

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS – CARVI
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIA
CURSO ENGENHARIA ELÉTRICA**

MATEUS FLORES ACCORSI

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PROCESSO
PARA MÁQUINAS INJETORAS DE PLÁSTICOS**

BENTO GONÇALVES

2020

MATEUS FLORES ACCORSI

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PROCESSO
PARA MÁQUINAS INJETORAS DE PLÁSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Campus Universitário da Região dos Vinhedos (CARVI), da Universidade de Caxias do Sul (UCS), como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. Angelo Zerbetto Neto

BENTO GONÇALVES

2020

MATEUS FLORES ACCORSI

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PROCESSO
PARA MÁQUINAS INJETORAS DE PLÁSTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Campus Universitário da Região dos Vinhedos (CARVI), da Universidade de Caxias do Sul (UCS), como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Me. Angelo Zerbetto Neto

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof. Me. Angelo Zerbetto Neto – Orientador
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Anderson Soares dos Santos
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Ricardo Leal Costi
Universidade de Caxias do Sul – UCS

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos familiares, amigos e colegas de trabalho que sempre me incentivaram estando ao meu lado desde o início da graduação.

Ao professor orientador, Me. Angelo Zerbetto Neto, que desde a minha primeira aula dentro da instituição esteve presente. Agradeço por sua dedicação no decorrer deste trabalho e, também, por sua postura e apoio durante toda a graduação.

Muito obrigado!

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro”.

Albert Einstein

RESUMO

A produção de resina plástica em nível mundial totaliza em torno de 350 milhões de toneladas por ano, incluindo materiais virgens e reciclados. Esta resina é diariamente transformada em diversos produtos presentes no cotidiano das pessoas. Com o objetivo de fornecer as informações relacionadas ao processo produtivo de máquinas injetoras de plástico, utilizadas no processo de transformação de resinas termoplásticas, este trabalho apresenta uma proposta para o desenvolvimento e a implementação de um protótipo capaz de medir o consumo de energia elétrica e os tempos relacionados ao ciclo de trabalho destes equipamentos. Para que seja possível a compreensão do trabalho, foi realizada uma revisão teórica sobre os assuntos pertinentes, a fim de embasar os métodos escolhidos para o desenvolvimento da proposta. No sistema proposto foi realizada a aquisição dos dados relacionados ao processo produtivo de uma injetora de plásticos de forma automatizada utilizando os circuitos com amplificadores operacionais e sensores específicos. Os dados do consumo de energia elétrica e tempos de acionamentos coletados foram enviados ao um servidor que foi o responsável pelo armazenamento das informações coletadas. O desenvolvimento contemplou o projeto e validação dos circuitos eletrônicos utilizados, seguido de um estudo de caso em que o equipamento foi instalado em uma máquina operando em condições reais.

Palavras-chave: Injetoras de Plástico. Consumo de Energia Elétrica. Coleta Automatizada. Aquisição de dados do Processo Produtivo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação de resinas plásticas.....	17
Figura 2 – Esquema básico de uma injetora	18
Figura 3 – Injetora básica	19
Figura 4 – Injetora de plástico	20
Figura 5 – Ciclo de injeção	21
Figura 6 – Injetora de plástico horizontal.....	22
Figura 7 – Injetora de plástico modelo vertical	22
Figura 8 – Injetora de plástico com fechamento mecânico	24
Figura 9 – Fechamento hidráulico de pistão.....	25
Figura 10 – Fechamento hidráulico mecânico.....	26
Figura 11 – Unidade de injeção por pistão.....	27
Figura 12 – Unidade de injeção por rosca.....	27
Figura 13 – Molde de injeção	28
Figura 14 – Circuito equivalente de um amplificador operacional ideal.....	30
Figura 15 – Amplificador inversor.....	31
Figura 16 – Amplificador não-inversor.....	32
Figura 17 – Amplificador não-inversor.....	33
Figura 18 – Seguidor de tensão	34
Figura 19 – Amplificador de instrumentação	34
Figura 20 – Tipos de filtros analógicos.....	35
Figura 21 – Filtro passa-baixa com amplificador operacional inversor.....	36
Figura 22 – Divisor resistivo	39
Figura 23 – Amostragem de sinal analógico	40
Figura 24 – Relação entre potência ativa, reativa e aparente	45
Figura 25 – Conexão entre portas RS-232.....	46
Figura 26 – Sequência de bits em comunicação serial RS-232	47
Figura 27 – Etapas do desenvolvimento	48
Figura 28 – Núcleo G474RE	49
Figura 29 – Circuito gerador de referencial para tensão simétrica.....	50
Figura 30 – Primeira etapa do circuito condicionador de tensão.....	51
Figura 31 – Segunda etapa do circuito condicionador de tensão.....	54
Figura 32 – Esquema final do circuito condicionador de tensão	55

Figura 33 – Transformador de Corrente SCT013-100.....	55
Figura 34 – Circuito condicionador de corrente.....	56
Figura 35 – Circuito monitor de acionamentos.....	58
Figura 36 – Raspberry Pi 3.....	59
Figura 37 – Conexão UART entre microcontrolador e RaspberryPi 3.....	60
Figura 38 – Diagrama de Circuitos e Periféricos do PCB.....	60
Figura 39 – Esquema de alimentação do PCB.....	61
Figura 40 – <i>Layout</i> do PCB.....	62
Figura 41 – Separação dos planos de terra do PCB.....	63
Figura 42 – Placa de circuito impresso.....	63
Figura 43 – <i>Setup</i> utilizado no ensaio do circuito gerador de referência simétrica....	65
Figura 44 – Resultado da validação do circuito gerador de referência.....	65
Figura 45 – <i>Setup</i> utilizado no ensaio da primeira.....	66
Figura 46 – Tensão de Entrada (CH1) x Tensão de Saída (CH2) da primeira etapa do circuito condicionador de tensão.....	67
Figura 47 – <i>Setup</i> utilizado no ensaio da segunda etapa.....	68
Figura 48 – Tensão de entrada (CH1) x Tensão de saída (CH2) da segunda etapa do circuito condicionador de tensão.....	69
Figura 49 – Diagrama de funcionamento do algoritmo de medição de tensão.....	70
Figura 50 – <i>Setup</i> utilizado no ensaio do circuito condicionador de corrente.....	73
Figura 51 – Tensão de saída do circuito condicionador de corrente.....	74
Figura 52 – Diagrama de funcionamento do algoritmo de medição de corrente.....	75
Figura 53 – Rotina de comunicação.....	79
Figura 54 – Injetora HWA Chin HC-160.....	83
Figura 55 – Quadro elétrico da Injetora HWA Chin HC-160.....	84
Figura 56 – Instalação da CPU do sistema.....	84
Figura 57 – Instalação dos transformadores de corrente.....	85
Figura 58 – CLP Injetora HWA Chin – HC-160.....	86
Figura 59 – Acionamentos e Potência x Tempo.....	87
Figura 60 – Potências x Tempo.....	88
Figura 61 – Consumo [KWh] x Tempo [horas].....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tensão de Entrada x Tensão de Saída da primeira etapa do circuito de condicionamento de tensão.....	67
Quadro 2 – Tensão de entrada x Tensão de saída da segunda etapa do circuito de condicionamento de tensão.....	69
Quadro 3 – Ensaio do sistema de medição de tensão	72
Quadro 4 – Resultado do ensaio do circuito condicionador de corrente	74
Quadro 5 – Ensaio do sistema de medição de corrente.....	76
Quadro 6 – Ensaio do sistema de monitoramento dos acionamentos	77
Quadro 7 – Descrição do frame de dados.....	78
Quadro 8 – Resultado do ensaio da rotina de comunicação.....	80
Quadro 9 – Resultado do ensaio da medição de fator de potência.....	81
Quadro 10 – Sinais monitorados injetora HC-160.....	86
Quadro 11 – Informações da análise do ciclo de injeção	88
Quadro 12 – Custo do protótipo desenvolvido	91

LISTA DE SIGLAS

ABIEF	Associação Brasileira das Indústrias de Embalagens Flexíveis
ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
ARM	<i>Advanced Risc Machine</i>
CETEF	Centro Federal de Educação e Tecnologia
CLP	Controlador Lógico Programável
IHM	Interface Homem-Máquina
kWh	Quilowatt-hora
NBR	Norma Brasileira
PCB	<i>Print Circuit Board</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SMT	<i>Surface Mount Technology</i>
TC	Transformadores de Corrente
TP	Transformador de Potencial
TTL	<i>Transistor-Transistor Logic</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.3	RESTRICÇÕES	14
1.4	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	RESINAS PLÁSTICAS	16
2.2	INJETORAS DE PLÁSTICO	17
2.2.1	Princípio de funcionamento.....	19
2.2.2	Classificação de uma injetora	22
2.2.3	Modo de operação	23
2.2.4	Sistema de fechamento.....	24
2.2.5	Unidade de injeção	26
2.2.6	Molde	28
2.2.7	Sistema de controle.....	28
2.3	AMPLIFICADORES OPERACIONAIS	30
2.3.1	Características ideais	30
2.3.2	Amplificador inversor.....	31
2.3.3	Amplificador não-inversor	32
2.3.4	Amplificador diferencial	32
2.3.5	Seguidor de tensão.....	33
2.3.6	Amplificador de instrumentação	34
2.3.7	Amplificador <i>Rail-to-Rail</i>.....	35
2.4	FILTROS ANALÓGICOS	35
2.4.1	Topologia de filtro passa baixa	36
2.5	INSTRUMENTAÇÃO E PROCESSAMENTO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS	37
2.5.1	Tipos de medição de corrente	37
2.5.2	Tipos de medição de tensão.....	38
2.6	PROCESSAMENTO DIGITAL DE MEDIDAS ELÉTRICAS	40
2.6.1	Amostragem digital	40
2.6.2	Rotina de cálculos	41

2.6.2.1	Valor médio.....	41
2.6.2.2	Valor eficaz.....	42
2.6.2.3	Potência ativa.....	43
2.6.2.4	Potência aparente.....	43
2.6.2.5	Potência reativa.....	44
2.6.2.6	Fator de potência.....	44
2.7	COMUNICAÇÃO SERIAL.....	45
2.7.1	UART.....	46
2.7.2	Protocolo RS-232.....	46
3	METODOLOGIA.....	48
3.1	CPU DO SISTEMA.....	48
3.2	CIRCUITOS DE CONDICIONAMENTO DE SINAIS.....	50
3.2.1	Circuito de condicionamento de tensão.....	51
3.2.2	Circuito de condicionamento de corrente.....	55
3.3	CIRCUITOS DE MONITORAMENTO DE ACIONAMENTOS.....	58
3.4	ARMAZENAMENTO DE DADOS.....	59
3.5	DESENVOLVIMENTO DE DIAGRAMA ESQUEMÁTICO E PLACA DE.....	60
	CIRCUITO IMPRESSO.....	60
3.6	VALIDAÇÃO.....	63
3.6.1	Validação do circuito de referência para fonte simétrica.....	64
3.6.2	Validação da medição de tensão.....	66
3.6.3	Validação da medição de corrente.....	72
3.6.4	Validação do circuito monitor de acionamentos.....	77
3.6.5	Validação do armazenamento de dados.....	77
3.6.6	Validação da medição de fator de potência.....	80
4	ANÁLISE E RESULTADOS.....	82
4.1	ESTUDO DE CASO.....	82
4.2	CUSTOS DO PROJETO.....	91
5	CONCLUSÃO E DISCUSSÕES.....	93
5.1	PROJETOS FUTUROS.....	94

REFERÊNCIAS.....	96
APÊNDICE A – DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DO PCB DESENVOLVIDO.....	101
APÊNDICE B – ENSAIO CIRCUITO CONDICIONADOR DE TENSAO PRIMEIRA ETAPA	107
APÊNDICE C – ENSAIO CIRCUITO CONDICIONADOR DE TENSAO SEGUNDA ETAPA	114
APÊNDICE D – ENSAIO CIRCUITO CONDICIONADOR DE CORRENTE	119
ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS SCT013-100.....	125
ANEXO B – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS EDUX-1002G	126
ANEXO C – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS ALICATE AMPERIMETRO FLUKE 302	127
ANEXO D – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS MULTIMETRO FLUKE 117	128
ANEXO E – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS MULTIMETRO FLUKE 15B+	129
ANEXO F – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS VARIAC JNG TDGC2-2KVA.....	130
ANEXO G – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ANALISADOR DE ENERGIA DMI MP1500.....	131

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no mundo todo são produzidas mais de 350 milhões de toneladas de resina plástica por ano, considerando-se a fabricação de materiais virgens e reciclados. Deste montante, aproximadamente 348 milhões de toneladas são transformadas em outros produtos (PLASTIC EUROPE, 2019).

No cenário atual, o Brasil é responsável por apenas 1,74% da transformação (6,2 milhões de toneladas) e 2,15% (7,5 milhões de toneladas) da produção de resinas do mundo todo. Entretanto, mesmo com uma parcela tão pequena do montante global, o mercado de transformação de produtos plásticos brasileiro faturou em 2018 em torno de R\$ 78,5 bilhões de reais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST) 2018).

O mercado brasileiro de transformação de resinas plásticas é composto basicamente por quatro processos: extrusão (65% do mercado); injeção (33% do mercado); rotomoldagem (1% do mercado); e termoformação a vácuo (1% do mercado).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Embalagens Flexíveis (ABIEF), o consumo de energia elétrica representa aproximadamente 15% da despesa total de uma indústria do setor (ABIEF, 2017), impactando diretamente no custo dos produtos fabricados pelos processos citados anteriormente. Para os profissionais da área de custos, a parcela referente ao consumo de energia elétrica é tratada como um custo indireto, como esclarecem Silva e Lins (2013). Por este motivo, na maior parte dos casos, o gasto com energia elétrica é rateado pelos produtos produzidos dentro de um período mensal na empresa, estratégia adotada por Koppe (2012) e Alves (2005).

Com base nestas informações, este trabalho tem o intuito de desenvolver o protótipo de um equipamento capaz de realizar uma coleta automatizada dos dados relacionados ao processo produtivo de uma máquina injetora de plásticos. Os dados serão coletados com o objetivo de obter informações detalhadas, em tempo real, que permitam às empresas otimizar seus processos produtivos com base em informações confiáveis e de fácil acesso.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é realizar o desenvolvimento do protótipo de um equipamento capaz de efetuar a coleta de forma automatizada dos dados relacionados ao processo produtivo de uma máquina injetora de plásticos. As informações de consumo energético e tempos de ciclo serão colhidas e arquivadas em um histórico.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral constituem-se como objetivos específicos deste projeto desenvolver um sistema capaz de:

- a) medir o consumo de energia elétrica de uma máquina injetora de plásticos;
- b) monitorar os movimentos realizados pela máquina;
- c) armazenar um histórico das informações coletadas;
- d) realizar a instalação do protótipo em uma máquina injetora de plásticos para a realização da coleta de dados e validação do equipamento.

1.3 RESTRIÇÕES

As principais restrições que poderão surgir ao logo do desenvolvimento do estudo estão listadas na sequência:

- a) o protótipo proposto não realizará a análise dos dados coletados, as informações serão somente registradas e armazenadas;
- b) o sistema não fará correções para controlar o consumo de energia elétrica, mas sim disponibilizará suas informações para análise;
- c) o projeto terá como local de implementação uma empresa situada em Caxias do Sul, entretanto, seu nome e produtos não serão divulgados.

1.4 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O estudo está segmentado em cinco capítulos, divididos da seguinte maneira. No capítulo 1 consta esta introdução indicando a contextualização do tema; os objetivos e as principais restrições. O capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica a

fim de fundamentar as escolhas e as discussões referentes aos métodos utilizados no capítulo 3. Por sua vez, o capítulo 3 apresenta o desenvolvimento do sistema proposto assim como a validação dos subsistemas projetados.

O capítulo 4 traz um estudo de caso em que é realizada a implementação do protótipo desenvolvido em um equipamento em condições reais de operação e em seguida é apresentado o custo do projeto. O capítulo 5 apresenta as conclusões e as discussões obtidas após a realização do projeto baseada nas dificuldades e nos resultados obtidos no decorrer do trabalho.

Nas partes finais do estudo estão listadas as referências bibliográficas citadas no decorrer do texto, as quais foram utilizadas como base e fundamentação para a composição do projeto. Os apêndices trazem informações como os diagramas esquemáticos dos circuitos desenvolvidos; o projeto de placas de circuito impresso utilizadas no protótipo; as tabelas de resultados; as imagens relacionadas às coletas e aos algoritmos aplicados nas tarefas do equipamento.

Por fim, os anexos disponibilizam as informações retiradas de documentos técnicos e de manuais de operações que servem de fundamentação para as discussões do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados os conceitos relativos ao processo de injeção plástica, assim como os conceitos básicos de medição do consumo energético envolvido no processo. A revisão está centrada na caracterização de resinas plásticas, no funcionamento de uma máquina injetora de resinas plásticas, no método para análise de consumo do equipamento e cálculo do custo da energia elétrica consumida.

2.1 RESINAS PLÁSTICAS

Como esclarecem Piatti e Rodrigues (2005), o termo resina pode ser utilizado para nomear qualquer matéria prima polimérica apresentada no estado termoplástico, desde que seja fusível, insolúvel em água, porém solúvel em outros meios líquidos.








Os plásticos são tipos de polímeros que podem ser tanto do tipo artificial quanto do sintético, permitindo a moldagem de sua forma e podendo ser aplicados vários tipos de produtos.

De acordo com as características do material, como por exemplo a plasticidade, estes podem ser divididos em dois grandes grupos: termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos possuem a propriedade de permitirem a sua moldagem quando aquecidos o que viabiliza sua reciclagem, enquanto os termofixos não podem ser reciclados por não possuírem esta possibilidade (MORTIMER; MACHADO, 2010).

Para que a reciclagem dos materiais termoplásticos seja de boa qualidade, é de suma importância que a separação dos plásticos seja feita de forma correta. Caso haja mistura de materiais incompatíveis, o processo de reciclagem, seja por extrusão, remodelagem ou decomposição será dificultada e o resultado será um material reciclado de qualidade ruim. (MORTIMER; MACHADO, 2010).

A fim de facilitar a identificação e classificação dos tipos de resinas plásticas, a Figura 1 apresenta as informações disponíveis na norma NBR 13230 quanto a simbologia, descrição e uso de diversos tipos existentes. Esta classificação é baseada em critérios internacionais.

Figura 1 – Classificação de resinas plásticas

Símbolo	Resina	Abreviatura	Características principais	Exemplos de aplicações
 PET	Poli(tereftalato de etileno)	PET	Transparente, inquebrável, impermeável e leve	Frascos de garrafas para uso alimentício
 PEAD	Polietileno de alta densidade	PEAD	Inquebrável, resistente a baixas temperaturas, resistência química elevada	Embalagens para detergentes e óleos automotivos
 PVC	Poli(cloreto de vinila)	PVC	Rígido, transparente, impermeável, resistente à temperatura	Embalagem para água mineral e óleos comestíveis
 PEBD	Polietileno de baixa densidade	PEBD	Flexível, leve, transparente e impermeável	Sacolas de uso geral
	Polietileno de baixa densidade linear	PEDBL		
 PP	Polipropileno	PP	Conserva aromas, inquebrável, brilhante e resistente a mudança de temperatura	Filmes para embalagens de alimentos
 PS	Poliestireno	PS	Impermeável, inquebrável, rígido, transparente, leve e brilhante	Potes para iogurtes
 OUTROS	PU - poliuretanos EVA - poliacetato de etileno vinil	Outros	Flexibilidade, leveza, resistência à abrasão	Solados, autopeças e acessórios esportivos

Fonte: Adaptado ABNT NBR 13230 (2008, p. 8).

2.2 INJETORAS DE PLÁSTICO

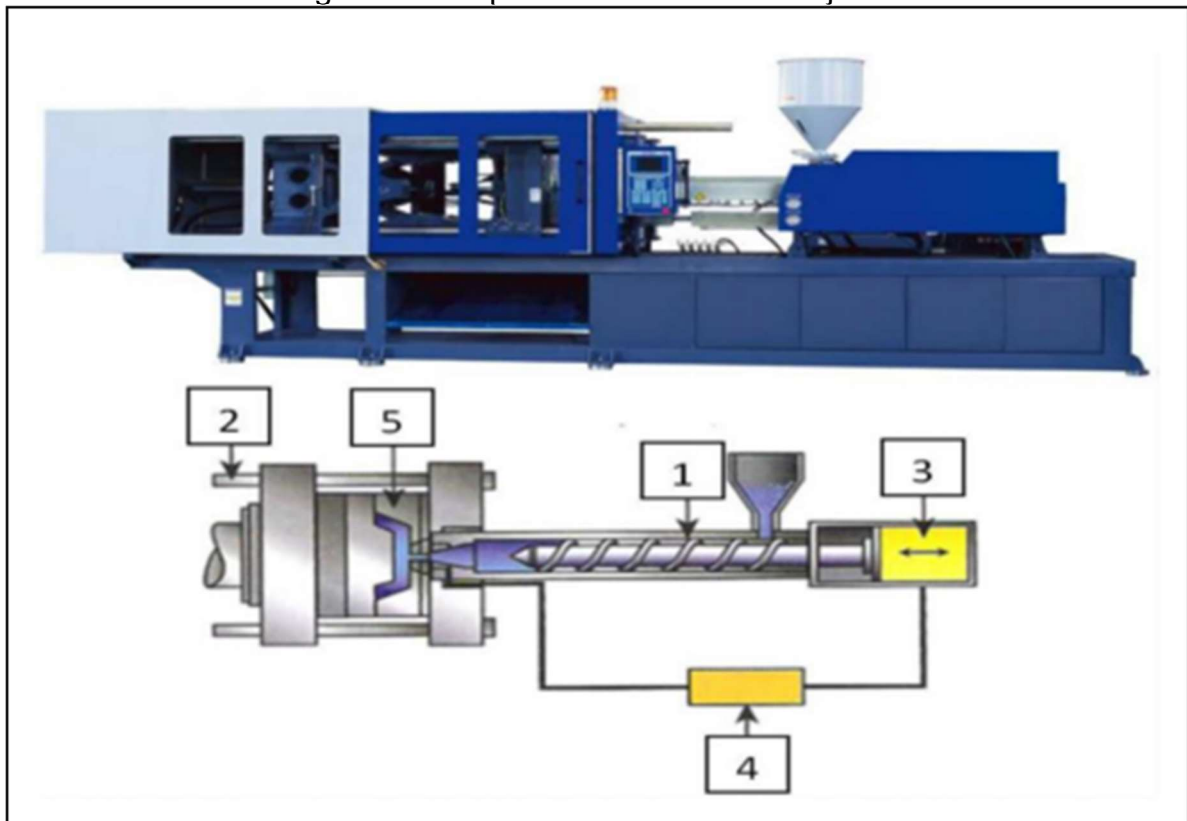
A máquina injetora de resinas plásticas consiste em um equipamento utilizado na fabricação de produtos injetados de forma descontínua a partir do processo de injeção de material polimérico fluido. Sua estrutura é formada basicamente pelo mecanismo do molde e um cilindro aquecido onde o polímero é homogeneizado e posteriormente injetado para o molde.

De acordo com Saraiva (2016), as unidades básicas de uma injetora são definidas como:

- a) unidade de injeção: responsável pelo aquecimento, plastificação, homogeneização e transporte do polímero até o bico de injeção;
- b) unidade de fechamento: responsável pela movimentação, fixação e travamento do molde;
- c) unidade de potência: fornece a energia mecânica necessária ao processo, seja na forma de fluido hidráulico sob alta pressão e ou motores elétricos fornecendo movimento rotativo;
- d) unidade de controle: abriga os componentes responsáveis pela leitura e controle dos parâmetros de processo através dos sensores e atuadores;
- e) molde: define a geometria da peça a ser fabricada.

A Figura 2 apresenta uma máquina injetora de resinas plásticas com suas unidades básicas identificadas.

Figura 2 – Esquema básico de uma injetora

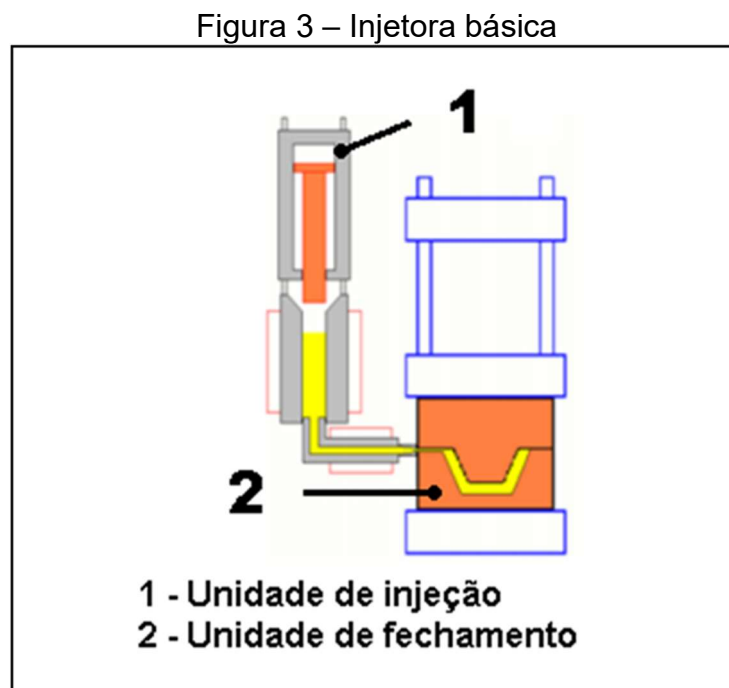


Fonte: Saraiva (2016, p. 17).

2.2.1 Princípio de funcionamento

Para Rosato (1995), o funcionamento de uma máquina injetora de plástico pode ser descrito a partir da divisão da mesma em duas unidades principais, uma unidade de plastificação e injeção, que é responsável pelo aquecimento do plástico até a temperatura que o torne fluído e então injetado na segunda unidade. A segunda unidade é a unidade de fechamento que receberá o material fluído e sob a aplicação de uma força constante realizará seu resfriamento para gerar a peça com a geometria definida pelo molde utilizado.

Na Figura 3 está representada uma máquina injetora básica, composta apenas pela unidade de injeção e de fechamento.

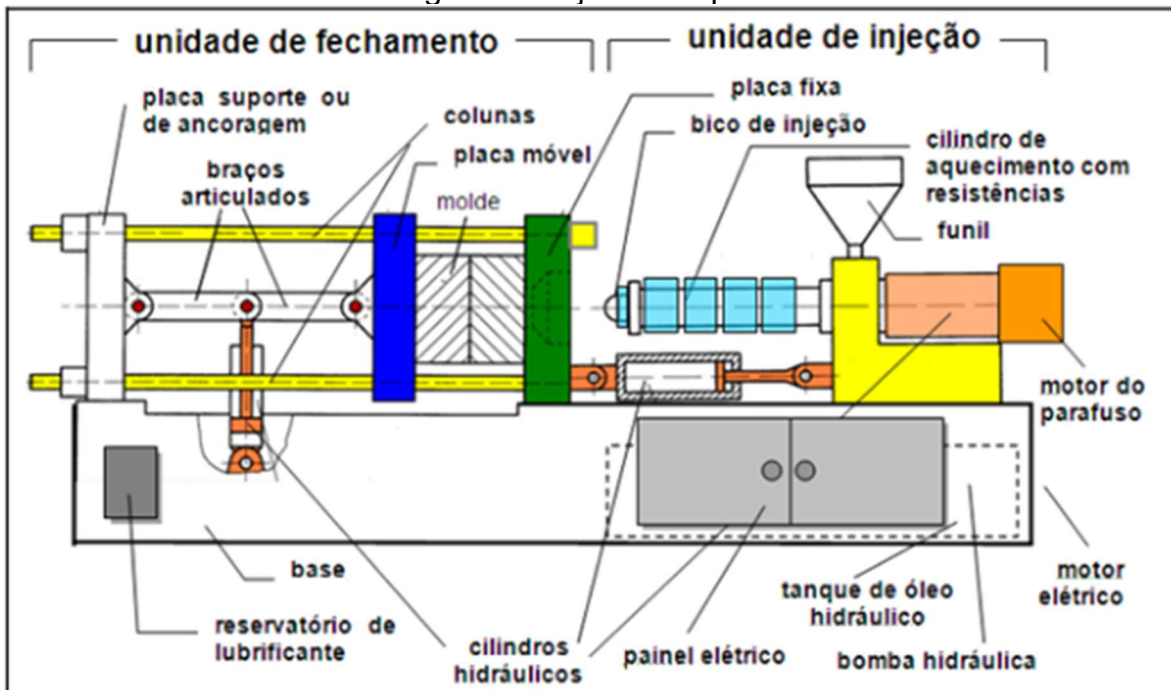


Fonte: Garcia (2004, p. 6).

A máquina também pode possuir unidade de controle e unidade de acionamento. A unidade de controle é constituída pelos sensores e controladores de temperatura além de sensores de pressão e posicionamento. Já a unidade de acionamento pode ser composta pelos motores, resistências elétricas, bombas e cilindros hidráulicos que são responsáveis pela movimentação do molde, aquecimento e injeção do material. (TORRES, 2007).

A Figura 4 apresenta as partes principais e também os componentes auxiliares normalmente encontrados em máquinas injetoras de plástico.

Figura 4 – Injetora de plástico



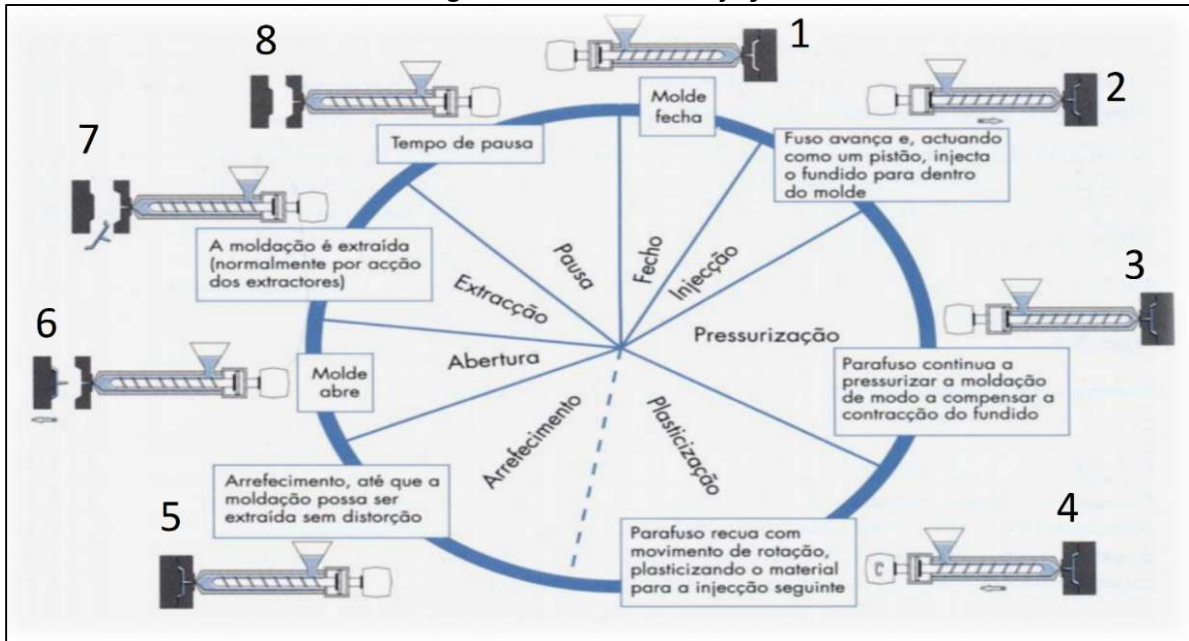
Fonte: Garcia (2004, p. 9).

Para Cunha (2003), o ciclo de injeção pode ser dividido em sete etapas listadas na sequência:

- a) fechamento;
- b) injeção;
- c) pressurização/recalque;
- d) plastificação/dosagem;
- e) solidificação/resfriamento;
- f) abertura;
- g) extração.

Tratando-se como opcional uma pausa entre os ciclos. A Figura 5 apresenta o ciclo de produção de uma injetora de plásticos.

Figura 5 – Ciclo de injeção



Fonte: Adaptado de Cunha (2013, p. 38).

O ciclo de moldagem apresentado anteriormente é iniciado pelo fechamento do molde. Esta etapa consiste na movimentação da parte móvel do molde em direção à sua parte fixa, sendo concluída quando as duas metades entram em contato e permanecem travadas pelo sistema mecânico da máquina.

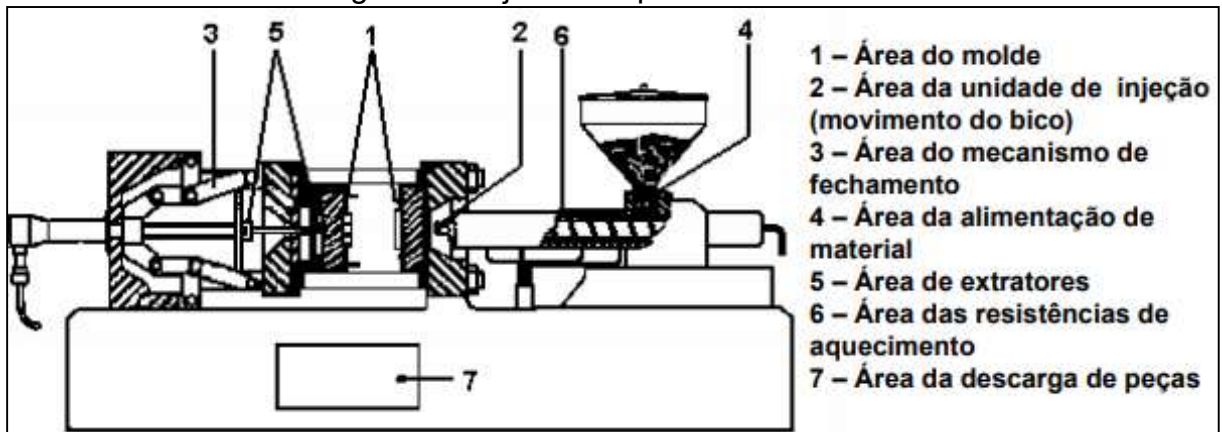
Em seguida, a injeção do material derretido é realizada, transportando o material plástico acumulado dentro do cilindro da unidade injetora para dentro das cavidades do molde. Imediatamente após a injeção, o cilindro injetor é utilizado para realizar o recalque. Neste momento, o polímero é mantido dentro do molde sob pressão constante, visando compensar a contração da peça que ocorre devido ao resfriamento do plástico. Após a conclusão do recalque, dois processos paralelos são iniciados: o resfriamento da peça injetada, ainda com o molde fechado, e a plastificação do material.

A plastificação ocorre quando a rosca entra em rotação, permitindo a entrada de uma nova carga de material no cilindro, já o resfriamento, consiste no tempo necessário para que a peça seja solidificada pela queda da temperatura, garantindo que não ocorram deformações posteriores. Por fim, o molde é aberto e a peça é extraída.

2.2.2 Classificação de uma injetora

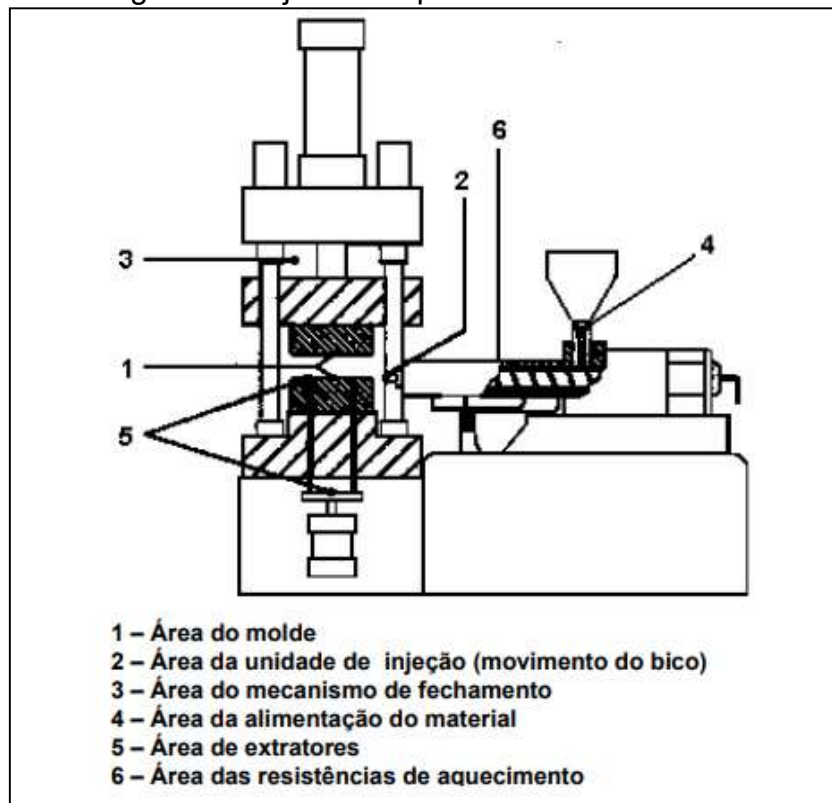
As máquinas injetoras de plástico podem ser divididas de acordo com a direção de deslocamento de suas partes móveis. Os modelos mais utilizados são do tipo horizontal e vertical (TORRES, 2007). As Figuras 6 e 7 apresentam o aspecto construtivo destas duas topologias.

Figura 6 – Injetora de plástico horizontal



Fonte: ABNT NBR13536 (1995, p. 3).

Figura 7 – Injetora de plástico modelo vertical



Fonte: ABNT NBR13536 (1995, p. 3).

Além de classificadas pelo sentido de movimentação, segundo Müller (2014), as máquinas injetoras de plástico podem ser divididas de acordo com o conceito de acionamento central de seus atuadores, podendo apresentar sistemas hidráulicos, elétricos ou híbridos.

Injetoras hidráulicas são construídas a partir de um sistema central de bombeamento de óleo que será utilizado para acionamento dos cilindros e também dos motores hidráulicos. Para o deslocamento linear da máquina são utilizados cilindros e articulações mecânicas que garantem o alinhamento do movimento, e para a rotação da rosca é utilizado um motor hidráulico que recebe um fluxo de fluido hidráulico a determinada pressão e transforma a energia recebida em movimento rotativo (CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA (CEFET), 2004).

Injetoras elétricas possuem servo motores e atuadores elétricos com funções específicas em cada parte da máquina. Neste tipo de máquina inclusive os movimentos lineares são acionados por motores elétricos equipados com sistemas mecânicos de transmissão, como por exemplo, cremalheiras e fusos de esferas (CEFET, 2004).

Injetoras híbridas combinam as características das duas tecnologias citadas anteriormente, sendo o conjunto de abertura e fechamento do molde assim como de pressão de injeção acionados por sistema hidráulico e a unidade de injeção acionada por sistema elétrico (CEFET, 2004).

2.2.3 Modo de operação

De acordo com Torres (2007), uma máquina injetora de resinas plásticas pode operar em três diferentes modos: manual, semiautomático e automático, onde cada um deles apresenta características distintas.

O modo manual permite que todos os movimentos da máquina e sua sequência de acionamentos sejam comandados manualmente pelo operador. Esta função é utilizada principalmente durante a regulagem da injetora e trocas de molde.

Para a execução do modo semiautomático a injetora deve estar previamente programada, sendo assim, ao receber um comando do operador, o equipamento realiza um ciclo de injeção completo. Ao concluir este processo, é necessário que o operador acione novamente o equipamento para que outro ciclo seja executado.

Esta função é utilizada quando o sistema de extração convencional não consegue remover a peça injetada sem causar danos ao material.

O processo automático é utilizado para que a máquina trabalhe em regime contínuo. Uma vez iniciado, faz com que a injetora permaneça repetindo o ciclo de injeção até que a produção total seja atingida, ou uma parada seja solicitada, sem a necessidade de um operador em tempo integral.

2.2.4 Sistema de fechamento

O sistema de fechamento é a unidade responsável pelo travamento do molde e a manutenção da pressão durante a injeção e resfriamento da peça injetada. É de extrema importância que o fechamento seja realizado de forma precisa e rígida para evitar deformações na peça injetada. Os principais tipos de fechamento são: mecânico, hidráulico de pistão e hidráulico-mecânico (TORRES, 2007).

As primeiras injetoras utilizavam fechamento mecânico, onde esta operação era realizada manualmente pelo operador com o auxílio de alavancas, cames excêntricas entre outros. A Figura 8 apresenta uma máquina injetora de plástico com fechamento do tipo mecânico.

Figura 8 – Injetora de plástico com fechamento mecânico

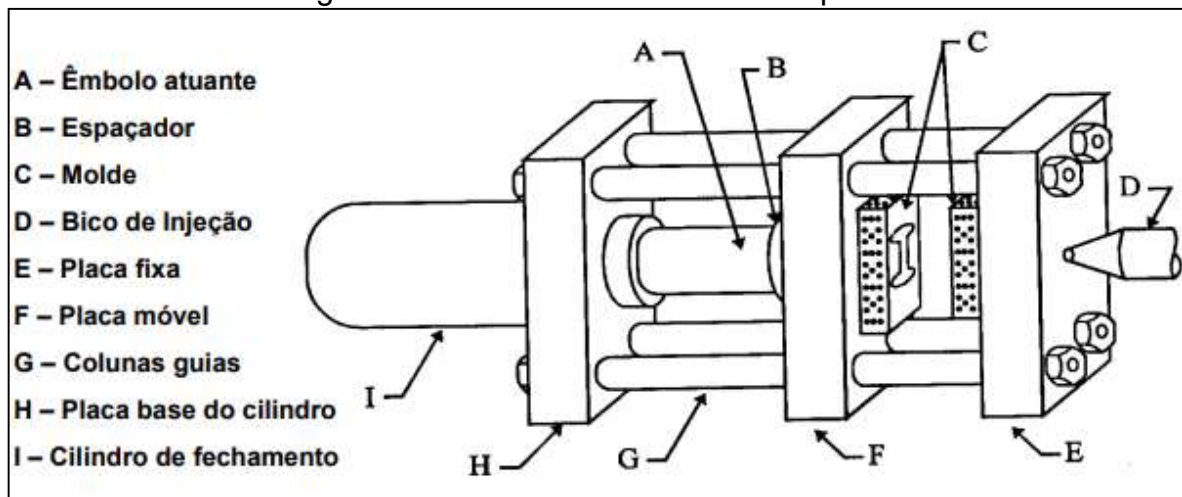


Fonte: Automata do Brasil (2020 p. 1).

Em injetoras com fechamento hidráulico de pistão, o movimento é realizado através de um cilindro de fechamento que recebe óleo comprimido, deslocando o êmbolo atuante e a placa móvel em direção à placa fixa até o fechamento do molde. A fim de garantir o correto deslocamento do sistema, são utilizadas colunas guias e espaçadores.

Após o fechamento o polímero é injetado pelo bico de injeção dentro do molde que permanece fechado até o resfriamento do material, seguido da abertura e extração da peça moldada. A Figura 9 apresenta o exemplo de um dispositivo de fechamento hidráulico de pistão.

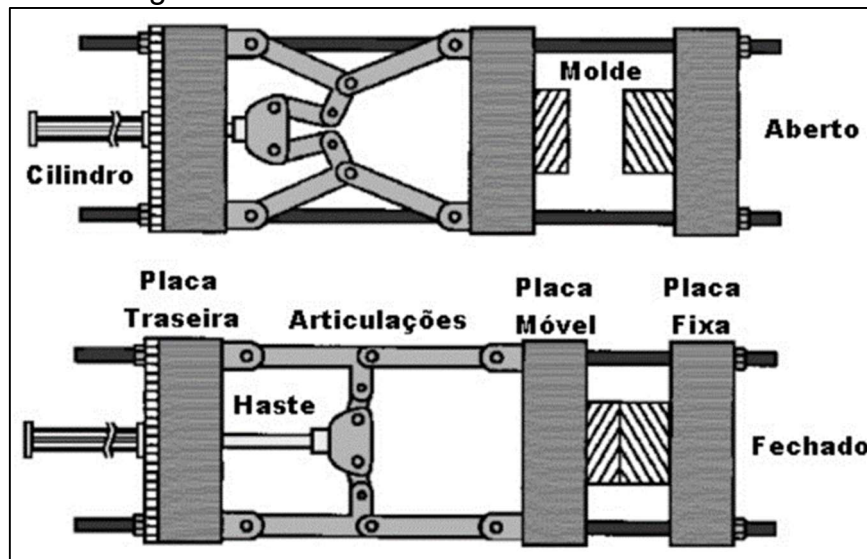
Figura 9 – Fechamento hidráulico de pistão



Fonte: Torres (2007, p. 6).

No caso de máquinas com o fechamento hidráulico-mecânico são utilizados conceitos do fechamento mecânico e do fechamento hidráulico de pistão, no qual um cilindro hidráulico é fixado na placa traseira e sua haste atua sobre as articulações do sistema, que por sua vez efetuam o deslocamento da placa móvel em direção à placa fixa até o fechamento do molde. A Figura 10 demonstra o exemplo do fechamento hidráulico mecânico.

Figura 10 – Fechamento hidráulico mecânico



Fonte: Adaptado de Torres (2007, p. 7).

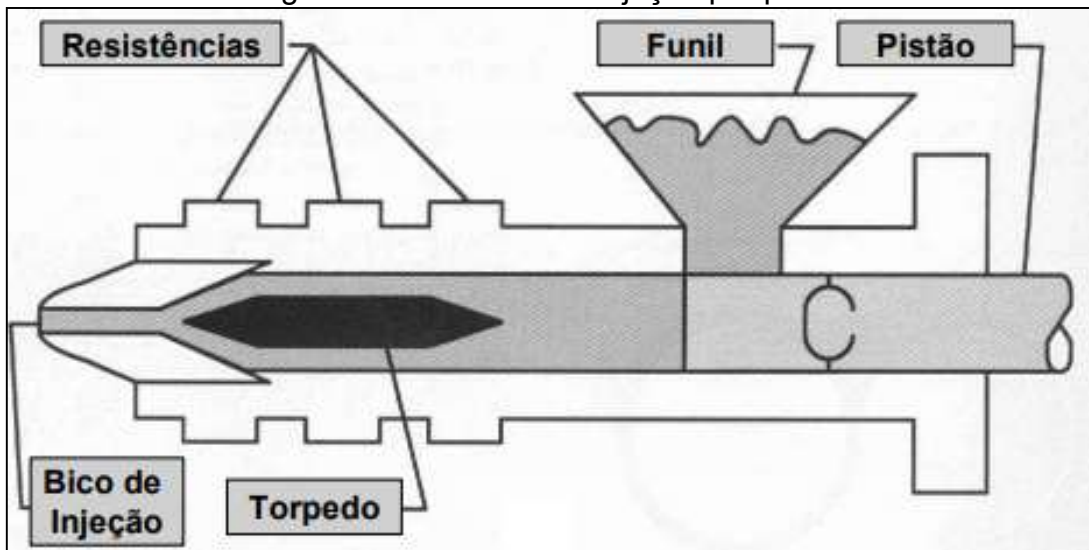
2.2.5 Unidade de injeção

A unidade de injeção tem como função receber o plástico em forma sólida e transportá-lo até o bico de injeção, fazendo com que durante este deslocamento o material seja aquecido para que se torne líquido e uniformemente distribuído. Este conjunto é responsável principalmente pelos processos de injeção e plastificação citados anteriormente.

De acordo com Torres (2007), a unidade de injeção pode ser classificada de duas maneiras: unidades de injeção por pistão e unidades de injeção por rosca.

Em unidades de injeção por pistão o material é alimentado em um cilindro previamente aquecido por resistências. Em seguida, um pistão é acionado empurrando o material derretido por dentro da unidade de injeção, sendo homogeneizado dentro do torpedo até que seja comprimido pelo bico injetor por fim, injetado dentro do molde. Os principais componentes deste tipo de unidade são apresentados pela Figura 11.

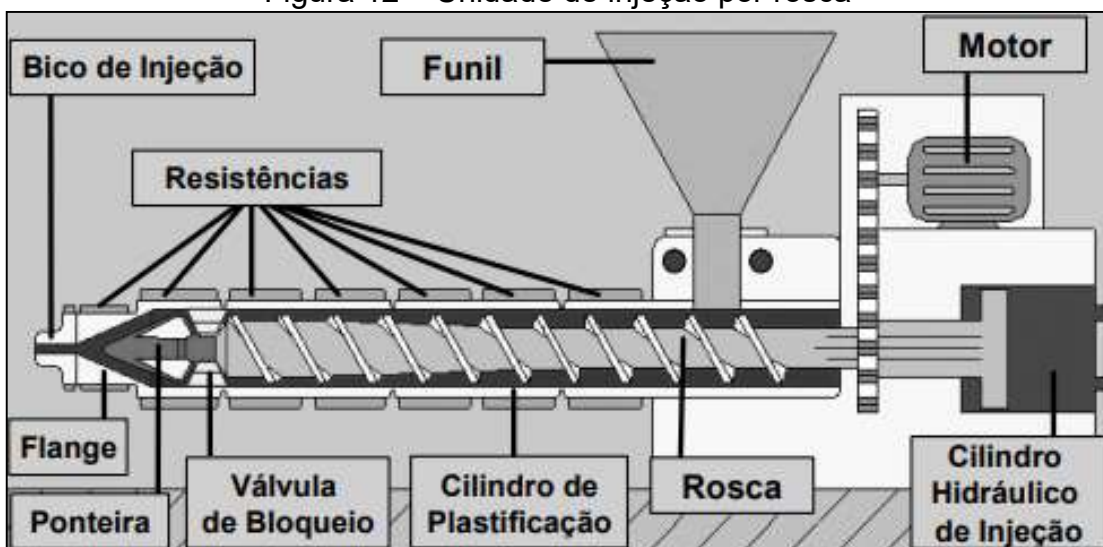
Figura 11 – Unidade de injeção por pistão



Fonte: Torres (2007, p. 8).

Nas máquinas com sistema de injeção por rosca o material granulado é alimentado em um cilindro previamente aquecido que possui uma rosca em seu interior. Essa rosca possui diferentes diâmetros e ranhuras em toda sua extensão a fim de realizar o transporte e a homogeneização da resina plástica. Entretanto, a força de injeção é exercida por meio de um pistão hidráulico que avança a rosca em direção ao bico injetor, inserindo o material fluidificado dentro do molde. Os principais componentes deste tipo de unidade são apresentados pela Figura 12.

Figura 12 – Unidade de injeção por rosca

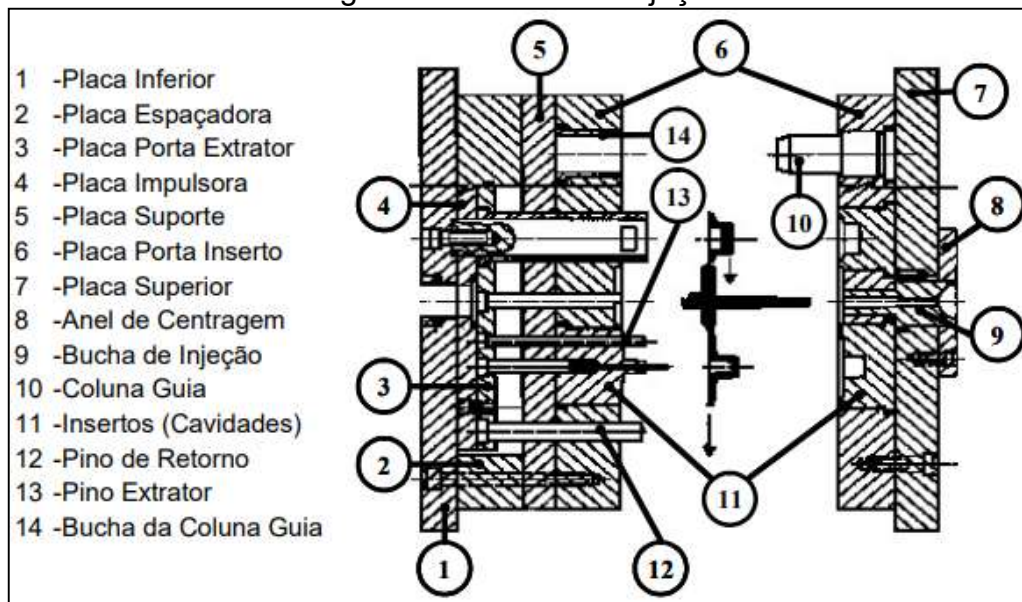


Fonte: Torres (2007, p. 8).

2.2.6 Molde

O molde é constituído por duas ou mais peças fabricadas a partir de um bloco de metal e que possui as cavidades que darão forma a peça injetada. A qualidade e os materiais utilizados na fabricação do molde são de extrema importância na qualidade final do produto, tendo em vista que seu projeto deve prever as dinâmicas do deslocamento do plástico de forma que não ocorram problemas de deformação por resfriamento ou rebarbas nas extremidades das peças (TORRES, 2007). A Figura 13 apresenta um molde e seus principais componentes.

Figura 13 – Molde de injeção



Fonte: Torres (2007 p. 9).

2.2.7 Sistema de controle

O sistema de controle de uma injetora de plástico pode ser dividido em dois blocos distintos, sendo eles o sistema hidráulico e o sistema elétrico. Cada um deles é composto por diversos componentes com funções complementares.

Os principais itens utilizados na composição do sistema hidráulico de uma injetora de plásticos são: óleo hidráulico, reservatório de óleo, bomba hidráulica, válvula proporcional de pressão, válvula proporcional de vazão, válvulas direcionais, pistões e motor hidráulico.

O óleo é responsável pela transmissão da energia no sistema hidráulico. Entretanto, para que possa exercer essa função, é preciso que ele seja pressurizado por uma bomba hidráulica que é utilizada para transferir energia mecânica de um eixo para um fluido. Neste caso, a força no eixo é gerada por meio de um motor elétrico e transferida para o óleo acumulado no reservatório.

A válvula proporcional de pressão é responsável por regular a pressão gerada pela bomba hidráulica. Já a válvula proporcional de vazão controla o fluxo do óleo. Sendo assim, estes componentes permitem que o usuário tenha controle sobre a força e a velocidade dos movimentos da máquina. Além das proporcionais, são utilizadas válvulas direcionais para controlar e direcionar a passagem do óleo. Ao receberem fluido das válvulas direcionais, os cilindros entram em movimento, desta forma é possível realizar os deslocamentos lineares necessários para executar ações como abertura e fechamento do molde, injeção, extração, entre outros. Assim como os pistões, o motor hidráulico, acoplado a rosca, recebe óleo de uma válvula direcional, porém, o movimento gerado é rotativo, permitindo que a rosca entre em movimento giratório e seja possível a execução do processo de plastificação do material.

O sistema elétrico de uma injetora é composto por motores elétricos, sensores, resistências, Controlador Lógico Programável (CLP) e Interface Homem-Máquina (IHM). O motor elétrico é utilizado para transformar a energia elétrica em energia mecânica que é transmitida para a bomba hidráulica, conforme descrito anteriormente. As resistências são utilizadas para aquecer o cilindro da unidade de injeção, sendo possível regular sua temperatura de trabalho em função do material polimérico a ser injetado.

Os principais sensores utilizados em uma injetora de plástico são: sensores de monitoramento das aberturas, sensores de temperatura e sensores de posição.

Os sensores de monitoramento das aberturas são utilizados para garantir a segurança do operador. Em geral, as proteções monitoradas são a porta frontal, porta traseira, proteção superior e proteção do bico injetor. Já os sensores de temperatura são utilizados para que o sistema de controle monitore o cilindro da unidade de injeção, responsável pelo aquecimento da resina. No caso dos sensores de posição, são aplicados no monitoramento da posição atual do molde, do sistema de extração, da unidade de injeção e da rosca, permitindo ao usuário maior controle sobre cada ação.

O CLP é responsável por fazer a leitura de todos os sensores e acionar todos os componentes da máquina. As informações são processadas e as ações são tomadas com base em um software instalado. A IHM é a interface utilizada pelo usuário para realizar a programação da máquina, por meio dela é possível programar os parâmetros envolvidos no processo, como pressão e vazão dos movimentos hidráulicos ou a temperatura de trabalho necessária para transformar o polímero desejado.

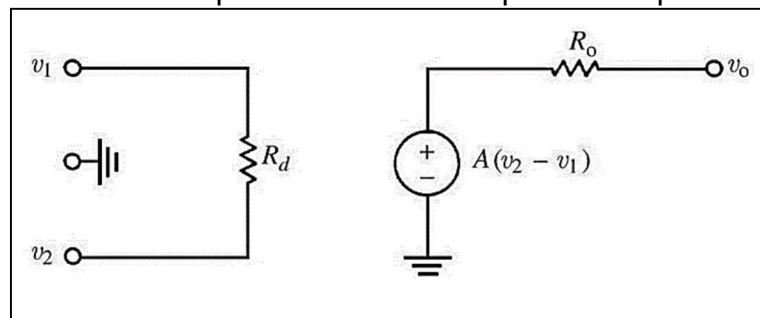
2.3 AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

Para se realizar uma leitura precisa de sinais de baixa magnitude por sistemas de controle ou de instrumentação, torna-se imprescindível a utilização de circuitos eletrônicos destinados à sua amplificação. Para isso, podem ser empregados amplificadores operacionais dimensionados de acordo com cada aplicação. Os tópicos seguintes têm como finalidade descrever as principais características desses circuitos.

2.3.1 Características ideais

Um amplificador operacional tem a finalidade de elevar a diferença entre os sinais aplicados às suas entradas em um sinal de saída. O seu circuito equivalente está representado na Figura 14, onde as duas entradas estão representadas por v_1 e v_2 , enquanto a resistência que as interliga está indicada como R_d . O ganho do sistema está definido como A e a resistência pela qual a corrente percorre para alcançar a saída v_o está representada por R_o (WEBSTER, 2010).

Figura 14 – Circuito equivalente de um amplificador operacional ideal

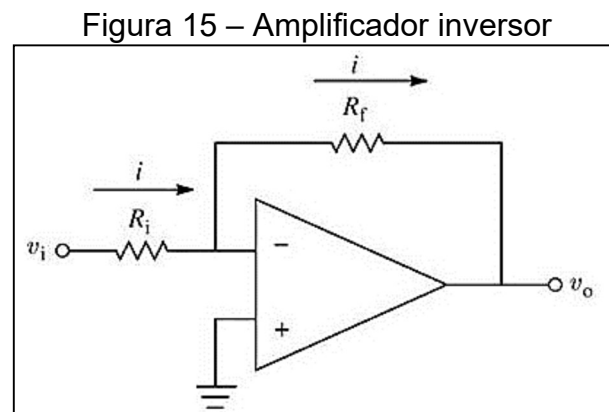


Fonte: WEBSTER (2010, p. 92).

Dessa forma, um amplificador operacional considerado ideal possui como principais características a resistência medida entre suas entradas infinita e resistência de saída nula, evitando qualquer influência aos sinais presentes no sistema. Também deve ser possível a obtenção de ganhos infinitos de tensão, sua resposta de frequência deve ser infinita e sua operação não pode ser sensível às variações de temperatura (PERTENCE JÚNIOR, 2003)

2.3.2 Amplificador inversor

O amplificador inversor é o circuito amplificador mais simples e mais comumente utilizado em instrumentação. Caracteriza-se pela sua saída possuir polarização inversa ao sinal de entrada, devido a corrente que percorre o resistor de realimentação ser negativa, como demonstrado na Figura 15 (WEBSTER, 2010).



Fonte: WEBSTER (2010, p. 94).

De acordo com WEBSTER (2010), a tensão de saída pode ser estimada a partir da Equação 1:

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{R_f}{R_i} \quad (1)$$

onde:

v_o : tensão de saída do amplificador operacional;

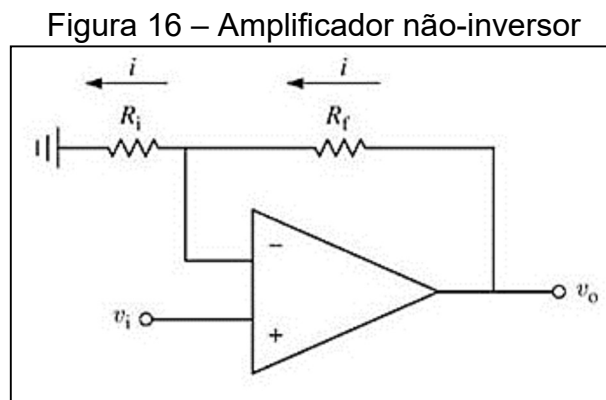
v_i : tensão de entrada do amplificador operacional;

R_f : resistência de realimentação do amplificador operacional;

R_i : resistência de entrada do amplificador operacional.

2.3.3 Amplificador não-inversor

O circuito do amplificador operacional inversor pode ser modificado a fim de se gerar um sinal de saída com a mesma polaridade do sinal de entrada, conforme expresso na Figura 16. Dessa forma, ao inserir-se a tensão de entrada no pino positivo do amplificador, faz-se com que a corrente de realimentação flua em direção ao *ground* do circuito, produzindo uma tensão de saída positiva (WEBSTER, 2010).



Fonte: WEBSTER (2010, p. 97).

De acordo com WEBSTER (2010), a tensão de saída é calculada mediante Equação 2:

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{R_f + R_i}{R_i} \quad (2)$$

onde:

v_o : tensão de saída do amplificador operacional;

v_i : tensão de entrada do amplificador operacional;

R_f : resistência de realimentação do amplificador operacional;

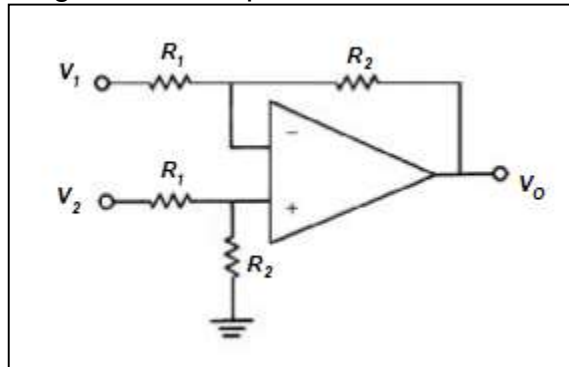
R_i : resistência de entrada do amplificador operacional.

2.3.4 Amplificador diferencial

O amplificador diferencial possibilita a obtenção de um sinal de saída igual a diferença entre dois sinais de entrada multiplicados por um ganho, definido de acordo com os valores das resistências utilizadas no sistema. Esse modo de

operação está exemplificado na Figura 17. Assim, obtém-se sinal de saída positivo quando v_2 for maior que v_1 e negativo quando v_2 for menor que v_1 (WEBSTER, 2010).

Figura 17 – Amplificador não-inversor



Fonte: Adaptado de WEBSTER (2010, 95).

De acordo com a WEBSTER (2010), a tensão de saída de um amplificador diferencial pode ser obtida por meio da Equação 3:

$$v_o = \frac{(v_2 - v_1)R_2}{R_1} \quad (3)$$

onde:

v_o : tensão de saída do amplificador operacional;

v_1 : tensão de entrada do terminal negativo do amplificador operacional;

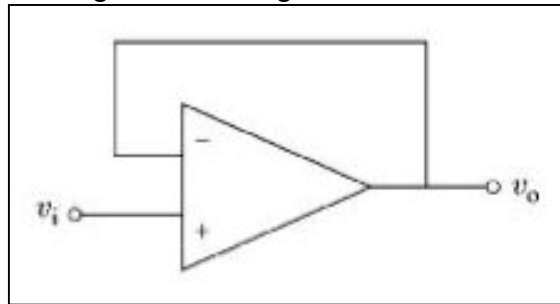
v_2 : tensão entrada do terminal positivo do amplificador operacional;

R_1, R_2 : resistências empregadas no sistema.

2.3.5 Seguidor de tensão

O seguidor de tensão é um circuito de ganho unitário, demonstrado na Figura 18. Sua saída apresenta a mesma polaridade da entrada e, por possuir alta impedância de entrada, é comumente utilizado como *buffer* para evitar atenuações de sinais conectados a circuitos de baixa impedância (WEBSTER, 2010).

Figura 18 – Seguidor de tensão



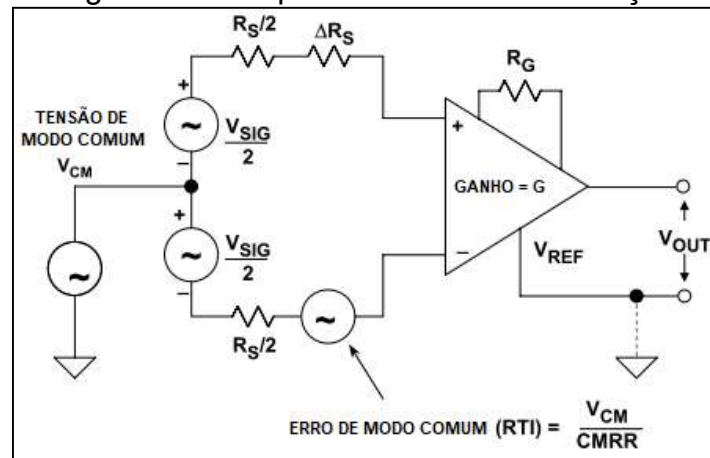
Fonte: WEBSTER (2010, p. 97).

2.3.6 Amplificador de instrumentação

Um amplificador de instrumentação é caracterizado por possuir resistência de entrada muito elevada, resistência de saída menor do que a de amplificadores operacionais comuns e possibilidade de obtenção de ganhos de tensão superiores aos de outros amplificadores. Dessa forma, obtêm-se resultados mais precisos e características mais próximas às apresentadas por amplificadores ideais (PERTENCE JÚNIOR, 2003).

Sua arquitetura é constituída por um bloco de amplificadores em malha fechada, o qual conta com dois amplificadores, estando cada um deles conectado a uma das entradas, ligados a um terceiro, responsável pela saída do sistema, conforme demonstrado na Figura 19. O ganho do amplificador pode ser ajustado a partir do resistor R_G , que está eletricamente isolado dos sinais de entrada (JUNG, 2005).

Figura 19 – Amplificador de instrumentação



Fonte: Adaptado de Jung (2005, p. 2).

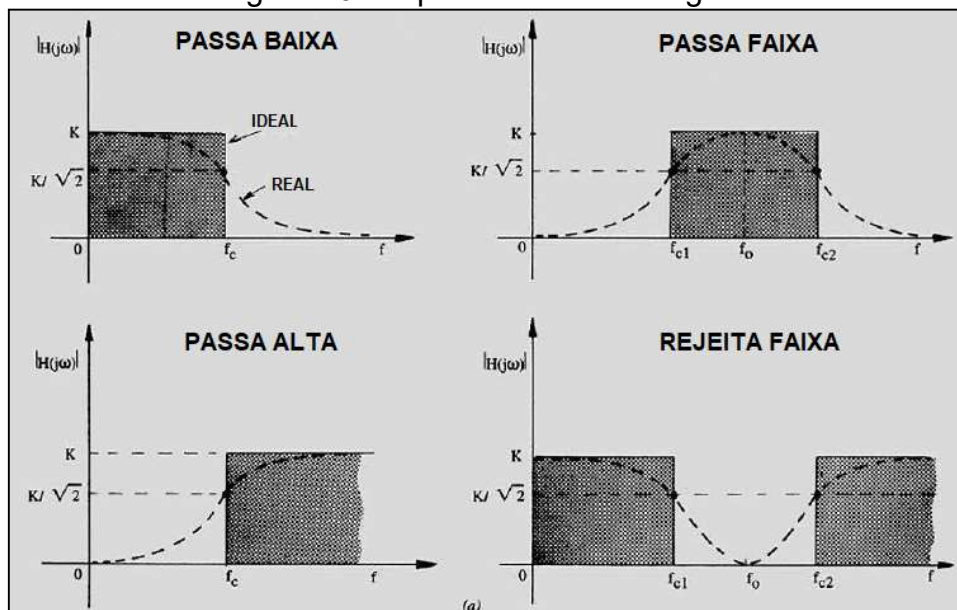
2.3.7 Amplificador *Rail-to-Rail*

Os amplificadores operacionais tradicionais alimentados por baixas tensões apresentam redução significativa da faixa de sinal disponível para sua operação. Dessa forma, o emprego de amplificadores operacionais *Rail-to-Rail* é definido pela sua capacidade de gerar sinais de saída com amplitudes muito próximas às tensões utilizadas em sua alimentação. Assim, torna-se possível a utilização desses amplificadores em circuitos cujas tensões fornecidas pela fonte são reduzidas sem comprometer o seu desempenho (TEXAS INSTRUMENTS, 1999).

2.4 FILTROS ANALÓGICOS

Os filtros analógicos são circuitos que processam sinais de entrada de acordo com a sua frequência. Dessa forma, suas aplicações consistem principalmente em remover ganhos de frequências muito altas, onde os deslocamentos de amplitude podem gerar oscilações indesejadas no sinal de saída, ou separar faixas de frequências utilizáveis por um circuito subsequente e atenuar aquelas indesejadas. Os filtros analógicos podem ser divididos em passa baixa, passa alta, passa faixa e rejeita faixa, conforme Figura 20 (JUNG, 2005).

Figura 20 – Tipos de filtros analógicos



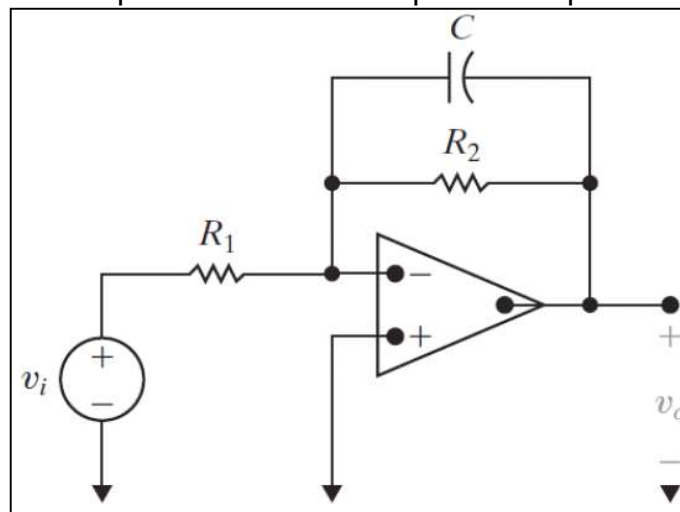
Fonte: Adaptado de Pertence Júnior (2003, p. 164).

Como demonstrado na Figura 20, o filtro passa baixa permite apenas a passagem de sinais cuja frequência é menor do que a de corte, enquanto no filtro passa alta apenas os sinais acima da frequência especificada serão considerados. O filtro passa faixa é criado a partir da utilização de um filtro passa baixa e um passa alta em cascata, de modo que são especificadas duas frequências de corte e apenas as faixas entre ambas permanecerão no sistema. O filtro rejeita faixa funciona de maneira inversa ao filtro passa faixa, onde os sinais presentes entre as duas frequências de corte serão atenuados (JUNG, 2005).

2.4.1 Topologia de filtro passa baixa

Os filtros analógicos citados no exemplo anterior podem ser montados com o auxílio de amplificadores operacionais. Uma das topologias possíveis é o filtro ativo passa-baixa com amplificador operacional inversor, conforme expresso na Figura 21.

Figura 21 – Filtro passa-baixa com amplificador operacional inversor



Fonte: Melges (2018, p. 4).

A topologia demonstrada na Figura 21 assemelha-se a um amplificador operacional inversor, porém com o acréscimo de um resistor entre o pino negativo e a saída do amplificador. Esse capacitor tem como função agir como um circuito aberto ao operar em baixas frequências, de forma que o circuito se comportará com os ganhos equivalentes de um amplificador inversor. Em frequências elevadas, o capacitor agirá como um curto circuito, buscando conectar a saída com o *ground*

virtual presente no pino negativo do amplificador. A frequência de corte pode ser definida de acordo com a Equação 4 (MELGES, 2018).

$$F_c = \frac{1}{2\pi R_2 C} \quad (4)$$

onde:

F_c : frequência de corte;

R_2 : resistência de realimentação do amplificador operacional;

C : capacitância conectada à saída do amplificador operacional.

Também pode-se calcular o ganho do sistema de acordo com a frequência de entrada, por meio da Equação 5 (MELGES, 2018).

$$H(s) = -K \frac{2\pi F_c}{s + 2\pi F_c} \quad (5)$$

onde:

$H(s)$: ganho do sistema para s ;

K : ganho do circuito calculado através de R_2/R_1 ;

F_c : frequência de corte;

s : frequência no plano de Laplace.

2.5 INSTRUMENTAÇÃO E PROCESSAMENTO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS

A fim de se medir precisamente a tensão e corrente sobre um determinado circuito elétrico, podem ser empregados diferentes meios e equipamentos. Os tópicos a seguir têm como objetivo descrever alguns desses métodos, apresentando as vantagens e desvantagens de cada um deles.

2.5.1 Tipos de medição de corrente

Os principais tipos de medição de corrente estão apresentados na sequência com as suas respectivas definições e características:

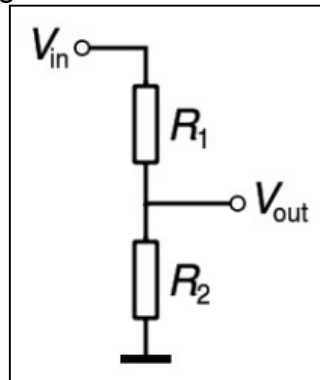
- a) Transformadores de Corrente (TC): Transformadores de corrente têm como função reduzir o nível de corrente de um circuito para uma amplitude mais adequada à utilizada por instrumentos de medição. Para isso, é conectado em série com o circuito, devendo possuir uma baixa impedância para evitar erros de medição. A relação entre a corrente de entrada e a de saída é proporcional ao número de espiras dos dois enrolamentos utilizados (CARBONERA, 2013);
- b) Transdutores de Efeito Hall: O Efeito *Hall* ocorre devido às características do fluxo de carga em materiais condutores ou semicondutores, onde, a partir do campo magnético gerado pela corrente elétrica de um circuito, surge sobre um material condutor uma corrente perpendicular em relação à direção da original. Como consequência, surgirá uma diferença de potencial sobre esse material. Assim sendo, os transdutores de Efeito *Hall* dispõem de precisão significativa, geralmente entre 0,5% a 1%, além de possuírem isolação galvânica. Tem como desvantagem o custo elevado (CARBONERA, 2013);
- c) Resistores Shunt: Sendo uma das formas de medição de corrente de emprego mais simples, os Resistores *Shunt* são alocados em série com o circuito a ser medido. Dessa forma, a corrente resultará em uma tensão sobre os terminais do resistor que, com base na Lei de Ohm, um equipamento de medição será capaz de determinar a corrente do sistema. Assim, conta com alta precisão, tendo como desvantagem a invasão do circuito medido (CARBONERA, 2013);
- d) Bobina de Rogowski: A Bobina de Rogowski funciona por meio da medição de um campo magnético com base na Lei de Ampere, ou seja, relacionando a corrente que passa por um condutor em seu interior com o campo medido. Dessa forma, opera de forma não invasiva, obtendo-se uma saída isolada do circuito de medição. Tem como desvantagem o seu alto custo. (CARBONERA, 2013)

2.5.2 Tipos de medição de tensão

Os principais tipos de medição de tensão são detalhados na sequência com a descrição das definições e características:

- a) Transformador de Potencial (TP): consiste em um equipamento capaz de reduzir tensões elétricas elevadas para níveis aplicáveis em determinados instrumentos de medição. Sua construção se dá de modo que apresentem uma relação entre número de voltas de dois enrolamentos, denominados primário e secundário, diretamente proporcional ao nível de tensão a ser rebaixado. Destacam-se por serem capazes de isolar o circuito de medição, porém apresentam menor grau de precisão do que outros equipamentos (CARBONERA, 2013);
- b) divisor resistivo: é um dos medidores de tensão mais simples e eficaz. Consiste na divisão de tensão a partir do acoplamento de duas resistências, gerando uma tensão de saída proporcional a tensão de entrada, conforme Figura 22. Sua principal desvantagem é estar completamente acoplado ao circuito de medição, tornando necessário o emprego de circuitos adicionais com optoacopladores para realizar o seu isolamento. Por isso, usualmente são empregados para medição de pequenos sinais provindos de sistemas onde não há necessidade de isolamento (CARBONERA, 2013);

Figura 22 – Divisor resistivo



Fonte: Carbonera (2013, p. 33).

- c) transdutor de tensão: os transdutores de tensão realizam a medição por meio de Efeito *Hall*. Dessa forma, são capazes de medir tensão alternada ou contínua contando com isolação galvânica. Apresenta bons índices de linearidades, precisão e alta banda passante, tendo como principal desvantagem o seu custo elevado (CARBONERA, 2013).

2.6 PROCESSAMENTO DIGITAL DE MEDIDAS ELÉTRICAS

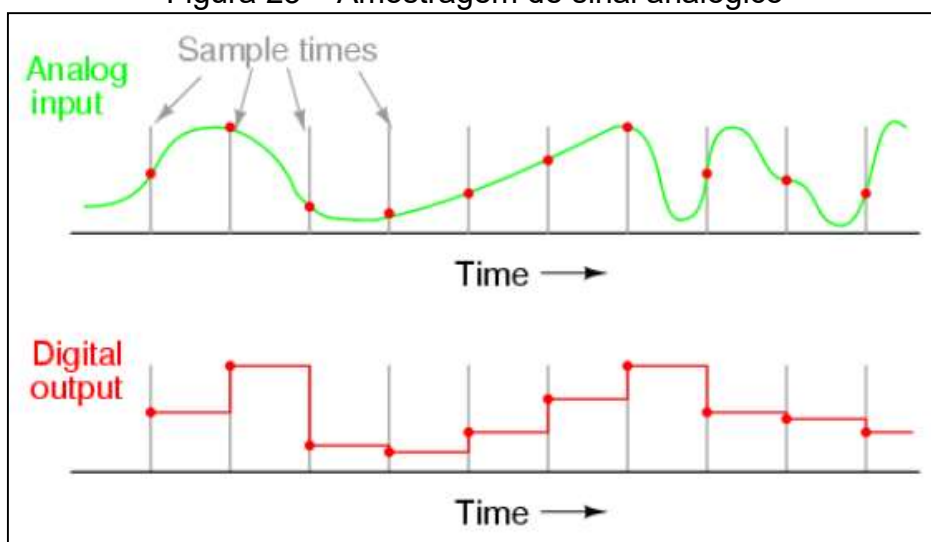
Um instrumento digital pode ser desenvolvido através de técnicas de conversão analógica-digital utilizando microcontroladores, que consistem em dispositivos eletrônicos capazes de realizar funções que de outra forma exigiriam o emprego de um grande número de componentes eletrônicos. São compostos por um processador, memória, pinos de entradas e saídas, temporizadores e conversores, podendo-se selecionar modelos de acordo com cada aplicação ou a partir dos recursos periféricos desejados. Todos esses recursos podem ser controlados por meio de programação (MARTINS, 2005).

Os próximos tópicos têm como objetivo descrever algumas das etapas do processo de instrumentação digital através de conversão de sinais analógico digitais, realizada com o auxílio de microcontroladores.

2.6.1 Amostragem digital

Para se realizar a conversão de sinais analógicos para sinais digitais, deve-se executar uma etapa de amostragem, ou seja, quantificar os diversos valores desse sinal em intervalos de tempo, obtendo-se uma escala de valores discretos, conforme indicado pela Figura 23. Na sequência, esses dados de saída poderão ser processados por um microcontrolador de forma discreta e com amplitudes constantes (OLIVEIRA, 2008).

Figura 23 – Amostragem de sinal analógico



Fonte: Oliveira (2008, p. 16).

Assim sendo, a amostragem é um método para obtenção de amostras de um sinal contínuo, em intervalos de tempo igualmente separados. Entretanto, é importante tomar cuidados com a seleção da frequência na qual esses dados serão obtidos, pois caso o período de amostragem seja muito lento, a reconstrução do sinal pode se tornar impossível. Por outro lado, frequências muito altas podem resultar em quantidades desnecessárias de dados (FERNANDES; PANAZIO, 2009).

De acordo com o Teorema da Amostragem de Nyquist-Shannon, um sinal que possua uma frequência máxima de F_{max} Hz pode ser reconstruído sem qualquer erro contanto que seja amostrado com uma frequência de no mínimo $F_a > 2 \cdot F_{max}$ (LATHI, 2005).

De acordo com o Teorema da Amostragem de Nyquist-Shannon, um sinal que pode ser reconstruído sem qualquer erro contanto que a taxa de amostragem seja de no mínimo duas vezes a sua frequência máxima, conforme demonstrado na Equação 6 (LATHI, 2005).

$$F_a > 2 * F_{Max} \quad (6)$$

onde:

F_a : frequência de amostragem;

F_{Max} : frequência máxima do sinal.

2.6.2 Rotina de cálculos

Após realizadas as medidas de dados por meio de amostragens de um sinal analógico, essas informações deverão ser processadas por meio de cálculos a fim de se obter os valores desejadas. Alguns exemplos disso são as determinações de valores médio e eficaz, descritos nos próximos tópicos, que podem ser realizadas por um microcontrolador.

2.6.2.1 Valor médio

De acordo com Moreira (2006), o valor médio de qualquer função periódica $f(t)$, cujo período é dado por T , pode ser obtido por meio da Equação 7:

$$F_M = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (7)$$

onde:

F_M : valor médio do sinal;

T : período da onda;

$f(t)$: sinal periódico em função do tempo.

Utilizando o processo de amostragem de sinais, pode-se substituir a integral por um somatório, conforme expresso na Equação 8 (MOREIRA, 2006).

$$F_M = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f_j \quad (8)$$

onde:

F_M : valor médio aproximado do sinal;

N : número de amostras em um período;

f_j : valor da j-ésima amostra.

2.6.2.2 Valor eficaz

Segundo Moreira (2006), o cálculo do valor eficaz, ou *Root Mean Square* (RMS), de uma função periódica $v(t)$ cujo período é T , pode ser feito através da Equação 9:

$$F_{EF} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} \quad 9)$$

onde:

F_{EF} : valor eficaz do sinal.

Em um sistema discreto, substitui-se a integral por um somatório, conforme Equação 10:

$$F_{EF} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f_j^2} \quad (10)$$

onde:

F_{EF} : valor eficaz do sinal;

N : número de amostras em um período;

f_j : valor da j-ésima amostra.

2.6.2.3 Potência ativa

A potência ativa, ou potência média, de um circuito pode ser calculada com base na Equação 11, através dos valores médios de tensão e corrente determinados com base na Equação 7 (MUSSOI, 2006).

$$P = \left(\frac{1}{T} \int_0^T V(t) dt \right) * \left(\frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt \right) = V_M * I_M \quad (11)$$

onde:

P : potência ativa;

V_M : tensão média;

I_M : corrente média.

2.6.2.4 Potência aparente

Ao calcular o produto dos valores eficazes de tensão e corrente, determinados por meio das Equações 9, obtém-se o valor da potência ativa, ou potência eficaz. A Equação 12 demonstra esse processo (MUSSOI, 2006).

$$S = \left(\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt} \right) * \left(\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I(t)^2 dt} \right) = V_{EF} * I_{EF} \quad (12)$$

onde:

S : potência aparente;

V_{EF} : tensão eficaz;

I_{EF} : Corrente eficaz.

2.6.2.5 Potência reativa

A potência reativa está relacionada aos elementos indutivos e capacitivos do circuito, sendo absorvida e devolvida à rede sem realizar qualquer trabalho elétrico. Conhecidas as potências ativa e aparente do sistema, pode ser calculada por meio da Equação 13 (MUSSOI, 2006).

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (13)$$

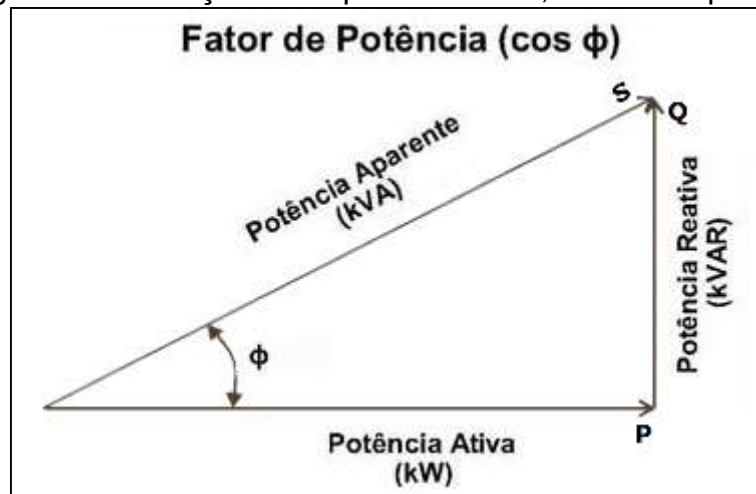
onde:

Q : potência reativa.

2.6.2.6 Fator de potência

O fator de potência indica a eficiência com que a energia elétrica está sendo consumida, sendo calculado através da relação entre potência ativa (energia que realizará o trabalho); potência reativa (energia necessária para gerar campos eletromagnéticos em cargas indutivas ou para armazenar energia em cargas capacitivas); e potência aparente (energia total fornecida pela rede). Esta associação pode ser vista na Figura 24, onde o cosseno do ângulo Φ corresponde ao fator de potência (FERGUTZ, 2016).

Figura 24 – Relação entre potência ativa, reativa e aparente



Fonte: Adaptado de Fergutz (2016, p. 4).

A partir do triângulo da Figura 24, obtêm-se as equivalências demonstradas na Equação 14:

$$FP = \cos(\Phi) = \frac{KW}{KVA} = \frac{KWh}{\sqrt{KWh^2 + KVARh^2}} \quad (14)$$

Assim, observa-se que em uma situação ideal, quando não há desperdícios de energia elétrica, haverá um equilíbrio perfeito entre cargas capacitivas e indutivas, tornando a energia reativa nula. Conseqüentemente, energia ativa e a energia aparente terão o mesmo valor, de forma que o ângulo entre ambas será zero e o fator de potência ($\cos\Phi$) se tornará unitário (FERGUTZ, 2016).

2.7 COMUNICAÇÃO SERIAL

A comunicação serial consiste na transmissão de *bytes bit a bit*, ou seja, todos os dados serão enviados sequencialmente entre dois dispositivos, sendo um deles o emissor e o outro o receptor. Apesar de inferior em velocidade, suas principais vantagens em relação à comunicação paralela, no qual diversos *bits* são transmitidos simultaneamente, está no menor custo, na baixa susceptibilidade a ruído e na facilidade de implementação em longas distâncias (HAN; KONG, 2010).

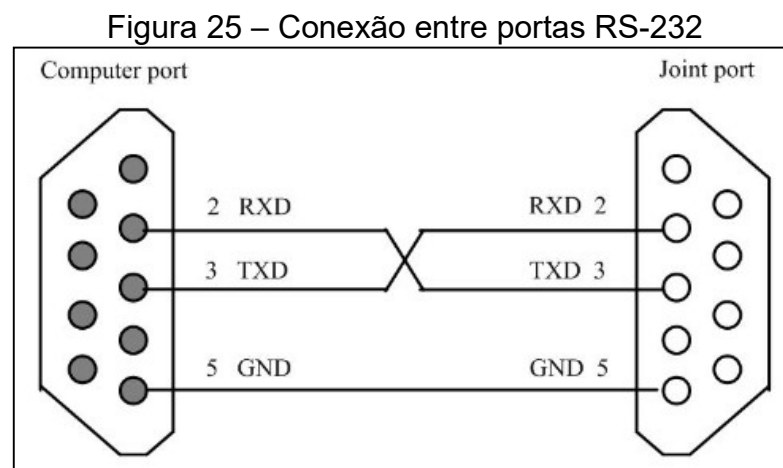
2.7.1 UART

Para realizar a comunicação serial os microcontroladores geralmente utilizam um transceptor, que é o componente responsável pelo controle de comunicação paralela ou serial, denominado *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART). Uma de suas características é a possibilidade de configurar o formato do dado e sua velocidade de acordo com o desejado, podendo ser utilizado para diversos protocolos de comunicação, como o RS-232 e o RS-422 (BALDASSIN, 2019).

A comunicação usada pela UART é assíncrona, necessitando que transmissor e receptor devem estar configurados previamente para que possam realizar a troca de dados. Além disso, geralmente emprega *bits* de *start* e *stop* para indicar o início e o final de um dado, respectivamente, e um *bit* de paridade para identificar possíveis erros de transmissão (BALDASSIN, 2019).

2.7.2 Protocolo RS-232

O padrão RS-232 caracteriza-se por suportar longas distâncias de comunicação a baixas velocidades, preço moderado e boa praticidade. Como interface computacional, utiliza conectores DB9 e, de forma a se obter uma transmissão confiável e em tempo real, emprega uma conexão por meio de três fios, onde interliga-se o sinal de referência GND de ambos os circuitos e conecta-se o transmissor TXD de um circuito com o receptor RXD do outro, conforme demonstrado na Figura 25 (HAN; KONG, 2010).

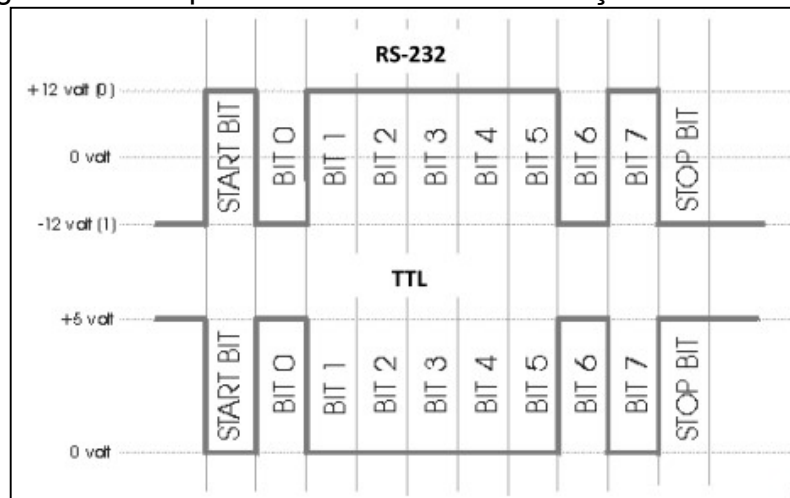


Fonte: Han e Kong (2010, p. p.8).

A comunicação RS-232 é do tipo simplex, onde se utiliza uma linha para transmissão e outra para recepção dos dados. Quanto ao sinal transmitido, caracteriza-se por iniciar com um *start bit*, indicando o início da transmissão, seguido por um caractere de 5, 6, 7 ou 8 *bits*, um *bit* de paridade e terminado por 1, 1.5 ou 2 *stop bit*. Dessa forma, o padrão do pacote de dados pode ser totalmente programável de acordo com cada utilização (BEZERRA, 2013).

O padrão RS-232 tradicional considera nível baixo para tensões inferiores a -3V, geralmente empregando -12V, e +3V para nível alto, comumente +12V, porém o nível *Transistor-Transistor Logic* (TTL), usado principalmente por microcontroladores e outros componentes eletrônicos, utiliza nível baixo a 0V e nível alto a +5V. Além disso, os modelos possuem níveis lógicos '0' e '1' invertidos em relação ao outro. A Figura 26 demonstra um pacote transmitido por meio de uma comunicação serial RS-232, comparando os dois níveis de tensão (BEZERRA, 2013).

Figura 26 – Sequência de bits em comunicação serial RS-232



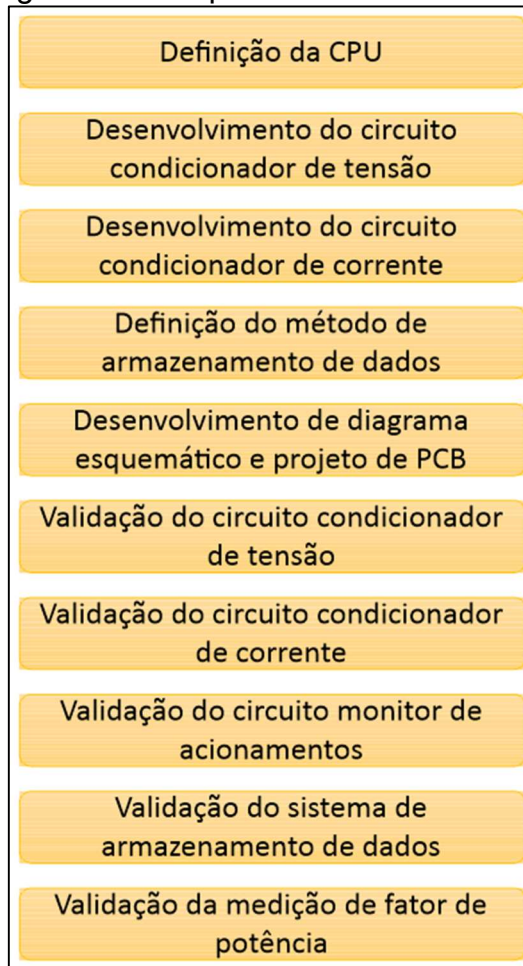
Fonte: Bezerra (2013, p. 26).

3 METODOLOGIA

O objetivo deste projeto é desenvolver um sistema de baixo custo capaz de monitorar dados relacionados ao processo de uma máquina injetora de plásticos. O sistema desenvolvido tem como principais funcionalidades a medição do tempo de ciclo do equipamento, consumo de energia e armazenamento dos dados coletados.

Na Figura 27 está descrita a sequência das etapas percorridas durante o desenvolvimento do trabalho, as quais estão detalhadas nas próximas seções.

Figura 27 – Etapas do desenvolvimento



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

3.1 CPU DO SISTEMA

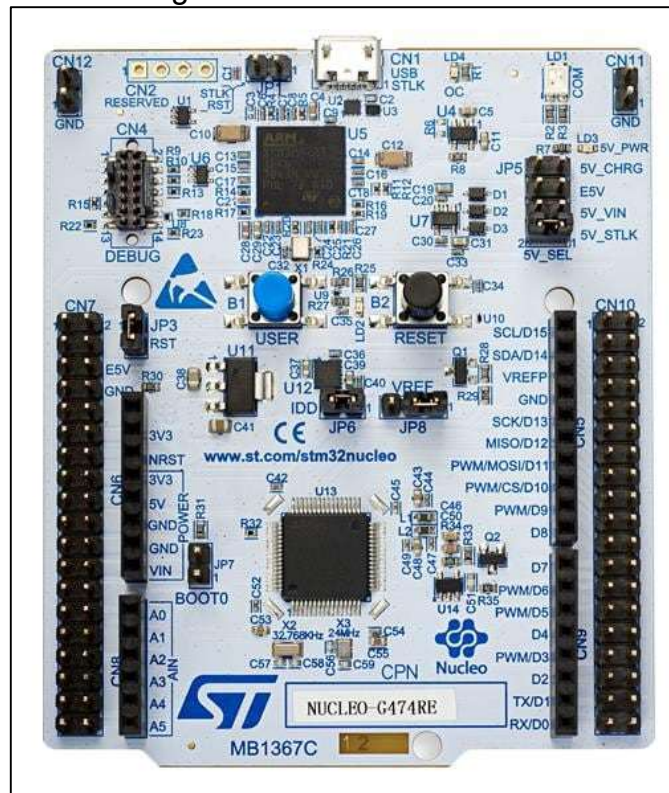
Para o controle e processamento do sistema proposto, incluindo a aquisição de dados, execução de cálculos e transmissão das informações para o servidor de armazenamento, foi escolhido o microcontrolador STM32G474, fabricado pela

empresa STMicroelectronics, que possui um núcleo *Advanced Risc Machine* (ARM) da família Cortex-M4.

Tendo em vista que a maior complexidade do projeto se dá no processamento de sinais analógicos, é importante ressaltar que o microcontrolador STM32G474 possui um conversor *Analog to Digital Converter* (ADC) de 12 bits que pode atingir uma frequência de amostragem de até 170MHz, além de possuir recursos de hardware específicos para a aplicação de filtros digitais. A faixa de tensão admitida para sinais analógicos é de até 3,6V (STMICROELETRONICS, 2020).

A ST Microelectronics disponibiliza uma placa de avaliação para a família G4, denominada Núcleo G474RE, onde estão disponíveis recursos para implementar a maioria de seus periféricos, principalmente os analógicos, pois disponibiliza uma fonte regulada em 3,25V com variação menor do que 0,5% (*Datasheet* TL1431) (TEXAS INSTRUMENTS, 2020). A placa, mostrada na Figura 28, foi utilizada para os testes bem como para a implementação do projeto.

Figura 28 – Núcleo G474RE



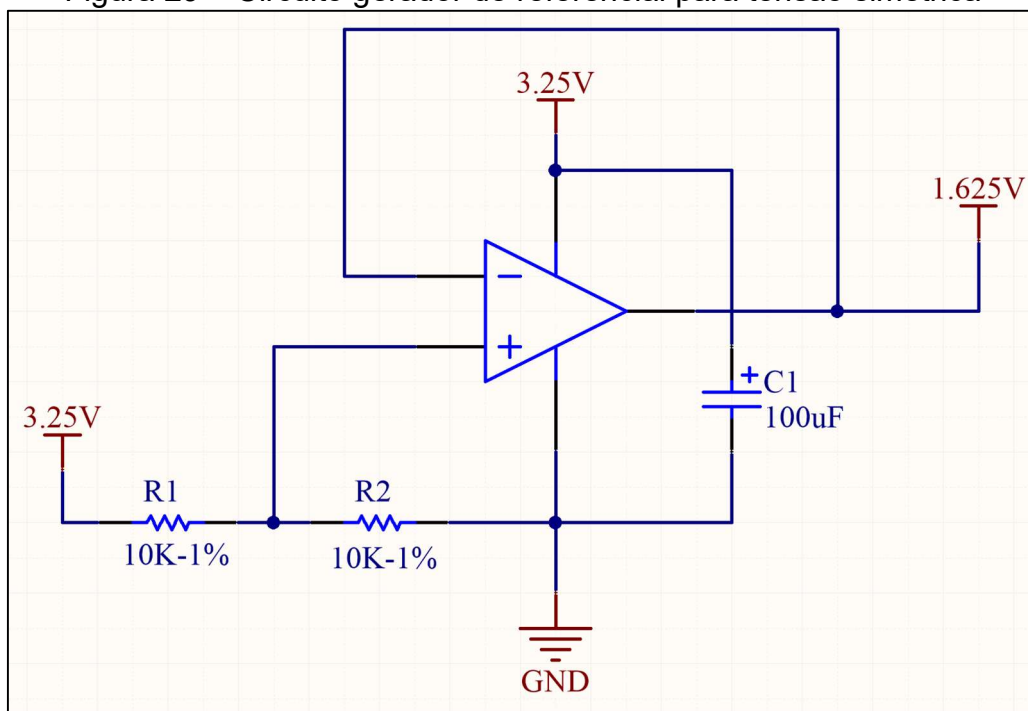
Fonte: Mouser Electronics (2020, p.1).

3.2 CIRCUITOS DE CONDICIONAMENTO DE SINAIS

Depois de escolhida a CPU, fator determinante para a definição de diversos parâmetros necessários no projeto dos circuitos de condicionamento dos sinais, foi iniciado o desenvolvimento dos circuitos utilizados na coleta de dados. São eles os circuitos condicionadores para medição de tensão e corrente da rede elétrica, assim como o circuito de monitoramento dos acionamentos da máquina.

No projeto dos circuitos de condicionamento, foi utilizada como fonte de alimentação a saída estabilizada existente na placa Núcleo G474RE de 3,25V. Além disso serão utilizados amplificadores operacionais que requerem o uso de tensão simétrica. Esta tensão pode ser gerada por meio de um circuito seguidor de tensão com ganho unitário, composto por um circuito divisor resistivo com dois resistores de 10K Ω 1% e um capacitor eletrolítico de 100 μ F para estabilização da tensão, conforme apresentado pela Figura 29.

Figura 29 – Circuito gerador de referencial para tensão simétrica



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

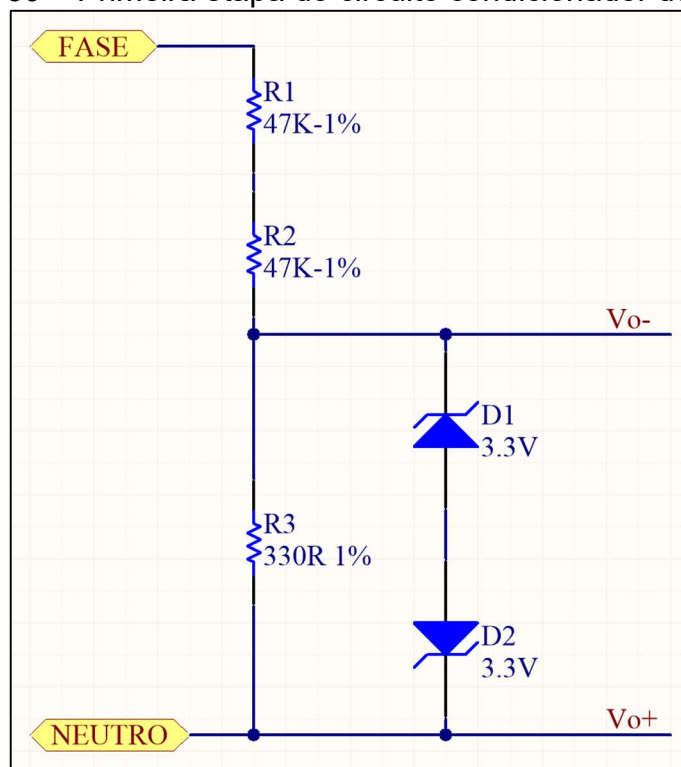
A partir deste ponto, tratando-se de circuitos analógicos com amplificadores operacionais, a tensão de 3,25V passará a ser considerada como $\pm 1,625$ V. Além disso, todos os AMPOPs possuem a característica *rail-to-rail*.

3.2.1 Circuito de condicionamento de tensão

Para o desenvolvimento do circuito condicionador de tensão foi utilizada a topologia proposta pela Texas Instruments (2016), em seu *reference design* intitulado “*Reference Design to Measure AC Voltage and Current in Protection Relay With Delta-Sigma Chip Diagnostics*”.

O circuito de condicionamento de tensão foi projetado para medição Fase-Neutro e dividido em duas partes, sendo a primeira responsável pela amplitude do sinal e proteção contra sobretensões, já a etapa seguinte é utilizada para adicionar um offset ao sinal resultante do divisor resistivo, fazendo com que este fique referenciado no centro da fonte simétrica de $\pm 1,625V$. Na primeira parte do circuito, conforme mostra a Figura 30, a tensão da rede será aplicada sobre um resistor equivalente gerado pela soma de R1, R2 e R3, e apenas a queda de tensão sobre o resistor R3 será levada à próxima etapa do circuito de condicionamento.

Figura 30 – Primeira etapa do circuito condicionador de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Os diodos zener de 3.3V, D1 e D2, são utilizados para proteger a etapa a seguir de eventuais sobretensões. Este circuito grampeador impede o aumento

descontrolado da tensão nos terminais Vo+ e Vo-, fazendo com que a tensão de saída desta etapa do circuito seja saturada em uma amplitude aproximada de 4V, independente da polaridade do sinal.

Segundo o *reference design* da Texas Instruments (2016), a relação entre os resistores do divisor resistivo é de aproximadamente 300 vezes. Desta forma, optou-se por utilizar dois resistores de 47 KΩ 1% 0,4 W e um resistor de 330 Ω 1% 0,4 W, componentes de fácil acesso no mercado local. Essa associação gera uma relação de divisão de aproximadamente 284,85 vezes.

Usando como base o cálculo do divisor de tensão apresentado pela Equação 11, pode-se assumir que o comportamento da tensão de saída em função da tensão de entrada é dado conforme a Equação 12.

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_3}{R_1+R_2+R_3} \quad (11)$$

$$V_{out} = V_{in} * \frac{330}{47K + 47K + 330}$$

$$V_{out} = V_{in} * 0,00349835 \quad (12)$$

Através da Equação 12 é possível determinar o maior nível de tensão admitido por este circuito. Considerando a tensão máxima de saída como 1,625 V:

$$V_{out} = V_{in} * 0,00349835$$

$$V_{in} = \frac{V_{out}}{0,00349835}$$

$$V_{in} = \frac{1,625}{0,00349835}$$

$$V_{in} = 464,5047 V$$

Tendo em vista que o valor de tensão obtido se refere à amplitude máxima do sinal é possível, através da Equação 13, obter-se o valor máximo aproximado de tensão eficaz suportado pelo circuito condicionador:

$$V_{in_rms_max} = \frac{464,5047}{\sqrt{2}} \quad (13)$$

$$V_{in_rms_max} = 328,45 V$$

Além de dimensionar o valor dos resistores, é preciso avaliar sua potência dissipada, visto que este circuito permanecerá energizado por longos períodos. Através da Equação 14 é possível estimar a potência de cada resistor. Para este cálculo considerou-se uma tensão de eficaz de 220 Vrms.

$$PR1 = PR2 = \frac{VR1^2}{R1} \quad (14)$$

$$PR1 = PR2 = \frac{(Vfase * \frac{R1}{R1 + R2 + R3})^2}{R1}$$

$$PR1 = PR2 = \frac{(220 * \frac{47K}{47K + 47K + 330})^2}{47K}$$

$$PR1 = PR2 = 0,2556 W$$

$$PR3 = \frac{VR3^2}{R3}$$

$$PR3 = \frac{(Vfase * \frac{R3}{R1 + R2 + R3})^2}{R3}$$

$$PR3 = \frac{(220 * \frac{330}{47K + 47K + 330})^2}{330}$$

$$PR3 = 1,795 mW$$

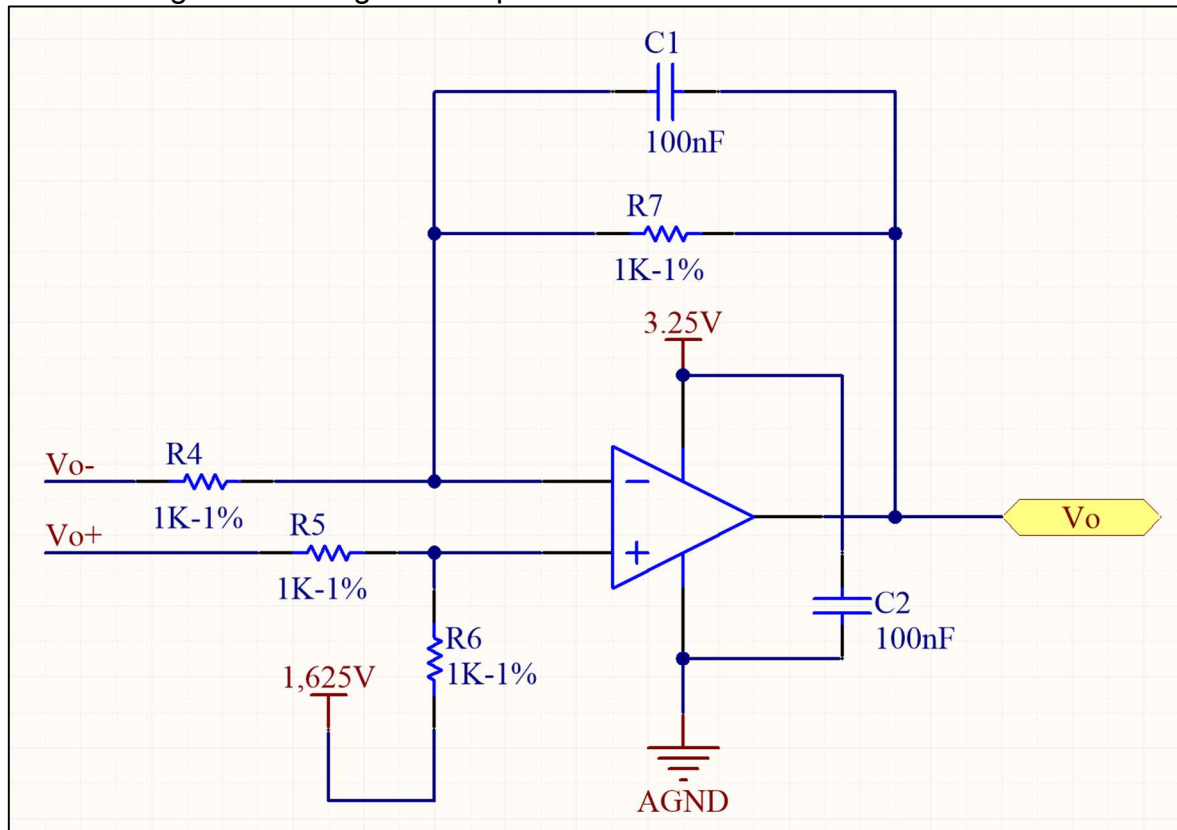
A segunda parte do circuito de condicionamento apresentada pela Figura 31, tendo como principal objetivo mensurar a diferença de tensão fornecida pelo divisor resistivo e aplicar um offset ao sinal, fazendo com que este fique referenciado ao centro da fonte simétrica de $\pm 1,625V$.

Além disso, nesta etapa é implementado um filtro passa baixa sintonizado em aproximadamente 1500 Hz, composto pelos componentes C1 e R7, dimensionado pela Equação 4.

Os resistores foram determinados, conforme a Equação 3, para assegurar que o ganho seja unitário, levando em consideração que a amplitude do sinal

fornecida pelo divisor resistivo é suficiente para atender a faixa de tensão desejada no projeto.

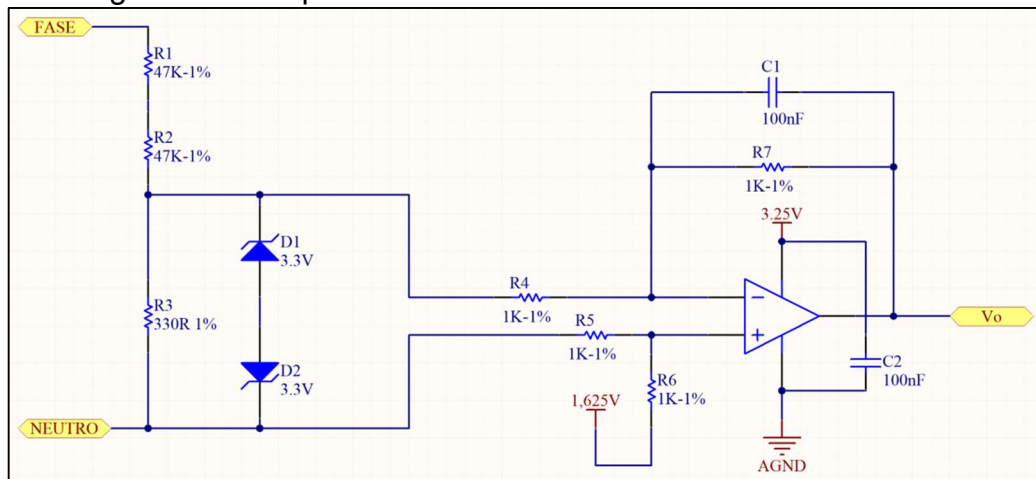
Figura 31 – Segunda etapa do circuito condicionador de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Com base nos cálculos apresentados, e tomando o 0 V da fonte simétrica de $\pm 1,625$ V como referência, é possível afirmar que a Equação 11, expressão que rege o comportamento da primeira etapa do circuito condicionador, é válida para o comportamento total do circuito. A Figura 32 apresenta o diagrama integral do circuito condicionador de tensão.

Figura 32 – Esquema final do circuito condicionador de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

3.2.2 Circuito de condicionamento de corrente

Para a realização da medição da corrente elétrica, optou-se por utilizar um sensor de fácil acesso no mercado nacional, baixo custo e não invasivo ao equipamento monitorado. O componente escolhido foi o transformador de corrente SCT013-100 que tem capacidade máxima igual a 100A com um erro de até 3%. (YHDC, 2020). As demais características dos componentes podem ser observadas em seu *datasheet* disponibilizado no Anexo A.

O modelo escolhido demonstrado na Figura 33 apresenta uma saída definida pelo fabricante como *current output*, ou seja, apresenta em seus terminais de saída uma corrente relacionada a corrente de entrada do circuito passando pelo primário do sensor. Seu *datasheet* informa que quando a corrente do primário é de 100A a saída gera uma corrente de 50mA (YHDC, 2020).

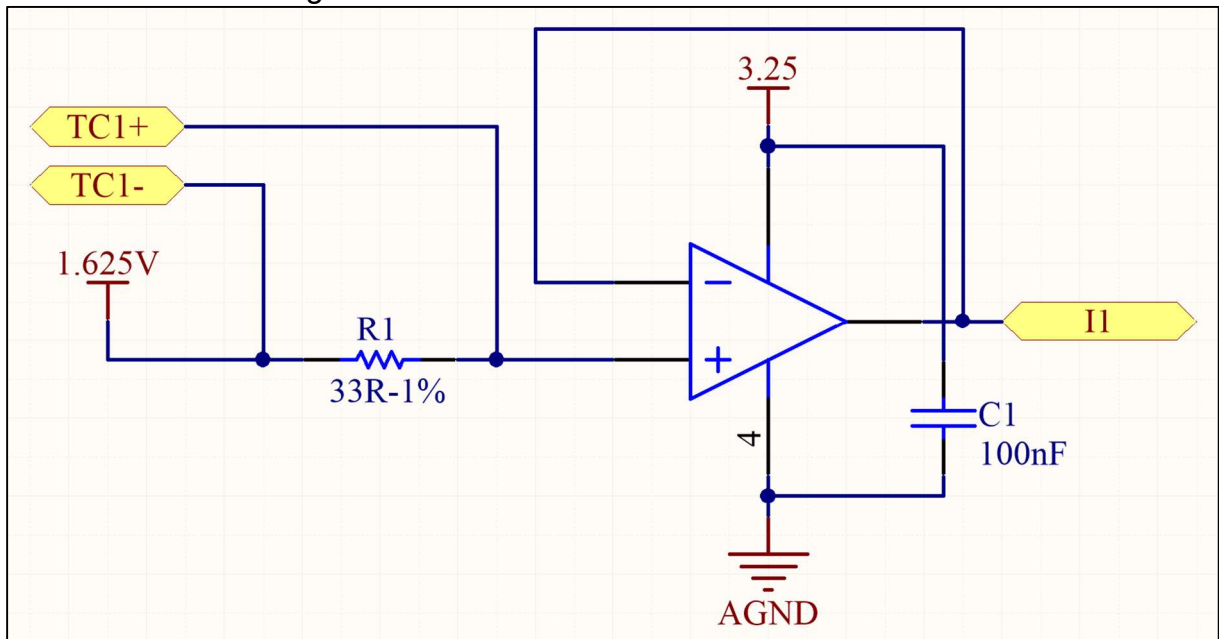
Figura 33 – Transformador de Corrente SCT013-100



Fonte: YHDC (2020, p. 1).

O circuito de condicionamento do sinal gerado pelo transformador de corrente foi implementado por meio de um resistor e um amplificador operacional na configuração seguidor de tensão com ganho unitário. O diagrama do circuito pode ser visualizado na Figura 34.

Figura 34 – Circuito condicionador de corrente



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

O circuito funciona como uma associação de fontes, onde a tensão sobre o resistor R1 varia em função da corrente fornecida pelo transformador de corrente. O valor do resistor foi determinado por meio da Lei de Ohm, considerando uma amplitude próxima a $\pm 1,625V$ quando a corrente de entrada foi igual a 100A rms, e por consequência a corrente de saída 50mA.

Por meio do cálculo da corrente eficaz representado pela Equação 15, é possível determinar a amplitude da corrente quando a corrente primária no sensor for igual a 100A:

$$I_{pico} = I_{rms} * \sqrt{2} \quad (15)$$

$$I_{pico} = 100A * \sqrt{2}$$

$$I_{pico} = 141,42 A$$

Considerando as informações do *datasheet*, pode-se dizer que a relação de transformação é dada pela Equação 16:

$$RTC = \frac{I_{sec}}{I_{pri}} \quad (16)$$

$$RTC = \frac{50mA}{100A}$$

$$RTC = 0,0005$$

Depois de calculados a corrente de pico da entrada e a relação de transformação, é possível calcular a corrente máxima na saída do sensor, conforme Equação 17:

$$RTC = \frac{I_{sec}}{I_{pri}} \quad (17)$$

$$I_{sec} = I_{pri} * RTC$$

$$I_{sec} = 141,42 A * 0,0005$$

$$I_{sec} = 0,07071$$

Assumindo a amplitude máxima desejada e a corrente de pico do secundário, é possível calcular o valor ideal para o resistor R1 por meio da Lei de Ohm, demonstrada na Equação 18.

$$R = \frac{V}{I} \quad (18)$$

$$R = \frac{1,625}{0,07071}$$

$$R = \frac{1,625}{0,07071}$$

$$R = 22,9811 \Omega$$

Para garantir que o sinal respeite amplitude necessária, e ainda haja uma margem para leitura de correntes brevemente superiores a esperada, optou-se por um resistor 16,5 Ω , obtida por meio da associação em paralelo de dois resistores de valor comercial igual a 33 Ω 1%. Desta forma, o comportamento do circuito apresentado pela Figura 34 pode ser descrito pelas Equações 19 e 20.

$$V_o = VR1 + 1,625 \quad (19)$$

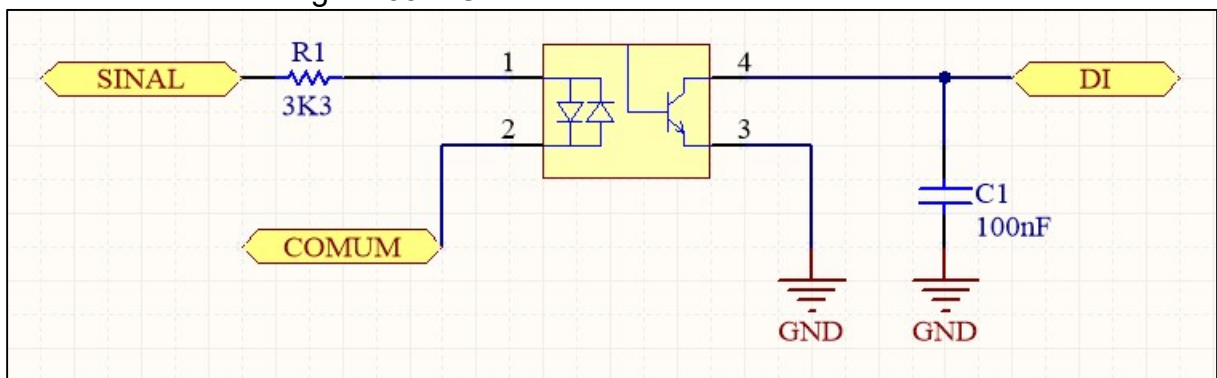
$$V_o = R1 * I_{sec} + 1,625 \quad (20)$$

3.3 CIRCUITOS DE MONITORAMENTO DE ACIONAMENTOS

Uma máquina injetora de plásticos possui diversos movimentos que juntos realizam o processo de produção do equipamento. Estes movimentos são acionados por meio de válvulas que trabalham com tensão nominal de 24VDC.

Para a realização do monitoramento destes sinais foi projetado um circuito opto-acoplado com o objetivo de garantir a isolação entre as fontes de alimentação do sistema de medição e máquina injetora de plásticos. O diagrama do circuito projetado por ser visualizado na Figura 35.

Figura 35 – Circuito monitor de acionamentos



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ao saber que o controlador das injetoras pode ter saída positiva ou negativa, optou-se por utilizar um opto-acoplador que pode trabalhar nas duas opções devido à disposição dos LEDs conectados aos pinos 1 e 2 do componente. Desta forma, o

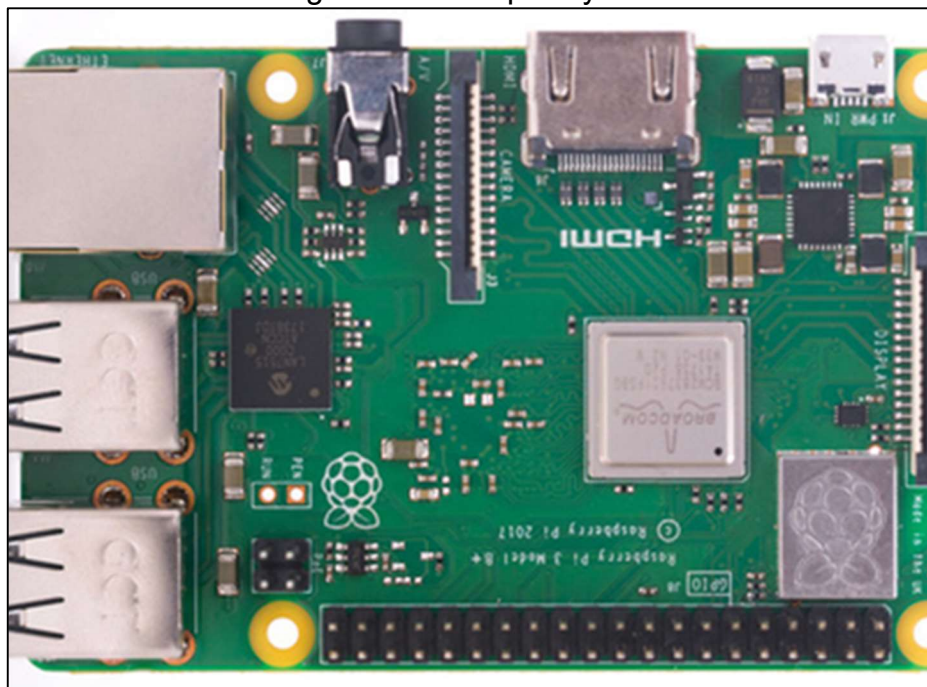
circuito pode monitorar qualquer equipamento sem necessidade de mudança no *hardware*.

3.4 ARMAZENAMENTO DE DADOS

Para realizar o armazenamento dos dados, optou-se por utilizar uma plataforma baseada em Raspberry, conectada por uma porta serial UART com o microcontrolador responsável pela aquisição de dados e processamento matemático.

O Raspberry Pi 3, visto na Figura 36, foi escolhido por possui importantes recursos voltados a conectividade, como por exemplo conexão Ethernet e WiFi, que possibilitam a expansão do projeto.

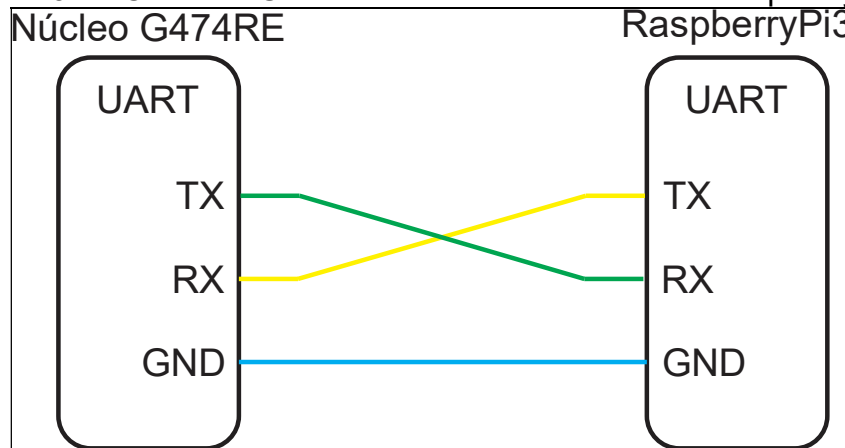
Figura 36 – Raspberry Pi 3



Fonte: Raspberry (2020).

A conexão entre microcontrolador e Raspberry Pi 3 foi realizada diretamente por meio de uma porta UART. Neste caso, não há necessidade de componentes intermediários, pois ambos trabalham com tensão de 3,3V. O esquema de ligação pode ser verificado na Figura 37.

Figura 37 – Conexão UART entre microcontrolador e RaspberryPi 3

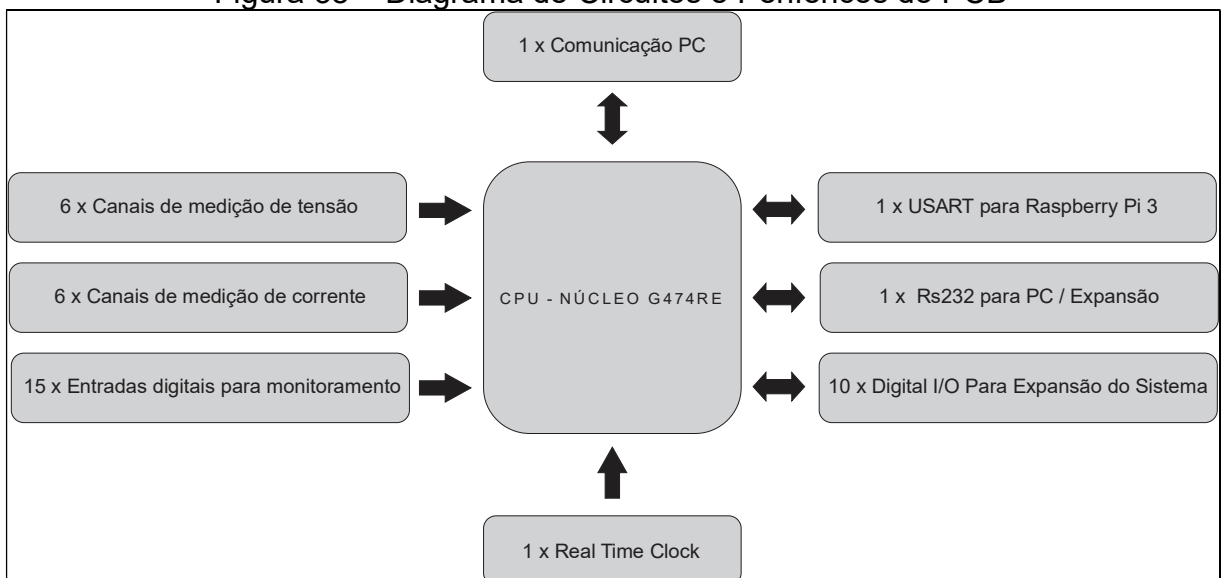


Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

3.5 DESENVOLVIMENTO DE DIAGRAMA ESQUEMÁTICO E PLACA DE CIRCUITO IMPRESSO

Depois de realizados testes iniciais com o microcontrolador escolhido e circuitos projetados, alguns pontos foram definidos para o modelamento da placa de circuito impresso. Alguns exemplos são a quantidade de canais para medição de tensão e corrente, número de acionamentos da injetora de plásticos a serem monitorados e as interfaces de comunicação com outros sistemas. Os periféricos definidos para o projeto podem ser vistos na Figura 38.

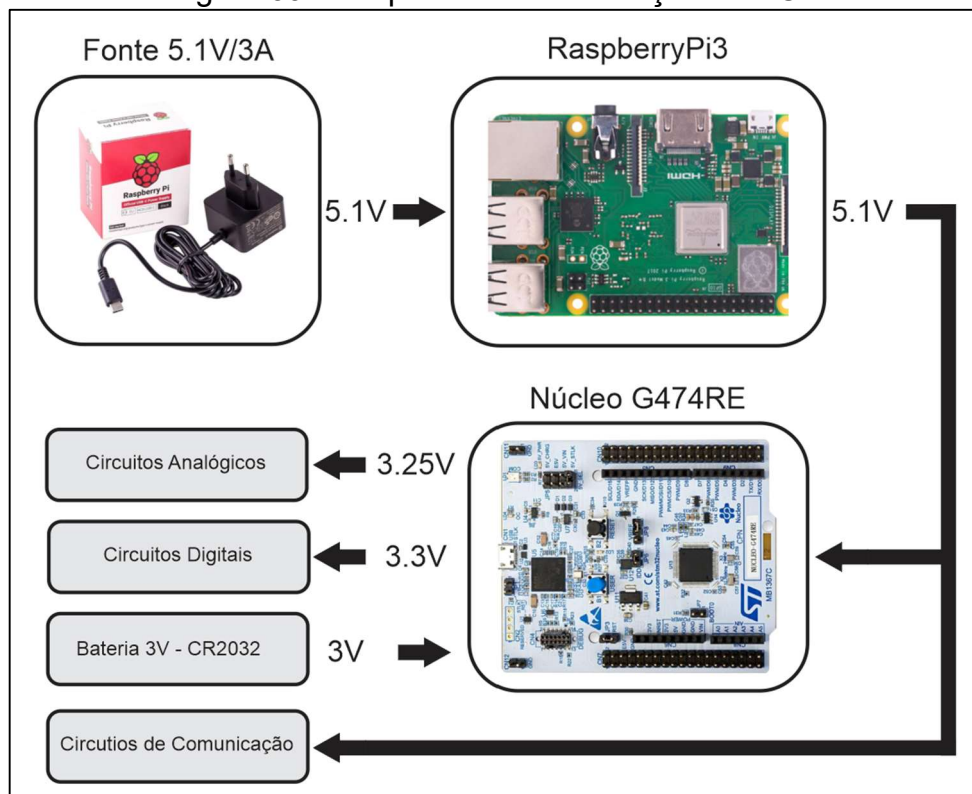
Figura 38 – Diagrama de Circuitos e Periféricos do PCB



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

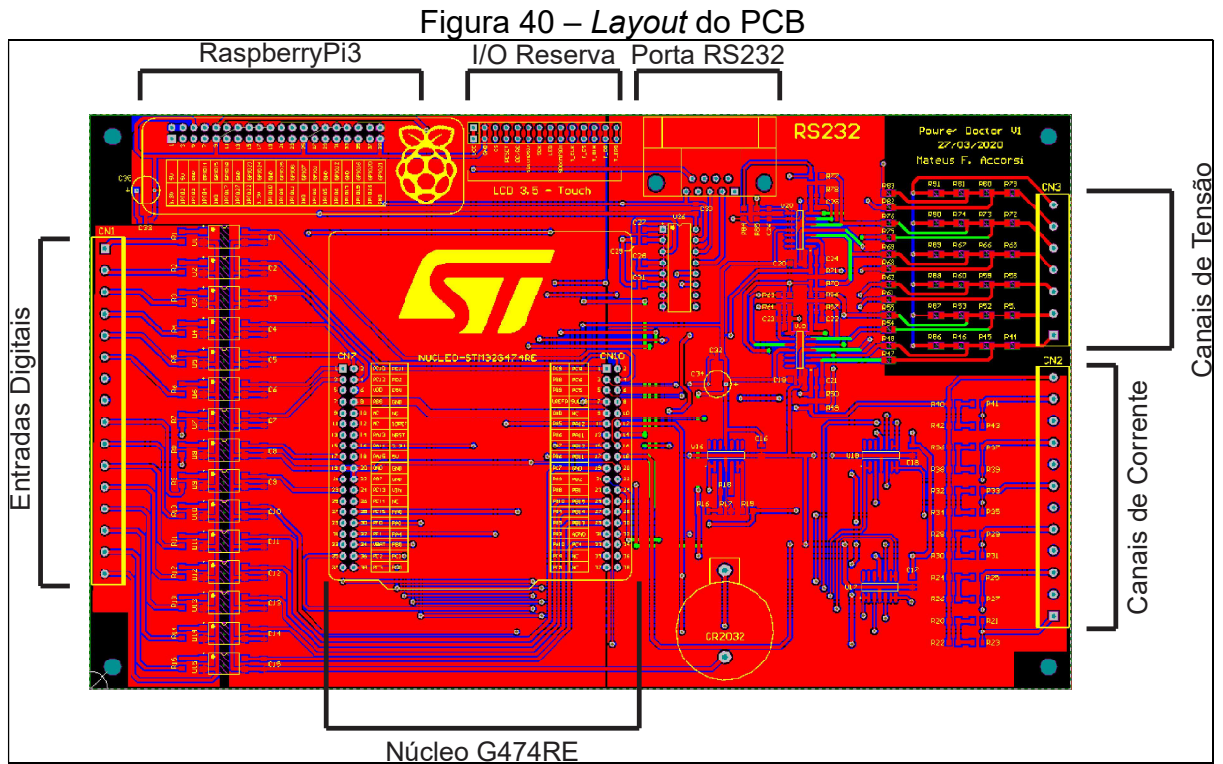
A alimentação do sistema é realizada por uma fonte chaveada de 5V/3A, fabricada pela empresa Raspberry. Esta fonte fornece energia primeiramente ao Raspberry Pi 3, onde é compartilhada para a Núcleo G474RE. Nesta placa a tensão será convertida em 3.3V para circuitos digitais e 3.25V para circuitos analógicos. O microcontrolador escolhido possui um *timer Real Time Clock (RTC)* onde há necessidade de conectar uma bateria de 3V para que a contagem continue ocorrendo mesmo com o equipamento desenergizado. A Figura 39 ilustra o sistema de alimentação definido.

Figura 39 – Esquema de alimentação do PCB



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Utilizando um *software* específico para desenvolvimento de placas de circuito impresso, o projeto do sistema foi implementado utilizando em sua maioria por componentes *Surface Mount Technology (SMT)*. Devido à densidade de trilhas e para melhor performance dos circuitos analógicos, optou-se por uma placa *dual layer*, onde há presença de trilhas em ambas as faces. O *Print Circuit Board (PCB)* possui conectores para que a Núcleo G474RE e o Raspberry Pi 3 sejam diretamente conectados a ela como módulos. O diagrama desenvolvido pode ser visualizado no Apêndice A, além disso, a Figura 40 apresenta o desenho da placa desenvolvida.

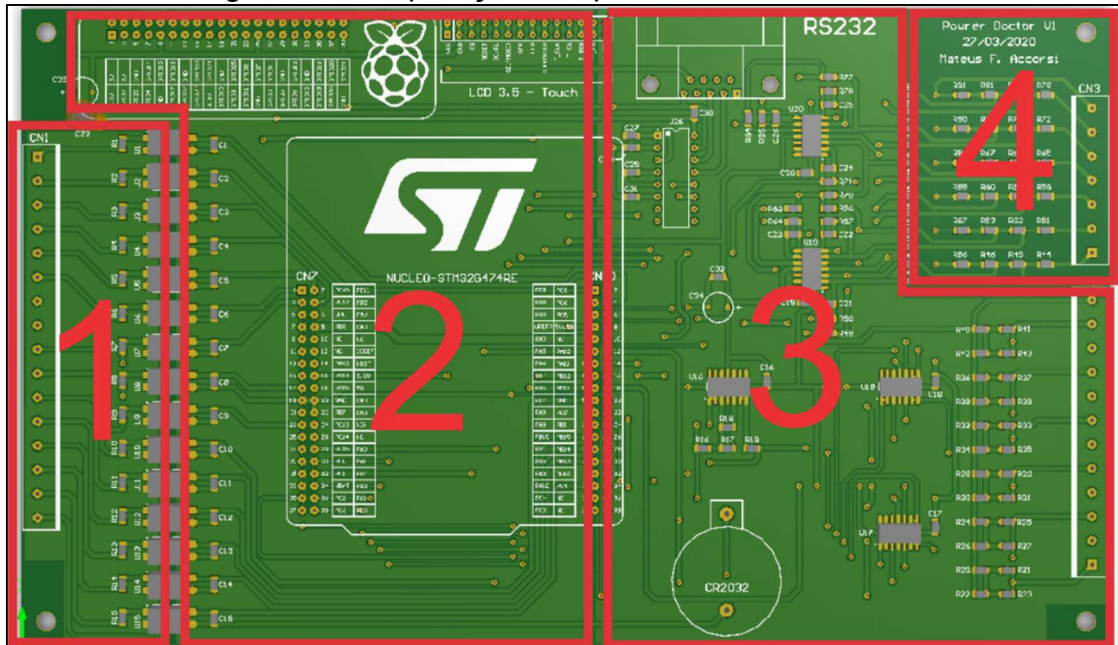


Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Uma das técnicas mais importantes aplicadas no projeto em questão foi a utilização e separação dos planos de terra. Primeiramente a presença de planos de terra se faz necessária pois esta prática faz com que a impedância do referencial de tensão dos circuitos seja diminuída, reduzindo a incidência de ruídos elétricos. A Figura 41 mostra as quatro regiões de terra onde os circuitos foram separados da seguinte forma:

1. sinais conectados a fonte da injetora de plástico;
2. circuitos digitais;
3. circuitos analógicos;
4. circuito de entrada da medição de tensão.

Figura 41 – Separação dos planos de terra do PCB

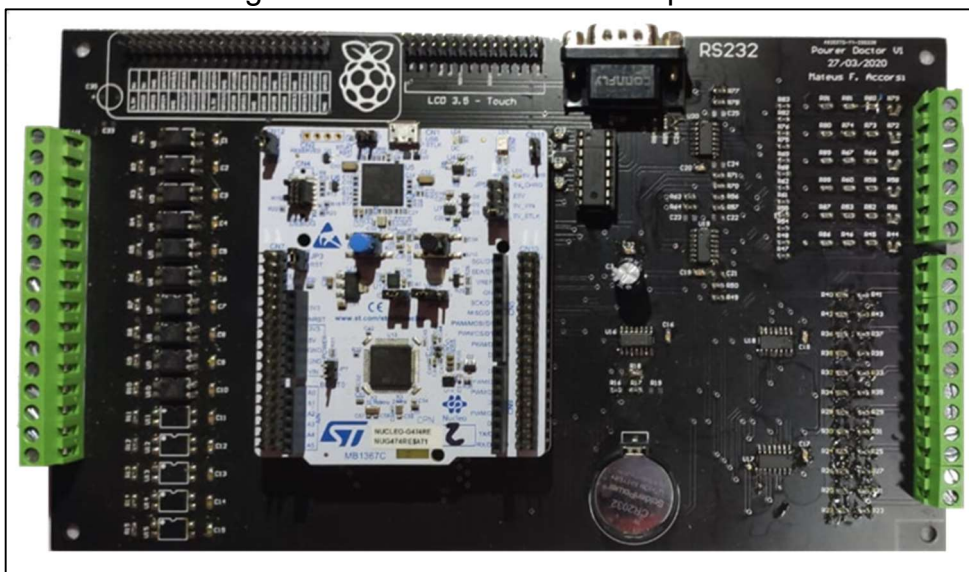


Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

3.6 VALIDAÇÃO

O processo de validação do sistema tem início com a fabricação e montagem da placa de circuito impresso projetada. O PCB foi produzido em fibra FR-4, espessura de 1,6 mm e camadas de cobre de 1 Oz. O protótipo montado é apresentado na Figura 42.

Figura 42 – Placa de circuito impresso



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

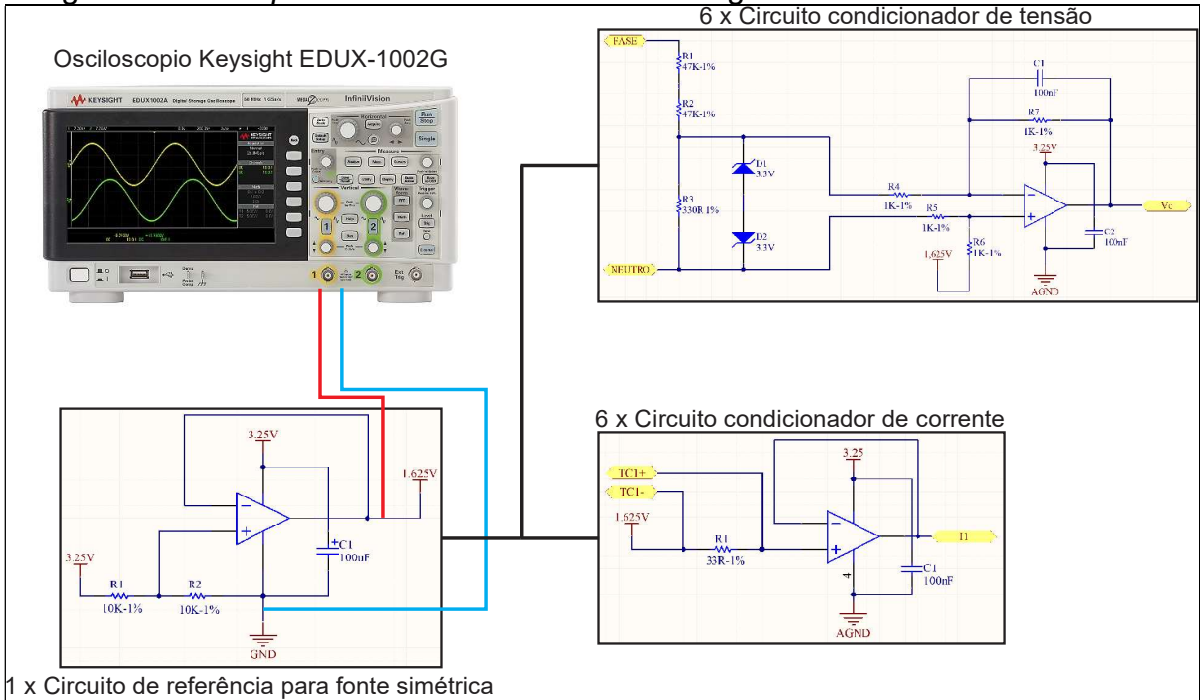
Para a realização dos ensaios com os circuitos propostos, alguns equipamentos foram selecionados, dentre eles destacam-se:

- a) Osciloscópio digital Keysight EDUX-1002G: conforme especificações do fabricante, disponível no Anexo B. O equipamento possui dois canais, com largura de banda de 50 MHz, frequência de amostragem de 1 GSa/s, conversor AD com resolução de 8 bits e limite de tensão de entrada igual a 150VRMS (KEYSIGHT, 2020);
- b) Variac monofásico JNG TDGC2-2KVA: utilizado para controle de tensão alternada, pode ser alimentado por até 220 VAC, segundo a especificação encontrada no manual do fabricante e disponibilizada no Anexo F. A tensão de saída é controlada por meio de ajuste manual variando de 0 % a 100 % da tensão de entrada (JNG, 2020);
- c) Alicata amperímetro Fluke 302: utilizado para medição de corrente, possui precisão de 1,8%, conforme especificação do fabricante, esta informação encontra-se no Anexo C. por meio deste equipamento é possível realizar a medição desejada sem a necessidade de interromper o circuito elétrico (FLUKE, 2013);
- d) Multímetro Digital Fluke 117: utilizado para a medição de tensão alternada, possui precisão de 1% conforme especificação do fabricante, disponível no Anexo D. Por meio deste equipamento é possível realizar medições em sistemas que atingem até 600V (FLUKE, 2020);
- e) Multímetro Digital Fluke 15B+: utilizado para a medição de tensão alternada, possui precisão de 1% conforme especificação do fabricante, disponível no Anexo E. Por meio deste equipamento é possível realizar medições em sistemas que atingem até 600V (FLUKE, 2014).

3.6.1 Validação do circuito de referência para fonte simétrica

A validação do circuito de referência já apresentado anteriormente, na Figura 29, foi realizada por meio de um ensaio onde a saída do circuito seguidor de tensão foi medida durante o regime permanente. Para isso utilizou-se a placa de circuito impresso desenvolvida para este projeto. A Figura 43 apresenta o *setup* utilizado no teste.

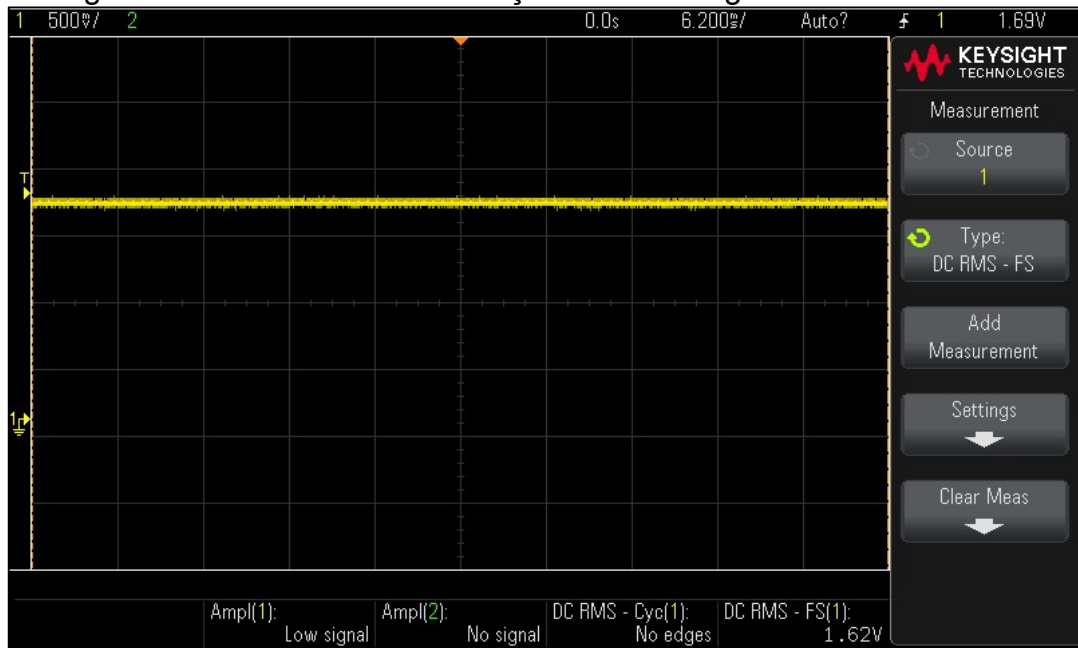
Figura 43 – Setup utilizado no ensaio do circuito gerador de referência simétrica



1 x Circuito de referência para fonte simétrica
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

No ensaio proposto para validação o circuito de referência alimenta um total de doze circuitos de condicionadores, sendo divididos igualmente entre medição de tensão e corrente. O resultado obtido pode ser visualizado na Figura 44.

Figura 44 – Resultado da validação do circuito gerador de referência



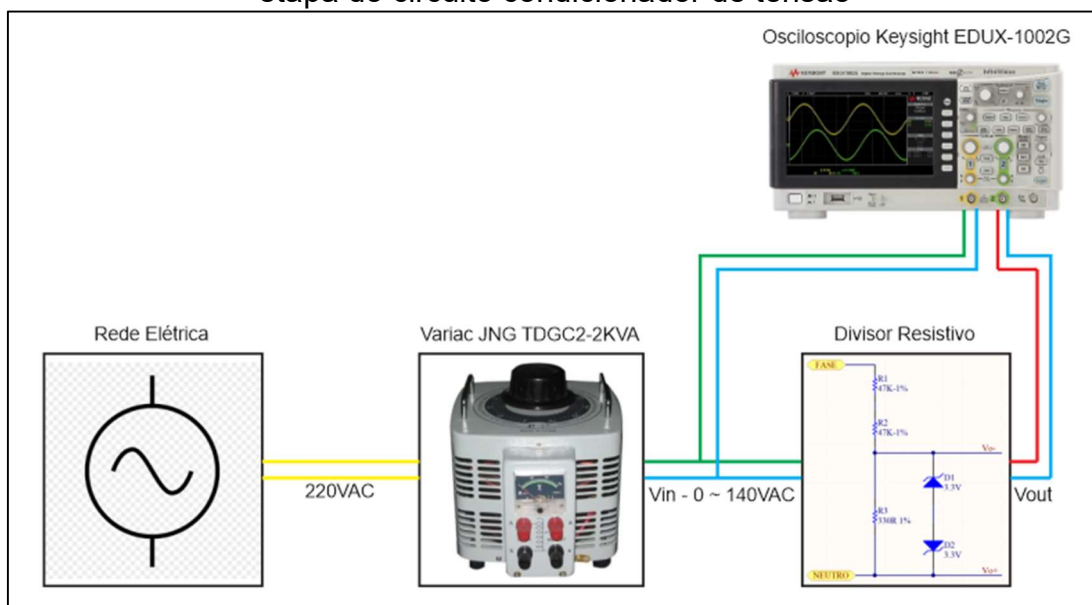
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

O resultado obtido no ensaio mostra que a referência gerada pelo circuito desenvolvido satisfaz a necessidade do sistema, mantendo um valor estável, com baixo nível de ruído e com tensão de saída de 1,62 V, mostrando uma precisão de 99,99% se comparada ao valor teórico de 1,625 V calculado anteriormente.

3.6.2 Validação da medição de tensão

A validação do sistema de medição de tensão tem início pelo ensaio da primeira parte de seu circuito condicionador, visto na Figura 30. A configuração proposta neste teste tem como objetivo avaliar a resposta do divisor resistivo, onde é mensurada a tensão de saída em função da tensão de entrada, que por sua vez é controlada através de um variac, respeitando os limites de tensão admitidos pelo osciloscópio EDUX-1002G. A Figura 45 apresenta um diagrama ilustrando o *setup* utilizado.

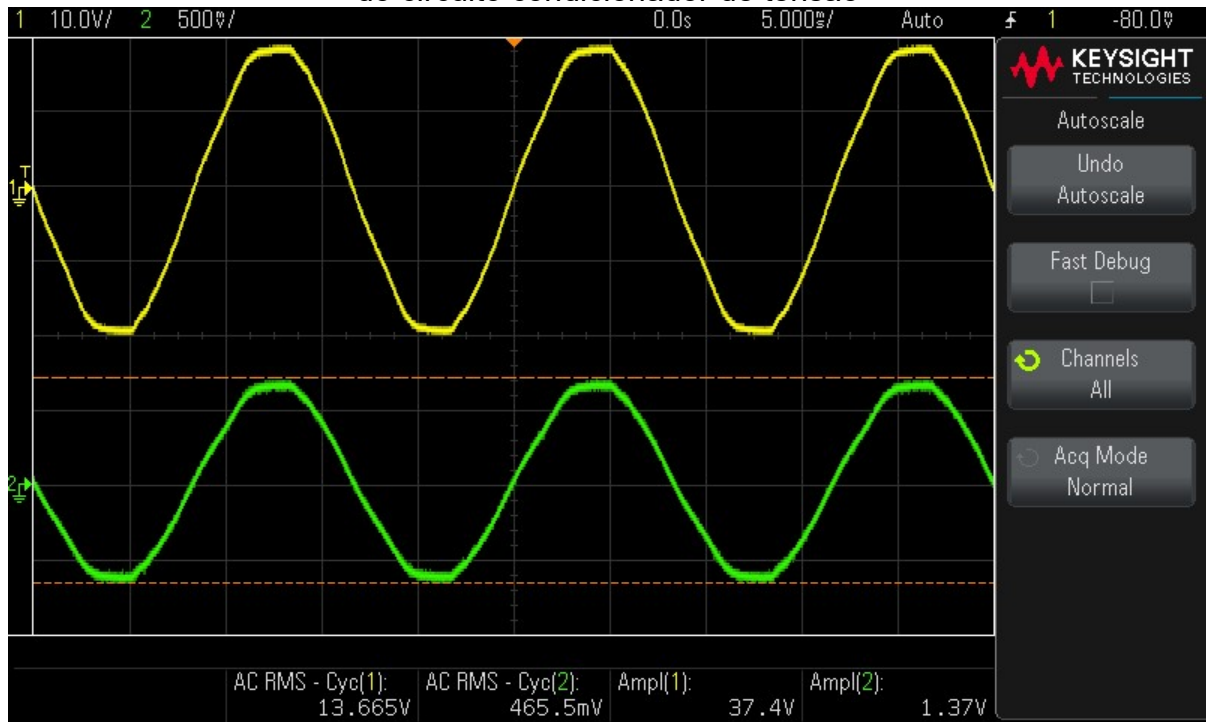
Figura 45 – *Setup* utilizado no ensaio da primeira etapa do circuito condicionador de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Durante o ensaio realizado foram capturadas ao todo treze amostras. Por meio delas é possível observar a tensão eficaz de entrada (canal 1 – atenuado 10x) e saída (canal 2) do divisor de tensão. Uma das imagens coletadas pode ser vista na Figura 46, no entanto, o restante das imagens encontra-se disponíveis no Apêndice B. O resumo das informações colhidas pode ser visualizado no Quadro 1.

Figura 46 – Tensão de Entrada (CH1) x Tensão de Saída (CH2) da primeira etapa do circuito condicionador de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Quadro 1 – Tensão de Entrada x Tensão de Saída da primeira etapa do circuito de condicionamento de tensão

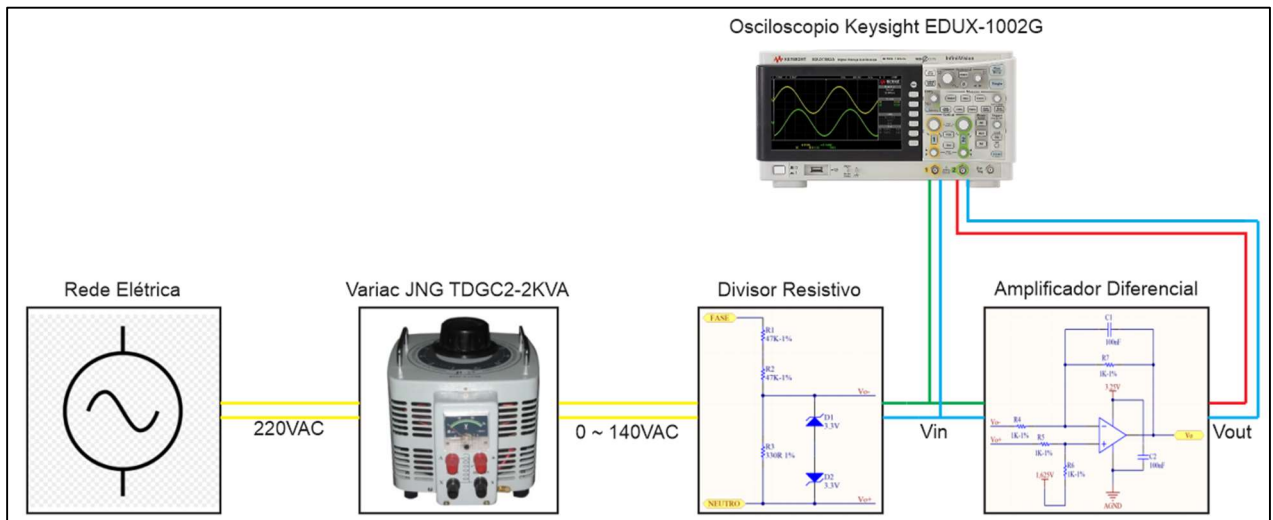
N	Vin [Vrms]	Vout [Vrms]	Vin / Vout
1	136,65000	0,46500	293,87097
2	120,79000	0,41090	293,96447
3	110,12000	0,37580	293,02821
4	100,04000	0,34080	293,54460
5	90,49000	0,30890	292,94270
6	80,30000	0,27440	292,63848
7	70,09000	0,23870	293,63217
8	60,50000	0,20600	293,68932
9	50,04000	0,17090	292,80281
10	40,16000	0,13690	293,35281
11	30,38000	0,10430	291,27517
12	20,10100	0,06842	293,78837
13	10,41400	0,03548	293,51747
Análise dos dados Vin / Vout	Maximo	293,96447	
	Mínimo	291,27517	
	Médio	293,23443	
	Desvio Padrão	0,72504	

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Por meio do Quadro 1 verifica-se que o valor médio da atenuação do sinal foi de aproximadamente 293,23 vezes. Comparado ao valor teórico, o resultado real obtido apresenta uma diferença de 2,86 % em relação ao calculado durante o desenvolvimento do circuito.

Para validar a segunda parte do circuito condicionador, optou-se por reutilizar o *setup* elaborado para ensaio da fase anterior, no entanto, o circuito amplificador diferencial, apresentado na Figura 31, foi adicionado à saída do divisor resistivo que foi colocado a prova e teve suas tensões eficazes de entrada e saída monitoradas. O sistema utilizado pode ser visto na Figura 47.

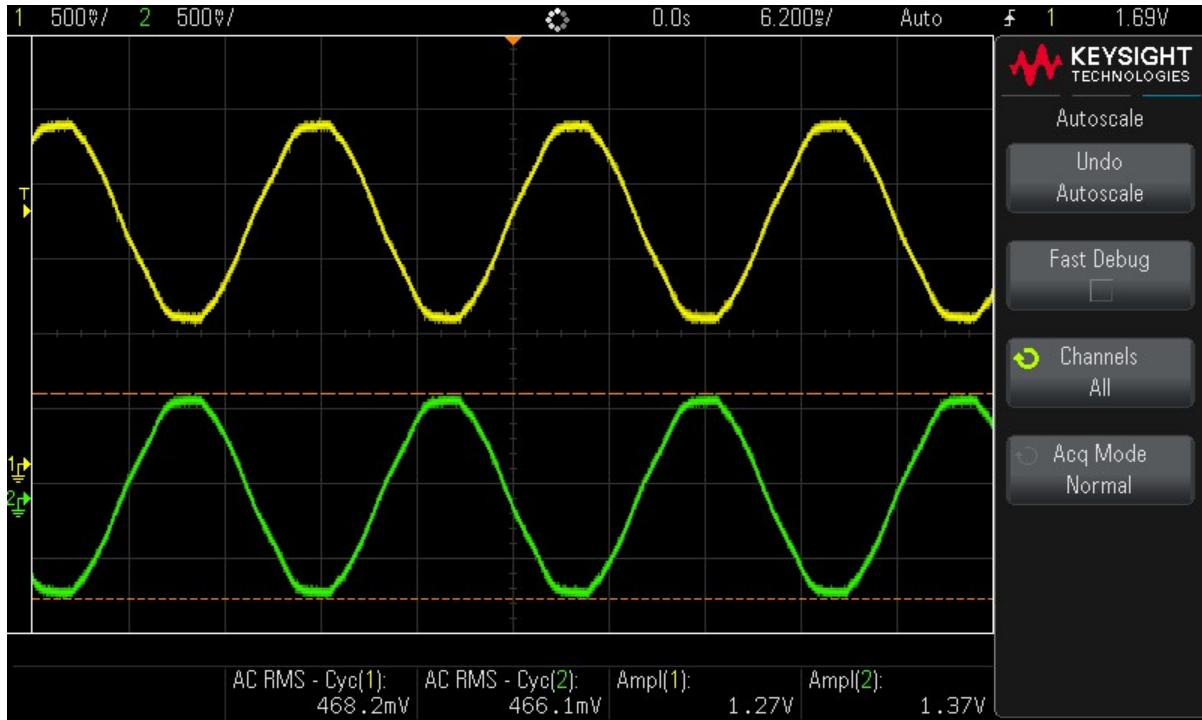
Figura 47 – *Setup* utilizado no ensaio da segunda etapa do circuito condicionador de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

No decorrer do ensaio realizado, foram capturadas nove amostras. Através delas é possível observar a tensão eficaz de entrada (canal 1) e saída (canal 2) do circuito amplificador diferencial. Uma das imagens coletadas pode ser vista na Figura 48, no entanto, o restante das imagens encontra-se disponíveis no Apêndice C. O resumo das informações colhidas pode ser visualizado no Quadro 2.

Figura 48 – Tensão de entrada (CH1) x Tensão de saída (CH2) da segunda etapa do circuito condicionador de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Quadro 2 – Tensão de entrada x Tensão de saída da segunda etapa do circuito de condicionamento de tensão

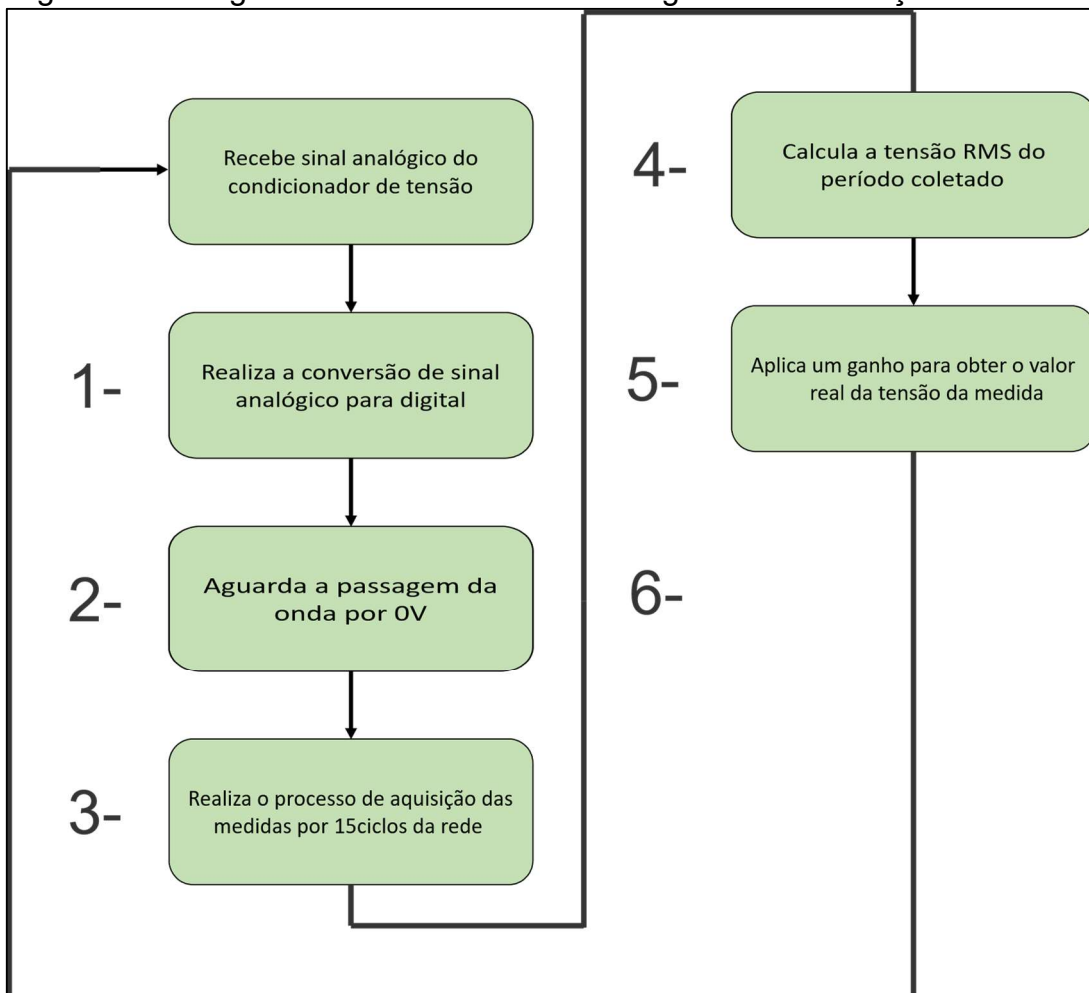
N	V _{in} [mVrms]	V _{out} [mVrms]	V _{in} / V _{out}	Erro
1,00000	50,61000	50,92000	0,99391	0,6088%
2,00000	100,39000	100,38000	1,00010	-0,0100%
3,00000	152,97000	152,29000	1,00447	-0,4465%
4,00000	201,39000	200,48000	1,00454	-0,4539%
5,00000	252,69000	251,69000	1,00397	-0,3973%
6,00000	304,20000	302,80000	1,00462	-0,4624%
7,00000	353,10000	351,40000	1,00484	-0,4838%
8,00000	402,90000	400,70000	1,00549	-0,5490%
9,00000	468,20000	466,10000	1,00451	-0,4505%
Análise dos dados V _{in} / V _{out}		Maximo	1,00549	0,6088%
		Mínimo	0,99391	-0,5490%
		Médio	1,00294	-0,2938%
		Desvio Padrão	0,00372	0,3723%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Analisando o Quadro 2, coletada durante o ensaio, é possível perceber que os sinais de entrada e saída se encontram defasados em 180° e sem indícios de distorção da onda. A defasagem encontrada não gera problema algum, pois poderá facilmente ser corrigida pelo processamento do sinal. O Quadro 2 também mostra que o erro entre tensão de saída e tensão de entrada permanece abaixo de 1% ao longo do teste, comprovando a eficácia do circuito eletrônico desenvolvido.

Conhecendo a performance do circuito condicionador, deu-se início a programação do algoritmo responsável por processar o sinal e calcular a grandeza elétrica em escala real. O funcionamento do programa é apresentado pela Figura 49.

Figura 49 – Diagrama de funcionamento do algoritmo de medição de tensão



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

O algoritmo desenvolvido tem início com a amostragem do sinal analógico. Este processo foi realizado por um ADC de 12 bits com frequência de amostragem de 8KHz, respeitando um número superior a 80 amostras por ciclo conforme definido

pelo *reference design* da Texas Instruments (2016). Em seguida o programa compara a amostra atual com o valor de offset para detectar a passagem da onda pela tensão de 0V, onde o processo de integração é iniciado e executado por um período de amostragem definido em 15 ciclos da rede elétrica, valor escolhido para que sejam adquiridas 4 amostras por segundo. A rotina de cálculos foi implementada através do conceito abordado pela Equação 21:

$$F_{EF} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N f_j^2} \quad (21)$$

onde:

F_{EF} : valor eficaz do sinal;

N : número de amostras em um período;

f_j : valor da j-ésima amostra.

Durante o período de amostragem, a operação matemática realizada é de soma dos valores medidos elevados ao quadrado, e ao fim do décimo quinto ciclo é realizada a divisão pelo número de amostras e retirada a raiz quadrada, obtendo assim o valor final. O último passo se dá com a aplicação do ganho médio encontrado durante o processo de validação, onde o valor obtido é multiplicado por 293,23443.

A validação do algoritmo foi realizada por meio da comparação dos resultados obtidos pelo microcontrolador em relação aos valores medidos por dois multímetros comerciais com precisão de 0,5%. O Quadro 3 apresenta os resultados obtidos durante o ensaio.

Quadro 3 – Ensaio do sistema de medição de tensão

N	Sistema Desenvolvido	Multímetro Fluke 117	Multímetro Fluke 15B+	Erro Sistema / Fluke 117	
1	220,2	220,2	220,2	0,0000%	
2	201,6	201,5	201,4	-0,0496%	
3	180,1	180,2	180,2	0,0555%	
4	160,3	160,5	160,4	0,1246%	
5	140,0	140,1	140,1	0,0714%	
6	122,8	122,7	122,7	-0,0815%	
7	101,0	101,2	101,2	0,1976%	
8	60,5	60,7	60,6	0,3295%	
9	40,2	40,5	40,4	0,7407%	
10	21,7	21,8	21,9	0,4587%	
Análise dos Resultados				Máximo	0,7407%
				Mínimo	-0,0815%
				Médio	0,1847%
				Desvio Padrão	0,2579%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

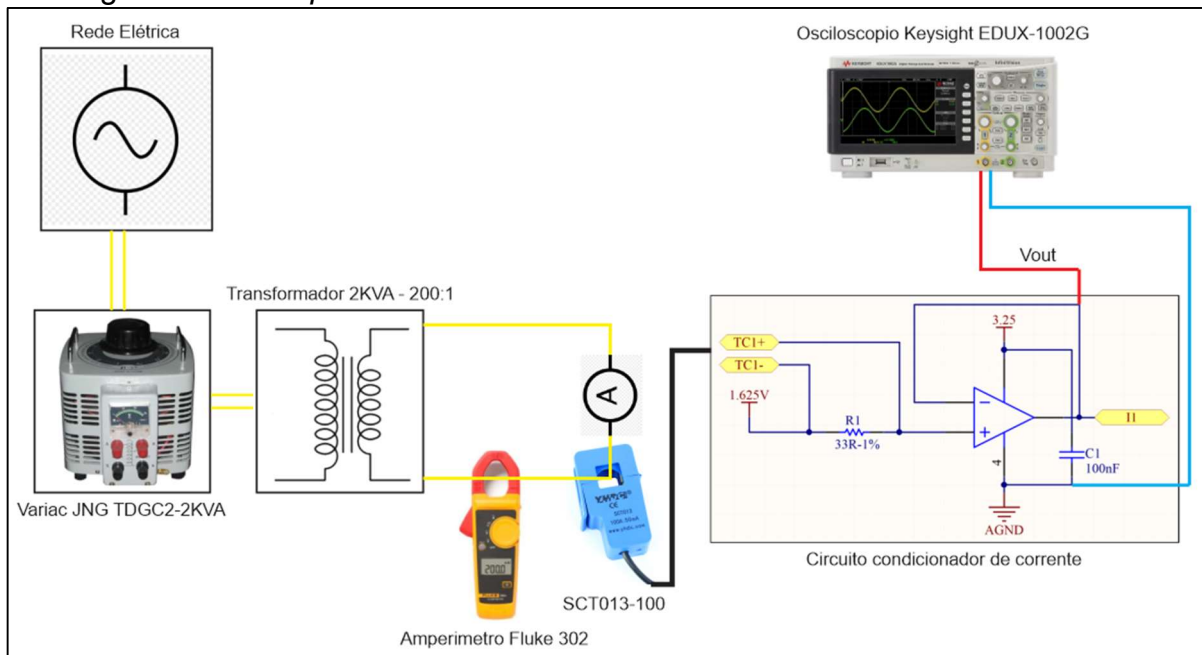
Com base nos dados apresentados no Quadro 3 é possível perceber que o sistema de medição desenvolvido apresenta um erro menor do que 1% em relação aos instrumentos comerciais utilizados no teste.

3.6.3 Validação da medição de corrente

A validação desta etapa tem início pelo ensaio do circuito condicionador. Para isso, foi utilizado como fonte de corrente um transformador de 2 KVA, com os terminais de saída curto-circuitados, controlado através de um variac.

Durante o experimento, foram coletadas a tensão de saída do amplificador operacional e a corrente no secundário do transformador. Para a medição da corrente utilizou-se um instrumento comercial com precisão de 1,8%, conforme YHDC (2020). O *setup* utilizado no procedimento experimental pode ser visto na Figura 50.

Figura 50 – *Setup* utilizado no ensaio do circuito condicionador de corrente

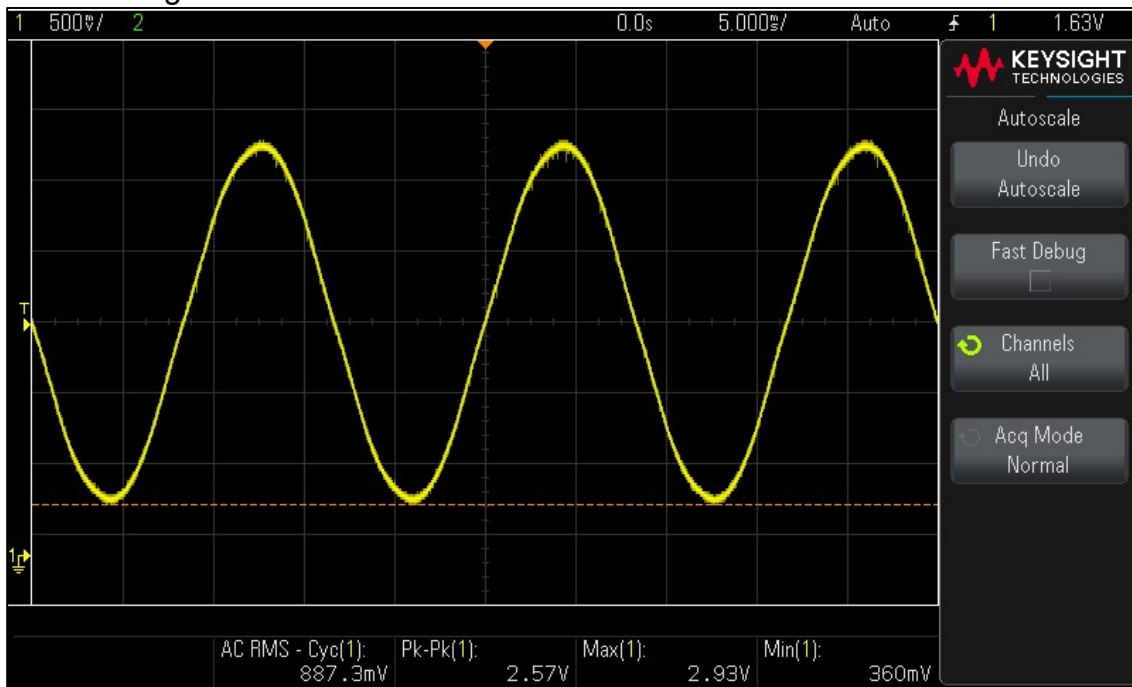


Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

No decorrer do ensaio realizado, foram capturadas onze amostras. Através delas é possível observar os valores eficazes da corrente no secundário do transformador e da tensão de saída do circuito condicionador.

Uma das imagens coletadas pode ser observada na Figura 51, no entanto, o restante das imagens encontra-se disponíveis no Apêndice D. O resumo das informações colhidas pode ser visualizado no Quadro 4.

Figura 51 – Tensão de saída do circuito condicionador de corrente



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Quadro 4 – Resultado do ensaio do circuito condicionador de corrente

N	Corrente de Entrada lin [Irms]	Tensão Saída do Condicionador Vout [Vrms]	lin / Vout	Corrente de Saída do SCT013 Vout / 16,5 Ω [A]	Corrente de Saída do SCT013 Teórica [A]	Corrente de Saída do SCT013 Teórica / Real	Erro
1	105,00000	0,88730	118,33653	0,05378	0,05250	0,97628	2,3724%
2	91,90000	0,77710	118,26020	0,04710	0,04595	0,97565	2,4353%
3	82,80000	0,69950	118,37026	0,04239	0,04140	0,97655	2,3445%
4	70,40000	0,59550	118,21998	0,03609	0,03520	0,97531	2,4685%
5	62,40000	0,52860	118,04767	0,03204	0,03120	0,97389	2,6107%
6	50,90000	0,42940	118,53749	0,02602	0,02545	0,97793	2,2066%
7	42,00000	0,35296	118,99365	0,02139	0,02100	0,98170	1,8302%
8	26,10000	0,21931	119,00962	0,01329	0,01305	0,98183	1,8171%
9	16,70000	0,13902	120,12660	0,00843	0,00835	0,99104	0,8956%
10	8,70000	0,07047	123,45679	0,00427	0,00435	1,01852	-1,8519%
11	6,40000	0,05203	123,00596	0,00315	0,00320	1,01480	-1,4799%
Análise dos dados	Maximo	123,45679	0,05378	0,05250	1,01852	2,6107%	
	Mínimo	118,04767	0,00315	0,00320	0,97389	-1,8519%	
	Médio	119,48771	0,02618	0,02560	0,98577	1,4226%	
	Desvio Padrão	1,94106	0,01763	0,01715	0,01601	1,6014%	

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

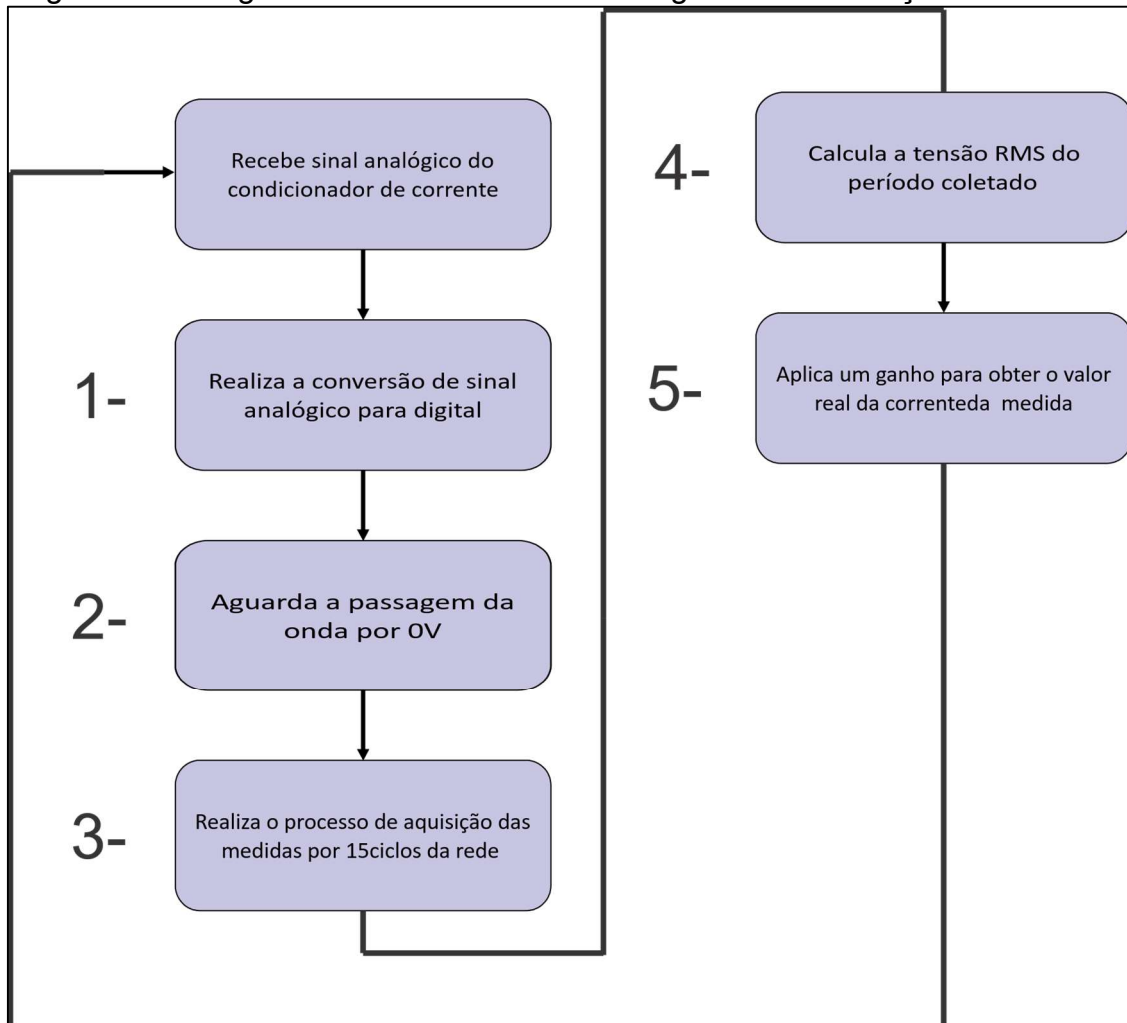
Por meio da Figura 51 é possível perceber que o sinal resultante do circuito condicionador é limpo, com pouco ruído e sem deformações. Em seguida, o Quadro 4 apresenta nas colunas lin e Vout os dados coletados durante o ensaio. O restante das informações foi calculado com base nas informações obtidas no procedimento experimental e também em valores teóricos deduzidos durante o desenvolvimento.

Observando os dados apresentados no Quadro 4, é possível perceber que apesar da variação encontrada na relação entre corrente de entrada e tensão de saída do circuito condicionador, o erro entre o valor esperado e o valor real permanece menor do que 3% em todas as amostras. Isso confirma a especificação apresentada pelo fabricante do sensor SCT013-100, que afirma uma precisão de 3% para a faixa nominal.

O resultado obtido é tomado como satisfatório levando em consideração que o equipamento não tem objetivo de ser um instrumento de precisão, mas uma ferramenta utilizada para monitorar e estimar dados de processo.

Conhecendo a performance do circuito condicionador, deu-se início a programação do algoritmo responsável por processar o sinal e calcular a grandeza elétrica em escala real. O funcionamento do programa é apresentado na Figura 52.

Figura 52 – Diagrama de funcionamento do algoritmo de medição de corrente



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

O algoritmo desenvolvido para medição de corrente tem os mesmos princípios que o programa utilizado para medição de tensão, visto que para o microcontrolador ambos sinais são obtidos através de tensão eficaz.

Conforme citado anteriormente, a amostragem do sinal analógico foi realizada por um ADC de 12 bits com frequência de amostragem de 8KHz, sendo processado pela mesma rotina de cálculos. No entanto, diferente do sistema de medição de tensão, onde na etapa final do processamento utilizou-se um ganho constante, nesse caso optou-se por implementar um ganho em função da tensão de entrada, corrigindo a não linearidade do sistema principalmente observada em correntes abaixo de 26 A.

A validação do algoritmo foi realizada por meio da comparação dos resultados obtidos pelo microcontrolador, em relação aos valores medidos pelo alicate amperímetro utilizado durante o ensaio do circuito condicionador. O Quadro 5 apresenta o resultado do ensaio.

Quadro 5 – Ensaio do sistema de medição de corrente

N	Sistema Desenvolvido	Amperímetro Fluke 302	Erro Sistema / Fluke 302
1	102,5	101,9	-0,5888%
2	81,6	81,2	-0,4926%
3	60,5	60,1	-0,6656%
4	42,3	42,0	-0,7143%
5	21,8	21,6	-0,9259%
6	12,9	12,8	-0,7813%
7	9,2	9,0	-1,6667%
8	5,6	5,5	-1,8182%
Análise dos Resultados		Maximo	-0,4926%
		Mínimo	-1,8182%
		Médio	-0,9567%
		Desvio Padrão	0,5032%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Com base nos dados apresentados no Quadro 5 é possível perceber que o sistema de medição desenvolvido apresenta no geral, um erro de até 1,81%, em relação ao instrumento comercial utilizadas no teste.

3.6.4 Validação do circuito monitor de acionamentos

Para a validação do circuito monitor de acionamentos, utilizou-se um CLP para gerar uma sequência de pulsos com frequência de 10 Hz na entrada do circuito, ao mesmo tempo, a saída foi monitorada por um algoritmo, implementado no microcontrolador, com o intuito de contar o número de pulsos recebidos. O Quadro 6 apresenta os resultados obtidos.

Quadro 6 – Ensaio do sistema de monitoramento dos acionamentos

N	Pulsos Enviados	Pulsos Recebidos	Erro
1	1	1	0%
2	10	10	0%
3	100	100	0%
4	500	500	0%
5	1000	1000	0%
6	5000	5000	0%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O resultado obtido comprova a eficiência do sistema desenvolvido, apresentando um erro nulo em todos os ensaios mesmo considerando uma frequência de acionamento mais alta do que a injetora de plásticos irá proporcionar, visto que os movimentos hidráulicos que serão monitorados possuem tempo de execução movimentação maior do que 0,5 s e as válvulas permanecem acionadas até o final do curso.

3.6.5 Validação do armazenamento de dados

Para realizar o armazenamento de dados, foi desenvolvido um protocolo de comunicação entre a CPU e a Raspberry. A descrição dos 181 *bytes* inseridos no frame de dados pode ser observada no Quadro 7.

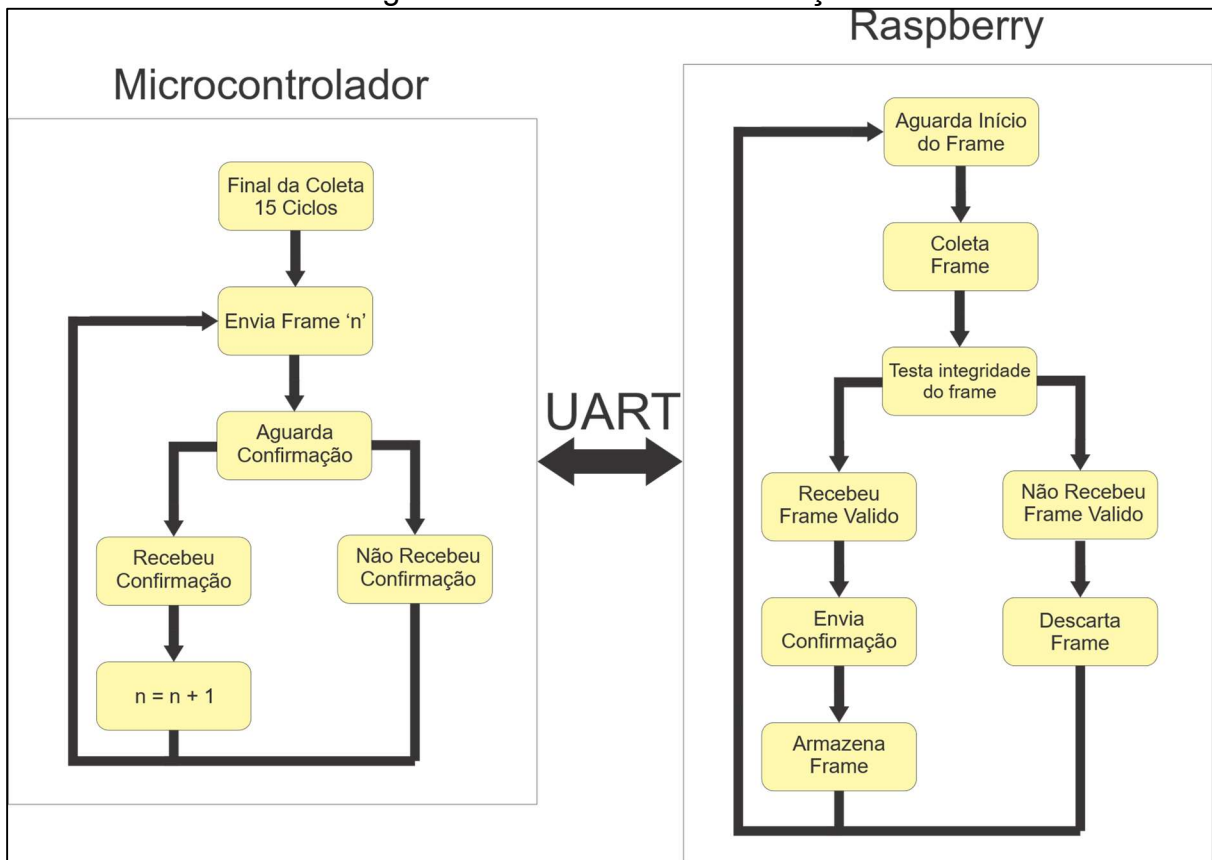
Quadro 7 – Descrição do frame de dados

Byte	Função
0	Início do Frame
1	Versão do Protocolo
2 - 7	Data
8 - 13	Horário
14 - 18	Tensão RMS Canal 1
19 - 23	Corrente RMS Canal 1
24-18	Tensão RMS Canal 2
29-33	Corrente RMS Canal 2
34-38	Tensão RMS Canal 3
39-43	Corrente RMS Canal 3
44-48	Tensão RMS Canal 4
49-53	Corrente RMS Canal 4
54-58	Tensão RMS Canal 5
59-63	Corrente RMS Canal 5
64-68	Tensão RMS Canal 6
69-73	Corrente RMS Canal 6
74-78	Potência Aparente Canal 1
79-83	Potência Ativa Canal 1
84-88	Potência Reativa Canal 1
89-93	Potência Aparente Canal 2
94-98	Potência Ativa Canal 2
99-103	Potência Reativa Canal 2
104-108	Potência Aparente Canal 3
109-113	Potência Ativa Canal 3
114-118	Potência Reativa Canal 3
119-123	Potência Aparente Canal 4
124-128	Potência Ativa Canal 4
129-133	Potência Reativa Canal 4
134-138	Potência Aparente Canal 5
139-143	Potência Ativa Canal 5
144-148	Potência Reativa Canal 5
149-153	Potência Aparente Canal 6
154-158	Potência Ativa Canal 6
159-163	Potência Reativa Canal 6
164-178	Entradas Digitais
179	Contador
180	Fim de Transmissão

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Tendo em vista que o frame é transmitido a cada 15 ciclos de rede, considerando uma rede de 60 Hz, pode-se dizer que será enviada uma amostra a cada 250 ms. Para garantir a confiabilidade do sistema de comunicação, foi desenvolvida uma rotina de verificação das informações trocadas entre microcontrolador e Raspberry. Para uma melhor compreensão do funcionamento desse controle, o diagrama visto na Figura 53 é apresentado.

Figura 53 – Rotina de comunicação



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Conforme apresentado pelo diagrama de funcionamento, a rotina de comunicação implementada se previne contra perda de dados principalmente, por meio de um sinal de confirmação, por meio dele, o Raspberry informa ao microcontrolador se deve reenviar o último frame ou enviar a informação seguinte, garantindo assim a preservação de todas as amostras. Ao fim do procedimento de validação, a informação é armazenada em um arquivo CSV.

A validação do sistema de comunicação foi realizada mantendo os equipamentos conectados pelo período de uma hora, ao final deste período o número de amostras foi contabilizado. O Quadro 8 apresenta o resultado do ensaio.

Quadro 8 – Resultado do ensaio da rotina de comunicação

Ensaio do sistema de comunicação	
Tempo de duração [s]	3600
Frames recebidos	14400
Frames esperados	14400
Taxa de amostragem [Frame/s]	4
Perda de dados (Recebidos / Esperados)	0%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

O resultado obtido no ensaio de validação da rotina de comunicação demonstra a estabilidade do sistema, devido ao algoritmo implementado, ainda que possíveis ruídos interfiram na comunicação UART, o sistema automaticamente identifica a falha e toma uma ação corretiva garantindo que a informação chegue até o ponto de armazenamento.

3.6.6 Validação da medição de fator de potência

Conhecendo a performance dos circuitos condicionadores de tensão e corrente, foi possível implementar a análise do fator de potência do sinal. O algoritmo de medição implementado consiste na aquisição do valor eficaz de tensão e corrente, utilizados para obter o valor da potência aparente da carga, em seguida, é necessário calcular a potência média do sinal. A potência média é obtida multiplicando-se a tensão e corrente de cada amostra conservando o sinal do resultado da operação. O produto desta operação é integrado ao longo do período de amostragem e ao final, dividido pelo número de leituras realizadas, obtendo assim o valor da potência aparente. O fator de potência, conforme discutido no referencial teórico deste trabalho, é dado pela razão entre a potência média e a potência aparente. A potência reativa é obtida matematicamente, conforme a equação 13 apresentada no referencial teórico.

A validação da aquisição do fator de potência foi realizada por meio de um procedimento experimental onde três cargas monofásicas foram monitoradas individualmente pelo equipamento desenvolvido e, também, por um analisador de energia comercial, cujas especificações estão disponíveis no Anexo G. As cargas

utilizadas podem ser divididas em indutivas, resistivas e capacitivas. O resultado dos testes é apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 – Resultado do ensaio da medição de fator de potência

Tipo de Carga	Carga	Sistema Desenvolvido		DMI MP1500		Erro Sistema / DMI	
		Potência Aparente [KVA]	Fator de Potência	Potência Aparente [KVA]	Fator de Potência	Potência Aparente	Fator de Potência
Indutiva	Transformador 2 KVA	1,56	0,85	1,52	0,82	-2,6316%	-3,6585%
Resistiva	Chaleira Elétrica 1000W	0,96	0,98	0,94	1	-2,1277%	2,0000%
Capacitiva	Capacitor de 2.2uF	2,97	-0,62	3,06	-0,64	2,9412%	3,1250%

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Durante o experimento, foi possível observar que o equipamento desenvolvido apresenta um erro de até 3,65% em relação ao instrumento comercial utilizado como referência na medição de fator de potência, já a medição de potência aparente tem um erro próximo aos 2% em todos os ensaios. Esse desempenho é considerado aceitável, tendo em vista o objetivo do projeto.

4 ANÁLISE E RESULTADOS

Este capítulo do trabalho foi dividido em duas etapas, a primeira trazendo um estudo de caso em que o equipamento desenvolvido foi instalado em uma injetora de plásticos em ambiente fabril, após um período de monitoramento, os dados coletados serão apresentados e discutidos. A segunda parte consiste em uma análise relacionada aos custos do projeto.

4.1 ESTUDO DE CASO

Com o intuito de submeter o protótipo desenvolvido a um experimento de campo, foi selecionada uma máquina injetora de plástico para que se instalasse o sistema e seus dados de processo fossem coletados durante um determinado período.

A empresa onde o estudo de caso foi realizado está instalada na cidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. No mercado de transformação termoplástica a 40 anos, desde sua fundação, atua no segmento de embalagens para produtos do ramo alimentícios e possui diversos produtos com tecnologia patenteada. Atualmente, possui em seu parque fabril 26 máquinas injetoras de plástico, contando com 87 colaboradores. A empresa opera 24 horas por dia de segunda a sábado.

O equipamento disponibilizado pela empresa para a realização do estudo foi uma injetora da marca HWA Chin, modelo HC-160, com força de fechamento de 160 toneladas, capacidade de injeção de aproximadamente 350 gramas, fabricada no ano de 2003. Esta máquina possui apenas uma bomba hidráulica, que é acionada por meio de um motor de 22kW, além disso, possui uma potência de aquecimento instalada de 7 kW. A Figura 54 apresenta o equipamento mencionado.

Figura 54 – Injetora HWA Chin HC-160

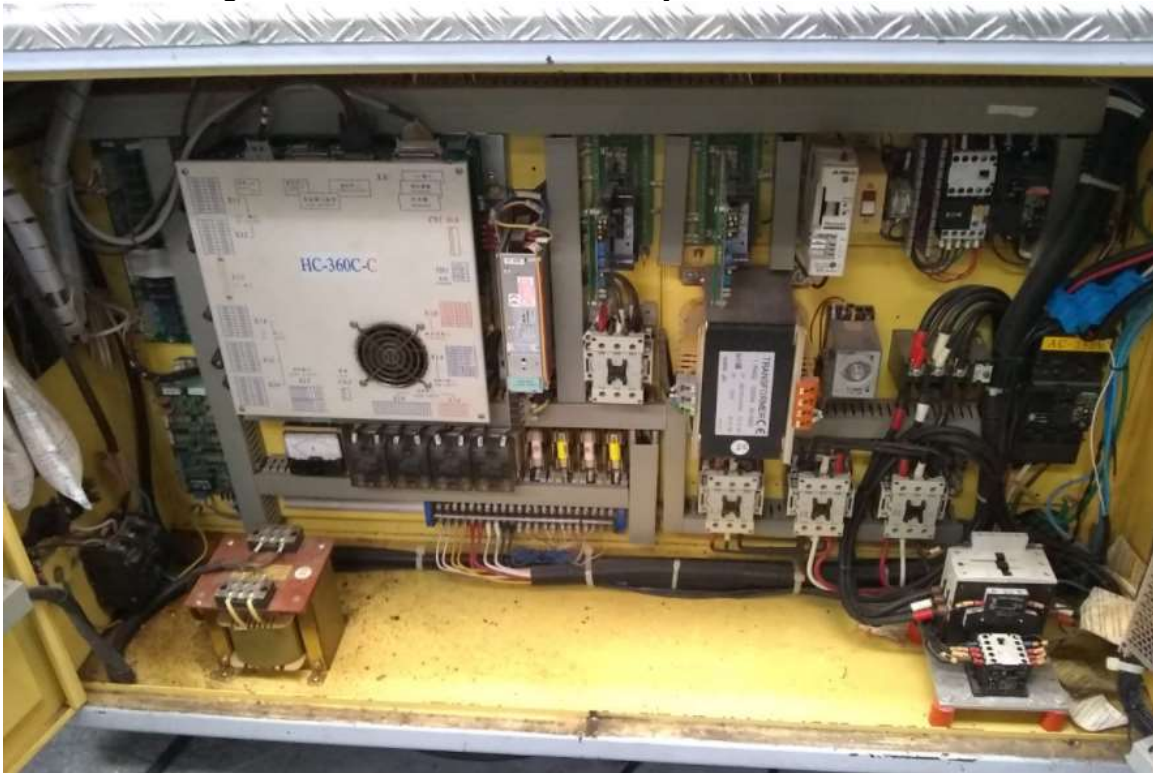


Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Em relação ao processo de fabricação, a injetora irá trabalhar com um molde que produz 12 peças idênticas a cada ciclo. A resina plástica utilizada será o polipropileno que requer uma temperatura de 240°C para que possa ser processada pela injetora. A empresa não possui registros sobre o consumo de energia elétrica do equipamento, no entanto, possuem um controle indicando que o tempo de ciclo esperado para este produto é de 13,5 segundos. É importante ressaltar que informações detalhadas sobre a fixa de processo deste produto, assim como fotos do equipamento em processo não serão apresentadas devido a questões de sigilo industrial.

O primeiro passo para a instalação do sistema de monitoramento foi identificar os pontos para medição de tensão e corrente e fixação da placa CPU. Buscando a minimização de interferências no cabeamento dos sensores, optou-se por instalar o equipamento em um alojamento lateral ao painel elétrico principal. Já a conexão da fiação para aquisição de tensão e instalação dos transformadores de corrente foi realizada diretamente na saída do disjuntor geral da máquina. As Figuras 55, 56 e 57 apresentam respectivamente o painel elétrico da máquina, o compartimento onde foi instalada a CPU do sistema e uma imagem em ênfase da instalação dos TCs.

Figura 55 – Quadro elétrico da Injetora HWA Chin HC-160



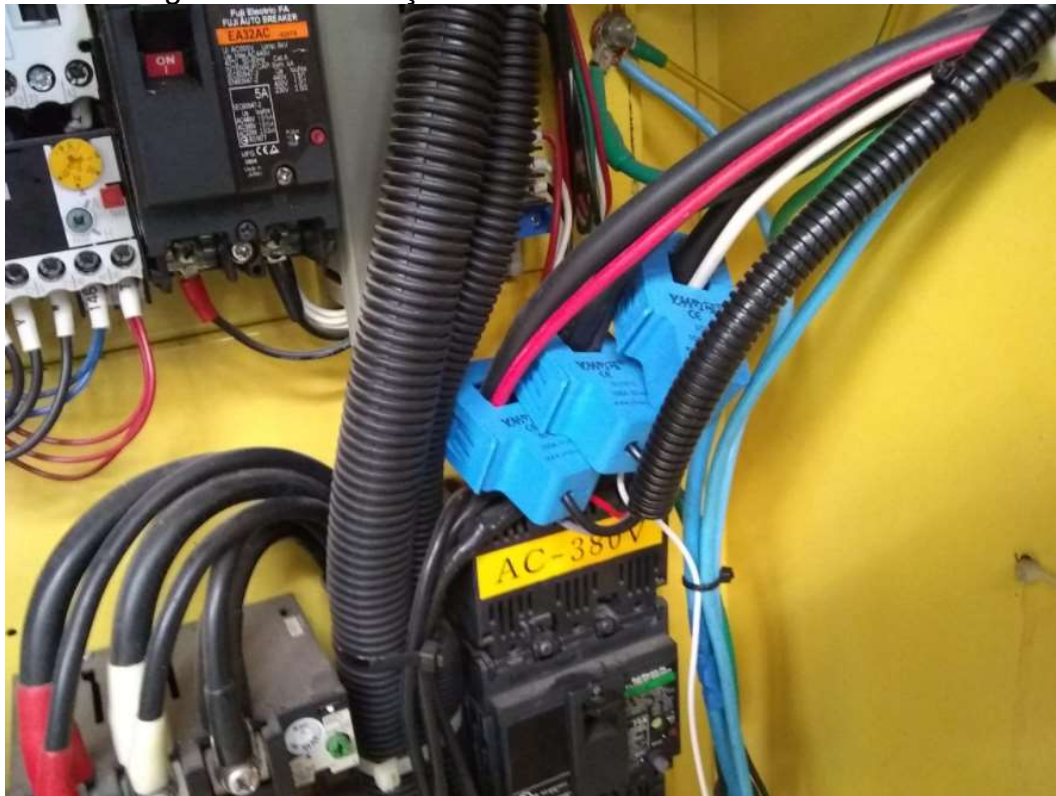
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Figura 56 – Instalação da CPU do sistema



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Figura 57 – Instalação dos transformadores de corrente



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Para o monitoramento dos acionamentos, primeiramente identificou-se a polaridade do sinal de saída do CLP. Por meio do esquema elétrico, verificou-se que a saída é do tipo NPN, ou seja, a saída envia 0V quando está acionada. Sendo assim, utilizou-se um sinal de 24V como comum para as entradas digitais.

A Figura 58 mostra o CLP da injetora, já a relação de movimentos monitorados, podem ser identificados por intermédio do Quadro 10.

Figura 58 – CLP Injetora HWA Chin – HC-160



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Quadro 10 – Sinais monitorados injetora HC-160

Entrada Digital	Função
D11	Fecha Molde
D12	Abre Molde
D13	Avança Bico
D14	Recua Bico
D15	Injeção
D16	Plastificação
D17	Descompressão
D18	Avança Extrator
D19	Recua Extrator
DI10	Reserva
DI11	Reserva
DI12	Reserva
DI13	Reserva
DI14	Reserva
DI15	Reserva

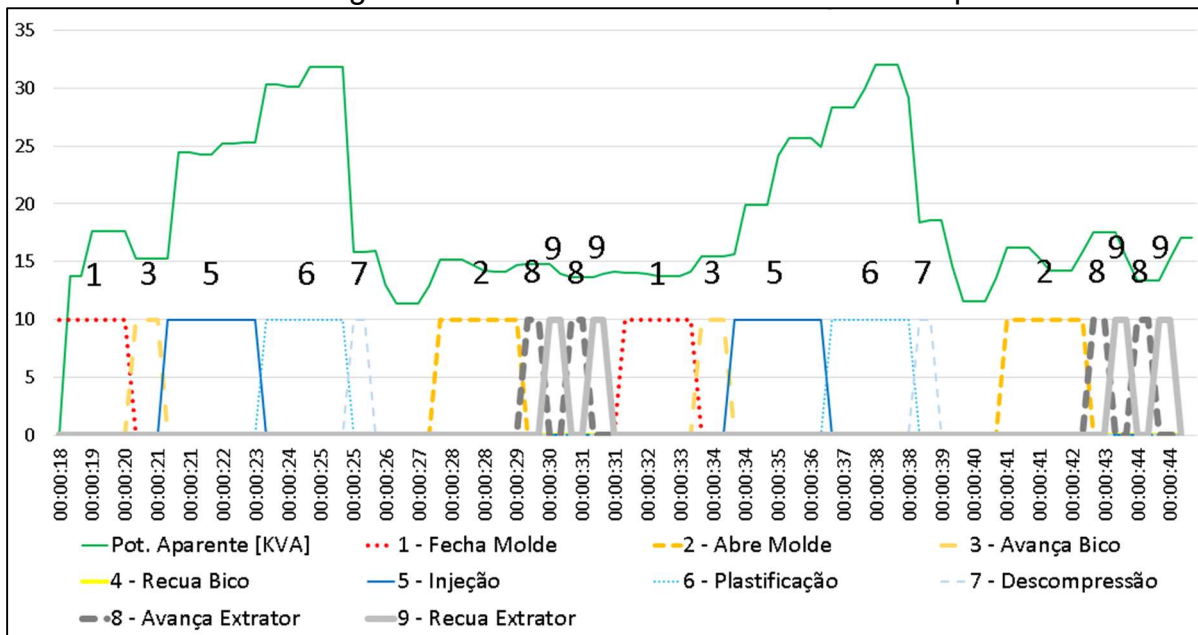
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Finalizada a instalação, deu-se início o processo de monitoramento. A coleta de dados foi realizada no início do próximo turno, sendo iniciada as 00:15 am e finalizada as 06:30 am. Durante este período, foram coletadas mais de noventa mil amostras. Assim, as informações serão compiladas para possibilitar o seu entendimento.

A primeira análise realizada traz as informações detalhadas dos sinais digitais e analógicos coletados durante dois ciclos de trabalho, mostrando a curva de consumo do equipamento e a transição dos movimentos realizados.

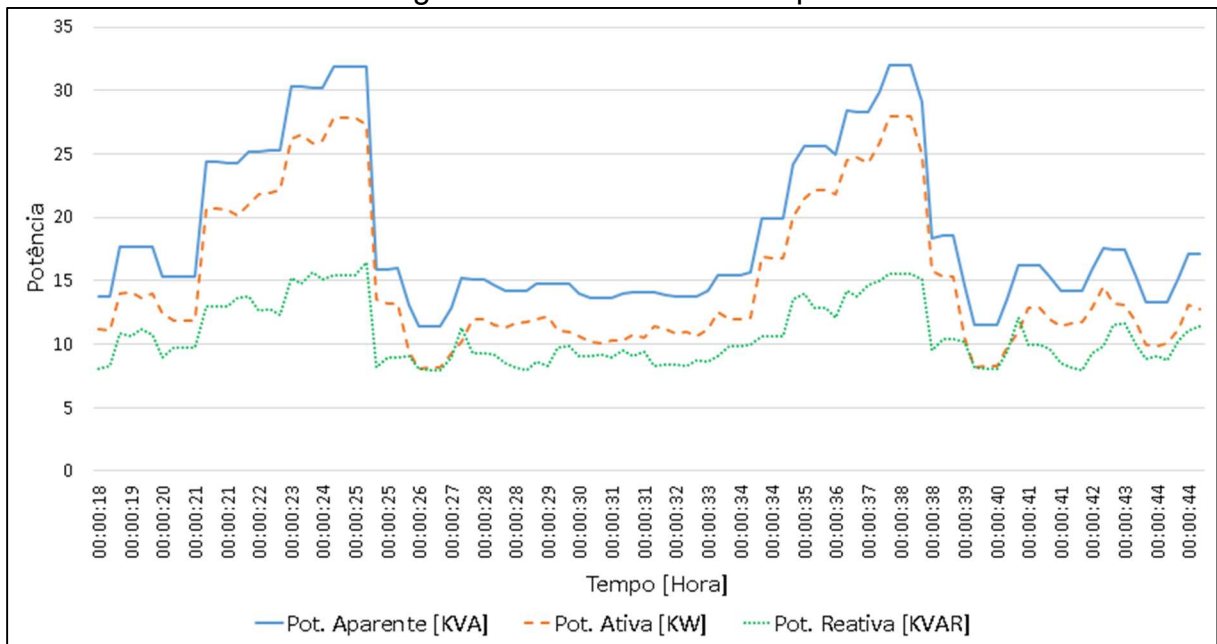
Os gráficos com os resultados podem ser identificados por meio das Figuras 59 e 60, além disso, o Quadro 11 destaca os dados mais relevantes.

Figura 59 – Acionamentos e Potência x Tempo



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Figura 60 – Potências x Tempo



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Quadro 11 – Informações da análise do ciclo de injeção

Etapa	Tempo [s]	Tempo [%]	Potência média durante o acionamento [KVA]	Consumo [KVAh]	Fator de Potência	Consumo [KWh]
Fecha Molde	1,75	13,73%	16,20	2,63	0,79	2,08
Abre Molde	2	15,69%	14,62	3,01	0,80	2,41
Avança Bico	0,75	5,88%	15,29	1,13	0,77	0,87
Recua Bico	0	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00
Avança Extrator	1	7,84%	14,19	1,50	0,75	1,13
Recua Extrator	1	7,84%	13,92	1,50	0,75	1,13
Injeção	2,25	17,65%	25,98	3,38	0,85	2,87
Plastificação	2	15,69%	29,23	3,01	0,86	2,59
Descompressão	0,5	3,92%	15,92	0,75	0,82	0,62
Resfriamento	1,5	11,76%	12,55	2,26	0,70	1,58
Reciclo	0,25	1,96%	14,08	0,38	0,74	0,28
Total do Ciclo	12,75	100,00%	19,17	19,17	0,71	13,61

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

A Figura 59 apresenta as informações onde são relacionados os movimentos e a potência aparente total demandada pelo equipamento. Realizando uma breve análise sobre essa figura é possível dizer:

- a) a máquina tem um ciclo de aproximadamente 12 segundos;

- b) em nenhum momento o bico é recuado, ou seja, o modo automático utiliza o bico injetor sempre encostado no molde;
- c) são necessárias duas extrações para retirar as peças do molde;
- d) o tempo de resfriamento que acontece entre o final da injeção e o início da abertura do molde é de aproximadamente 2 segundos;
- e) durante o resfriamento, quando a máquina está “parada” ou em repouso, seu consumo gira em torno de um terço do valor máximo, esta informação nos mostra a importância da programação de trabalho dos equipamentos para evitar o desperdício da energia.

A Figura 60 apresenta o comportamento das potências aparente, ativa e reativa durante o ciclo de trabalho da injetora de plásticos. Com os valores obtidos é possível calcular o valor do fator de potência para estimar o custo de energia elétrica do equipamento além de definir que o equipamento requer correção de fator de potência, pois seu valor médio se encontra abaixo do limite de 0,92 imposto pela concessionária local e poderá gerar multas para a empresa.

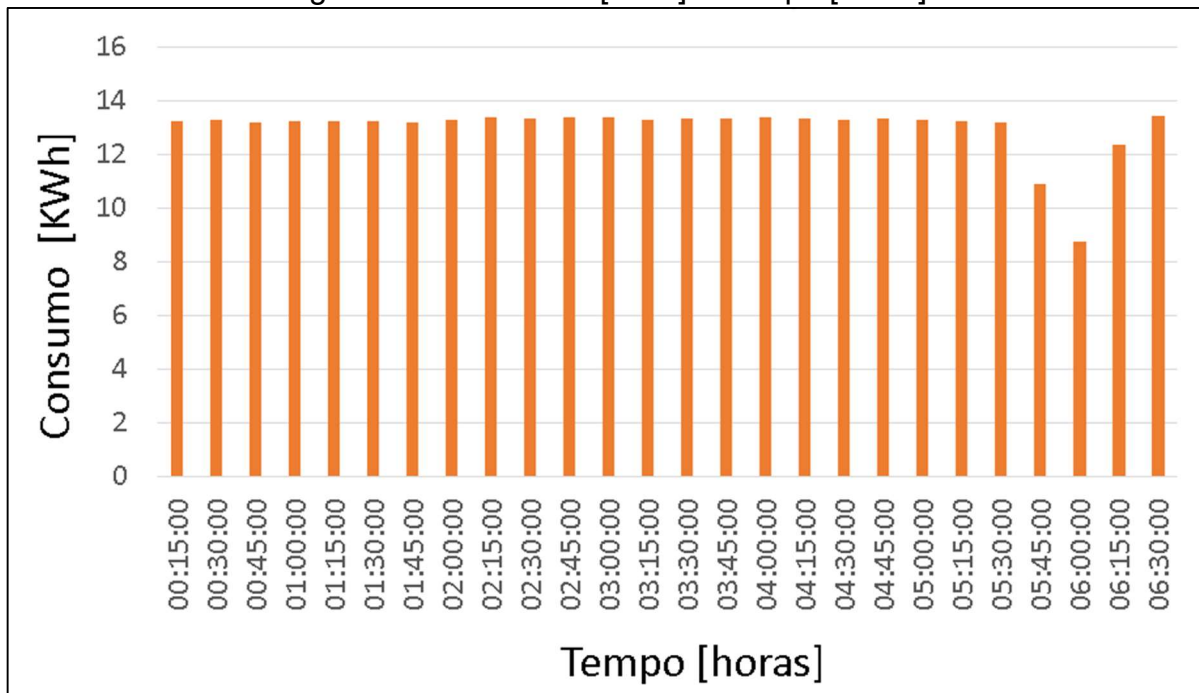
Por meio do Quadro 11 é possível visualizar em resumo, informações detalhadas da coleta de dados inicial. Através dela, é possível ver que a máquina está operando com um ciclo de trabalho de 12,75 segundos, ou seja, 13,72% mais rápido do que os 14,5 segundos registrados na fixa de processual da empresa. Essa diferença de performance, pode indicar que houve uma melhoria no desempenho do equipamento, mas também pode significar que a programação do equipamento ou a matéria prima não está coerente com as especificações e poderá estar gerando produtos fora de padrão e com má qualidade.

Ainda sobre o Quadro 11, é possível observar a relação de consumo de cada movimento da máquina, destacando como movimentos mais exigentes a injeção, plastificação e a abertura do molde, que juntos representam 58% dos 13,61 KWh consumidos em operação.

A segunda análise proposta consiste na compilação dos dados coletados em períodos de 15 minutos. A Figura 61 apresenta o resultado do monitoramento.

Observando a Figura 61, é possível concluir que a maior parte do tempo o equipamento permaneceu trabalhando continuamente, pois seu consumo se manteve estável em torno dos 13,5 KWh, valor próximo ao registrado durante o regime permanente, apresentado pelo Quadro 11.

Figura 61 – Consumo [KWh] x Tempo [horas]



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

No entanto, é possível observar que após as 5:30 am houve uma queda no consumo que teve o menor valor encontrado às 6:00 am, voltando a estabilizar-se em torno das 6:30 am. Essa parada pode ser interpretada como uma manutenção, troca de molde ou até mesmo uma mudança de turnos. O benefício principal desta análise, é a facilidade com que se consegue observar mudanças no aproveitamento do equipamento, que em muitos casos deixa de produzir por motivos não previstos e falhas organizacionais.

Para estimar o custo da energia elétrica demandada por esta máquina injetora, ao longo de um dia, pode-se considerar um período de 24 horas de trabalho com consumo médio de 13,5kWh, resultando em um consumo diário de 324 kW. Adotando um custo de R\$ 0,45 por kWh, é possível dizer que o gasto aproximado do equipamento durante essa produção é de R\$ 145,80 por dia, ou até R\$ 3500,00 mensais, visto que a empresa trabalha 6 dias por semana.

Pode-se dizer ainda, que durante uma hora trabalhando em regime permanente, a injetora realiza 282 ciclos de injeção, produzindo um total de 3384 peças a um custo de R\$ 0,001795 por unidade produzida.

4.2 CUSTOS DO PROJETO

Pensando em um equipamento acessível para indústrias de pequeno e médio porte, que buscam melhorar seus controles internos relacionados a custos ou eficiência dos equipamentos, optou-se pela escolha de componentes comuns de mercado e de fácil acesso. O protótipo desenvolvido dispõe de 6 canais para leitura de tensão e corrente, podendo ser utilizado no monitoramento de até seis máquinas simultaneamente, desde que seja reduzido o número de entradas digitais monitoradas, diluindo assim o custo de aquisição e implementação do sistema de aquisição. O Quadro 12 apresenta um resumo do custo dos materiais utilizados no projeto.

Quadro 12 – Custo do protótipo desenvolvido

N	Item	Valor R\$	Valor \$	Data da Compra	Valor do Dólar Aproximado	Origem do Fornecedor
1	PCB	R\$ 18,62	\$ 4,30	Fev./20	R\$ 4,33	Estrangeiro
2	Núcleo G474RE	R\$ 154,15	\$ 35,60	Fev./20	R\$ 4,33	Nacional
3	Raspberry Pi 3	R\$ 334,00	-	Jan./20	-	Nacional
4	Fonte de Alimentação USB 5V/3A	R\$ 88,00	-	Jan./20	-	Nacional
5	Componentes Eletrônicos e Conectores	R\$ 62,30	-	Jan./20	-	Nacional
6	6 x Transformador de Corrente	R\$ 270,00	-	Jan./20	-	Nacional
7	Caixa plástica	R\$ 52,00	-	Mai/20	-	Nacional
Valor Total		R\$ 979,07				
OBS: OS COMPONENTES ADQUIRIDOS EM MOEDA EXTRANGERIRA TIVERAM SEU VALOR EM REAIS CALCULADOS COM O PREÇO DO DOLAR DE COMPRA NA DATA DA AQUISIÇÃO.						

Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

5 CONCLUSÃO E DISCUSSÕES

Este trabalho apresentou como proposta o desenvolvimento de um sistema utilizado na aquisição de dados do processo produtivo de máquinas injetoras de plástico, no qual foram utilizados diversos conceitos fundamentais da engenharia elétrica. Embora o equipamento ainda precise receber melhorias principalmente nas questões de armazenamento de dados, o equipamento atendeu a todos os objetivos propostos.

Os objetivos relacionados à coleta de dados foram alcançados e apresentaram respostas muito próximas de equipamentos comerciais de marcas consolidadas mesmo utilizando componentes e amplificadores operacionais comuns de mercado e não itens recomendados para instrumentação. Entretanto, é necessário fazer com que esses resultados sejam aperfeiçoados, tornando-os mais próximos dos números reais, aumentando assim a precisão e a confiabilidade das informações geradas.

Dentre os pontos que merecem destaque na implementação do projeto, pode-se considerar o desempenho do sistema de comunicação que obteve um resultado de 100% de aproveitamento, não perdendo nenhum frame de dados durante os ensaios e ao longo do estudo de caso. Outro ponto positivo foi o desempenho do microcontrolador escolhido, da família G4 da STMicroelectronics, que possibilitou o processamento de 12 sinais eficazes além de gerenciar todo o restante do sistema.

Um ponto negativo no decorrer do projeto foi a dificuldade na compra dos materiais utilizados, principalmente em relação a valor e prazo de entrega. Todos os itens utilizados possuíam valor mais baixo se comprados de fornecedores estrangeiros. No entrando, devido à necessidade de se começar os testes, a maioria dos itens foi comprada no mercado nacional, exceto o PCB. A fabricação da placa de circuito impresso tornou-se 70% mais barata do que em relação a fabricantes, além disso, a placa foi fabricada e enviada e chegou ao seu destino no Brasil em 23 dias, enquanto alguns fabricantes solicitavam até 45 dias para entregar a mercadoria.

O estudo de caso realizado mostrou-se uma das mais importantes etapas realizadas neste projeto. As informações obtidas trouxeram dados precisos sobre os horários de funcionamento, tempos de ciclo e estimativas do custo da energia

elétrica. Por meio deste procedimento experimental foi possível vivenciar o ambiente industrial, onde observou-se a falta de controle e informações históricas sobre o processo produtivo, aumentando ainda mais a relevância do projeto desenvolvido.

As informações coletadas durante o estudo de caso despertaram o interesse da empresa em rever o custo de seus produtos, visto que o valor da energia elétrica estava sendo rateado sobre toda a produção da fábrica, sem considerar o tempo que cada peça leva para ser produzida ou em que máquina está sendo produzida.

5.1 PROJETOS FUTUROS

Como sequência deste trabalho, as seguintes propostas podem ser sugeridas:

- a) mudança do circuito de condicionamento de tensão para um sistema isolado;
- b) mudança do transformador de corrente para um modelo com capacidade de medição maior do que 100 A;
- c) o desenvolvimento de um sistema que realize a detecção do molde instalado na injetora automaticamente;
- d) implementar um sistema de armazenamento de dados na nuvem;
- e) o desenvolvimento de um sistema que analise as informações em tempo real, gere indicadores de processo e alarmes para que profissionais responsáveis possam resolver problemas eventuais com mais agilidade e eficiência;
- f) o desenvolvimento de um sistema supervisor conectado via rede ou inserido no Raspberry, que permita a interação dos operadores com o sistema;
- g) integração do sistema de aquisição com o sistema de gestão da empresa, tornando possível, por exemplo, monitorar automaticamente o andamento da produção de uma ordem de serviço;
- h) realizar um estudo de caso implementando o sistema desenvolvido em outros tipos de equipamentos além de injetoras de plástico.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010**: estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?Version=1.0>. Acesso em 19 nov. 2020.

ALVES, Gisele. **A formação do preço de venda dos produtos industrializados, um estudo de caso na empresa AB PLAST**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Contábeis). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <http://tcc.bu.ufsc.br/Contabeis294543.pdf>. Acesso em: 8 Nov. 2019

AMERICAN NATIONAL STANDARD. New Jersey: Hydraulic Institute, v. 15, n. 91, maio 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS – ABIEF. 2017. Disponível em: <http://abief.com.br/home>. Acesso em: 12 nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO – ABIPLAST. **Perfil da Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico**, 2018. Disponível em <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/10/perfil2018-web_VC.pdf>. Acesso em: 16 Nov. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13536:1995**: máquinas injetoras para plástico e elastômeros - Requisitos técnicos de segurança para o projeto, construção e utilização. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **13230:2008**: embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis. Rio de Janeiro: Abnt, 2008

AUTOMATAWEB. **Automata do Brasil** – Automação Industrial & Robótica. Disponível em: <https://www.automataweb.com.br/>. Acesso em: 25 nov. 2020.

BALDASSIN, Alexandro. **Comunicação Serial (UART)** [online], 2019. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/demac/alex/disciplinas/MicroII/EMA864315-Serial.pdf>. Acesso em 20 nov. 2020.

BEZERRA, Marcos Anderson Almeida. **Protocolos de comunicação aplicados em FPGAs**. Fortaleza: UFC, 2013.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELKY, Louis. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 8. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

BRITO, João Luis Grizinsky de. **Sistema para monitoramento de consumo de energia elétrica particular, em tempo real e não invasivo utilizando a tecnologia Arduino**. 2016. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

CARBONERA, Luis Felipe Bianchi. **Projeto e desenvolvimento de um sistema de aquisição aplicando conceitos de instrumentação virtual**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande

CARVALHO, Gregor Gama de. **Uma plataforma para predição do consume de energia elétrica: modelagem empírica e aplicações em lojas de um shopping center**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016, p. 23-31.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - CEFET. Unidade de Ensino Descentralizada. **Curso técnico em transformação de termoplásticos: introdução à transformação de termoplásticos**. Sapucaia do Sul: CEFET-RS/UNED, 2004. Material didático.

CUNHA, Antonio. **Manual do projectista para moldes de injeção de plástico do sul: moldação por Injeção e Materiais Plásticos**. Marinha Grande: Centimfe, 2013. v.2.

FERGUTZ, Marcus. **Correção do Fator de Potência (FP)**. Apresentação, maio 2016. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/udesc/id_cpmenu/9731/corre_a__do_fp_5_16_15641510000793_9731.pdf. Acesso em 19 nov. 2020.

FERNANDES, Tales Gouveia; PANAZIO, Aline Neves. **Do analógico ao digital: amostragem, quantização e codificação**. Resumo, 2009. Disponível em: http://ic.ufabc.edu.br/II_SIC_UFABC/resumos/paper_5_74.pdf. Acesso em: 19 nov. 2020.

FLUKE. **110/113/114/115/117 True-rms Multimeter** – Manual do Usuário. 2020. Disponível em: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/110__117umpor_0000_0.pdf?bReMwhPDEalCmhjTEXR7MPP4CnzIXvvy. Acesso em: 25 nov. 2020.

FLUKE. **15B+/17B+/18B+ Digital Multimeters** – Manual do Usuário. 2014. Disponível em: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/151718__umpor0000.pdf. Acesso em: 25 nov. 2020.

FLUKE. **302+/303 Clamp Meter** – Manual do Usuário. 2013. Disponível em: https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/302_303_umpor0100.pdf. Acesso em: 25 nov. 2020.

GARCIA, Mauro Cesar Rabuski. **Moldes para injeção de termoplásticos – Fundamentos de projetos e ferramentas**. Rio Grande do Sul: CEFET, 2004.

GHIRARDELLO, A. **Análise e aumento da eficiência energética no processo de injeção de plástico por meio de um controle adaptativo da unidade hidráulica**. 2016. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Metodista de Campinas, Campinas, 2016.

GOODSHIP, Vanessa. **Practical guide to injection moulding**. United Kingdom: Smithers Rapra Technology, 2017. Disponível em: https://isso.digital/download/157/manual_dmi_mp1500. Acesso em: 16 Nov. 2019.

HAN, Xinghai; KONG, Xiangxin. **The designing of serial communication based on RS232**. In: *International Symposium On Cryptography And Network Security, Data Mining and Knowledge Discovery, E-Commerce and Its Applications and Embedded Systems*, 1, Qinhuangdao, 2010, p. 382-384. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5759341/>. Acesso em 19 nov. 2020.

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO - ISEP. **Calibração de um transdutor de efeito hall**, 2007. Laboratório de Física. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/calibracao-de-um-transdutor-de-efeito-hall/4714418>. Acesso em: 19 nov. de 2020.

ISSO. **Manual Técnico do equipamento DMI-MP1500**. Disponível em: https://www.issotecnologia.com/download/157/manual_dmi_mp1500.

JNG. **Variador de tensão** - Modelos: TDGC/TSGC. Disponível em: http://www.jng.com.br/upload/download/%7B8F8F46FA-1CC2-4E76-A1FF-A0F09CE11459%7D_Manual%20Variac%20TDGC%20TSGC%2012_2017%20JNG.pdf. Acesso em: 25 nov. 2020.

JUNG, Walter G. **Op amp applications**. Oxford, UK: Eselvier, 2005.

KEYSIGHT. **InfiniiVision 1000 X-Series Oscilloscopes**. Disponível em: <https://www.keysight.com/us/en/assets/7018-05520/data-sheets/5992-1965.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.

KOPPE, Rafael. **Os custos de fabricação de uma indústria do setor de plásticos**. 2012. Monografia (Especialização em Gestão de Negócios) – Pós-Graduação em Contabilidade, Departamento de Contabilidade, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/39394/R%20-%20E%20-%20RAFAEL%20FRANCISCO%20KOPPE.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12 Nov. 2019.

MARTINS, Nardênio Almeida. **Sistemas microcontrolados**: uma abordagem com o Microcontrolador PIC 16F84. Novatec: [s.n.], 2005.

MELGES, Danilo. **Circuitos Elétricos III – Filtros Ativos Parte 1**, 2018. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/~danilomelges/circ3/Aula8-FiltrosAtivosPt1.pdf>. Acesso em 20 nov. 2020.

MOREIRA, Alexandre Cândido. **Uso de instrumentação virtual para a análise da qualidade da energia elétrica**. 2006. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química 3**. 1. Ed. São Paulo: Scipione, 2010. p.249, 252, 253.

MOUSER ELECTRONICS. **NUCLEO-G431RB**. Disponível em: <https://br.mouser.com/ProductDetail/STMicroelectronics/NUCLEO-G431RB?qs=T3oQrply3y%252BHSoh%2FYfQbYw%3D%3D>. Acesso em: 25 nov. 2020.

MÜLLER, Egon; SCHILLIG, Rainer; STOCK, Timo; SCHMEILER, Miriam. *Improvement of injection moulding processes by using dual energy signatures*. **Science Direct**, v. 17, 2014, p. 704-709. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.01.110>. Acesso em: 04 Nov. 2019.

NICOLAU, Carolina Teixeira. **Medição de energia elétrica**: impactos da mudança tecnológica no setor jurídico de uma concessionária distribuidora de energia elétrica. 2013. 84 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia) - Curso de Energia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

OLIVEIRA, Fernando da Silva. **Analizador autônomo de qualidade da energia elétrica com processamento em software**. Curitiba: UP/NCET, 2008.

PERTENCE JÚNIOR, Antonio. **Amplificadores operacionais e filtros ativos**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. **Química na abordagem do cotidiano**. São Paulo: Moderna, 2006. V. 3, p. 248-251, 258-267.

PIATTI, T.M., RODRIGUES, R.A. **Plásticos**: características, usos, produção e impactos ambientais. Alagoas: Edufal - Editora da Universidade Federal de Alagoas, 2005. p. 29.(Conversando sobre Ciências em Alagoas)

PINCHEMEL, R. **Sistemas de medição de energia elétrica**. 2013. Disponível em: http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAG_kAD/capitulo-2-sistemas-medicaoenergia-eletrica. Acesso em: 04 Nov. 2019.

PLASTIC EUROPE. ASSOCIATION OF PLASTIC MANUFACTURERS. Plastics: the facts 2019. Apresentação. Disponível em https://www.plastics europe.org/application/files/1115/7236/4388/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf. Acesso em: 16 Nov. 2019.

RAMIRO, Ricardo. **Apostila de eletrônica básica**: dispositivos optoeletrônicos e diodo zener. [S.l.]: [s.n.], 2007. Cap. 3

RASPBERRYPI. **Raspberry Pi 3 Model B+**. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/?resellerType=home>. Acesso em: 25 nov. 2020.

RIBEIRO, Leandro dos Santos. **Evolução tecnológica e automação das máquinas injetoras**. 2009. 78 f. Monografia (Especialização em Produção com ênfase em plástico) - Curso de Tecnólogo em Produção, Centro Tecnológico da Zona Leste, São Paulo, 2009.

ROSATO, Donald V.; ROSATO, Dominick V. **Injection molding handbook**. 2. ed. New York: Chapman and Hall, 1995.

SARAIVA, P.A.da C. **Projeto de um molde de injeção**. Leiria, Portugal: IPL, Escola superior de tecnologia e gestão, 2016.

SILVA, Raimundo Nonato Souza; LINS, Luiz dos Santos. **Gestão de custos**: contabilidade, controle e análise. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

ST. **STM32G474xB STM32G474xCSTM32G474xE**. 2020. Disponível em: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32g474re.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.

TEXAS INSTRUMENTS. **Application Report SLOA039A: application of Rail-to-Rail operational amplifiers**. Dec. 1999. Disponível em: https://www.ti.com/lit/an/sloa039a/sloa039a.pdf?ts=1605645803139&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252. Acesso em: 18 nov. 2020.

TEXAS INSTRUMENTS. **TL1431-EP Precision-Programmable Reference**, Publicado em: 02 fev. 2020. Disponível em: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl1431-ep.pdf?ts=1606482135750&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F. Acesso em: 18 nov. 2020.

TEXAS INSTRUMENTS. **Reference design to measure ac voltage and current in protection relay with delta-sigma chip diagnostics**. 2016. Disponível em: https://www.ti.com/lit/ug/tiduby7a/tiduby7a.pdf?ts=1606313704330&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F. Acesso em: 25 nov. 2020.

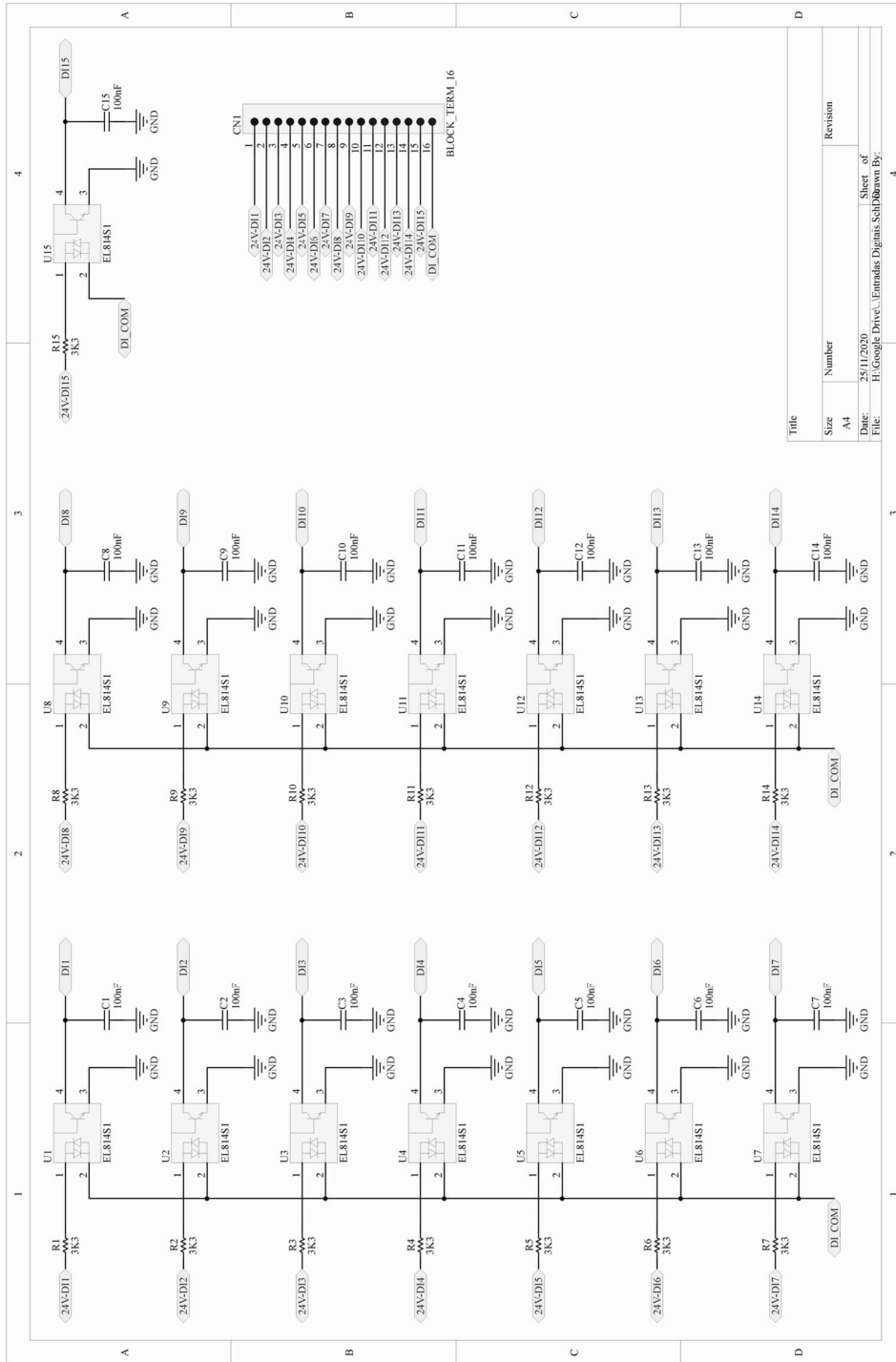
TORRES, Jocelito. **Dossiê técnico: prevenção de acidentes em máquinas injetoras de plástico**. Esteio: SENAI/RS, 2007.

WEBSTER, John G. **Medical Instrumentation: application and design**. 4. ed. New York, U.S.: John Wiley & Sons, 2010.

YHDC. **Split core current transformer**. Disponível em: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1328320/YHDC/SCT-013-050/1>. Acesso em: 25 nov. 2020.

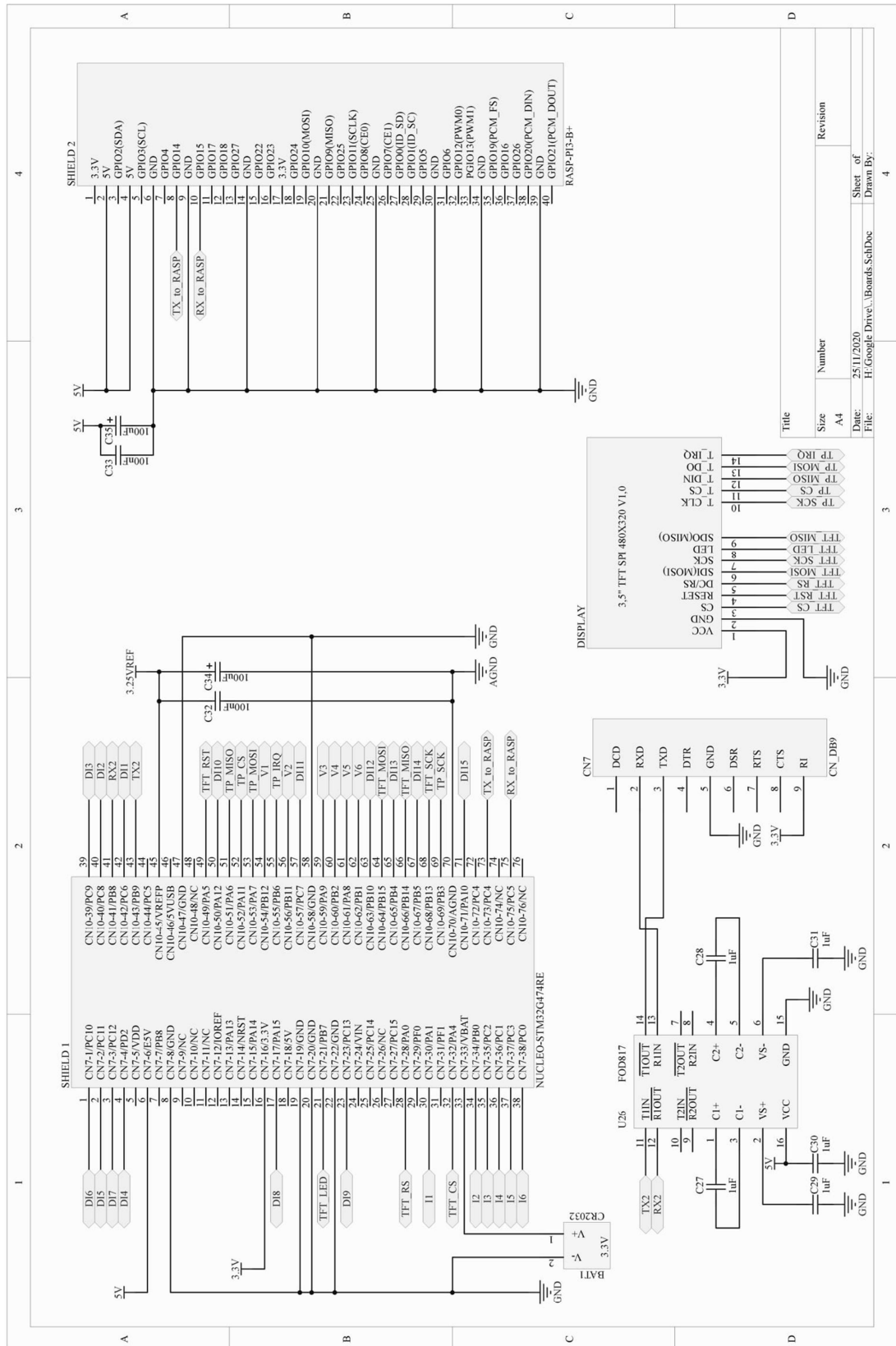
APÊNDICE A – DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS DO PCB DESENVOLVIDO

Diagrama esquemático folha 1



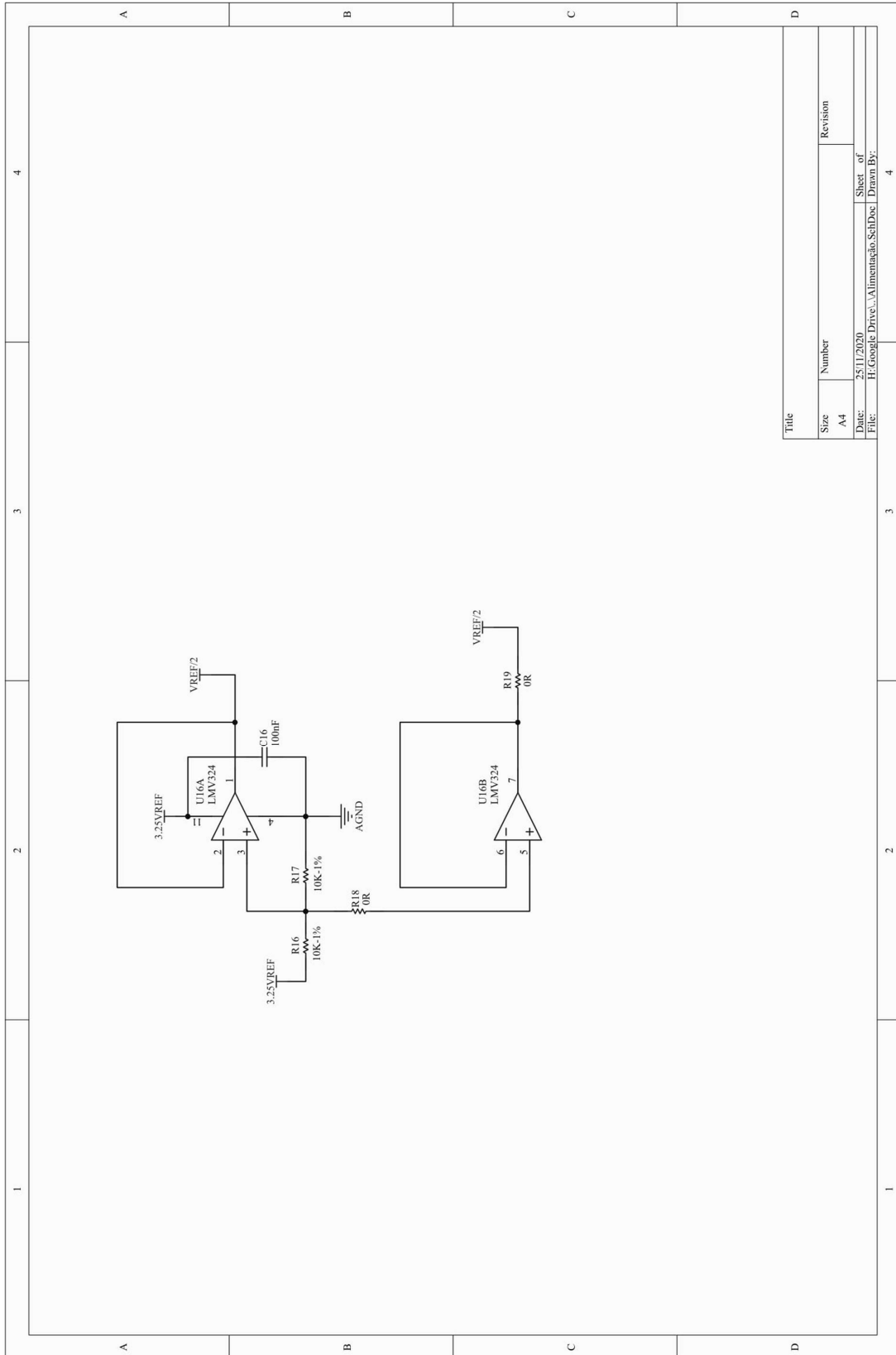
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Diagrama esquemático folha 2



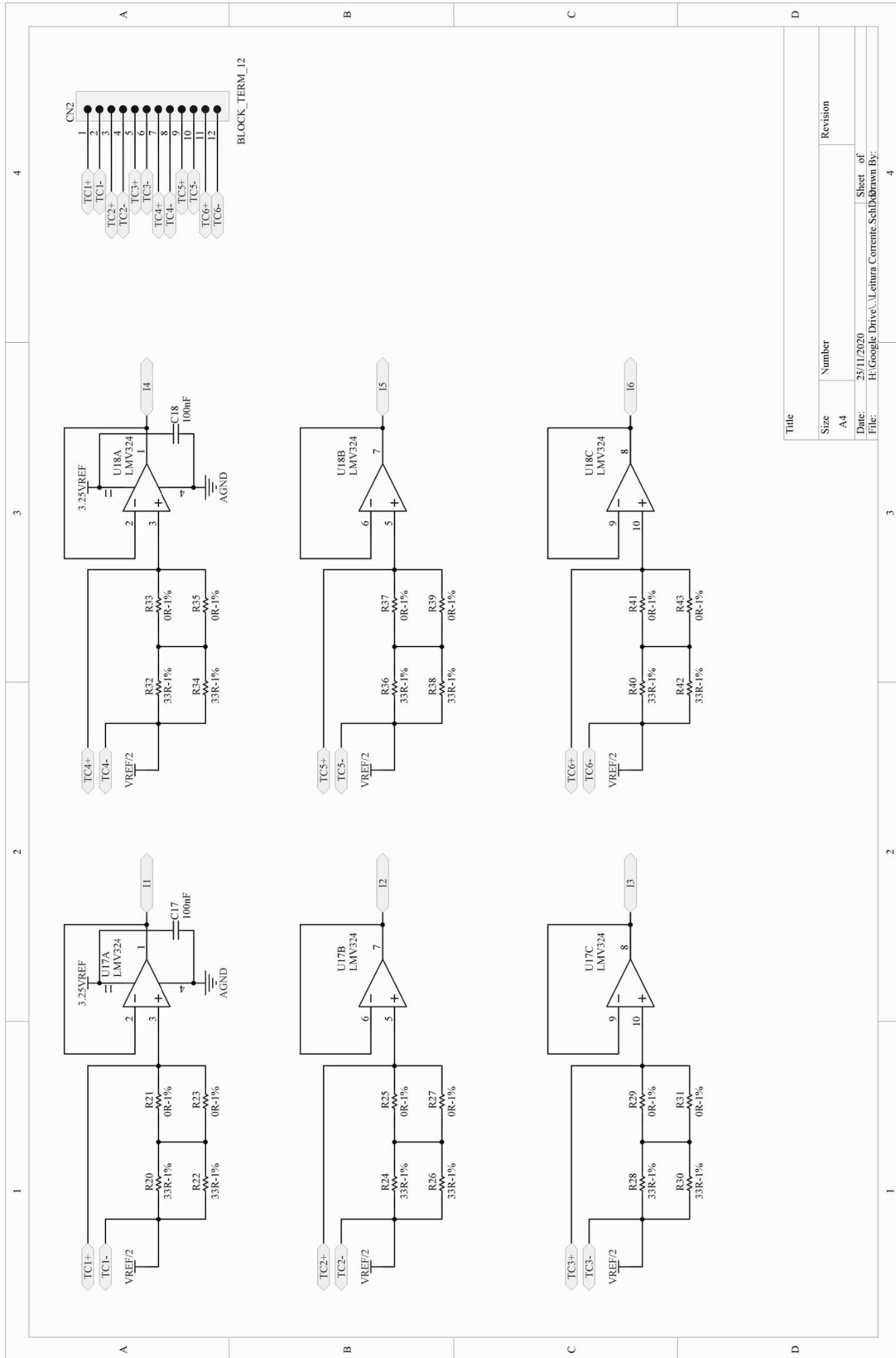
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Diagrama esquemático folha 3



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

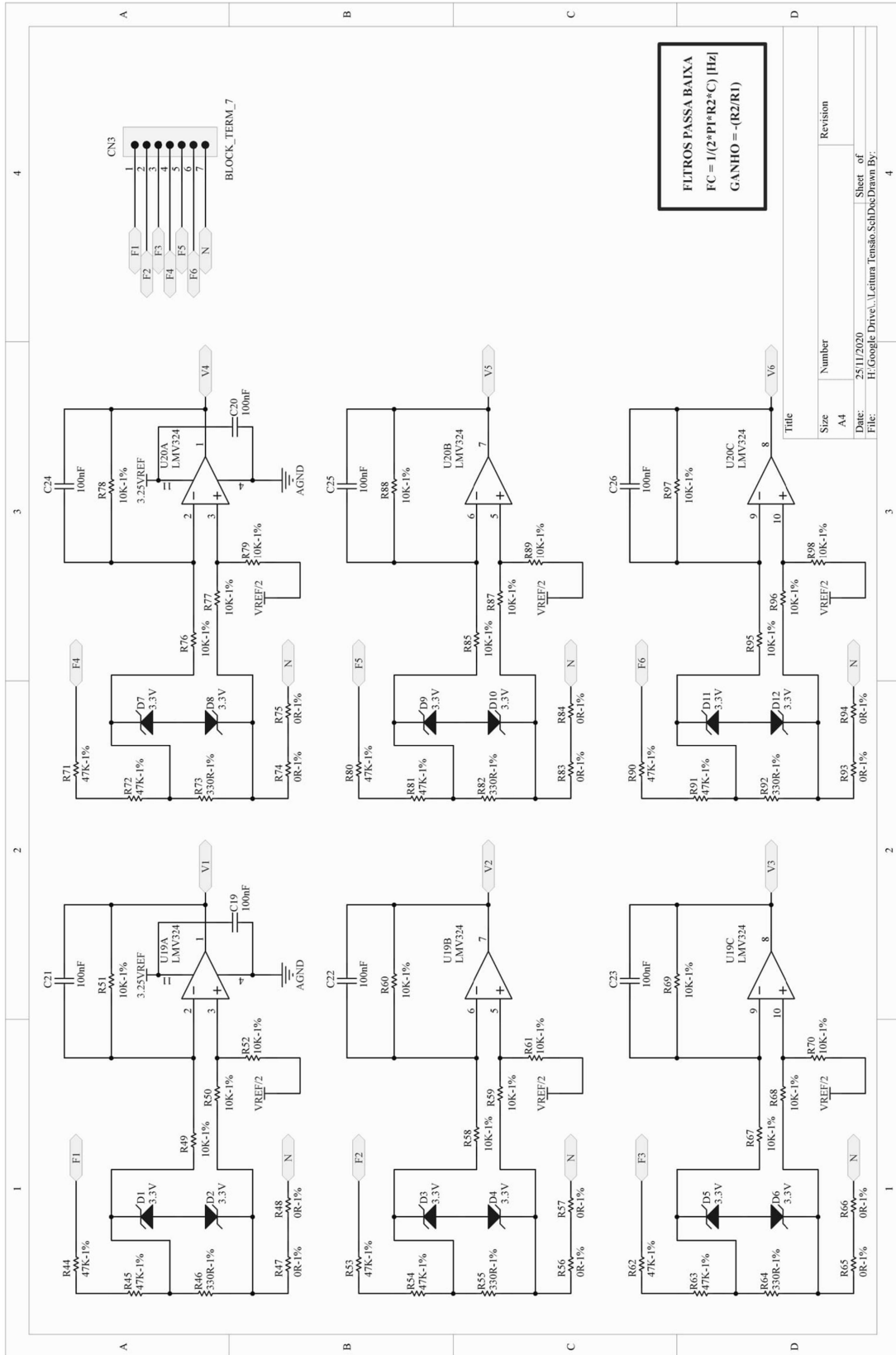
Diagrama esquemático folha 4



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

Title	
Size	Number
A4	
Date:	Sheet of
File:	Revision

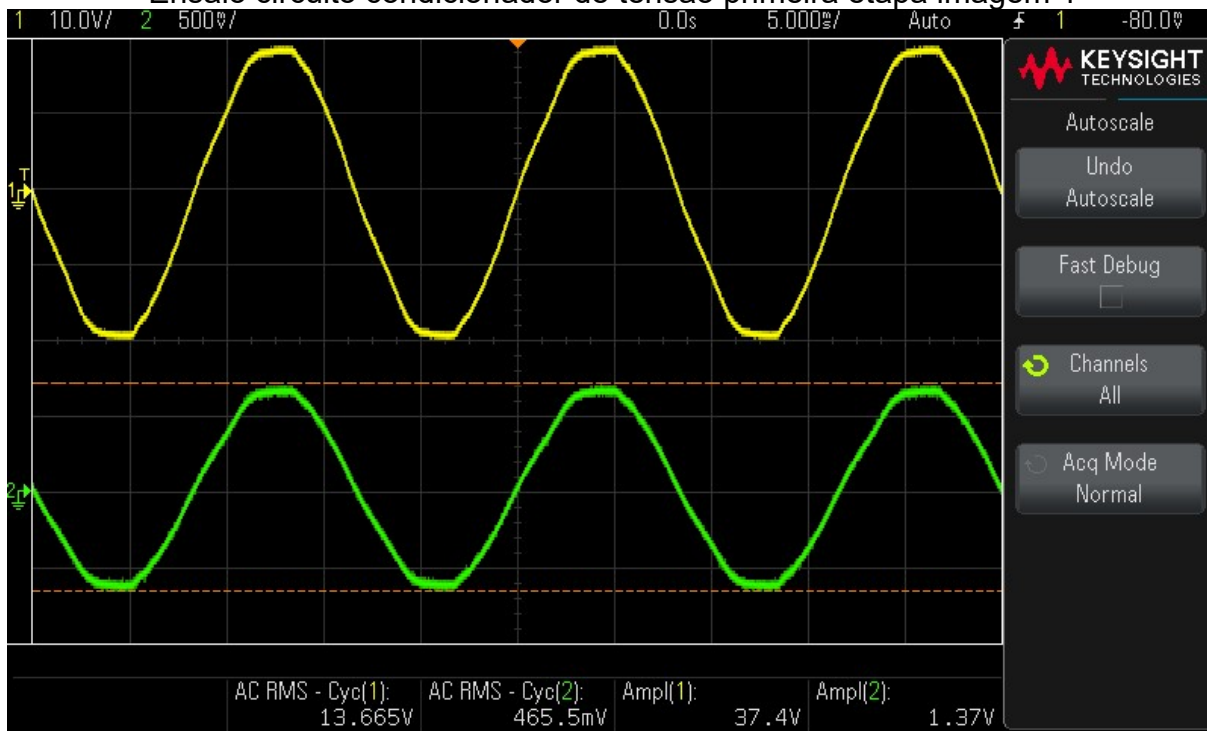
Diagrama esquemático folha 5



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

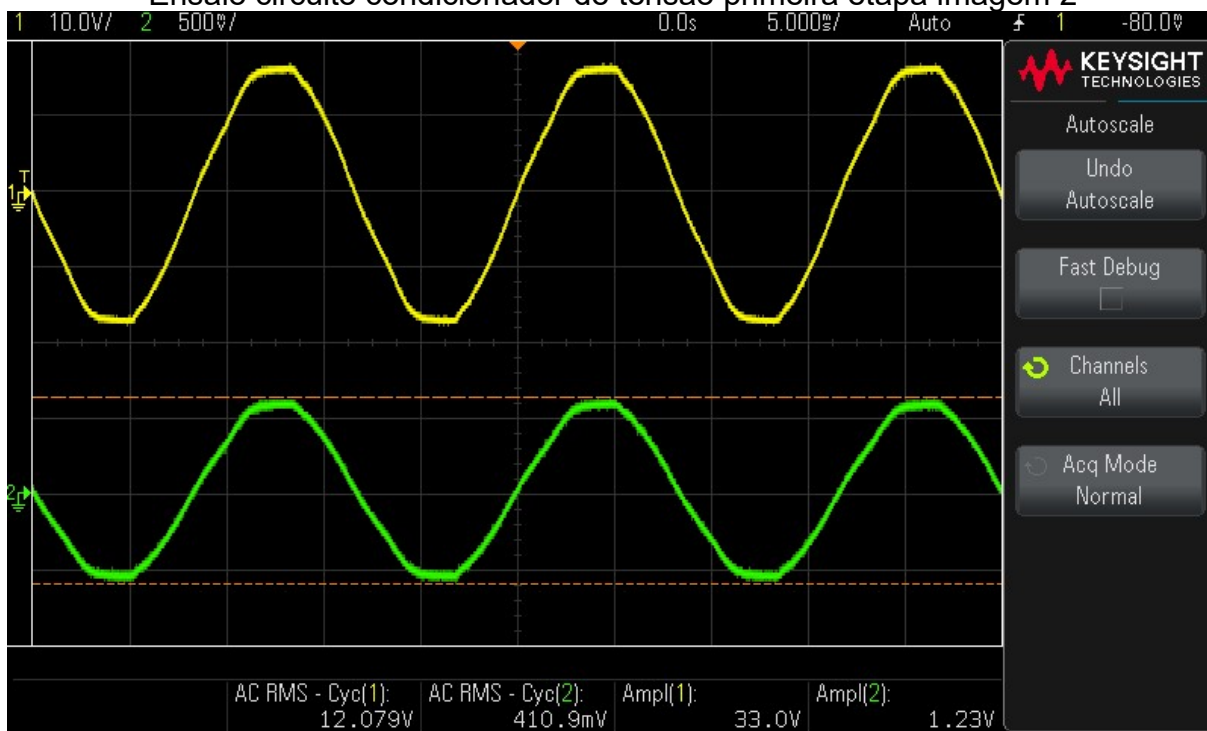
APÊNDICE B – ENSAIO CIRCUITO CONDICIONADOR DE TENSÃO PRIMEIRA ETAPA

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 1



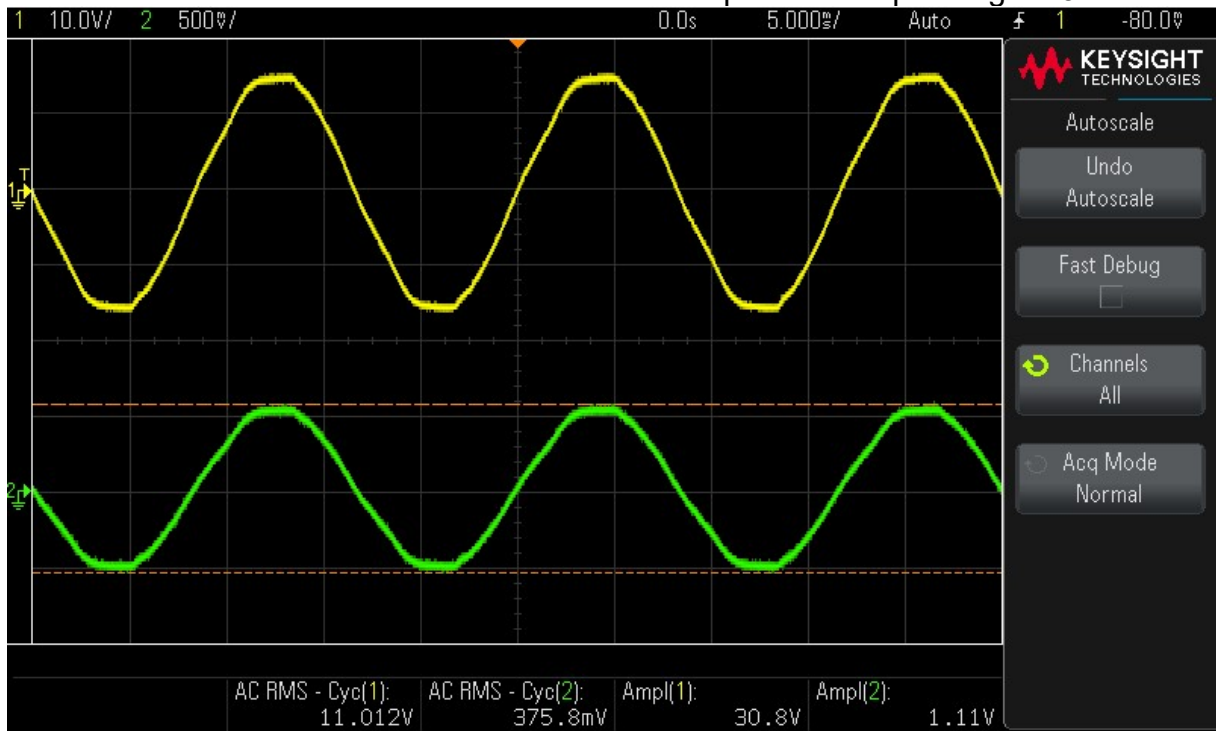
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 2



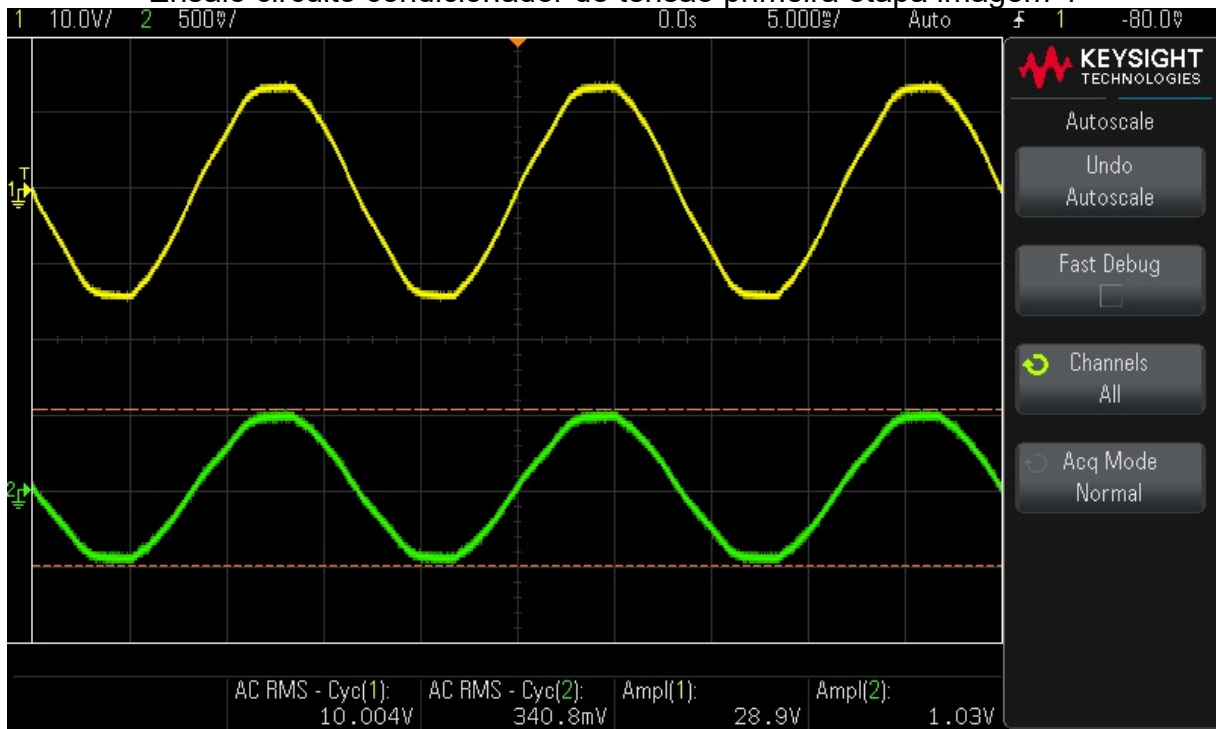
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 3



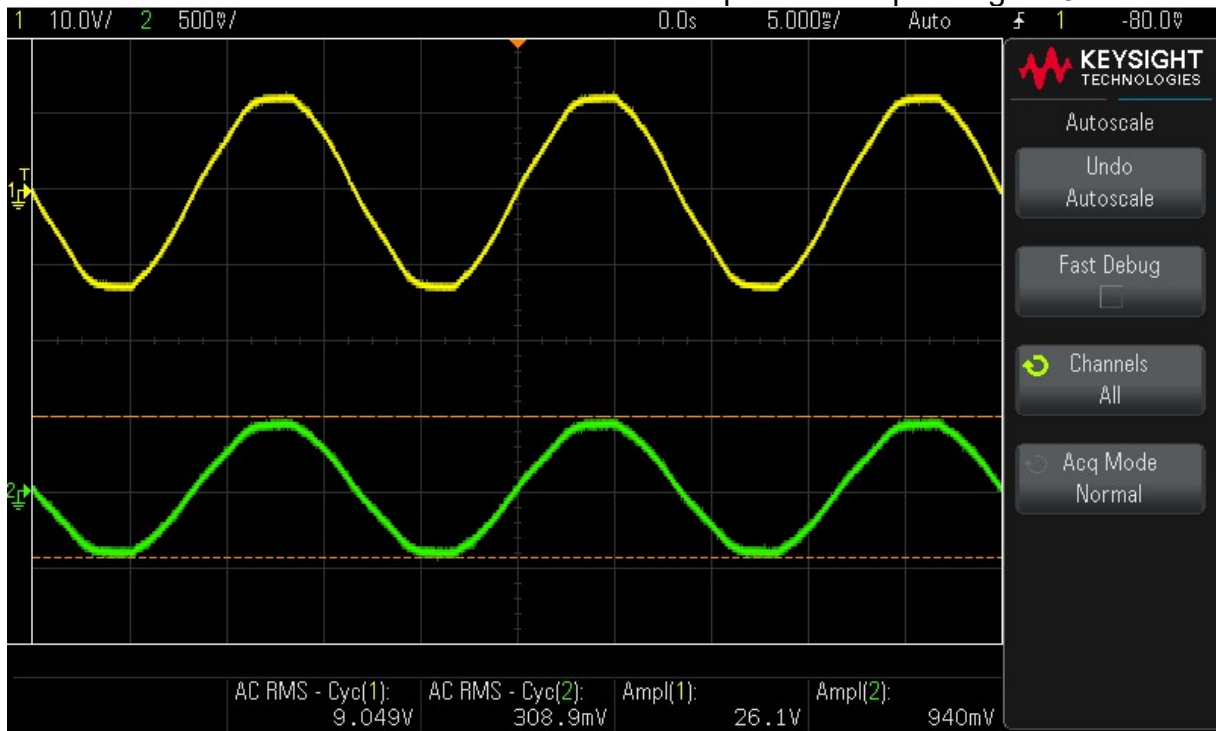
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 4



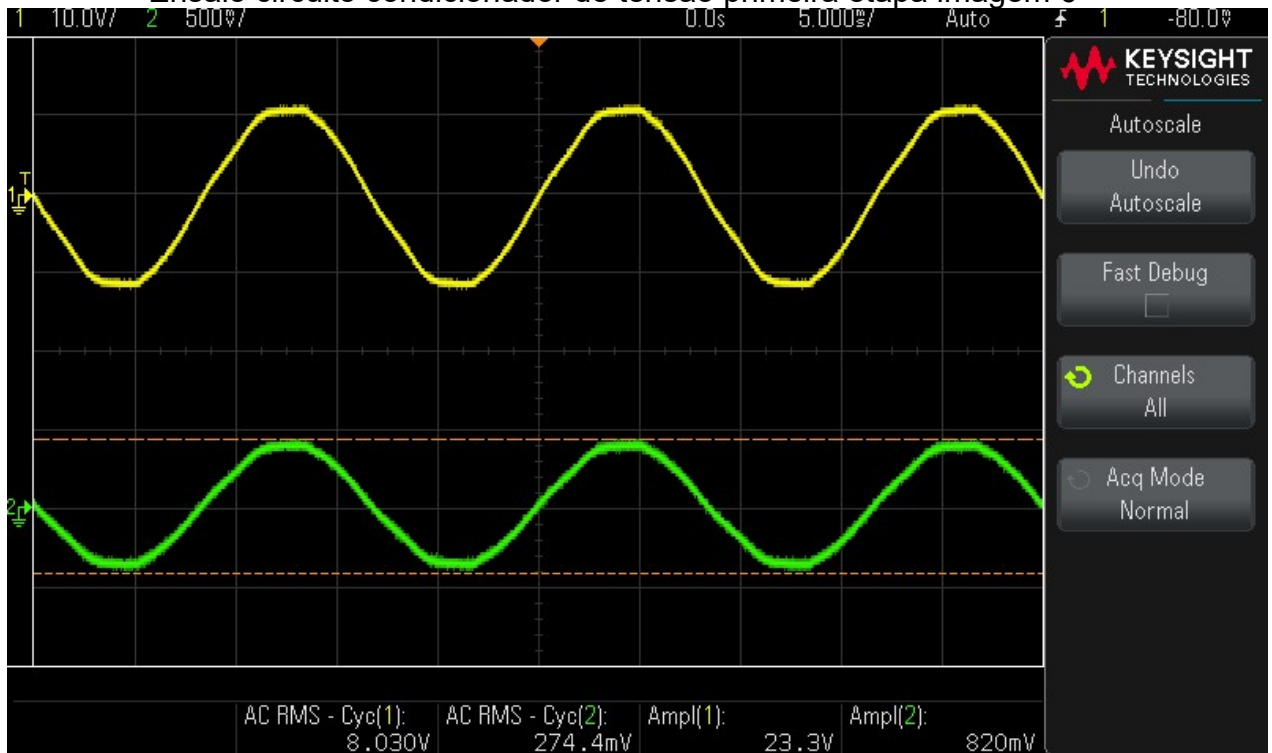
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 5



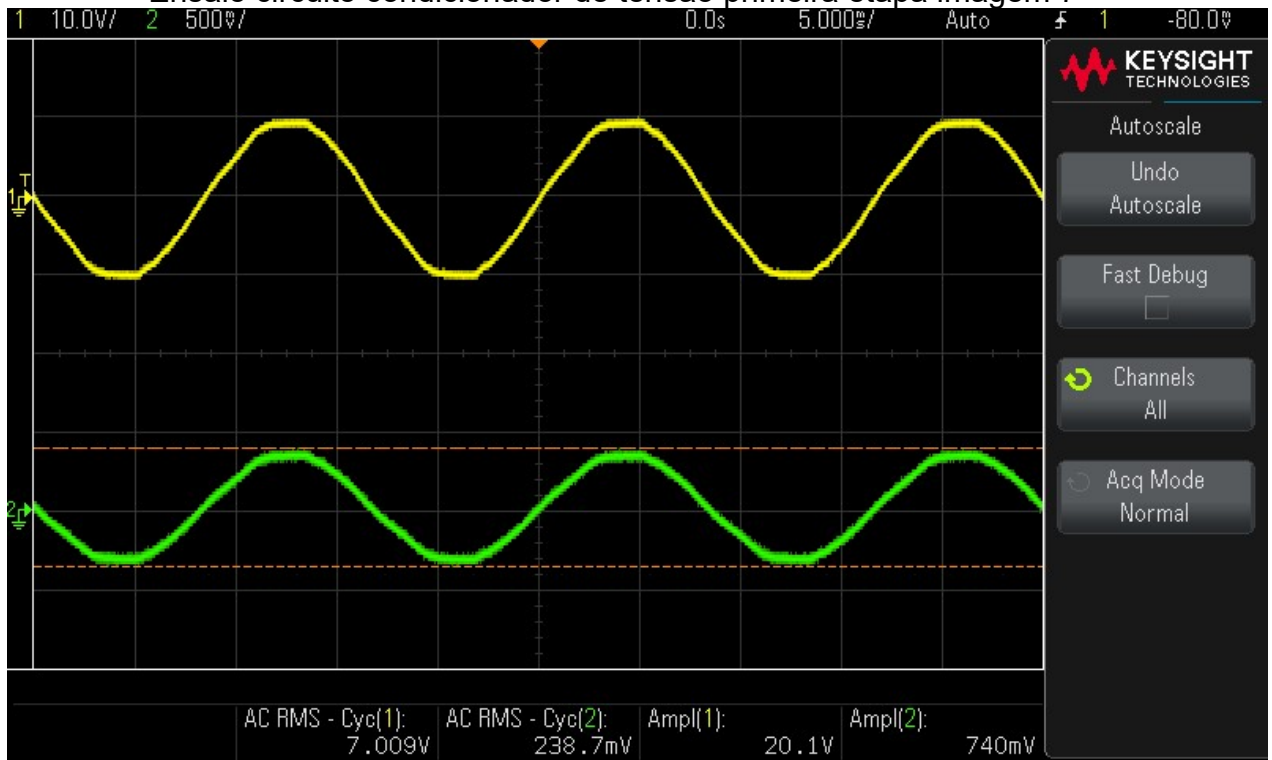
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 6



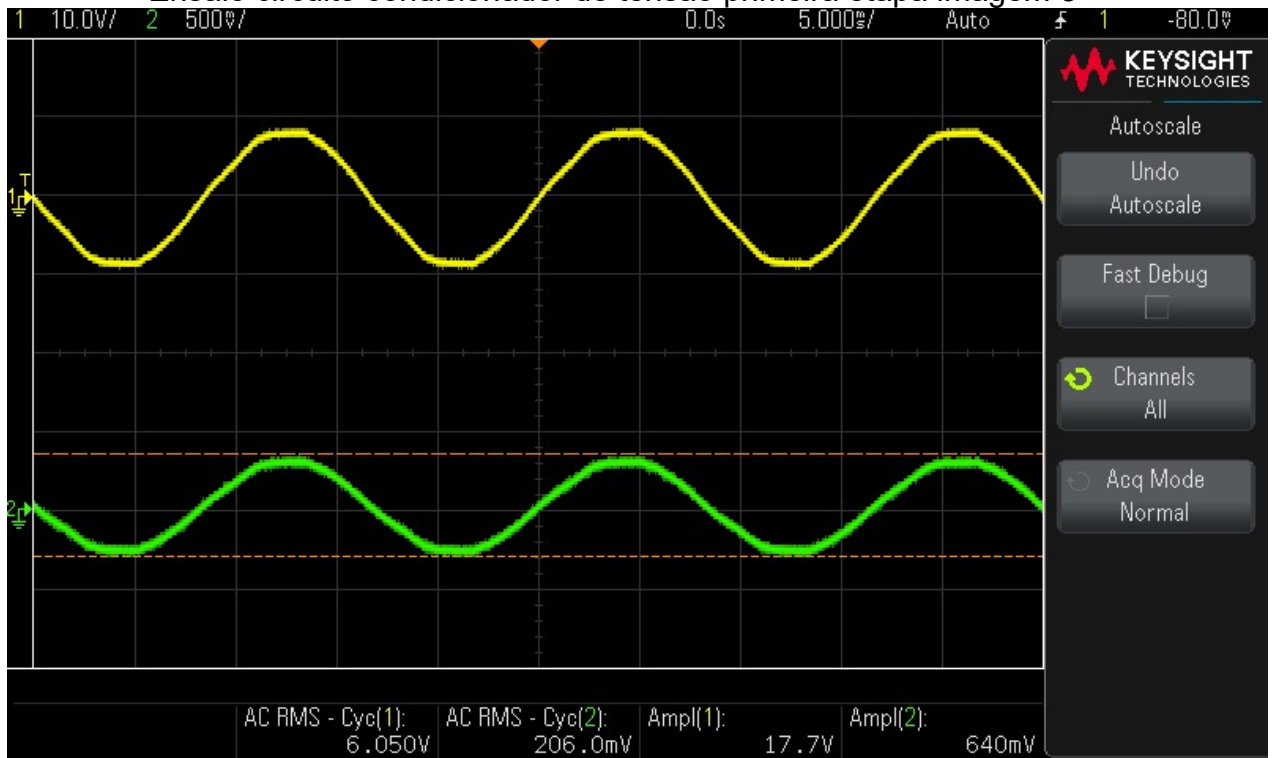
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 7



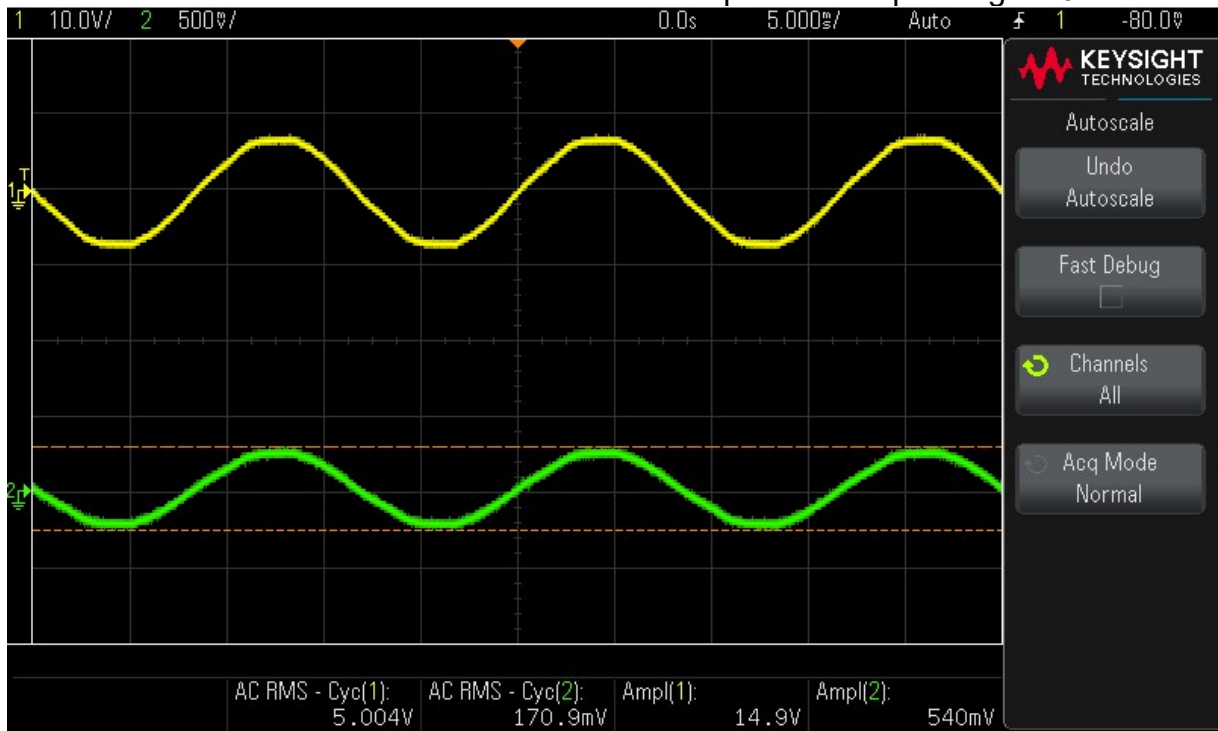
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 8



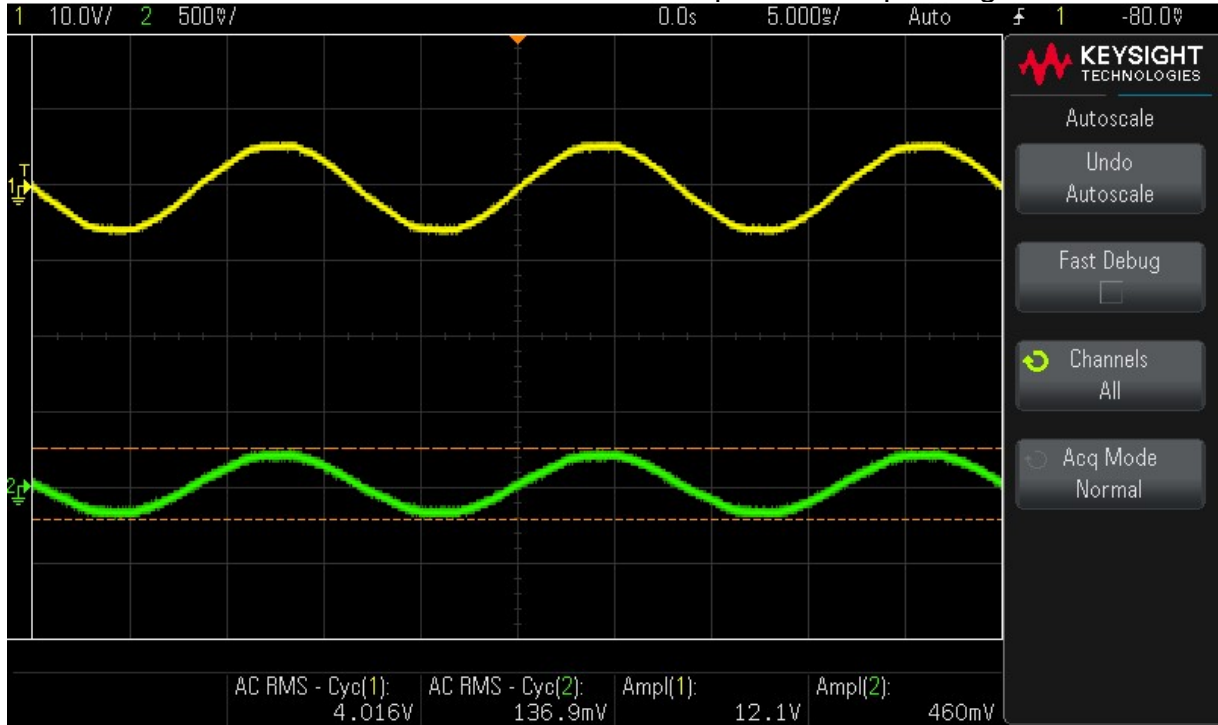
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 9



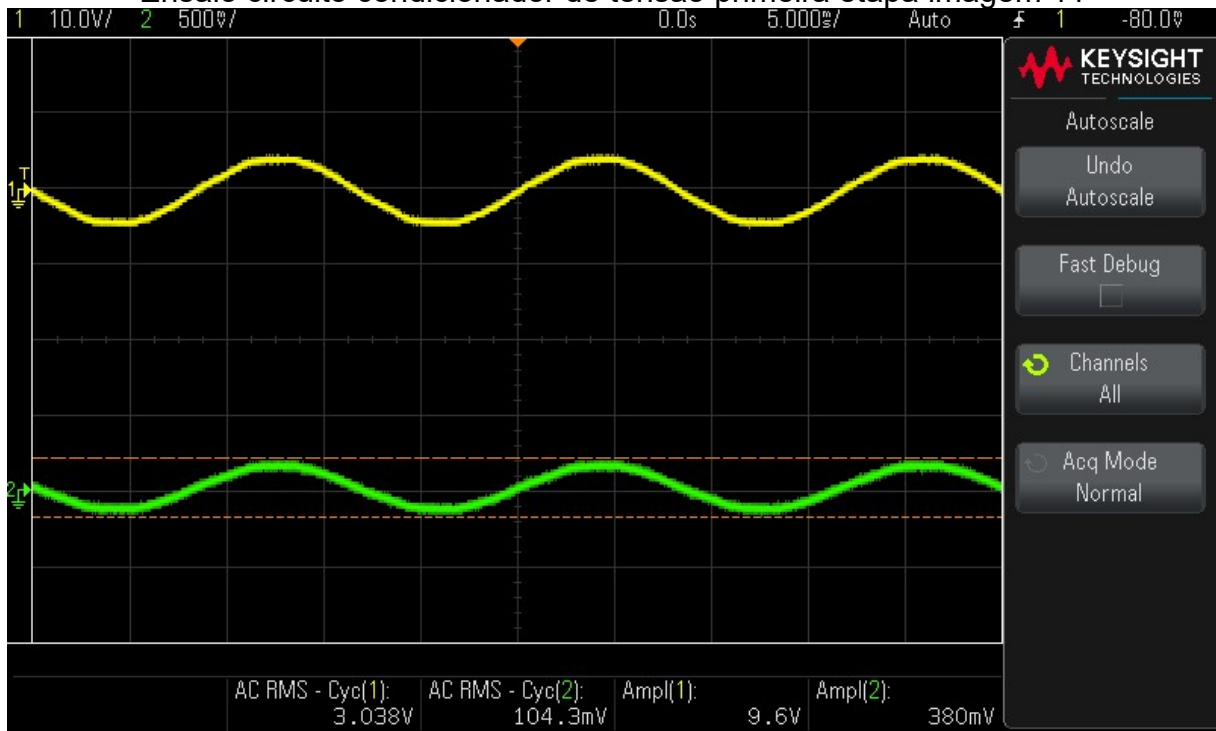
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 10



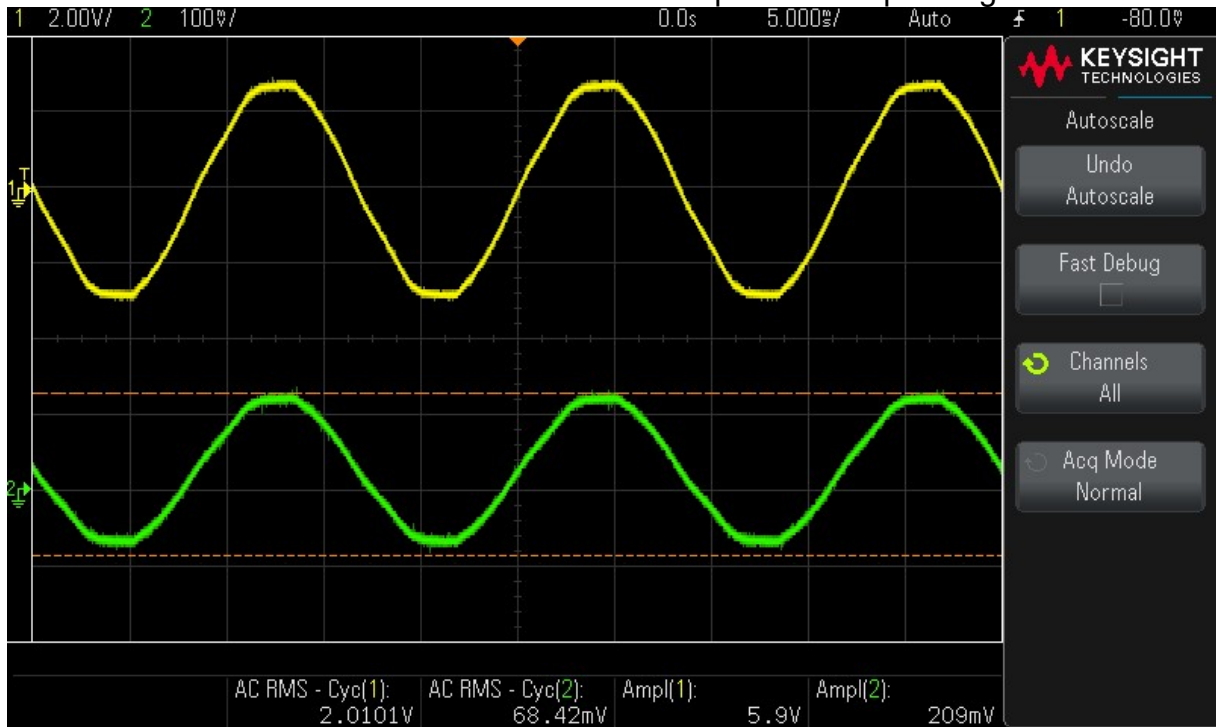
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 11



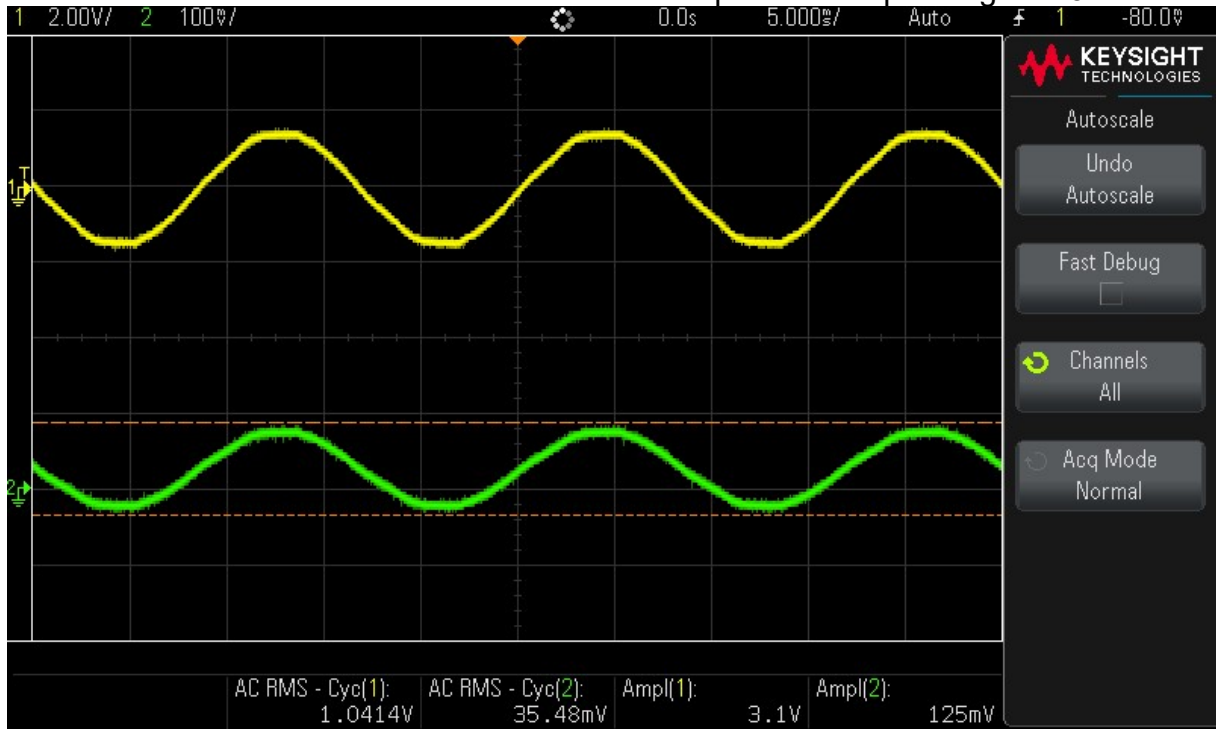
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 12



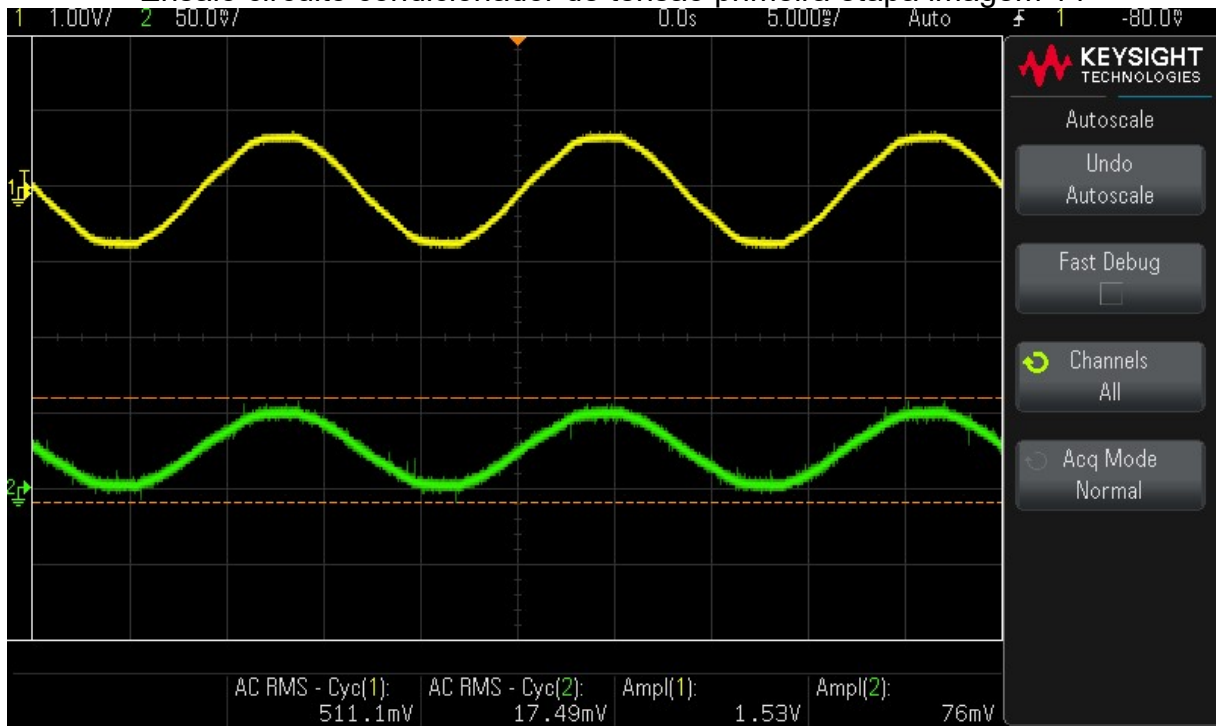
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 13



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

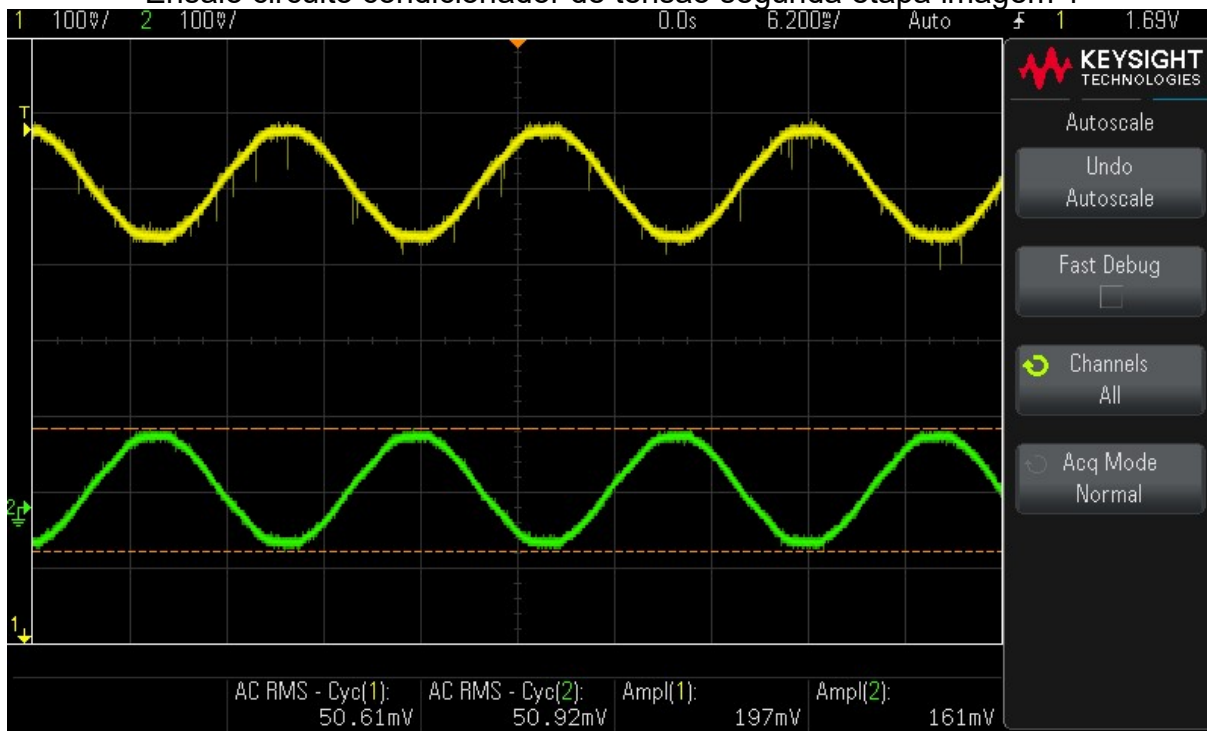
Ensaio circuito condicionador de tensão primeira etapa imagem 14



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

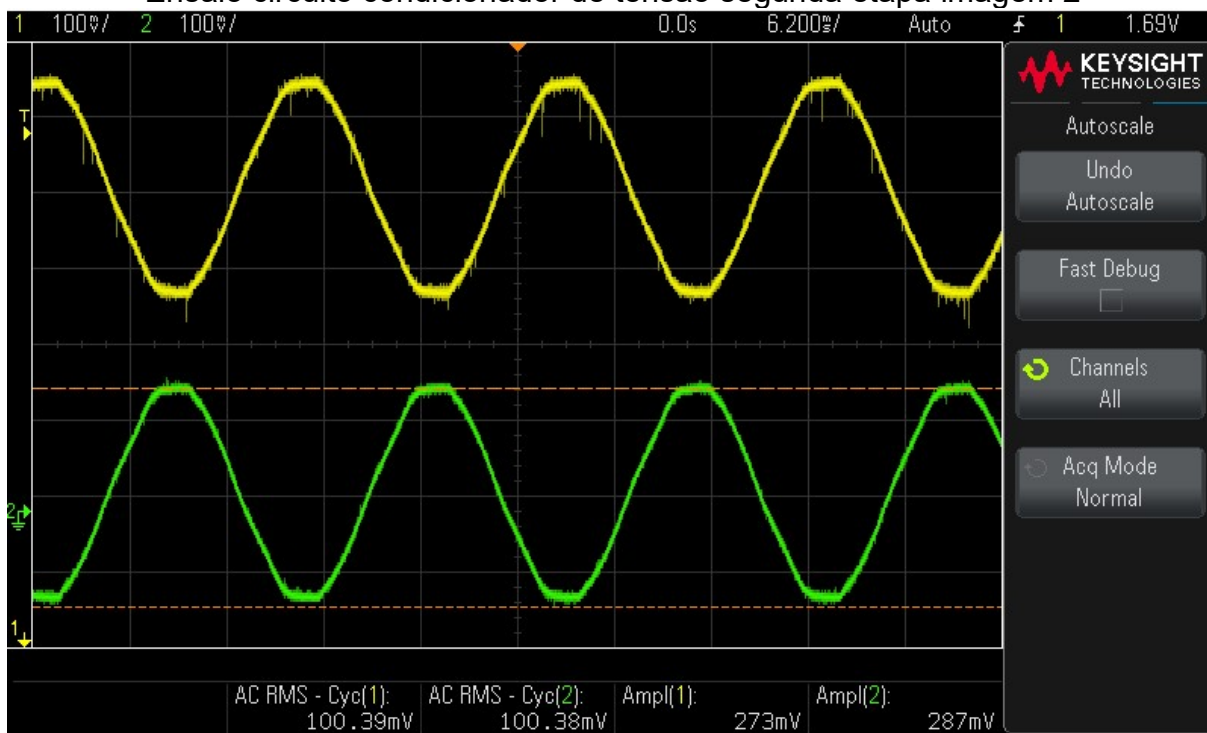
APÊNDICE C – ENSAIO CIRCUITO CONDICIONADOR DE TENSÃO SEGUNDA ETAPA

Ensaio circuito condicionador de tensão segunda etapa imagem 1



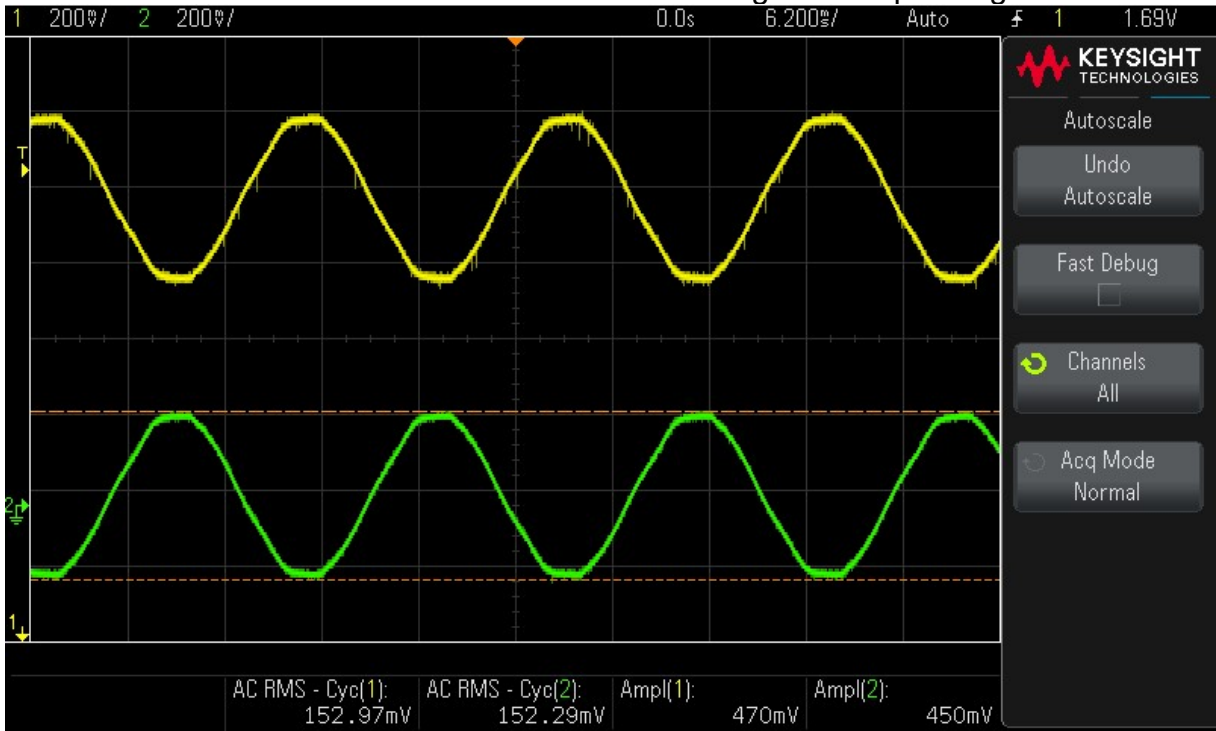
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão segunda etapa imagem 2



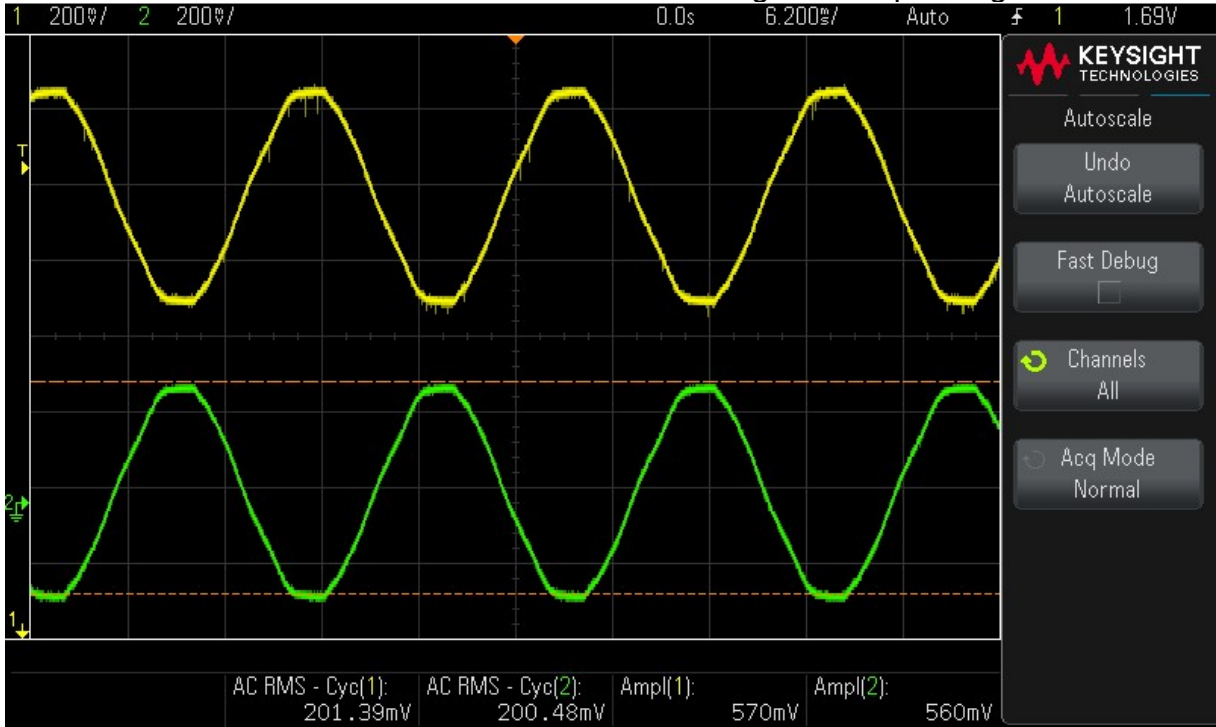
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão segunda etapa imagem 3



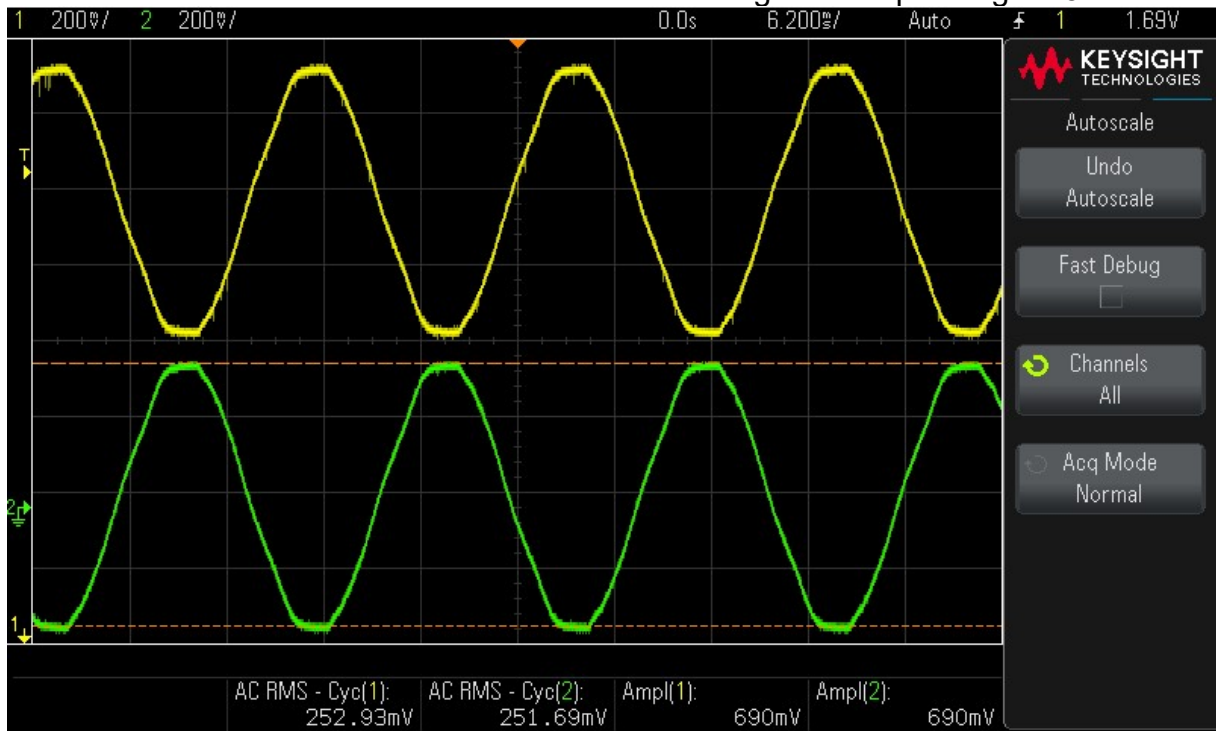
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão segunda etapa imagem 4



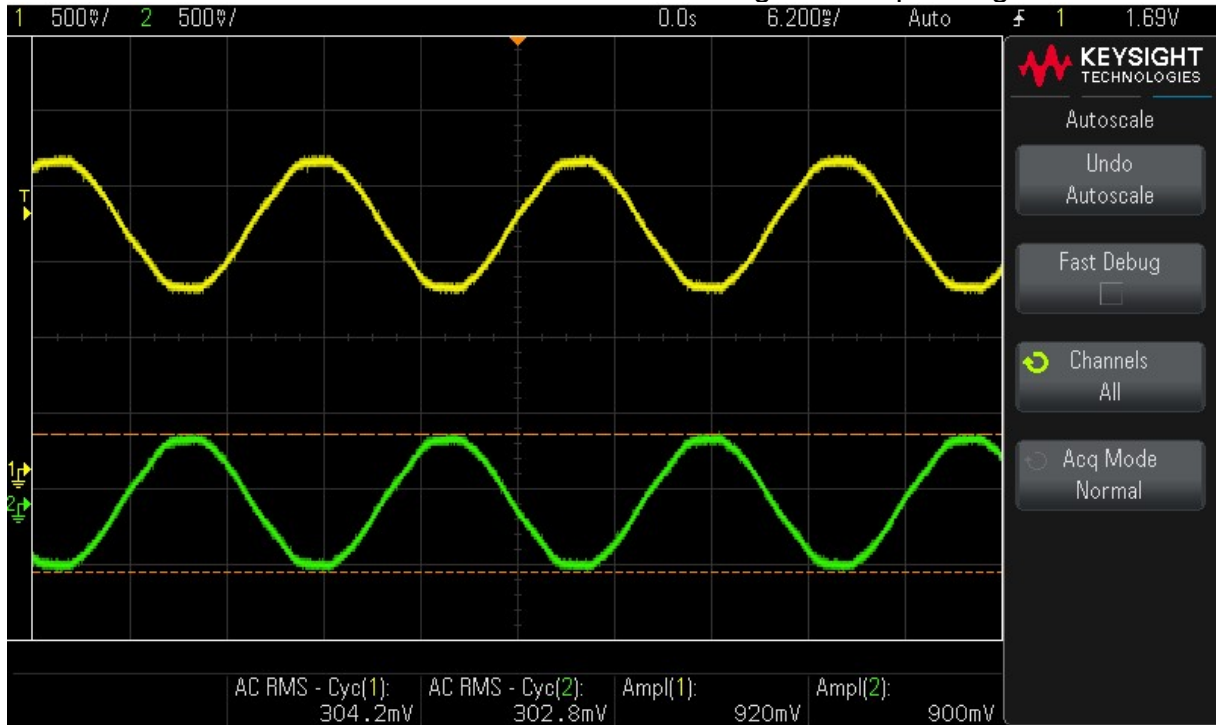
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão segunda etapa imagem 5



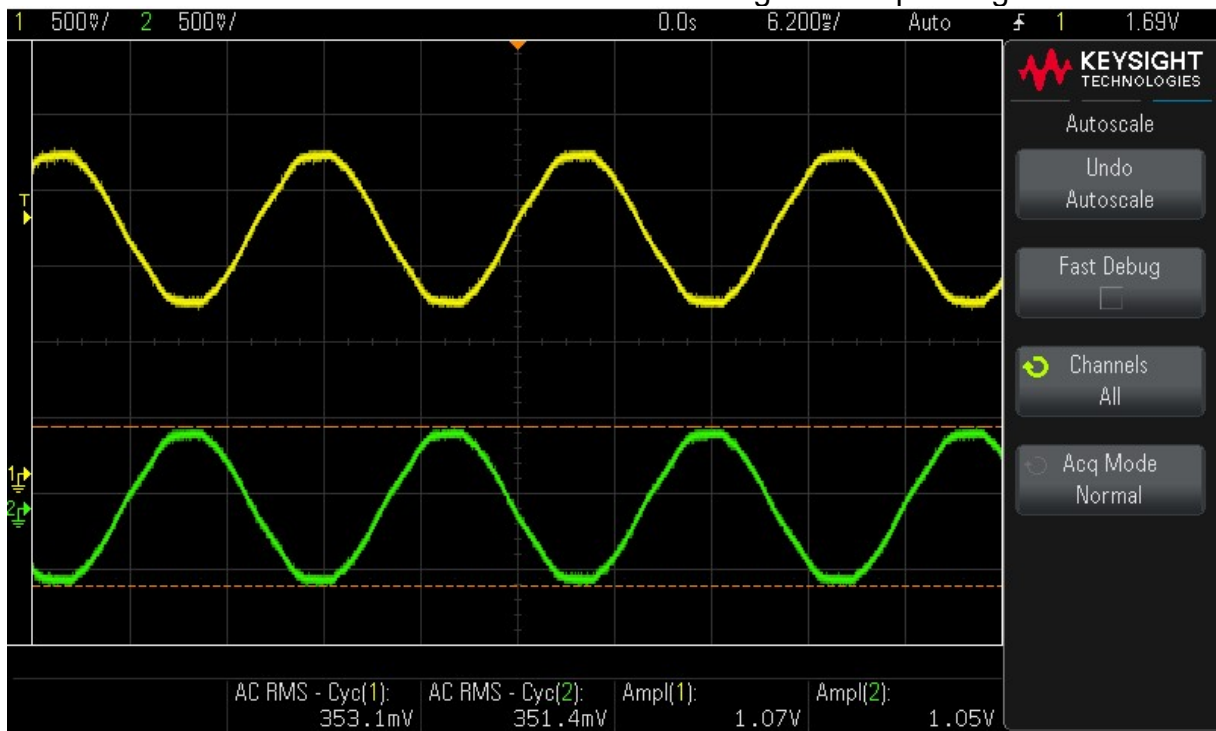
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão segunda etapa imagem 6



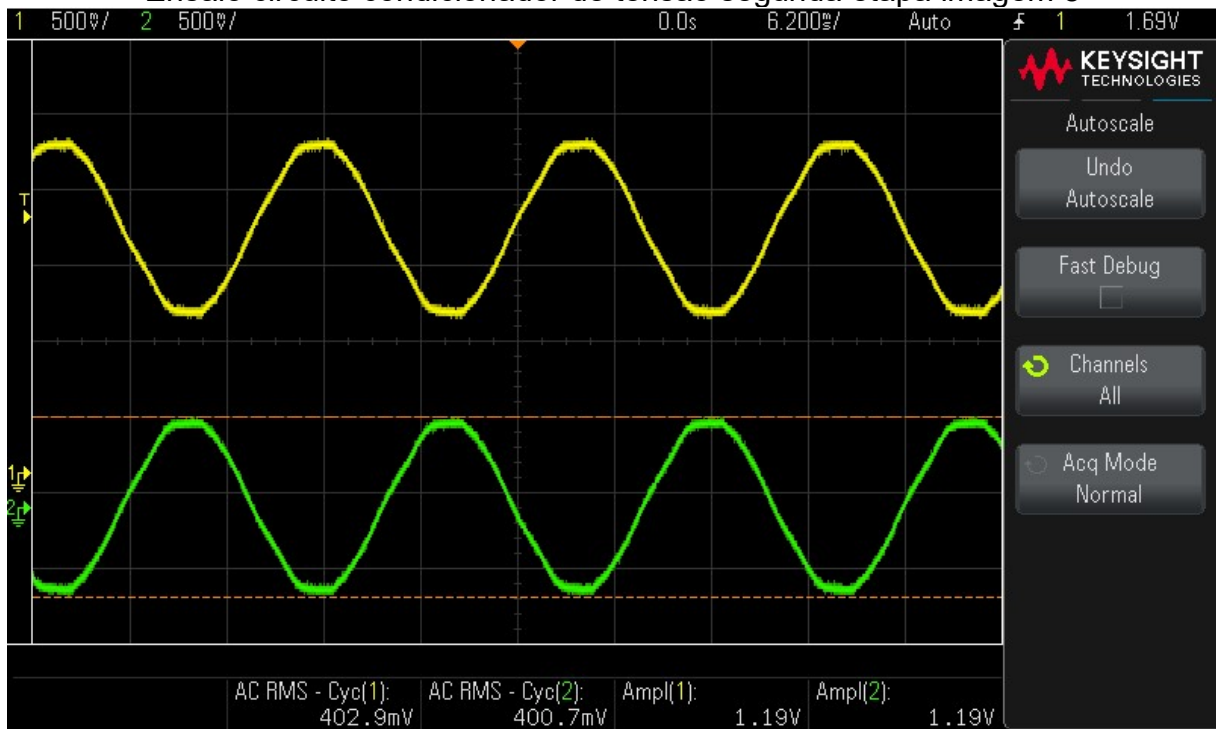
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão segunda etapa imagem 7



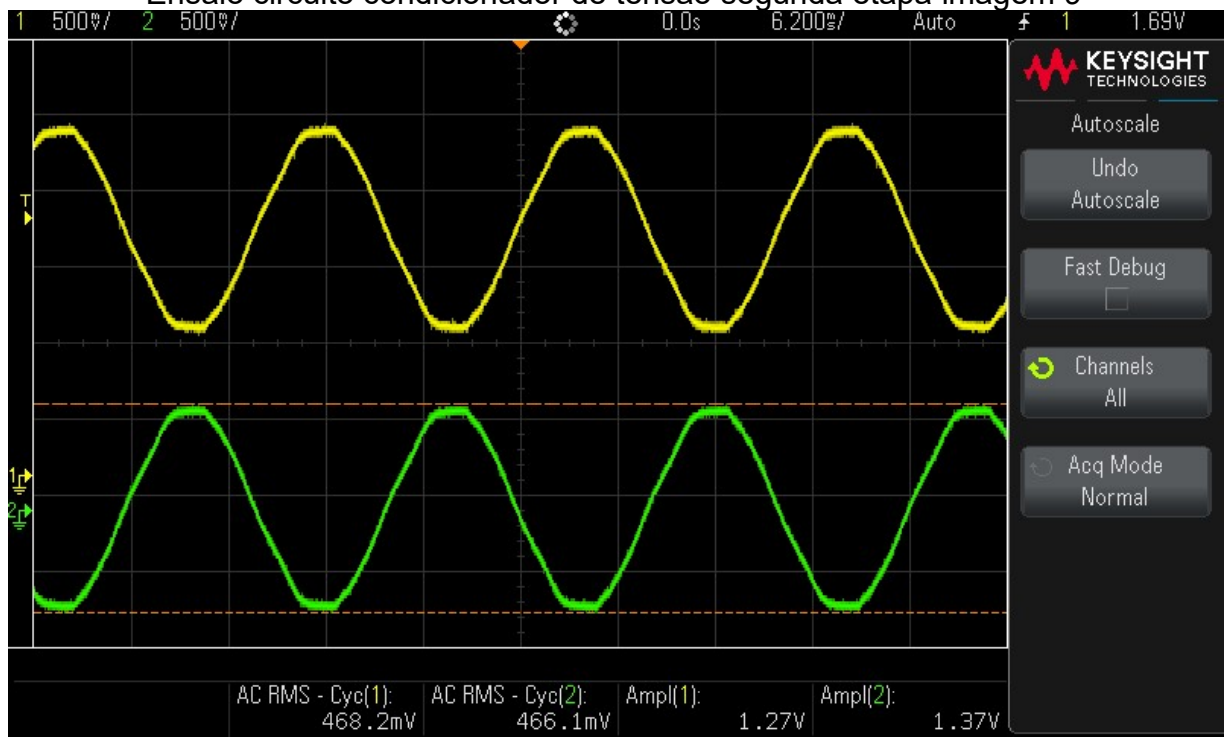
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de tensão segunda etapa imagem 8



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

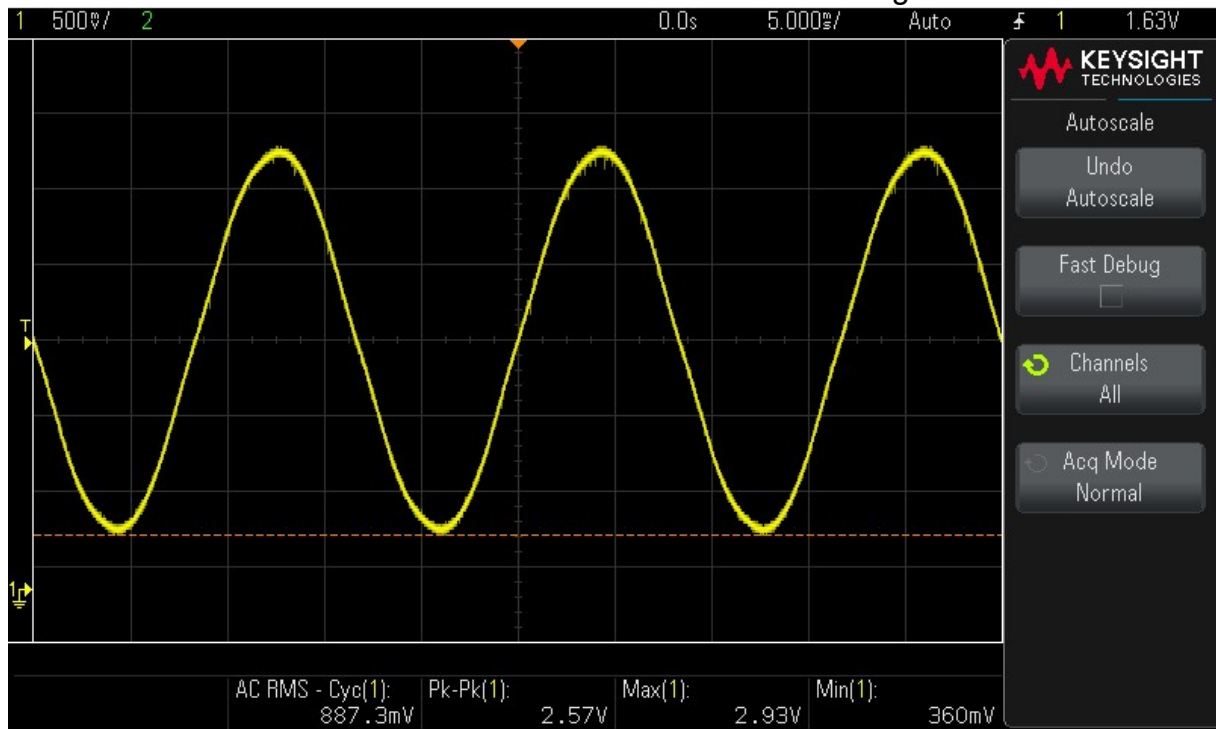
Ensaio circuito condicionador de tensão segunda etapa imagem 9



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

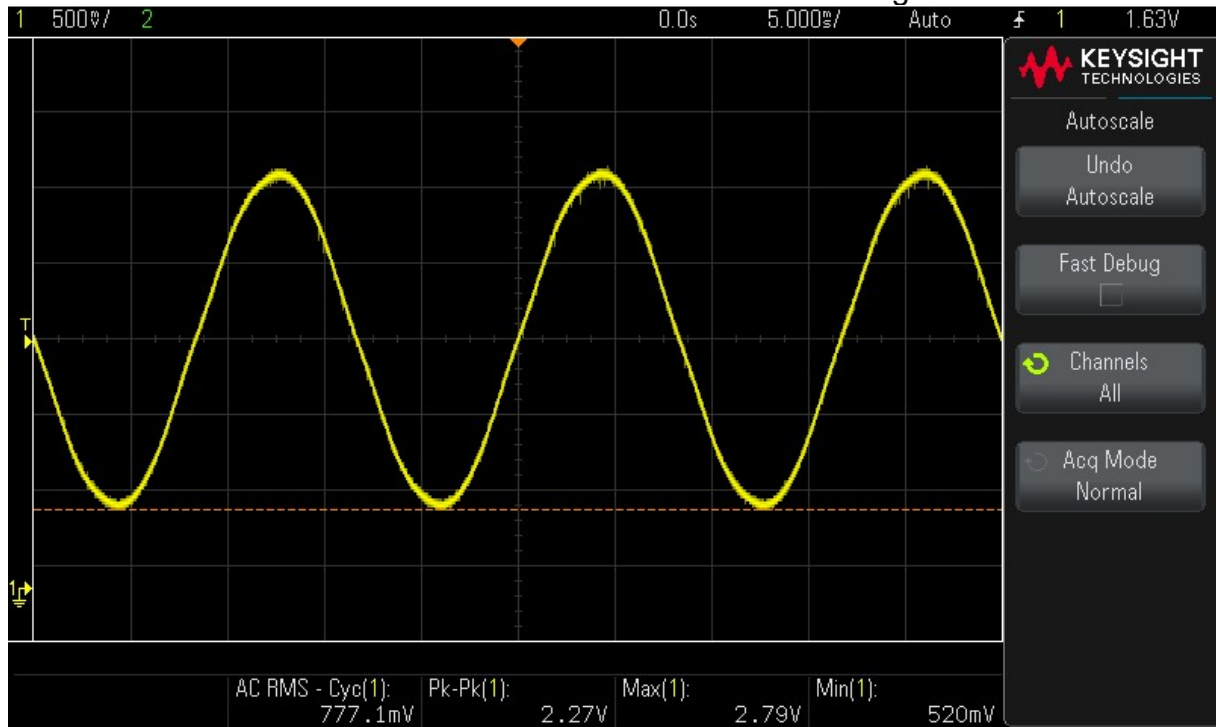
APÊNDICE D – ENSAIO CIRCUITO CONDICIONADOR DE CORRENTE

Ensaio circuito condicionador de corrente imagem 1



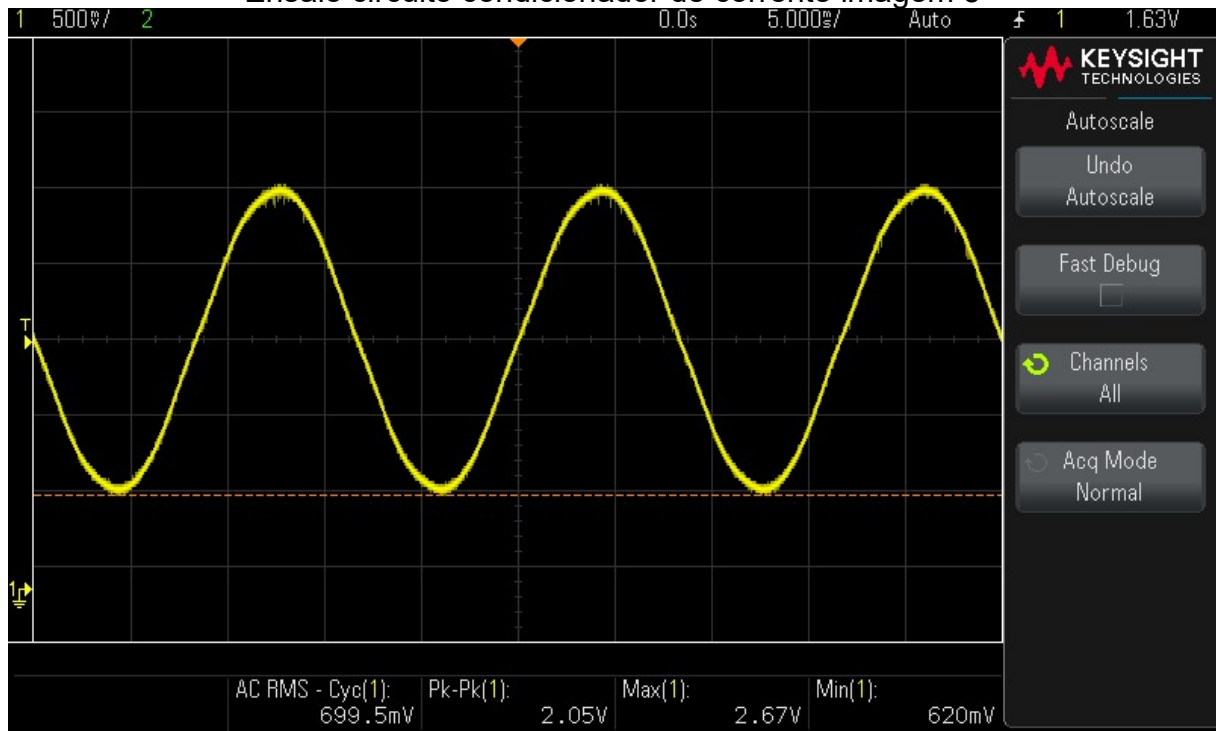
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de corrente imagem 2



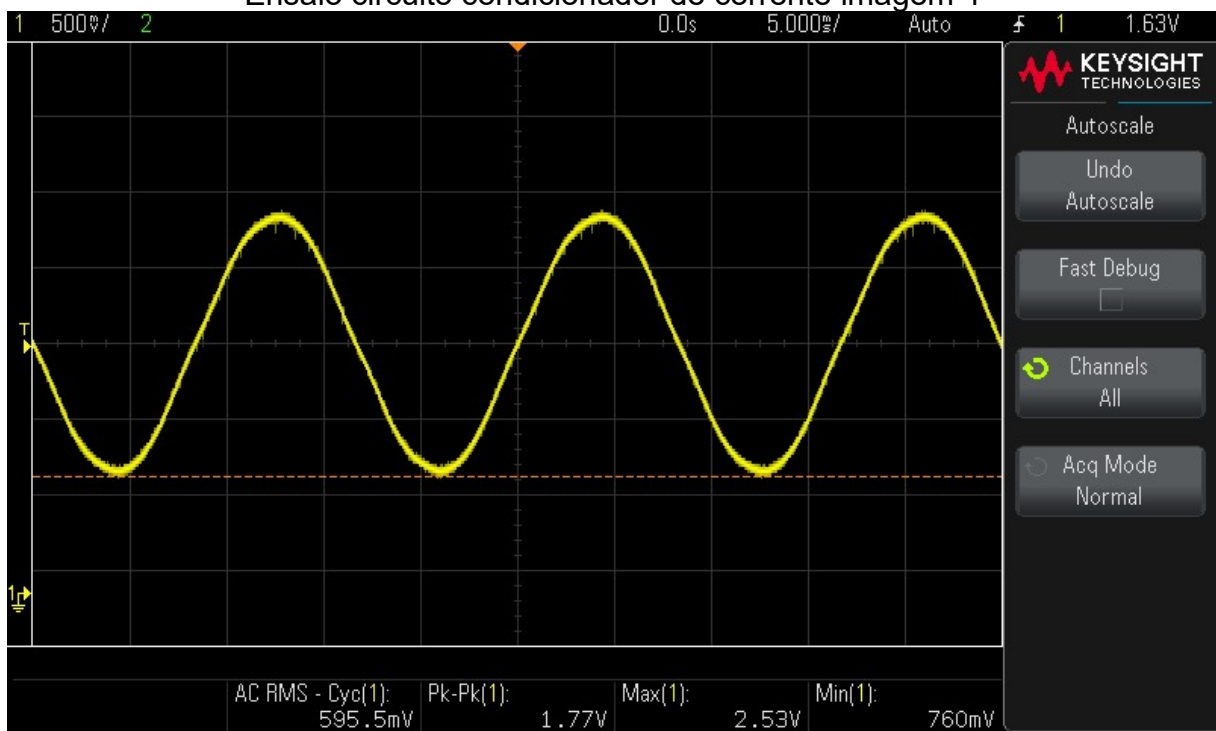
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de corrente imagem 3



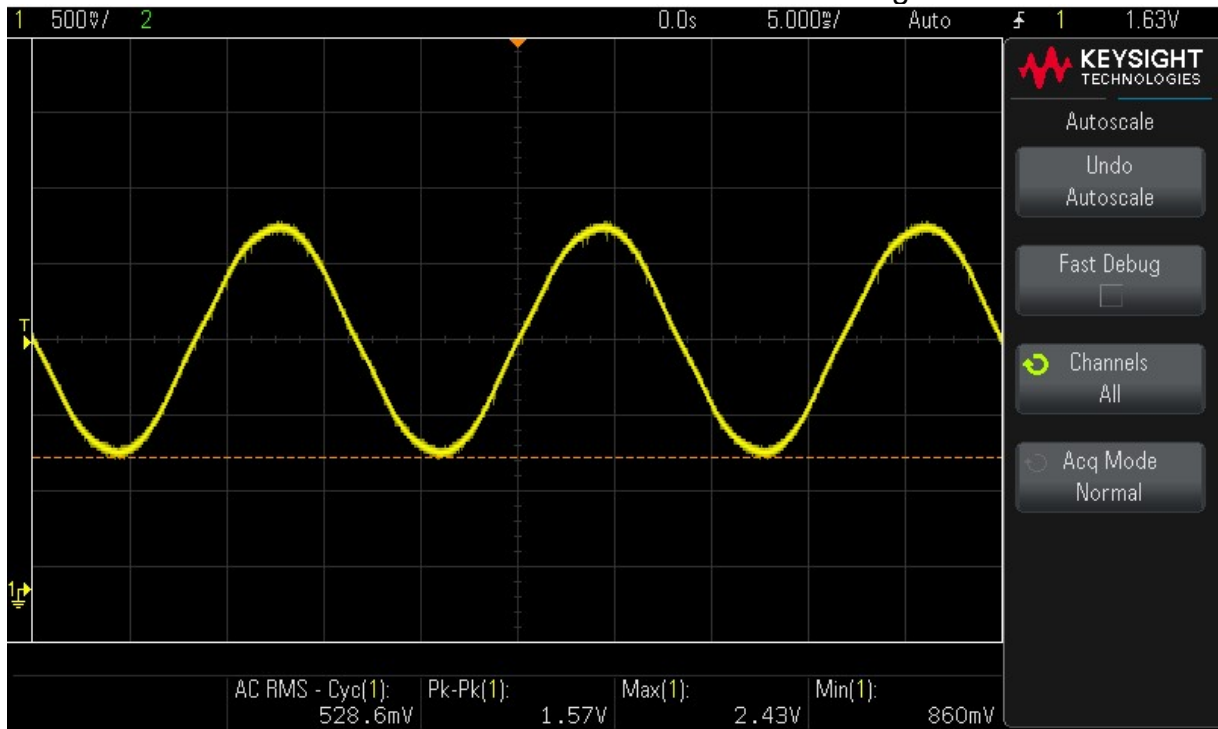
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de corrente imagem 4



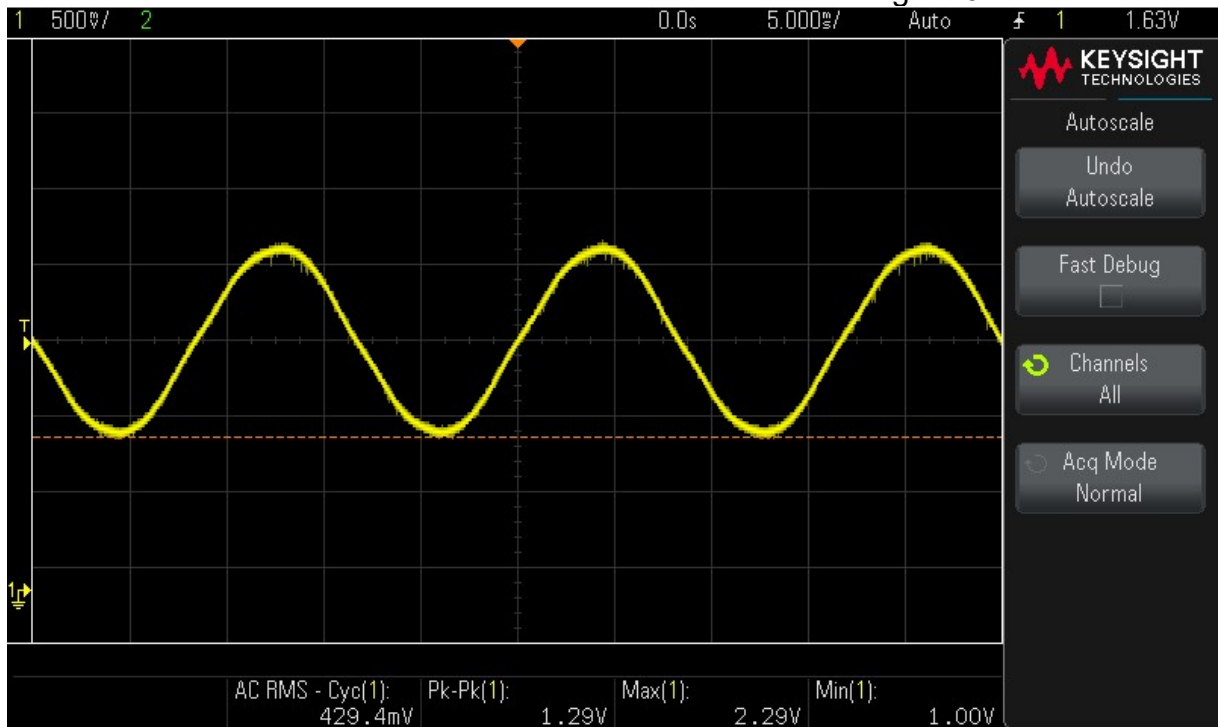
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de corrente imagem 5



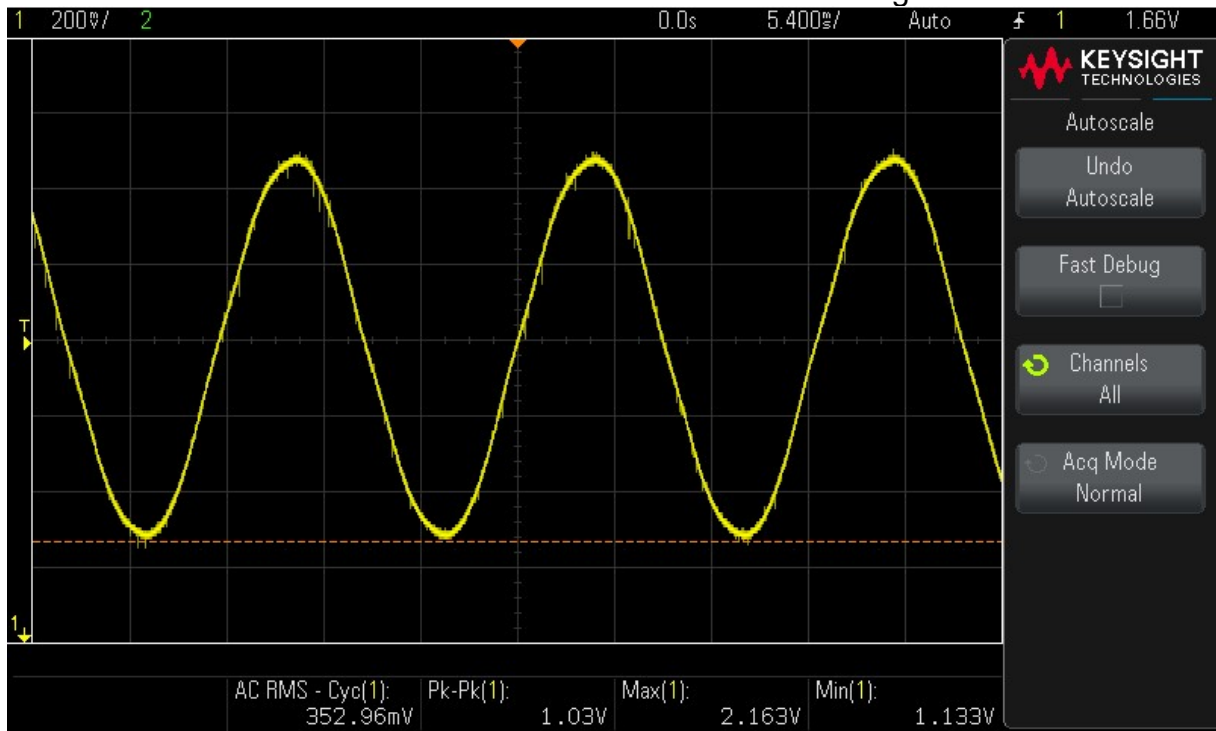
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de corrente imagem 6



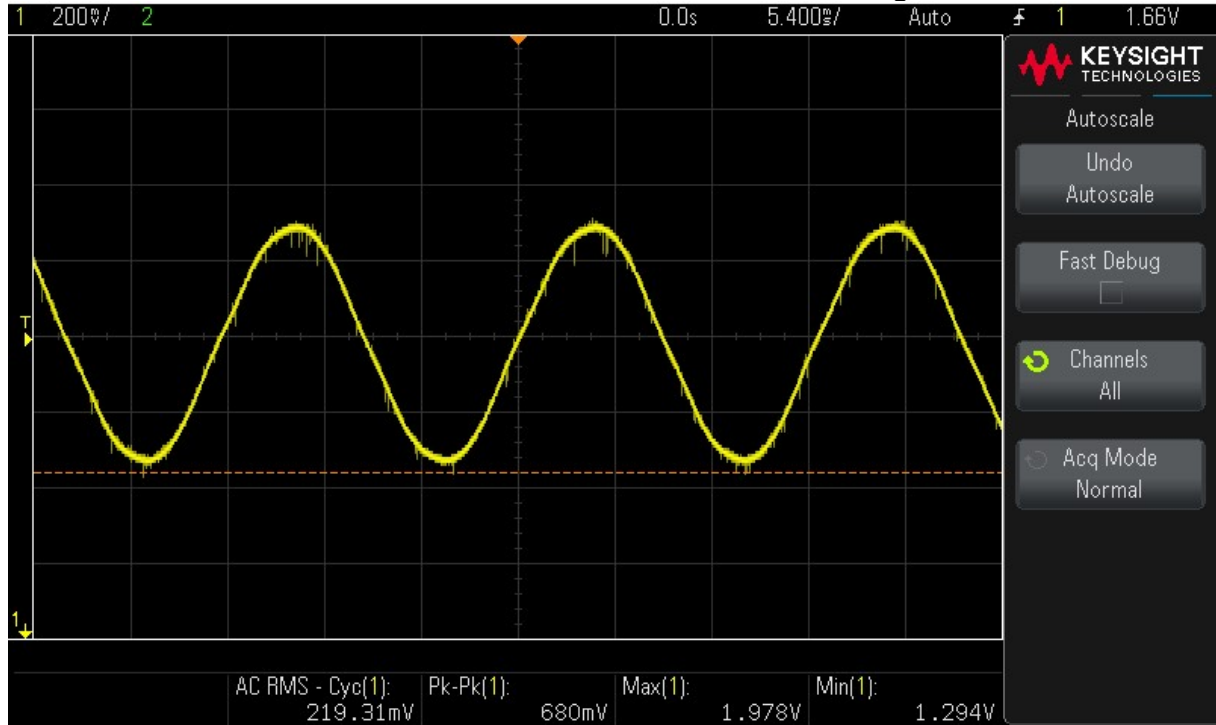
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de corrente imagem 7



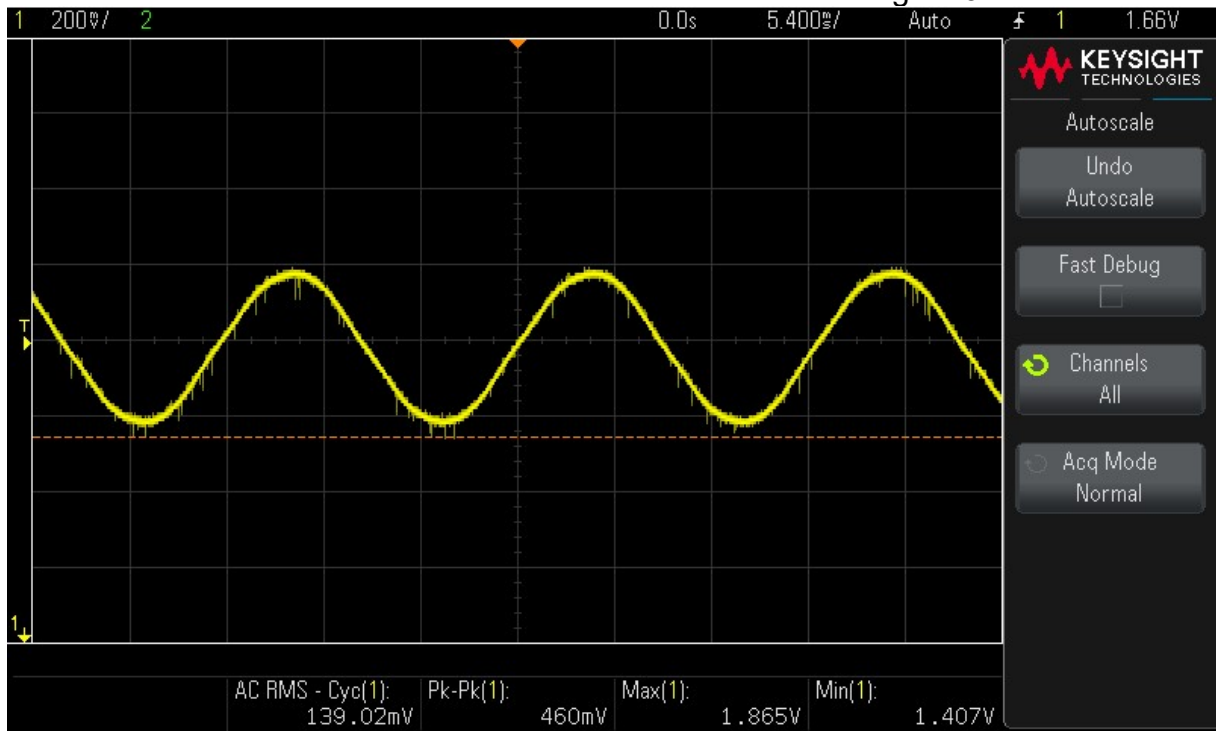
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de corrente imagem 8



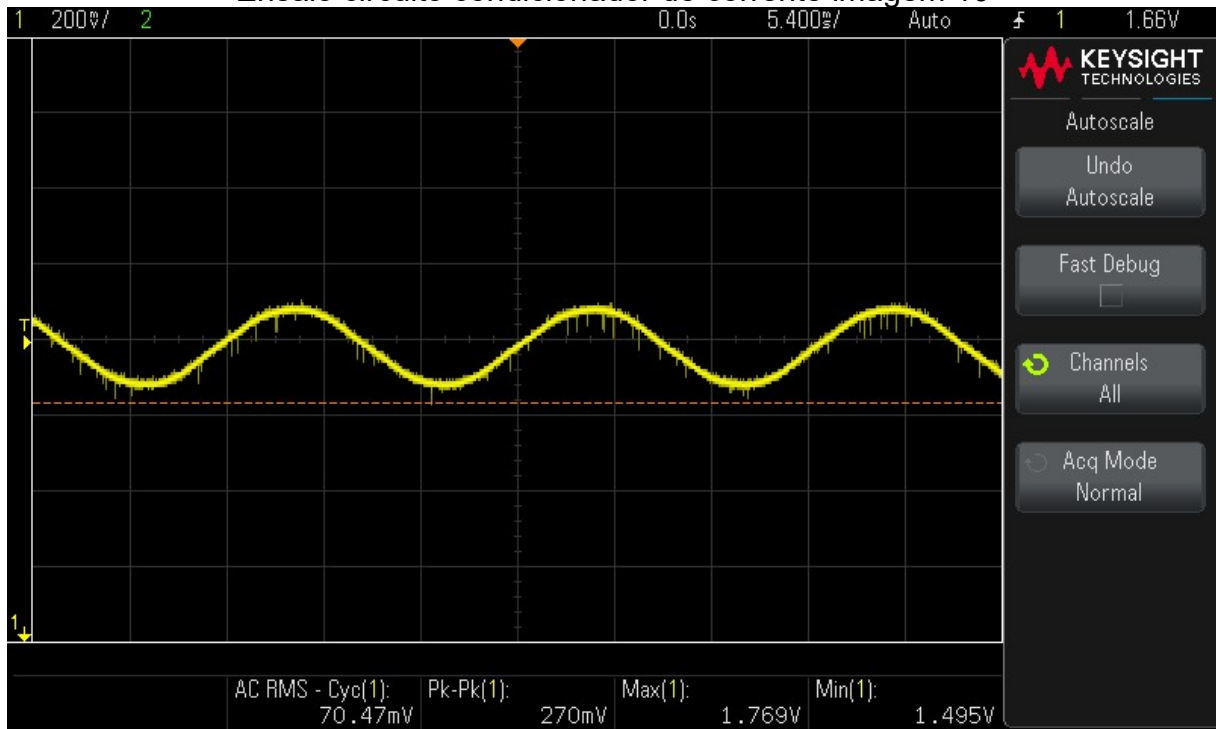
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de corrente imagem 9



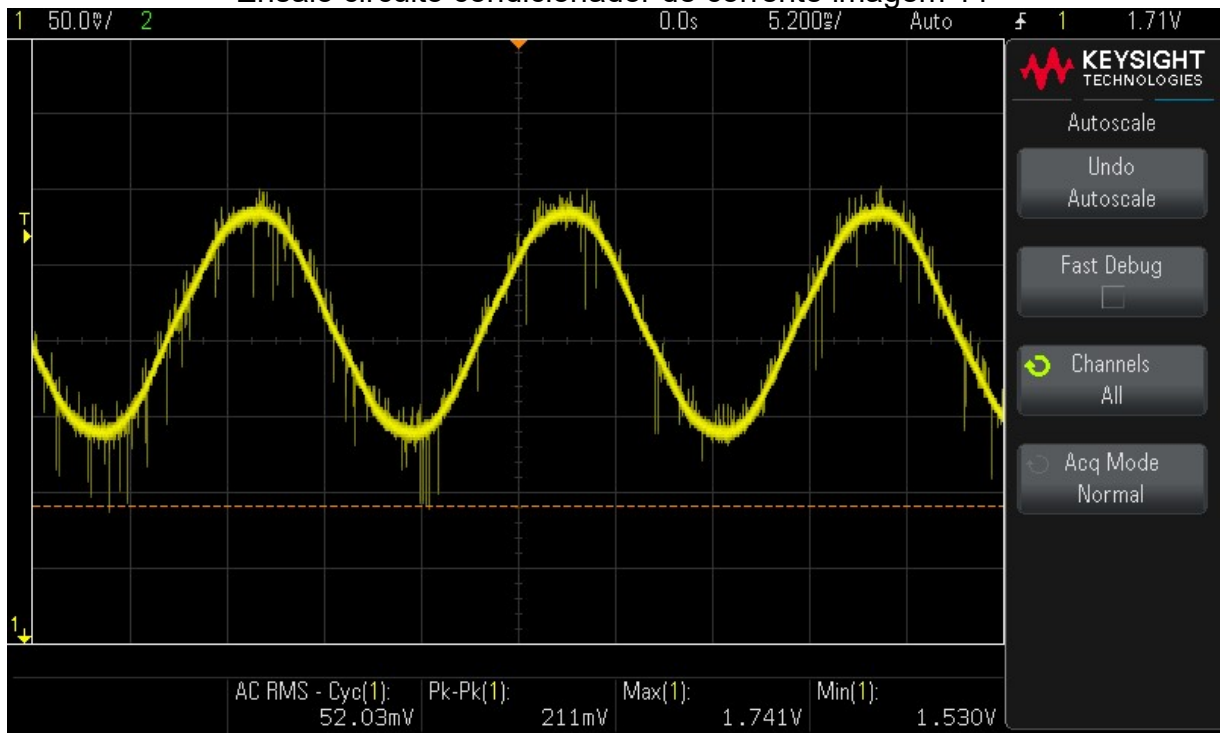
Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de corrente imagem 10



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

Ensaio circuito condicionador de corrente imagem 11



Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS SCT013-100

Split core current transformer

Model: SCT-013
Rated input current: 5A/100A

Characteristics: Opening size: 13mm*13mm,
 Non-linearity±3% (10%—120% of rated input current)
 1m leading wire, standard Φ3.5 three core plug output.
 Current output type and voltage output type (voltage output type built-in sampling resistor)


Purpose: Used for current measurement, monitor and protection for AC motor, lighting equipment, air compressor etc

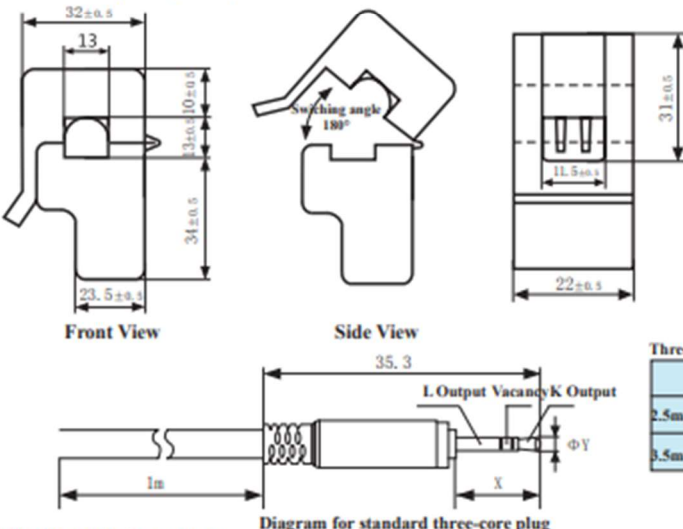
Core material: ferrite

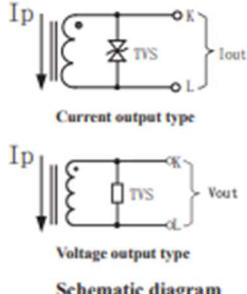
Mechanical strength: the number of switching is not less than 1000 times(test at 25°C)

Safety index: Dielectric strength(between shell and output)1000V AC/1min
 Fire resistance property: In accordance with UL94-Vo
 Work temperature: -25°C~+70°C

Outline size diagram: (in mm)







Schematic diagram

Three-core plug size

	X	Y	
2.5mm Audio Plug	11.9	2.5	Optional
3.5mm Audio Plug	15.0	3.5	standard

Table of technical parameter:

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output type	0-50mA	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-000V
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	0-100A
Output type	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V	0-1V

※ Output type: voltage output type built-in sampling resistor, current output type built-in protective diode.

Tel: 86-13933609279 Fax: 86-7929499-804 skype:macymeng1
 Web (China): www.yhdc.com Web (Latvia): www.yhdc.lv

ANEXO B – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS EDUX-1002G

17 | Keysight | InfiniVision 1000 X-Series Oscilloscopes - Data Sheet

Performance Characteristics

Oscilloscopes overview

	EDUX1002A/EDUX1002G	DSOX1102A/DSOX1102G
Bandwidth (-3 dB) ^{1,2}	50 MHz	70 MHz 100 MHz with option DSOX1B7T102
Calculated rise time (10 to 90%)	≤ 7 ns	≤ 5 ns ≤ 3.5 ns (100 MHz model)
Input channels	2	2
Maximum sample rate	1 GSa/s	2 GSa/s
Maximum memory depth	100 kpts	1 Mpts
Waveform update rate	≥ 50,000 waveforms/sec	≥ 50,000 waveforms/sec

Vertical system analog channels

	EDUX1002A/EDUX1002G	DSOX1102A/DSOX1102G
Input coupling	DC, AC (10 Hz cutoff frequency)	DC, AC (10 Hz cutoff frequency)
Input impedance/capacitance	1 MΩ ± 2%/16 pF ± 3 pF	1 MΩ ± 2%/16 pF ± 3 pF
Input sensitivity range ³	500 μV/div to 10 V/div	500 μV/div to 10 V/div
Standard probes	N2142A 1/10 switchable 75 MHz (2 included)	N2140A 1/10 switchable 200 MHz (2 included)
Probe attenuation factor	0.1X to 1000X in 1-2-5 sequence; (-20 dB to +80 dB in 0.1 dB steps)	0.1X to 1000X in 1-2-5 sequence; (-20 dB to +80 dB in 0.1 dB steps)
Hardware bandwidth limits	Approximately 20 MHz (selectable)	Approximately 20 MHz (selectable)
Vertical resolution	8 bits	8 bits
Invert signal	Selectable	Selectable
Maximum input voltage	150 Vrms, 200 Vpk	150 Vrms, 200 Vpk
DC vertical accuracy	± [DC vertical gain accuracy + DC vertical offset accuracy + 0.25% full scale]	± [DC vertical gain accuracy + DC vertical offset accuracy + 0.25% full scale]
DC vertical gain accuracy ¹	+3% full scale (> 10 mV/div) +4% full scale (< 10 mV/div)	+3% full scale (> 10 mV/div) +4% full scale (< 10 mV/div)
DC vertical offset accuracy	± 0.1 div ± 2 mV ± 1% of offset setting	± 0.1 div ± 2 mV ± 1% of offset setting
Skew	Channel to channel: 1 ns (without deskew) Channel to external: 2 ns (without deskew)	Channel to channel: 1 ns (without deskew) Channel to external: 2 ns (without deskew)
Offset range	500 uV/div to 200 mV/div: +2 V > 200 mV/div to 10 V/div: +100 V	500 uV/div to 200 mV/div: +2 V > 200 mV/div to 10 V/div: +100 V

1. Denotes warranted specifications; All others are typical. Specifications are valid after a 30-minute warm-up period and from ± 10 °C user calibration temperature.
2. For 1 mV/div to 10 V/div settings. Bandwidth is 20 MHz at the 500 μV/div setting.
3. 500 μV/div is a magnification of 1 mV/div setting.

Fonte: Keysight (2020).

ANEXO C – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS ALICATE AMPERIMETRO FLUKE

302

Especificações: Fluke 302+ - Alicate amperímetro		
Especificações técnicas		
Corrente CA	Faixa	400,0 A
	Precisão	1,8% ±5
Tensão CA	Faixa	400/600
	Precisão	1,5% ±5
Tensão CC	Faixa	400/600
	Precisão	1,5% ±5
Faixa CC mV		-
Resistência	Faixa	4000 Ω
	Precisão	1% ±5
Continuidade		≤ 70 Ω
Visor com iluminação de fundo		Sim
Retenção de dados		Sim
Tamanho	A x L x P (mm)	208 x 58,5 x 28
	Tamanho da garra	30 mm
Classificação de segurança		CAT III 600 V
Temperatura		0 °C a 40 °C
Taxa de atualização da tela		> 2 vezes por segundo
Terminais de teste		TL75
Tipo de		2 pilhas AAA
Garantia		2 anos

Fonte: Fluke (2013).

ANEXO D – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS MULTIMETRO FLUKE 117

Especificações de precisão		
Milivolts DC	Gama:	600,0 mV
	Resolução:	0,1 mV
	Precisão:	\pm ([% da leitura] + [contagens]): 2,0% + 3
Volts DC	Gama/Resolução:	6,000 V / 0,001 V
	Gama/Resolução:	60,00 V / 0,01 V
	Gama/Resolução:	600,00 V / 0,1 V
Detecção automática de volts	Gama:	600,0 V
	Resolução:	0,1 V
	Precisão:	2,0% + 3 (DC, 45 Hz a 500 Hz) 4,0% + 3 (500 Hz a 1 kHz)
Milivolts AC ¹ True RMS	Gama:	600,0 mV
	Resolução:	0,1 mV
	Precisão:	1,0% + 3 (DC, 45 Hz a 500 Hz) 2,0% + 3 (500 Hz a 1 kHz)
Volts AC ¹ True RMS	Gama/Resolução:	6,000 V / 0,001 V
	Gama/Resolução:	60,00 V / 0,01 V
	Gama/Resolução:	600,0 V / 0,1 V
	Precisão:	1,0% + 3 (DC, 45 Hz a 500 Hz) 2,0% + 3 (500 Hz a 1 kHz)

Fonte: Fluke (2020).

ANEXO E – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS MULTIMETRO FLUKE 15B+

Especificações: Multímetro digital Fluke 15B+

Especificações de precisão

A precisão é especificada para um ano após a calibração, em temperaturas operacionais de 18°C a 28°C e umidade relativa de 0% a 75%. As especificações de precisão são na forma de: $\pm(\%$ de leitura + número de dígitos menos significativos).

Função	Faixa	Resolução	Precisão
Tensão AC (40 Hz a 500 Hz) ¹	4,000 V	0,001 V	1,0% + 3
	40,00 V	0,01 V	
	400,0 V	0,1 V	
	1000 V	1 V	
Tensão DC	4,000 V	0,001 V	0,5% + 3
	40,00 V	0,01 V	
	400,0 V	0,1 V	
	1000 V	1 V	
Milivolts AC	400,0 mV	0,1 mV	3,0% + 3
Milivolts DC	400,0 mV	0,1 mV	1,0% + 10

Fonte: Fluke (2020).

ANEXO F – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS VARIAC JNG TDGC2-2KVA



Especificações Técnicas

Modelo	Tensão Nominal Entrada	Potencia Nominal	Tensão de Saída	Corrente Nominal Saída
TDGC2-0,5	127Vca	0,25 kVA	0 ~ 140Vca	2 A
	220Vca	0,5 kVA	0 ~ 250Vca	
TDGC2-1	127Vca	0,5 kVA	0 ~ 140Vca	4 A
	220Vca	1 kVA	0 ~ 250Vca	
TDGC2-2	127Vca	1 kVA	0 ~ 140Vca	8 A
	220Vca	2 kVA	0 ~ 250Vca	
TDGC2-3	127Vca	1,5 kVA	0 ~ 140Vca	12 A
	220Vca	3 kVA	0 ~ 250Vca	
TDGC2-5	127Vca	2,5 kVA	0 ~ 140Vca	20 A
	220Vca	5 kVA	0 ~ 250Vca	
TDGC2-10	127Vca	5 kVA	0 ~ 140Vca	40 A
	220Vca	10 kVA	0 ~ 250Vca	
TDGC2-15	127Vca	7,5 kVA	0 ~ 140Vca	60 A
	220Vca	15 kVA	0 ~ 250Vca	
TDGC2-20	127Vca	10 kVA	0 ~ 140Vca	80 A
	220Vca	20 kVA	0 ~ 250Vca	
TDGC2-30	127Vca	15 kVA	0 ~ 140Vca	120 A
	220Vca	30 kVA	0 ~ 250Vca	

OBS.: Rigidez Dielétrica: 1500V/1 min.
Resistência de Isolação: (5MΩ- Monofásico e 2MΩ – Trifásico)

Modelo	Tensão Nominal Entrada	Potencia Nominal	Tensão de Saída	Corrente Nominal Saída
TSGC2-1,5	220Vca	0,75 kVA	0 ~ 250Vca	3 A
	380Vca	1,5 kVA	0 ~ 430Vca	
TSGC2-3	220Vca	1,5 kVA	0 ~ 250Vca	4 A
	380Vca	3 kVA	0 ~ 430Vca	
TSGC2-6	220Vca	3 kVA	0 ~ 250Vca	8 A
	380Vca	6 kVA	0 ~ 430Vca	
TSGC2-9	220Vca	4,5 kVA	0 ~ 250Vca	12 A
	380Vca	9 kVA	0 ~ 430Vca	
TSGC2-15	220Vca	7,5 kVA	0 ~ 250Vca	20 A
	380Vca	15 kVA	0 ~ 430Vca	
TSGC2-20	220Vca	10 kVA	0 ~ 250Vca	27 A
	380Vca	20 kVA	0 ~ 430Vca	
TSGC2-30	220Vca	15 kVA	0 ~ 250Vca	40 A
	380Vca	30 kVA	0 ~ 430Vca	

OBS.: Rigidez Dielétrica: 1500Vcc/min.
Resistência de Isolação: (5MΩ- Monofásico e 2MΩ – Trifásico).

Fonte: JNG (2020).

ANEXO G – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ANALISADOR DE ENERGIA DMI MP1500

ISSO



Características do DMI



A: Entrada para cartão SIM.
B: LED indicador de status da conexão 3G.
C: TCs de 1000/5A tipo alicate.
D: Display azul de 20x4 caracteres
E: Entrada para sensor de temperatura que acompanha o DMI..
F: Conexão de rede Ethernet LAN - RJ45.
G: Entradas para TCs de 1000/5A que acompanham o DMI.
H: Entrada para garras de referência de tensão que acompanham o DMI.
I: Botão liga/desliga.

Grandeza medida	Faixa	Precisão	Resolução ¹
Tensão ²	0 ~ 300V	± 1%	1V * 0,01V **
Corrente	0 ~ TC	± 1% (≥2,5A)	0,01A
Potência aparente	—	± 1%	0,01VA
Potência ativa	—	± 1%	0,01W
Potência reativa ³	—	± 1%	0,01var
Fator de potência	0 ~ 1	± 1%	0,01
Frequência	40 ~ 69 Hz	± 1%	1Hz

¹ Resolução referente ao display LCD, interface web e datalog.
 Resolução interna disponibilizada via API: 6 dígitos.
² Máxima tensão entre qualquer terminal de tensão e neutro ou terra.
³ Precisão válida para cargas lineares.
 * Widgets do sistema na nuvem/datalog.
 ** Gráficos do sistema na nuvem/datalog.

Pág. 4

Fonte: JNG (2020).