

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**JOSÉ RAFAEL LAUER**

**ANÁLISE DE EMENDAS EM CABOS CONDUTORES PARA INSTALAÇÕES  
ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO**

**São Leopoldo**

**2023**

JOSÉ RAFAEL LAUER

**ANÁLISE DE EMENDAS EM CABOS CONDUTORES PARA INSTALAÇÕES  
ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Me. Armando Leopoldo Keller

São Leopoldo

2023

## RESUMO

As conexões são parte fundamental de todo o tipo de instalação elétrica de baixa tensão. A emenda é a técnica de ligação entre os condutores mais antiga e ainda predominantemente empregada, principalmente devido ao seu baixo custo e simplicidade. Portanto, é encontrada em praticamente qualquer tipo de instalação elétrica. No entanto, as emendas não possuem normativas nacionais de padronização e parâmetros mínimos de qualidade, de modo que, embora qualquer instalador, indiferente do seu nível de formação profissional, saiba como executá-la, não existem garantias acerca da sua correta aplicação, eficiência e segurança. Esta condição pode ser crítica, uma vez que a conexão de má qualidade acarreta aquecimento indesejado nos condutores, queda de tensão, sobrecarga elétrica e em casos mais extremos, princípios de incêndio. Nesse contexto, o estudo teórico e prático desenvolvido neste trabalho, apresenta, inicialmente, uma pesquisa bibliográfica sobre os tipos de emenda previstas na literatura e um questionário sobre a forma de utilização das emendas por profissionais do setor elétrico de baixa tensão. A partir destes dados, foram aplicados ensaios em laboratório para estimar a resistência elétrica, a queda de tensão, a temperatura de operação e a resistência a tração mecânica dos três tipos de emenda mais comuns existentes. Por meio de uma análise estatística dos resultados encontrados nos testes, foi realizada uma classificação e comparação qualitativa do desempenho, nas condições de teste, das emendas em derivação, em prolongamento e de caixa, apontando, finalmente, quais foram aprovadas ou não em cada uma das condições de interesse avaliadas.

**Palavras-chave:** conexões elétricas; emenda; testes; comparação.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conector de emenda.....	14
Figura 2 - Emenda em prolongamento.....	15
Figura 3 - Emenda de caixa .....	16
Figura 4 - Emenda em derivação .....	16
Figura 5 - Corpo de prova submetido a tração “F” .....	19
Figura 6 - Diagrama de implementação das etapas da metodologia .....	22
Figura 7 - Conector Wago 221-412.....	24
Figura 8 - Remoção da isolação para emenda em prolongamento.....	25
Figura 9 - Cruzamento dos condutores para emenda em prolongamento .....	26
Figura 10 - Emenda em prolongamento, torção de um condutor .....	26
Figura 11 - Emenda em prolongamento finalizada.....	27
Figura 12 - Remoção da isolação para emenda de caixa .....	27
Figura 13 - Cruzamento dos condutores para emenda de caixa.....	28
Figura 14 - Emenda de caixa finalizada .....	28
Figura 15 - Remoção da isolação para emenda em derivação .....	29
Figura 16 - Cruzamento dos condutores para emenda em derivação.....	29
Figura 17 - Emenda em derivação, realização da trava .....	30
Figura 18 - Emenda em derivação finalizada .....	30
Figura 19 - Diagrama esquemático circuito elétrico teste de resistência elétrica .....	32
Figura 20 - Diagrama esquemático do circuito teste em corrente alternada .....	34
Figura 21 - Diagrama da carga de corrente alternada.....	42

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Máquina para teste de tração.....	35
Fotografia 2 - Emendas com cabos de 1,5 mm <sup>2</sup> .....	37
Fotografia 3 - Emendas com cabos de 2,5 mm <sup>2</sup> .....	38
Fotografia 4 - Montagem do teste de resistência elétrica.....	39
Fotografia 5 - Carga de corrente alternada construída.....	42
Fotografia 6 - Circuito do teste em corrente alternada .....	43
Fotografia 7 - Peça de alumínio para fixação das emendas.....	49
Fotografia 8 - Emenda de caixa estanhada.....	51
Fotografia 9 - Emenda de caixa estanhada em caixa de teto .....	52
Fotografia 10 - Emenda em derivação caixa de tomada .....	52
Fotografia 11 - Emenda de caixa fio rígido e flexível.....	53
Fotografia 12 - Emenda em prolongamento em chuveiro .....	53
Fotografia 13 - Emenda em prolongamento após teste de tração.....	63
Fotografia 14 - Emenda de caixa após teste de tração .....	64

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Força aplicada na emenda de caixa .....	64
Gráfico 2 - Formação acadêmica dos profissionais.....	65
Gráfico 3 - Tempo de atuação .....	66
Gráfico 4 - Região de atuação.....	67
Gráfico 5 - Tipo de conexão .....	67
Gráfico 6 - Tipo de emenda utilizada.....	68
Gráfico 7 - Tipo de emenda por tipo de profissional valores absolutos .....	69
Gráfico 8 - Tipo de emenda por tipo de profissional valores percentuais.....	69

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Locais de pesquisa.....	21
Quadro 2 - Comparativo entre as emendas .....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diâmetro nominal de condutores flexíveis.....	25
Tabela 2 - Capacidade de condução de corrente elétrica .....	33
Tabela 3 - Emenda de caixa.....	40
Tabela 4 - Emenda em derivação .....	40
Tabela 5 - Emenda em prolongamento .....	41
Tabela 6 - Operação nominal emenda de caixa 1,5 mm <sup>2</sup> .....	44
Tabela 7 - Operação nominal emenda em derivação 1,5 mm <sup>2</sup> .....	44
Tabela 8 - Operação nominal emenda em prolongamento 1,5 mm <sup>2</sup> .....	45
Tabela 9 - Operação nominal emenda de caixa 2,5 mm <sup>2</sup> .....	45
Tabela 10 - Operação nominal emenda em derivação 2,5 mm <sup>2</sup> .....	46
Tabela 11 - Operação nominal emenda em prolongamento 2,5 mm <sup>2</sup> .....	46
Tabela 12 - Operação nominal emenda de caixa 1,5 mm <sup>2</sup> isolada .....	47
Tabela 13 - Operação nominal emenda em derivação 1,5 mm <sup>2</sup> isolada .....	47
Tabela 14 - Operação nominal emenda em prolongamento 1,5 mm <sup>2</sup> com isolada ...	47
Tabela 15 - Operação nominal emenda de caixa 2,5 mm <sup>2</sup> com isolada.....	48
Tabela 16 - Operação nominal emenda em derivação 2,5 mm <sup>2</sup> isolada .....	48
Tabela 17 - Operação nominal emenda em prolongamento 2,5 mm <sup>2</sup> isolada .....	48
Tabela 18 - Operação nominal emenda de caixa sem padrão 1,5 mm <sup>2</sup> isolada .....	49
Tabela 19 - Operação nominal emenda de caixa sem padrão 2,5 mm <sup>2</sup> isolada .....	49
Tabela 20 - Máxima resistência emenda de caixa .....	50
Tabela 21 - Máxima resistência emenda em derivação .....	50
Tabela 22 - Máxima resistência emenda em prolongamento .....	50
Tabela 23 - Análise de dados emendas com seção de 1,5 mm <sup>2</sup> .....	56
Tabela 24 - Análise de dados emendas com seção de 2,5 mm <sup>2</sup> .....	56
Tabela 25 - Análise de dados emendas com seção de 1,5 mm <sup>2</sup> .....	58
Tabela 26 - Análise de dados emendas com seção de 2,5 mm <sup>2</sup> .....	58
Tabela 27 - Análise da temperatura das emendas com seção de 1,5 mm <sup>2</sup> .....	59
Tabela 28 - Análise da temperatura das emendas com seção de 2,5 mm <sup>2</sup> .....	59
Tabela 29 - Análise da temperatura das emendas com seção de 1,5 mm <sup>2</sup> .....	60
Tabela 30 - Análise da temperatura das emendas com seção de 2,5 mm <sup>2</sup> .....	61
Tabela 31 - Análise da temperatura das emendas sem método construtivo .....	61
Tabela 32 - Análise da resistência mecânica das emendas.....	62

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
Abracopel	Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade
IEC	International Electrotechnical Commission
ITT Performance	Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
1.3 JUSTIFICATIVA .....	12
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
2.1 CONEXÕES ELÉTRICAS .....	13
2.2 CONECTORES .....	13
2.3 EMENDAS.....	15
2.4 TERMOGRAFIA .....	17
2.5 ESFORÇOS MECÂNICOS.....	18
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E INCERTEZAS DE MEDIÇÃO.....	19
2.7 TRABALHOS CORRELATOS .....	21
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
3.1 PESQUISA SOBRE OS TIPOS DE CONEXÃO ELÉTRICA .....	22
3.2 DEFINIÇÃO DAS EMENDAS.....	23
3.3 DEFINIÇÃO DO CONECTOR .....	23
3.4 PREPARAÇÃO DAS EMENDAS .....	24
<b>3.4.1 Emenda em Prolongamento</b> .....	<b>25</b>
<b>3.4.2 Emenda de Caixa</b> .....	<b>27</b>
<b>3.4.3 Emenda em Derivação</b> .....	<b>29</b>
3.5 TESTES .....	31
<b>3.5.1 Resistência Elétrica em Corrente Contínua</b> .....	<b>31</b>
<b>3.5.2 Operação em Corrente Alternada em Condições Nominais</b> .....	<b>33</b>
<b>3.5.3 Resistência Mecânica</b> .....	<b>34</b>
3.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	36
<b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>37</b>
4.1 CONSTRUÇÃO DAS EMENDAS.....	37
4.2 RESISTÊNCIA ELÉTRICA EM CORRENTE CONTÍNUA.....	38
4.3 OPERAÇÃO EM CORRENTE ALTERNADA EM CONDIÇÕES NOMINAIS.....	41
4.4 RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	49
4.5 VISTORIA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS .....	51
4.6 QUESTIONÁRIO.....	54

<b>5 ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	<b>55</b>
5.1 RESISTÊNCIA ELÉTRICA EM CORRENTE CONTÍNUA .....	55
5.2 OPERAÇÃO EM CORRENTE ALTERNADA EM CONDIÇÕES NOMINAIS.....	57
5.3 RESISTÊNCIA MECÂNICA.....	62
5.4 QUESTIONÁRIO .....	65
5.5 VISTORIAS .....	70
5.6 COMPARAÇÃO ENTRE AS EMENDAS .....	70
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>71</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>73</b>
<b>APÊNDICE A – PESQUISA SOBRE TIPOS DE EMENDAS</b> .....	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As conexões estão presentes em todos os tipos de instalações elétricas, seja por meio da ligação dos condutores entre si ou nos terminais da fiação com os equipamentos acionados a partir da rede de energia elétrica. No âmbito das instalações elétricas de baixa tensão, as emendas podem causar problemas de ordem elétrica e mecânica, uma vez que, na execução da conexão entre condutores ocorre uma perda estimada de 20% da capacidade de condução de corrente elétrica e de 20% na força de tração do fio (CAVALIN, CERVELIN, 2010).

Nesse sentido, as interligações de condutores entre si e com outros componentes precisam garantir continuidade elétrica durável e adequada suportabilidade mecânica, de modo que para a seleção dos meios de conexão deve ser considerado o material dos condutores, a sua isolação, a quantidade de condutores a ser conectados, sua seção e formato (ABNT NBR 5410, 2004).

Embora a NBR 5410, “Instalações elétricas de baixa tensão” cite as características que devem ser observadas nas conexões elétricas, ela não institui requisitos obrigatórios, tais como a resistência elétrica máxima e a resistência mecânica mínima das emendas a tração, bem como não demonstra os tipos de emendas padronizados ou ensaios que devam ser aplicadas nelas para garantir condições de desempenho elétrico e de segurança.

Portanto, este trabalho apresenta um estudo teórico e prático para fins de comparação e classificação dos tipos de emendas utilizadas na conexão entre dois condutores entre si de instalações elétricas de baixa tensão.

Sendo assim, questiona-se: é possível aplicar testes em emendas a fim de avaliar seu desempenho e classificá-las entre si e em relação a um modelo de conector certificado quanto a sua qualidade e aplicação?

### 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é identificar os tipos de emendas mais utilizados em instalações elétricas de baixa tensão, elaborar essas emendas a fim de ensaiá-las em laboratório, obter parâmetros, como resistência elétrica e mecânica, temperatura e corrente de operação, de modo que seja possível compará-las entre si e com um conector para classificá-las quanto ao seu desempenho e aplicação.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) identificar e elaborar os tipos de emendas comumente utilizadas em instalações elétricas prediais de baixa tensão;
- b) realizar testes visando estimar a resistência elétrica, queda de tensão, temperatura de operação e resistência mecânica nas emendas mais utilizadas;
- c) comparar os resultados obtidos nos testes das emendas entre si;
- d) classificar os tipos de emenda de acordo com a comparação dos resultados dos testes realizados.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo dados do anuário estatístico de acidentes de origem elétrica de 2022, elaborado pela Abracopel, ocorreram no ano base do estudo em 2021, 637 incêndios causados por sobrecarga elétrica no Brasil. Esses sinistros possuem como ponto de ignição o superaquecimento dos condutores, o que atesta como as instalações elétricas brasileiras são mal dimensionadas ou não são revisadas com frequência (MARTINHO, MARTINHO, DE SOUZA, 2022).

Nesse contexto, a relação entre as emendas e os acidentes com fogo oriundos de instalações elétricas pode ser observada, por exemplo, segundo Andrade e Kipper (2022), do site G1, no dia 16 de maio de 2022. Os repórteres noticiam que no Hospital São Bendito em Cuiabá/MT, ocorreu um incêndio em um aparelho de ar-condicionado, sendo que a perícia encontrou diversas emendas na fiação de alimentação do equipamento em questão, concluindo em seu laudo final que elas aumentam as chances de superaquecimento da rede elétrica.

Portanto, este estudo possui duas motivações principais: a relação direta entre os perigos do aquecimento indevido nas emendas entre condutores nas instalações elétricas de baixa tensão, e o fato de que não existe em norma nacional uma descrição ou padronização para a elaboração de emendas, nem mesmo parâmetros mínimos de qualidade, que possam garantir a sua eficiência elétrica/mecânica e segurança quando aplicadas nas instalações.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta seção é dividida duas partes: os conceitos básicos, que constituem os conhecimentos necessários para o bom entendimento do estudo e os trabalhos correlatos, que consistem em produções acadêmicas atuais realizadas por outros autores que possuem relação direta com a proposta deste trabalho.

Os principais conceitos acerca do assunto objeto do estudo são as conexões elétricas, seus tipos e materiais empregados nas instalações de baixa tensão, bem como as normas vigentes sobre sua construção e aplicação. Também são abordados princípios físicos e matemáticos com relação direta com os testes práticos realizados e a análise dos dados gerados a partir dos ensaios.

### 2.1 CONEXÕES ELÉTRICAS

As conexões elétricas são essenciais para que não existam pontos de mau contato nos sistemas elétricos, estando-as presentes em praticamente todos os arranjos elétricos. Conexões inadequadas em redes de baixa tensão acarretam falta de segurança, desperdício de energia devido ao efeito Joule (aquecimento) e queda de tensão, comprometendo a qualidade de energia da instalação como um todo. (ORTIZ, 2017).

Nas instalações elétricas de baixa tensão, compostas basicamente por edificações residenciais, comerciais e indústrias de pequeno porte, devido aos baixos níveis de corrente e tensão elétrica envolvidos, bem como questões econômicas, as conexões são realizadas principalmente por meio das emendas e, mais recentemente, pelos conectores.

### 2.2 CONECTORES

Os conectores são dispositivos eletromecânicos que realizam a ligação elétrica entre dois condutores ou mais entre si e entre os condutores e equipamentos terminais, conduzindo a corrente elétrica e transmitindo ou não força mecânica (ABNT NBR 5474:1986).

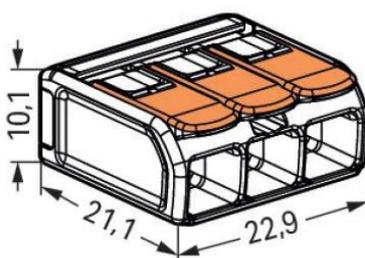
Cavalin e Cervelin (2010) classificam os conectores nas seguintes categorias: soldáveis, não soldáveis deformáveis e não soldáveis de pressão por parafuso,

terminais, de derivação, de emenda e conectores rápidos isolantes. A ABNT NBR 5474:1986, por sua vez, possui uma classificação mais abrangente, definindo 37 diferentes tipos de conectores. Entretanto, para este estudo, o mais relevante é conector de emenda, cuja função básica é interligar a extremidade de dois ou mais condutores de mesma seção transversal.

Desta forma, os conectores de emenda oferecem conexões para todos os tipos de fios e cabos, interligando e isolando diversas dimensões de condutores, garantindo segurança, versatilidade de utilização e economia de tempo. São geralmente compatíveis com condutores rígidos e flexíveis com seções nominais de 0,5 mm<sup>2</sup> até 6,0 mm<sup>2</sup> (CONECTORES... 2022).

Na Figura 1, é possível observar um conector de emenda com capacidade de conexão de até três condutores.

Figura 1 - Conector de emenda



Fonte: Wago (2022)

Na falta de normativas nacionais, os conectores, em geral, são submetidos a testes baseados em normas internacionais, a fim da obtenção de certificados de desempenho mecânico, elétrico, de material e ambiental. Os principais testes elétricos aplicáveis aos conectores são os seguintes: teste de aumento da temperatura, de acordo com as IEC/EN 60947-7-1, IEC/EN 60947-7-4 e IEC/EN 61984; capacidade de transporte da corrente, de acordo com a IEC/EN 60512-5-2; teste de queda de tensão, de acordo com as IEC/EN 60947-7-1 e IEC/EN 60999-1; teste de corrente de resistência de curta duração (capacidade de resistência a curto-circuito) de acordo com as IEC/EN 60947-7-1 e IEC/EN 60947-7-4; parâmetros de isolamento, de acordo com a IEC/EN 60664-1; teste de tensão de resistência da frequência de energia, de acordo com as IEC/EN 60998-1, IEC/EN 60947-7-1 e IEC/EN 60947-7-4; teste de tensão da resistência de impulso nominal, de acordo com a IEC/EN 60664-1 e IEC/EN 60947-7-1; classificações de IP para equipamentos elétricos de acordo com a IEC/EN

60529. Os principais testes mecânicos, por sua vez, são: capacidade de conexão de todos os condutores indicada no documento técnico; teste de extração dos condutores conectados, de acordo com a IEC/EN 60947-7-1, IEC/EN 60998-2-2 e IEC/EN 60999-1; teste de choque de acordo com a IEC/EN 60068-2-27 e 60068-2-30; teste de vibração, de acordo com a IEC/EN 60068-2-6 (NORMAS... 2022).

### 2.3 EMENDAS

A ABNT NBR 5474:1986 define a emenda como a ligação da extremidade de dois ou mais condutores e uma junção como a ligação da extremidade de um condutor a uma parte de outro condutor que não seja a extremidade.

Considerando as duas definições acima, as principais formas de interligar dois ou mais condutores entre si em uma instalação elétrica são: conexão de condutores entre si em prolongamento e conexão de condutores em derivação. A conexão em prolongamento é utilizada para unir dois condutores em linha aberta, por exemplo para alcançar o comprimento necessário para ligar a alimentação de uma carga distante do quadro principal. A emenda em prolongamento pode ser observada esquematicamente na Figura 2 (CAVALIN, CERVELIN, 2010).

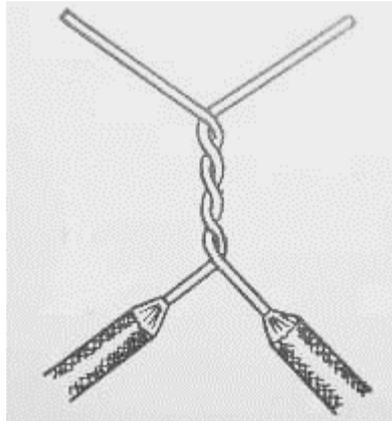
Figura 2 - Emenda em prolongamento



Fonte: Marcos (2017)

Outra possível aplicação dessa técnica é no interior de caixas de passagem, de modo a unir dois ou mais condutores, sendo, nesse caso, denominada mais comumente como emenda de caixa e possuindo método de construção diferenciado da anterior. A emenda de caixa pode ser observada esquematicamente na Figura 3 (CAVALIN, CERVELIN, 2010).

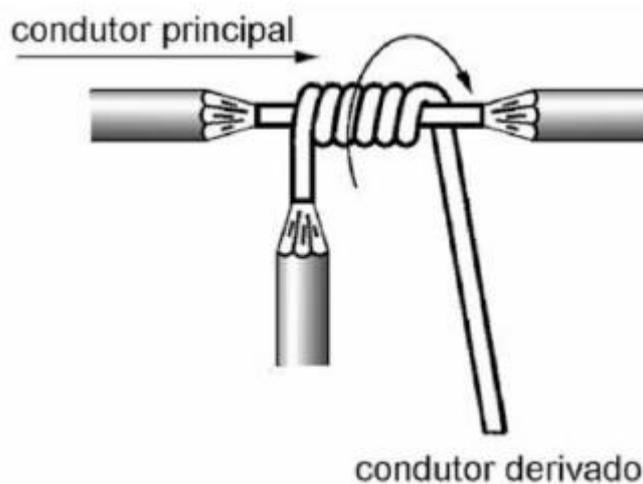
Figura 3 - Emenda de caixa



Fonte: adaptada de M., 2012

A conexão em derivação, por sua vez, é utilizada com o propósito de interligar a extremidade de um conector (ramal) a uma rede principal de alimentação, como por exemplo, várias luminárias acionadas pelo mesmo retorno de interruptor. A emenda em derivação pode ser observada esquematicamente na Figura 4 (CAVALIN, CERVELIN, 2010).

Figura 4 - Emenda em derivação



Fonte: Marcos (2017)

Indiferente do tipo de emenda ou junção empregada na instalação, devem ser observadas as seguintes condições: nas linhas elétricas embutidas em eletrodutos fechados, as emendas só podem ser efetuadas em locais de fácil acesso, como caixas de passagem e quadros de distribuição; todas as emendas devem ser devidamente isoladas, de modo a não energizar outras partes do circuito ou do ambiente ao seu

redor; as junções dos condutores entre si e com as terminações de equipamentos não podem ser submetidas a esforços de tração ou de torção; as emendas devem ser realizadas da forma que o contato elétrico não dependa da sua isolação; a temperatura atingida nas emendas em condições normais de operação não pode afetar a sua isolação e; elas devem suportar os esforços impostos pelas correntes em condições normais e em condições de sobrecarga ou curto-circuito (ABNT NBR 5410:2004).

Uma prática comum entre instaladores e eletricitistas em geral e descrita por Cavalin e Cervelin (2010) é a soldagem de emendas com liga de estanho e chumbo. Entretanto, cabe ressaltar que a NBR 5410:2004 proíbe a utilização de soldas nos terminais de condutores e em sua conexão com bornes ou outros dispositivos elétricos, além de recomendar a não utilização de soldas nas conexões de circuitos. Portanto, essa prática não será descrita e nem abordada nos itens a seguir deste trabalho.

## 2.4 TERMOGRAFIA

A temperatura de um objeto é proporcional, em nível microscópico, a energia cinética do movimento aleatório das moléculas que compõe seu material, enquanto o calor se trata de uma forma de energia. Ou seja, a definição de calor está associada a diferença de temperatura entre um corpo e o ambiente, sendo essa energia térmica então denominada de calor (BAUER, *et. al.*, 2013).

Dessa forma, a temperatura de um corpo está diretamente relacionada com a sua capacidade de transferir calor para o ambiente externo ou de recebê-lo, caso sua temperatura seja inferior ao do seu entorno. A medição da temperatura está diretamente presente no cotidiano das pessoas, por exemplo através das previsões do tempo ou da temperatura média do corpo humano, bem como em diversos tipos de processos industriais. A ideia básica de medição de temperatura conceitua que se dois objetos estão em equilíbrio térmico com um terceiro objeto, estarão em equilíbrio térmico entre si, sendo o terceiro objeto um termômetro. Portanto, para medir a temperatura de um corpo com um termômetro é necessário criar um contato térmico entre o equipamento e o sistema o qual se deseja conhecer a temperatura, de modo que o instrumento não afete consideravelmente a temperatura real do sistema (BAUER, *et. al.*, 2013).

Uma forma mais moderna de realizar medições de temperatura é a termografia, a qual utiliza a radiação infravermelha emitida pelos corpos para estimar a sua temperatura. Essa técnica, fundamenta-se no princípio físico de que qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) emite radiação térmica, incluindo comprimentos de onda classificados como infravermelho, os quais são captados por uma câmera termográfica que internamente calcula a temperatura do objeto alvo do estudo com base em um algoritmo derivado da Lei de Planck, de modo que, quanto maior a potência da radiação emitida pelo objeto, maior será a sua temperatura. Por fim, o equipamento forma uma imagem térmica que pode ser visualizada pelo operador (MUNIZ, MENDES, 2019).

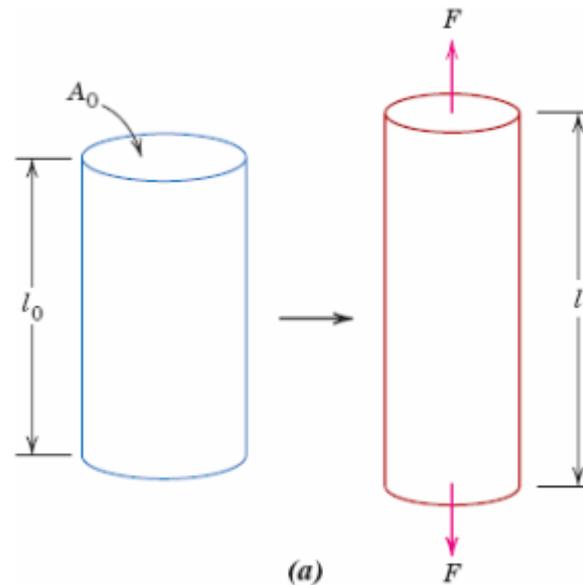
As principais vantagens da termografia se dão pelo fato de não interferir diretamente no sistema analisado, além de não necessitar de contato do operador com ele, possuindo assim, aplicação nas instalações elétricas, que podem ser visualizadas em tempo real e em pleno funcionamento, sem gerar riscos ao usuário e auxiliando a identificar sobreaquecimentos em qualquer parte do circuito.

## 2.5 ESFORÇOS MECÂNICOS

Muitos materiais em suas condições de serviço são submetidos a cargas ou forças, de modo que é necessário conhecer suas propriedades mecânicas antes de aplicá-lo a condições que podem causar a ele deformações indesejadas (CALLISTER, RETHWISCH, 2021).

Dessa forma, amostras de materiais de engenharia são comumente submetidos a uma série de testes para avaliar sua resistência mecânica e demais propriedades de interesse. Um dos testes mais básicos realizados consiste na aplicação de uma carga de tração nas extremidades de um corpo de prova, aumentando de forma gradual seu módulo, até que ele não suporte mais o esforço e o material seja fraturado, ou seja, ocorra o seu rompimento. Na Figura 5, é possível verificar esquematicamente um corpo de prova cilíndrico submetido a um esforço de tração “F” (CALLISTER, RETHWISCH, 2021).

Figura 5 - Corpo de prova submetido a tração "F"



Fonte: CALLISTER, RETHWISCH, 2021

A Figura 5 ilustra como uma carga de tração produz um alongamento e uma deformação linear positiva no material, isto é, ocorre diminuição na sua seção transversal inicial  $A_0$  e aumento no seu comprimento inicial  $l_0$ .

Esse tipo de teste gera como resultado principal a resistência do material em tração, informação útil tanto para emprego em projetos de engenharia que envolvam o material, bem como para controle de qualidade, uma vez que também é gerado o gráfico de tensão *versus* deformação do material em estudo e definido o seu ponto de ruptura, ou esforço máximo ao qual ele pode ser submetido (DOWLING, 2018).

## 2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA E INCERTEZAS DE MEDIÇÃO

Durante a medição e a posterior análise dos dados obtidos de um determinado estudo que envolva a medição de diversos corpos de prova, existem algumas preocupações relevantes: o correto tratamento e interpretação matemática dos resultados, a precisão dos equipamentos de medição e a propagação de erros de medida.

Inicialmente, considerando a tarefa de medir a resistência elétrica de todos os resistores fabricados por uma indústria em um mês, não é viável testar individualmente cada um desses componentes. Desta forma, a alternativa é realizar uma análise

estatística, isto é, definir um espaço amostral aleatório e a partir dos dados coletados, realizar conclusões sobre toda a população produzida. Para tanto, são utilizados diversos conceitos matemáticos, como o das medidas de dispersão e de posição, sendo duas das mais importantes, a média e o desvio padrão, respectivamente (BALBINOT, BRUSAMARELLO, 2019).

Ainda nesse contexto, ao realizar medições experimentais da maioria dos fenômenos físicos, da natureza e de processos industriais, a curva que, geralmente, melhor aproxima o comportamento dos dados é a distribuição normal. Também chamada de distribuição de Gauss, ela se trata de uma distribuição de probabilidades que é expressa por uma curva em formato de sino com simetria em relação à média (centro). O gráfico que expressa a distribuição normal possui sua escala horizontal formada por valores chamados de escore  $z$  (BALBINOT, BRUSAMARELLO, 2019).

O escore  $z$  é calculado conforme a equação (1).

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Onde:

$z$  é o escore  $z$ ;

$x$  é o valor da variável;

$\mu$  é a média;

$\sigma$  é o desvio padrão.

Em resumo, o escore  $z$  representa a quantidade de desvios padrão em que um valor se encontra da média. Para uma distribuição normal, a regra empírica é que 95% dos dados estão a no máximo dois desvios padrão da média, para mais e para menos, isto é, escore  $z$  entre -2 e 2, enquanto um escore  $z$  acima de 3 e abaixo de -3 é um resultado muito incomum (LARSON, FARBER, 2016).

Além do correto tratamento estatístico amostral dos dados, outro ponto importante de atenção está relacionado com a incerteza de medição, a qual está associada aos equipamentos de medição utilizados. O resultado de uma medição corresponde ao valor lido no instrumento acrescido de um indicador de indeterminação, o qual depende da precisão do aparelho de medição utilizado. Para a avaliação do erro de medição de mais de um equipamento de medida, o método de Kleine e McClintock foi desenvolvido, uma vez que certas grandezas são mensuradas de maneira indireta, isto é, através da medição de mais de uma variável e cálculo da variável de interesse (ALBERTAZI, SOUSA, 2017).

O método de Kleine e McClintock é expresso conforme a equação (2):

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial Z}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2} \quad (2)$$

Onde:

$x_i$  é o valor de cada variável que compõe a medição da variável  $Z$ ;

$\Delta x_i$  é a incerteza de medição de cada instrumento correspondente;

$\Delta Z$  é o erro em função das variáveis independentes.

Ou seja, esse método estima o erro total da medida obtida em função do erro individual de cada equipamento utilizado na leitura de todas as variáveis que compõe a medição realizada.

## 2.7 TRABALHOS CORRELATOS

Este item apresenta o estado da arte, ou seja, trabalhos desenvolvidos por outros autores com propostas semelhantes, de modo que sua metodologia e seus resultados possam ser comparados ou utilizados neste trabalho.

Todavia, não foram encontrados estudos com propostas semelhantes, uma vez que as conexões nas instalações elétricas de baixa tensão não são comumente abrangidas nas normas técnicas brasileiras e nos estudos acadêmicos em geral. Sendo assim, no Quadro 1, encontram-se relacionados os locais e palavras-chave utilizados na pesquisa, sem sucesso, por trabalhos correlatos.

Quadro 1 - Locais de pesquisa

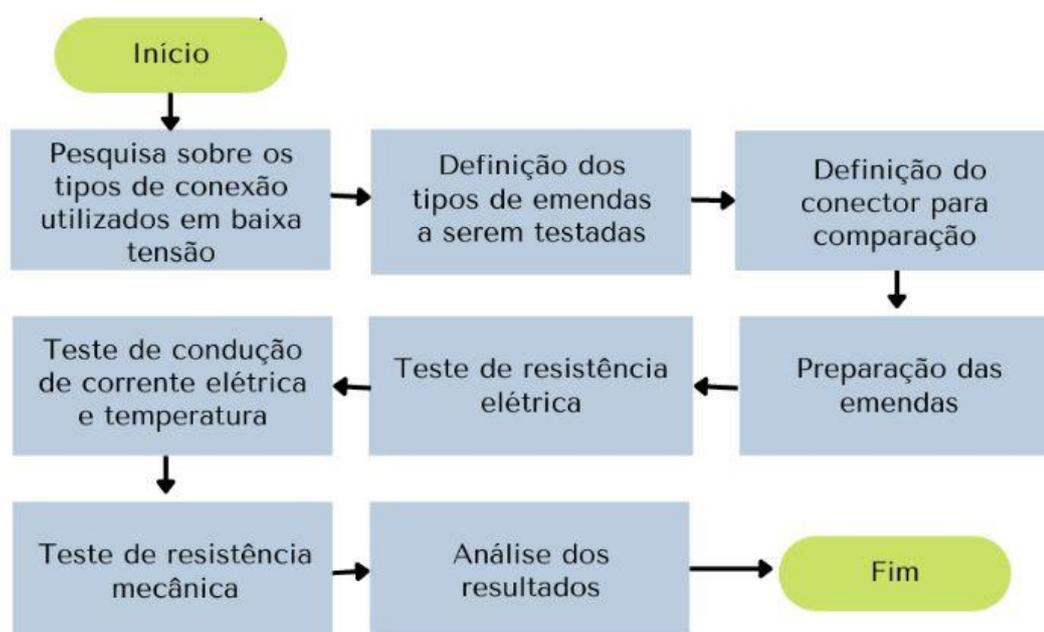
Local de pesquisa	Palavras-chave
CAPES	Emenda; Conexões; Emendas em instalações elétricas; Junções elétricas.
ELSEVIER	Eletric joint; Electrical connection; Electrical splicing.
IEEE	Eletric joint; Electrical connection; Electrical splicing.
SciELO	Emenda; Conexões; Emendas em instalações elétricas; Junções elétricas.
Springer	Eletric joint; Electrical connection; Electrical splicing
UNISINOS	Emenda; Conexões; Emendas em instalações elétricas; Junções elétricas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

### 3 METODOLOGIA

Esta seção aborda a descrição completa de todos os procedimentos realizados para o estudo proposto no trabalho. A metodologia aplicada está dividida em etapas, sendo elas: pesquisa sobre os tipos de conexão, definição das emendas utilizadas, definição do conector para comparação, preparação das emendas, aplicação dos testes e análise estatística dos resultados obtidos. As etapas do trabalho, estão sintetizadas no diagrama de implementação da Figura 6.

Figura 6 - Diagrama de implementação das etapas da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ademais, as etapas indicadas na Figura 6 encontram-se descritas detalhadamente nos itens a seguir.

#### 3.1 PESQUISA SOBRE OS TIPOS DE CONEXÃO ELÉTRICA

Inicialmente, foi aplicado um questionário online em profissionais atuantes em instalações elétricas prediais e realizadas visitas a obras em andamento e concluídas

para determinar as principais formas de emenda empregadas pelos instaladores em atividade no setor predial.

O questionário desenvolvido pretende conhecer o perfil do profissional que respondeu a pesquisa, isto é, sua formação profissional, tempo de experiência e região de atuação, qual método de conexão utiliza com mais frequência e principalmente, quais emendas fazem parte do seu conhecimento técnico. As opções disponíveis para resposta são as emendas previstas no livro de Cavalin e Cervelin (2010), acrescidas de uma opção denominada como “outra” caso o profissional não utilize nenhuma dessas técnicas. As perguntas elaboradas estão disponíveis no Apêndice A.

### 3.2 DEFINIÇÃO DAS EMENDAS

A NBR 5410:2004 define na tabela 47 – seção mínima dos condutores, que em circuitos de iluminação não devem ser utilizados cabos de cobre com seção nominal inferior a 1,5 mm<sup>2</sup> e em circuitos de força, ou seja, tomadas de uso geral, condutores de cobre com seção nominal inferior a 2,5 mm<sup>2</sup>. Devido ao fato desses dois tipos de circuito serem os mais propensos a necessidade de conexões entre os condutores, os testes aplicados foram limitados a essas duas seções nominais. Além disso, existe uma tendência nacional nas instalações elétricas prediais novas ou em reformas, de utilizar apenas condutores flexíveis, com classe de encordoamento 4 ou 5, de modo que os testes se limitaram ao uso desse tipo de cabo. Além disso, os cabos utilizados atendem a ABNT NBR NM 247-3 Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450 V / 750 V, com temperatura de 70 °C em regime permanente, tratando-se do tipo de condutor indicado para instalações elétricas prediais de baixa tensão.

Finalmente, as emendas utilizadas para fins de teste foram, igualmente ao questionário, aquelas previstas no livro de Cavalin e Cervelin (2010), sendo elas: em prolongamento (linha aberta e de caixa) e em derivação.

### 3.3 DEFINIÇÃO DO CONECTOR

Para a comparação dos resultados e utilização nos testes das emendas, foi escolhido o conector de emenda da marca Wago, precisamente da linha 221. Esses

conectores possuem baixo custo, atuam para tensões de até 450 V, suportam cabos flexíveis de até 4 mm<sup>2</sup>, corrente elétrica máxima de 20 A para cabos de cobre, e operam com temperaturas de até 105 °C. Além disso, não necessitam de ferramentas para sua aplicação e atendem a todas as normas internacionais pertinentes ao seu segmento. Essa linha, permite a conexão de até seis condutores, mas para os fins do estudo proposto, o tipo 221-412, que interliga até dois condutores foi utilizada. A Figura 7 é uma imagem ilustrativa do conector em questão.

Figura 7 - Conector Wago 221-412



Fonte: Wago (2022)

O conector da Figura 7, para ser utilizado, basta desencapar os condutores a serem interligados em 9 mm a 10 mm, abrir a alavanca laranja até a posição vertical, inserir o condutor no orifício e fechar a alavanca novamente para a posição horizontal, repetindo o processo para ambos os cabos a serem emendados. Dessa forma, a conexão está realizada e, em teoria, obedece aos parâmetros exigidos para obtenção da certificação internacional do componente.

### 3.4 PREPARAÇÃO DAS EMENDAS

A elaboração das emendas em prolongamento, de caixa e derivação seguiu uma metodologia baseada no livro de Cavalin e Cervelin (2010), Instalações Elétricas Prediais. Sendo assim, foram preparadas e identificadas com anilhas plásticas

amarelas com os dígitos de 0 a 9, dez emendas de cada um dos três tipos, para possibilitar a análise estatística dos resultados obtidos nos testes.

Para a elaboração das emendas, a Tabela 1 é utilizada.

Tabela 1 - Diâmetro nominal de condutores flexíveis

Sessão nominal (mm <sup>2</sup> )	Diâmetro nominal do condutor flexível -d- (mm)	10d (mm)	12d (mm)	20d (mm)	50d (mm)
1,5	1,50	15,0	18,0	30,0	75,5
2,5	1,95	19,5	23,4	39,0	97,5

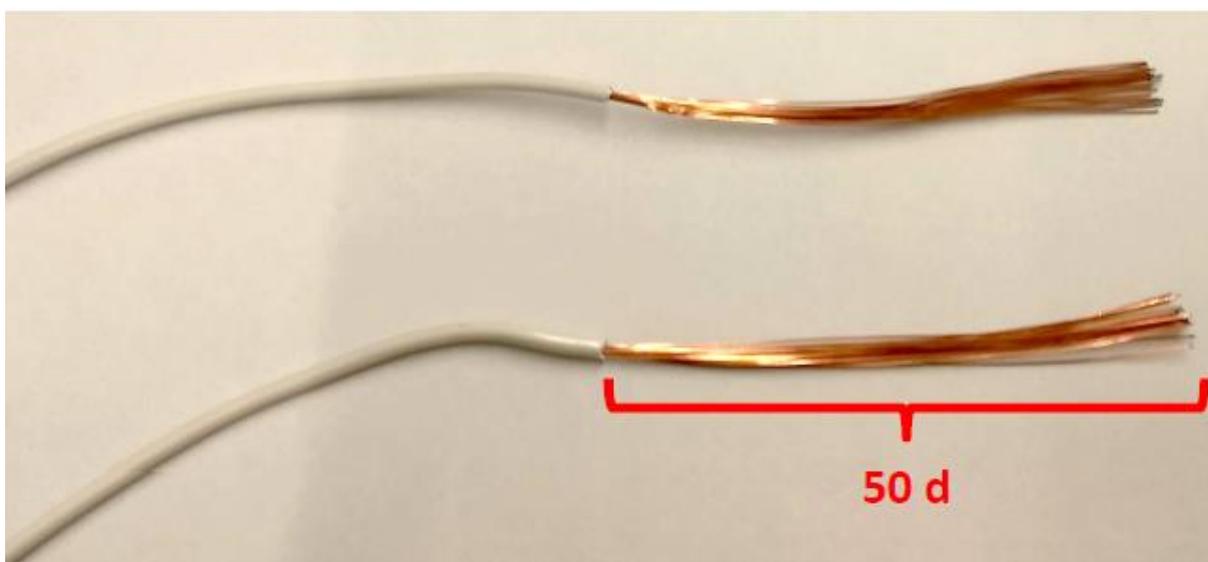
Fonte: Adaptado de Cavalin e Cervelin (2010)

A Tabela 1, indica a quantidade, em milímetros, que deve ser desencapada para cada seção de condutor, em função do seu diâmetro nominal para a realização das emendas.

### 3.4.1 Emenda em Prolongamento

Primeiramente, deve-se remover a isolação dos dois condutores a serem interligados em aproximadamente 50 vezes o diâmetro do condutor, conforme a Figura 8.

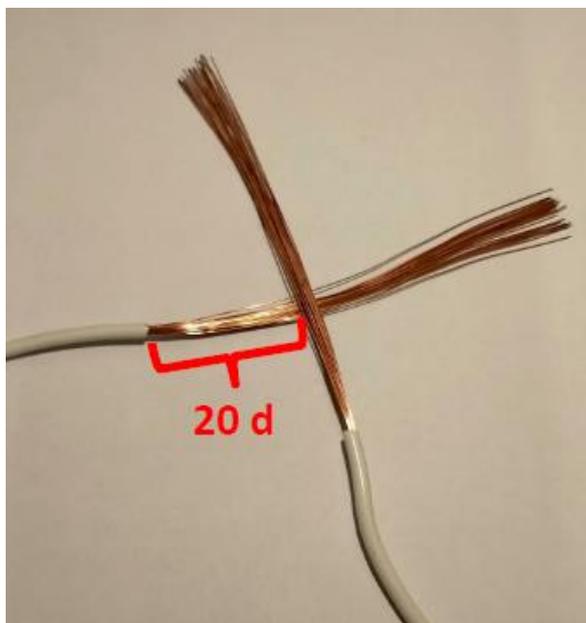
Figura 8 - Remoção da isolação para emenda em prolongamento



Fonte: Keller (2019)

Em seguida, deve-se cruzar as pontas dos cabos em um ângulo entre  $90^\circ$  e  $120^\circ$ , em uma distância de aproximadamente 20 vezes o diâmetro do condutor, conforme a Figura 9.

Figura 9 - Cruzamento dos condutores para emenda em prolongamento



Fonte: Keller (2019)

O próximo passo é realizar o enrolamento dos cabos, inicialmente do condutor 1 no sentido anti-horário, chegando ao resultado conforme a Figura 10.

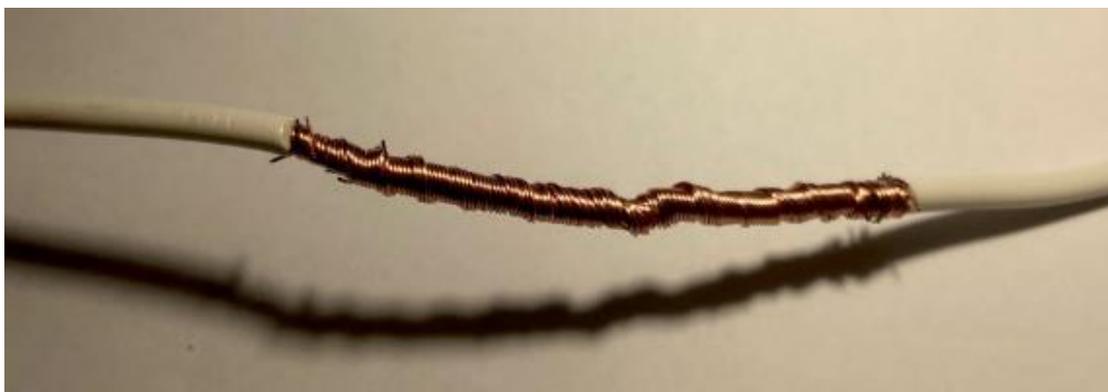
Figura 10 - Emenda em prolongamento, torção de um condutor



Fonte: Keller (2019)

O último passo consiste em realizar a torção do condutor 2 para o outro lado, em sentido horário. Finalizar a emenda utilizando um alicate para o aperto final, obtendo o resultado conforme a Figura 11.

Figura 11 - Emenda em prolongamento finalizada



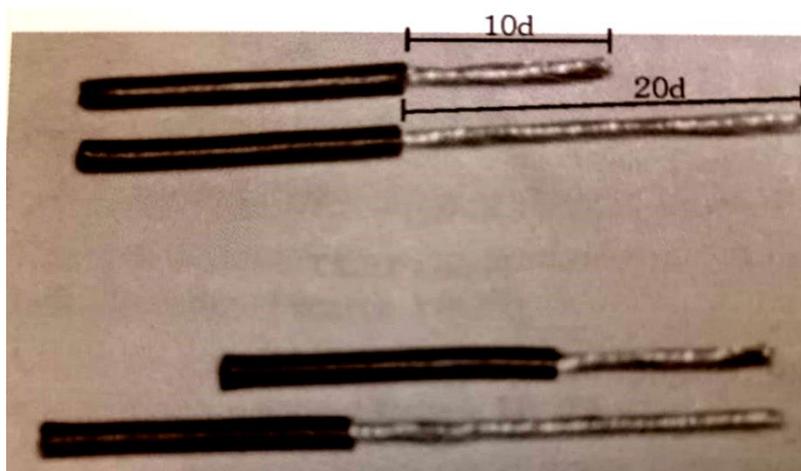
Fonte: Keller (2019)

Em se tratando de uma emenda para utilização em instalação elétrica, ela dever ser isolada com fita isolante. Entretanto, para que a isolação não afete os resultados dos testes, as emendas não foram isoladas.

### 3.4.2 Emenda de Caixa

Primeiramente, deve-se remover a isolação de um dos condutores em 20 vezes o seu diâmetro e do outro condutor em 10 vezes o seu diâmetro, conforme a Figura 12.

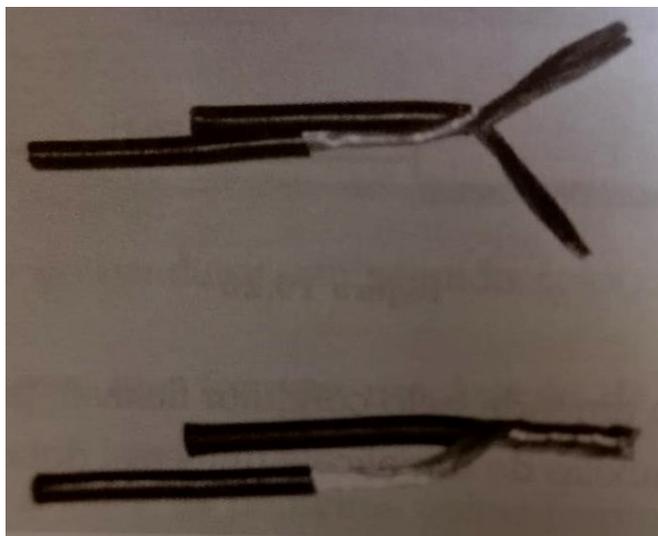
Figura 12 - Remoção da isolação para emenda de caixa



Fonte: Adaptado de Cavalin e Cervelin (2010)

Em seguida, deve-se cruzar os condutores em 10 vezes o diâmetro do condutor com a maior isolação removida, conforme a Figura 13.

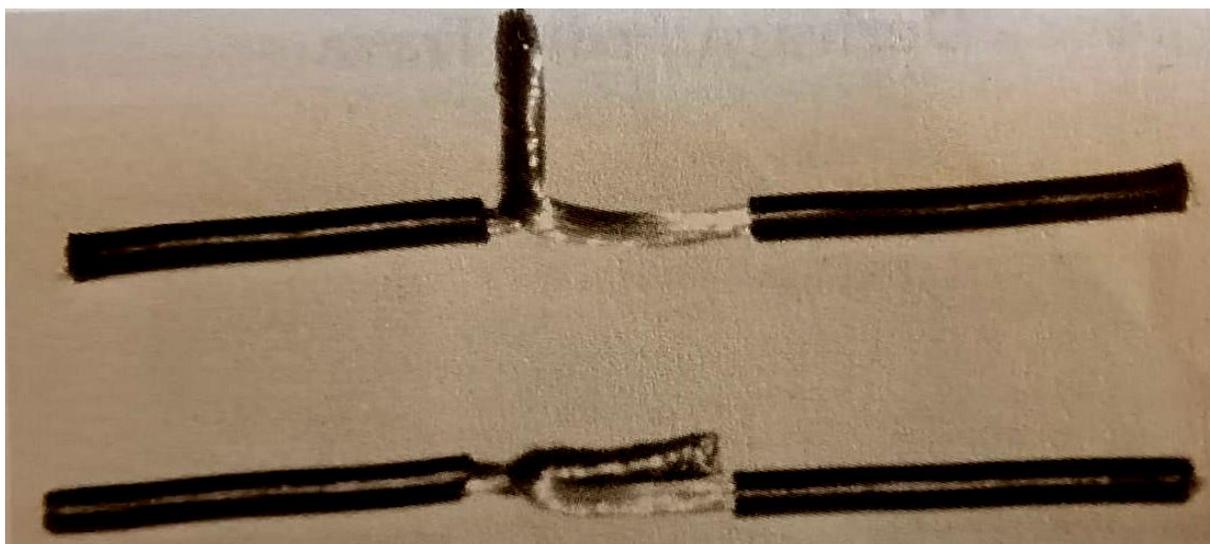
Figura 13 - Cruzamento dos condutores para emenda de caixa



Fonte: Adaptado de Cavalin e Cervelin (2010)

O próximo passo é realizar a torção de ambos os condutores simultaneamente, e empurrando a parte de cima da emenda em direção aos condutores emendados, atingindo o resultado conforme a Figura 14.

Figura 14 - Emenda de caixa finalizada

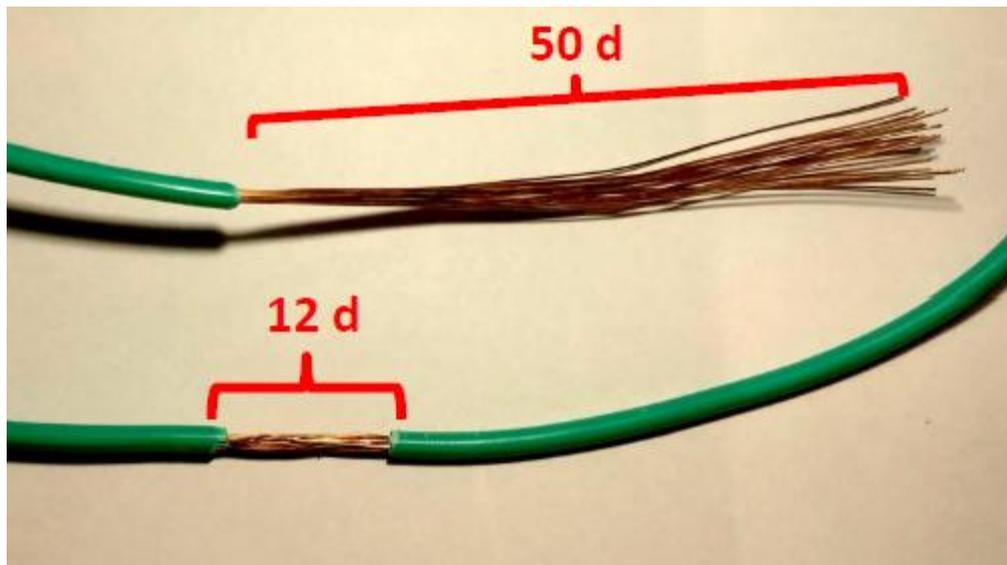


Fonte: Adaptado de Cavalin e Cervelin (2010)

### 3.4.3 Emenda em Derivação

Primeiramente deve-se remover a isolação do condutor principal em 12 vezes o seu diâmetro e do condutor derivado em 50 vezes, conforme a Figura 15.

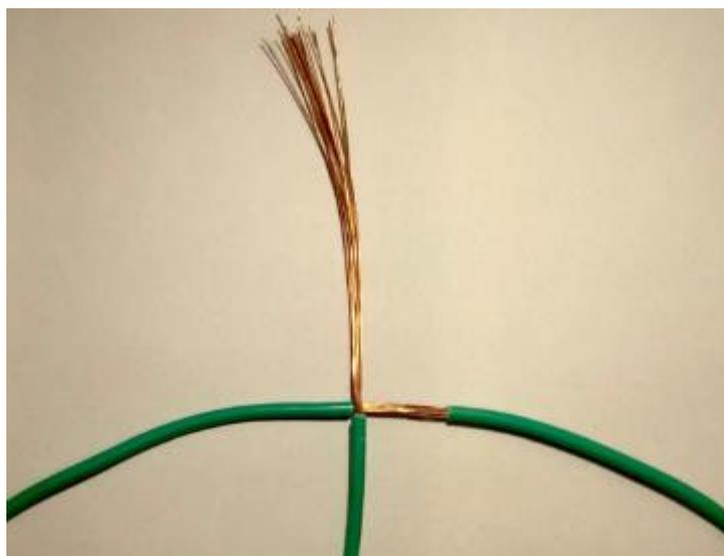
Figura 15 - Remoção da isolação para emenda em derivação



Fonte: Keller (2019)

Em seguida, deve-se realizar o cruzamento dos condutores em aproximadamente 90°, conforme a Figura 16.

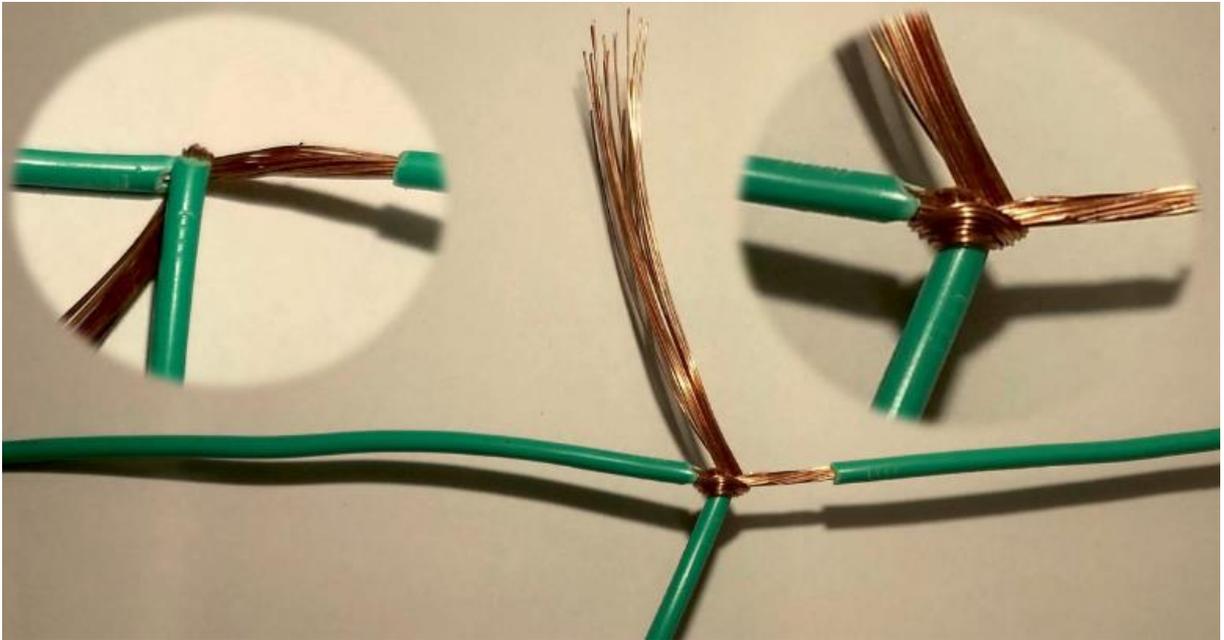
Figura 16 - Cruzamento dos condutores para emenda em derivação



Fonte: Keller (2019)

O próximo passo é realizar é enrolar o condutor derivado para formar uma espécie de trava, conforme a Figura 17.

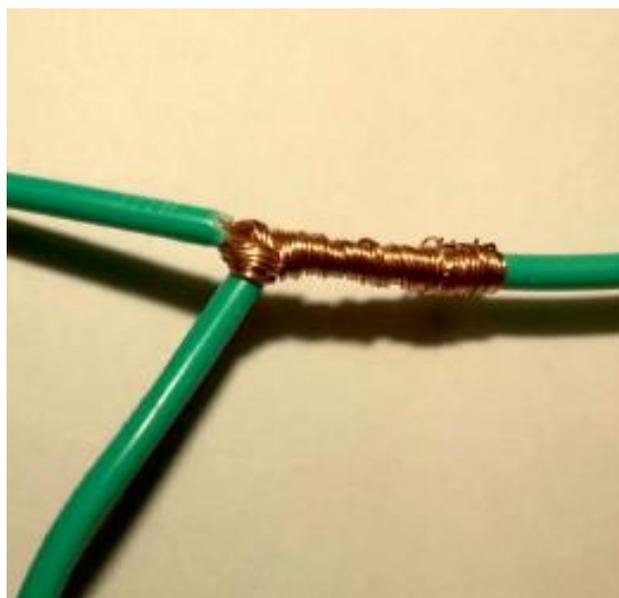
Figura 17 - Emenda em derivação, realização da trava



Fonte: Keller (2019)

O último passo consiste em enrolar o condutor derivado sobre o condutor principal, alcançando o resultado conforme a Figura 18.

Figura 18 - Emenda em derivação finalizada



Fonte: Keller (2019)

Da mesma forma como nas emendas anteriores, a emenda em derivação não foi isolada para a realização dos testes.

### 3.5 TESTES

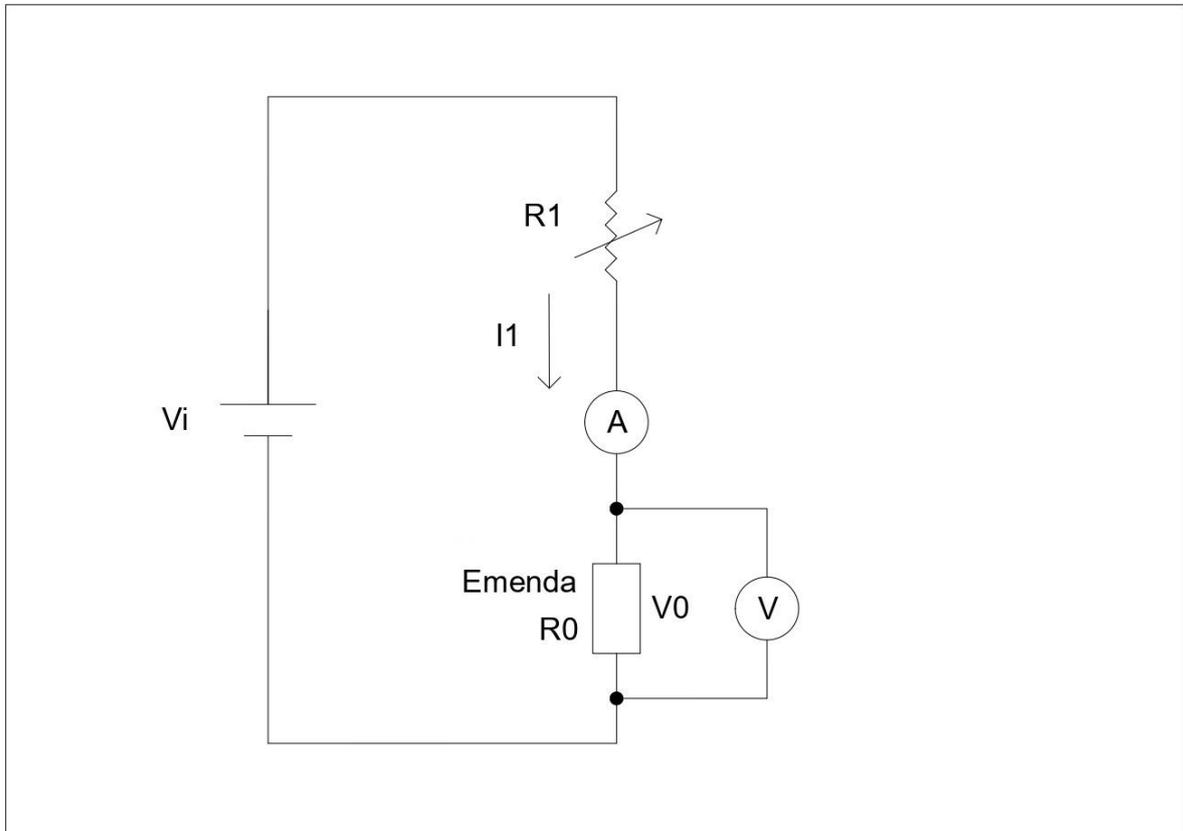
Foram aplicados três diferentes testes práticos nas emendas, a fim de explorar seu comportamento elétrico/mecânico e posteriormente comparar qualitativamente os resultados obtidos. A proposta consistiu em determinar as seguintes variáveis de interesse: resistência elétrica, resistência mecânica a tração, queda de tensão em condições nominais de operação, capacidade de condução de corrente elétrica e temperatura nominal de operação. Os testes realizados estão descritos nas subseções 3.5.1, 3.5.2 e 3.5.3.

#### **3.5.1 Resistência Elétrica em Corrente Contínua**

Este teste visa estimar a resistência elétrica total que existe em uma emenda. A resistência elétrica está diretamente relacionada com a energia desperdiçada em uma conexão, em função de aquecimento (efeito Joule) e é a responsável pelo aparecimento de uma queda de tensão. Portanto, é um dos parâmetros mais importantes a ser determinado e que de fato, indica se a conexão é eletricamente boa ou ruim, afinal um ponto de mal contato consiste em um ponto com resistência elétrica elevada.

O teste de resistência elétrica, foi realizado inicialmente em corrente contínua, sendo utilizada uma fonte de tensão em corrente contínua de 5 V, denominada  $V_i$  e um resistor de potência de 10 W, chamado de  $R_1$ , cuja função principal é limitar uma corrente elétrica,  $I_1$ , a um valor próximo a 2 A sobre a emenda. Com um voltímetro, foi medida a tensão sobre a emenda, enquanto a corrente foi monitorada com um amperímetro de corrente contínua. O valor da corrente foi definido de modo a se utilizar uma corrente de valor muito abaixo da nominal dos cabos, a qual não provocaria aumento de temperatura no condutor, que por sua vez poderia prejudicar o valor de resistência obtido e não baixo de modo que a tensão lida seja muito pequena, acarretando problemas de leitura e precisão de medida. A Figura 19 indica o esquemático do circuito utilizado nesse teste.

Figura 19 - Diagrama esquemático circuito elétrico teste de resistência elétrica



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Para os cálculos dos parâmetros do circuito, a corrente  $I_1$  pode ser aproximada com a utilização da Lei de Ohm, uma vez que a resistência  $R_0$  da emenda é muito pequena.

O valor de  $I_1$ , foi monitorado pelo amperímetro “A”. Para a determinação do valor da resistência elétrica da emenda e do conector, denominada de  $R_0$ , também foi utilizada a Lei de Ohm, de modo que foram utilizadas as leituras do amperímetro “A” e do voltímetro “V”, conforme a equação (3).

$$R_0 = \frac{V_0}{I_1} \quad (3)$$

Onde:

$R_0$  é a resistência elétrica da emenda ou conector;

$V_0$  é a tensão elétrica em Volt lida pelo voltímetro “V”;

$I_1$  é a corrente elétrica em Ampère lida pelo amperímetro “A”.

Os valores das resistências obtidas foram anotados e tabelados, de modo que cada amostra de cada tipo de emenda possui seu valor de resistência atrelado para a posterior análise.

### 3.5.2 Operação em Corrente Alternada em Condições Nominais

Este teste visa simular as condições nominais de operação de um circuito elétrico predial. A capacidade de condução de corrente elétrica dos condutores é definida pela NBR 5410:2004, sendo que, para fios de cobre com seção nominal de 1,5 mm<sup>2</sup> e 2,5 mm<sup>2</sup>, considerando dois condutores carregados (circuito monofásico) e método de instalação B1, conforme tabela 33 — Tipos de linhas elétricas, “Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria”, a capacidade de condução consta na Tabela 2.

Tabela 2 - Capacidade de condução de corrente elétrica

<b>Sessão nominal (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Corrente elétrica (A)</b>
1,5	17,5
2,5	24,0

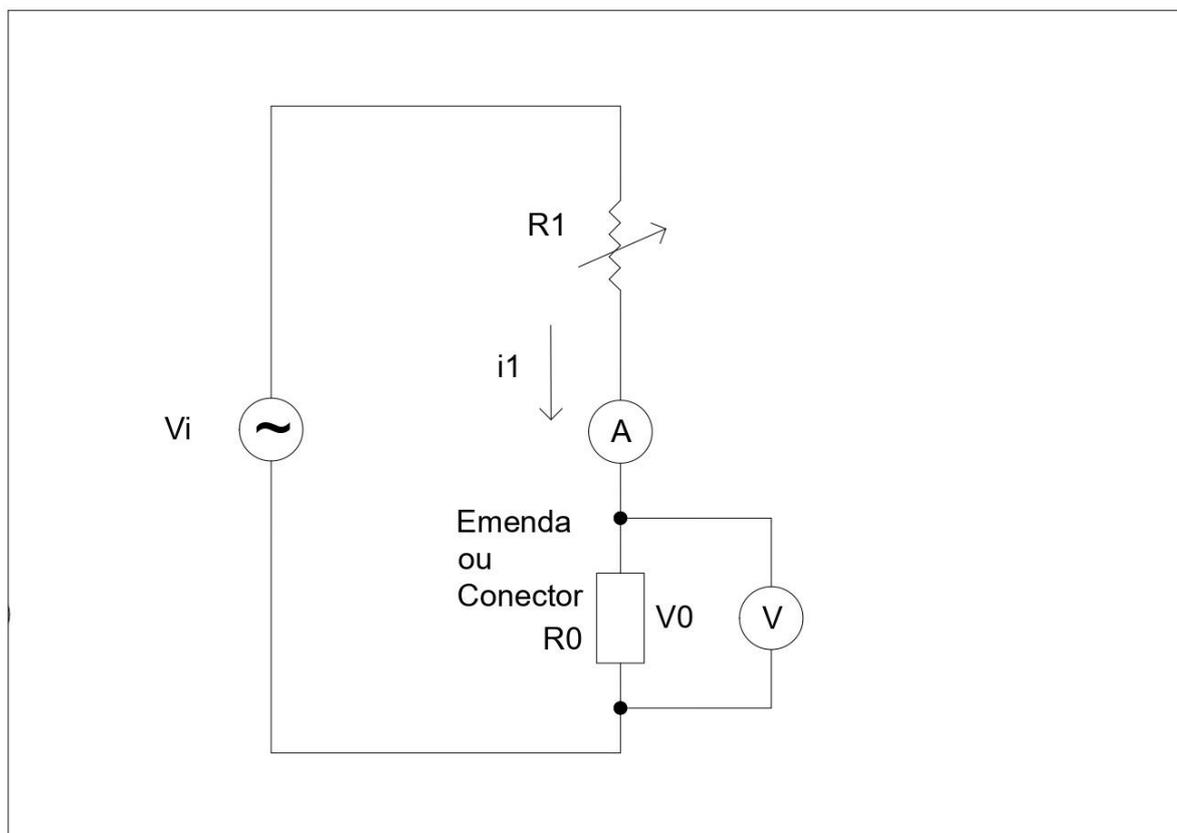
Fonte: Adaptado de NBR 5410 (2004, p. 109)

Deste modo, para as emendas compostas por condutores de 1,5 mm<sup>2</sup>, foi aplicada e mantida uma corrente alternada próxima a 10 A em um intervalo de tempo de 5 minutos, simulando um circuito com uma carga fixa, por exemplo, de iluminação. Nesse período, foi monitorado com o uso de uma câmera térmica a temperatura no início do experimento e a cada 30 segundos, de modo que deveriam ser obtidos 11 pontos de medição de temperatura para cada emenda.

Esse mesmo procedimento é repetido para as emendas construídas com os condutores de 2,5 mm<sup>2</sup>, entretanto, foi utilizada uma corrente alternada próxima aos 20 A, adequada para a capacidade de condução desse tipo de condutor.

Para a realização desse teste, foi utilizada uma fonte de tensão alternada e uma carga resistiva variável para atingir as correntes anteriormente definidas. Um amperímetro é posicionado em série para monitorar a corrente do circuito e um voltímetro localizado sobre a emenda para medir a queda de tensão que ocorre sobre ela. O circuito de aplicação desse teste pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 - Diagrama esquemático do circuito teste em corrente alternada



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Portanto, os dados obtidos desse teste são a corrente elétrica  $I_1$  suportada pela conexão e lida pelo amperímetro, a queda de tensão elétrica  $V_0$  lida pelo voltmímetro, que aparece em seus terminais, e as leituras de temperatura nos tempos determinados. Todas essas informações foram tabeladas e atreladas a emenda em questão, com o mesmo intuito de possibilitar a análise estatística.

### 3.5.3 Resistência Mecânica

O último teste aplicado visou estimar a resistência mecânica de uma emenda, consistindo na aplicação de um esforço de tração sobre a emenda, para verificar com qual força ocorre o rompimento da conexão. Esse teste objetiva simular a condição em que a conexão está sujeita a algum tipo de força de tração em sua extremidade, isto é, quando pode ser puxada com o uso das mãos, por exemplo, durante a passagem inicial do circuito nos eletrodutos ou em alguma manutenção/ampliação de uma instalação elétrica existente.

Para a realização desse teste, foi utilizado o apoio do Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil (ITT Performance), localizado nas dependências da Unisinos. Neste local, no Laboratório de Resistência Mecânica, existe uma máquina adequada para a realização de ensaios de tração em corpos de prova, geralmente constituídos de amostras de materiais utilizados na construção civil, como vergalhões de aço e tijolos.

O equipamento utilizado é a máquina EMIC 23-100, da marca Instron. Essa máquina permite ao usuário aplicar esforços de compressão de até 2000 kN nas amostras, além da possibilidade de realizar ensaios de tração e flexão. Ela conta com controle via software eletrônico próprio, estando adequada as normas nacionais pertinentes ao setor e sendo capaz de fornecer resultados precisos, por ser utilizada para teste de corpos de prova comerciais. O equipamento de teste pode ser observado na Fotografia 1.

Fotografia 1 - Máquina para teste de tração



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Para que seja possível realizar o teste, a única adaptação necessária ocorreu quanto a fixação das emendas junto as “garras” do equipamento. Para esse teste, foram selecionadas três emendas de cada tipo e os resultados tabelados, bem como extraído da máquina um gráfico relacionando o esforço aplicado ao longo do tempo

em função do deslocamento das amostras. Esse teste foi aplicado também em um conector, para verificar com qual esforço ocorre o desprendimento do condutor.

### 3.6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados obtidos nas medições realizadas nos testes sofreram tratamento estatístico. Inicialmente, foi calculado o erro de medição e variáveis de medidas de posição e de dispersão, sendo elas a média, desvio padrão e escore  $z$ , a fim de validar a confiabilidade dos valores medidos, nos quais houve quantidade suficiente de amostras para possibilitar esse tipo de análise, comparando-os, com a distribuição normal de probabilidades. Sendo assim, as medições com escore  $z$  entre -2 e 2 são consideradas normais, com mais de 95% dos dados coletados atendendo a este critério (atendendo a regra empírica).

Para a resistência elétrica das emendas, tanto em corrente contínua quanto alternada, valores médios de resistência com grandeza na ordem de  $m\Omega$  são consideradas adequadas, bem como quedas de tensão inferiores a 1 V. Quanto a temperatura de operação, valores iguais ou inferiores a temperatura ambiente, ou ainda, inferiores a temperatura máxima suportada pela isolação em PVC (70 °C) dos cabos condutores, são considerados satisfatórios.

Por fim, para a resistência mecânica, sendo a emenda em teste capaz de suportar um esforço maior do que os próprios fios que constituem o condutor flexível resistem, o resultado é considerado bom. Isto é, quando a emenda não rompeu após o condutor utilizado na sua constituição sofrer avarias visíveis em sua forma, então o valor máximo de tração suportado pela emenda é considerado um resultado adequado, e, quando a emenda rompe antes do condutor ser danificado, o máximo valor de tração suportado é considerado insuficiente.

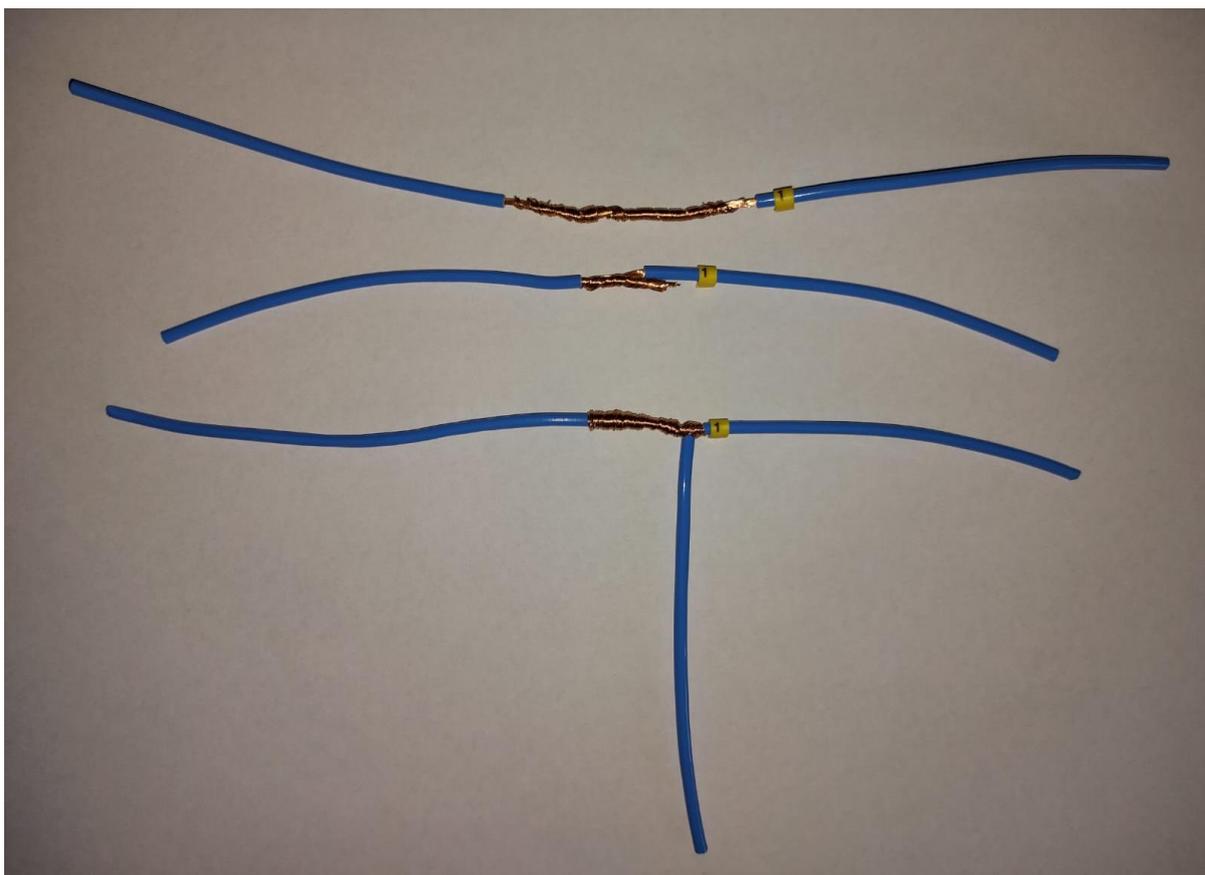
## 4 ESTUDO DE CASO

Esta seção aborda a aplicação da metodologia do trabalho, isto é, a elaboração das emendas, os testes realizados e os dados extraídos dos ensaios.

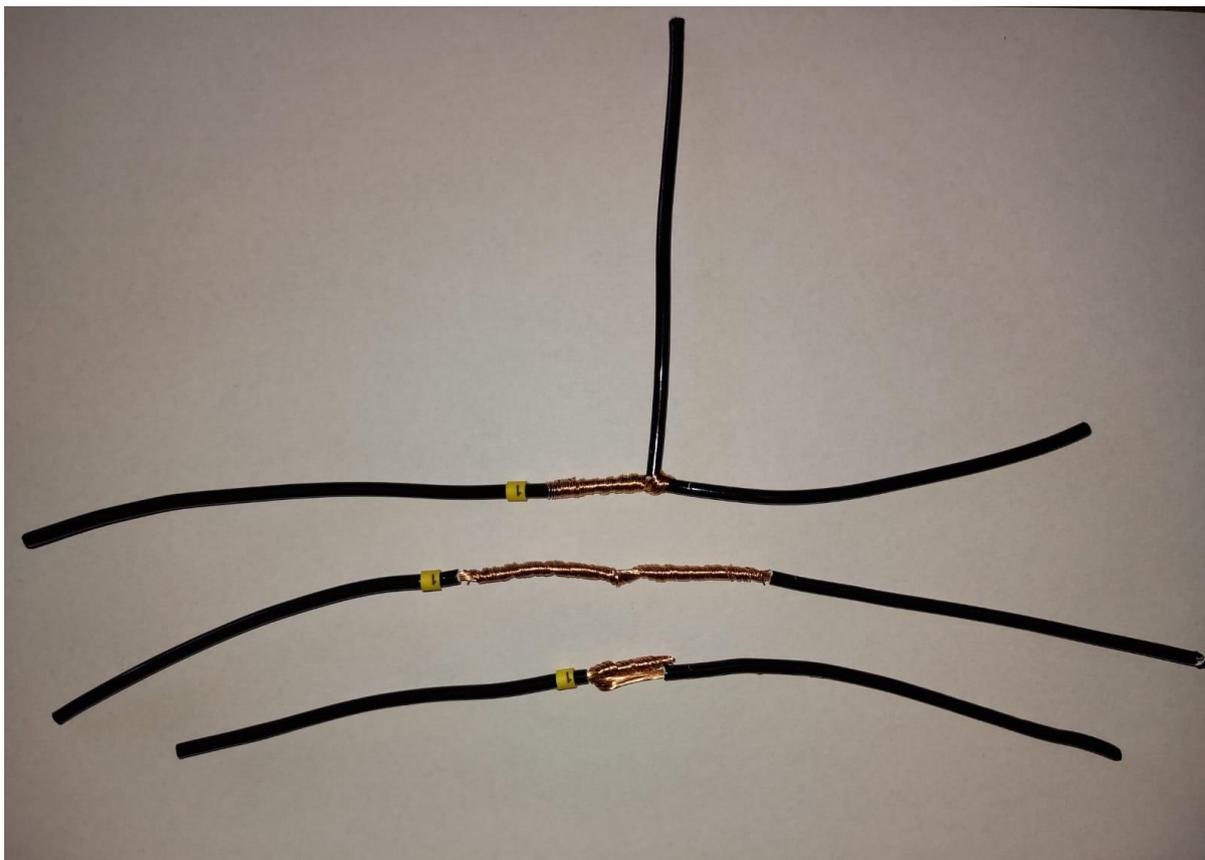
### 4.1 CONSTRUÇÃO DAS EMENDAS

As emendas foram elaboradas conforme a metodologia apresentada no item 3.4 “Preparação das Emendas”, sendo construídas dez amostras de cada tipo de emenda: emenda em prolongamento, de caixa e em derivação para as seções de 1,5 mm<sup>2</sup> e 2,5 mm<sup>2</sup>. As amostras foram identificadas com anilhas numeradas de 0 a 9 para cada um dos tipos, conforme previsto. Uma amostra de cada tipo pode ser observada na Fotografia 2 e na Fotografia 3, a seguir.

Fotografia 2 - Emendas com cabos de 1,5 mm<sup>2</sup>



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Fotografia 3 - Emendas com cabos de 2,5 mm<sup>2</sup>

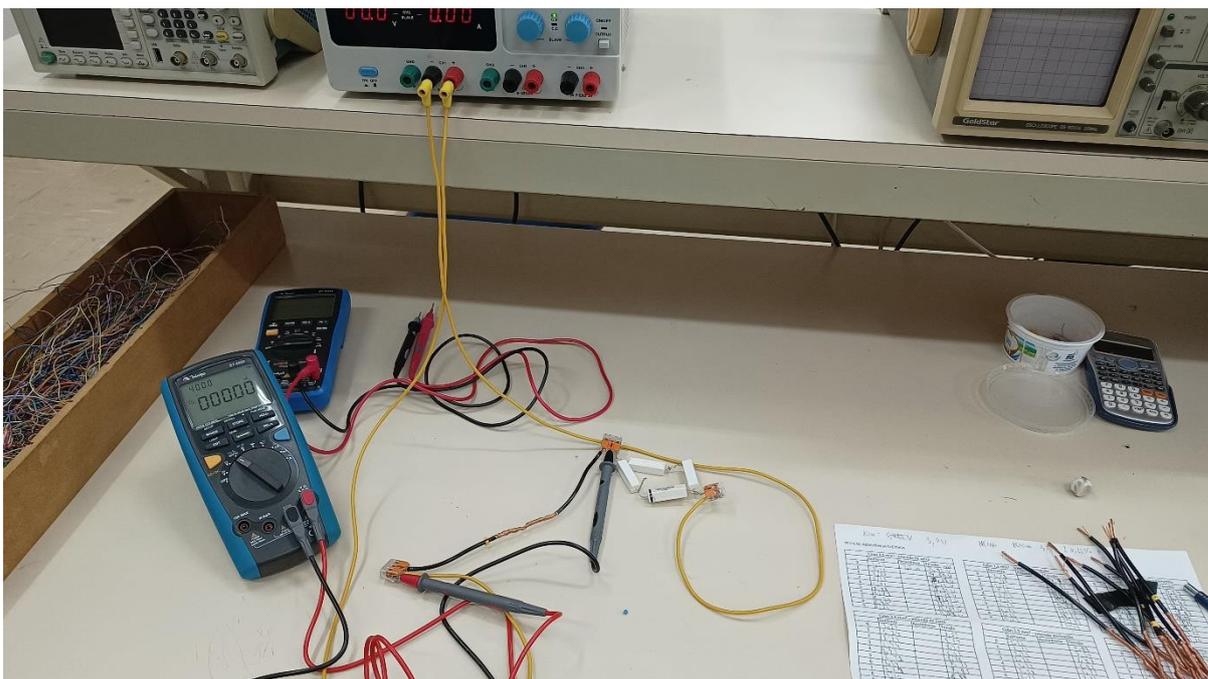
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Com todas as emendas elaboradas, a próxima etapa é a fase de testes, conforme itens a seguir.

#### 4.2 RESISTÊNCIA ELÉTRICA EM CORRENTE CONTÍNUA

O primeiro teste realizado foi o de resistência elétrica, no qual, o objetivo foi determinar a resistência elétrica em corrente contínua das emendas. Para tanto, o circuito apresentado na Figura 19 foi montado, conforme a Fotografia 4.

Fotografia 4 - Montagem do teste de resistência elétrica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Para a montagem do circuito de teste, foi utilizada uma fonte de alimentação Minipa digital modelo MPL-3305M, disponível nos laboratórios da universidade, com a saída de tensão contínua fixa em 5 V, quatro resistores com resistência nominal de  $2,2 \Omega$  cada e potência máxima de 10 W, ligados dois em série e dois em paralelo, de modo que a resistência total do conjunto permanecesse em aproximadamente  $2,2 \Omega$ . Um voltímetro para medir a queda de tensão foi colocado sobre a emenda, que por sua vez foi ligada a fonte e a carga através de cabos com uma extremidade de “pino banana” e a outra com cabo desencapado (diretamente no cobre). O conector Wago com capacidade de interligação de três fios foi utilizado para a conexão dos três elementos, ou seja, a extremidade da emenda com os cabos de alimentação, a carga e o voltímetro.

Foram realizadas medidas de valores instantâneos de corrente através do visor da fonte de alimentação, pois se trata de um circuito em série, e de tensão sobre os terminais da emenda com a utilização do multímetro Minipa ET-2550, para as dez emendas em prolongamento, em derivação e de caixa elaboradas para as seções de  $1,5 \text{ mm}^2$  e  $2,5 \text{ mm}^2$ , portanto totalizando, 60 medições que foram registradas na Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 3 - Emenda de caixa

Amostra	Seção 1,5 mm <sup>2</sup>		Seção 2,5 mm <sup>2</sup>	
	Corrente (A)	Tensão (mV)	Corrente (A)	Tensão (mV)
0	2,22	15,92	2,21	7,51
1	2,21	14,50	2,24	8,34
2	2,20	16,78	2,22	8,21
3	2,22	13,26	2,24	6,52
4	2,22	11,92	2,21	8,28
5	2,23	11,18	2,21	7,13
6	2,22	17,67	2,24	7,85
7	2,23	13,23	2,21	6,53
8	2,23	13,01	2,20	7,18
9	2,23	13,04	2,22	9,65

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 4 - Emenda em derivação

Amostra	Seção 1,5 mm <sup>2</sup>		Seção 2,5 mm <sup>2</sup>	
	Corrente (A)	Tensão (mV)	Corrente (A)	Tensão (mV)
0	2,23	14,70	2,22	7,08
1	2,23	11,81	2,23	5,50
2	2,23	16,54	2,22	5,87
3	2,23	13,06	2,22	5,81
4	2,23	12,45	2,22	6,11
5	2,22	12,47	2,22	7,92
6	2,23	11,34	2,23	7,94
7	2,23	13,75	2,23	7,11
8	2,23	11,72	2,22	6,52
9	2,23	11,68	2,22	7,85

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 5 - Emenda em prolongamento

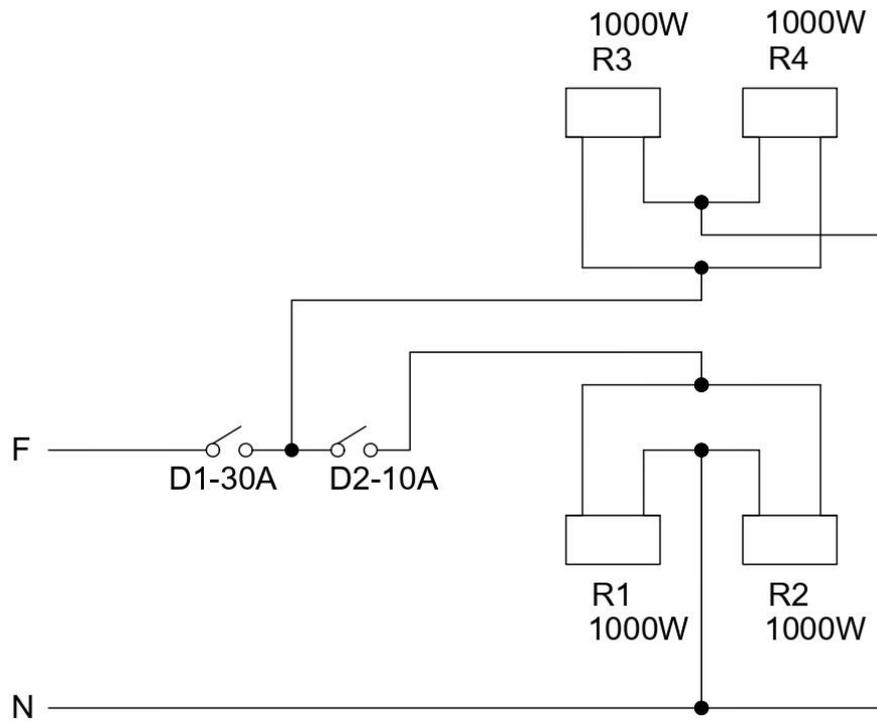
Amostra	Seção 1,5 mm <sup>2</sup>		Seção 2,5 mm <sup>2</sup>	
	Corrente (A)	Tensão (mV)	Corrente (A)	Tensão (mV)
0	2,22	15,74	2,22	7,27
1	2,22	15,12	2,25	7,29
2	2,23	13,46	2,23	7,03
3	2,24	12,54	2,25	6,51
4	2,22	13,87	2,25	6,84
5	2,23	14,13	2,22	6,68
6	2,24	11,13	2,23	6,54
7	2,23	10,52	2,23	7,09
8	2,23	12,91	2,25	7,66
9	2,24	13,36	2,25	7,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 4.3 OPERAÇÃO EM CORRENTE ALTERNADA EM CONDIÇÕES NOMINAIS

Para esse teste, foi desenvolvida a montagem de uma carga capaz de solicitar continuamente e sem sofrer avarias uma corrente elétrica próxima a 10 A e em seguida de 20 A, devido a não ser encontrada carga com tais características disponível nos laboratórios. Para tal, foram utilizadas quatro resistências de forno elétrico, de 1000 W de potência cada, ligadas em paralelo. Com a ligação de duas das resistências, obtemos 2000 W e uma corrente elétrica esperada, considerando alimentação de 220 V monofásico, de 9,09 A e com as quatro conectadas, 4000 W e 18,18 A de corrente esperada. O diagrama esquemático unifilar da carga desenvolvida para o teste pode ser observado na Figura 21.

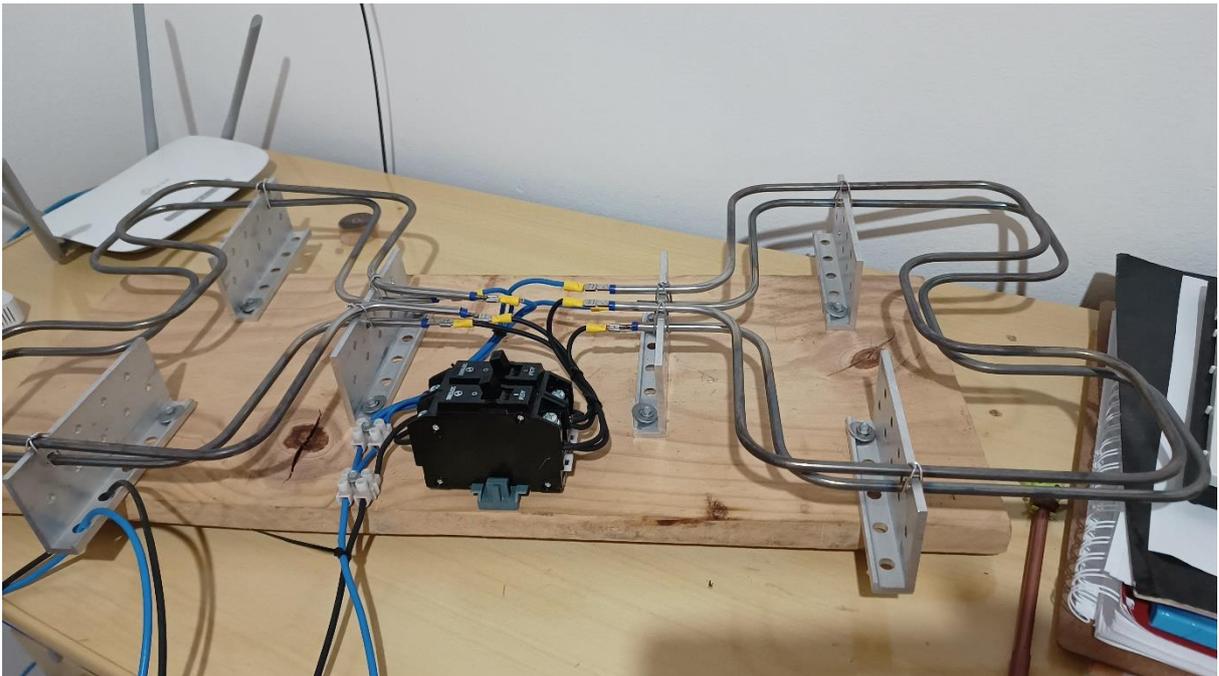
Figura 21 - Diagrama da carga de corrente alternada



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A seguir, na Fotografia 5, a carga efetivamente construída para o teste.

Fotografia 5 - Carga de corrente alternada construída



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A carga foi então ligada a alimentação de 220 V através de um terminal macho do tipo 2P + T 20 A, em ligação conforme a Figura 20, com a utilização de um amperímetro em série para monitorar a corrente e de um voltímetro a tensão. A seguir, na Fotografia 6, imagem da montagem pronta para o teste.

Fotografia 6 - Circuito do teste em corrente alternada



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Os valores de temperatura seriam registrados de 30 em 30 segundos, até o total de cinco minutos, conforme previsto na metodologia. No entanto, foi verificado que o aquecimento das emendas não ocorria em distribuição uniforme e nem linear sobre a sua superfície, de modo que, apareceram pontos mais quentes que outros ao longo do tempo de observação. Dessa forma, foram considerados apenas os valores da temperatura de cada emenda no início do experimento e de um ponto de maior temperatura obtido ao final dos cinco minutos monitorados no teste, chamados respectivamente de  $T_i$ , temperatura inicial e  $T_f$ , temperatura final.

A corrente elétrica  $I$  foi anotada apenas uma vez, por tratar-se de um circuito em série, a corrente permaneceu estável ao longo do tempo. A tensão  $V$  também foi monitorada através de um voltímetro, tendo seu valor anotado apenas uma vez para cada emenda, após a estabilização do valor indicado no equipamento de medida.

Os valores encontrados foram anotados nas Tabelas 6, 7, 8, 9, 10 e 11.

Tabela 6 - Operação nominal emenda de caixa 1,5 mm<sup>2</sup>

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
0	29,1	34,0	96,0	7,3
1	29,8	32,6	78,0	7,3
2	29,5	34,7	97,0	7,3
3	29,8	32,7	59,0	7,3
4	29,8	33,3	75,0	7,3
5	28,9	34,0	56,0	7,3
6	29,6	34,1	82,0	7,3
7	29,4	33,6	44,0	7,3
8	29,4	32,4	41,0	7,3
9	29,2	33,0	69,0	7,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 7 - Operação nominal emenda em derivação 1,5 mm<sup>2</sup>

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
0	29,9	35,8	48,0	7,2
1	29,4	35,3	46,0	7,2
2	29,8	35,9	46,0	7,1
3	29,5	35,5	76,0	7,2
4	29,7	33,5	52,0	7,2
5	29,0	35,0	76,0	7,3
6	29,5	35,5	58,0	7,0
7	29,2	35,0	85,0	7,3
8	29,7	34,4	52,0	7,2
9	29,0	35,1	57,0	7,2

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 8 - Operação nominal emenda em prolongamento 1,5 mm<sup>2</sup>

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
0	29,7	32,6	49,0	7,3
1	29,5	33,5	69,0	7,3
2	29,7	32,3	76,0	7,2
3	29,3	32,0	64,0	7,3
4	29,5	31,3	89,0	7,3
5	29,7	32,1	67,0	7,3
6	29,7	32,4	77,0	7,4
7	29,3	31,1	55,0	7,3
8	29,6	32,3	63,0	7,4
9	29,5	32,7	55,0	7,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 9 - Operação nominal emenda de caixa 2,5 mm<sup>2</sup>

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
0	29,0	34,0	74,0	15,3
1	28,9	32,8	66,0	15,4
2	29,2	32,3	82,0	15,2
3	29,3	34,7	66,0	15,3
4	28,7	32,3	56,0	15,2
5	28,9	31,9	42,0	15,3
6	29,4	33,1	73,0	15,3
7	29,0	32,5	57,0	15,3
8	29,0	32,1	56,0	15,1
9	29,0	32,8	60,0	15,3

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 10 - Operação nominal emenda em derivação 2,5 mm<sup>2</sup>

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
0	29,6	35,2	80,0	15,4
1	29,2	33,5	55,0	15,5
2	29,4	33,1	55,0	15,5
3	29,9	33,7	46,0	15,1
4	29,7	35,1	71,0	15,3
5	29,5	33,1	55,0	15,5
6	29,7	34,3	57,0	15,4
7	29,8	33,2	53,0	15,5
8	29,6	35,6	71,0	15,5
9	29,3	34,5	62,0	15,4

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 11 - Operação nominal emenda em prolongamento 2,5 mm<sup>2</sup>

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
0	29,8	34,0	61,0	15,2
1	29,9	34,4	64,0	15,2
2	29,5	34,4	53,0	15,0
3	29,6	33,8	48,0	15,2
4	29,7	33,5	49,0	15,0
5	29,8	34,6	55,0	15,2
6	29,8	34,6	53,0	15,1
7	29,6	34,7	53,0	15,3
8	29,8	33,6	56,0	15,0
9	29,6	34,3	49,0	15,2

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Um ponto interessante observado nesses ensaios é que em todas as situações propostas o condutor isolado apresentou temperaturas superiores à das emendas,

sempre entre 36 °C e 37 °C. Dessa forma, foi decidido realizar um teste adicional, repetindo o procedimento, porém com as emendas isoladas com fita isolante preta. Além disso, ao invés de utilizada a câmara térmica, foi conectado um sensor do tipo PT100 para a leitura da temperatura sempre em um ponto fixo, num multímetro do mesmo modelo utilizado na leitura de tensão. Desta vez, foram escolhidas três emendas de cada tipo para os novos testes, as quais apresentaram comportamentos mais próximos da média. Os resultados obtidos foram reunidos nas Tabelas 12, 13, 14, 15, 16 e 17.

Tabela 12 - Operação nominal emenda de caixa 1,5 mm<sup>2</sup> isolada

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
4	25,2	31,8	50,0	7,0
6	25,2	31,6	53,0	7,0
9	25,2	31,8	64,0	7,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 13 - Operação nominal emenda em derivação 1,5 mm<sup>2</sup> isolada

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
2	25,2	30,4	30,0	7,0
3	25,2	30,9	45,0	7,1
5	25,2	30,6	31,0	7,1

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 14 - Operação nominal emenda em prolongamento 1,5 mm<sup>2</sup> com isolada

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
1	25,2	30,9	51,0	7,0
4	25,2	31,4	62,0	7,0
9	25,2	31,1	58,0	7,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 15 - Operação nominal emenda de caixa 2,5 mm<sup>2</sup> com isolada

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
1	25,2	32,3	50,0	14,9
4	25,2	32,3	49,0	14,7
9	25,2	32,8	58,0	14,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 16 - Operação nominal emenda em derivação 2,5 mm<sup>2</sup> isolada

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
1	25,2	29,9	40,0	14,8
6	25,2	30,9	40,0	14,9
9	25,2	30,9	45,0	14,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 17 - Operação nominal emenda em prolongamento 2,5 mm<sup>2</sup> isolada

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
2	25,2	29,9	51,0	14,5
5	25,2	30,9	55,0	14,5
6	25,2	31,1	52,0	14,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Por fim, também foram feitas três emendas adicionais de caixa com metodologia “desleixada”, a fim de testar seu desempenho. Todos os procedimentos de teste foram iguais aos anteriores, sendo que, nesse caso, foi feita a isolação da emenda com a fita preta e utilizado novamente a câmara térmica para a análise da temperatura. Os resultados encontram-se na Tabela 18 e na Tabela 19.

Tabela 18 - Operação nominal emenda de caixa sem padrão 1,5 mm<sup>2</sup> isolada

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
0	30,3	33,5	38,0	6,9
1	30,2	34,5	45,0	6,9
2	30,0	33,1	40,0	6,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 19 - Operação nominal emenda de caixa sem padrão 2,5 mm<sup>2</sup> isolada

<b>Amostra</b>	<b>T<sub>i</sub> (°C)</b>	<b>T<sub>f</sub> (°C)</b>	<b>V (mV)</b>	<b>I (A)</b>
0	30,6	39,9	45,0	15,0
1	30,9	40,9	65,0	14,5
2	30,6	40,1	45,0	14,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 4.4 RESISTÊNCIA MECÂNICA

O teste de resistência mecânica foi o último a ser aplicado por ser potencialmente destrutivo as amostras. Para a fixação das emendas na máquina de teste, foi desenvolvida uma peça em alumínio, conforme a Fotografia 7.

Fotografia 7 - Peça de alumínio para fixação das emendas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Passando o cabo das emendas nos furos da peça, foi possível fixar as emendas na máquina para ela realizar a tração, simulando um esforço durante a instalação ou manutenção. Os parâmetros do equipamento foram ajustados para um teste utilizando amostra metálica. O valor anotado foi o de rompimento de cada emenda, ou então, em caso de não ocorrer o rompimento, o máximo valor de tração imposto no teste, conforme a Tabela 20, Tabela 21 e Tabela 22.

Tabela 20 - Máxima resistência emenda de caixa

	<b>Seção 1,5 mm<sup>2</sup></b>	<b>Seção 2,5 mm<sup>2</sup></b>
<b>Amostra</b>	<b>Tensão máxima (N)</b>	<b>Tensão máxima (N)</b>
1	26,01	45,61
2	26,74	28,67
3	29,04	55,90

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 21 - Máxima resistência emenda em derivação

	<b>Seção 1,5 mm<sup>2</sup></b>	<b>Seção 2,5 mm<sup>2</sup></b>
<b>Amostra</b>	<b>Tensão máxima (N)</b>	<b>Tensão máxima (N)</b>
1	127,88	272,59
2	120,60	214,80
3	160,55	147,81

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 22 - Máxima resistência emenda em prolongamento

	<b>Seção 1,5 mm<sup>2</sup></b>	<b>Seção 2,5 mm<sup>2</sup></b>
<b>Amostra</b>	<b>Tensão máxima (N)</b>	<b>Tensão máxima (N)</b>
1	129,05	237,86
2	87,00	270,98
3	100,83	260,09

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

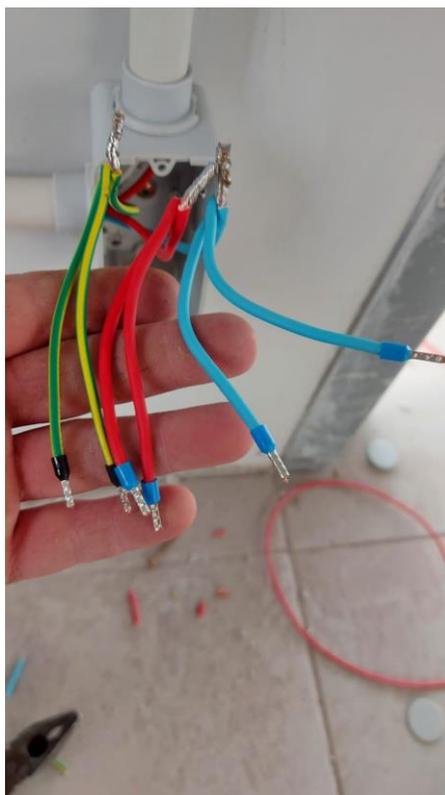
Adicionalmente, o conector Wago 221 testado apresentou o desprendimento do condutor com a força máxima de 125,30 N.

#### 4.5 VISTORIA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Foram realizadas algumas vistorias em instalações elétricas em andamento e existentes para verificar os tipos de emendas utilizados. Ao total, foram vistoriadas duas residências existentes, isto é, com a instalação elétrica já concluída, uma residência com a fiação em andamento e dois prédios de apartamentos residenciais com a instalação elétrica em andamento.

Inicialmente, nas obras novas, foram encontradas nas terminações das tomadas emendas de caixa estanheadas, conforme a Fotografia 8.

Fotografia 8 - Emenda de caixa estanhada



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Na caixa ortogonal no teto, também foi encontrada uma emenda de caixa estanhada, nesse caso, fazendo a interligação de diversos condutores, conforme registrado na Fotografia 9.

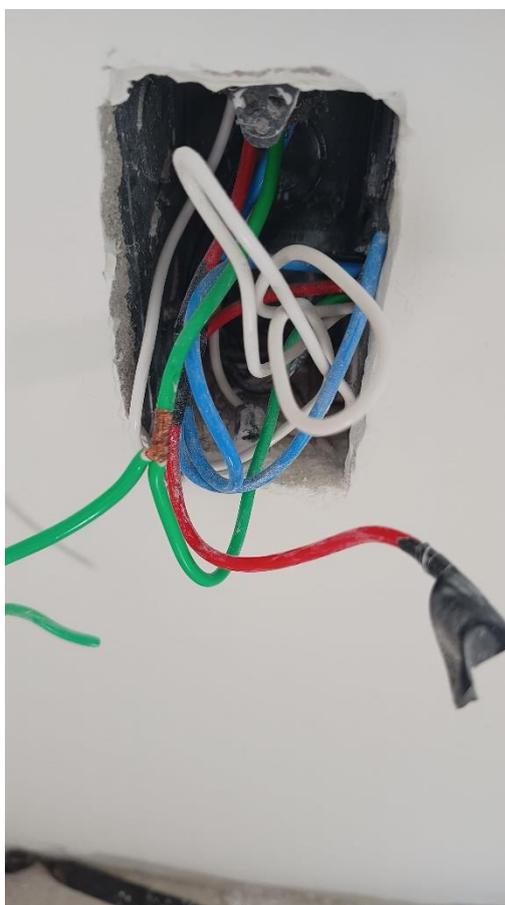
Fotografia 9 - Emenda de caixa estanhada em caixa de teto



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Na caixa de tomada da outra obra, foi encontrada uma emenda em derivação no condutor de proteção, sem a presença de estanho, conforme a Fotografia 10.

Fotografia 10 - Emenda em derivação caixa de tomada



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Quanto as instalações elétricas nas residências mais antigas, na primeira, com por volta de 30 anos de existência, na conexão entre o chuveiro e a fiação do circuito, foi encontrada uma emenda de caixa para conectar um condutor rígido a um flexível, conforme a Fotografia 11.

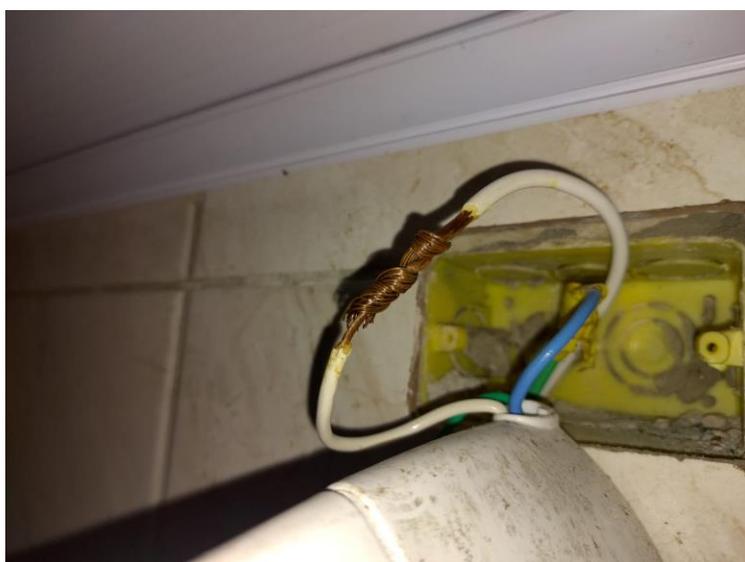
Fotografia 11 - Emenda de caixa fio rígido e flexível



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Por fim, na outra residência, essa com fiação instalada em data mais recente, também na terminação de um chuveiro com o circuito da sua alimentação, foi encontrada uma emenda em prolongamento, conforme a Fotografia 12.

Fotografia 12 - Emenda em prolongamento em chuveiro



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 4.6 QUESTIONÁRIO

O questionário disponível no Apêndice A foi aplicado de forma digital de 06 de setembro de 2022 a 27 de março de 2023, sendo divulgado em grupos das redes sociais compostos por profissionais do setor elétrico de todo o país e enviado diretamente via mensagem através de link de acesso aos profissionais conhecidos do autor. Ele foi desenvolvido inteiramente com a utilização da plataforma *Google Forms* e obteve um total de 133 respostas de diferentes profissionais atuantes em instalações elétricas de baixa tensão.

## 5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Esta seção aborda os resultados obtidos nos experimentos realizados na Seção 4 “Estudo de Caso”, principalmente referentes aos experimentos práticos. Portanto, será dividida nos mesmos itens da sessão anterior, para possibilitar uma análise detalhada de cada uma das etapas desenvolvidas.

### 5.1 RESISTÊNCIA ELÉTRICA EM CORRENTE CONTÍNUA

Inicialmente, foi realizado o cálculo do erro das medidas obtidas, seguindo o método de Kleine e McClintock descrito no item 2.1.5. O multímetro utilizado na medição de tensão foi o modelo ET-2550 da marca Minipa, o qual seu folheto de dados técnicos indica resolução de 0,01 mV e precisão de  $\pm 0,025\%$  na escala de 400 mV. A medição de corrente foi realizada diretamente na fonte de alimentação, modelo MPL-3305M também da marca Minipa, a qual possui resolução de 0,01 A e precisão de  $\pm 0,2\%$  na escala de 5 A.

Sendo assim, aplicando o método apresentado na equação (2) do Capítulo 2, em todas as medidas realizadas, o erro em função dos aparelhos de medida não ultrapassa 0,05 m $\Omega$  em nenhuma, motivo pelo qual ele será desprezado nas próximas análises e não será calculado para os demais testes que utilizaram o mesmo multímetro.

Com as medidas obtidas de corrente e tensão e a utilização direta da Lei de Ohm, foi calculada a resistência elétrica de cada amostra e, partir desse valor, a média, o desvio padrão das medidas, o coeficiente de variação e o escore z, a fim de identificar se as medidas possuem esse parâmetro dentro de +2 e -2, de modo que as medidas sejam coerentes com uma distribuição normal. Para as 60 medidas realizadas no teste, apenas uma apresentou escore z acima de 2, com valor de 2,14, ou seja, 98,33% das medidas atendem ao critério, podendo a distribuição, de forma empírica, ser considerada normal.

Os valores dos parâmetros obtidos para as emendas com cabos de seção de 1,5 mm<sup>2</sup> podem ser observados na Tabela 23.

Tabela 23 - Análise de dados emendas com seção de 1,5 mm<sup>2</sup>

<b>Emenda</b>	<b>Resistência média (mΩ)</b>	<b>Desvio Padrão (mΩ)</b>	<b>Coefficiente de Variação (%)</b>
De caixa	6,33	0,92	14,58
Em derivação	5,81	0,70	11,97
Em prolongamento	5,96	0,70	11,77

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Analisando a resistência média das emendas, é possível notar que a emenda em derivação possui o menor valor médio, embora que, seja muito próximo da emenda em prolongamento. Notavelmente, a emenda de caixa, embora possua resistência superior as duas, não apresenta um resultado discrepante, apresentando uma resistência elétrica absoluta também muito baixa. Os desvios padrão das medidas foram parecidos, abaixo de 1,00 mΩ, bem como os coeficientes de variação abaixo dos 15%, valores adequados, uma vez que as emendas são construções manuais sujeitas a variações, mesmo seguindo o mesmo método de construção.

Por sua vez, a Tabela 24 apresenta as mesmas variáveis, desta vez, para as emendas realizadas com os cabos de seção nominal de 2,5 mm<sup>2</sup>.

Tabela 24 - Análise de dados emendas com seção de 2,5 mm<sup>2</sup>

<b>Emenda</b>	<b>Resistência média (mΩ)</b>	<b>Desvio Padrão (mΩ)</b>	<b>Coefficiente de Variação (%)</b>
De caixa	3,48	0,41	11,67
Em derivação	3,05	0,40	13,12
Em prolongamento	3,12	0,15	4,84

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

As emendas com seção de 2,5 mm<sup>2</sup> apresentaram comportamento análogo a seção de 1,5 mm<sup>2</sup>, quanto a resistência média. Quanto as medidas em si, o resultado foi ainda mais coerente, com desvio padrão abaixo de 0,50 mΩ e no caso da emenda em prolongamento, um coeficiente de variação baixíssimo de 4,84%. Cabe ressaltar que a resistência elétrica média é próxima a metade da resistência verificada nos

cabos 1,5 mm<sup>2</sup> o que também é um resultado extremamente condizente com o esperado, uma vez que quanto maior a seção, menor a resistência da amostra.

Finalmente, quanto a resistência elétrica em corrente contínua, dado os valores extremamente baixos encontrados e da sua proximidade entre si, não é possível afirmar categoricamente que um tipo de emenda é superior ao outro, possuindo elas um comportamento praticamente equivalente.

Por fim, este teste não foi realizado para o conector escolhido. O folheto de dados técnicos do conector não informa uma resistência elétrica nominal, no entanto, o conector foi usado para a realização do teste em si, na conexão das emendas com os cabos de alimentação, carga e de medição, ou seja, se ele possui uma resistência elétrica não desprezível frente aos valores lidos, ela foi inserida como “erro” em conjunto com a resistência elétrica estimada das emendas.

## 5.2 OPERAÇÃO EM CORRENTE ALTERNADA EM CONDIÇÕES NOMINAIS

Durante esse teste, foi possível adquirir os mesmos parâmetros de tensão e corrente do teste do item anterior, acrescido do importante parâmetro da temperatura de operação. Como descrito no Estudo de Caso, o comportamento térmico das emendas não foi linear ou uniformemente distribuído, de modo que a metodologia do teste precisou ser alterada e do mesmo modo a análise dos resultados obtidos. Quanto ao tratamento dos dados, foram realizados os mesmos cálculos do item anterior, ocorrendo novamente apenas a aparição de uma medida com escore  $z$  maior do que 2, tanto para a resistência média e queda de tensão quanto para a temperatura máxima e sua amplitude.

Analisando inicialmente a capacidade de condução de corrente elétrica, ocorreram pequenas diferenças de leitura de corrente entre as medidas, provavelmente ocasionados devido a variações na carga utilizada e ao equipamento de medida, portanto é possível afirmar que todas as emendas foram capazes de suportar a corrente elétrica as quais foram expostas sem sofrer danos ao longo do tempo de ensaio.

Quanto a queda de tensão, todas as emendas apresentaram queda de tensão, de modo que também foi possível calcular novamente a resistência média de cada emenda. Na Tabela 25 encontram-se os valores das emendas com cabos de seção de 1,5 mm<sup>2</sup>.

Tabela 25 - Análise de dados emendas com seção de 1,5 mm<sup>2</sup>

<b>Emenda</b>	<b>Queda de tensão média (mV)</b>	<b>Desvio Padrão (mV)</b>	<b>Coefficiente de Variação (%)</b>	<b>Resistência média (mΩ)</b>
De caixa	69,70	18,63	26,73	9,55
Em derivação	59,60	13,46	22,59	8,28
Em prolongamento	66,40	11,41	17,19	9,08

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Quanto ao comportamento da tensão e da resistência, novamente as três emendas apresentaram resultados muito semelhantes, com a emenda em derivação apresentando a menor queda de tensão e a menor resistência média, exatamente como no teste realizado com corrente contínua.

Na Tabela 26, encontram-se os resultados para as emendas com cabo de seção nominal 2,5 mm<sup>2</sup>.

Tabela 26 - Análise de dados emendas com seção de 2,5 mm<sup>2</sup>

<b>Emenda</b>	<b>Queda de tensão média (mV)</b>	<b>Desvio Padrão (mV)</b>	<b>Coefficiente de Variação (%)</b>	<b>Resistência média (mΩ)</b>
De caixa	63,20	10,88	17,21	3,93
Em derivação	60,50	9,86	16,30	3,57
Em prolongamento	54,10	4,93	9,11	3,54

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O resultado obtido foi semelhante ao das emendas de 1,5 mm<sup>2</sup>, nos quais as três emendas apresentaram resultados próximos, desta vez com a emenda em prolongamento apresentando a menor queda de tensão e conseqüentemente a menor resistência média, porém com resultado praticamente idêntico com a emenda em derivação, o que condiz com o resultado observado no teste em corrente contínua para essa mesma seção.

Finalmente, quanto a queda de tensão e resistência elétrica nas condições do ensaio, todas as emendas tiveram um resultado satisfatório e coerente, com a resistência em corrente alternada, sendo um pouco superior a apresentada em corrente contínua, conforme esperado.

Quanto a temperatura de operação medida no mesmo teste, os valores obtidos estão relacionados na Tabela 27.

Tabela 27 - Análise da temperatura das emendas com seção de 1,5 mm<sup>2</sup>

<b>Emenda</b>	<b>Temperatura máxima média (°C)</b>	<b>Amplitude média de temperatura (°C)</b>	<b>Desvio padrão da média da temperatura máxima (°C)</b>	<b>Desvio padrão da amplitude média de temperatura (°C)</b>
De caixa	33,4	4,0	0,72	0,88
Em derivação	35,3	5,8	0,42	0,39
Em prolongamento	32,23	2,7	0,65	0,61

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O desvio padrão tanto para a amplitude quanto para a temperatura máxima ficou abaixo de 1 °C, enquanto o coeficiente de variação não foi calculado para análise de temperatura, devido a ela se tratar de escala relativa. A maior temperatura foi apresentada pela emenda em derivação, justamente no ponto de trava da emenda, estando a quase 2 °C acima das outras emendas. Todavia, como essa temperatura sempre esteve abaixo da temperatura do cabo, não é possível afirmar que qualquer uma das emendas apresentou comportamento térmico preocupante nessa condição de teste.

Para as emendas com cabo de seção de 2,5 mm<sup>2</sup> os resultados estão reunidos na Tabela 28.

Tabela 28 - Análise da temperatura das emendas com seção de 2,5 mm<sup>2</sup>

<b>Emenda</b>	<b>Temperatura máxima média (°C)</b>	<b>Amplitude média de temperatura (°C)</b>	<b>Desvio padrão da média da temperatura máxima (°C)</b>	<b>Desvio padrão da amplitude média de temperatura (°C)</b>
De caixa	32,9	3,8	0,84	0,83
Em derivação	34,1	4,6	0,89	0,89
Em prolongamento	34,2	4,5	0,41	0,44

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Para as emendas com cabos de seção 2,5 mm<sup>2</sup> a emenda de caixa apresentou a menor temperatura máxima, enquanto a emenda em prolongamento apresentou a maior, ainda que, valor praticamente igual ao da temperatura da emenda em derivação. Nesse ensaio, a temperatura do cabo também foi superior à das emendas, de modo que provavelmente a discrepância do resultado tenha maior relação com a dissipação do calor na emenda do que com a conexão em si, sendo que, novamente, não é possível afirmar que uma emenda se comportou de maneira muito superior as outras ou de forma insuficiente.

Nesse caso, como os dados obtidos relativos à temperatura de operação não foram conclusivos com as emendas sem isolação, sendo influenciadas pela dissipação do calor no ar, o teste foi refeito para emendas isoladas com fita preta, sendo escolhidas três emendas de cada tipo com comportamento próximo da média nos testes anteriores e utilizado um sensor de temperatura diferente, de modo que a temperatura obtida seja sempre referente ao mesmo ponto. O resultado para as emendas com os cabos de 1,5 mm<sup>2</sup> se encontra na Tabela 29.

Tabela 29 - Análise da temperatura das emendas com seção de 1,5 mm<sup>2</sup>

<b>Emenda</b>	<b>Temperatura máxima média (°C)</b>	<b>Amplitude média de temperatura (°C)</b>
De caixa	31,7	6,5
Em derivação	30,6	5,4
Em prolongamento	31,1	5,9

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Com a presença da fita isolante e o aumento da dificuldade de dissipação do calor, é possível notar que as amplitudes de temperatura crescem, enquanto o resultado da emenda de caixa se torna o pior, ainda que, todas aqueçam de forma semelhante. Para as emendas com cabo 2,5 mm<sup>2</sup> os resultados encontram-se na Tabela 30.

Tabela 30 - Análise da temperatura das emendas com seção de 2,5 mm<sup>2</sup>

<b>Emenda</b>	<b>Temperatura máxima média (°C)</b>	<b>Amplitude média de temperatura (°C)</b>
De caixa	32,5	7,3
Em derivação	30,6	5,4
Em prolongamento	30,6	5,4

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Novamente o resultado foi semelhante nos três tipos de emenda, com a emenda de caixa apresentando a maior temperatura e amplitude, como nas emendas com cabo de 1,5 mm<sup>2</sup> dessa análise.

Cabe ressaltar que a tensão e resistência média não foram recalculadas, uma vez que em função da temperatura ambiente mais baixa durante esse ensaio, e conseqüentemente das emendas também, o resultado esperado é uma resistência menor, porém com apenas três amostras de cada, esses valores não serão utilizados para fins de comparação através de medidas de dispersão.

Finalmente, como todas as emendas apresentaram resultados satisfatórios quanto a temperatura, queda de tensão e condução de corrente elétrica, foi realizado um último teste com três amostras de emendas de caixa elaboradas sem a utilização da padronização prevista na literatura. Pela mesma razão anterior, não foi calculada a sua resistência e tensão média, sendo observada a temperatura das emendas com fita preta isolante e com a utilização da câmara térmica. Os valores encontrados estão na Tabela 31.

Tabela 31 - Análise da temperatura das emendas sem método construtivo

<b>Seção (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Temperatura máxima média (°C)</b>	<b>Amplitude média de temperatura (°C)</b>
1,5	33,7	3,5
2,5	40,3	9,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Para as emendas com a seção de 1,5 mm<sup>2</sup> o resultado obtido não apresentou grande diferença, provavelmente em virtude de a corrente de ensaio ser muito baixa em relação a corrente máxima suportada pelo cabo. Para a seção de 2,5 mm<sup>2</sup>, o resultado encontrado foi muito relevante, com a temperatura medida sendo mais alta que a do condutor e com uma amplitude maior do que 9 °C. Ou seja, para uma emenda “malfeita”, a temperatura de operação pode atingir valores críticos.

Da mesma forma que no teste em corrente contínua, o conector foi utilizado para a realização do experimento, tendo sua resistência e queda de tensão inseridas nas medições e suportando a mesma corrente das emendas. Quanto a sua temperatura, esta foi monitorada conjuntamente no experimento e jamais ultrapassou a temperatura do cabo. Sendo assim, sabendo que seu datasheet prevê que possa operar em temperaturas de até 85 °C, seu desempenho foi condizente com o esperado.

### 5.3 RESISTÊNCIA MECÂNICA

Os valores de resistência a tração máximos, em média, encontrados no teste executado foram anotados na Tabela 32 para as emendas de ambas as seções utilizadas, bem como o valor obtido no ensaio do conector.

Tabela 32 - Análise da resistência mecânica das emendas

<b>Emenda</b>	<b>Resistência máxima média 1,5 mm<sup>2</sup> (N)</b>	<b>Resistência máxima média 2,5 mm<sup>2</sup> (N)</b>	<b>Resistência medida (N)</b>
De caixa	27,26	43,39	-
Em derivação	136,34	211,73	-
Em prolongamento	105,63	256,31	-
Conector	-	-	125,30

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

É importante ressaltar que nas duas seções nominais de condutores do estudo, tanto a emenda em derivação quanto a emenda em prolongamento não romperam durante o teste. O que ocorreu foi o início do rompimento dos fios de cobre que compõe o condutor flexível, de modo que, percebendo esse comportamento, a

máquina de teste diminui o esforço aplicado, sendo, portanto, registrado para fins de cálculo da média, o valor máximo que o equipamento aplicou nos corpos de prova. Desta forma, após confirmar o rompimento dos fios de modo que a força aplicada na emenda passou a diminuir continuamente, o ensaio foi encerrado, considerando que a conexão estaria comprometida com o rompimento parcial do cabo condutor. Na Fotografia 13, é possível verificar o estado pós-teste da emenda em prolongamento com cabos de 2,5 mm<sup>2</sup>.

Fotografia 13 - Emenda em prolongamento após teste de tração



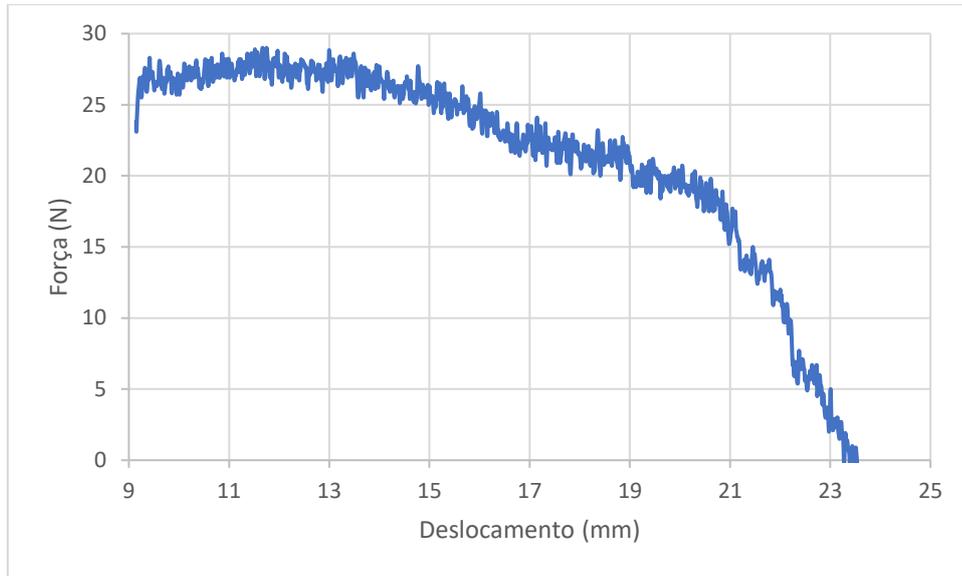
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Como é possível observar, a emenda em prolongamento permaneceu íntegra após o teste, apenas com o condutor sendo danificado. Sendo assim, é possível avaliar que o desempenho tanto da emenda em prolongamento quanto em derivação foi excelente, suportando esforços maiores de 100 N quando feita em cabos com seção de 1,5 mm<sup>2</sup> e de mais de 200 N em cabos com seção de 2,5 mm<sup>2</sup>.

Entretanto, na emenda de caixa, para ambas as seções estudadas, ocorreu o rompimento da conexão, sendo desfeita com esforços próximos a 30 N e 50 N, respectivamente, para as seções estudadas.

No Gráfico 1 é possível observar a força aplicada em função do deslocamento da amostra, para uma emenda de caixa.

Gráfico 1 - Força aplicada na emenda de caixa



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Já na Fotografia 14, é possível verificar as emendas de caixa com seção de 1,5 mm<sup>2</sup> após o teste de tração.

Fotografia 14 - Emenda de caixa após teste de tração



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Isto significa dizer que, para esforços de tração próximos a 3 kgf e 5 kgf, para as seções de 1,5 mm<sup>2</sup> e 2,5 mm<sup>2</sup>, a emenda de caixa rompe totalmente sua conexão.

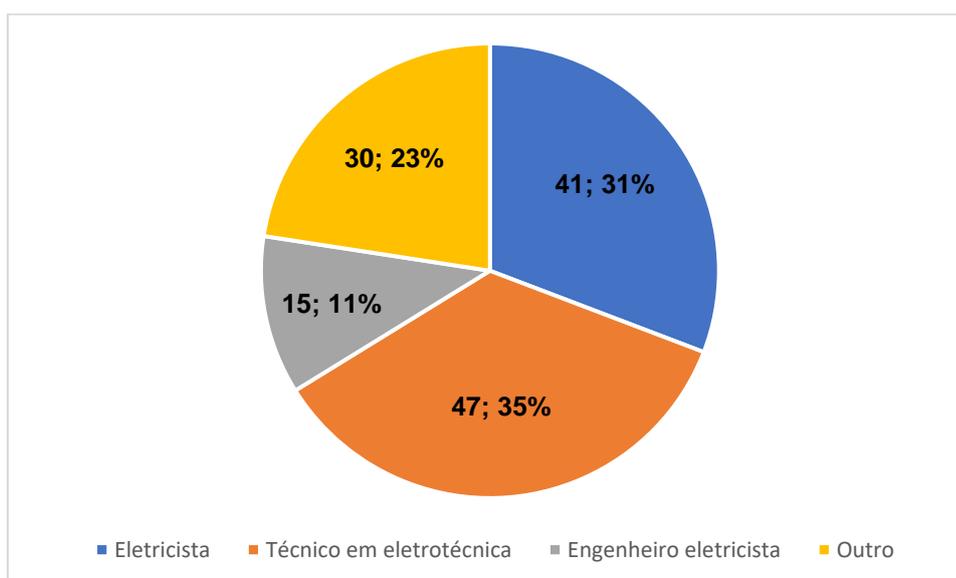
Portanto, quanto a resistência mecânica, o desempenho da emenda de caixa é péssimo, uma vez que esforços dessa natureza podem ser facilmente impostos por qualquer pessoa sadia.

Por fim, foi realizado também o teste para um conector, sendo conectado um pedaço de cabo 1,5 mm<sup>2</sup> no conector utilizado nos demais testes. O máximo esforço suportado foi de 125,30 N, muito semelhante ao valor médio encontrado para as emendas em derivação e prolongamento com a seção de 1,5 mm<sup>2</sup>. Como foi testado apenas um conector, não é possível concluir que este seja um valor médio para todos os conectores do mesmo tipo, mas pode ser utilizado para fins de comparação com os valores obtidos nas emendas, estando ambos, muito próximos. Desta forma, o conector pode ser classificado como tendo um bom desempenho quanto a sua resistência a tração mecânica.

#### 5.4 QUESTIONÁRIO

Para a análise das respostas obtidas, cada uma das perguntas do questionário será analisada individualmente, conforme divisão fornecida pela própria plataforma de desenvolvimento. No Gráfico 2, temos as repostas da primeira pergunta.

Gráfico 2 - Formação acadêmica dos profissionais

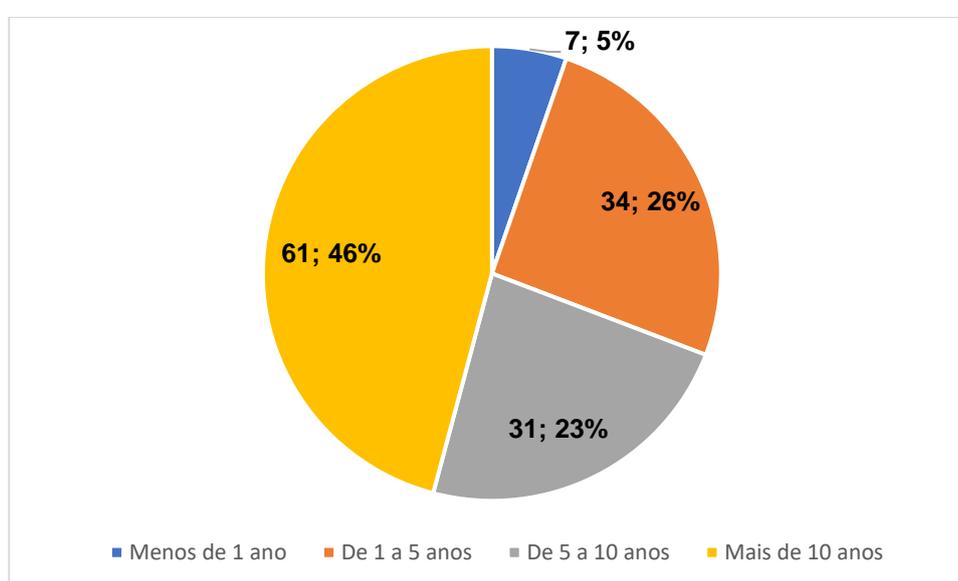


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O questionário foi respondido em sua grande maioria por técnicos em eletrotécnica e eletricistas, contando também com a participação de engenheiros

eletricistas e de profissionais com formação distinta da área elétrica, ou ainda, sem formação, mas que mesmo assim atuam profissionalmente no setor. Nesse sentido, por conta da formação técnica, em eletrotécnica, do autor do trabalho, houve uma grande participação deste tipo de profissional, com mais de 50% das respostas oriundas de profissionais com formação igualmente técnica. Um ponto negativo que pode ser ressaltado, é com o alcance de profissionais com formação técnica e sem formação tendo sido semelhante, as respostas podem se distanciar da realidade do mercado, onde sabidamente de forma consensual atuam mais profissionais sem qualificação técnica, principalmente com cursos básicos de elétrica (eletricistas).

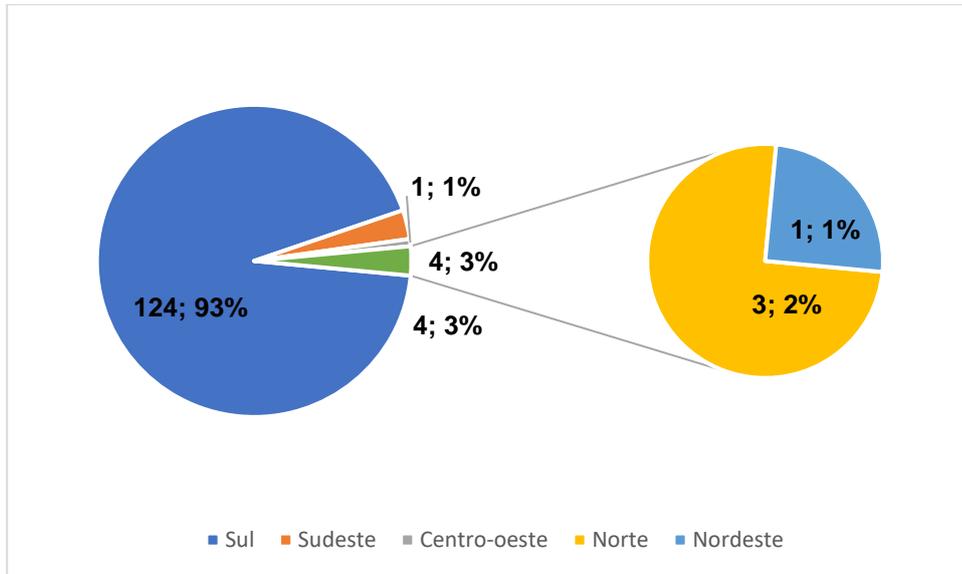
Gráfico 3 - Tempo de atuação



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A segunda pergunta identifica a experiência do profissional que respondeu a pesquisa. Nesse sentido, conforme o Gráfico 3, 95% destes profissionais atuam com instalações elétricas a pelo menos um ano e 46% a mais de dez anos, o que caracteriza o grupo de respostas como profissionais com bastante experiência prática no setor, o que corrobora com a qualidade das respostas.

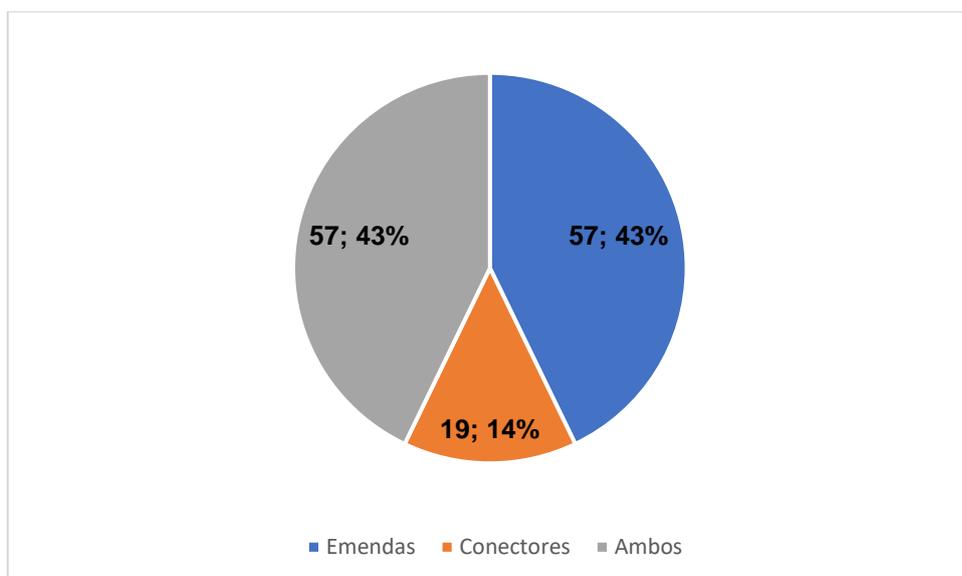
Gráfico 4 - Região de atuação



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Como pode ser visto no Gráfico 4, a região de atuação dos profissionais que cederam suas respostas é esmagadoramente a região sul. Por ser a região de autoria da pesquisa, é a qual o alcance foi maior. Ainda assim, ocorreu pelo menos uma resposta de cada uma das 5 macrorregiões do país, o que traz um pouco de representatividade de outros estados para o estudo, ainda que não atingindo os níveis mínimos aceitáveis para quaisquer conclusões setorizadas por região.

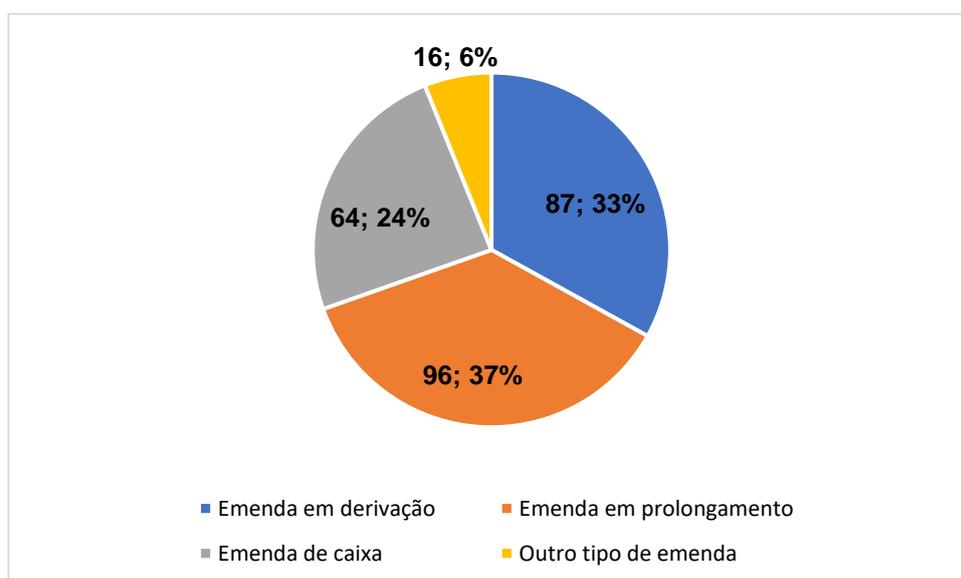
Gráfico 5 - Tipo de conexão



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A quarta pergunta, sabendo que existe a opção moderna dos conectores, visou identificar se a sua utilização pode ser considerada uma tendência. Nesse sentido, 43% dos entrevistados usam apenas emendas em seu dia a dia, enquanto os mesmos 43% usam ambas e apenas 14% utilizam somente os conectores. Ou seja, as emendas ainda estão muito presentes nas instalações novas, sendo a maioria, enquanto os conectores já possuem uma presença marcante, com grande possibilidade de aumento, devido a sua praticidade e funcionamento adequado.

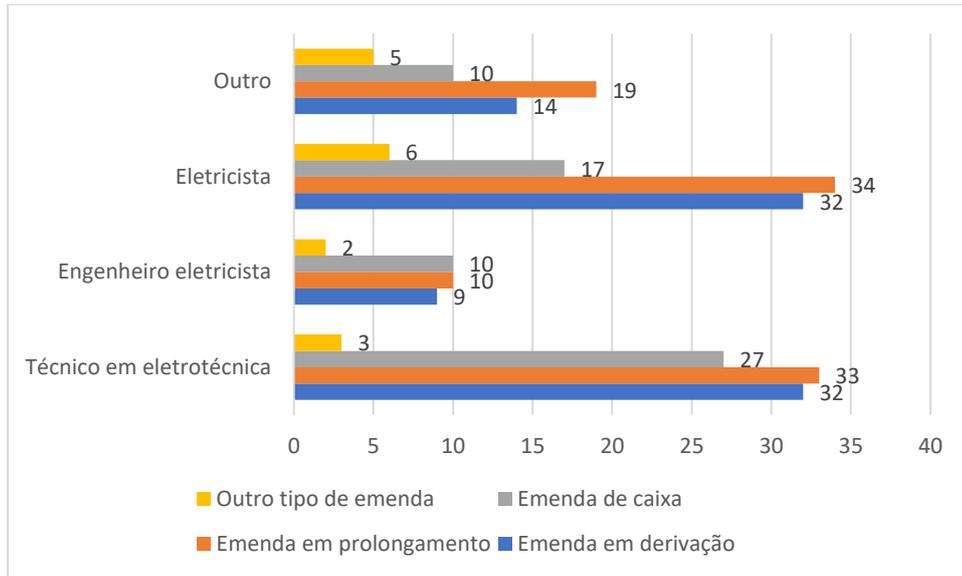
Gráfico 6 - Tipo de emenda utilizada



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A última questão, efetivamente, descobriu quais os tipos de emenda mais utilizados pelos profissionais. Esta pergunta, permitiu mais de uma emenda por resposta, tendo um total de 263 tipos de emenda citados. Nessas respostas, não houve uma maioria absoluta, sendo a emenda em prolongamento a mais citada, em 37% das respostas, com a emenda em derivação logo em seguida, com 33%. A emenda de caixa foi citada em 24% das respostas e outro tipo de emenda, não prevista na literatura base do estudo, apareceu em apenas 6% das respostas. Essa distribuição relativamente uniforme da utilização dos três tipos de emenda levantou o questionamento sobre a influência da formação acadêmica do profissional no tipo de emenda que ele utiliza com mais frequência. Desta forma, o Gráfico 7 apresenta essa relação em valores absolutos.

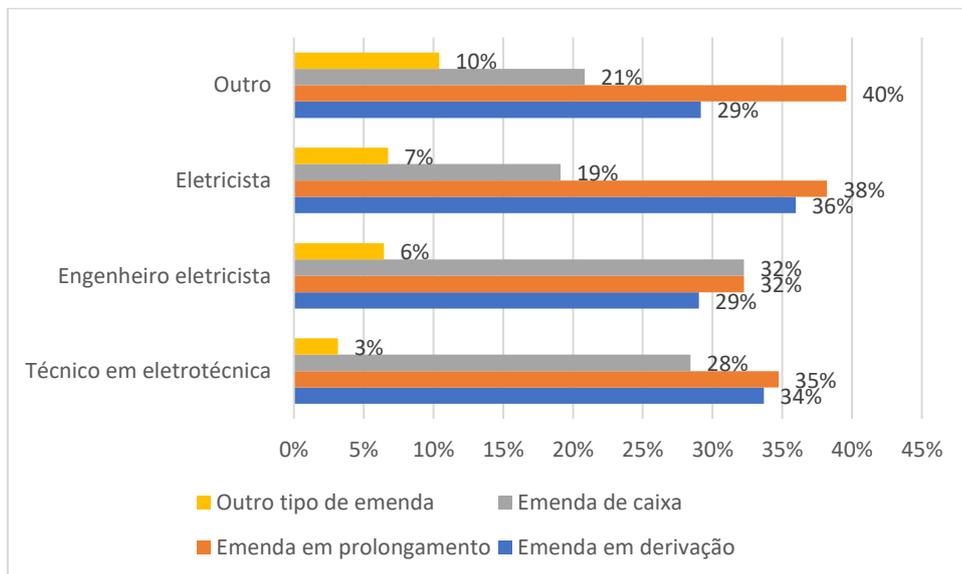
Gráfico 7 - Tipo de emenda por tipo de profissional valores absolutos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Entretanto, essa relação é mais interessante de ser observada em termos de valores percentuais, conforme o Gráfico 8.

Gráfico 8 - Tipo de emenda por tipo de profissional valores percentuais



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A emenda em prolongamento, em termos percentuais, aparece na liderança em todos os tipos de profissionais. Para os engenheiros e técnicos, há uma distribuição extremamente uniforme na utilização dos três tipos de emendas, enquanto, surpreendentemente, nos eletricistas e profissionais sem formação

relacionada diretamente a elétrica, a emenda de caixa aparece com a menor frequência. Por fim, em 10% das emendas citadas por profissionais listados como outros, ocorre a utilização de algum tipo de emenda que não se enquadra nos padrões disponibilizados para escolha, embora esse percentual não seja alarmante, indica que pode haver alguma tendência desses profissionais a realizar formas de emenda alternativas.

## 5.5 VISTORIAS

Nas vistorias, tanto em obras novas quanto nas antigas, foram encontrados os três tipos de emendas propostos no estudo, com a emenda de caixa aparecendo duas vezes. Entretanto, não aparenta que houve método rigoroso para a realização dessas emendas, sendo desencapada parte da isolação do condutor e realizadas as voltas da emenda sem preocupação quanto a quantidade de voltas e quantidade de fio a ser desencapada. Também ficou evidente, nas obras novas, uma certa tendência dos instaladores em realizar a aplicação de solda com estanho nas emendas, prática não recomendada pela NBR 5410, devido a tornar o condutor quebradiço com o passar do tempo. Positivamente, não foram encontradas emendas alternativas, mas sim as três previstas no estudo.

## 5.6 COMPARAÇÃO ENTRE AS EMENDAS

A partir da análise individual dos tipos de emenda nos três ensaios realizados, foi construído um quadro avaliativo das emendas entre si, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Comparativo entre as emendas

<b>Tipo de Emenda</b>	<b>Resistência CC</b>	<b>Resistência CA</b>	<b>Temperatura de operação</b>	<b>Resistência à tração</b>
De caixa	Bom	Bom	Bom	Péssimo
Em derivação	Bom	Bom	Bom	Bom
Em prolongamento	Bom	Bom	Bom	Bom

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

## 6 CONCLUSÃO

A principal motivação deste trabalho se deu devido ao fato de que as emendas, existentes em praticamente qualquer instalação elétrica de baixa tensão, não possuem normativas nacionais definindo o seu padrão construtivo e parâmetros mínimos de qualidade. Dessa situação, surgiu uma questão problemática: são as emendas realmente técnicas de conexão entre condutores seguras e eficientes?

A partir daí, os principais objetivos e problema propostos foram de identificar os tipos de emenda mais utilizados por instaladores, elaborá-las e aplicar testes práticos a fim de comparar seu desempenho entre si e com um conector, método mais moderno para as conexões. Com base na bibliografia utilizada e do questionário aplicado em profissionais do setor elétrico, foram elaboradas 60 emendas, as quais foram aplicadas nos testes propostos, sendo possível gerar dados a respeito da resistência em corrente contínua e alternada, valores de queda de tensão, temperatura de operação e resistência a tração mecânica das emendas. Quanto ao conector, sua utilização foi necessária para possibilitar a maioria dos testes, de modo que poucos dados acerca deles foram obtidos. Entretanto, como o conector possui normatização internacional e tem vários dos seus parâmetros declarados pelo fabricante, é possível assim utilizá-lo tendo esses valores como referência.

Os resultados obtidos nos testes mostraram que os três tipos de emenda elaborados, emenda de caixa, emenda em derivação e emenda em prolongamento possuem desempenho elétrico e térmico satisfatório nas condições do estudo, desde que sejam elaboradas seguindo metodologia análoga a prevista na literatura. Quanto ao desempenho mecânico, a única emenda que não apresenta desempenho satisfatório é a de caixa, a qual rompe com esforços muito pequenos, facilmente alcançáveis em uma instalação em manutenção, por exemplo, o que a faz não atender ao critério previsto na NBR 5410:2004 quanto a adequada suportabilidade mecânica.

O questionário aplicado, por sua vez, revelou que todos os três tipos de emenda previstos na literatura são ainda muito utilizados na prática, além de que, também são feitas emendas não relacionadas neste estudo, sendo elas chamadas apenas de “outro tipo de emenda”. As visitas em instalações elétricas em andamento e concluídas corroboraram os dados encontrados no questionário, sendo possível identificar os três tipos de emenda analisados.

Conclui-se que as emendas são técnicas válidas para realizar a conexão entre condutores, desde que sejam elaboradas de forma adequada e minimamente metódica. Em termos de desempenho elétrico e térmico, todas emendas atenderam às expectativas, sendo que, quando há a necessidade de suportabilidade a esforços mecânicos, apenas a emenda de caixa não é uma opção recomendável.

Por fim, como sugestão de trabalhos futuros, podem ser identificados os outros tipos de emenda existentes na prática, a fim de realizar os mesmos testes e avaliar seu desempenho, para comparar com as emendas previstas na literatura. Além disso, poderiam ser aplicadas condições de teste mais severas nas emendas, a fim de avaliar seu desempenho em sobrecarga, curto-circuito ou longos períodos, por exemplo, testando também emendas mais antigas retiradas de instalações existentes, ou mesmo, emendas realizadas sem método construtivo rigoroso.

## REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André Roberto de. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. Barueri: Editora Manole, 2017. E-book. ISBN 9788520454879. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520454879/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

ANDRADE, Thiago; KIPPER, Cleto. **Perícia encontra emendas em ar-condicionado que pegou fogo no Hospital São Benedito em Cuiabá**. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2022/05/27/pericia-encontra-emendas-em-ar-condicionado-que-pegou-fogo-no-hospital-sao-benedito-em-cuiaba.ghtml>. Acesso em: 23 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 209 p. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/unisinos/pdfview/viewer.aspx?Q=1DE4C333437852E3A7161CB088B24FA445FF1C301DC026ED>. Acesso em: 7 ago. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5474**: Conector Elétrico. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 04 p. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/unisinos/pdfview/viewer.aspx?Q=1DE4C333437852E310744878520FA7B9288062094CDCB402>. Acesso em: 7 ago. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5474**: Conector Elétrico. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 04 p. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/unisinos/pdfview/viewer.aspx?Q=1DE4C333437852E310744878520FA7B9288062094CDCB402>. Acesso em: 7 ago. 2022.

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2019. 493 p. Disponível em: [https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521635864/epubcfi/6/10\[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright\]/4](https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521635864/epubcfi/6/10[%3Bvnd.vst.idref%3Dcopyright]/4). Acesso em: 20 mar. 2023.

BAUER, W.; WESTFALL, Gary D.; DIAS, Helio. **Física para universitários: relatividade, oscilações, ondas e calor**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1 recurso online ISBN 9788580551600.

CALLISTER JR., William D; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 10. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2021. 1 recurso online. ISBN 9788521637325.

CAVALIN, Geraldo; CERVELIN, Severino. **Instalações Elétricas Prediais**. 20. Ed – 3 Reimpressão. São Paulo: Érica, 2010. 422 p.

CONNECTORES DE EMENDA: Emenda Elétrica Rápida e Perfeita - Conexão Automática WAGO. Emenda Elétrica Rápida e Perfeita - Conexão Automática WAGO. 2022. Disponível em: <https://www.wago.com/br/conexao/connectores-de-emenda>. Acesso em: 7 ago. 2022.

DOWLING, Norman E. **Comportamento mecânico dos materiais: análise de engenharia aplicada a deformação, fratura e fadiga**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018 1 recurso online ISBN 9788595153493.

KELLER, Armando Leopoldo. **Aula 02: Técnicas de emendas; Simbologia; Acionamentos de iluminação**. São Leopoldo: UNISINOS, 2019. Material em PDF,

do Curso de Engenharia Elétrica, Disciplina Instalações Elétricas, acesso de uso pelo Moodle.

LARSON, Ron; FARBER, Betsy. **Estatística aplicada**. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda, 2016. 674 p. Tradução José Fernando Pereira Gonçalves.

M., Roberto. **Aprenda a fazer emendas em fios elétricos**. 2012. Disponível em: <https://www.sofazquemsabe.com/2010/11/aprenda-fazer-emendas-em-fios-eletricos.html>. Acesso em: 03 set. 2022.

MARCOS, Antônio. **Condutores Elétricos, Emendas e Conexões I**. 2017. Disponível em: <http://entendendoeletricidade.blogspot.com/2017/05/condutores-eletricos-emendas-e-conexoes.html>. Acesso em: 02 nov. 2022.

MARTINHO, Meire Biudes; MARTINHO, Edson; DE SOUZA, Danilo Ferreira (Org.). **ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE ACIDENTES DE ORIGEM ELÉTRICA 2022 ano base 2021**. Salto-SP: Abracopel, 2022. DOI: 10.29327/560614

NORMAS E REGULAMENTAÇÕES. 2022. Disponível em: <https://www.wago.com/br/diretrizes>. Acesso em: 7 ago. 2022.

ORTIZ, Erica. **A tal emendinha malfeita!** 2017. Disponível em: <https://abracopel.org/download/tal-emendinha-mal-feita/>. Acesso em: 23 jul. 2022.

## APÊNDICE A – PESQUISA SOBRE TIPOS DE EMENDAS

Qual a sua formação profissional?

Eletricista

Técnico em eletrotécnica

Engenheiro eletricista

Outro

Há quanto tempo trabalha com instalações elétricas?

Menos de 1 ano

De 1 a 5 anos

De 5 a 10 anos

Mais de 10 anos

Em qual região brasileira você exerce a sua profissão?

Sul

Sudeste

Centro oeste

Norte

Nordeste

Para as conexões das instalações elétricas prediais de baixa tensão, o que você utiliza de forma mais comum?

Emendas

Conectores

Ambos

Qual tipo de emenda você costuma utilizar? (marque todas que necessário)

Emenda em Derivação

Emenda em Prolongamento

Emenda de Caixa (rabinho de porco)

Outro tipo de emenda