020.

BARBI, I. **Eletrônica de Potência**, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 6 ed., p. 23-114, 2006.

BRAGA, Newton C. **Relés – Circuitos e Aplicações**. Ed. Newton C. Braga, São Paulo, 2017.

BRAZILIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT. **Conversores Elétricos: Fundamentos, Conceitos e Exemplos**, 2021. ISSN 2525-8761. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/25333>>. Acesso em: 29 out. 2021.

CAMARA, Rômulo. **Barramento e Protocolo I2C**. Universidade Federal do Vale do São Francisco, Petrolina, 2013.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GRAHAM, John. **Aplicações do HVDC nos Sistemas de Energia**, ABB Utilities, 2002.

HART, DANIEL W. **Eletrônica de Potência: Análise e Projetos de Circuitos**. Belo Horizonte: Mcgraw Hill, 2011. ISBN 8580550459.

IBM COPYRIGHT CORPORATION. **Rational Unified Process for Value Creation**, 2006. Disponível em: <<https://www.cin.ufpe.br/~gta/rup-vc/index.htm>>. Acesso em: 29 out. 2021.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

LIMA, Charles Borges de. **Técnicas de Projetos Eletrônicos com os Microcontroladores AVR**. 1º ed. Florianópolis: Ed. do autor, 2010.

MEHL, Ewaldo L. M. **Fontes Chaveadas**, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PATSKO, Luís Fernando. **Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores**, Maxwell Bohr, 2006.

PUHLMANN, Henrique Frank Werner. **Módulo de Display LCD**, 2015. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/modulo-de-display-lcd/>. Acesso em: 03 jul. 2021.

RASPBERRY PI FOUNDATION. **Raspberry Pi**, 2015. Disponível em: <http://www.raspberrypi.org>. Acesso em: 26 jun. 2021.

RICHARDSON, Matt; WALLACE, Shawn. **Primeiros Passos com o Raspberry Pi**. São Paulo: Novatec Editora, p.17-36, 2013.

STOIDER, Risa Lemos. **Tudo sobre cartões de memória**, 2012. Disponíveis em: <https://adrenaline.com.br/artigos/v/19457/tudo-sobre-cartoes-de-memoria>. Acesso em: 25 out. 2021.

SUHANKO, DJames. **Sensor de corrente, tensão e potência INA219**, 2016. Disponível em: <https://www.dobitaobyte.com.br/sensor-de-corrente-tensao-e-potencia-ina219/> > Acesso em: 03 jul. 2021.

THOMSEN, Adilson. **Monitoramento Temperatura com DHT11 e Raspberry Pi**, 2015. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/temperatura-umidade-dht11-com-raspberry-pi/>. Acesso em: 28 jun. 2021.

USINAINFO, **Sensor de Tensão e corrente INA219**, (s. d.). Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-tensao-arduino/sensor-de-tensao-e-corrente-ina219-de-alta-precisao-4856.html>. Acesso em: 13 set. 2020.

APÊNDICE A – CÓDIGO PARA LEITURA DE DADOS DO SENSOR DE TEMPERATURA

```

//////// Universidade do Estado do Amazonas ////////////
//////// Trabalho de Conclusão de Curso ////////////
//////// Aluna: Taiane Domingues ////////////
/* Este programa tem a finalidade de realizar
 * o teste do sensor de temperatura, estando este
 * conectado ao Raspberry
 */
# Carrega as bibliotecas
import Adafruit_DHT
import RPi.GPIO as GPIO
import time

# Define o tipo de sensor
sensor = Adafruit_DHT.DHT11
#sensor = Adafruit_DHT.DHT22

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)

# Define a GPIO conectada ao pino de dados do sensor
pino_sensor = 25

# Informacoes iniciais
print ("*** Lendo os valores de temperatura e umidade");

while(1):
    # Efetua a leitura do sensor
    umid, temp = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, pino_sensor);
    # Caso leitura esteja ok, mostra os valores na tela
    if umid is not None and temp is not None:
        print ("Temperatura = {0:0.1f} Umidade = {1:0.1f}n").format(temp, umid);
        print ("Aguarda 5 segundos para efetuar nova leitura...n");

```

```

time.sleep(5)
else:
    # Mensagem de erro de comunicacao com o sensor
    print("Falha ao ler dados do DHT11 !!!")

```

APÊNDICE B – CÓDIGO PARA LEITURA DE DADOS DO SENSOR INA219

```

#!/usr/bin/python

import smbus

# =====
# Adafruit_I2C Base Class
# =====

class Adafruit_I2C :

    def getPiRevision():
        "Gets the version number of the Raspberry Pi board"
        # Courtesy quick2wire-python-api
        # https://github.com/quick2wire/quick2wire-python-api
        try:
            with open('/proc/cpuinfo','r') as f:
                for line in f:
                    if line.startswith('Revision'):
                        return 1 if line.rstrip()[-1] in ['1','2'] else 2
        except:
            return 0

    def __init__(self, address, bus=smbus.SMBus(1 if getPiRevision() > 1 else 0),
debug=False):
        self.address = address
        # By default, the correct I2C bus is auto-detected using /proc/cpuinfo
        self.bus = bus

```

```

# Alternatively, you can hard-code the bus version below:
# self.bus = smbus.SMBus(0); # Force I2C0 (early 256MB Pi's)
# self.bus = smbus.SMBus(1); # Force I2C1 (512MB Pi's)
self.debug = debug

def reverseByteOrder(self, data):
    "Reverses the byte order of an int (16-bit) or long (32-bit) value"
    # Courtesy Vishal Sapre
    dstr = hex(data)[2:].replace('L', '')
    byteCount = len(dstr[:2])
    val = 0
    for i, n in enumerate(range(byteCount)):
        d = data & 0xFF
        val |= (d << (8 * (byteCount - i - 1)))
        data >>= 8
    return val

def write8(self, reg, value):
    "Writes an 8-bit value to the specified register/address"
    try:
        self.bus.write_byte_data(self.address, reg, value)
        if (self.debug):
            print "I2C: Wrote 0x%02X to register 0x%02X" % (value, reg)
    except IOError, err:
        print "Error accessing 0x%02X: Check your I2C address" % self.address
        return -1

def writeList(self, reg, list):
    "Writes an array of bytes using I2C format"
    try:
        if (self.debug):
            print "I2C: Writing list to register 0x%02X:" % reg
            print list

```

```

self.bus.write_i2c_block_data(self.address, reg, list)
except IOError, err:
    print "Error accessing 0x%02X: Check your I2C address" % self.address
    return -1

def readList(self, reg, length):
    "Read a list of bytes from the I2C device"
    results = []
    try:
        results = self.bus.read_i2c_block_data(self.address, reg, length)
        if (self.debug):
            print "I2C: Device 0x%02X returned the following from reg 0x%02X" %
(self.address, reg)
            print results
        return results
    except IOError, err:
        print "Error accessing 0x%02X: Check your I2C address" % self.address
        return -1

def readU8(self, reg):
    "Read an unsigned byte from the I2C device"
    try:
        result = self.bus.read_byte_data(self.address, reg)
        if (self.debug):
            print "I2C: Device 0x%02X returned 0x%02X from reg 0x%02X" %
(self.address, result & 0xFF, reg)
        return result
    except IOError, err:
        print "Error accessing 0x%02X: Check your I2C address" % self.address
        return -1

def readS8(self, reg):
    "Reads a signed byte from the I2C device"

```

```

try:
    result = self.bus.read_byte_data(self.address, reg)
    if (self.debug):
        print "I2C: Device 0x%02X returned 0x%02X from reg 0x%02X" %
(self.address, result & 0xFF, reg)
    if (result > 127):
        return result - 256
    else:
        return result
except IOError, err:
    print "Error accessing 0x%02X: Check your I2C address" % self.address
    return -1

```

```

def readU16(self, reg):
    "Reads an unsigned 16-bit value from the I2C device"
    try:
        hibyte = self.bus.read_byte_data(self.address, reg)
        result = (hibyte << 8) + self.bus.read_byte_data(self.address, reg+1)
        if (self.debug):
            print "I2C: Device 0x%02X returned 0x%04X from reg 0x%02X" %
(self.address, result & 0xFFFF, reg)
        return result
    except IOError, err:
        print "Error accessing 0x%02X: Check your I2C address" % self.address
        return -1

```

```

def readS16(self, reg):
    "Reads a signed 16-bit value from the I2C device"
    try:
        hibyte = self.bus.read_byte_data(self.address, reg)
        if (hibyte > 127):
            hibyte -= 256
        result = (hibyte << 8) + self.bus.read_byte_data(self.address, reg+1)

```

```

    if (self.debug):
        print "I2C: Device 0x%02X returned 0x%04X from reg 0x%02X" %
(self.address, result & 0xFFFF, reg)
        return result
    except IOError, err:
        print "Error accessing 0x%02X: Check your I2C address" % self.address
        return -1

```

APÊNDICE C – CÓDIGO PARA ACIONAMENTO DOS RELÉS

```

import time
import RPi.GPIO as gpio

gpio.setmode(gpio.BOARD)
gpio.setup(32, gpio.OUT)
gpio.setup(36, gpio.OUT)
gpio.setup(38, gpio.OUT)
gpio.setup(40, gpio.OUT)

for x in range(1,50):
    gpio.output(32, 0) #ligando o pino 32
    print("saida 1 ligada")
    time.sleep(0.5)
    gpio.output(32, 1) #desliga o pino 32
    print("saida 1 deligada")
    time.sleep(0.25)
    gpio.output(36, 0) #ligando o pino 36
    print("saida 2 ligada")
    time.sleep(0.5)
    gpio.output(36, 1) #desliga o pino 36
    print("saida 2 deligada")
    time.sleep(0.25)

```

```

gpio.output(38, 0) #ligando o pino 38
    print("saida 3 ligada")
    time.sleep(0.5)
    gpio.output(38, 1) #desliga o pino 38
    print("saida 3 deligada")
    time.sleep(0.25)
    gpio.output(40, 0) #ligando o pino 40
    print("saida 4 ligada")
    time.sleep(0.5)
    gpio.output(40, 1) #desliga o pino 40
    print("saida 4 deligada")
    time.sleep(0.25)

```

```

gpio.cleanup()

```

APÊNDICE D – CÓDIGO GERAL SEM A IMPORTAÇÃO DE DADOS

```

# IMPOSTAÇÃO DE BIBLIOTECAS

```

```

import RPi.GPIO as gpio

```

```

import Adafruit_DHT as dht

```

```

import time

```

```

from ina219 import INA219

```

```

from Adafruit_CharLCD import Adafruit_CharLCD

```

```

# CONFIGURAÇÃO DOS MODULOS DE LEITURA DE TENSÃO E CORENTE

```

```

    # CANAL 1

```

```

    ina_r = INA219(shunt_ohms=0.1,

```

```

                    max_expected_amps = 0.6,

```

```

                    address=0x40)

```

```

    ina_r.configure(voltage_range=ina.RANGE_16V,

```

```

    gain=ina.GAIN_AUTO,
    bus_adc=ina.ADC_128SAMP,
    shunt_adc=ina.ADC_128SAMP)

# CANAL 2

ina_1 = INA219(shunt_ohms=0.1,
               max_expected_amps = 0.6,
               address=0x70)

ina_1.configure(voltage_range=ina.RANGE_16V,
                gain=ina.GAIN_AUTO,
                bus_adc=ina.ADC_128SAMP,
                shunt_adc=ina.ADC_128SAMP)

# CONFIGURAÇÃO LCD

lcd = Adafruit_CharLCD(rs=21, en=20, d4=16, d5=12, d6=7, d7=8,
                       cols=16, lines=2)

# DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS DE TEMPO DE CICLO
    # PRIMEIRO VALOR REFERENTE AO TEMPO DE CICLO LIGADO EM
    MINUTOS, COMO O PROGRAMA É EM SEGUNDOS POR ESTE MOTIVO SE
    MULTIPLICA POR 60.
ligado = 10 * 60

    # PRIMEIRO VALOR REFERENTE AO TEMPO DE CICLO DESLIGADO EM
    MINUTOS, COMO O PROGRAMA É EM SEGUNDOS POR ESTE MOTIVO SE
    MULTIPLICA POR 60.
desligado = 10 * 60

    # QUANTIDADE DE VEZES QUE O CICLO IRÁ SE REPETIR
ciclo = 20

```

```
# CONFIGURAÇÃO DAS SAIDAS DO RASPBERRY PI3
```

```
gpio.setmode(gpio.BOARD)
gpio.setup(29, gpio.OUT)
gpio.setup(31, gpio.OUT)
gpio.setup(33, gpio.OUT)
gpio.setup(35, gpio.OUT)
```

```
# CONTAGEM DE TEMPO DE EXECUÇÃO DE PROGRAMA
```

```
start = time.time()
end = time.time()
hours, rem = divmod(end-start, 3600)
minutes, seconds = divmod(rem, 60)
print("{:0>2}:{:0>2}:{:05.2f}".format(int(hours),int(minutes),seconds))
```

```
# PROGRAMA FINAL
```

```
for x in range(1,ciclo):
```

```
    gpio.output(29, 0) #liga o pino 29 - LIGA TOMADA AC CANAL 1
    gpio.output(33, 0) #liga o pino 33 - LIGA TOMADA AC CANAL 2
    print(" ALIMENTAÇÃO DE TOMADAS EFETUADAS ")
    time.sleep(0.25)
```

```
    while true:
```

```
        gpio.output(31, 0) #liga o pino 31 - LIGA CARGA PARA CANAL 1
```

```
        v = ina_r.voltage()
        i = ina_r.current()
        p = ina_r.power()
        lcd.clear()
```

```

lcd.message('{0:0.1f}V {1:0.1f}mA'.format(v, i))
lcd.message('\n{0:0.1f} Watts'.format(p/1000))
umid, temp = dht.read_retry(dht.DHT11, 4)
print('Temp: {0:0.1f}      Umid: {1:0.1f}'.format(temp,umid))
sleep(10) # TEMPO DE LEITURA

gpio.output(31, 1) #desliga o pino 31 - DESLIGA CARGA PARA CANAL 1
time.sleep(0.25)

gpio.output(35, 0) #liga o pino 35 - LIGA CARGA PARA CANAL 2

v = ina_l.voltage()
i = ina_l.current()
p = ina_l.power()
lcd.clear()
lcd.message('{0:0.1f}V {1:0.1f}mA'.format(v, i))
lcd.message('\n{0:0.1f} Watts'.format(p/1000))
umid, temp = dht.read_retry(dht.DHT11, 4)
print('Temp: {0:0.1f}      Umid: {1:0.1f}'.format(temp,umid))
sleep(10) # TEMPO DE LEITURA

time.sleep(ligado)

gpio.output(29, 1) #liga o pino 29 - DESLIGA TOMADA AC CANAL 1
gpio.output(33, 1) #liga o pino 33 - DESLIGA TOMADA AC CANAL 2
print(" ALIMENTAÇÃO DE TOMADAS EFETUADAS ")
time.sleep(0.25)

while true:

gpio.output(31, 0) #liga o pino 31 - LIGA CARGA PARA CANAL 1

v = ina_r.voltage()
i = ina_r.current()

```

```

p = ina_r.power()
lcd.clear()
lcd.message('{0:0.1f}V {1:0.1f}mA'.format(v, i))
lcd.message('\n{0:0.1f} Watts'.format(p/1000))
umid, temp = dht.read_retry(dht.DHT11, 4)
print('Temp: {0:0.1f}      Umid: {1:0.1f}'.format(temp,umid))
sleep(10) # TEMPO DE LEITURA

gpio.output(31, 1) #desliga o pino 31 - DESLIGA CARGA PARA CANAL 1
time.sleep(0.25)
gpio.output(35, 0) #liga o pino 35 - LIGA CARGA PARA CANAL 2

v = ina_l.voltage()
i = ina_l.current()
p = ina_l.power()
lcd.clear()
lcd.message('{0:0.1f}V {1:0.1f}mA'.format(v, i))
lcd.message('\n{0:0.1f} Watts'.format(p/1000))
umid, temp = dht.read_retry(dht.DHT11, 4)
print('Temp: {0:0.1f}      Umid: {1:0.1f}'.format(temp,umid))
sleep(10) # TEMPO DE LEITURA

time.sleep(desligado)

gpio.cleanup()

```

APÊNDICE E – CÓDIGO DE EXPORTAÇÃO DE DADOS

```

import logging
from datetime import datetime

today = datetime.now().strftime('%d-%m-%y-%H-%M-%S')
filename_log = "execution-{}.txt".format(today)

```

```

logging.basicConfig(format='%(asctime)s
%(message)s',filename=filename_log,filemode='w')
logger=logging.getLogger("Monitor")
logger.setLevel(logging.DEBUG)

```

APÊNDICE F – RESULTADO DO TESTE DE EXPORTAÇÃO

```

2021-10-25 02:01:14,375 42.80 Watts
2021-10-25 02:01:14,376 Temp: 30.0°          Umid: 67.0 %
2021-10-25 02:01:14,877 ALIMENTAÇÃO DE TOMADAS EFETUADAS
2021-10-25 02:01:15,379 ----- CANAL 1 -----
2021-10-25 02:01:28,659 19.8V 2275.86mA
2021-10-25 02:01:28,660 43.24 Watts
2021-10-25 02:01:28,660 Temp: 30.0°          Umid: 66.0 %
2021-10-25 02:01:29,162 ----- CANAL 2 -----
2021-10-25 02:01:32,218 19.6V 2252.87mA
2021-10-25 02:01:32,218 42.80 Watts
2021-10-25 02:01:32,219 Temp: 30.0°          Umid: 66.0 %
2021-10-25 02:01:32,721 ALIMENTAÇÃO DE TOMADAS EFETUADAS
2021-10-25 02:01:33,222 ----- CANAL 1 -----
2021-10-25 02:01:33,853 19.7V 2264.36mA
2021-10-25 02:01:33,853 44.60 Watts
2021-10-25 02:01:33,854 Temp: 30.0°          Umid: 66.0 %
2021-10-25 02:01:34,355 ----- CANAL 2 -----
2021-10-25 02:01:37,411 19.7V 2264.36mA
2021-10-25 02:01:37,412 44.60 Watts
2021-10-25 02:01:37,413 Temp: 30.0°          Umid: 67.0 %
2021-10-25 02:01:37,914 ALIMENTAÇÃO DE TOMADAS EFETUADAS
2021-10-25 02:01:38,416 ----- CANAL 1 -----
2021-10-25 02:01:44,105 19.8V 2275.86mA
2021-10-25 02:01:44,106 43.24 Watts
2021-10-25 02:01:44,106 Temp: 30.0°          Umid: 66.0 %
2021-10-25 02:01:44,608 ----- CANAL 2 -----

```

```

2021-10-25 02:01:47,666 19.6V 2252.87mA
2021-10-25 02:01:47,667 42.80 Watts
2021-10-25 02:01:47,668 Temp: 30.0°          Umid: 66.0 %
2021-10-25 02:01:48,170 ALIMENTAÇÃO DE TOMADAS EFETUADAS
2021-10-25 02:01:48,671 ----- CANAL 1 -----
2021-10-25 02:01:49,302 19.5V 2241.37mA
2021-10-25 02:01:49,303 43.70 Watts
2021-10-25 02:01:49,303 Temp: 30.0°          Umid: 66.0 %
2021-10-25 02:01:49,805 ----- CANAL 2 -----
2021-10-25 02:01:52,860 19.6V 2252.88mA
2021-10-25 02:01:52,861 42.80 Watts
2021-10-25 02:01:52,866 Temp: 30.0°          Umid: 66.0 %

```

APÊNDICE G – CÓDIGO GERAL DO PROGRAMA

```

#-- coding: utf-8 --
import RPi.GPIO as gpio
import Adafruit_DHT as dht
import time
from logger import logging as log
from ina219 import INA219
#from Adafruit_CharLCD import Adafruit_CharLCD

# CONFIGURAÇÃO DAS SAIDAS DO RASPBERRY PI3
logger = log.getLogger("Monitor")
gpio.setmode(gpio.BOARD)
gpio.setup(31, gpio.OUT)
gpio.setup(33, gpio.OUT)
gpio.setup(35, gpio.OUT)
gpio.setup(37, gpio.OUT)

gpio.output(31, True)
gpio.output(33, True)

```

```
gpio.output(35,True)
gpio.output(37,True)
```

```
# CONFIGURACAO DOS MODULOS DE LEITURA DE TENSÃO E CORRENTE
# CANAL 1
```

```
ina_r = INA219(shunt_ohms=0.1,
               max_expected_amps = 0.6,
               address=0x40)
```

```
ina_r.configure(voltage_range=ina_r.RANGE_32V,
                gain=ina_r.GAIN_AUTO,
                bus_adc=ina_r.ADC_128SAMP,
                shunt_adc=ina_r.ADC_128SAMP)
```

```
# CANAL 2
```

```
ina_l = INA219(shunt_ohms=0.1,
               max_expected_amps = 0.6,
               address=0x41)
```

```
ina_l.configure(voltage_range=ina_l.RANGE_32V,
                gain=ina_l.GAIN_AUTO,
                bus_adc=ina_l.ADC_128SAMP,
                shunt_adc=ina_l.ADC_128SAMP)
```