

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Lucas Gais Gularte

**MICRORREDE PARA COMPARTILHAMENTO DO USO DE  
EQUIPAMENTOS PARA ENSAIO ELÉTRICO COM INTERTRAVAMENTO  
DE SEGURANÇA**

Santa Maria, RS  
2021

**Lucas Gais Gularte**

**MICRORREDE PARA COMPARTILHAMENTO DO USO DE EQUIPAMENTOS PARA  
ENSAIO ELÉTRICO COM INTERTRAVAMENTO DE SEGURANÇA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Elétrico**.

ORIENTADOR: Prof. Leandro Michels

Santa Maria, RS  
2021

---

©2021

Todos os direitos autorais reservados a Lucas Gais Gularte. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

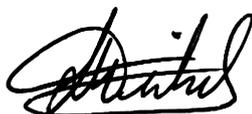
End. Eletr.: [gaisgularte@gmail.com](mailto:gaisgularte@gmail.com)

**Lucas Gais Gularte**

**MICRORREDE PARA COMPARTILHAMENTO DO USO DE EQUIPAMENTOS PARA  
ENSAIO ELÉTRICO COM INTERTRAVAMENTO DE SEGURANÇA**

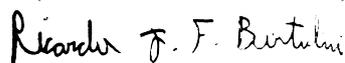
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Elétrico**.

**Aprovado em 8 de janeiro de 2021:**



---

**Leandro Michels, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)



---

**Ricardo J. F. Bortollin, Me. (UFSM)**



---

**Lucas Vizzotto Bellinaso, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2021

## DEDICATÓRIA

*...num incerto momento da vida, questionaram-me os motivos para continuar com a batalha da esperança da vida. Enorme responsabilidade para uma pessoa prematura, exercer a capacidade de modificar a realidade e alimentar esperanças em um mundo não mais tão colorido e tão expressivo no assunto da dor. Admiro e tento diariamente não perder aquela força, de luz tão ofuscada, que ainda buscava motivos superiores as sensações mórbidas da condição que se encontrava. Tanto empenho em absorver o desconforto e as inseguranças ao converter-las em esperança e motivação, fizeram-me a pessoa mais falso otimista, exclusivamente a ti. E como Abraham Maslow pronunciou, o falso otimismo, mais cedo ou mais tarde, significa decepção, raiva e desespero. Como resposta ao momento incerto, lembro-me apontar esse momento da obtenção do grau, aliando de certa forma tua conquista com a minha. Erroneamente nos alimentamos de mentiras mútuas e falsas esperanças na busca de algumas horas de conforto até o último terminal. Por fim, descobri que a resposta correta, está na capacidade da vida em proporcionar novos momentos e estórias, que serão felizes por exclusiva escolha. Isto é, no período que estamos no controle. Isso recai ao pensamento de Leonardo Sciascia, ...num certo momento da vida, não é a esperança a última a morrer, mas a morte é a última esperança. Assim, finalizo a ti com tudo aquilo que dedicamos um ao outro.*

## **AGRADECIMENTOS**

*O mais alto agradecimento ao Ricardo Nunes Marchesan, que independente da distância, está sempre presente. Sem o atalho da tua genialidade e companheirismo, eu não estaria aqui. Ao meu pai Antônio Gularte, que soube adaptar-se a nova realidade e assumi-la com apoio e complacência. Aos amigos Sérgio Degen e família, pelo incrível laço de doação, comprometimento e confiança. Ao paternal amigo Elio Steinhorst, por dedicar-se a família antes de qualquer aspiração própria. A minha metade, Débora Steinhorst, por ser pilar de todas conquistas, derrotas, felicidades e ambições dessa jornada. A minha filha, Vitória Steinhorst, por não desistir de resgatar-me para a simplicidade e ternura da infância.*

*Profissionalmente, ao Olides Tozetto, pelos ensinamentos e oportunidades que fizeram-me um destemido Eletrotécnico. Ao Leandro Michels, por elevar as atividades técnicas ao patamar da engenharia, confiando e objetivando resultados.*

*We crave for new sensations but soon become indifferent to them. The wonders of yesterday are today common occurrences.*

*(Nikola Tesla)*

## RESUMO

### MICRORREDE PARA COMPARTILHAMENTO DO USO DE EQUIPAMENTOS PARA ENSAIO ELÉTRICO COM INTERTRAVAMENTO DE SEGURANÇA

AUTOR: Lucas Gais Gularte  
ORIENTADOR: Leandro Michels

O Instituto de Redes Inteligentes (INRI), pertencente a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), possui uma complexa estrutura laboratorial para ensaios de equipamentos eletrônicos, o qual possui equipamentos elétricos de grande porte e de elevada potência para realização de suas atividades. Estes equipamentos são empregados tanto para atividades de ensaios comerciais, com destaque para a realização de ensaio de inversores fotovoltaicos (acreditada pelo INMETRO), como para atividades de pesquisa acadêmica. Considerando que os ensaios são submetidos sob sigilo comercial, realizou-se uma segmentação destes ensaios para ambientes distintos das atividades acadêmicas. Como objetivo de permitir o compartilhamento dos equipamentos entre todos os laboratórios garantindo a segurança e o fácil uso de todos os usuários do sistema, concebeu-se uma micro-rede elétrica. Essa rede é composta por ramais elétricos e painéis de potência capazes de comutar por acionamento eletromecânico os circuitos entre os equipamentos e os locais de uso. A comutação é realizada com intertravamentos de circuitos de comando, circuitos de potência e circuitos de comunicação de rede. Este trabalho contempla o projeto elétrico da microrrede, bem como os conceitos da automação eletromecânica.

**Palavras-chave:** Microrrede, Projeto Elétrico, Automação Eletromecânica.

## **ABSTRACT**

**AUTHOR:** Lucas Gais Gularte  
**ADVISOR:** Leandro Michels

The Intelligent Networks Institute (INRI) of the Federal University of Santa Maria has a complex laboratory structure dedicated for electronic equipment testing focused on solar systems. This demands large electrical connections and high power instruments. The equipment and instruments are used for academic research purposes as well as for professional activities, such as commercial equipment certification (INMETRO accreditation). As commercial equipments tested are subject to strict regulations and secrecy, their physical access was limited by means of laboratory access control. With the objective of enabling usage of all available equipment for both purposes an electrical micro-network was conceived and installed. This network is made of cable harnesses and switches capable of selecting which device is connected to which laboratory. It also has hardware interlocking features on its power and communication circuits. This work describes the design of this network, as well as the automation concepts for its electromechanical components.

**Keywords:** Micro-network. Electric installation design. Electro-mechanical automation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Fonte c.a. Trifásica SUPPLIER FCATQ 10000-60-40 .....	16
Figura 2.2 – Fonte c.a. Monofásica SUPPLIER FCAMQ 1100-33-15 .....	17
Figura 2.3 – Fonte emuladora Fotovoltaica Keysight N8957APV .....	19
Figura 2.4 – Carga Eletrônica c.c. NHR4760 .....	20
Figura 3.1 – Chave Seccionadora WEG MSWR160B3H .....	31
Figura 4.1 – Diagrama de Comando para o Circuito Exclusivamente c.a. - Modelo A .	38
Figura 4.2 – Diagrama de Comando para o Circuito c.a e c.c. - Modelo B .....	44
Figura 4.3 – Diagrama de Comando para o Circuito de Emergência .....	48

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1.1 – Ilustrativo de compartilhamento de equipamentos entre laboratórios .	14
Ilustração 2.1 – Configuração dos equipamentos segundo a portaria INMETRO Nº357/2014.	15
Ilustração 2.2 – Esquemático RLC segundo a NBR IEC 62116. ....	18
Ilustração 3.1 – Diagrama unifilar genérico de comutação entre laboratórios .....	21
Ilustração 3.2 – Trecho Eletrocalha Ramal de Ligação .....	22
Ilustração 3.3 – Representação tabela 33 NBR5410 .....	23
Ilustração 3.4 – Representação tabela 37 NBR 5410 .....	23
Ilustração 3.5 – Diagrama unifilar Ramal Ligação .....	24
Ilustração 3.6 – Diagrama unifilar de potência - Modelo A .....	25
Ilustração 3.7 – Circuito de Potência - Fonte c.a. Trifásica .....	27
Ilustração 3.8 – Circuito de Potência - Fonte c.a. Monofásica .....	29
Ilustração 3.9 – Circuito de Potência - Carga RLC .....	30
Ilustração 3.10 – Diagrama Unifilar de potência - Modelo B .....	31
Ilustração 4.1 – Conjunto de acionadores presentes no Terminal A para Modelo A ...	36
Ilustração 4.2 – Conjunto do acionadores presentes Modelo A .....	37
Ilustração 4.3 – Conjunto de acionadores presentes no Terminal A para Modelo B ...	41
Ilustração 4.4 – Conjunto do acionadores presentes no Modelo B .....	43
Ilustração A.1 – Vista Frontal Terminal A .....	51
Ilustração B.1 – Vista interior Terminal A .....	52
Ilustração C.1 – Vista superior LABENSAIOS .....	53
Ilustração D.1 – Vista Frontal Terminal B .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Características Técnicas c.a. trifásica .....	16
Tabela 2.2 – Características Técnicas c.a. monofásica .....	17
Tabela 2.3 – Características Técnicas Carga RLC .....	18
Tabela 2.4 – Características Técnicas Fonte emuladora Fotovoltaica .....	19
Tabela 2.5 – Características Técnicas Carga eletrônica c.c. ....	20
Tabela 3.1 – Características Técnicas Ramal de Ligação .....	24
Tabela 3.2 – Definição dos Trechos - Circuito Modelo A .....	25
Tabela 3.3 – Especificações Circuito Potência Fonte c.a. Trifásica .....	28
Tabela 3.4 – Especificações Circuito Potência Fonte c.a. Monofásica .....	28
Tabela 3.5 – Especificações Circuito Potência Carga RLC .....	29
Tabela 3.6 – Especificações Circuito Potência Fonte emuladora Fotovoltaica .....	32
Tabela 3.7 – Especificações Circuito Potência Carga eletrônica c.c. ....	33
Tabela 4.1 – Especificações componentes Circuito Exclusivamente c.a. - Modelo A ..	38
Tabela 4.2 – Especificações componentes Circuito c.a. e c.c. - Modelo B .....	44
Tabela 4.3 – Especificações componentes Circuito de Emergência .....	47

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>EQUIPAMENTOS DE USO COMPARTILHADO</b>	<b>15</b>
2.1	FONTE EMULADORA DE REDE C.A. TRIFÁSICA	16
2.2	FONTE EMULADORA DE REDE C.A. MONOFÁSICA	17
2.3	CARGA RLC	18
2.4	FONTE EMULADORA FOTOVOLTAICA	19
2.5	CARGA ELETRÔNICA C.C.	20
<b>3</b>	<b>PROJETO DOS CIRCUITOS DE POTÊNCIA</b>	<b>21</b>
3.1	RAMAL DE ALIMENTAÇÃO	21
3.2	CIRCUITO EXCLUSIVAMENTE C.A. - MODELO A	25
<b>3.2.1</b>	<b>Diagrama de Potência Unifilar</b>	<b>25</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Elementos do circuito de potência</b>	<b>26</b>
3.2.2.1	<i>Fonte emuladora de rede c.a. trifásica</i>	26
3.2.2.2	<i>Fonte emuladora de rede c.a. Monofásica</i>	28
3.2.2.3	<i>Carga RLC</i>	29
3.3	CIRCUITO C.A. E C.C. - MODELO B	30
<b>3.3.1</b>	<b>Diagrama de Potência Unifilar</b>	<b>30</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Elementos do circuito de potência</b>	<b>31</b>
3.3.2.1	<i>Fonte emuladora Fotovoltaica</i>	31
3.3.2.2	<i>Carga eletrônica c.c.</i>	32
<b>4</b>	<b>PROJETO DOS CIRCUITOS DE COMANDO</b>	<b>34</b>
4.1	CIRCUITO EXCLUSIVAMENTE C.A. - MODELO A	35
<b>4.1.1</b>	<b>Elementos da IHM</b>	<b>35</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Modos de operação</b>	<b>36</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Diagrama do circuito de comando</b>	<b>37</b>
4.1.3.1	<i>Elementos de comando</i>	37
4.1.3.2	<i>Estados e etapas de comando</i>	39
4.2	CIRCUITO C.A. E C.C. - MODELO B	40
<b>4.2.1</b>	<b>Elementos da IHM</b>	<b>41</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Modos de operação</b>	<b>42</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Diagrama do circuito de comando</b>	<b>43</b>
4.2.3.1	<i>Elementos de comando</i>	43
4.2.3.2	<i>Estados e etapas de comando</i>	45
4.3	CIRCUITO DE EMERGÊNCIA	46
<b>4.3.1</b>	<b>Diagrama do circuito de comando</b>	<b>47</b>
4.3.1.1	<i>Elementos de comando</i>	47
4.3.1.2	<i>Estados e etapas de comando</i>	47
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>50</b>
	<b>ANEXO A – TERMINAL A LABENSAIOS</b>	<b>51</b>
	<b>ANEXO B – INTERIOR TERMINAL A</b>	<b>52</b>
	<b>ANEXO C – VISTA SUPERIOR LABENSAIOS</b>	<b>53</b>
	<b>ANEXO D – TERMINAL B LPEE</b>	<b>54</b>
	<b>ANEXO E – CIRCUITO DE COMANDO MODELO A</b>	<b>55</b>
	<b>ANEXO F – CIRCUITO DE COMANDO MODELO B</b>	<b>56</b>

<b>ANEXO G – CIRCUITO DE EMERGÊNCIA.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO H – TERMINAL A.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO I – INTERIOR TERMINAL A .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO J – TERMINAL B .....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO K – INTERIOR TERMINAL B .....</b>	<b>61</b>
<b>ANEXO L – TERMINAL DE CONEXÃO EQUIPAMENTOS.....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os diferentes níveis de automação, sejam eles controlados por eletrônica computacional ou arranjos de contatos elétricos ordenados em lógica consequente, permitem não apenas a redução de trabalho humano, como também a eliminação de erros operacionais de natureza humana. Esse trabalho apresenta um sistema capaz de ratificar essa premissa com outro benefício, o do acesso. Com isso, o acesso aos diferentes equipamentos laboratoriais de grande potência, se expandiram a diferentes públicos da área da engenharia sem afetar a rotina entre laboratórios de pesquisa científica e prestação de serviço.

O INRI - Instituto de Redes Inteligentes, possui um complexo laboratorial para ensaios elétricos e pesquisa científica. Instalado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), possui o consórcio de atividades da prestação de serviços tecnológico com atividades acadêmicas, de forma que esses dois universos trabalham em conjunto na busca de melhores resultados e soluções para os desafios da área.

O foco desse trabalho está no laboratório de ensaios de inversores fotovoltaicos conectados a rede elétrica. É composto por um conjunto de equipamentos necessários para ensaios de inversores fotovoltaicos com potência inferior ou igual a 75 kW. Seus ensaios são acreditados pelo INMETRO, garantindo que o fluxo de dispositivos para ensaios comerciais seja grande, já que essa é uma exigência para a operação desses dispositivos em território nacional.

Esses ensaios exigem equipamentos como fontes emuladoras de rede c.a., fontes de emuladoras de sistemas fotovoltaicos, cargas RLC (resistiva, indutiva e capacitiva), cargas ativas c.c., entre outros, que além de serem sensíveis ao transporte, possuem grandes dimensões físicas que impossibilitam o transporte entre laboratórios. Além do mais, suas instalações e conexões elétricas são de grande porte, exigindo consideráveis parcelas de tempo apenas para configuração da bancada de trabalho, que provoca atraso e extensos agendamentos para seus diferentes usos e interesses. Outro impedimento para o uso desses equipamentos em um único laboratório, se dá no sigilo exigido aos equipamentos submetidos aos ensaios comerciais para os usuários do INRI não envolvidos nessas atividades.

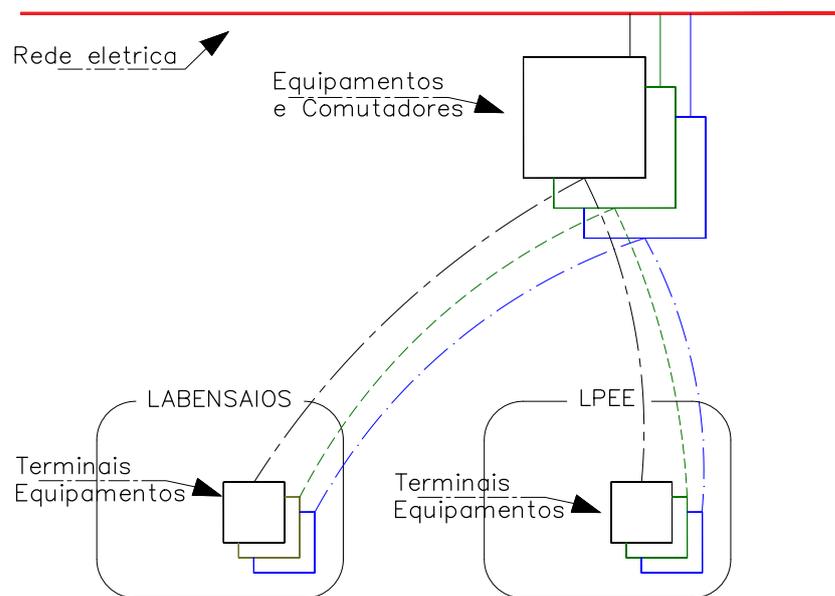
Como solução para esses impedimentos de uso compartilhado, surge a imediata solução de que todos os laboratórios deverão ser equipados individualmente e de forma independente. No entanto, essa alternativa apesar de simples e eficaz, deixa de ser atraente uma vez que os equipamentos ultrapassam o custo de R\$ 1 milhão de reais. Tal custo reafirma a necessidade e a importância de interligar os laboratórios com uma estrutura unitária de equipamentos.

Contudo, a questão principal para o compartilhamento é garantir-se a segurança necessária para operação desses equipamentos, bem como possibilitar o fácil comando

remoto. Dessa forma, demanda-se que os requisitos de compartilhamento e operação sejam diferenciados, garantindo a segurança tanto dos equipamentos como dos operadores em si. Logo, não basta condicionar os equipamentos em uma sala isolada e ramificar os cabos entre laboratórios, é necessária a presença de um complexo circuito de comando para gerenciar essas manobras garantindo a exclusão de erros, tanto técnicos como humanos.

Esse trabalho apresenta a solução proposta, que consiste no projeto e implementação de uma rede de distribuição interna intertravada de equipamentos de grande porte entre diferentes laboratórios com comutação de potência e comando. Ou seja, um projeto composto de toda estrutura mecânica e elétrica necessária para que os terminais de potência desses equipamentos sejam conectados e distribuídos entre os laboratórios por meio de *circuitos de potência* controlados por *circuitos de comando*. A Ilustração 1.1 demonstra o conceito de compartilhamento dos equipamentos.

Ilustração 1.1 – Ilustrativo de compartilhamento de equipamentos entre laboratórios



Fonte: Autor

A implementação se fez por meio de painéis elétricos que irão armazenar e condicionar esses diferentes elementos que compõem esses circuitos. Os dimensionamentos dos componentes são descritos e analisados nesse trabalho conforme a necessidade e capacidade elétrica de cada equipamento. Fluxogramas das etapas de cada chaveamento e estados dos circuitos de comando são apresentados, bem como seus diagramas elétricos.

## 2 EQUIPAMENTOS DE USO COMPARTILHADO

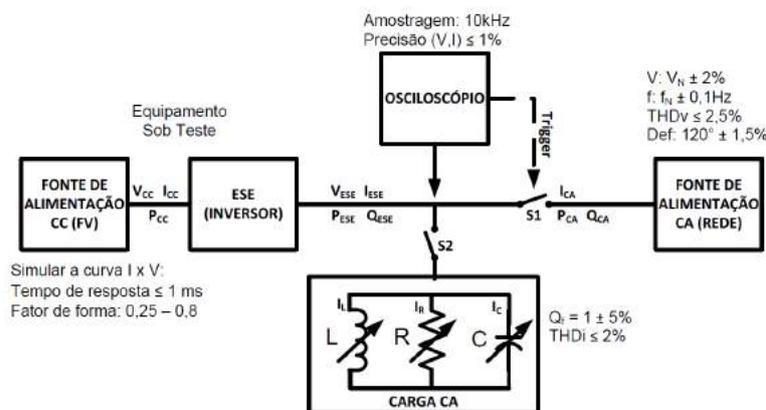
Localizados e condicionados ao uso pelo laboratório de ensaios, esses equipamentos concentram toda a capacidade operacional do laboratório em realizar os diversos ensaios de acordo com a portaria INMETRO N°357/2014, que busca submeter os inversores de fotovoltaicos a diversos cenários críticos de operação para verificar o comportamento e funcionamento desses dispositivos. Para isso, uma gama de equipamentos de alto custo são necessários para emular a rede elétrica por parte da concessionária, como também, as cargas instaladas dos consumidores. No lado c.c. estão os equipamentos responsáveis por emular os painéis fotovoltaicos, garantindo que os ensaios sejam realizados independente da condição solar externa e demais fatores.

Logo, esse cenário de trabalho envolve diferentes tipos de correntes elétricas que operam de maneira simultânea (c.a. e c.c.), além dos diferentes níveis de tensão desses circuitos, que podem atingir níveis de tensões c.c. de 1500 V, assim como correntes c.a. superiores à 180 A. Tais magnitudes exigem que o projeto atenda individualmente cada equipamento, resultando em diferentes componentes para cada nível de tensão e tipo de corrente.

Portanto, são apresentados os equipamentos com uma breve descrição de funcionamento, com ênfase em seus dados de placa. Isto é, os requisitos para o dimensionamento dos chaveamentos e conexões elétricas com base nas magnitudes elétricas.

Uma configuração típica dos equipamentos em um ensaio de detecção de ilhamento de um inversor que pode ser observada na Ilustração 2.1.

Ilustração 2.1 – Configuração dos equipamentos segundo a portaria INMETRO N°357/2014.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR IEC 62116.

## 2.1 FONTE EMULADORA DE REDE C.A. TRIFÁSICA

Equipamento responsável por emular a rede elétrica da concessionária onde equipamentos são conectados, a SUPPLIER FCATQ 10000-60-40 é uma fonte de alimentação c.a. trifásica capaz de suprir parte das necessidades de geração de redes de alimentação para ensaios de equipamentos trifásicos. Adicionalmente possui sistemas de proteção elétrica que garantem segurança na operação e que ofertam simplificações no circuito de potência. A Figura 2.1 mostra uma foto ilustrativa do equipamento.

Figura 2.1 – Fonte c.a. Trifásica SUPPLIER FCATQ 10000-60-40



Fonte: SUPPLIER. Disponível em: <<http://supplier.ind.br/>>. Acessado 19 de agosto de 2020

As conexões elétricas disponíveis são: i) 4 terminais de entrada, que são dimensionados pela potência máxima de operação de 100 kVA; ii) 4 terminais de saída, que são conectados aos elementos comutadores desse projeto. A fonte possui comunicação de rede ethernet, que permite o operador ajustar os parâmetros remotamente. A Tabela 2.1 apresenta os dados do equipamento.

Tabela 2.1 – Características Técnicas c.a. trifásica

Descrição	Fonte de alimentação c.a. trifásica
Modelo	FCATQ 10000-60-40
Tensão Nominal de Entrada	380 Vac
Corrente Nominal de Entrada	179 A
Potência Nominal de Saída	100 kVA
Tensão de Saída	0 à 600 V (linha)
Corrente Nominal de Saída	152A @ 220V (fase)
Tipo de Comunicação com PC	Ethernet
Peso Aproximado	380 kg
Dimensões Externas	Largura: 645 mm
	Altura 1275 mm
	Comprimento: 980 mm

Fonte: Adaptado de SUPPLIER. Disponível em: <<http://supplier.ind.br/>>. Acessado 19 de agosto de 2020

## 2.2 FONTE EMULADORA DE REDE C.A. MONOFÁSICA

Análoga a fonte emuladora c.a. trifásica, a fonte emuladora c.a. monofásica também é responsável por emular a rede elétrica ao qual equipamentos elétricos são conectados. A SUPPLIER FCAMQ 1100-33-15 também possui sistemas de proteção de sobrecarga, proteção de curto-circuito na saída, proteção de sobretemperatura e proteção de sobretensão no barramento interno c.c., itens que garantem segurança na operação e que permitem simplificações no seu circuito de potência. Logo, é uma fonte de alimentação c.a. monofásica capaz de suprir as necessidades de geração de redes para testes de equipamentos monofásicos. A Figura 2.2 apresenta o dispositivo.

Figura 2.2 – Fonte c.a. Monofásica SUPPLIER FCAMQ 1100-33-15



Fonte: SUPPLIER. Disponível em: <<http://supplier.ind.br/>>. Acessado 19 de agosto de 2020

As conexões elétricas são: i) 4 terminais de entrada para uma rede trifásica, que são dimensionados de acordo com a potência máxima de 11kVA; ii) 2 terminais de saída monofásicos, que são conectados aos elementos comutadores desse projeto. A Tabela 2.2 apresenta os dados do equipamento.

Tabela 2.2 – Características Técnicas c.a. monofásica

Descrição	Fonte de alimentação c.a. monofásica
Modelo	FCAMQ 1100-33-15
Tensão Nominal de Entrada	380 Vac
Corrente Nominal de Entrada	20,6 A
Potência Nominal de Saída	11 kVA
Tensão de Saída	0 à 330 V
Corrente Nominal de Saída	45A @ 245V
Tipo de Comunicação com PC	Ethernet
Peso Aproximado	98 kg
Dimensões Externas	Largura: 480 mm Altura 730 mm Comprimento: 570 mm

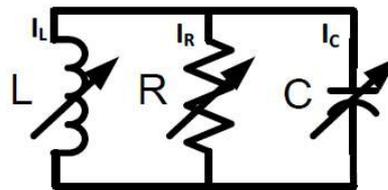
Fonte: Adaptado de SUPPLIER. Disponível em: <<http://supplier.ind.br/>>. Acessado 19 de agosto de 2020

### 2.3 CARGA RLC

Para a execução de ensaios que verificam o comportamento de conversores conectados à rede diante de ilhamentos, isto é, com a rede elétrica da concessionária desconectada (ou interrompida), é necessário que toda a energia fornecida pelo inversor seja consumida no ponto de conexão com a rede elétrica. Conforme a norma ABNT NBR IEC 62116, o uso de um banco de cargas resistivas, indutivas e capacitivas é necessário para consumir a energia gerada pelo inversor no ponto de conexão.

No laboratório de ensaios, a Carga RLC possui uma potência instalada de 100kVA em um conjunto de elementos comutados por disjuntores termomagnéticos. Assim, os elementos do banco podem ser comutados separadamente. A Ilustração 2.2 apresenta o circuito esquemático equivalente da Carga RLC.

Ilustração 2.2 – Esquemático RLC segundo a NBR IEC 62116.



Fonte: Adaptado da ABNT NBR IEC 62116.

As características técnicas que foram utilizadas para dimensionamento dos circuitos de potência é dada pela Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Características Técnicas Carga RLC

Descrição	Carga RLC
Modelo	Fabricação Própria
Tensão Nominal de alimentação	380 Vac (linha)
Corrente Nominal de alimentação	150 A
Níveis	Resistivos: 20 Capacitivos: 20 Indutivos: 10
Peso Aproximado	470 kg
Dimensões Externas	Largura: 645 mm Altura: 2275 mm Comprimento: 950 mm

Fonte: Autor

## 2.4 FONTE EMULADORA FOTOVOLTAICA

Esse equipamento tem a função de emular arranjos fotovoltaicos de uma planta de geração solar. Sendo um emulador de uma matriz fotovoltaica, permite verificar e alimentar inversores com a curva I-V característica da aplicação. Esses equipamentos permitem ensaios sem a dependência de condições como temperatura, intensidade solar e irradiância. O laboratório de ensaios possui a quantidade de 6 fontes emuladoras KEYSIGHT N8957APV com capacidade de 15kW cada, apresentada na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Fonte emuladora Fotovoltaica Keysight N8957APV



Fonte: KEYSIGHT. Disponível em: <<http://www.keysight.com/>>. Acessado 19 de agosto de 2020

Uma característica importante considerada nesse projeto é a possibilidade de realizar um arranjo elétrico tipo paralelo com os terminais de saída das 6 fontes presentes no laboratório. Assim, é possível alcançar a potência instalada de 90kW. Dentro dessa faixa de potência, pode-se trabalhar com combinações V/I de 1500V/10A a 500V/30A. Essas magnitudes foram consideradas para o projeto dos circuitos de potência. Possui alimentação trifásica, com tensão de linha igual a 380V. A Tabela 2.4 apresenta os dados técnicos do modelo.

Tabela 2.4 – Características Técnicas Fonte emuladora Fotovoltaica

Descrição	Fonte emuladora PV
Modelo	Keysight N8957APV
Tensão Nominal de entrada	380 Vac (linha)
Corrente Nominal de entrada	3 x 28 A
Tensão máxima de saída	1500 Vcc
Corrente máxima de saída	30A
Peso Aproximado	31,8 kg
Dimensões Externas	Largura: 449 mm
	Altura: 135 mm
	Comprimento: 610 mm

Fonte: Adaptado de KEYSIGHT. Disponível em: <<http://keysight.com/>>. Acessado 19 de agosto de 2020

## 2.5 CARGA ELETRÔNICA C.C.

Inversores fotovoltaicos híbridos recebem esse nome por atuar de forma híbrida com um conjunto de acumuladores químicos, isto é, baterias que são utilizadas para a armazenagem da energia produzida no período diurno. As cargas eletrônicas c.c. são empregadas para os ensaios desse tipo de equipamento. Estas são capazes de emular o comportamento de carga de baterias em seus diferentes níveis de carga.

O laboratório de ensaios é equipado com duas cargas eletrônicas c.c. NHR4760 NH Research, um exemplar com 3kW e a outro com 6kW. O equipamento atua de forma dissipativa, possuindo por isso canais de ventilação para dissipar a potência nominal. A Figura 2.4 apresenta a vista frontal do equipamento e a Tabela 2.5 os dados para o exemplar de 6kW.

Figura 2.4 – Carga Eletrônica c.c. NHR4760



Fonte: NH Research. Disponível em: <<http://nhresearch.com/>>. Acessado 19 de agosto de 2020

Tabela 2.5 – Características Técnicas Carga eletrônica c.c.

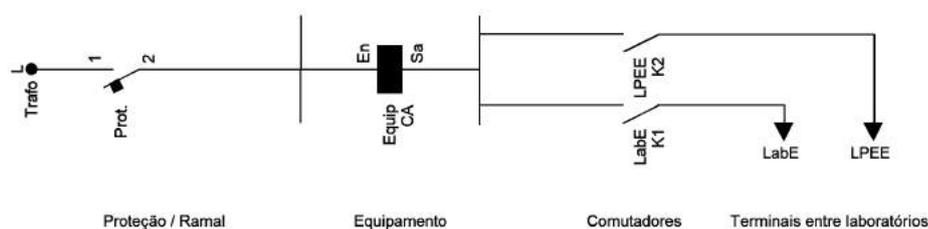
Descrição	Carga c.c.
Modelo	NHR4760 NH Research
Tensão Nominal de entrada	220 V (fase)
Corrente Nominal de entrada	< 10 A
Tensão de saída	7 - 600 Vcc
Corrente máxima de saída	300A
Peso Aproximado	45 kg
Dimensões Externas	Largura: 483 mm
	Altura: 133 mm
	Comprimento: 559 mm

Fonte: Adaptado de NH RESEARCH. Disponível em: <<http://nhresearch.com/>>. Acessado 19 de agosto de 2020

### 3 PROJETO DOS CIRCUITOS DE POTÊNCIA

Nesse capítulo são descritas as escolhas e etapas de projeto referentes aos circuitos de potência. Esses circuitos são compostos por cabos elétricos de elevada seção, com função de realizar o transporte e distribuição de energia aos laboratórios. Visto que percorrem grandes distâncias, exigem o dimensionamento na busca da menor queda de tensão possível, garantindo a suportabilidade de isolamento e menores perdas. A Ilustração 3.1 apresenta o diagrama unifilar genérico de comutação entre laboratórios.

Ilustração 3.1 – Diagrama unifilar genérico de comutação entre laboratórios



Fonte: Autor.

A lógica primitiva de comutação entre os laboratórios é construída a partir desses circuitos. Os circuitos de potência não são responsáveis pelas lógicas de manobra e operação do usuário, possuem apenas uma lógica radial de distribuição dos terminais dos equipamentos por contadores de potência sem a necessidade do equipamento estar fisicamente presente.

Na Ilustração 3.1, é possível conferir um arranjo elétrico genérico para a distribuição de um equipamento qualquer entre dois laboratórios. Antes da unidade rebaixadora de tensão do prédio ser conectada aos equipamentos, existe um painel responsável pela proteção do ramal de ligação do laboratório LABENSAIOS que alimenta todos os equipamentos. Os terminais de saída estão conectados a dois contadores de potência, representados pelas nomenclaturas K1 e K2, que conectam os dois laboratórios, LABENSAIOS localizado no térreo do prédio e o LPEE, localizado no segundo piso do prédio.

Ainda na ilustração 3.1, caso K1 seja alimentado pelo Circuito de Comando, os terminais do equipamento são direcionados ao LABENSAIOS. Se K2 é acionado, os terminais do equipamento são redirecionados ao LPEE.

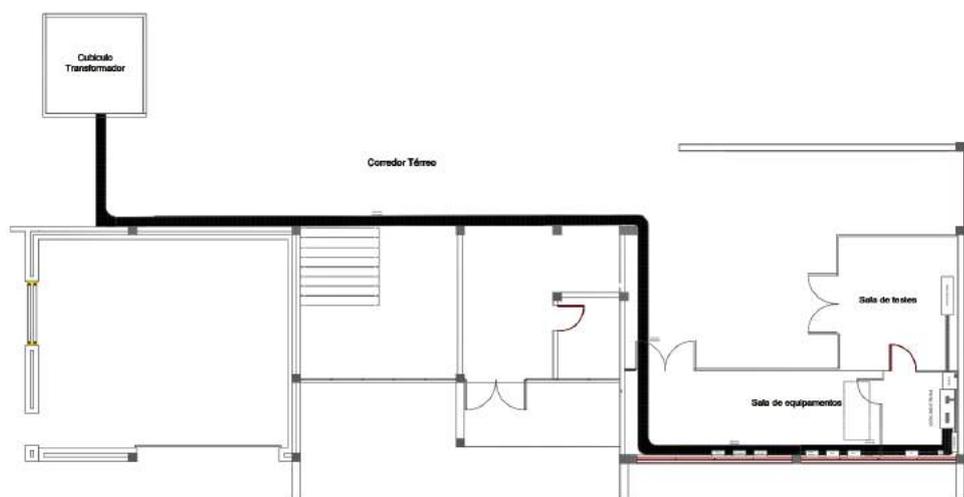
#### 3.1 RAMAL DE ALIMENTAÇÃO

O Ramal de alimentação é o trecho de cabos responsáveis por conduzir toda a potência necessária do Painel de Proteção até os equipamentos. Nesse projeto, os equi-

pamentos são condicionados e instalados fisicamente no LABENSAIOS. Todos os equipamentos são localizados no LABENSAIOS, pois os ensaios neste laboratório são frequentes e de alta potência. Assim, uma distância menor de cabos com grande seção elétrica foi exigida, gerando economia financeira com essa escolha. Outro fator importante para essa decisão é o espaço físico, já que o LABENSAIOS é fisicamente maior que o LPEE. Em termos de usuários que frequentam esses laboratórios, tem-se que o LABENSAIOS possui técnicos e metrologistas capacitados para a realização de ensaios, enquanto que no LPEE os equipamentos são empregados para o uso acadêmico em projetos de pesquisa e desenvolvimento por alunos de iniciação científica, mestrado e doutorado. Isto exigiria maiores níveis de restrição ao acesso visando preservar os equipamentos.

Eletrocalhas foram utilizadas para distribuição dos circuitos. Estas foram instaladas em locais que ofereceram menor percurso. O trajeto tem início no Painel de Proteção e tem fim no Terminal A, que abriga os elementos comutadores, localizado na Sala de equipamentos no interior do LABENSAIOS, conforme Figura 3.1.

Ilustração 3.2 – Trecho Eletrocalha Ramal de Ligação



Fonte: Autor.

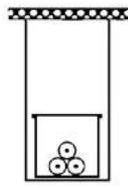
O método de instalação 35 e o método de referência B1 presentes na NBR5410, determinaram qual seção do cabo a ser adotado. Os valores foram determinados de acordo com a Tabela 37, representada pela Ilustração 3.3.

Para o projeto do ramal de ligação, foi considerado uma potência máxima de 100kW, permitindo expansão futura. A corrente elétrica para essa potência é determinada pela Equação 3.1.

$$A = \frac{kW \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot \cos(\phi)} \quad (3.1)$$

$$A = \frac{100 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot \cos(1)} = 262,44A \quad (3.2)$$

### Ilustração 3.3 – Representação tabela 33 NBR5410



Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha ou perfilado suspenso(o)

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5410, 2004

Dessa forma, a Tabela 37 da NBR 5410 aponta um cabo unipolar XLPE de 95mm<sup>2</sup>, que suporta até 269A na configuração de instalação B1 e 3 condutores carregados. A corrente de 262,44A é obtida com fator de potência unitário. A Ilustração 3.4 apresenta a seção obtida.

### Ilustração 3.4 – Representação tabela 37 NBR 5410

Tabela 37 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: EPR ou XLPE

Temperatura no condutor: 90°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33										
	A1		A2		B1		B2		C		D
	Número de condutores carregados										
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
<b>Cobre</b>											
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 5410, 2004

A verificação da escolha de seção é realizada com o cálculo de máxima queda de tensão elétrica, dada por:

$$QuedaV = \frac{(\sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot \cos(\phi))}{K \cdot S} \quad (3.3)$$

O cabo de cobre com seção de 95mm<sup>2</sup>, possui um coeficiente de condutibilidade de 56S. O comprimento dos cabos utilizados totalizou 54,17 metros. Para um fator de potência unitário e a corrente obtida em (3.2), a queda de tensão é dada por:

$$QuedaV = \frac{(\sqrt{3} \cdot 262,44 \cdot 54,17 \cdot \cos(1))}{56 \cdot 95} = 4,62V \quad (3.4)$$

Os valores limites de queda de tensão fixados pela NBR5410 são de 4% para as instalações alimentadas diretamente pela rede de distribuição pública e 7% para as instalações que contam com subestação própria. Verifica-se que para a situação com admissão de 4% de queda se tem 15,2V, contra os 4,62V determinados em (3.4). Assim, comprova-

se que o ramal de ligação foi dimensionado corretamente.

O ramal de ligação é conectado diretamente nos bornes de saída do transformador na subestação abrigada do prédio. É necessário atribuir um painel para condicionar os elementos de proteção elétrica neste novo sistema. Considerando a potência de 75kW para o sistema, e aplicando a Equação 3.1, a corrente máxima de 196,82A é obtida. Dessa forma, o valor de 250A foi selecionado, afim de que esteja no meio termo de 196,82A e 262,44A.

Um disjuntor tetrapolar de 250A WEG caixa moldada, com disparador DA - Térmico e Magnético ajustável foi selecionado. Em conjunto a esse disjuntor, fusíveis ultra-rápidos NH de 250A fazem a proteção complementar. DPS TIPO I nos 4 fios foram aplicados para proteção de descargas atmosféricas. O painel foi instalado na parte interna do prédio em divisa com a subestação abrigada. A Tabela 3.1 apresenta as características do técnicas do Ramal de Ligação. A Ilustração 3.5 contém o diagrama unifilar de ligação para o ramal de ligação e proteção elétrica.

Tabela 3.1 – Características Técnicas Ramal de Ligação

Descrição	Ramal de Ligação
Modelo	3 Fases + Neutro + Terra
Tensão Nominal	220 V (fase)
Corrente Nominal	< 269 A
Isolação Elétrica	XLPE 380 - 750 V
Seção do cabo	95mm <sup>2</sup>
Queda de tensão máxima teórica	4,62 V
Distância total do trecho	54,17 m (p/cond.)
Disjuntor de Entrada	DWB 250A
Fusíveis	Ultra-rápidos NH 250A
DPS	Tipo I - Centelhador

Fonte: Autor

Ilustração 3.5 – Diagrama unifilar Ramal Ligação



Fonte: Autor

As próximas seções apresenta as duas divisões para os circuitos de potência: i) o Modelo A composto pelos circuitos exclusivamente c.a. que não trabalham com corrente contínua; ii) o Modelo B composto pelos circuitos c.a. e c.c., pois trabalham com ambos tipos de corrente.

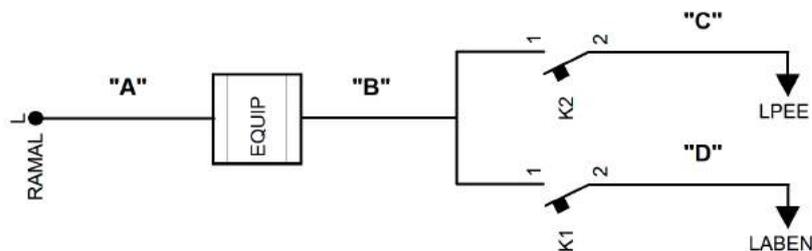
### 3.2 CIRCUITO EXCLUSIVAMENTE C.A. - MODELO A

Contatores de potência fazem a comutação dos terminais dos equipamentos para que cada laboratório possa ser alimentado de forma independente. Uma lógica de intertravamento do circuito de potência, implementada através do circuito de comando, foi desenvolvida para impedir que os mesmos equipamentos sejam usados simultaneamente por diferentes laboratórios. Assim, quando LABENSAIOS é conectado aos terminais do equipamento, LPEE é desconectado.

#### 3.2.1 Diagrama de Potência Unifilar

Os equipamentos que estão na divisão de circuitos Modelo A possuem um contator interno para tratamento da alimentação. Logo, é o circuito de comando que fecha um contato auxiliar para que o equipamento seja alimentado. O diagrama de potência unifilar na Ilustração 3.6, mostra que apenas a saída é conectada aos contatores de cada laboratório. Assim, quando K1 é acionado, LABENSAIOS é conectado. Dessa forma, quando K2 é acionado, LPEE é conectado.

Ilustração 3.6 – Diagrama unifilar de potência - Modelo A



Fonte: Autor

O modelo A para o circuito de potência é formado por 4 trechos de cabos, com seções e distâncias diferentes para cada equipamento. A localização e função de cada trecho é definida na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Definição dos Trechos - Circuito Modelo A

Trechos	Descrição
"A"	Ramal de ligação → Terminais de entrada
"B"	Terminais de Saída → Contatores
"C"	K2 → Laboratório LPEE
"D"	K1 → Laboratório LABENSAIOS

Fonte: Autor

### 3.2.2 Elementos do circuito de potência

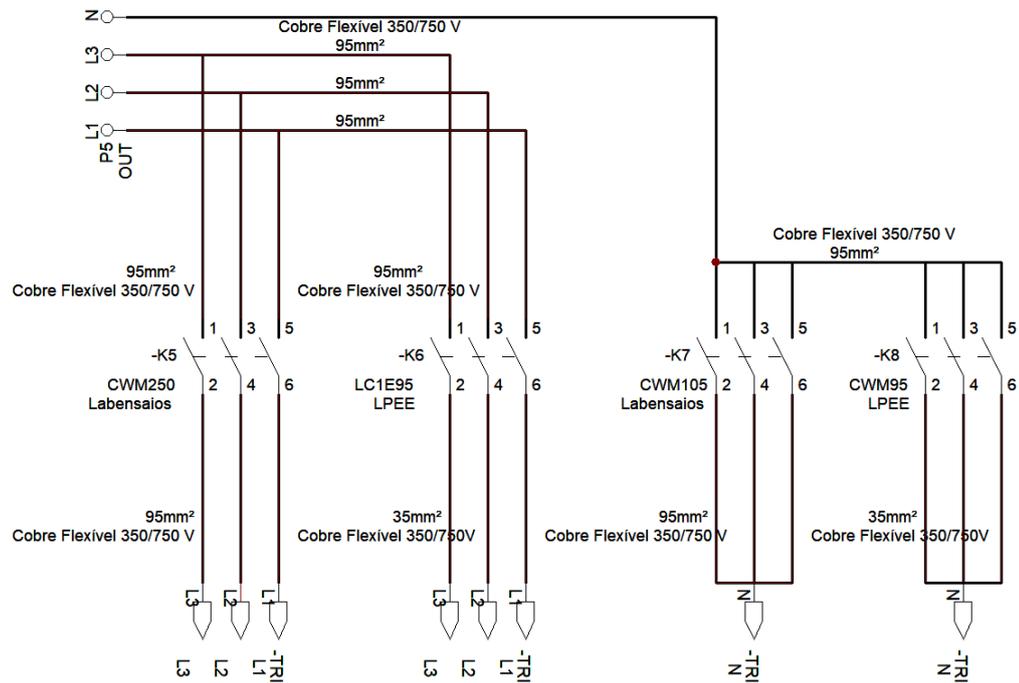
O projeto do circuito considerou o circuito mostrado na Ilustração 3.5 e as tabelas de cada equipamento descrito no Capítulo 2. O dimensionamento dos contatores e condutores foi individualmente determinado para cada equipamento. De acordo com a potência máxima de operação de cada laboratório foram dimensionados os trechos de saída dos circuitos.

#### 3.2.2.1 Fonte emuladora de rede c.a. trifásica

De acordo com a Tabela 2.1, esse equipamento demanda grande potência na entrada. A corrente elétrica de 179A desse equipamento é semelhante a capacidade de corrente do Ramal de ligação. Assim, utilizou-se a mesma seção de 95mm<sup>2</sup>. Isso permitirá um futuro aumento de potência sem a necessidade de alterações. Os elementos comutadores também foram dimensionados de acordo com a corrente máxima do Ramal de ligação.

A alimentação da Fonte emuladora de rede c.a. trifásica é realizada através de 4 cabos (RST+N) que exige o uso de outro contator adicional para comutação do neutro. Logo, para o conjunto de contatores K1, utilizou-se um CWM250 WEG (250A) para as 3 fases. Um contator CWM105 WEG (105A) foi utilizado com os 3 contatos de potência em paralelo para comutação do neutro, conforme Ilustração 3.7.

Ilustração 3.7 – Circuito de Potência - Fonte c.a. Trifásica



Fonte: Autor

Para o laboratório LPEE, dois contatores também formam o conjunto K2. Esse laboratório é de pesquisa e desenvolvimento, portanto as demandas de potência são menores. Contatores Schneider LC1E95 (95A) foram selecionados para o conjunto K2. Uma potência máxima de 36,2kW pode ser utilizada pelo LPEE de acordo com a Equação 3.1. Para a potência do conjunto K2, a Tabela 37 da NBR5410 determina que cabos de 16mm<sup>2</sup> atenderiam a demanda. Visando um aumento futuro de potência para esse circuito, selecionou-se cabos de 35mm<sup>2</sup> com isolamento XLPE. Com a correta substituição do contator, a potência poderá ser expandida até 54,9kW. A Tabela 3.3 reúne as informações para o circuito de potência da fonte c.a. trifásica.

Tabela 3.3 – Especificações Circuito Potência Fonte c.a. Trifásica

Elemento	Descrição
Trecho "A"	Cabo cobre XLPE 95 mm <sup>2</sup>
Trecho "B"	Cabo cobre XLPE 95 mm <sup>2</sup>
Trecho "C"	Cabo cobre XLPE 35 mm <sup>2</sup>
Trecho "D"	Cabo cobre XLPE 95 mm <sup>2</sup>
K1 - Fases	CWM250 WEG(conexão independente)
K1 - Neutro	CWM105 WEG (conexão paralela)
K2 - Fases	LC1E95 Schneider (conexão independente)
K2 - Neutro	LC1E95 Schneider (conexão paralela)

Fonte: Autor

### 3.2.2.2 Fonte emuladora de rede c.a. Monofásica

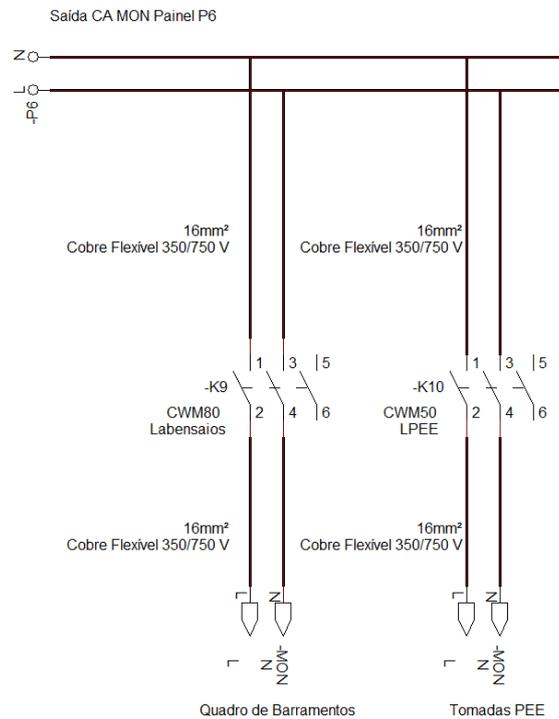
De acordo com a Tabela 2.2, esse equipamento opera com a potência máxima de 11kVA. Um cabo de cobre com seção 2,5mm<sup>2</sup> atenderia essa potência, conforme a Tabela 37 da NBR5410. No entanto, um cabo de 16mm<sup>2</sup> foi selecionado pelo motivo dessa escolha não impactar significativamente no orçamento do projeto. Assim, um contator CWM80 WEG (80A) foi escolhido para o LABENSAIOS e um CMW50 WEG (50A) para o LPEE. Essas variáveis resultaram em uma potência final de 33,53 kW para o circuito, conforme a Equação 3.1. A Ilustração 3.8 é referente ao circuito de potência para a fonte monofásica. Já a Tabela 3.4 define os trechos do circuito.

Tabela 3.4 – Especificações Circuito Potência Fonte c.a. Monofásica

Elemento	Descrição
Trecho "A"	Cabo cobre XLPE 16 mm <sup>2</sup>
Trecho "B"	Cabo cobre XLPE 16 mm <sup>2</sup>
Trecho "C"	Cabo cobre XLPE 16 mm <sup>2</sup>
Trecho "D"	Cabo cobre XLPE 16 mm <sup>2</sup>
K1	CWM80 WEG(conexão independente)
K2	CWM50 WEG (conexão independente)

Fonte: Autor

### Ilustração 3.8 – Circuito de Potência - Fonte c.a. Monofásica



Fonte: Autor

#### 3.2.2.3 Carga RLC

Com especificações semelhantes a fonte c.a. trifásica, o circuito de potência da Carga RLC foi construído com condutores de 95mm<sup>2</sup> para o LABENSAIOS e 35mm<sup>2</sup> para o LPEE. Sua conexão também é feita por 4 fios (RST+N), tornando necessária a utilização de um par de contadores para cada laboratório, conforme Ilustração 3.9.

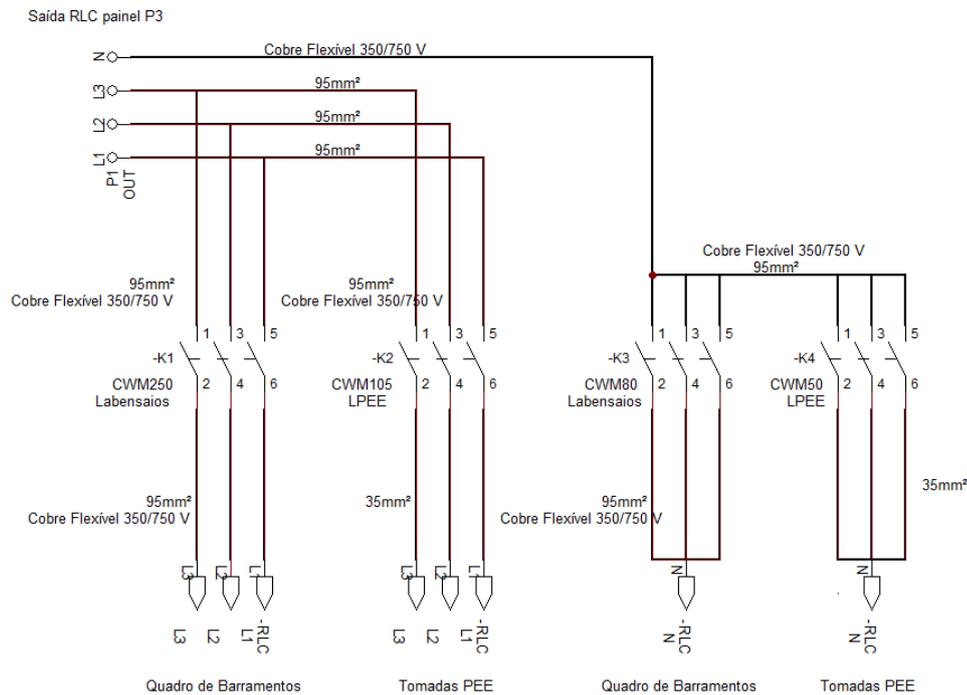
As contadoras selecionadas para realizar a comutação em LPEE permitem potência máxima de 40 kW nesse laboratório. A Tabela 3.5 reúne os dispositivos e cabos utilizados nesse circuito.

Tabela 3.5 – Especificações Circuito Potência Carga RLC

Elemento	Descrição
Trecho "A"	Cabo cobre XLPE 95 mm <sup>2</sup>
Trecho "B"	Cabo cobre XLPE 95 mm <sup>2</sup>
Trecho "C"	Cabo cobre XLPE 35 mm <sup>2</sup>
Trecho "D"	Cabo cobre XLPE 95 mm <sup>2</sup>
K1 - Fases	CWM250 WEG (conexão independente)
K1 - Neutro	CWM105 WEG (conexão paralela)
K2 - Fases	CWM80 WEG (conexão independente)
K2 - Neutro	CWM50 WEG (conexão paralela)

Fonte: Autor

Ilustração 3.9 – Circuito de Potência - Carga RLC



Fonte: Autor

### 3.3 CIRCUITO C.A. E C.C. - MODELO B

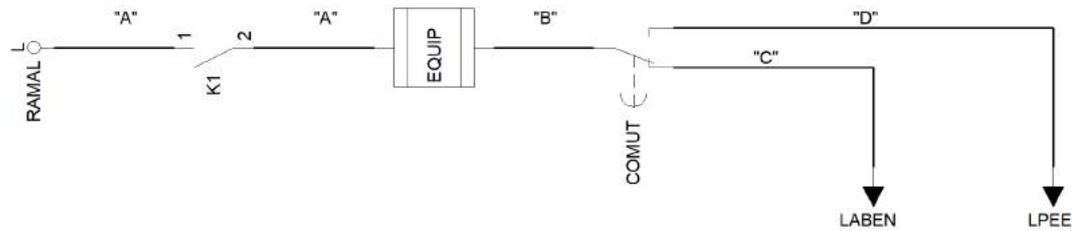
Segundo modelo de circuito de potência desse projeto, difere-se na necessidade de comutação da entrada e saída dos equipamentos. Para as entradas tem-se um circuito de corrente do tipo alternada, e para as saídas um circuito de corrente do tipo contínua. Assim, diferentes componentes e diagramas para esse circuito de potência são necessários.

#### 3.3.1 Diagrama de Potência Unifilar

Nesse circuito tem-se K1 como elemento comutador de entrada um contator responsável por alimentar o equipamento. Uma chave seccionadora tetrapolar foi selecionada para realizar a comutação da saída do equipamento. Essa chave realiza a manobra física de conectar um dos laboratórios ao equipamento.

Com a máxima tensão de 1500 V na saída do equipamento, a chave seccionadora WEG MSWR160B3H foi empregada no circuito, sendo sua seleção crítica pelo nível de tensão. A Ilustração 3.10 representa o diagrama unifilar para o circuito Modelo B.

Ilustração 3.10 – Diagrama Unifilar de potência - Modelo B



Fonte: Autor

O emprego de uma chave seccionadora tetrapolar que suporta a tensão de operação c.c. necessária, representou grande economia financeira ao invés do emprego de contadores dessa suportabilidade. Possui contatos auxiliares para o intertravamento do circuito de comando, que impede do equipamento ser comutado simultaneamente entre laboratórios, garantindo a isolação completa. Da marca WEG, essa chave seccionadora é comercializada com o código MSWR160B3H, conforme Figura 3.1.

Figura 3.1 – Chave Seccionadora WEG MSWR160B3H



Fonte: Adaptado de WEG. Disponível em: <<https://www.weg.net/>>. Acessado 19 de agosto de 2020

### 3.3.2 Elementos do circuito de potência

Análogo ao item 3.2.2, as tabelas do Capítulo 2 são utilizadas para o dimensionamento dos componentes do circuito de acordo com cada equipamento.

#### 3.3.2.1 Fonte emuladora Fotovoltaica

A Tabela 2.4 indica que a corrente de alimentação desse equipamento é de 30 A por fase em conexão delta sem neutro. Assim, um contator tripolar atende a necessidade

para o elemento K1 do circuito. Um contator CWM80 WEG (80A) foi selecionado para atuar como K1 por apresentar pequena diferença de custo em relação a um contator de 40A.

Para o trecho "A" do diagrama apresentando na Ilustração 3.10, foi empregado um cabo de cobre com isolamento XLPE de 6mm<sup>2</sup>, que conforme a Tabela 37 da NBR5410, suporta uma corrente de 48 A.

Nos trechos "B", "C" e "D", a corrente elétrica é do tipo c.c., com nível de tensão de até 1500V, e são empregados cabos específicos para aplicações c.c. fotovoltaicas com suportabilidade de isolamento necessários. A seção adotada para esse condutor foi 16mm<sup>2</sup> com a suportabilidade de corrente e isolamento atendidas. Ambos laboratórios receberam essa seção, já que a exigência de isolamento elétrica é atendida por esse cabo, ofertado comercialmente em 16mm<sup>2</sup>. A Tabela 3.6 reúne os componentes selecionados para esse circuito.

Tabela 3.6 – Especificações Circuito Potência Fonte emuladora Fotovoltaica

Elemento	Descrição
Trecho "A"	Cabo cobre XLPE 6 mm <sup>2</sup>
Trecho "B"	Cabo cobre XLPE 16 mm <sup>2</sup> 1500V Fotovoltaico
Trecho "C"	Cabo cobre XLPE 16 mm <sup>2</sup> 1500V Fotovoltaico
Trecho "D"	Cabo cobre XLPE 16 mm <sup>2</sup> 1500V Fotovoltaico
K1	CWM80 WEG(conexão independente)
COMUT	MSWR160B3H WEG (conexão independente)

Fonte: Autor

### 3.3.2.2 Carga eletrônica c.c.

De acordo com a Tabela 2.5, a corrente nominal de entrada é inferior a 10 A para esse equipamento. Dessa forma, os elementos comutadores de alimentação desse equipamento são unitários por não serem necessários contadores para o neutro, já que são tripolares e se utilizam apenas dois contatos. Foi dimensionado para o trecho "A" do circuito, um contator CWM25 WEG (25A) e cabos XLPE 6mm<sup>2</sup>.

A saída desse equipamento pode alcançar níveis de corrente c.c. de até 330A. A chave seccionadora WEG MSWR160B3H possui essa capacidade de corrente, adotada novamente para o circuito Modelo B. Os cabos selecionados para os trechos "B", "C" e "D" utilizaram o critério da Tabela 37 NBR5410, apontando cabos unipolares de 95mm<sup>2</sup> com isolamento XLPE. A Tabela 3.7 reúne os componentes utilizado nesse circuito de potência.

Tabela 3.7 – Especificações Circuito Potência Carga eletrônica c.c.

Elemento	Descrição
Trecho "A"	Cabo cobre XLPE 6 mm <sup>2</sup>
Trecho "B"	Cabo cobre XLPE 95 mm <sup>2</sup>
Trecho "C"	Cabo cobre XLPE 95 mm <sup>2</sup>
Trecho "D"	Cabo cobre XLPE 95 mm <sup>2</sup>
K1	CWM25 WEG(conexão independente)
COMUT	MSWR160B3H WEG (conexão independente)

Fonte: Autor

## 4 PROJETO DOS CIRCUITOS DE COMANDO

Os circuitos de comando são responsáveis pelos acionamentos de cargas, sendo muitas vezes caracterizados pelas botoeiras e sinalizadores do sistema. Para os circuitos com maior grau de complexidade, é comum o emprego de CLP's (Controlador lógico programável). A programação de CLP's se dá por um código escrito em LADDER, que além de ser gráfico, emula o comportamento dos relés auxiliares com contatos NA e NF que irão desempenhar uma lógica combinacional de acionamento.

Não apenas para acionar cargas, o circuito de comando se molda como uma IHM para o operador. A maneira que o operador ajusta as chaves e botoeiras produz uma sequência de eventos de chaveamento, resultando no comportamento esperado das cargas.

Para garantir o funcionamento ininterrupto, foi dispensado o uso de CLP's para o uso de circuitos de comando individuais por equipamento. De forma semelhante ao LADDER, os circuitos de comando empregados nesse projeto assumiram longos percursos de condutores, com a lógica desenvolvida por estados de memória de mini-contatores auxiliares.

Logo, os circuitos de comando não são concentrados em um único controlador, são constituídos de forma descentralizada por lógica combinacional de elementos presentes em cada circuito. Assim, é garantida a isolação elétrica entre laboratórios e equipamentos. Dessa forma, foi construído o compartilhamento e acionamento desses equipamentos, por meio de arranjos de contatos mecânicos e condutores de pequena seção elétrica.

Os equipamentos são utilizados de maneira independente entre os laboratórios. Assim, painéis "terminais" foram implementados em ambos ambientes. São nesses painéis que os operadores podem acionar os equipamentos, verificar o status de acionamento e utiliza-los com exclusividade. Com isso, os circuitos de comando não estão apenas localizados em um único painel ou laboratório, o que resultou em circuitos de grande extensão física.

A tensão de operação desses circuitos é de 220 V de fase, pois os contatores com essa tensão são largamente comercializados. Os condutores empregados foram de 1,5mm<sup>2</sup>, que além de serem de baixo custo, proporcionam menores quedas de tensão ao longo da distância entre os painéis terminais.

De forma análoga aos circuitos de potência, os circuitos de comando são separados por dois modelos: *Circuitos exclusivamente c.a. - Modelo A* e *Circuitos c.a. e c.c. - Modelo B*

## 4.1 CIRCUITO EXCLUSIVAMENTE C.A. - MODELO A

Nesse circuito trabalha-se para o acionamento intertravado dos equipamentos exclusivamente c.a., ora para o Labensaios, ora para o LPPE. Sendo um circuito em que são realizados selos<sup>1</sup> elétricos, ou seja, a realimentação do contator por um contato auxiliar do tipo NA acionado no instante em que a bobina principal do elemento recebe um pulso de tensão. Uma vez que a bobina é excitada, todos os contatos do tipo NA passam a ficar no estado fechado, permitindo que a própria bobina se mantenha alimentada uma vez que energizada. Todo o circuito é desabilitado e os estados de memória das bobinas são perdidos, no instante que a alimentação é cortada da fonte, por meio de contatos NF de botoeiras utilizadas com intuito de desligamento do circuito.

Sendo assim, o circuito Modelo A é composto por dois circuitos de selamento, com bobinas individuais, em que a seletividade de alimentação desses circuitos é exclusiva de uma chave seletora presente no painel, chave essa que de maneira conveniente, é utilizada para selecionar qual laboratório irá utilizar o equipamento em questão.

### 4.1.1 Elementos da IHM

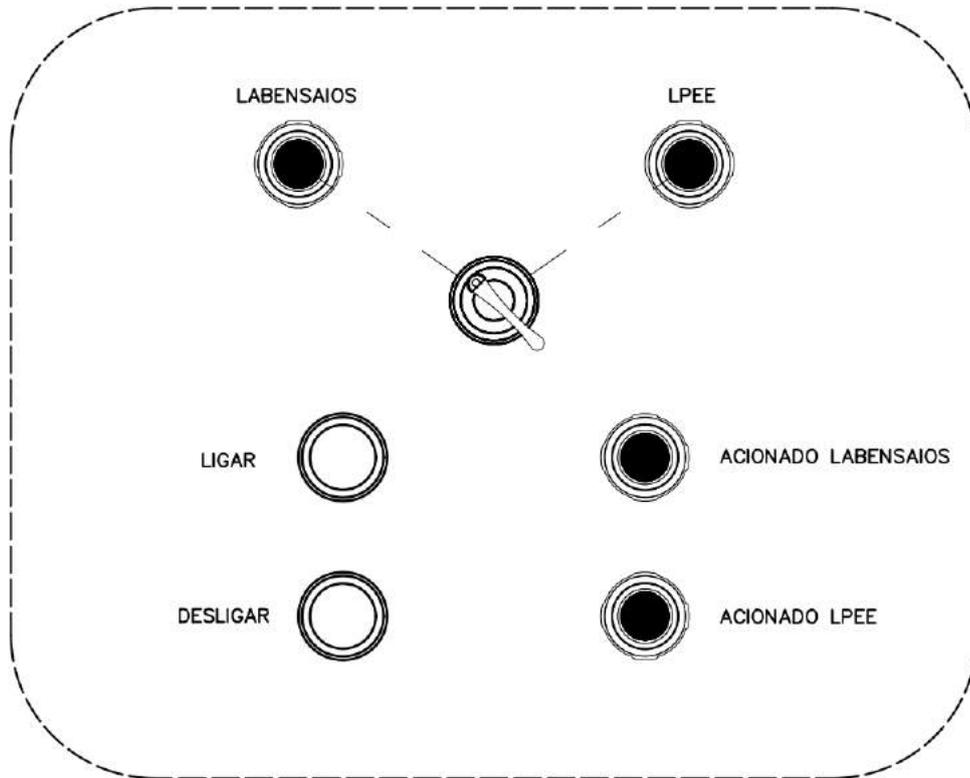
Considerando que a Interface Homem Máquina desse projeto é composta por dois diferentes painéis terminais para acionamento, cada um presente em seu respectivo laboratório, se tem como estrutura um conjunto de chaves seletoras, botoeiras pulsantes e sinalizadores para interação com o sistema.

É atribuído uma hierarquia maior para o LABENSAIOS, pois este possui uma prioridade maior ao uso dos equipamentos. Dessa forma, o painel com denominação Terminal A está presente no Labensaios, ficando a encargo desse terminal a seleção de qual laboratório irá utilizar o equipamento em questão. Dessa maneira, se o equipamento for selecionado para o uso no LABENSAIOS, o respectivo Terminal B presente no LPEE, não terá ação alguma sobre o acionamento do equipamento. De forma dual, se no Terminal A o equipamento for selecionado para uso e operação no Terminal B, não terá ação alguma sobre o acionamento do equipamento o próprio Terminal A, já que o Terminal B estará em posse do equipamento. A Ilustração 4.1 mostra o conjunto de acionadores para o circuito Modelo A no Terminal A.

---

<sup>1</sup>A prática do Selo Elétrico é utilizada em circuitos de comando. Consiste no momento que uma bobina é acionada, um contato mecânico atrelado a essa bobina muda de estado, criando uma condição lógica OR, permitindo que haja outro caminho de corrente para alimentação da própria bobina.

Ilustração 4.1 – Conjunto de acionadores presentes no Terminal A para Modelo A



Fonte: Autor.

#### 4.1.2 Modos de operação

Como Modos de operação, tem-se duas situações: Equipamento comutado para **LABENSAIOS** e equipamento comutado para **LPEE**.

A Ilustração 4.2 apresenta a disposição das botoeiras e sinalizadores nos terminais A e B para os procedimentos seguintes:

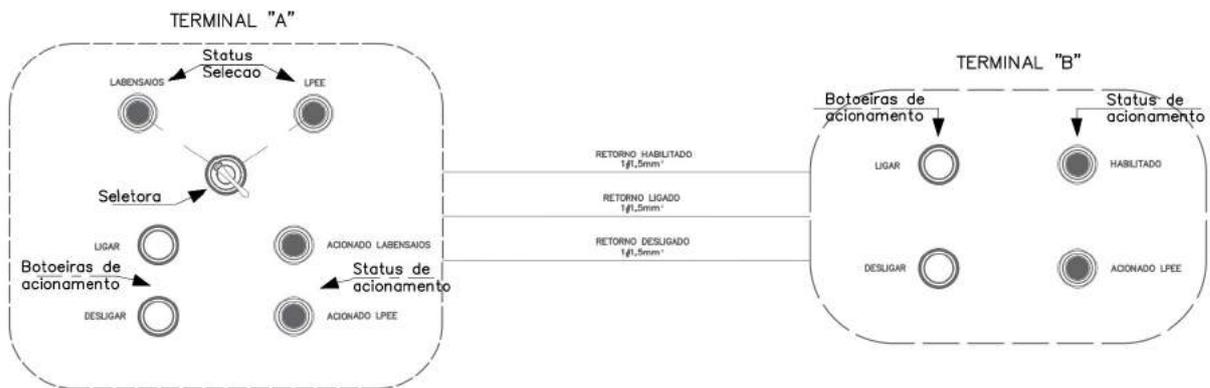
##### 1. Procedimento para comutar equipamento para **LABENSAIOS**:

- (a) A chave seletora de 3 estágios deverá ser manipulada no sentido anti-horário;
- (b) O sinalizador com etiqueta LABENSAIOS irá se acender, confirmando a seleção;
- (c) Nesse instante, as botoeiras LIGAR e DESLIGAR presentes no Terminal A poderão ativar ou desativar o equipamento;
- (d) Se pressionado LIGAR, o sinalizador com etiqueta ACIONADO LABENSAIOS irá acender, indicando que o equipamento está acionado.
- (e) As botoeiras presentes no Terminal B não terão efeito sobre o equipamento.

##### 2. Procedimento para comutar equipamento para **LPEE**:

- (a) A chave seletora de 3 estágios deverá ser manipulada no sentido horário;
- (b) O sinalizador com etiqueta LPEE irá se acender, confirmando a seleção;
- (c) No Terminal B irá se acender o sinalizador com etiqueta HABILITADO;
- (d) Nesse instante, as botoeiras LIGAR e DESLIGAR presentes no Terminal B poderão ativar ou desativar o equipamento;
- (e) Se pressionado LIGAR, o sinalizador com etiqueta ACIONADO LPEE irá acender tanto no Terminal A, como no Terminal B, indicando que o equipamento está acionado.
- (f) As botoeiras presentes no Terminal A não terão efeito sobre o equipamento.

Ilustração 4.2 – Conjunto do acionadores presentes Modelo A



Fonte: Autor.

### 4.1.3 Diagrama do circuito de comando

#### 4.1.3.1 Elementos de comando

Esse circuito de comando compreende a seleção de dois conjuntos distintos de contadoras pelos seus exclusivos terminais de acionamento. Cada terminal possui um conjunto específico de elementos de comando. Nesse projeto foram adotados componentes da marca WEG.

A Tabela 4.1 apresenta a relação de componentes utilizados com sua referência técnica, nome do elemento no diagrama e quantidade.

Tabela 4.1 – Especificações componentes Circuito Exclusivamente c.a. - Modelo A

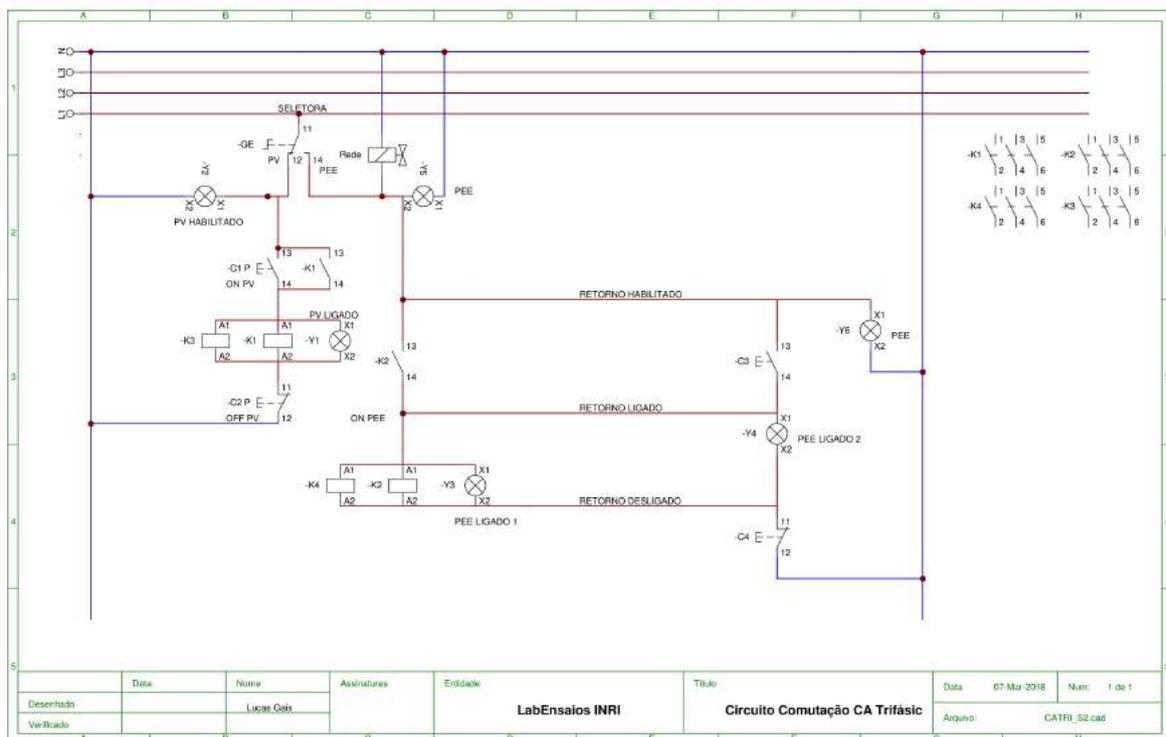
Elemento	Descrição	Código	Quantidade
GE	Knob Curto 3 Posições Fixas	CSW-CK3F45 WH	1 un
Y2, Y5, Y6	Sinaleiro Monobloco Azul 220VCA	CEW-SM4-D23	3 un
Y1, Y3, Y4	Sinaleiro Monobloco Vermelho 220VCA	CEW-SM1-D23	3 un
C1, C3	Botão Simples NA Verde	CSW-BF2 WH	2 un
C2, C4	Botão Simples NF Vermelho	CSW-BF1 WH	2 un
-K1, -K2	Contato Auxiliar Frontal NA	BCXMF10	2 un

Fonte: Autor

É apresentado na Figura 4.1 o Diagrama de Comando para o Circuito Exclusivamente c.a. - Modelo A, que é válido para os equipamentos:

- Fonte c.a. monofásica
- Fonte c.a. trifásica
- Carga RLC

Figura 4.1 – Diagrama de Comando para o Circuito Exclusivamente c.a. - Modelo A



Fonte: Autor.

Para melhor análise, o diagrama também está como ANEXO E no final desse trabalho.

#### 4.1.3.2 *Estados e etapas de comando*

De forma cronológica são descritos os comportamentos de cada componente do circuito de comando para ambos possíveis estados, comutado para LABENSAIOS ou comutado para LPEE, conforme segue:

1. Seguindo o procedimento para comutar o equipamento para **LABENSAIOS**, a sequência de eventos desencadeados no circuito são os seguintes:
  - (a) A seletora GE irá fechar contato entre os terminais 11 e 12;
  - (b) O sinalizador Y2 será alimentado, indicando que o circuito está HABILITADO;
  - (c) Caso a botoeira C1 seja pressionada, por um breve instante o conjunto de contatores K1 e K3 será acionado, instante suficiente para que o contato auxiliar NA de K1, ligado paralelamente a botoeira C1, também mude de estado, passando a alimentar exclusivamente o conjunto de contatores. Dessa forma, há uma realimentação pelo contato auxiliar que sustenta a cadeia de acionamento, como uma unidade básica de memória;
  - (d) O sinalizador Y1 será alimentado, indicando que o circuito estará com o status ACIONADO LABENSAIOS;
  - (e) Caso a botoeira C2 do tipo NF seja pressionada, todo o conjunto de contatores K1 e K3 será desligado, já que a botoeira conectada com seus terminais em série ao neutro do circuito, irá abrir. Uma vez que os contatores sejam desligados, o contato auxiliar de K1 voltará ao seu estado originalmente aberto, interrompendo a realimentação e cortando o ciclo de acionamento, como um reset na unidade básica de memória;
  - (f) Já as botoeiras C3 e C4 presentes no Terminal B, não terão qualquer efeito sobre o equipamento, pois a seletora GE interrompe qualquer caminho de corrente para esse lado do circuito.
2. Seguindo o procedimento para comutar o equipamento para **LPEE**, os eventos do circuito serão:
  - (a) A seletora GE irá fechar contato entre os terminais 11 e 14;
  - (b) Os sinalizadores Y5 e Y6 serão alimentados, indicando que o circuito está HABILITADO, o sinalizador Y6 está localizado no Terminal B, e é alimentado por

um condutor unipolar 1,5mm<sup>2</sup> denominado como Retorno Habilitado, conforme Figura 4.1;

- (c) O dispositivo REDE será alimentado, dispositivo que realiza a comutação de rede. Com tensão de alimentação de 220V, tem o circuito de comando como fonte de energia.
- (d) Caso a botoeira C3 seja pressionada, por um breve instante o conjunto de contadores K2 e K4 serão acionados, instante suficiente para que o contato auxiliar NA de K2, presente no interior do Terminal A, ligado paralelamente a botoeira C3 presente no Terminal B, também mude de estado, passando a alimentar exclusivamente o conjunto de contadores. Dessa forma, há uma realimentação pelo contato auxiliar que sustenta a cadeia de acionamento. A conexão paralela do contato auxiliar é realizada pelos dois condutores unipolares que interligam os Terminais A e B, denominados de Retorno Habilitado e Retorno Ligado, conforme Figura 4.1;
- (e) Os sinalizadores Y3 e Y4 serão alimentados, indicando que o circuito estará com o status ACIONADO LPEE. O sinalizador Y4 está presente no Terminal B;
- (f) Caso a botoeira C4 do tipo NF, presente no Terminal B, seja pressionada, todo o conjunto de contadores K2 e K4 será desligado, já que a botoeira conectada com seus terminais em série ao neutro do circuito, irá abrir. Uma vez que os contadores sejam desligados, o contato auxiliar de K2 voltará ao seu estado originalmente aberto, interrompendo a realimentação e cortando o ciclo de acionamento;
- (g) Já as botoeiras C1 e C2 presentes no Terminal A, não terão qualquer efeito sobre o equipamento, pois a seletora GE interrompe qualquer caminho de corrente para esse lado do circuito.

## 4.2 CIRCUITO C.A. E C.C. - MODELO B

Para o segundo modelo de circuito de comando, tem-se um circuito que realiza a comutação da parte c.a., como também da parte c.c.. Diferente do circuito Modelo A que possui contadores exclusivos para cada laboratório, o circuito Modelo B possui um único contator para alimentação do equipamento. Logo, foi desenvolvido um circuito de comando que pode acionar um único contator por diferentes conjuntos de acionadores intertravados.

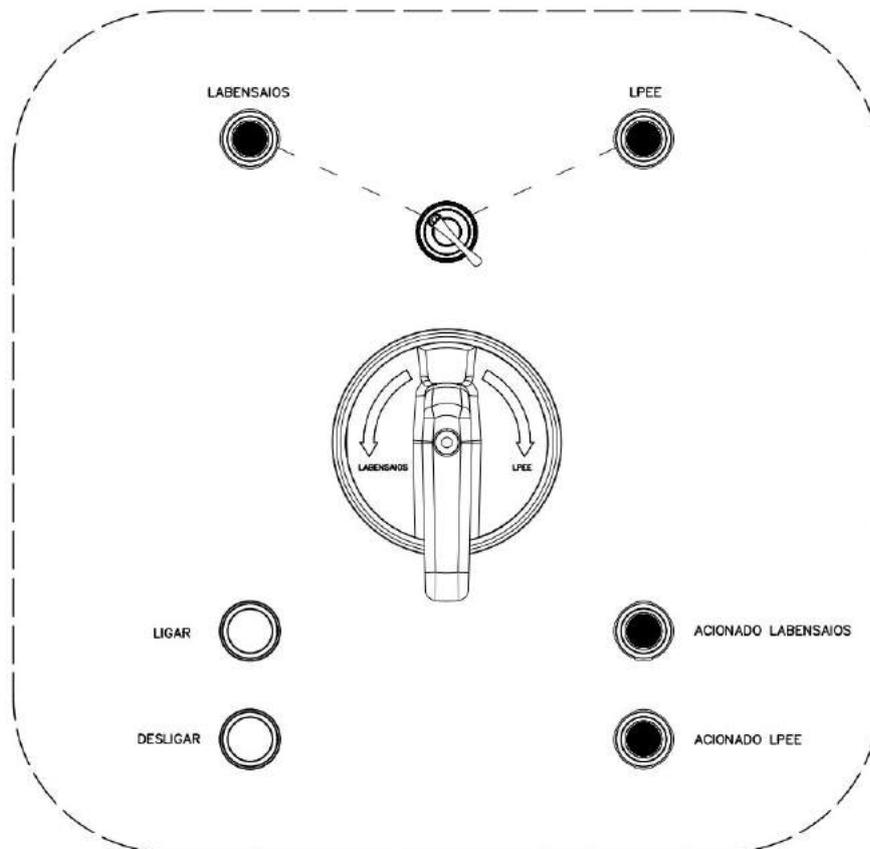
O circuito de potência Modelo B possui uma chave seccionadora WEG para realizar a comutação da saída entre um laboratório e outro. Embora seja empregada uma chave seletora para selecionar os circuitos, optou-se o uso de uma seccionadora na saída desses

equipamentos, para evitar que painéis distintos possibilitem comandos cruzados entre os laboratórios. Por isso, o circuito de comando foi projetado com redundância de forma a garantir que tanto a chave seletora quanto a chave seccionadora estejam ambas apontadas para a mesma escolha para sua ativação.

#### 4.2.1 Elementos da IHM

A IHM para o circuito Modelo B possui um conjunto de chaves seletoras, botoeiras pulsantes e sinalizadores para interação com o sistema. No entanto, foi adicionado para esse circuito a chave seccionadora WEG tetrapolar. Esse elemento além de atuar no circuito de potência, possui contatos auxiliares do tipo NA que permitiram o desenvolvimento de uma lógica de intertravamento elétrico entre a chave seletora e a chave seccionadora. Assim, tem-se um circuito com redundância física e protegido por erros de operação. A Ilustração 4.3 mostra o conjunto de acionadores para o circuito Modelo B no Terminal A.

Ilustração 4.3 – Conjunto de acionadores presentes no Terminal A para Modelo B



Fonte: Autor.

#### 4.2.2 Modos de operação

Como Modos de operação, tem-se duas situações: i) Equipamento comutado para **LABENSAIOS**; e ii) Equipamento comutado para **LPEE**.

A Ilustração 4.4 apresenta a disposição das botoeiras e sinalizadores nos terminais A e B para os procedimentos seguintes:

##### 1. Procedimento para comutar equipamento para **LABENSAIOS**:

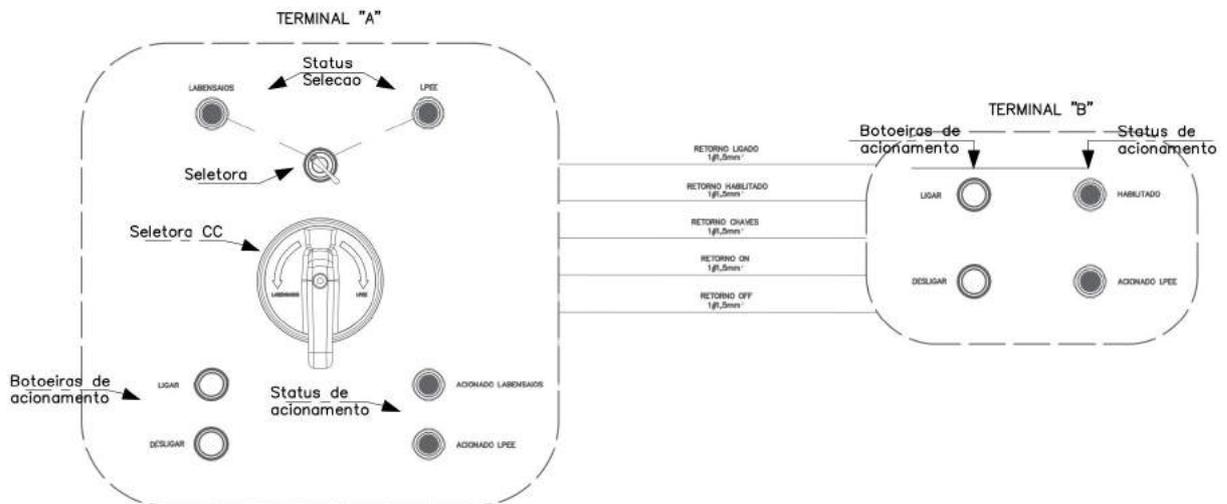
- (a) A chave seletora de 3 estágios, deverá ser manipulada no sentido anti-horário;
- (b) A chave seccionadora deverá também ser manipulada no o sentido anti-horário;
- (c) O sinalizador com etiqueta LABENSAIOS irá se acender, confirmando a seleção;
- (d) Caso a chave seccionadora estiver no sentido horário, isso é, para LPEE, e a chave seletora estiver no sentido anti-horário, para LABENSAIOS, o sinalizador de habitado não irá acender e o circuito não será operante. Logo, ambas chaves deverão estar selecionadas para o mesmo laboratório para que seja possível ligar o equipamento desejado, o que torna o circuito a prova de falha humana.
- (e) Nesse instante, as botoeiras LIGAR e DESLIGAR presentes no Terminal A poderão ativar ou desativar o equipamento;
- (f) Se pressionado LIGAR, o sinalizador com etiqueta ACIONADO LABENSAIOS irá acender, indicando que o equipamento está acionado.
- (g) As botoeiras presentes no Terminal B não terão efeito sobre o equipamento.
- (h) Caso a chave seccionadora seja manipulada com o circuito acionado, ou seja, sob carga, a alimentação do equipamento será imediatamente interrompida a fim de evitar danos.

##### 2. Procedimento para comutar equipamento para **LPEE**:

- (a) A chave seletora de 3 estágios, deverá ser manipulada no sentido horário;
- (b) A chave seccionadora deverá também ser manipulada no o sentido horário;.
- (c) Caso a chave seccionadora estiver no sentido anti-horário, isso é, para LABENSAIOS, e a chave seletora estiver no sentido horário, para LPEE, o sinalizador de habitado não irá acender e o circuito não será operante. Logo, ambas chaves deverão estar selecionadas para o mesmo laboratório para que seja possível ligar o equipamento desejado.
- (d) O sinalizador com etiqueta LPEE irá se acender, confirmando a seleção;
- (e) No Terminal B irá se acender o sinalizador com etiqueta HABILITADO;

- (f) Nesse instante, as botoeiras LIGAR e DESLIGAR presentes no Terminal B poderão ativar ou desativar o equipamento;
- (g) Se pressionado LIGAR, o sinalizador com etiqueta ACIONADO LPEE irá acender tanto no Terminal A, como no Terminal B, indicando que o equipamento está acionado.
- (h) As botoeiras presentes no Terminal A não terão efeito sobre o equipamento.

Ilustração 4.4 – Conjunto do acionadores presentes no Modelo B



Fonte: Autor.

## 4.2.3 Diagrama do circuito de comando

### 4.2.3.1 Elementos de comando

Esse segundo modelo de circuito de comando, tem seu terminais intertravados para acionamento de um único contator de alimentação do equipamento. Os elementos necessários para construção desse circuito estão presentes na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Especificações componentes Circuito c.a. e c.c. - Modelo B

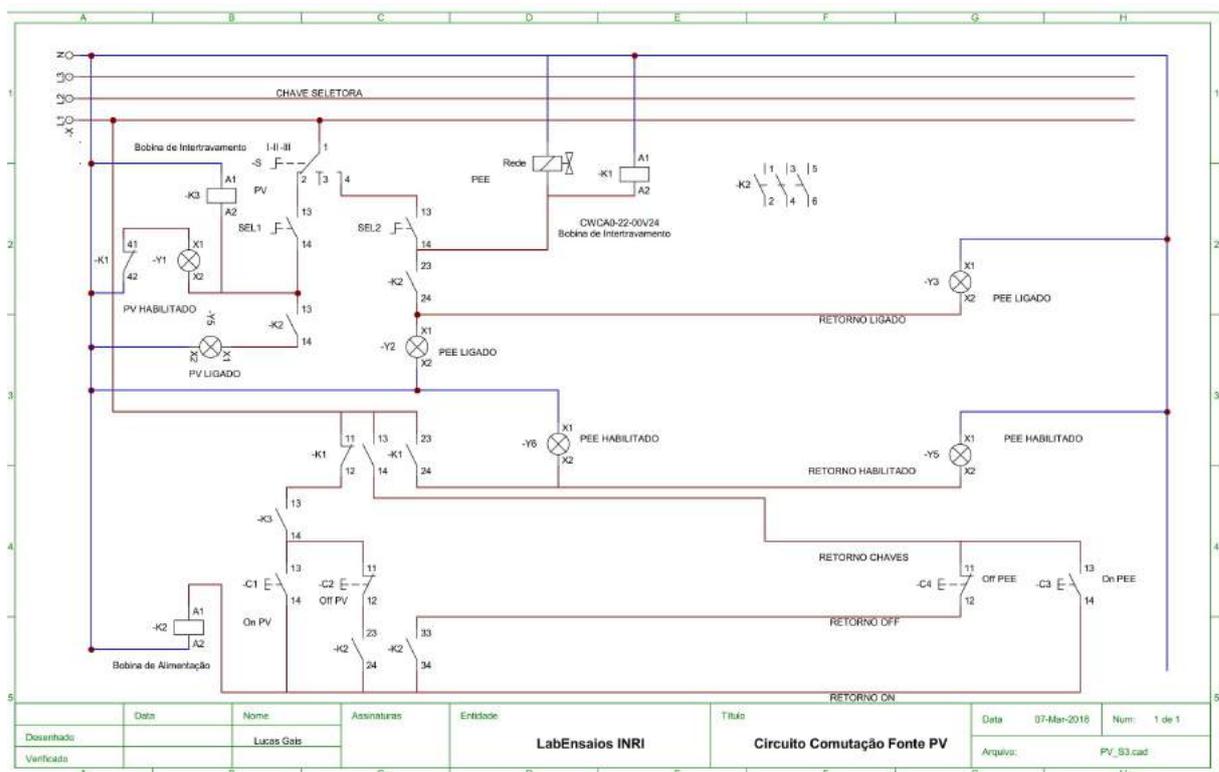
Elemento	Descrição	Código	Quantidade
S	Knob Curto 3 Posições Fixas	CSW-CK3F45 WH	1 un
SEL1, SEL2	Contato auxiliar NA seccionadora	MSWAC 160-B-1 NA	2 un
Y1, Y5, Y6	Sinaleiro Monobloco Azul 220VCA	CEW-SM4-D23	3 un
Y2, Y3, Y7	Sinaleiro Monobloco Vermelho 220VCA	CEW-SM1-D23	3 un
C1, C3	Botão Simples NA Verde	CSW-BF2 WH	2 un
C2, C4	Botão Simples NF Vermelho	CSW-BF1 WH	2 un
-K2	Contato Auxiliar Frontal NA	BCXMF10	4 un
K1, K3	Minicontator 2NAX2NF 220VCA	CWCA0-22-00V24	2 un

Fonte: Autor

É apresentado na Figura 4.2 o Diagrama de Comando para o Circuito c.a e c.c. - Modelo B, que é válido para os equipamentos:

- Fonte emuladora fotovoltaica
- Carga eletrônica c.c.

Figura 4.2 – Diagrama de Comando para o Circuito c.a e c.c. - Modelo B



Fonte: Autor.

Para melhor análise, o diagrama está descrito no ANEXO F ao final desse trabalho.

#### 4.2.3.2 Estados e etapas de comando

De forma cronológica são descritos os comportamentos de cada componente do circuito de comando para ambos possíveis estados, comutado para LABENSAIOS ou comutado para LPEE, conforme segue:

1. Seguindo o procedimento para comutar o equipamento para **LABENSAIOS**, os eventos do circuito serão:
  - (a) A seletora S irá fechar contato entre os terminais 1 e 2;
  - (b) Com a chave seccionadora selecionada para LABENSAIOS, o contato auxiliar SEL1 irá fechar seus terminais 13 e 14;
  - (c) O sinaleiro Y1 irá acender, já que o contato K1 com terminais 41 e 42 estará fechado. Esse sinaleiro irá indicar que o circuito está HABILITADO.
  - (d) O mini-contator K3 será energizado, mudando o estado do contato K3 com terminais 13 e 14 e habilitando as botoeiras C1 e C2 presentes no Terminal A.
  - (e) No pressionar da botoeira C1, por um breve instante o contator K2 será energizado, instante suficiente para que o contato auxiliar K2 com terminais 23 e 24 mude para o estado de fechado, que em conjunto com a botoeira NF C2 conectada em série, irão realizar uma realimentação ao contator K2, mantendo-o energizado. Logo, K2 irá alimentar o equipamento almejado.
  - (f) Com o contator K2 energizado, o contato auxiliar K2 com terminais 13 e 14 mudará seu estado e alimentará o sinaleiro Y5, indicando que o equipamento está com o status ACIONADO LABENSAIOS.
  - (g) Na situação em que a botoeira NF C2 for pressionada no Terminal A, o seu contato passará ao estado de aberto, o que irá interromper a realimentação do contator rompendo seu ciclo de funcionamento. Dessa forma o equipamento passará para o estado de desativado.
  - (h) As botoeiras presentes no Terminal B não terão efeito sobre o equipamento.
  - (i) Caso a chave seccionadora seja manipulada durante o funcionamento do equipamento, o contato auxiliar SEL1 irá se abrir, cortando toda a alimentação dos componentes a frente do circuito de comando. Dessa forma o equipamento passará para o estado de desativado.
2. Seguindo o procedimento para comutar o equipamento para **LPEE**, os eventos do circuito serão:
  - (a) A seletora S irá fechar contato entre os terminais 1 e 4;
  - (b) Com a chave seccionadora selecionada para LABENSAIOS, o contato auxiliar SEL2 irá fechar seus terminais 13 e 14;

- (c) O dispositivo REDE será alimentado, dispositivo que realiza a comutação de rede. Com tensão de alimentação de 220V, tem o circuito de comando como fonte de energia.
- (d) O mini-contator K1 é energizado alterando o estado de todos seus contatos auxiliares K1;
- (e) O contato auxiliar K1 com terminais 41 e 42 irá abrir evitando realimentação para o subcircuito do lado LABENSAIOS;
- (f) O contato auxiliar K1 com terminais 23 e 24 irá se fechar alimentando o sinalizador Y6 presente no Terminal A e o sinalizador Y5 presente no Terminal B, indicando que o circuito está HABILITADO.
- (g) O contato auxiliar K1 com terminais 13 e 14 irá se fechar, alimentando as botoeiras C3 e C4 pelo condutor Retorno chaves que interliga o Terminal B ao Terminal A.
- (h) O contato auxiliar K1 com terminais 11 e 12 irá se abrir, desacoplando as botoeiras presentes no Terminal A;
- (i) Caso a botoeira C3 seja pressionada, por um breve instante a contatora K2 será energizada, alterando o status de aberto para fechado do contato auxiliar K2 com terminais 33 e 34, permitindo que haja uma realimentação pela malha criada entre os elementos K1 com terminais 13 e 14, botoeira NF C4 e o próprio contato auxiliar em questão. Dessa forma, o contator passará a se manter no estado de energizado, alimentando o equipamento desejado através do contator K2.
- (j) Com o contator K2 energizado, o contato auxiliar K2 com terminais 23 e 24 passará a ficar fechado, alimentando os sinalizadores Y2 e Y3, indicando que o equipamento está com o status ACIONADO LPEE;
- (k) Na situação em que a botoeira C4 é pressionada, seu contato passará a ficar aberto, interrompendo o selo de alimentação da contatora K2, levando o circuito ao estado de desativado.

### 4.3 CIRCUITO DE EMERGÊNCIA

Sendo uma mescla de circuito de potência com circuito de comando, é esse circuito que alimenta todos os demais circuitos de comando entre os Terminais A e B. O circuito de emergência possui a mais alta hierarquia entre os circuitos, e tem como gatilho, uma botoeira do tipo cogumelo presente no terminal A e B.

Uma vez acionada essa botoeira, todos os circuitos são desativados pela interrupção no fornecimento de energia nos demais circuitos de comando. Dessa forma, em situações de emergência é conveniente pressionar essa botoeira para que ambos laboratórios sejam desativados.

### 4.3.1 Diagrama do circuito de comando

#### 4.3.1.1 Elementos de comando

Esse circuito de emergência corresponde ao acionamento de um mini-contator, que está sempre alimentado para sustentar os demais circuitos de comando. A botoeira do tipo cogumelo possui um contato NF, o que facilitou o desenvolvimento do circuito, pois interromper a alimentação desse mini-contator principal irá interromper todos os circuitos. Sinalizadores foram empregados para avisar o operador que os terminais estão energizados. A Tabela 4.3 reúne os componentes utilizados para a construção do circuito de emergência.

Tabela 4.3 – Especificações componentes Circuito de Emergência

Elemento	Descrição	Código	Quantidade
DJ1,DJ2	Disjuntor 10A 220VCA WEG	DIN MDW C10	3 un
ENERG, FALHA	Sinaleiro Vermelho 220VCA	CEW-SM1-D23	2 un
KEM	Minicontator 2NAX2NF 220VCA	CWCA0-22-00V24	1 un
EMERG1, EMERG2	Botoeira Emerg. Cogumelo	CSW-BESGS WH	2 un

Fonte: Autor

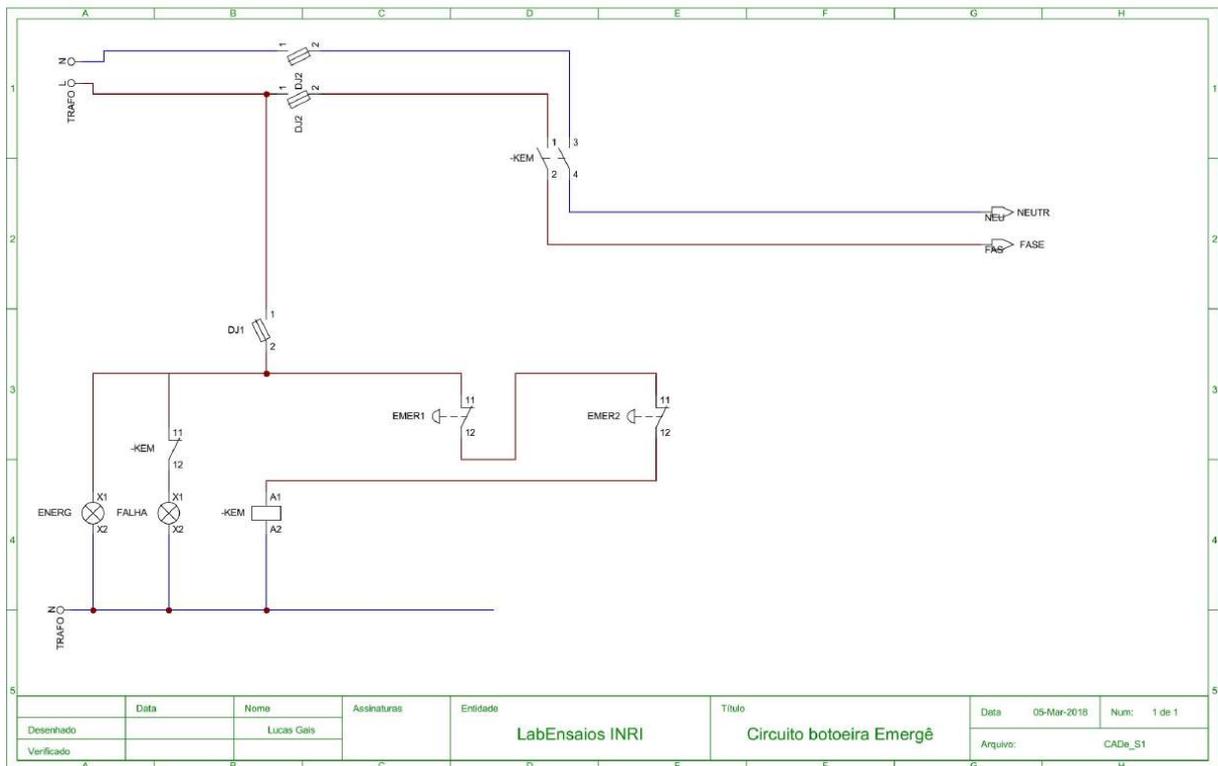
#### 4.3.1.2 Estados e etapas de comando

1. Considerando que as botoeiras de emergência não estão pressionadas:
  - (a) Considera-se que os disjuntores de proteção DJ1 e DJ2 estão conduzindo;
  - (b) O sinalizador EMERG estará aceso informando que os Terminais A e B estão energizados;
  - (c) Os contatos das botoeiras de emergência estarão fechados, alimentando o mini-contator KEM;
  - (d) Os circuitos de comando estarão energizados.

2. Considerando que Qualquer botoeira de emergência esteja pressionada:

- (a) Considera-se que os disjuntores de proteção DJ1 e DJ2 estão conduzindo;
- (b) O contato NF de uma das botoeiras estará aberto, interrompendo a alimentação do contator KEM;
- (c) O contato auxiliar NF KEM estará fechado, alimentando o sinalizador FALHA, informando que o há um falha e que os circuitos de comando estão desativados;

Figura 4.3 – Diagrama de Comando para o Circuito de Emergência



Fonte: Autor.

O diagrama completo é mostrado no ANEXO G.

## 5 CONCLUSÃO

O laboratório de ensaios teve uma grande evolução tanto em volume de ensaios quanto à potência dos ensaios. Em adição ao projeto do INCT-GD, que também aportou recursos no INRI, surgiu a necessidade de possibilitar o compartilhamento de equipamentos em espaços distintos. Antes da implementação do presente projeto, esse compartilhamento era possível, mas exigia rotinas de reconfiguração de cabos além de constantes, exigiam grande demanda de tempo. Falhas operacionais eram possíveis, pois os equipamentos não possuíam rotinas de segurança nos acionamentos.

Uma extensa estrutura de eletrocalhas, painéis, contatores e barramentos foi construída nesse projeto, permitindo expansão dos níveis de potência, além de reconfigurar os procedimentos de ensaios e acesso aos equipamentos. Dessa forma, foi desenvolvida a estrutura mecânica e elétrica necessária para que os terminais de potência desses equipamentos sejam conectados e distribuídos entre os diferentes laboratórios por circuitos de potência controlados por circuitos de comando, obedecendo a lógica operacional desejada.

Os dimensionamentos dos componentes descritos e analisados nesse trabalho obtiveram a conformidade e supriram a necessidade da capacidade elétrica de cada equipamento. As etapas de chaveamento dos circuitos de comando foram descritas com o diagrama elétrico de cada modelo, atendendo as necessidades impostas pelas esferas acadêmica e comercial.

Apesar da grande quantidade de cabos para interligação dos terminais, e da própria construção dos circuitos de comando em si, obteve-se um confiável conjunto de acionamentos independentes. Dessa forma, o trabalho é concluído com os objetivos iniciais atingidos, sendo eles: Oferecer segurança no acionamento de equipamentos de grande potência, permitir o acesso a diferentes grupos e agilizar os processos de ensaios dos laboratórios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

\_\_\_\_\_. **ABNT NBR IEC 62116 - Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

KEYSIGHT. **N8900 High-Power DC Power Supplies**. 2015. Acessado em 19 ago 2020. Disponível em: <<https://www.keysight.com/br/pt/products/dc-power-supplies/>>.

NHRESEARCH. **4760 High-Power DC Loads**. 2017. Acessado em 19 ago 2020. Disponível em: <<https://nhresearch.com/pt/power-electronics-test-systems-and-instruments/ac-dc-electronic-loads/dc-loads/>>.

SUPPLIER. **Fontes CA Monofásicas**. 2016. Acessado em 19 ago 2020. Disponível em: <<http://www.supplier.ind.br/produtos/fontes-ca-monofasicas/>>.

\_\_\_\_\_. **Fontes CA Trifásicas**. 2016. Acessado em 19 ago 2020. Disponível em: <<http://www.supplier.ind.br/produtos/fontes-ca-trifasicas/>>.

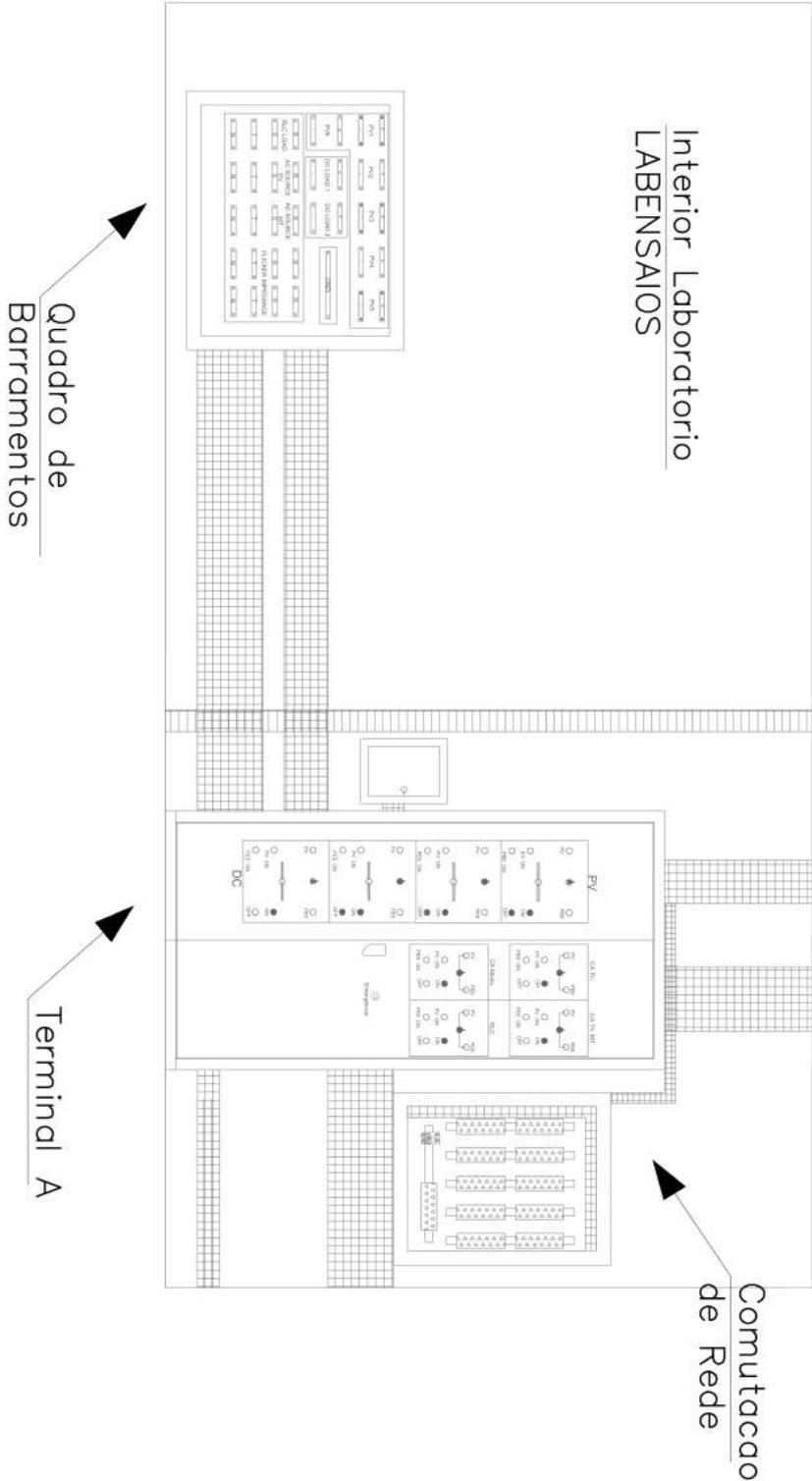
WEG. **Automação e Controle Industrial: Comando e sinalização**. Acessado em 19 ago 2020. Disponível em: <[https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Comando-e-Sinaliza%C3%A7%C3%A3o/c/BR\\_WDC\\_IA\\_CTL\\_PBPL](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Comando-e-Sinaliza%C3%A7%C3%A3o/c/BR_WDC_IA_CTL_PBPL)>.

\_\_\_\_\_. **Automação e Controle Industrial: Contatores**. Acessado em 19 ago 2020. Disponível em: <[https://www.weg.net/catalog/weg/TL/pt/Controls/Contatores/c/GLOBAL\\_WDC\\_CTL\\_PP\\_CONTACTORS](https://www.weg.net/catalog/weg/TL/pt/Controls/Contatores/c/GLOBAL_WDC_CTL_PP_CONTACTORS)>.

\_\_\_\_\_. **Automação e Controle Industrial: Disjuntores**. Acessado em 19 ago 2020. Disponível em: <[https://www.weg.net/catalog/weg/DE/pt/Controls/Disjuntores/c/GLOBAL\\_WDC\\_CTL\\_CIRCUIT\\_BREAKERS](https://www.weg.net/catalog/weg/DE/pt/Controls/Disjuntores/c/GLOBAL_WDC_CTL_CIRCUIT_BREAKERS)>.

**ANEXO A – TERMINAL A LABENSAIOS**

Ilustração A.1 – Vista Frontal Terminal A

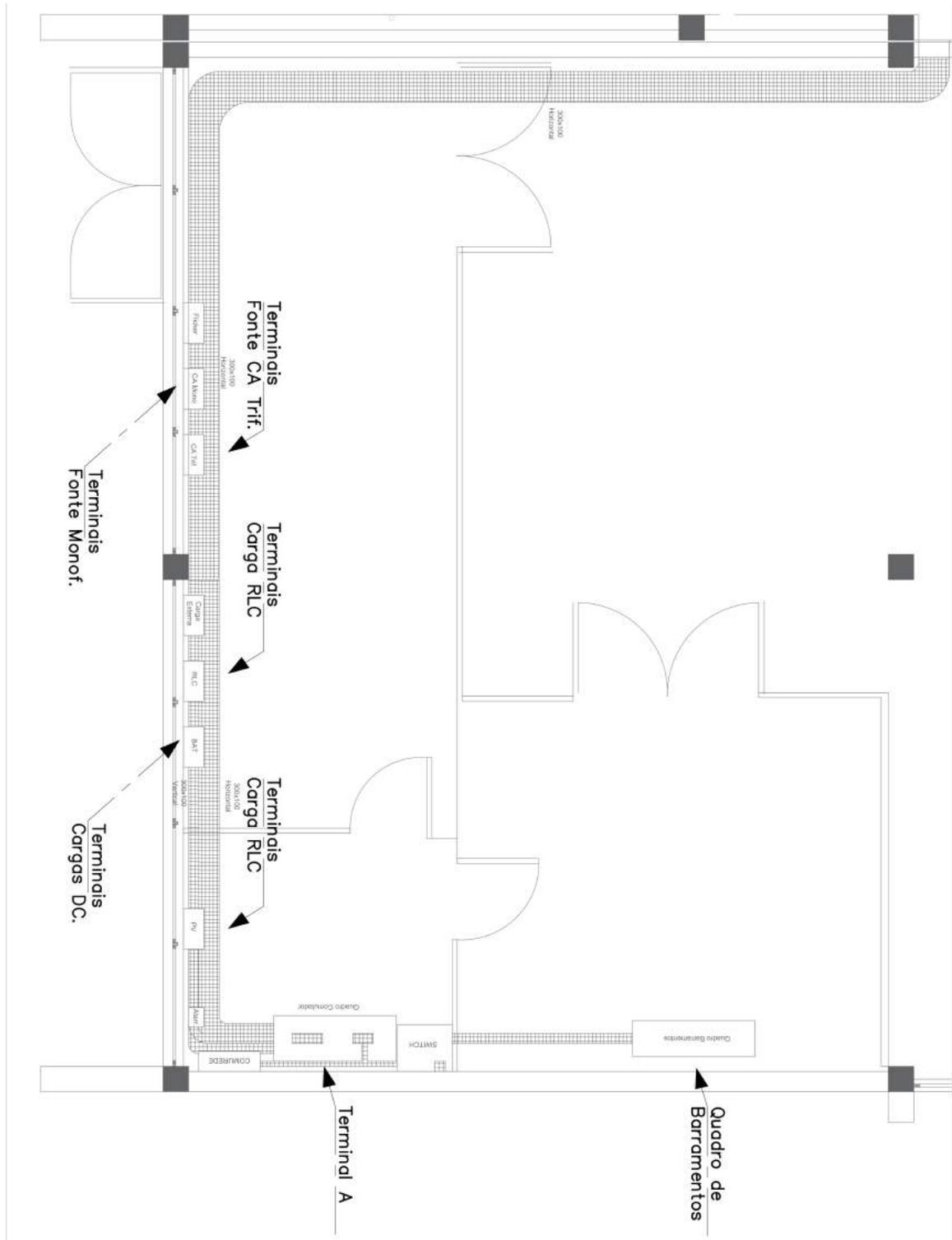


Fonte: Autor



## ANEXO C – VISTA SUPERIOR LABENSAIOS

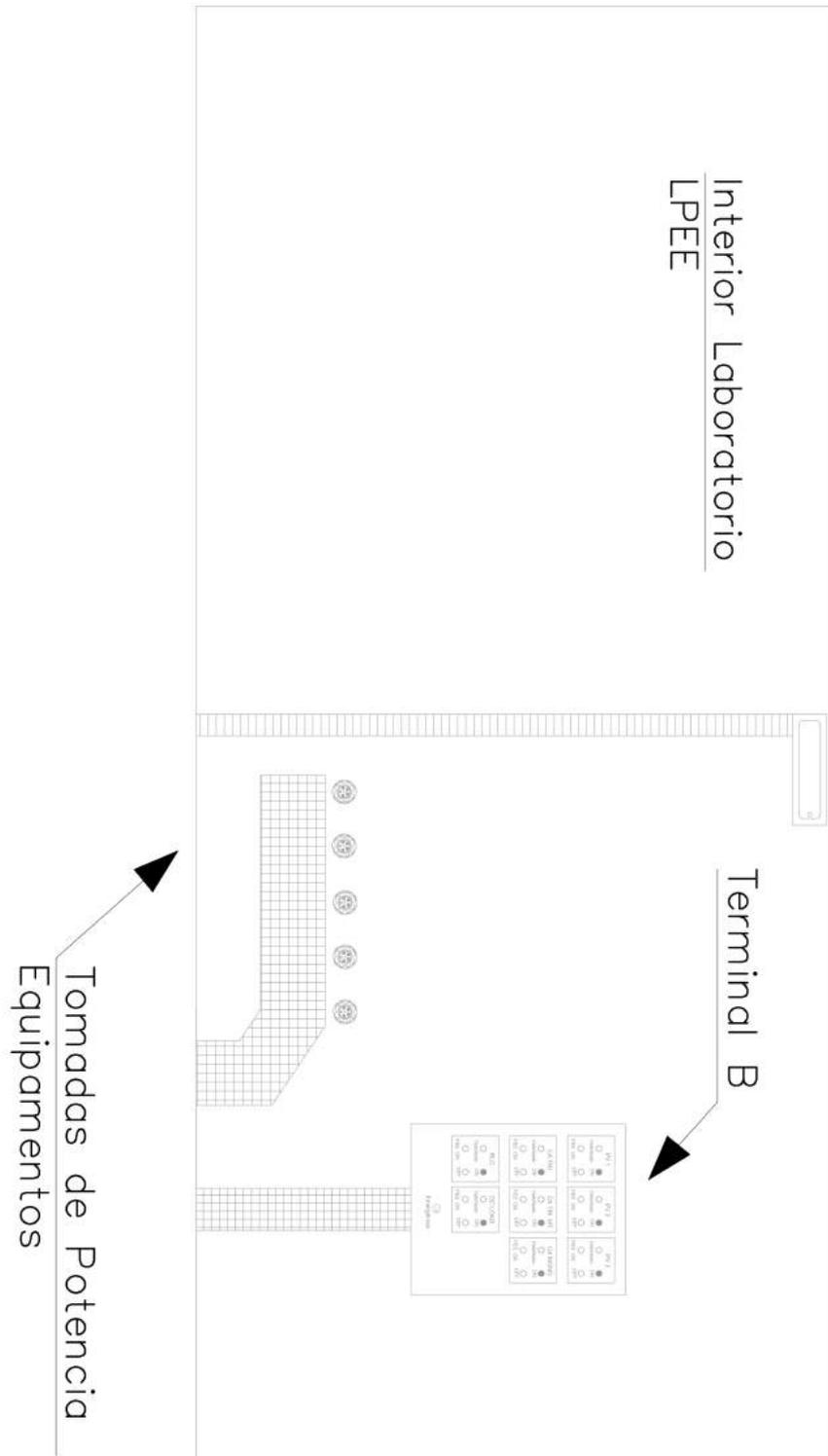
Ilustração C.1 – Vista superior LABENSAIOS



Fonte: Autor

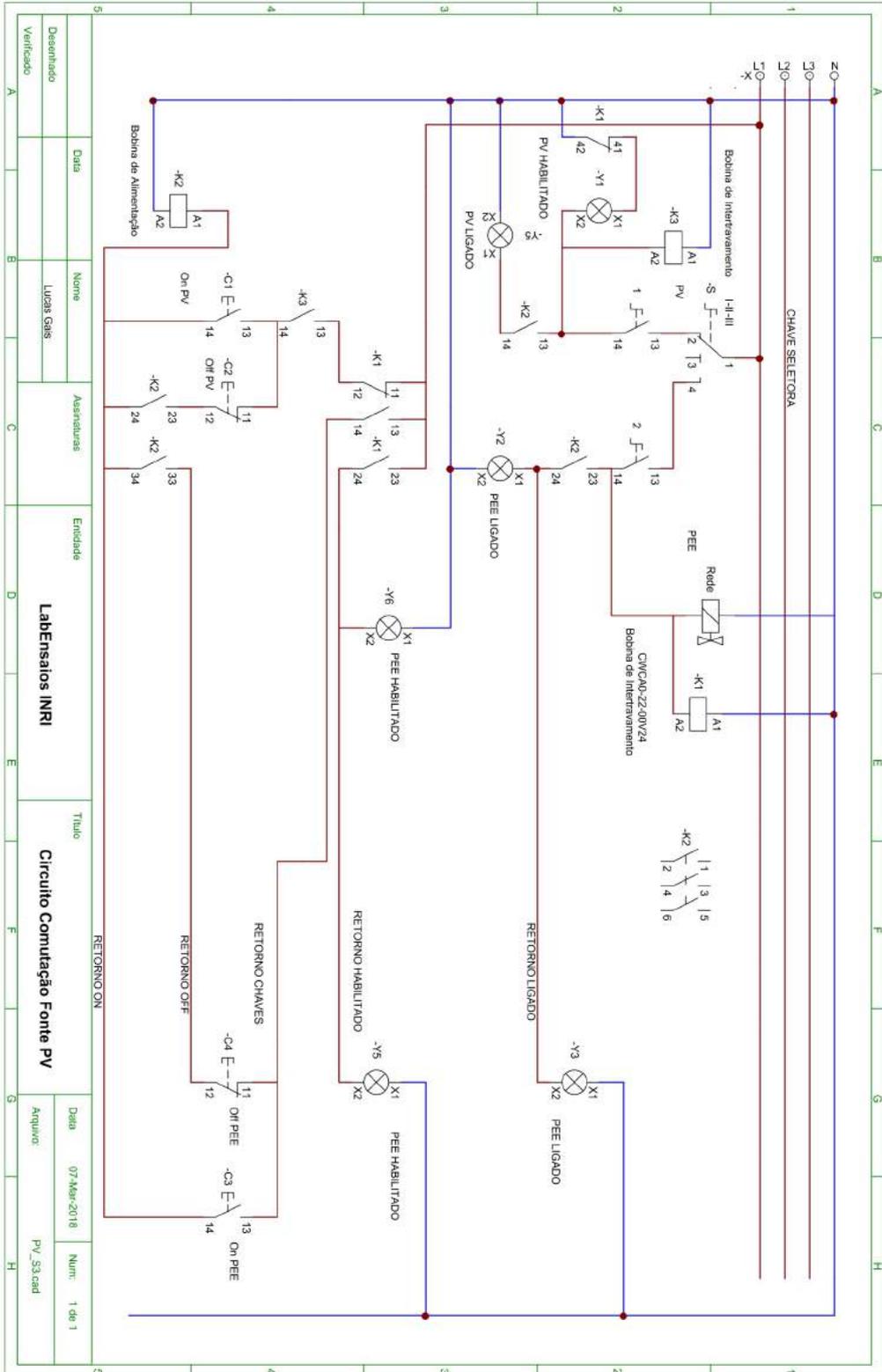
## ANEXO D – TERMINAL B LPEE

Ilustração D.1 – Vista Frontal Terminal B

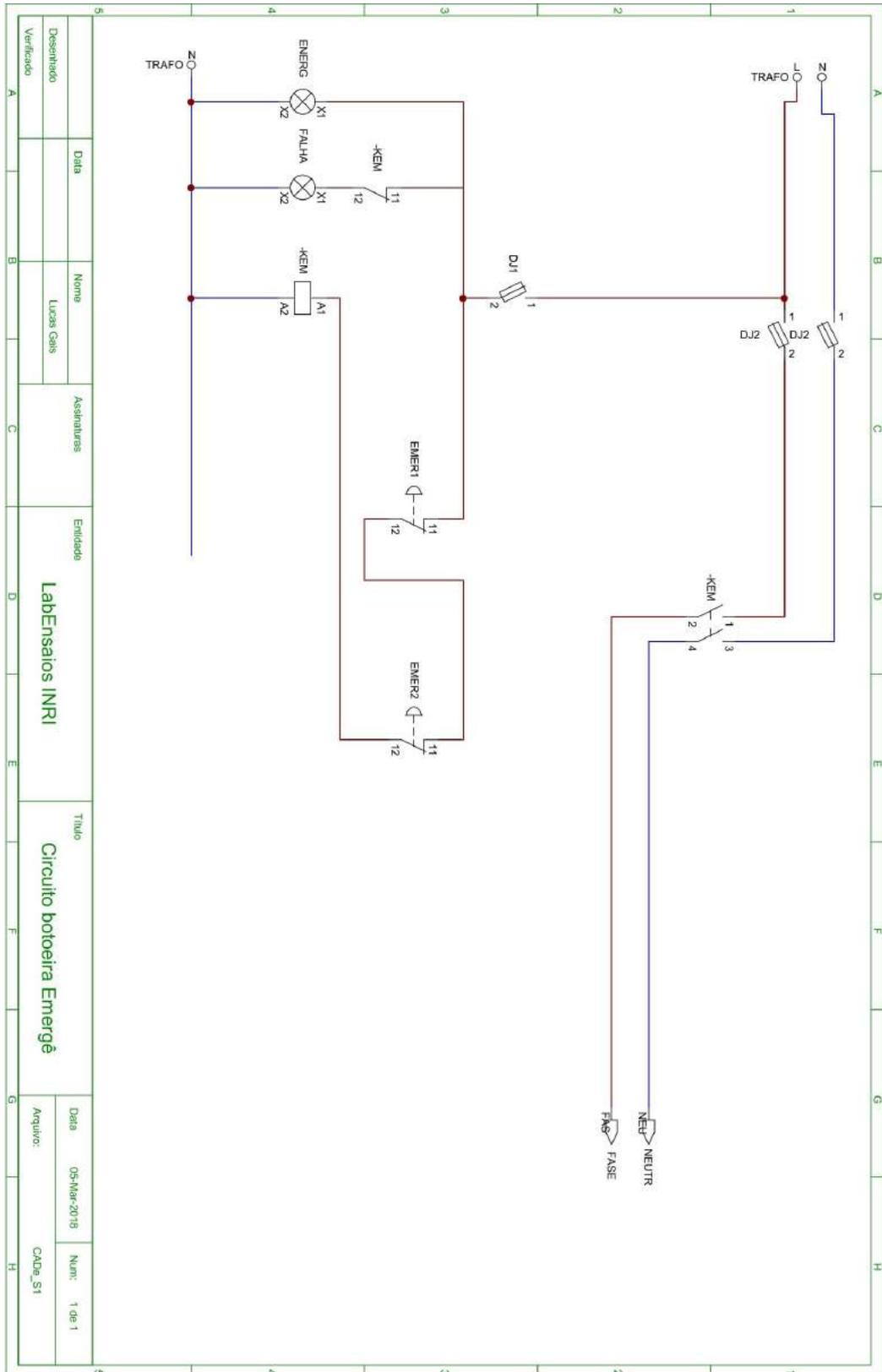




## ANEXO F – CIRCUITO DE COMANDO MODELO B



## ANEXO G – CIRCUITO DE EMERGÊNCIA



Fonte: Autor

## ANEXO H – TERMINAL A



Fonte: Autor.

## ANEXO I – INTERIOR TERMINAL A



Fonte: Autor

## ANEXO J – TERMINAL B



Fonte: Autor.

## ANEXO K – INTERIOR TERMINAL B



Fonte: Autor.

## ANEXO L – TERMINAL DE CONEXÃO EQUIPAMENTOS



Fonte: Autor.