

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

ANDRÉ FERACIN

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO PARA  
MÓDULOS DE SERVOMECANISMOS EM CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2017

ANDRE FERACIN

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO PARA  
MÓDULOS DE SERVOMECANISMO EM CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, do curso de Tecnologia em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Wagner Endo  
Coorientador: Prof. Dr. Emerson Ravazzi Pires da Silva

CORNÉLIO PROCÓPIO  
2017

**ANDRÉ FERACIN**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO PARA  
MÓDULOS DE SERVOMECANISMO EM CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 17h do dia 07 de dezembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

**Prof. Dr. Wagner Endo**  
Professor Orientador  
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

---

**Prof. Dr. Emerson Ravazzi Pires da Silva**  
Professor Coorientador  
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

---

**Prof. Dr. Rodrigo Rodrigues Sumar**  
Professor Convidado  
UTFPR/ Campus Cornélio Procópio

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela minha vida e por sempre enviar seu amparo para que eu possa superar as provas que escolhi.

À minha família por ter me dado o suporte necessário na conquista deste objetivo, verdadeiro laboratório de lapidação da alma.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wagner Endo, pelo grande incentivo e sempre ter acreditado e confiado em mim, assim como os professores Emerson Pires Ravazzi e Rodrigo Rodrigues Sumar.

Ao amigo Murilo Monteiro Cinel, jovem de grande capacidade e espírito de luta, sempre me apoiou para que eu conquistasse esse objetivo. Um dia ainda devolvo sua sanfona.

À UTFPR e todo seu corpo docente que realizaram seu trabalho com muita dedicação, além da direção e corpo administrativo, a qual tenho muito orgulho de pertencer.

## RESUMO

FERACIN, André. **DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO PARA MÓDULOS DE SERVOMECANISMO EM CONTROLE E AUTOMAÇÃO**. 2017. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Tecnologia em Automação Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia que conduza de forma clara e segura, à manutenção de módulos de servomecanismo. A partir da observação das dificuldades enfrentadas para a realização das manutenções preventiva ou corretiva dos módulos de servomecanismo, junto ao seu fabricante, devido aos procedimentos administrativos exigidos, alto custo de transporte e mão de obra, longos períodos sem o equipamento, verificou-se a necessidade da elaboração deste trabalho. Para tanto, elencou-se os parâmetros considerados satisfatórios do módulo, com intuito de se obter um padrão para aplicação no ato da verificação do equipamento. O desenvolvimento desta metodologia foi realizada seguindo as seguintes etapas: 1) Mapeamento do circuito da fonte de alimentação e de controle, 2) Teste e levantamento das características dos componentes eletrônicos, 3) Teste e levantamento das características do servomecanismo, 4) Listagem dos problemas mais comuns e forma de realização da manutenção. Com este trabalho, espera-se dotar os agentes técnicos que se propuserem a realizar a manutenção do referido aparelho, sejam capazes de diagnosticar a origem da irregularidade de funcionamento, e poder efetuar a correção em um curto espaço de tempo e de modo prático e seguro.

**Palavras-chave:** Manutenção. Servomecanismo.

## **ABSTRACT**

**FERACIN, André. DEVELOPMENT OF A MAINTENANCE METHODOLOGY FOR THE SERVOMECHANISM MODULES IN CONTROL AND AUTOMATION.** 2017. 49 f. Course Completion Work (Undergraduate) – Technology in Industrial Automation. Federal Technological University of Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

The goal of this study is to develop of a methodology that leads in a clear and safe way, to the maintenance of servomechanism modules. From the observation of the difficulties faced to carry out the preventive or corrective maintenance of the servomechanism modules, by the manufacturer, due to the required administrative procedures, high cost of transportation and labor, long periods without the equipment, originated the need to elaborate this work. For this, the parameters considered satisfactory of the module were listed, in order to obtain a standard for application upon the verification of the equipment. The development this methodology was carried out according to the following steps: 1) Mapping of power supply and control circuit. 2) Testing and survey of the characteristics of electronics components. 3) Testing and survey of servomechanism characteristics. 4) Listing the most common problems and how to perform maintenance. With this work, it is hoped to equip the technical agents who intend to carry out the maintenance of this apparatus, be able to diagnose the origin of the irregularity of operation, and be able to carry out the correction in a short time and in a practical and safe way.

**Keywords:** Maintenance, Servomechanism

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MÓDULO SERVOMECANISMO 2208.....	13
FIGURA 2. REPRESENTAÇÃO EM BLOCOS DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO DO MÓDULO 2208.....	15
FIGURA 3. CIRCUITO DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE TENSÃO DE ENTRADA .....	16
FIGURA 4. TRANSFORMADOR MODELO: WB 210902-R1 .....	17
FIGURA 5. DIODOS RETIFICADORES 1N4007 .....	18
FIGURA 6. DIODOS RETIFICADORES 6A10 .....	19
FIGURA 7. TRANSISTOR 2N3055.....	20
FIGURA 8. IDENTIFICAÇÃO DOS TERMINAIS DO TRANSISTOR 2N3055.....	20
FIGURA 9. CALIBRAGEM DO TRANSISTOR T1 .....	21
FIGURA 10. REGULADORES DE TENSÃO T2 E T3 E SEUS CAPACITORES.....	22
FIGURA 11. TERMISTORES DE PROTEÇÃO .....	23
FIGURA 12. CIRCUITO DA FONTE DO MÓDULO DE SERVOMECANISMO 2208... 25	
FIGURA 13. CONFIGURAÇÃO E FUNÇÃO DOS TERMINAIS .....	28
FIGURA 14. CIRCUITO AMPLIFICADOR E ENTRADA DE DISTÚRBIOS .....	29
FIGURA 15. DIAGRAMA DO CIRCUITO DESLOCADOR .....	30
FIGURA 16. VISTA SUPERIOR DA REGIÃO DO DRIVER. ....	31
FIGURA 17. TRANSISTORES T1C E T2C .....	31
FIGURA 18. TRANSISTORES BD139 E BD140 - TERMINAIS .....	32
FIGURA 19. DIAGRAMA DO CIRCUITO DRIVER.....	33
FIGURA 20. HASTE GIRATÓRIA E TRANSDUTOR ANGULAR. ....	33
FIGURA 21. CIRCUITO CONDICIONADOR DE POSIÇÃO.....	34
FIGURA 22. TRANSISTOR CTPN2222 .....	34
FIGURA 23. DIAGRAMA CIRCUITO DE VELOCIDADE.....	36
FIGURA 24. TRANSDUTORES ACOPLADOS.....	37
FIGURA 25. MOTOR CC DA HASTE GIRATÓRIA.....	37
FIGURA 26. PARTES COMPONENTES DO MOTOR CC DE ÍMÃ PERMANENTE ...	38
FIGURA 27. VISTA SUPERIOR DOS CONECTORES .....	39
FIGURA 28. VISTA INFERIOR DOS CONECTORES.....	40
FIGURA 29. BORNE DE PRESSÃO BR6N3. ....	40

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. VALORES TÍPICOS PARA TESTE DO TRANSISTOR 2N3055.....	21
TABELA 2. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO LP60 – 135. ....	24
TABELA 3. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MF – RX 250.....	24
TABELA 4. LISTA DE COMPONENTES DA FONTE DO MÓDULO 2208 .....	25
TABELA 5. CODIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS FABRICANTES DO AOP741.....	28
TABELA 6. FUNÇÃO DOS TERMINAIS .....	28
TABELA 7. VALORES TÍPICOS PARA TESTE TRANSISTORES BD139 E BD140... 32	
TABELA 8. VALORES TÍPICOS PARA TESTE TRANSISTOR CTPN2222. ....	35
TABELA 9. CARACTERÍSTICAS DO MOTOR CC DO MECANISMO GIRATÓRIO....	38
TABELA 10. LISTA DE COMPONENTES DA PLACA DE COMANDO .....	41



## LISTA DE SIGLAS

°C	graus Celsius
A	Ampere
ag	curto circuito e sobrecarga (fusíveis)
AOP	amplificador operacional
KΩ	quilo-ohm
mA	miliampere
mH	milihenry
MHz	megahertz
mNm	milinewton.metro
mV	milivolt
mW	miliwatt
PTC	positive temperature coefficient
rpm	rotações por minuto
uF	microfaraday
V	Volt
Vac	tensão em corrente alternada
Vdc	tensão em corrente contínua
W	Watt
Ω	Ohm

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 Objetivos.....	11
1.2 Estrutura.....	12
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
<b>3 PROPOSTA E IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO DO MÓDULO DE SERVOMECANISMO</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1 Análise e manutenção da fonte de alimentação do módulo de servomecanismo 2208</b> .....	<b>15</b>
3.1.1 Circuito da fonte.....	15
3.1.2 Entrada da rede.....	16
3.1.3 Sistema bivolt automático.....	16
3.1.4 Transformador.....	17
3.1.5 Retificador e filtros.....	18
3.1.6 Reguladores de tensão.....	22
3.1.7 Proteção de saída.....	23
3.1.8 Componentes da fonte de alimentação.....	25
<b>3.2 Análise e manutenção da placa do circuito de sinais e comando</b> .....	<b>27</b>
3.2.1 Amplificador Operacional 741.....	27
3.2.2 Amplificador e entrada de distúrbios.....	29
3.2.3 Circuito Deslocador.....	29
3.2.4 Circuito driver.....	30
3.2.5 Condicionador de posição.....	34
3.2.6 Condicionador de velocidade.....	35
3.2.7 Servomecanismo de redução de velocidade.....	36
3.2.8 Conectores de acesso.....	39
3.2.9 Componentes da placa de comando.....	41
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1 Fonte de alimentação do módulo de servomecanismo 2208</b> .....	<b>45</b>
<b>4.2 Placa do circuito de processamento de sinais e comando</b> .....	<b>46</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>
<b>APÊNDICE A – Diagrama circuito da fonte de alimentação</b> .....	<b>50</b>
<b>APÊNDICE B – Diagrama circuito da placa de comando</b> .....	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O serviço de manutenção caracteriza-se por um problema presente nas empresas e o impacto principal refere-se ao custo envolvido. Em um cenário cada vez mais competitivo a manutenção representa um importante segmento. A busca pela otimização na utilização de recursos, encontra-se também entre as principais preocupações de instituições públicas, e todo desenvolvimento neste sentido deve ser amplamente explorado.

A paralisação das atividades decorrentes da necessidade de manutenção corresponde ao principal elemento atrelado ao gasto. Este custo é ainda maior quando se tem a necessidade da remessa do equipamento ao fabricante, e no setor público esta condição tende a ser ampliada.

Na UTFPR-CP os laboratórios do curso de engenharia são equipados com diversos kits didáticos, para a comprovação prática dos assuntos vistos em sala de aula. Um deles é o módulo servomecanismo para controle e automação – 2208, fabricado pela empresa Datapool, localizada na cidade de Itajubá, no Estado de Minas Gerais, utilizado para aulas práticas de sistemas de controle, no qual foi registrado um alto índice de manutenção que devido à natureza, em todas as ocasiões o kit foi enviado ao fabricante para as devidas correções.

A elaboração deste trabalho originou-se da necessidade de efetuar as devidas correções, manutenção e calibração do equipamento, em um menor tempo para não prejudicar o andamento das aulas, sem a necessidade da retirada do equipamento da instituição, o que proporciona maior aproveitamento do equipamento na de ensino e redução expressiva nos custos de manutenção.

### 1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um modo compacto de detecção de avarias e sua possível solução, para os kits Datapool 2208.

Os objetivos específicos são:

- Estudar as características de funcionamento do kit;

- Estudar e testar os transdutores, servomotor, driver de acionamento, conectores de acesso, matriz de ponto e fontes de alimentação;
- Implementar um método eficaz de manutenção e calibração do kit.

## **1.2 Estrutura**

No segundo capítulo são apresentados os aspectos gerais do módulo estudado e no terceiro capítulo apresenta-se as características construtivas do circuito da fonte de alimentação do módulo de servomecanismo, contendo informações específicas desde a entrada de alimentação da rede até as saídas reguladas, além da descrição de todos os elementos que o compõe, como: rele, transformador, transistores, reguladores de tensão e capacitores. Apresentam-se também, os circuitos da placa frontal de comando, também com informações específicas dos elementos que a compõe, de modo a facilitar a compreensão do circuito, visualizando separadamente os circuitos que a formam. Os resultados obtidos serão apresentados no capítulo quatro, seguidos da conclusão no último capítulo.

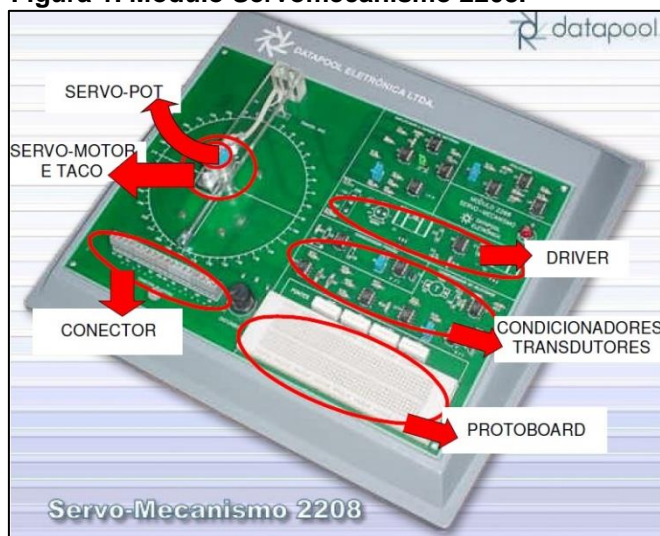
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Com a crescente necessidade de aplicação da tecnologia de automação nas atividades de produção, torna-se mais comum a utilização de equipamentos e processos industriais que possuem sistemas de controle de posição e velocidade angular. Controladores de fluxo, laminadores, misturadores, são exemplos de equipamentos industriais que frequentemente utilizam sistemas automatizados para controle de funcionamento. Nestes processos determinadas grandezas físicas necessitam ser controladas visando obter características operativas específicas. (Servomecanismo, 2009).

A aplicação de kits didáticos no ensino é essencial para motivação do aluno por ser considerado uma linguagem atraente de se repassar os conteúdos (FIALHO, 2007). Um kit didático permite a manipulação de equipamentos e a comprovação de métodos abordados em sala de aula.

A utilização do kit didático, no ensino, é fundamental para o primeiro contato prático com circuitos eletrônicos, para condicionamento de sinais tais como os filtros, amplificadores, retificador, conversores de corrente para tensão, tensão para corrente, deslocador e *driver* (Servomecanismo, 2009), em que o estudante pode implementar e comprovar diversas práticas de controle. A Figura 1 ilustra o módulo 2208 com seus respectivos blocos.

**Figura 1. Módulo Servomecanismo 2208.**



Fonte: Modificado de Servomecanismo, 2009.

O servomecanismo é um dispositivo que permite a multiplicação de esforço de um sistema a partir da aplicação de uma quantidade de força muito pequena. (INFOPÉDIA, 2017). O módulo servomecanismo 2208 é constituído por dois transdutores, servomotor, *driver* de acionamento, conector de acesso, *protoboard* e fontes de alimentação. O braço que constitui o servo mecanismo é movido por um servo motor de corrente contínua ímã permanente, acoplado ao eixo principal por meio de engrenagens, visando a redução da velocidade de giro.

### 3 PROPOSTA E IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO DO MÓDULO DE SERVOMECANISMO

#### 3.1 Análise e manutenção da fonte de alimentação do módulo de servomecanismo 2208.

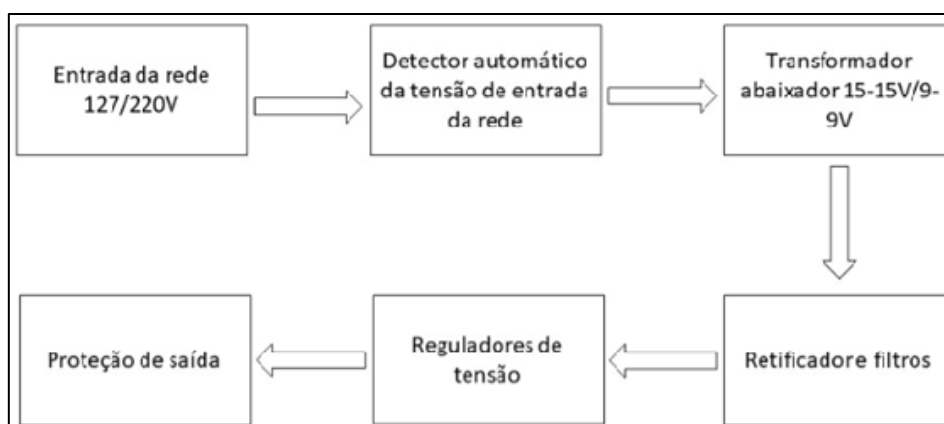
O circuito de alimentação de um equipamento elétrico desenvolve uma função de extrema importância no sistema, ainda mais quando os circuitos alimentados possuem componentes sensíveis, os que tem seu funcionamento grandemente influenciado pela qualidade da energia que lhe é fornecida.

A fonte utilizada no servomecanismo em estudo é do tipo linear, onde a entrada conta com um sistema de comutação automática por meio de chaveamento a rele, conforme a tensão da rede (bivolt automático), passando então a um transformador abaixador com dois níveis de saída. A tensão é retificada, filtrada e então é regulada por componentes controladores fixos de tensão, passa por elementos de proteção e finalmente é disponibilizada por meio de bornes na superfície da placa frontal.

##### 3.1.1 Circuito da fonte

O diagrama de blocos abaixo ilustra as etapas de funcionamento da fonte de alimentação do módulo de servomecanismo 2208 Datapool.

Figura 2. Representação em blocos da fonte de alimentação do módulo 2208.



Fonte: Autoria própria.

### 3.1.2 Entrada da rede

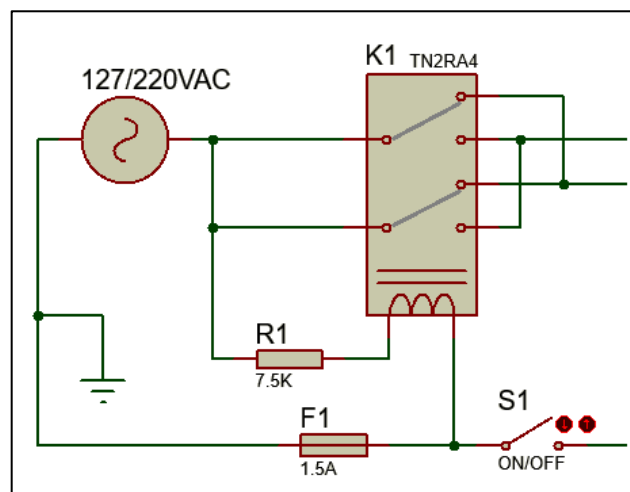
O cordão para conexão à rede elétrica é do tipo paralelo 2 x 0,75mm<sup>2</sup> e 300V de isolamento, possuindo um plugue blindado com 2 pinos para até 250V e corrente máxima de 10 amperes. Tem como proteção primária um fusível de ação rápida 20ag – 5mm x 20mm com ampola de vidro, corrente nominal 1,5 amperes e isolamento de 250 volts. Na sequência uma chave *on/off* tipo alavanca com duas posições para corrente de até 5 amperes e 250 volts de isolamento.

Nesta região do circuito a maior probabilidade de ocorrer falhas relaciona-se com o rompimento “queima” do fusível de entrada e do rompimento do cordão de conexão à rede elétrica. Portanto caso o equipamento não sinalizar seu funcionamento através da lâmpada piloto, estes serão os primeiros itens a serem verificados.

### 3.1.3 Sistema bivolt automático

O módulo conta com um detector automático de tensão de alimentação a qual for conectado. Tal sistema é implementado utilizando um rele TN2RA4 (K1), cuja tensão de acionamento da bobina é 220V. Um resistor de 7,5 k $\Omega$  (R1) é colocado em série com a bobina reduzindo a tolerância da tensão nominal de acionamento, evitando assim um eventual acionamento quando conectado a um nível mais baixo de tensão.

Figura 3. Circuito detecção automática de tensão de entrada



Fonte: Autoria própria

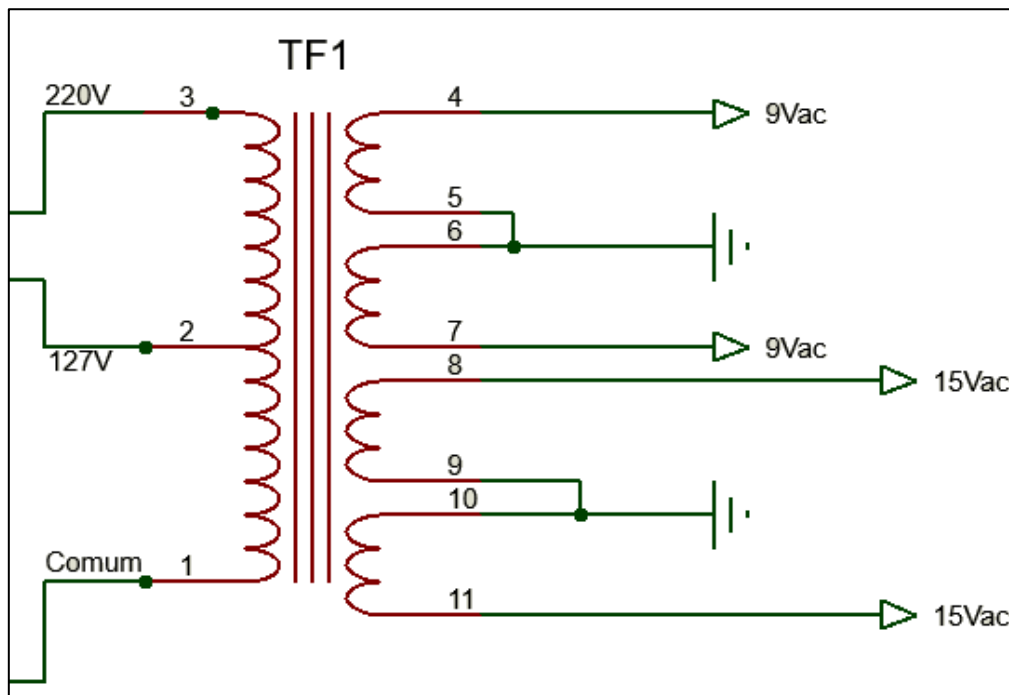


Apesar de constituir um sistema robusto, há a necessidade de se manter a chave *on-off* na posição desligada no momento de conexão à rede elétrica, evitando assim que alta tensão atinja os componentes da fonte, tendo em vista o tempo de comutação dos contatos do rele.

### 3.1.4 Transformador

O circuito da fonte possui um transformador abaixador com os seguintes níveis de tensão no secundário: 9-9V(V3-V4) / 15-15V(V1-V2) conforme ilustrado na Figura 4, sendo que neste último a conexão de referência é feita externamente ao enrolamento do transformador.

Figura 4. Transformador modelo: WB 210902-R1



Fonte: Autoria própria

Como base para realização de manutenção, seguem os valores de tensão do transformador em circuito aberto.

- V1 e V2: 17,3Vac;
- V3 e V4: 10,9Vac;

É importante salientar que o transformador de entrada está diretamente ligado à rede elétrica, mesmo com a chave de entrada na

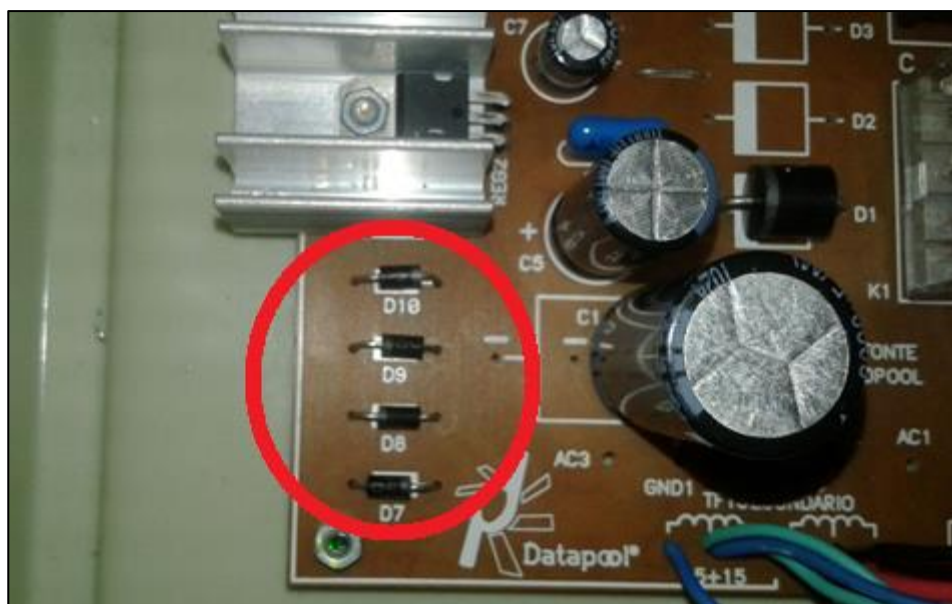
posição “off”. Assim, caso seja necessário um eventual teste com o equipamento conectado, este deverá ser conduzido com extrema cautela.

### 3.1.5 Retificador e filtros

A retificação é realizada separadamente para as saídas 9-9Vac (V3, V4) e 15-15Vac (V1, V2) do secundário do transformador. A partir destas saídas serão obtidas as tensões de 5Vdc e 12Vdc simétrico.

Para a tensão de 15-15Vac a retificação se dá por meio de uma ponte retificadora constituída por diodos retificadores 1N4007 – Figura 5, onde D7 e D10 alimentam o regulador REG2, e D8 e D9 alimentam o REG3. Os capacitores de poliéster C6 e C9 realizam a filtragem de ruídos de frequência mais altas e os capacitores eletrolíticos C5 e C8 atuam de forma a minimizar as ondulações da tensão retificada e garantir o bom funcionamento dos componentes reguladores.

Figura 5. Diodos retificadores 1N4007



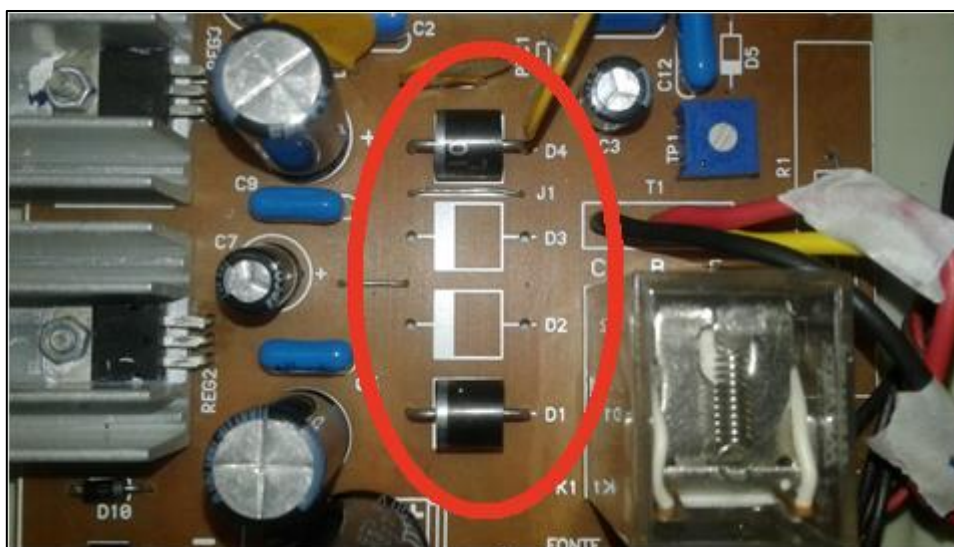
Fonte: Autoria própria

Os diodos 1N4007 em boas condições de funcionamento apresentam queda de tensão típica por volta de 870 mV quando submetidos a uma corrente de 1 A. A queda de tensão deste diodo encontra-se por volta de 523 mV em medições realizadas com multímetros que utilizam corrente de

teste 0,56 mA e tensão de circuito aberto 1,8 Vdc. Para verificação com multímetro que utilizam 1mA de corrente de teste e tensão de circuito aberto 3Vdc, a queda de tensão situa-se por volta de 575 mV.

O circuito de retificação da saída 9-9 Vac do secundário do transformador, responsável pela disponibilização de 5 Vdc, dispõe de dois diodos retificadores 6A10 representados na Figura 6 por D1 e D4, formando um retificador de onda completa. Os capacitores C2 (poliéster) e C1(eletrolítico) realizam a filtragem anterior ao regulador de tensão e transistor de potência.

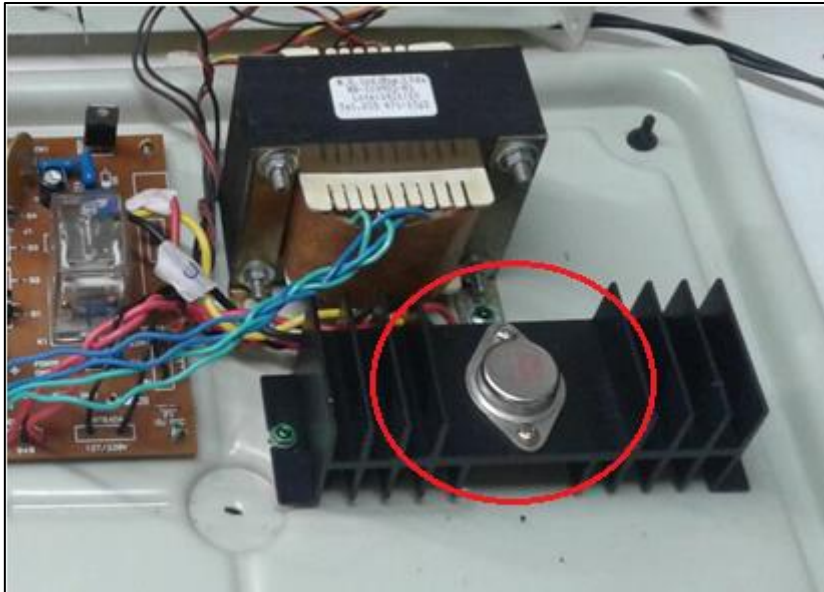
**Figura 6. Diodos retificadores 6A10**



**Fonte: Autoria própria**

Este circuito apresenta a seguinte particularidade: o regulador de tensão REG1 é o elemento que polariza o transistor T1, Figura 7, de modo que este componente fornece a potência para a saída 5 Vdc. Sendo assim, a calibração desta saída é dependente do ajuste da saída de REG1, e esta é controlada por uma resistência variável TR1 acoplada ao terminal de referência do REG1. Tal configuração é dada para que esta saída possa atender a exigência de correntes superiores à suportada pelo REG1, sem que este seja danificado. Dessa maneira, o circuito torna-se dependente de TR1 e C12, e uma eventual alteração nas suas características de funcionamento compromete todo o sistema.

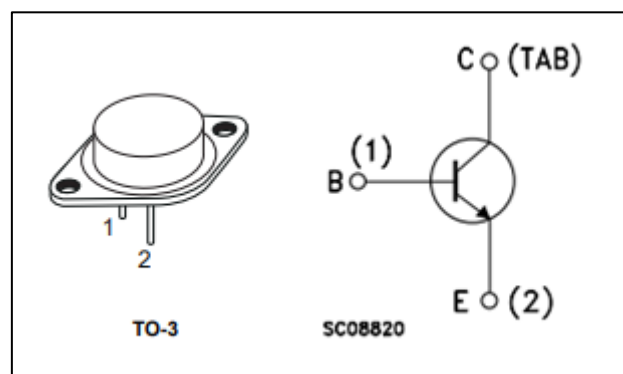
**Figura 7. Transistor 2N3055**



Fonte: Autoria própria

O 2N3055 é um transistor de potência, com capacidade para até 15 A coletor, e uma corrente de base de até 7 A. Poderá ser substituído pelo TIP3055 que possui características idênticas, com exceção com a potência máxima de dissipação que neste encapsulamento (TO-247) é de 90 W contra 115 W do encapsulamento metálico (TO-3) – Figura 8.



**Figura 8. Identificação dos terminais do transistor 2N3055**



Fonte: Adaptado de STMicroelectronics (2009).

Para uma rápida verificação nas condições do circuito interno do transistor T1, apresenta-se na Tabela 1, as quedas de tensão entre seus terminais.

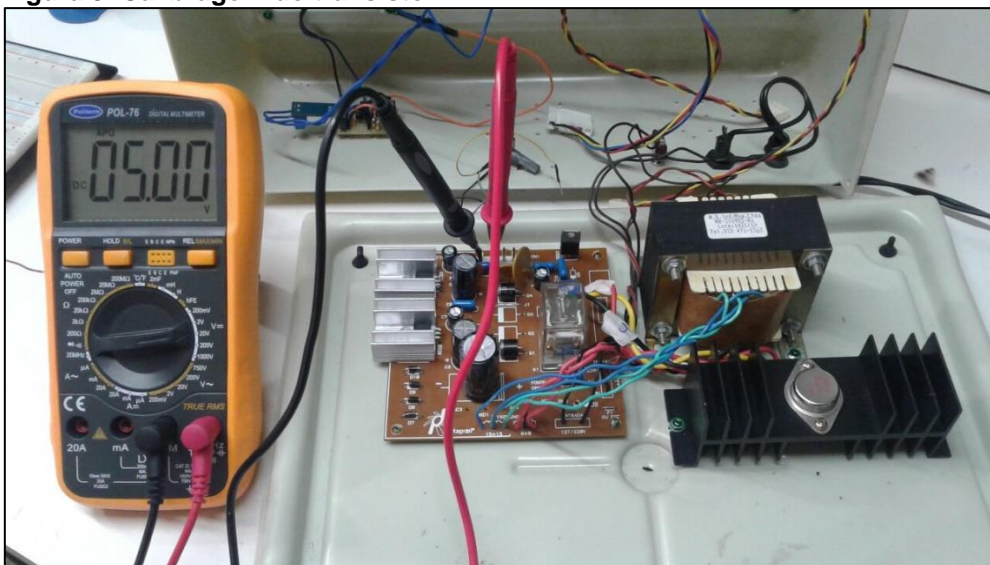
Tabela 1. Valores típicos para teste do transistor 2N3055.

NPN  	Símbolo	Polarização Direta	Polarização Inversa	
	Base - Emissor	-	<b>573mV</b>	-
	Base - Coletor	-	<b>574mV</b>	-
	Coletor - Emissor	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

O transistor T1 (2N3055 TO-3) suporta uma corrente de coletor máxima de 15 A, e acha-se montado sobre um dissipador de calor com grandes dimensões, afastado da placa que contém o circuito da fonte de alimentação. Caso este componente apresente falha, os bornes de saída apresentarão toda a tensão retificada não regulada, podendo causar diversos danos ao módulo, se utilizada. Quando for detectada a necessidade de sua substituição, deve-se também verificar o estado de funcionamento de REG1, pois este poderá apresentar defeito por efeito cascata. Após as substituições de qualquer um destes componentes, faz-se a calibragem fina da tensão de saída de T1, conforme a Figura 9, pelo fato de que os componentes, mesmo tendo a mesma especificação, podem apresentar pequenas diferenças de funcionamento.

Figura 9. Calibragem do transistor T1



Fonte: Autoria própria



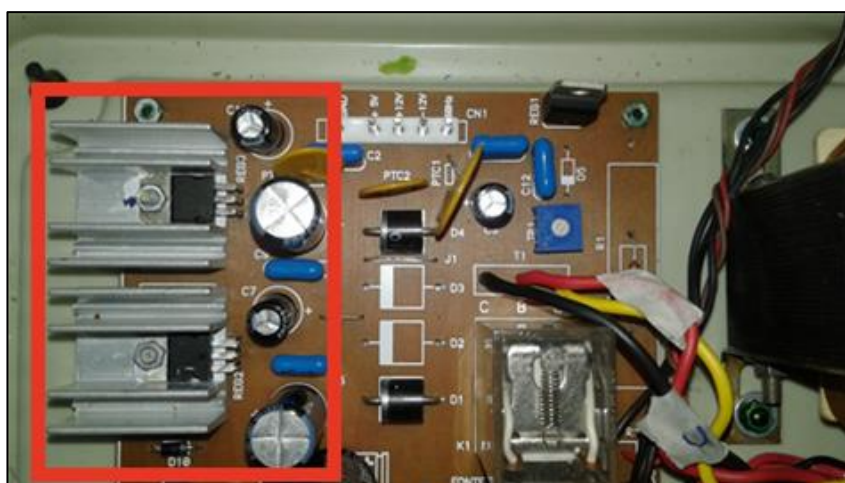
É importante ressaltar que conforme o aparelho utilizado para o teste dos transistores/diodo, a faixa na qual os valores medidos se apresentam pode variar devido às suas características de funcionamento. Nota-se, entretanto, que a diferença encontrada entre os valores base-emissor e base-coletor praticamente não se altera.

### 3.1.6 Reguladores de tensão

Os componentes reguladores de tensão utilizados no circuito da fonte de alimentação são o LM7812 (REG2), LM7912 (REG3) e LM7805 (REG1), sendo este último utilizado indiretamente na regulação de tensão, conforme exposto no tópico anterior.

Os reguladores REG2 e REG3, Figura 10, estão montados sobre dissipadores de calor de alumínio, fixados na placa do circuito da fonte. Estes componentes podem fornecer corrente de até 1 ampere, com pequena variação na tensão nominal de saída. Os capacitores C7 e C10 atuam de forma a minimizar efeitos de repentina alteração de carga, evitando o acionamento da proteção interna dos componentes reguladores de tensão.

**Figura 10. Reguladores de tensão REG2 e REG3 e seus capacitores.**



**Fonte: Autoria própria**

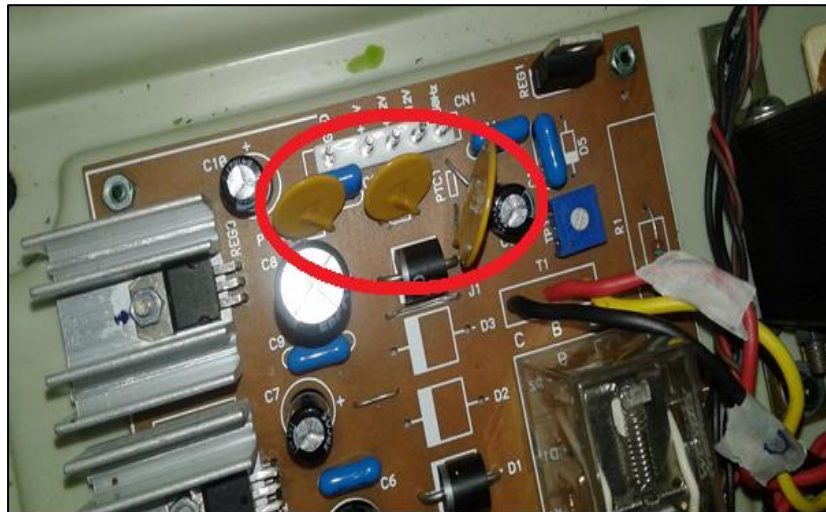
Curto circuitos no momento de utilização do módulo, constitui a principal causa de danos nestes componentes, que passam a não mais realizar a sua função de controlar a tensão de saída, e assim transmitem toda a tensão

retificada da fonte diretamente aos bornes de saída. Nesta situação, realiza-se a substituição dos reguladores tendo o cuidado de verificar o estado dos capacitores C5, C7, C8 e C10 que são facilmente danificados caso haja tensão reversa sobre estes.

### 3.1.7 Proteção de saída

O circuito da fonte possui termistores do tipo PTC, representado na Figura 11, como proteção dos elementos de retificação e regulagem de tensão. Termistores são componentes termicamente estáveis e sensíveis, cujas características exibem grandes mudanças na resistência com uma pequena mudança na temperatura do corpo, devido à alteração na concentração de portadores de carga. Essa mudança de resistência com a temperatura pode resultar em um coeficiente positivo da temperatura, onde a resistência aumenta com um aumento na temperatura – Termistor PTC - *Positive temperature coefficient* (ADDTHERM, 2017).

Figura 11. Termistores de proteção



Fonte: Autoria própria

Para a saída de 5 Vdc possui o termistor F - RX250 (PTC1), e as saídas +12 e -12 Vdc possuem o termistor LP60 – 135 (PTC2 E PTC3 respectivamente). Em alguns casos onde houve curto circuito entre as saídas simétricas, os termistores não foram capazes de oferecer proteção aos componentes reguladores de tensão, isto devido à sua curva característica de

funcionamento, que indica um tempo para iniciar a atuação de aproximadamente 9 segundos quando atingida sua corrente nominal. Este intervalo de tempo é suficiente para causar a destruição dos reguladores de tensão.

Caso os bornes de saída da fonte apresentarem tensões diversas das nominais ou funcionamento irregular, os termistores deverão passar por verificação, tendo em vista uma possível alteração nas características nominais do componente, os quais sofrem diretamente os efeitos de conexões indevidas durante o manuseio do módulo resultando em redução de sua vida útil.

Para avaliação das condições do componente seguem as principais características elétricas do termistor LP60 – 135 e MF-RX 250.

**Tabela 2. Principais características do LP60 – 135.**

**LP60 – 135 (valores para 25°C)**

$I_H$	$I_T$	$R_{MIN}$	$R_{MAX}$	$R_{1MAX}$
1,35A	2,70A	0,12Ω	0,19Ω	0,30Ω

Fonte: Adaptado de CYG WAION (2015).

**Tabela 3. Principais características do MF – RX 250**

**MF - RX250 (valores para 23°C)**

$I_H$	$I_T$	$R_{MIN}$	$R_{MAX}$	$R_{1MAX}$
2,50 <sup>a</sup>	5,00A	0,05Ω	0,08Ω	0,13Ω

Fonte: Adaptado de LITTELFUSE (2015).

Onde:

$I_H$  (hold current): fluxo máximo de corrente sem que haja atuação do componente, à temperatura ambiente de 25°C.

$I_T$  (trip current): fluxo mínimo de corrente para o qual o componente sempre irá atuar, à temperatura ambiente de 25°C.

$R_{MIN}$ : Resistência mínima apresentada pelo componente antes da atuação, à temperatura ambiente de 25°C.

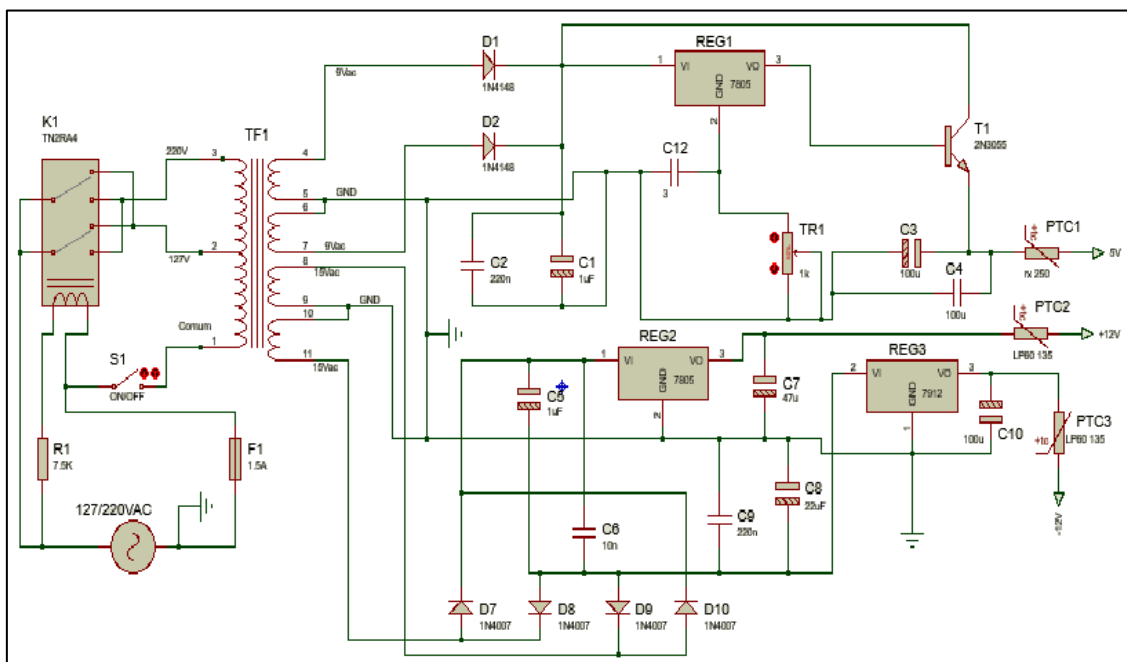
$R_{MAX}$ : Resistência máxima apresentada pelo componente antes da atuação, à temperatura ambiente de 25°C.



$R_{1MAX}$ : Resistência máxima apresentada pelo componente 1 hora após atuação, à temperatura ambiente de 25°C.

Na Figura 12, temos todo o diagrama do circuito da fonte de alimentação com a nomenclatura dos componentes conforme impresso na placa.

**Figura 12. Circuito da fonte do módulo de servomecanismo 2208.**



Fonte: Autoria própria

### 3.1.8 Componentes da fonte de alimentação

Na Tabela 4 encontram-se listados os todos os componentes utilizados no circuito da fonte de alimentação do módulo de servomecanismo 2208, seguindo a descrição impressa na placa.

**Tabela 4. Lista de componentes fonte de alimentação módulo de servomecanismo 2208**

ITEM	ABREVIATURA	DESCRIÇÃO
1	C1	Capacitor eletrolítico 2200 uF/50 V
2	C2	Capacitor poliéster 0,1 uF/250 V
3	C3	Capacitor eletrolítico 220 uF/25 V

4	C4	Capacitor poliéster 0,1 uF/250 V
5	C5	Capacitor eletrolítico 1000 uF/50 V
6	C6	Capacitor poliéster 0,1 uF/250 V
7	C7	Capacitor eletrolítico 220 uF/250 V
8	C8	Capacitor eletrolítico 1000 uF/50 V
9	C9	Capacitor poliéster 0,1 uF/250 V
10	C10	Capacitor eletrolítico 220 uF/25 V
11	C11	Capacitor poliéster 0,1 uF/250 V
12	C12	Capacitor poliéster 0,1 uF/250 V
13	PTC1	Termistor PX250 21AG epoxy
14	PTC2	Termistor PTC polimérico LP60 135 – 1,35 A
15	PTC3	Termistor PTC polimérico LP60 135 – 1,35 A
16	D1	Diodo retificador 6A10 – $I_{(av)}$ : 6 A; $V_{RRM}$ : 1000 V
17	D2	Diodo retificador 6A10 – $I_{(av)}$ : 6 A; $V_{RRM}$ : 1000 V
18	D7	Diodo retificador 1N4007 - $I_{(av)}$ : 1 A; $V_{RRM}$ : 1000 V
19	D8	Diodo retificador 1N4007 - $I_{(av)}$ : 1 A; $V_{RRM}$ : 1000 V
20	D9	Diodo retificador 1N4007 - $I_{(av)}$ : 1 A; $V_{RRM}$ : 1000 V
21	D10	Diodo retificador 1N4007 - $I_{(av)}$ : 1 A; $V_{RRM}$ : 1000 V
22	T1	Transistor 2N3055 NPN
23	K1	Rele TN2RA4
24	REG1	Regulador de tensão 7805
25	RE2	Regulador de tensão 7812
26	REG3	Regulador de tensão 7912
27	TP1	Trimmer 3386
28	R1	Resistor 7.5 k $\Omega$ - ½ W

Fonte: Autoria própria

### 3.2 ANÁLISE E MANUTENÇÃO DA PLACA DO CIRCUITO DE PROCESSAMENTO DE SINAIS E COMANDO

Sobre a placa superior do módulo de servomecanismo 2208, podemos visualizar os componentes eletrônicos condicionadores de sinais, a haste móvel, o transdutor angular e os bornes de acesso ao módulo. A caixa de redução juntamente com o taco-gerador situa-se na face inferior da placa. O material utilizado para confecção da placa é bastante flexível, podendo ocorrer ruptura das trilhas de cobre caso seja exercida pressão sobre esta.

Com o intuito de facilitar o entendimento do circuito, dividiu-se o circuito nas seguintes partes, tomando por base o *layout* da placa:

- Amplificador e entrada de distúrbios
- Circuito Deslocador
- Circuito driver
- Condicionador de posição
- Condicionador de velocidade
- Caixa de redução
- Conectores de acesso

#### 3.2.1 Amplificador Operacional 741

Os amplificadores operacionais utilizados pelos circuitos de condicionamento do módulo em estudo são do tipo XX741. Este AOP é um dos mais conhecidos, podendo operar com tensões entre 6 e 18 V tipicamente e com uma frequência de transição em torno de 1 MHz, este componente pode ser usado em osciladores, filtros, circuitos lógicos, na amplificação de sinais AC e DC e como driver.

O AOP 741 foi desenvolvido pela FAIRCHILD SEMICONDUCTOR® em 1968, e mesmo com o surgimento de amplificadores operacionais com melhores características, o AOP 741 ainda é muito utilizado.

Existem vários fabricantes deste componente e cada um tem sua codificação própria, assim é importante conhecermos os diferentes códigos para poder identificar o fabricante e buscar o manual do mesmo

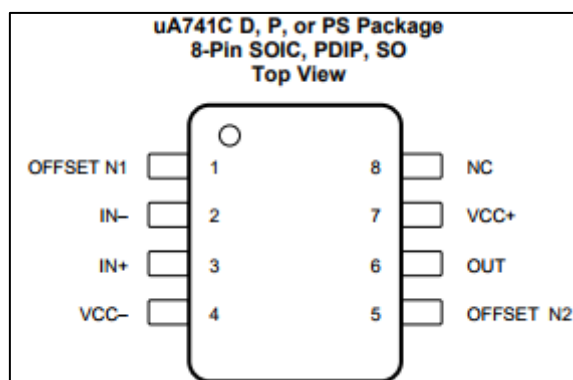
(EDISCIPLINAS.USP). Na Tabela 5 temos a codificação usada pelos fabricantes de componentes eletrônicos mais conhecidos.

Tabela 5. Codificação dos principais fabricantes do AOP741.

FABRICANTES	CÓDIGOS
Fairchild	$\mu$ A741
National	LM741
Motorola	MC1741
RCA	CA741
Texas	SN741
Signetics	SA741
Siemens	TBA221 (741)

Fonte: edisciplina.usp (2017).

Figura 13. Configuração e função dos terminais



Fonte: Texas Instruments – Datasheet uA741 (2009).

Na Tabela 6 estão descritas as funções de cada terminal do AOP 741.

Tabela 6. Função dos terminais

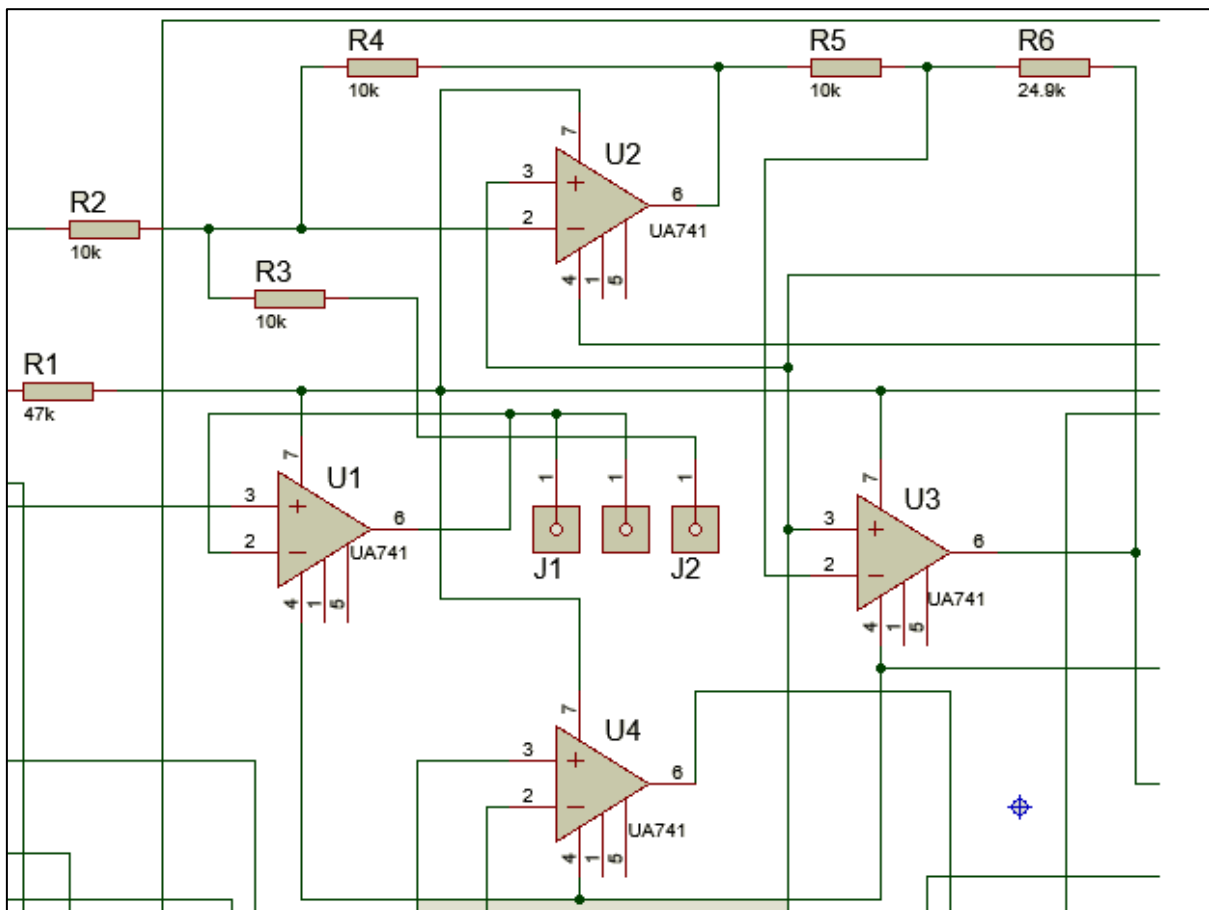
Terminal		E/S	DESCRIÇÃO
Nº	NOME		
1	OFFSET N1	E	Entrada de tensão de ajuste de <i>offset</i>
2	IN-	E	Entrada inversora
3	IN+	E	Entrada não inversora
4	VCC-	–	Alimentação negativa
5	OFFSET N2	E	Entrada de tensão de ajuste de <i>offset</i> .
6	OUT	S	Saída
7	VCC+	–	Alimentação positiva
8	NC	–	Não conectado internamente.

Fonte: Adaptado de Texas Instruments (2017).

### 3.2.2 Amplificador e entrada de distúrbios

Esta parte do circuito possui 4 amplificadores operacionais – U1, U2, U3 e U4, e os pinos seletores J1 e J2, sendo que o pino central se encontra ligado diretamente a J1. Quando os pinos seletores J1 e J2 estão conectados, interliga-se o pino 2 de U1 ao pino 2 de U2 através do resistor R3 (10K $\Omega$ ). Neste circuito encontramos somente resistores e amplificadores operacionais, sendo estes últimos os componentes mais suscetíveis a falhas.

Figura 14. Circuito amplificador e entrada de distúrbios



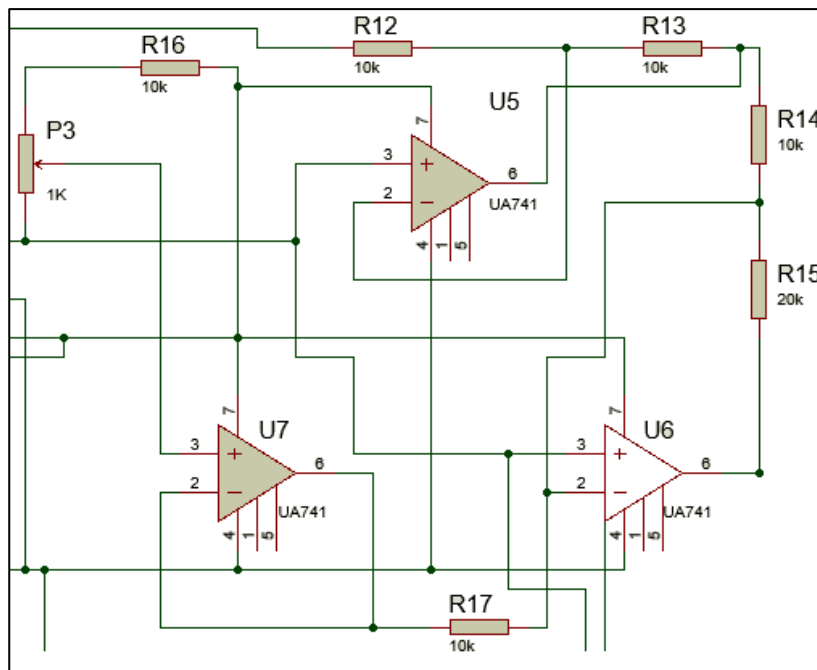
Fonte: Autoria própria

### 3.2.3 Circuito Deslocador

Este circuito possui 3 amplificadores operacionais – U5, U6 e U7, e o potenciômetro multivoltas P3, o qual faz o ajuste da entrada não inversora (pino

3) de U7. Do mesmo modo que o circuito anterior, encontramos somente resistores e amplificadores operacionais, sendo estes últimos os componentes mais suscetíveis a falhas, os quais podem sofrer os efeitos de um possível desajuste da fonte de alimentação.

**Figura 15. Diagrama do circuito deslocador**



Fonte: Autoria própria

### 3.2.4 Circuito driver

O acionamento do braço servomecanismo se dá por meio de um motor de corrente contínua de ímã permanente acoplado mecanicamente por engrenagens, sendo a velocidade deste controlada pelo nível de grandeza da tensão de armadura. Para tanto, são empregados transistores como chaves estáticas de potência – *drivers* - que atuam de acordo com sinais de comando de baixa potência.

Este circuito possui somente o amplificador operacional U8 como podemos observar na Figura 16, sendo responsável pelo acionamento dos transistores T1c e T2c (BD140 e BD139 respectivamente) os quais regulam o funcionamento do motor (M1) responsável pelo movimento giratório da haste.

**Figura 16. Vista superior da região do *driver*.**



Fonte: autoria própria

Os transistores T1c e T2c encontram-se afastados da placa frontal, fixados na base da estrutura do módulo sobre dissipadores de calor individuais - Figura 17.

**Figura 17. Transistores T1c e T2c**

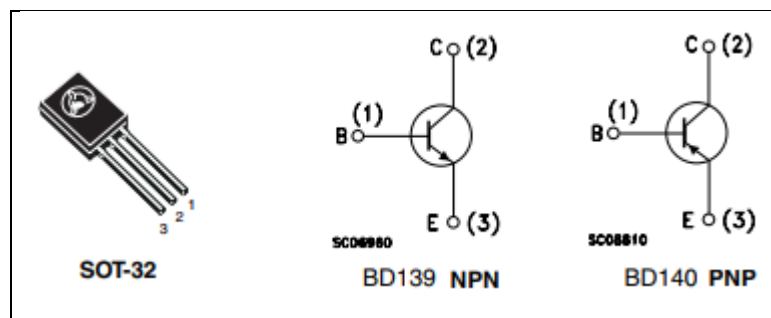


Fonte: Autoria própria

A Tabela 7 contém os valores que podem ser empregados como base para verificação dos transistores, mas como já informado anteriormente, a queda de tensão se apresenta em diferentes faixas de valores, de acordo com o equipamento empregado na medição.



Para uma rápida verificação nas condições do circuito interno dos transistores T1c e T2c, apresentam-se na Tabela 7, as quedas de tensão entre seus terminais.


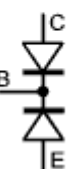
Figura 18. Transistores BD139 e BD140 - Identificação dos terminais



Fonte: Adaptado de STMicroeletronics (2009).

Tabela 7. Valores típicos para teste de transistores BD139 e BD140.

BD139  	Terminais	Polarização Direta	Polarização Inversa	
	Base - Emissor	-	643mV	-
	Base - Coletor	-	640mV	-
	Coletor - Emissor	-	-	-

BD140  	Terminais	Polarização Direta	Polarização Inversa	
	Base - Emissor	-	638mV	-
	Base - Coletor	-	634mV	-
	Coletor - Emissor	-	-	-

Fonte: Autoria própria

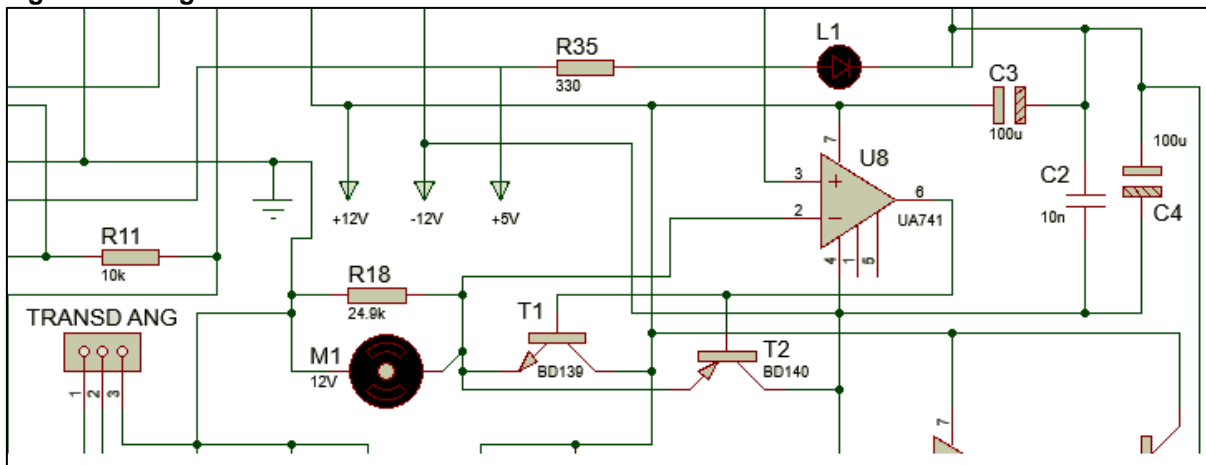
Em um dos módulos em que se realizou manutenção, a haste giratória apresentava funcionamento contínuo, mesmo não havendo comando para tal. Após análise do circuito, pode-se verificar que os transistores T1c e T2c estavam com os terminais coletor – emissor em curto, provavelmente ocasionado por elevada demanda de corrente em M1 por um longo período de



tempo, sendo que a substituição destes componentes foi suficiente para sanar o problema.

Na Figura 19 está representada a região do circuito *driver* com as interligações dos seus componentes.

**Figura 19. Diagrama do circuito *driver***



Fonte: Autoria própria

O transdutor angular – Figura 20, está acoplado diretamente sobre o eixo da caixa de redução, constituindo-se de um potenciômetro (Vishay Spectrol – modelo 357) com resistência de  $1k\Omega \pm 10\%$ , projetado para aplicações industriais (trilha resistiva de filme de polímero com plástico condutor). Possui eixo de aço inoxidável e rotação de  $360^\circ$  contínuos, com torque máximo de  $3,68mNm$  (VISHAY, 2017).

**Figura 20. Haste giratória e transdutor angular.**

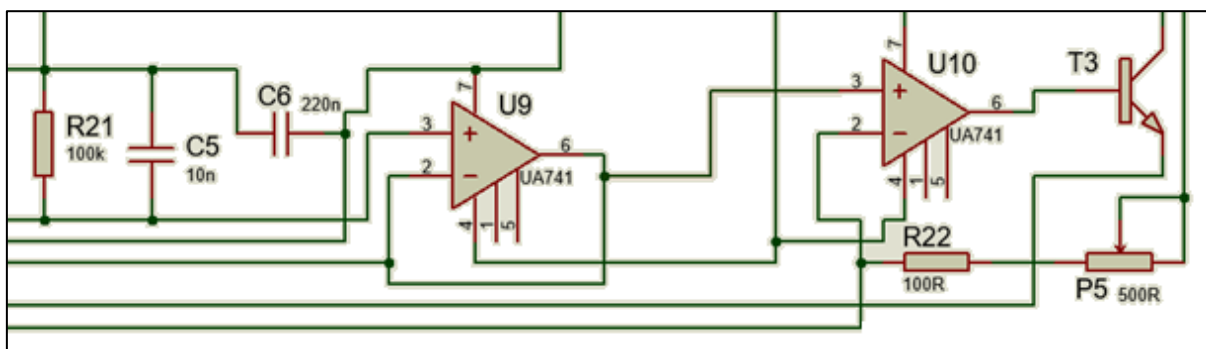


Fonte: Autoria própria.

### 3.2.5 Condicionador de posição

Esta parte do circuito contém 2 amplificadores operacionais – U9 e U10, o transistor T3 (CTPN2222) que tem sua base ligada diretamente ao terminal de saída de U10. O potenciômetro multivoltas P5 faz o ajuste da entrada inversora (pino 2) de U10. Neste circuito os componentes mais suscetíveis a falhas são os amplificadores operacionais, que como os demais AOP do módulo, podem sofrer os efeitos de um possível desajuste da fonte de alimentação.

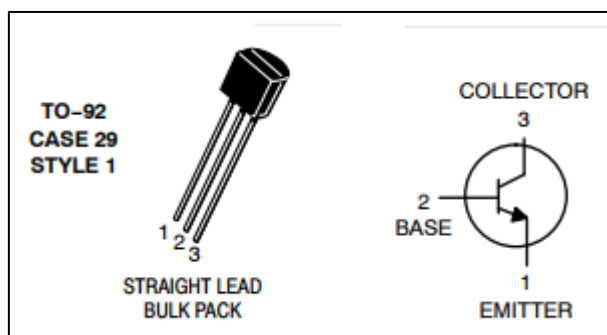
Figura 21. Circuito Condicionador de posição



Fonte: Autoria própria

O CTPN 2222 (T3) ilustrado na Figura 22, é um transistor de média potência podendo ser usado em aplicações de chaveamento ou amplificação, onde a corrente de coletor pode chegar a 1 A.

Figura 22. Transistor CTPN2222

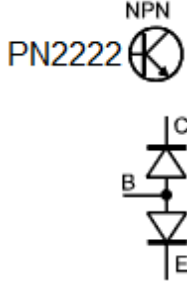


Fonte: Adaptado de OnSemiconductors (2009).

A Tabela 8 contém os valores que podem ser empregados como base para verificação do transistor, mas como já informado anteriormente, a

queda de tensão se apresenta em diferentes faixas de valores, de acordo com o equipamento empregado na medição.

**Tabela 8. Valores típicos para teste do transistor CTPN2222.**

	<b>Terminais</b>	<b>Polarização Direta</b>	<b>Polarização Inversa</b>
	Base Emissor -	713mV	-
	Base Coletor -	712mV	-
	Coletor Emissor -	-	-

Fonte: Autoria própria

### 3.2.6 Condicionador de velocidade

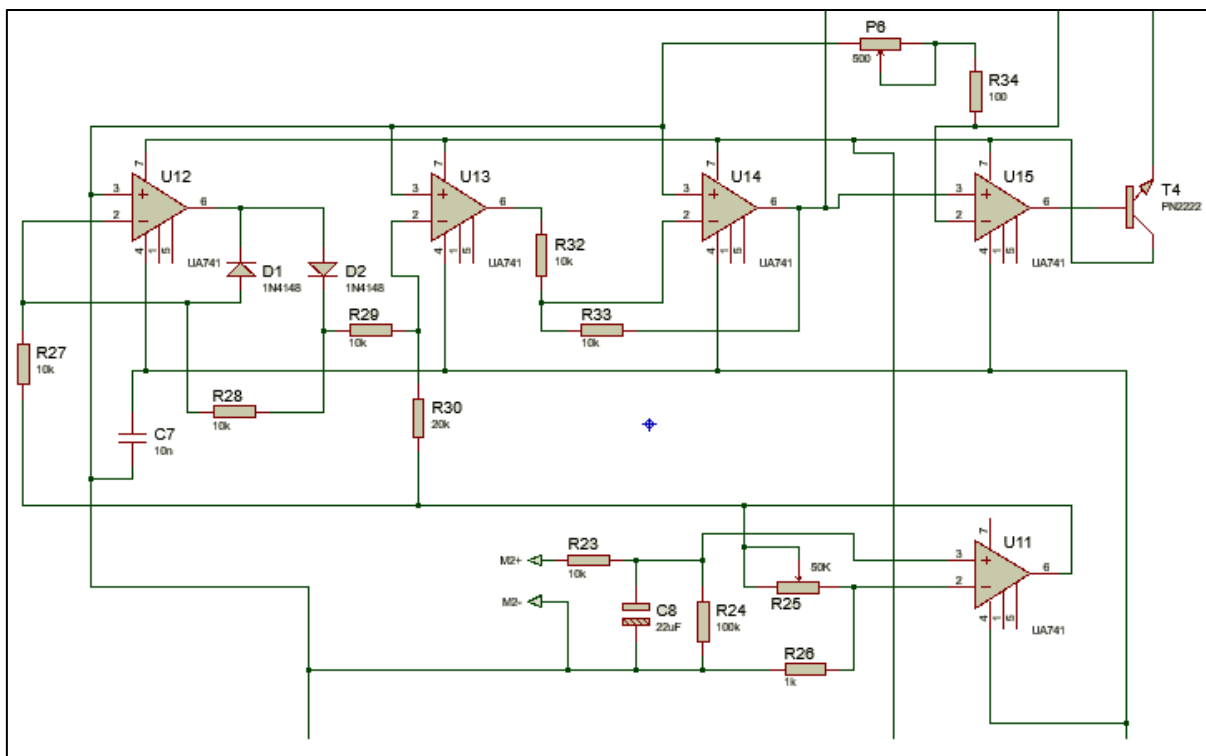
O circuito condicionador de velocidade possui 5 amplificadores operacionais, U11, U12, U13, U14 e U15. O transistor T4 (CTPN2222) tem sua base ligada diretamente ao terminal de saída de U15. O resistor R25 foi substituído pelo fabricante por um potenciômetro multivoltas de 50K $\Omega$  para obter um melhor ajuste de tensão na entrada inversora de U11. O terminal positivo do tacogerador (M2) está acoplado à entrada não inversora de U11 tendo C8 como filtro.

O tacogerador é também um motor CC, mas utilizado como gerador. Dessa maneira envia um sinal de tensão proporcional à rotação da haste, o qual se acha diretamente acoplado. Possui uma construção mais refinada, pelo fato de seu funcionamento influi fortemente no funcionamento do controle aplicado.

Os diodos D1 e D2 (1N4148) estão ligados diretamente ao terminal de saída de U12. A queda de tensão típica deste tipo de diodo fica por volta de 780mV (corrente de teste 3mA).

O diagrama da Figura 23 representa o circuito de controle de velocidade da placa de comando.

Figura 23. Diagrama circuito de velocidade

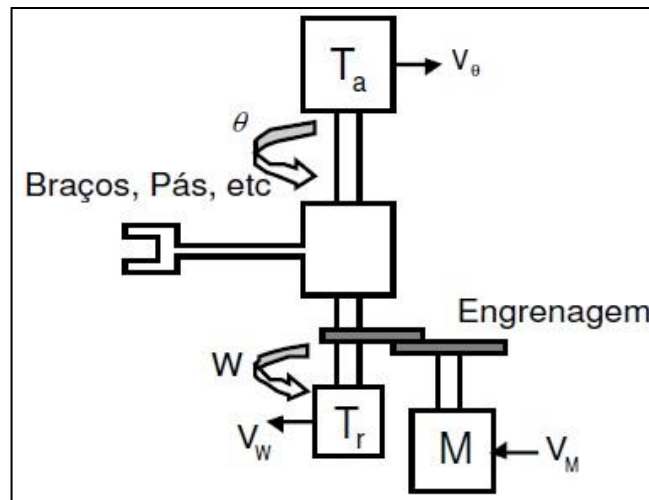


Fonte: Autoria própria

### 3.2.7 Servomecanismo de redução de velocidade

O mecanismo responsável pelo movimento giratório da haste, é constituído por um motor de corrente contínua de ímã permanente acoplado a um sistema de redução de velocidade de rotação do eixo motriz por meio de engrenagens. Encontram-se também acoplados a este mecanismo, os transdutores de ângulo (P4) e de rotação (M2) - Figura 24. O sistema de redução utilizado no módulo servomecanismo 2208, é o modelo G6242/M AB, o qual nominalmente reduz a velocidade de giro do motor CC para 250 rpm. A velocidade real da haste em medição realizada com um tacômetro a laser, com a aplicação de 6 volts no enrolamento de armadura no motor CC, indicou a velocidade de 208,6 rotações por minuto, sendo este o valor que podemos tomar como parâmetro para manutenção nos demais módulos.

**Figura 24. Transdutores acoplados.**



Fonte: Modificado de Servomecanismo (2009).

O módulo 2208 utiliza como agente de movimentação da haste giratória, um motor de corrente contínua de ímã permanente, acoplado mecanicamente ao sistema por meio de engrenagens que conferem redução na velocidade de rotação e diminuição de esforço sobre o eixo, aumentando a vida útil dos elementos responsáveis pelo contato elétrico interno do motor, como também do sistema que o controla. A Figura 25 ilustra o motor cc da haste giratória devidamente acoplado ao sistema.

Devido à facilidade com que podem ser controladas, sistemas de máquinas CC têm sido usados frequentemente em aplicações que exigem uma ampla faixa de velocidades ou de controle preciso da saída do motor (FITZGERALD, 2006).

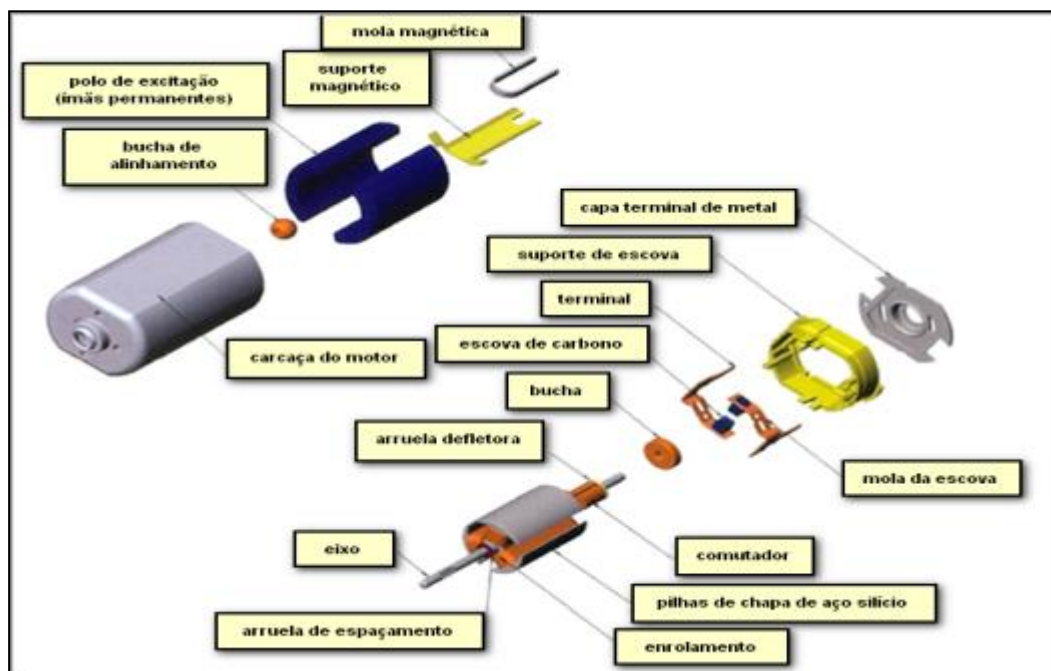
**Figura 25. Motor CC da haste giratória**



Fonte: Autoria própria

Em aplicações de sistemas de controle, os motores CC a ímã permanente possuem estrutura básica composta por um eixo, pacote de lâminas, nas quais serão bobinados condutores de cobre, coletor, escovas, carcaça e ímãs, conforme detalhado na Figura 26.

Figura 26. Partes componentes do motor cc de ímã permanente



Fonte: Johnson Electric (2014).

Quanto ao motor CC utilizado na movimentação da haste, foi levantado as seguintes características, as quais podemos tomar como base de manutenção:

Tabela 9. Características do motor CC do mecanismo giratório

Tensão nominal	6V
Resistência ôhmica do enrolamento de armadura (aproximadamente)	2,70Ω
Indutância	1,057mH
Corrente (motor acoplado e aplicando tensão nominal).	0,26A.

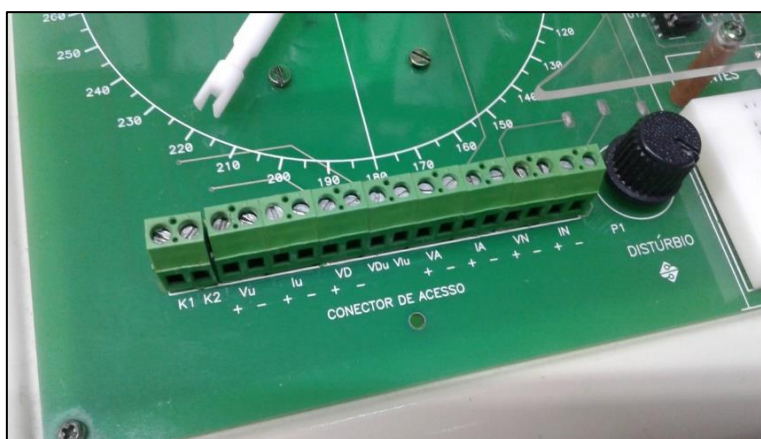
Fonte: Autoria própria

No motor CC utilizado no servomecanismo, a principal causa de mau funcionamento está relacionada às escovas do comutador, pelo fato de não possuírem o carvão de contato. Portanto, o material que está em contato direto com o comutador é somente uma fina chapa metálica, que em condições severas de uso, desgasta-se rapidamente. Uma característica do mau contato das escovas com os anéis comutadores, está relacionado com um aquecimento anormal do motor e ao movimento irregular da haste. Nestas condições, a corrente demandada cresce a ponto de provocar danos aos seus transistores de controle.

### 3.2.8 Conectores de acesso

A conexão dos sinais para operação do módulo de servomecanismo 2208, conta com dezoito bornes e é implementada utilizando 9 conectores de aperto tipo KRE 180° de duas vias cada, onde podemos ligá-lo a outros equipamentos de controle ou medição. A barra de conectores é presa à placa de circuito por meio de soldagem, sobre a qual concentra todo o esforço de fixação dos cabos de comunicação, apresentada na Figura 27.

**Figura 27. Vista superior dos conectores**



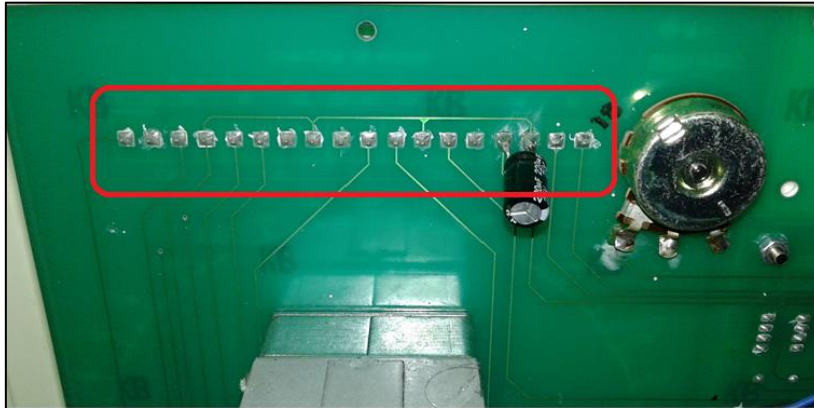
Fonte autoria própria

Essa região mostra-se crítica, devido a recorrentes condições de mau contato entre o cabo e o conector. Com a frequente utilização destes conectores de acesso, os bornes acabam sofrendo um acentuado desgaste das partes metálicas, propiciando falhas na conexão. E o excessivo aperto na



tentativa de obter uma boa conexão, acaba por trincar a solda existente nos terminais do borne.

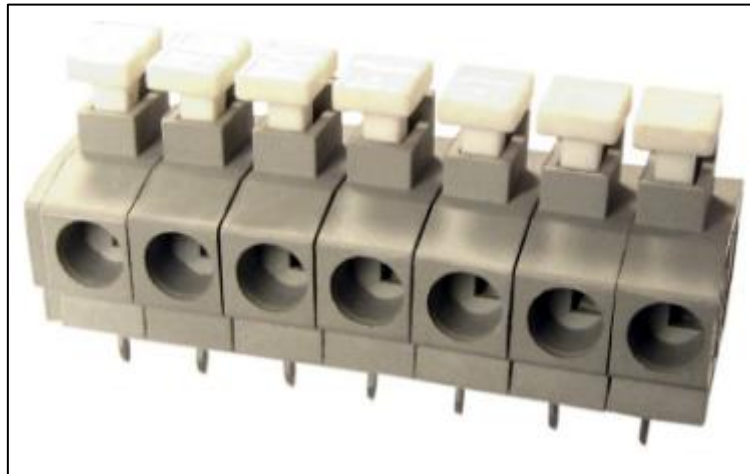
**Figura 28. Vista inferior dos conectores**



Fonte autoria própria

Uma possível solução dos problemas provocados pelo uso frequente dos bornes KRE, é a sua substituição por bornes de pressão para PCI, para o qual encontra-se o borne do tipo BR6N3 fabricado pela Metaltex Produtos Eletrônicos Ltda. Ilustrado na Figura 29.

**Figura 29. Borne de pressão BR6N3.**



Fonte: Metaltex (2017).

Os bornes de pressão do tipo BR6N3 realizam a conexão do fio por mola de operação direta o que reduz a possibilidade de mau contato além de agilizar o procedimento de engate dos fios. As ocorrências de falhas devido a trincas na solda também poderão ser reduzidas, já que a carga de aperto é



menor em relação a bornes que utilizam parafusos para aperto de conexão. O passo do pino de fixação é de 5mm e altura de 15,5mm, mostrando-se compatível com as dimensões dos bornes atuais.

### 3.2.9 Componentes da placa de comando

Na Tabela 10 encontram-se listados os todos os componentes utilizados no circuito da placa de comando do módulo de servomecanismo 2208.

**Tabela 10. Lista de componentes da placa de comando**

ITEM	ABREVIATURA	DESCRIÇÃO
1	C1	Capacitor poliéster 10 nF/250V
2	C2	Capacitor poliéster 10 nF/250V
3	C3	Capacitor eletrolítico 100 uF/25V
4	C4	Capacitor eletrolítico 100 uF/25V
5	C5	Capacitor poliéster 10 nF/250V
6	C6	Capacitor poliéster 10 nF/250V
7	C7	Capacitor poliéster 10 nF/250V
8	C8	Capacitor eletrolítico 22 uF/50V
9	C9	Capacitor eletrolítico 220 uF/25V
10	D1	Diodo 1N4148
11	D2	Diodo 1N4148
12	L1	Led 5mm vermelho – indicador ON/OFF
13	P1	Potenciômetro 1 k $\Omega$ (1K.A 938) – distúrbio
14	P2	Trimmer 500 $\Omega$ multivoltas
15	P3	Trimmer 10 k $\Omega$ multivoltas
16	P4	Transdutor angular 1 k $\Omega$
17	P5	Trimmer 500 $\Omega$
18	P6	Trimmer 500 $\Omega$
19	R1	Resistor 47 k $\Omega$ 250 mW 5%

20	R2	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
21	R3	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
22	R4	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
23	R5	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
24	R6	Resistor 24,9 k $\Omega$ 250 mW 5%
25	R7	Resistor 100 $\Omega$ 250 mW 5%
26	R8	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
27	R9	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
28	R10	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
29	R11	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
30	R12	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
31	R13	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
32	R14	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
33	R15	Resistor 20 k $\Omega$ 250 mW 5%
34	R16	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
35	R17	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
36	R18	Resistor 24,9 k $\Omega$ 250 mW 5%
37	R19	Resistor 1,5 k $\Omega$ 250 mW 5%
38	R20	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
39	R21	Resistor 100 k $\Omega$ 250 mW 5%
40	R22	Resistor 100 $\Omega$ 250 mW 5%
41	R23	Resistor 10 k $\Omega$ 250 mW 5%
42	R24	Resistor 100 k $\Omega$ 250 mW 5%
43	R25	Trimmer 50 k $\Omega$ (alteração do fabricante)
44	R26	Resistor 1 k $\Omega$ 250mW 5%
45	R27	Resistor 10 k $\Omega$ 250mW 5%
46	R28	Resistor 10 k $\Omega$ 250mW 5%
47	R29	Resistor 10 k $\Omega$ 250mW 5%
48	R30	Resistor 20 k $\Omega$ 250mW 5%
49	R31	Resistor 10 k $\Omega$ 250mW 5%

50	R32	Resistor 10 k $\Omega$ 250mW 5%
51	R33	Resistor 10 k $\Omega$ 250mW 5%
52	R34	Resistor 100 $\Omega$ 250mW 5%
53	R35	Resistor 330 $\Omega$ 250mW 5%
54	T1	Transistor NPN BD139 NPN (circuito <i>driver</i> )
55	T2	Transistor PNP BD140 PNP (circuito <i>driver</i> )
56	T3	Transistor CTPN2222 NPN (circuito posição)
57	T4	Transistor CTPN2222 NPN (circuito velocidade)
58	U1	Amplificador Operacional UA741 (Amplificador e entrada de distúrbios)
59	U2	Amplificador Operacional UA741 (Amplificador e entrada de distúrbios)
60	U3	Amplificador Operacional UA741 (Amplificador e entrada de distúrbios)
61	U4	Amplificador Operacional UA741 (Amplificador e entrada de distúrbios)
62	U5	Amplificador Operacional UA741 (Circuito deslocador)
63	U6	Amplificador Operacional UA741 (Circuito deslocador)
64	U7	Amplificador Operacional UA741 (Circuito deslocador)
65	U8	Amplificador Operacional UA741 (Circuito driver)
66	U9	Amplificador Operacional UA741 (Circuito condicionador de posição)
67	U10	Amplificador Operacional UA741 (Circuito condicionador de posição)
68	U11	Amplificador Operacional UA741 (Circuito condicionador de velocidade)
69	U12	Amplificador Operacional UA741 (Circuito condicionador de velocidade)
70	U13	Amplificador Operacional UA741 (Circuito condicionador de velocidade)
71	U14	Amplificador Operacional UA741 (Circuito condicionador de velocidade)
72	U15	Amplificador Operacional UA741 (Circuito condicionador de velocidade)

<b>73</b>	M1	Motor da haste giratória
<b>74</b>	M2	Tacogerador
<b>75</b>	RB1	Mecanismo de redução de velocidade e acoplamento de sensores. Modelo G6242/M AB 250rpm – 6V. Integra os elementos M1, M2 e P4.

Fonte: Autoria própria

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a implementação prática da manutenção em módulos de servomecanismo 2208, pode-se organizar uma metodologia operacional que proporciona um desenvolvimento ágil e seguro para a manutenção dos kits didáticos.

Além disso, pode-se considerar a economia dos gastos da universidade com o transporte e manutenção do equipamento, visto que com a aplicação desta metodologia pode-se alcançar ótimos resultados, e também pela contribuição para o bom andamento de todas as disciplinas da engenharia que utilizam os módulos servomecanismo 2208 em suas aulas práticas, com a diminuição do tempo em que estes equipamentos ficam ausentes, indisponíveis para a utilização.

Conforme apresentado no desenvolvimento do projeto, os procedimentos para a manutenção foram realizados de acordo com os problemas apresentados pelo kit. Os defeitos e as possíveis soluções estudadas podem ser descritos como:

### 4.1 Fonte de alimentação do módulo de servomecanismo 2208

#### **Entrada da rede**

Funcionamento intermitente: cabo de alimentação, F1.

Módulo não liga: F1, cabo de alimentação, S1, TF1.

#### **Sistema bivolt automático**

Se ligado à rede 127 V, Led piloto aceso, mas não funciona ou apresenta funcionamento irregular: verificar: K1, R1, TF1, reguladores REG1, REG2 e REG3, T1.

Apresenta defeito quando ligado à rede 220 V, verificar: K1, R1, TF1, REG1, REG2, REG3, T1

#### **Transformador**

Sem tensão nos diodos retificadores: Verificar enrolamentos primário e secundário de TF1.

#### **Retificador e filtros**

Sem tensão nos bornes de saída da fonte ou diferente da nominal

### **Reguladores de tensão**

Bornes de saída da fonte não apresentam tensão ou então acima da nominal: REG1 e T1 (borne 5 V), REG2 e REG3 (bornes -12 V e +12 V).

### **Proteção de saída**

Módulo interrompe o funcionamento sob demanda de corrente superior à suportada por REG1, T1, REG2, REG3, devido à atuação de PTC1, PTC2, PTC3: aguardar resfriamento dos componentes de proteção, observando o disposto na Tabela 2 e 3.

## **4.2 Placa do circuito de processamento de sinais e comando**

### **Amplificador e entrada de distúrbios**

P1 não altera funcionamento do sistema: R1, U1, U2, U3, U4, P1, C16, J1-J2, Bornes Vd-, Vu-, Va-, Vn-.

### **Circuito Deslocador**

Circuito não opera: U5, U6, U7, P3.

### **Circuito driver**

M1 funciona parcialmente ou não funciona: U8, T1c, T2c, M1.

### **Condicionador de posição**

Circuito com funcionamento irregular ou não opera: U9, U10, C5, T3, P5.

### **Condicionador de velocidade**

Circuito com funcionamento irregular ou não funciona: U11, U12, U13, U14, U15, T4, D1, D2, P6, R25, M2.

### **Servomecanismo de redução de velocidade**

Movimento da haste irregular ou lento, sem movimento: M1, M2, engrenagens de redução, P4

### **Conectores de acesso**

Mau contato, sem continuidade: contatos metálicos oxidados, trinca nas soldas dos terminais e trilhas adjacentes.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manutenção técnica é um procedimento indispensável em todos os tipos de equipamentos, sendo esta do tipo preventiva ou corretiva, apresenta um importante papel para o bom funcionamento do produto/aparelho. Atenção especial deve ser dada a equipamentos que são utilizados em ambientes de aprendizado e sujeitos a condições de uso severo ou até mesmo inadequado, ainda mais quando se trata de equipamentos eletrônicos, que por sua natureza frágil há maior risco de ocorrerem danos.

O procedimento de manutenção proposto apresentado neste trabalho buscou facilitar o entendimento dos circuitos do módulo, dividindo-o em regiões funcionais e assim esclarecer o seu funcionamento de maneira simples, conduzindo ao foco do defeito de maneira ágil e como proceder para corrigi-lo.

O ato de relacionar um defeito à alguns componentes eletrônicos e estruturar suas possíveis causas, facilita o procedimento de manutenção e permitirá que qualquer estudante de engenharia realize a ação no próprio laboratório, de modo correto e com custo mínimo.

## REFERÊNCIAS

BRIGNELL, B., WHITE, N. **Intelligent Sensor Systems**. Revised Edition, Institute of Physics Publishers, Philadelphia 1996.

FIALHO, N. N. **Jogos no Ensino de Química e Biologia**. Curitiba: IBPEX, 2007.

INFOPÉDIA, Artigos de apoio in. **Servomecanismo**. Porto: Porto Editora, 2003-2017. [consult. 2017-06-19 20:29:34]. Disponível em: <[https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/\\$servomecanismo](https://www.infopedia.pt/apoio/artigos/$servomecanismo)>. Acesso em 06 de junho 2017.

DATAPPOOL Eletrônica. **SERVOMECANISMO 2208 – Caderno de Experiências e Manual**. Itajubá, 2009.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM**, Portaria 029 de 1995, 3ª. Edição, 2003.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, Charles; UMANS, Stephen D. **Máquinas elétricas: com introdução à eletrônica de potência**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Porto Alegre, RS: AMGH, 2013.

USP. **E-disciplinas sistema de apoio às disciplinas - amplificador operacional**. 2017. 11 p. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1622479/mod\\_resource/content/0/AOP.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1622479/mod_resource/content/0/AOP.pdf)>. Acesso em 02 nov. 2017.

STMICROELECTRONICS. **Complementary low voltage transistor BD139 BD140**. 2008. 9 p. Disponível em: <<http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/25/1f/cf/0d/03/ad/4e/06/CD00001225.pdf/files/CD00001225.pdf/jcr:content/translations/en.CD00001225.pdf>>. Acesso em 01 nov. 2017.

ON SEMICONDUCTOR. **General-purpose amplifier PN2222A**. 2004. 8 p. Disponível em: <<https://www.fairchildsemi.com/datasheets/PN/PN2222A.pdf>>. Acesso em 01 nov. 2017.

LITTELFUSE. **Poly-fuse resettable PTCs 250R**. 2017. 7 p. Disponível em: <[http://m.littelfuse.com/~media/electronics/datasheets/resettable\\_ptcs/littelfuse\\_ptc\\_250r\\_datasheet.pdf.pdf](http://m.littelfuse.com/~media/electronics/datasheets/resettable_ptcs/littelfuse_ptc_250r_datasheet.pdf.pdf)>. Acesso e 01 nov. 2017.

CYG WAYON. **Polymer PTC Devices LP60 Series**. 2015. 3 p. Disponível em: <<http://www.way-on.com/UploadFile/Product/LP60%20series-2015.pdf>>. Acesso em 02 nov. 2017.



STMICROELECTRONICS. **Complementary silicon power transistors 2N3055 MJ2955**. 2009. 5 p. Disponível em: <[http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/2/N/3/0/2N3055.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/2/N/3/0/2N3055.shtml)>. Acesso em 01 nov. 2017.

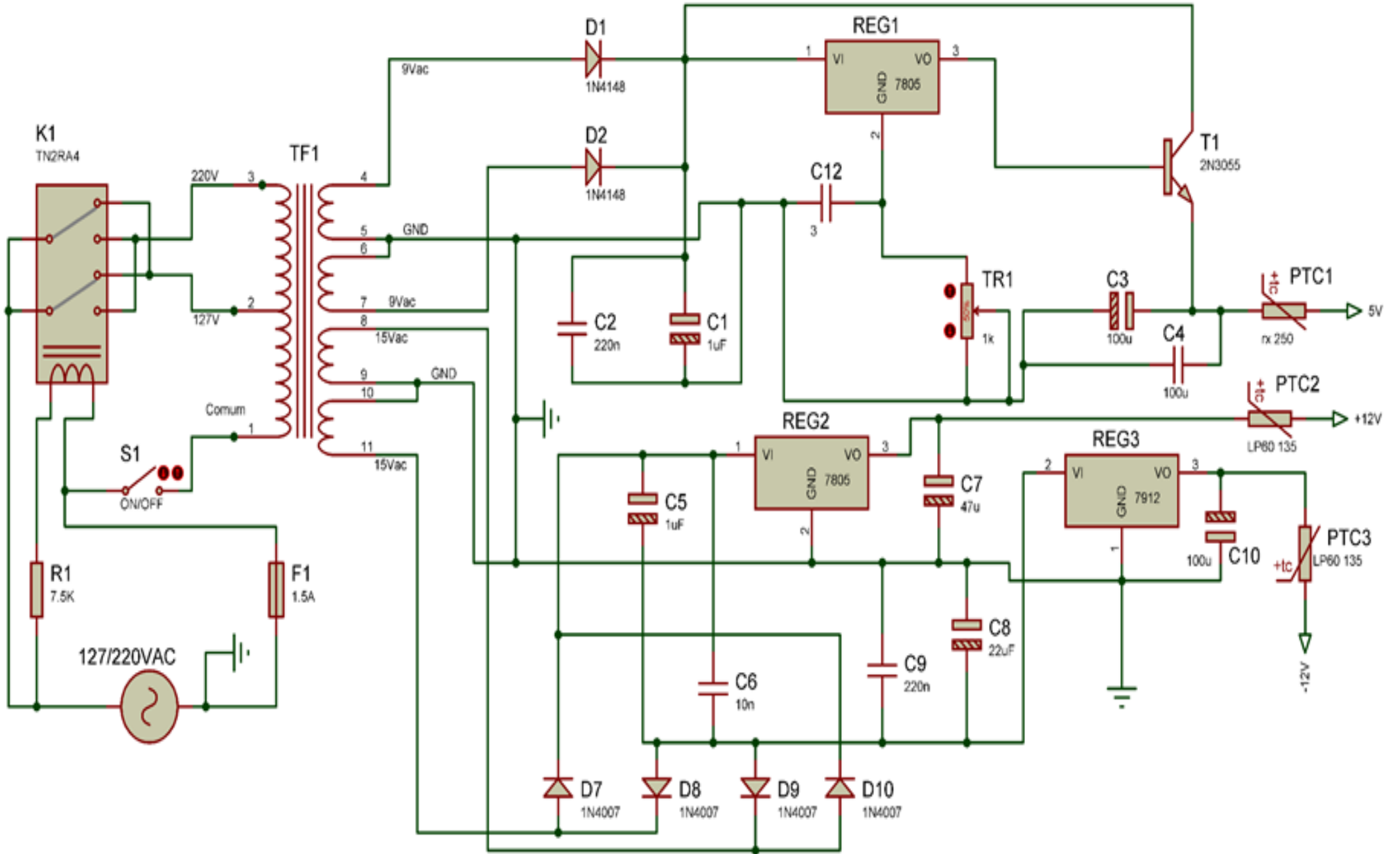
METALTEX. **Bornes/terminal blocks BR6**. 2017. 4 p. Disponível em: <<http://www.metaltex.com.br/downloads/BR.pdf>>. Acesso em 13 nov. 2017.

VISHAY. **Conductive plastic potentiometer, bushing mount type**. 2017. 3 p. Disponível em: <<http://www.vishay.com/docs/57059/357.pdf>>. Acesso em 13 nov. 2017.

VISHAY. **Conductive plastic technology**. 2001. 3 p. Disponível em: <<http://www.vishay.com/docs/54001/mtgeninf.pdf>>. Acesso em 13 nov. 2017.

TEXAS INSTRUMENTS. **µA741 general-purpose operational amplifiers**. 2017. 26 p. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ua741.pdf>>. Acesso em 14 nov. 2017.

### APÊNDICE A – Diagrama circuito da fonte de alimentação



# APÊNDICE B – Diagrama circuito da placa de comando

