

ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT

TÉCNICO EM ELETROMECAÂNICA

PROJETO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO TÉCNICO



MÉTODOS ALTERNATIVOS DE SOLDA PARA LÂMINAS BIMETÁLICAS

**LUCAS POSSAMAI DE SOUZA
RUHAN KARLOS COELHO AGUIRRE
THOMÁS GOMES DE OLIVEIRA**

SÃO LEOPOLDO

2025

LUCAS POSSAMAI DE SOUZA
RUHAN KARLOS COELHO AGUIRRE
THOMÁS GOMES DE OLIVEIRA

MÉTODO ALTERNATIVO DE SOLDA PARA LÂMINAS BIMETÁLICAS

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso Técnico apresentado ao Curso de Eletromecânica da Escola Técnica Estadual Frederico Guilherme Schmidt como requisito para aprovação nas disciplinas do curso sob orientação do professor Nereu Farias e coorientação do professor Adriano Santos.

SÃO LEOPOLDO
2025

RESUMO

Este trabalho tem como foco o desenvolvimento de métodos de soldagem mais acessíveis, eficientes e economicamente viáveis para lâminas bimetálicas, componentes fundamentais em fusíveis e caldeiras de alta temperatura, que exigem elevada precisão e durabilidade. Tradicionalmente, a fabricação dessas lâminas envolve processos de soldagem complexos e de alto custo, o que encarece os produtos finais e afeta especialmente pequenas e médias indústrias. O projeto propõe alternativas inovadoras de junção por meio de rebites de alumínio e cola térmica, oferecendo soluções mais práticas e eficientes. Esses métodos utilizam abordagens distintas para unir materiais de alta condutividade elétrica, como ferro e latão, cuja dilatação térmica também foi analisada para garantir desempenho adequado em condições extremas. A metodologia empregada combina análises qualitativas e quantitativas, assegurando resultados consistentes e aplicáveis ao contexto industrial. O objetivo central é reduzir custos sem comprometer a integridade, a durabilidade e a funcionalidade dos produtos, promovendo a viabilidade técnica e econômica para empresas de menor porte.

Palavras-chave: lâminas bimetálicas; soldagem bimetálica; eficiência térmica; viabilidade industrial.

ABSTRACT

This work focuses on developing more accessible, efficient, and economically viable welding methods for bimetallic strips, essential components in fuses and high-temperature boilers that demand high precision and durability. Traditionally, the manufacturing of these strips involves complex and costly welding processes, which increase the final product price and particularly impact small and medium-sized industries. The project proposes innovative joining alternatives using aluminum rivets and thermal adhesive, offering more practical and efficient solutions. These methods employ distinct approaches to join materials with high electrical conductivity, such as iron and brass, whose thermal expansion was also analyzed to ensure adequate performance under extreme conditions. The adopted methodology combines qualitative and quantitative analyses to ensure consistent results applicable to industrial contexts. The main goal is to reduce costs without compromising the integrity, durability, and functionality of the products, thus promoting technical and economic feasibility for smaller companies.

Keywords: bimetallic strips; bimetallic welding; thermal efficiency; industrial feasibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Chapa de ferro 1mm x 120cm x 5cm	20
Figura 2 - Chapa de latão 1mm x 20cm x 30cm	21
Figura 3 - Super Cola Epoxi de Alta Temperatura 600 graus	21
Figura 4 - Rebite de Alumínio 3,2x10mm	22
Figura 5 - Furadeira De Impacto 127v 550w	22
Figura 6 - Fogareiro com gás de cozinha	23
Figura 7 - Régua de Metal com Gravação a laser da escala	23
Figura 8 - Brocas de aço rápido	24
Figura 9 - Alicates de Pressão MTX	24
Figura 10 - Dilatação Térmica	28
Figura 11 - Método de Fixação por Rebite	34
Figura 12 - Método de Fixação por Cola Epoxi	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estado da Arte	13
Tabela 2 – Variação de Dilatação	16
Tabela 3 – Custos Estimados	17
Tabela 4 - Cronograma	29 e 30
Tabela 5 - Recursos	31
Tabela 6 - Resultados	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LED	Light Emitting Diode
SEI	Sequência de Ensino Investigativa

LISTA DE SÍMBOLOS

μ - Micro

cm - Centímetro

mm - Milímetro

w - Watt

v - Voltz

g - Grama

pol - Polegada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO	11
1.2 PROBLEMA	11
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 Objetivo Geral	11
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 JUSTIFICATIVA	12
2 ESTADO DA ARTE	13
2.1 IMPORTÂNCIA DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DO CIRCUITO ELÉTRICO RESIDENCIAL	13
2.2 A FÍSICA MAIS PRÓXIMA: ESTUDO DE SENSORES RESIDENCIAIS	13
2.3 UMA ANÁLISE DAS PRÁTICAS E MOVIMENTOS EPISTÊMICOS DESENVOLVIDOS EM UMA AULA VIRTUAL SOBRE DILATAÇÃO TÉRMICA	14
2.4 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE SOLDADA PARA LÂMINAS BIMETÁLICAS	14
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
3.1 LÂMINAS BIMETÁLICAS	15
3.1.1 Dilatação Térmica	15
3.1.2 Tabela De Variação De Dilatação Dos Materiais Para As Lâminas Bimetálicas	15
3.1.3 Comparação de preço	16
3.1.4 Normas e requisitos técnicos aplicáveis a lâminas bimetálicas	17
3.2 PROCESSOS DE SOLDAGEM	18
3.2.1 Soldagem por Refluxo	18
3.2.2 Soldagem por Ultrassom	18
3.2.3 Soldagem por Resistência	18
3.3 MÉTODOS E COMPONENTES UTILIZADOS	19
3.3.1 Fixação por rebites	19
3.3.2 Fixação por cola térmica	19
3.3.3 Componentes	20
3.3.3.1 Ferro	20
3.3.3.2 Latão	20
3.3.3.3 Cola Epoxi	21
3.3.3.4 Rebite de Alumínio	22
3.3.3.5 Furadeira	22
3.3.3.6 Fogareiro com gás	23
3.3.3.7 Regua de Metal	23
3.3.3.8 Brocas	24
3.3.3.9 Alicates de Pressão	24
4 METODOLOGIA	25

4.1 TIPO DE PESQUISA	26
4.2 FUNÇÃO DOS COMPONENTES	26
4.2.1 Ferro	26
4.2.2 Latão	26
4.2.3 Cola Epóxi	27
4.2.4 Furadeira	27
4.2.5 Rebite De Alumínio	27
4.2.6 Fogareiro com gás de cozinha	27
4.2.7 Régua de Metal	27
4.3 CONCEITO DO PROTÓTIPO	28
5 CRONOGRAMA	29
6 RECURSOS	31
7 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS	33
7.1 METODOLOGIA	33
7.1.1 Especificações dos Protótipos:	33
7.1.1.1 Método de Fixação por Rebite:	33
7.1.1.2 Método de Fixação por Cola Epoxi:	35
7.2 RESULTADOS	36
7.3 DISCUSSÃO	37
7.4 CONCLUSÃO	37
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, lâminas bimetálicas são amplamente utilizadas como elementos de proteção térmica em sistemas como fusíveis e caldeiras que operam em altas temperaturas. Nessas aplicações, diferentemente dos disjuntores, as lâminas não retornam ao ângulo original após a dilatação térmica, realizando apenas o corte permanente da corrente, sem possibilidade de rearme automático.

Apesar da importância dessas lâminas na segurança de sistemas térmicos e elétricos, os processos convencionais de fabricação, como a soldagem a laser ou por pressão, garantem alta qualidade, mas resultam em custos elevados. Como alternativa, surge o interesse por métodos de soldagem mais simples e acessíveis, que possam reduzir os custos de produção. Isso facilitaria o acesso a esses componentes por parte das indústrias, além de contribuir para a redução do preço final de dispositivos que utilizam esse tipo de proteção térmica.

1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO

Hoje em dia se encontram diversos métodos de soldas para lâminas bimetálicas, com isso buscamos encontrar métodos de solda mais práticos.

1.2 PROBLEMA

Como podemos baixar o custo das lâminas bimetálicas?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 **Objetivo Geral**

Desenvolver métodos de solda mais simples e eficazes para as lâminas bimetálicas.

1.3.2 Objetivos Específicos

Encontrar metais com condutividade elétrica alta.

Comparar dilatação e resistência dos materiais.

Estudar métodos de soldas mais acessíveis.

1.4 JUSTIFICATIVA

Nos tempos atuais, utiliza-se lâminas bimetálicas para o corte de corrente em componentes elétricos, como por exemplo: alguns disjuntores, lâmpadas LEDs, fusíveis e até mesmo em caldeiras de altas temperaturas.

Porém, se utilizam soldas muito refinadas assim tornando seu custo muito elevado.

Buscamos métodos de produção mais acessíveis, assim melhorando o custo do componente e possibilitando que ele seja um substituto para empresas ou negócios em estágio inicial e projetos de baixo orçamento.

2 ESTADO DA ARTE

Tabela 1 - Estado da Arte

Pesquisa	Autoria	Ano de publicação
Importância Dos Dispositivos De Proteção Do Circuito Elétrico Residencial	Ezequias Ramos Lopes, Marcelo Cerqueira de Salles Brasil	2022
A física mais próxima: estudo de sensores residenciais	Danian Alexandre Dugato, Márcio do Carmo Pinheiro, Diogo Pauletti	2023
Uma análise das práticas e movimentos epistêmicos desenvolvidos em uma aula virtual sobre dilatação térmica	Felipe Aragão Freire	2021

Fonte: os autores (2024)

2.1 IMPORTÂNCIA DOS DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO DO CIRCUITO ELÉTRICO RESIDENCIAL

Este projeto visa evidenciar, que a energia elétrica precisa ser controlada para não oferecer riscos às pessoas, para isso foi desenvolvido os dispositivos de proteção, tendo como objetivo proteger o indivíduo.

2.2 A FÍSICA MAIS PRÓXIMA: ESTUDO DE SENSORES RESIDENCIAIS

Este projeto visa elaborar propostas de contextualização de conceitos físicos com diferentes tipos de dispositivos sensores. Com isso, foi discutido os locais onde

os sensores são encontrados, suas condições de funcionamento e a teoria física associada a cada um.

2.3 UMA ANÁLISE DAS PRÁTICAS E MOVIMENTOS EPISTÊMICOS DESENVOLVIDOS EM UMA AULA VIRTUAL SOBRE DILATAÇÃO TÉRMICA

Este projeto visa apresentar uma análise de uma aula, correspondente a um dos encontros, de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) sobre dilatação térmica, buscando caracterizar as práticas epistêmicas desenvolvidas pelos alunos, bem como os movimentos epistêmicos desenvolvidos pelo professor, em uma sala de aula virtual de física.

2.4 MÉTODOS ALTERNATIVOS DE SOLDADA PARA LÂMINAS BIMETÁLICAS

Com base nessas pesquisas, conseguimos ter uma visão geral da importância das lâminas bimetálicas, sendo um dos principais componentes para fusíveis e caldeiras de altas temperaturas, o mais popular de segurança elétrica. Com isso em mente, pesquisamos métodos de soldagem, e dilatação térmica dos materiais para fazer com a qualidade necessária este projeto.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 LÂMINAS BIMETÁLICAS

As lâminas bimetálicas têm como principal função ser um item de segurança para excesso de corrente em fusíveis ou em caldeiras de altas temperaturas, onde, para fazer o corte de corrente ela se dilata curvando-se assim desconectado do resto do circuito.

Com isso em mente devemos comparar a dilatação dos materiais e a capacidade de condução elétrica para a lâmina fazer a curvatura necessária para cortar o circuito e ligá-lo após o seu resfriamento.

3.1.1 Dilatação Térmica

A dilatação térmica é a tendência de um material aumentar ou diminuir de volume à medida que a temperatura varia, sendo esses um dos fatores mais importantes na fabricação das lâminas bimetálicas.

Com nossas pesquisas chegamos a conclusão de que os materiais mais apropriados para esta pesquisa séria, ferro e o latão por causa de sua diferença de dilatação onde o coeficiente de dilatação do ferro está na faixa de 11 a 12 $\mu\text{m}/\text{m}.\text{C}^\circ$ e o latão está em torno de 18 a 20 $\mu\text{m}/\text{m}.\text{C}^\circ$ sendo uma diferença necessária para fazer a curvatura

Além da dilatação temos outros fatores dominantes para a escolha desses materiais como sua compatibilidade mecânica e térmica, como sua resistência e maleabilidade, ambos materiais são suficientemente compatíveis para uma união por brasagem formando uma união sólida que suporta variações térmicas sem se separar.

3.1.2 Tabela De Variação De Dilatação Dos Materiais Para As Lâminas Bimetálicas

Tabela Comparativa de Pares de Metais para Lâminas Bimetálicas.

Abaixo está uma tabela comparativa com diferentes combinações de metais recomendados para a fabricação de lâminas bimetalicas. As colunas indicam os coeficientes de dilatação térmica dos materiais, a variação térmica esperada, facilidade de união entre os metais, aplicações típicas e observações relevantes. Essa comparação auxilia na escolha ideal de materiais para projetos como o desenvolvimento de lâminas bimetalicas em contextos industriais ou educacionais.

Tabela 2 - Variação De Dilatação

Par de Metais	Coef. de Dilatação ($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	Variação Térmica	Facilidade de União	Aplicações Típicas	Observações
Latão + Aço Carbono	Latão: ~19 / Aço: ~12	Alta	Fácil (solda, rebite)	Termostatos, relés térmicos	Clássico em controle térmico
Cobre + Aço Inox	Cobre: ~17 / Inox: ~11.5	Alta	Moderada (solda TIG)	Disjuntores, sensores térmicos	Boa resistência à corrosão
Alumínio + Latão	Alumínio: ~23 / Latão: ~19	Média	Moderada (cola + rebite)	Projetos didáticos, protótipos	Curvatura mais sutil
Aço Rápido + Aço Carbono	HSS: ~10.5 / Aço: ~12	Baixa (foco mecânico)	Média (solda especializada)	Lâminas de corte (serras, facas)	Foco em dureza e flexibilidade
Cobre + Alumínio	Cobre: ~17 / Alumínio: ~23	Média/Alta	Difícil (cola + rebite)	Prototipagem, experiências térmicas	Sensível à corrosão galvânica
Latão + Cobre	Latão: ~19 / Cobre: ~17	Baixa	Fácil	Aplicações leves e testes básicos	Curvatura mínima

Fonte: curso enem gratuito (2025)

3.1.3 Comparação de preço

Com isso, logo abaixo mostra uma tabela comparando apenas os custos estimados para unir lâminas bimetalicas de ferro e latão usando soldagem, rebites de alumínio e cola epóxi:

Tabela 3 - Custos Estimados

Método de União	Custo por ponto (R\$)	Custo para 10 pontos (R\$)	Observações
Solda TIG	100 - 200	1000 - 2000	Alta precisão, mão de obra cara
Solda MIG	70 - 150	700 - 1500	Mais rápida, menos indicada
Eletrodo Revestido	50 - 100	500 - 1000	Econômica, menos estável
Rebites de Alumínio	0,50 - 2,00	5 - 20	Muito barato, menor resistência
Cola Epóxi	1,00 - 5,00	10 - 50	Fácil aplicação, boa aderência, resistência moderada

fonte: xp soluções (2025)

3.1.4 Normas e requisitos técnicos aplicáveis a lâminas bimetálicas

A utilização de lâminas bimetálicas em fusíveis térmicos e componentes de caldeiras de alta temperatura demanda elevado nível de precisão e confiabilidade. Nos fusíveis térmicos, a lâmina deve deslocar-se de forma exata ao atingir a temperatura de acionamento, interrompendo a corrente elétrica; pequenas variações na dilatação podem antecipar ou atrasar a ativação, comprometendo a proteção e a segurança do equipamento. As normas IEC 60269 e IEC 60730 estabelecem critérios rigorosos de ensaios de tempo-temperatura e repetibilidade, reforçando a necessidade de controle preciso das propriedades térmicas e mecânicas da lâmina. Em caldeiras de alta temperatura, componentes bimetálicos atuam em sistemas de segurança e controle, como válvulas de alívio térmico e indicadores de expansão, operando em temperaturas contínuas elevadas, superiores a 350 °C, e sob ciclos térmicos repetidos. A dilatação diferencial entre os metais pode gerar tensões internas, fadiga térmica ou falha do componente, sendo os requisitos de material, ensaios de fadiga e limites de temperatura de serviço definidos pela ASME BPVC

Seção I/II. Dessa forma, diferenças mínimas nos coeficientes de expansão linear entre os metais podem produzir deslocamentos da ordem de centenas de micrômetros, suficientes para acionar ou comprometer o mecanismo. Por fim, a junção entre os metais, seja por cola epóxi ou rebite, deve resistir à degradação térmica sem comprometer o deslocamento ou provocar delaminação, garantindo a funcionalidade e a segurança do dispositivo.

3.2 PROCESSOS DE SOLDAGEM

Existem vários processos de soldagem que podem ser empregados para unir metais com diferentes coeficientes de dilatação, cada um com suas vantagens e limitações.

3.2.1 Soldagem por Refluxo

A soldagem por refluxo é um processo em que a solda é aplicada na forma de uma pasta que, ao ser aquecida, derrete e une os metais. Esse processo permite um controle preciso sobre a quantidade de calor aplicada, o que é essencial para evitar danos aos materiais e garantir uma solda uniforme.

3.2.2 Soldagem por Ultrassom

A soldagem por ultrassom utiliza vibrações de alta frequência para unir os metais sem a necessidade de calor. Esta técnica é particularmente útil para metais com diferentes coeficientes de dilatação, pois elimina o risco de falhas causadas por tensões térmicas.

3.2.3 Soldagem por Resistência

Com todas essas formas de soldas estudados chegamos a conclusão que o melhor custo benefício seria a soldagem por resistência. Onde o calor necessário para a fusão é feita através de resistência elétrica dos materiais, sendo esse seu maior diferencial, diferente de outros métodos de soldas, a fonte de calor não é gerada de forma externa mas sim interna, por causa da resistência elétrica dos materiais.

Devemos manter o contato de solda onde os eletrodos são aplicados com pressão sobre as superfícies a serem unidas, assegurando que a corrente elétrica passe pela zona de contato, onde ocorre a maior parte da resistência e, portanto, a maior geração de calor.

3.3 MÉTODOS E COMPONENTES UTILIZADOS

Com o foco sendo a junção dos materiais de formas rudimentares e com um custo mais viável. Decidiu-se adotar dois processos distintos de junção sendo por rebites e colas térmicas com alta resistência.

3.3.1 Fixação por rebites

O método de junção utilizando rebites de alumínio baseia-se na aplicação de fixadores mecânicos que atravessam ambas as lâminas, proporcionando uma conexão rígida e resistente. Esse tipo de fixação garante uma alta estabilidade estrutural, além de ser particularmente eficaz em suportar forças mecânicas como vibrações ou esforços.

No entanto, como desvantagens, a fixação por rebites não distribui de forma uniforme a resistência entre os materiais, assim podendo deixar os metais com uma certa folga ao longo do tempo.

3.3.2 Fixação por cola térmica

O método de junção por cola térmica oferece uma alternativa de fixação não mecânica, com um custo mais viável e acessível, onde a cola atua como uma camada de ligação entre as lâminas. Esse método tem como principal vantagem a capacidade de distribuir de forma uniforme as tensões térmicas por toda a superfície de contato.

No entanto, o maior problema seria que essa junção não poderia ter a mesma resistência a carga mecânica, especialmente em situações de alta pressão ou impacto.

3.3.3 Componentes

Figuras ilustrativas e descrições sobre todos os componentes que estamos utilizando neste projeto.

3.3.3.1 Ferro

Uma chapa de ferro com medidas de 1mm x 120cm x 5cm.

Figura 1 - Chapa de ferro 1mm x 120cm x 5cm



Fonte: Ferro e Aço Rossetti (2023)

3.3.3.2 Latão

Uma chapa de latão sendo formada por cobre e zinco com as medidas 1mm x 20cm x 30cm.

Figura 2 - Chapa de latão 1mm x 20cm x 30cm



Fonte: Maxfer Metais (2022)

3.3.3.3 Cola Epoxi

Uma Super Cola Epoxi feita para metais com uma resistência térmica a temperatura 600 graus

Figura 3 - Super Cola Epoxi de Alta Temperatura 600 graus



Fonte: Mercado Livre (2022)

3.3.3.4 Rebite de Alumínio

Rebites de alumínio com uma resistência térmica elevada com as medidas de 3,2x10mm.

Figura 4 - Rebite de Alumínio 3,2x10mm



Fonte: Mercado Livre (2014)

3.3.3.5 Furadeira

Uma furadeira de impacto móvel com uma tensão de 220V.

Figura 5 - Furadeira De Impacto 127v 550w



Fonte: Mercado Livre (2022)

3.3.3.6 Fogareiro com gás

Um fogareiro com gás de cozinha 5kg

Figura 6 - Fogareiro com gás de cozinha

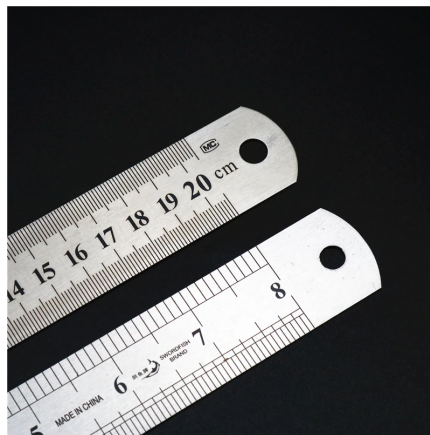


Fonte: amazon (2021)

3.3.3.7 Régua de Metal

Régua de Metal com Gravação a laser da escala para suportar altas temperaturas.

Figura 7 - Régua de Metal com Gravação a laser da escala



Fonte: Aliexpress (2019)

3.3.3.8 Brocas

Brocas de 3mm e 10mm de diâmetro.

Figura 8 - Brocas de aço rápido



Fonte: Leroy Merlin (2014)

3.3.3.9 Alicate de Pressão

Um alicate de pressão mordente curvo, da marca MTX, sem auto ajustamento.

Figura 9 - Alicate de Pressão MTX



Fonte: Mercado Livre (2014)

4 METODOLOGIA

Estamos utilizando dois métodos de soldagem, onde um método consiste com a junção dos dois materiais através de rebites permanentes, após fazer as furações corretas entre os dois materiais com as brocas e o acabamento com martelos e limas, serão posicionados os rebites no devidos locais assim, criando a resistência mecânica necessária para a fixação entre os metais.

Com esse método teremos uma resistência mecânica elevada em comparação ao método de cola térmica em contraponto ao método de rebite permanente que se torna mais trabalhoso em relação a cola térmica pelo seu trabalho e preparação.

No segundo método que estamos utilizando será usado uma cola térmica com resistência a altas temperaturas para a fixação dos materiais onde os materiais seriam alinhados e passado uma camada do material térmico entre os metais e pressionados um contra o outro, assim deixando a cola se curar, garantindo que suas propriedades adesivas e a resistência térmica sejam alcançadas conforme as especificações do fabricante antes de submetê-lo a qualquer tipo de esforço mecânico e térmico.

Com esse método de colagem podemos ter vantagens pela agilidade e a possibilidade de automação do processo podendo ser produzido em massa, assim a curto prazo sendo um melhor custo benefício que o método mais utilizado na atualidade. Já o método de rebite, o processo requer uma preparação um pouco mais rigorosa pois devemos alinhar os rebites de forma que a resistência exercida com a dilatação não rompa os rebites.

Para a construção do protótipo estamos levando em consideração a dilatação dos materiais, isso define a curvatura que a lâmina terá. A lâmina deve se dilatar quando houver corrente excessiva de forma que corte o circuito e volte para a mesma posição quando esfriar. Decidimos usar ferro e latão pelo baixo custo e fácil acessibilidade, a diferença necessária de dilatação térmica, as propriedades dos metais de resistência mecânica e condutividade elétrica, podendo mudar os materiais se necessário em casos específicos.

4.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa desenvolvida sobre lâminas bimetálicas fabricadas por resistência segue uma abordagem quali-quantitativa, onde se analisam tanto os aspectos qualitativos da microestrutura das juntas. Colocaremos sobre fontes de calor variadas, testando de forma prática a resistência das lâminas, para saber a sua duração, quanto a dilatação, os dados quantitativos referentes à resistência das lâminas. Serão avaliadas 2 lâminas com formas de junções distintas para assim, poder ter uma estimativa de qualidade. Estudo adota uma estratégia de exploração para identificar os principais parâmetros de qualidade. Além disso, caracteriza-se como descritivo ao documentar, com detalhes, as propriedades observadas nas lâminas fabricadas.

4.2 FUNÇÃO DOS COMPONENTES

Todos os componentes e as suas funções que serão utilizados para executarmos os métodos de solda.

4.2.1 Ferro

O ferro é o metal base da lâmina bimetálica, escolhido por suas propriedades de resistência mecânica e rigidez. No protótipo, ele confere à lâmina a robustez necessária para suportar forças aplicadas durante o uso, além de proporcionar uma base sólida para a união com o latão.

4.2.2 Latão

O latão, uma liga de cobre e zinco, é o segundo componente metálico da lâmina bimetálica. Ele é selecionado por sua boa condutividade térmica e elétrica, além de ser resistente à corrosão.

4.2.3 Cola Epóxi

Cola Epóxi com uma grande resistência ao calor, terá a função de juntar os dois materiais assim, formando a lâmina bimetálica. Foi escolhida uma cola feita especialmente para a junção de metais e com um grande suporte a temperaturas para que os materiais não se soltem após a dilatação da lâmina causada com a alta temperatura formada pela corrente.

4.2.4 Furadeira

Máquina com o propósito de fazer furações em materiais com uma broca podendo ser fixa em uma estrutura como uma mesa ou móvel. Utilizaremos a furadeira com o objetivo de fazer a preparação necessária para colocar os rebites permanentes na junções dos materiais.

4.2.5 Rebite De Alumínio

Rebite de alumínio podendo ser permanente ou semi-permanente com o diâmetro 3,2mm. Usaremos os rebites para o segundo método de solda onde será juntado os materiais através dos rebites, assim criando uma resistência térmica e mecânica aceitável com um material acessível.

4.2.6 Fogareiro com gás de cozinha

Uma fonte de calor utilizada para esquentar e fazer os testes de dilatação e qualidade nas lâminas bimetálicas.

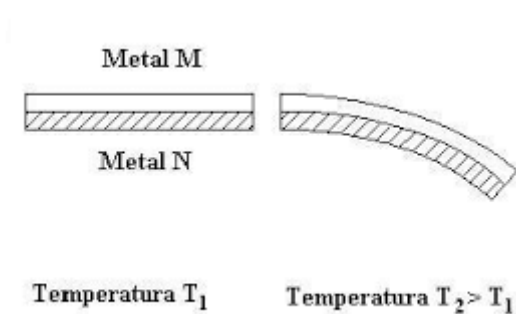
4.2.7 Régua de Metal

Régua de metal com gravação a laser para suportar o calor emitido dos materiais, onde será utilizado para fazer as medições de ângulos da dilatação que se formou sobre as lâminas bimetálicas.

4.3 CONCEITO DO PROTÓTIPO

Com essas informações a lâmina deve se curvar com a temperatura elevada, assim cortando o circuito agindo como um sistema de segurança e voltando ao normal assim que esfriar.

Figura 10 – Dilatação Térmica



Fonte: Brainly (2014)

5 CRONOGRAMA

Tabela 4 - Cronograma

2024	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
Escolha do tema									
Levantamento de literatura científica									
Introdução									
Tema									
Problema									
Objetivos									
Justificativa									
Estado da Arte									
Fundamentação teórica									
Metodologia									
Cronograma									
Recursos									
Resultados esperados ou parciais									
Referências									
Avaliação do CRC									
Produção do Banner									
26ª Exposchmidt									

2025	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Compra de componentes									
Montagem e teste do protótipo									
Análise de Dados									
Resultados									
Revisão de capítulos									
Considerações Finais									
Avaliação do CRC									
Feiras externas									
Produção do Banner									
26ª Exposchmidt									

Fonte: os autores (2025)

6 RECURSOS

Tabela 5 - Recursos

Material	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fonte	Data
Lâmina Chapa Aço 1095 Com 120cm - 1,00mm X 50,80mm	51,90	1	51,90	Mercado Livre	13/09/24
Chapa Latão 1mm X 20cm Largura X 30cm Comprimento	60,00	1	60,00	Mercado Livre	17/09/24
Super Cola Epoxi Uno Alta Temperatura 600°C Marine Kit	65,45	1	65,45	Mercado Livre	17/09/24
Furadeira De Impacto 127v 550w 3/8 10mm The Black Tools Com Acessórios Kit 300 Peças Brocas E Buchas	167,20	1	167,20	Mercado Livre	17/09/24
Rebite Pop Repuxo 310 3,2 X 10 Alumínio 500 Peças	33,25	10	0,66	Mercado Livre	17/09/24
Broca Haste Paralela Din 338 Hss 10mm Mtx 715999	12,75	1	12,75	Mercado Livre	17/09/24
Alicate De Pressão 10 Pol 250mm Mordente Curvo Mtx	24,30	1	24,30	Mercado Livre	22/09/24
Fogareiro Fogao Portatil Rustic Pesca Camping Viagem	68,00	1	68,00	Amazon	17/09/24

Mor					
Gás de Cozinha - 5kg	75,00	1	75,00	Revenda seu gás	17/09/24
Gravação a laser da escala Office Régua reta, pesada e durável Régua de metal, a sensação de espessamento, alta qualidade	19,65	1	19,65	Mercado Livre	17/09/24
Valor final: R\$544,91					

Fonte: os autores (2024)

7 ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho térmico e mecânico de lâminas bimetálicas unidas por dois métodos distintos: cola epóxi resistente a altas temperaturas e rebite de alumínio. A análise foi conduzida por meio de testes com condições de operação térmica, com foco na dilatação diferencial entre os metais constituintes, ferro e latão, e na funcionalidade dos dispositivos de atuação térmica.

7.1 METODOLOGIA

7.1.1 Especificações dos Protótipos:

Materiais utilizados para a realização do protótipo: Ferro e Latão.

Dimensões das chapas:

Largura: 1,5 cm;

Comprimento: 10 cm;

Espessura: 1 mm;

7.1.1.1 Método de Fixação por Rebite:

Foi realizada a união das lâminas por meio de rebites metálicos, com o objetivo de simular o comportamento de uma lâmina bimetálica sob aquecimento.

Temperatura aplicada: ~ 250°C a 300°C;

Tempo até início da dilatação: ~1 minuto;

Resultado observado: Foi registrada uma curvatura de aproximadamente de 1 a 3 mm, indicando que as diferenças nos coeficientes de dilatação térmica entre o ferro e o latão foram adequadamente compensadas pelo sistema de junção. No entanto, após exposição prolongada à fonte de calor, observou-se uma leve deformação no rebite, atribuída ao excesso de temperatura. Apesar disso, não houve comprometimento da solda nem da resistência estrutural do componente.

Conclusão: O método por rebite mostrou-se eficaz, mantendo a integridade da união mesmo sob temperatura elevada, reproduzindo adequadamente o efeito bimetalico esperado.

Figura 11 - Método de Fixação por Rebite



Fonte: Os autores (2025)

7.1.1.2 Método de Fixação por Cola Epoxi:

Na segunda metodologia, as lâminas foram unidas utilizando uma cola epoxi de aço 600 °C.

Resultado observado: A cola uniu uniformemente as lâminas, porém após utilizar uma fonte de calor com aproximadamente 350 a 400 graus, as lâminas não se dilataram como o esperado para realizar um corte de corrente

Conclusão: A cola epóxi agiu como um travamento, se a cola endurecida prende as superfícies muito rigidamente, parte do diferencial de alongamento vira tensões internas em vez de curvatura.

Figura 12 - Método de Fixação por Cola Epóxi



Fonte: Os autores (2025)

As amostras foram submetidas a aquecimento controlado até 350 °C, com monitoramento por termopares e análise óptica da curvatura. Os parâmetros avaliados incluíram dilatação observada, tempo de resposta térmica, curvatura estimada, resistência à fadiga térmica e observações visuais pós-ensaio.

7.2 RESULTADOS

Os testes revelaram diferenças significativas entre os métodos de união. A cola epóxi demonstrou boa resistência térmica inicial, mas restringiu completamente o movimento relativo entre as lâminas, resultando em dilatação quase nula e ausência de curvatura funcional. Em contraste, o rebite de alumínio permitiu micro deslizamentos e acomodação elástica, possibilitando dilatação parcial e curvatura visível, essencial para o funcionamento de dispositivos térmicos.

A tabela a seguir resume os principais resultados experimentais:

Tabela 6 - Resultados

MÉTODO DE UNIÃO	TEMP. DE ENSAIO	DILATAÇÃO OBSERVADA	TEMPO DE RESPOSTA	CURVATURA A ESTIMADA	RESISTÊNCIA À FADIGA	OBSERVAÇÃO VISUAL
COLA EPÓXI	350 °C	≈ 0,02 mm	6 – 8 s	< 1 mm/m	> 100 ciclos	Superfície intacta, sem curvatura perceptível
REBITE DE ALUMÍNIO	350 °C	0,10 – 0,20 mm	4 – 5 s	2 – 4 mm/m	> 500 ciclos	Pequena curvatura observada

						a, sem soldura
--	--	--	--	--	--	-------------------

Fonte: Os autores (2025)

Com base nos coeficientes de expansão linear típicos — aço ($\alpha \approx 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) e latão ($\alpha \approx 19 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) —, a dilatação livre esperada para uma variação térmica de $330\text{ }^\circ\text{C}$ seria de aproximadamente 0,4 mm para o aço e 0,6 mm para o latão. Os valores observados nas amostras com rebite confirmam a possibilidade de deslocamento relativo entre as lâminas, enquanto a cola epóxi atuou como uma barreira rígida, convertendo a expansão térmica em tensões internas.

7.3 DISCUSSÃO

Os resultados indicam que o método de união por rebite é mais adequado para aplicações que dependem da diferença de dilatação entre metais, como fusíveis térmicos e mecanismos de segurança. A cola epóxi, apesar de sua resistência térmica, compromete a funcionalidade ao impedir o movimento diferencial necessário para a atuação térmica.

Do ponto de vista prático e econômico, o rebite apresenta maior custo inicial e demanda por ferramentas específicas, mas oferece durabilidade, estabilidade mecânica e reciclabilidade, sendo ideal para operações seriadas e contínuas. Já a cola epóxi é vantajosa em protótipos e pequenos lotes, devido à sua simplicidade de aplicação e baixo custo, mas não suporta aplicações acima de $350\text{ }^\circ\text{C}$ com eficiência.

7.4 CONCLUSÃO

A comparação entre os métodos de união demonstrou que o rebite de alumínio é a alternativa mais eficiente para lâminas bimetálicas em dispositivos térmicos. Ele proporciona desempenho técnico superior, viabilidade econômica em escala industrial e alinhamento com práticas sustentáveis. A cola epóxi, embora útil em contextos específicos, apresenta limitações que comprometem sua aplicação em ambientes de alta temperatura e exigência funcional.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal desenvolver métodos de soldagem mais simples, eficazes e economicamente viáveis para lâminas bimetálicas, com foco na redução de custos sem comprometer a funcionalidade e a durabilidade dos componentes. Os objetivos específicos incluíram a escolha de metais com alta condutividade elétrica, a comparação de suas propriedades térmicas e mecânicas, e a análise de técnicas de junção acessíveis como rebites de alumínio e cola epóxi.

Durante a pesquisa, todos os objetivos foram abordados com sucesso. A seleção dos materiais, ferro e latão, foi validada por suas propriedades complementares, especialmente no que diz respeito à dilatação térmica. Os métodos alternativos propostos foram testados em protótipos, permitindo uma avaliação prática da viabilidade técnica e econômica. No entanto, não foi possível realizar testes em ambientes industriais reais, o que limita a validação em larga escala.

As principais contribuições deste projeto para a área de estudo incluíram:

A proposição de técnicas de junção de baixo custo que podem ser aplicadas por pequenas e médias indústrias;

A sistematização de dados comparativos sobre dilatação térmica e resistência mecânica dos materiais;

A demonstração de que métodos não convencionais, como cola térmica, podem oferecer desempenho satisfatório em determinadas aplicações.

Esses resultados abrem espaço para futuras pesquisas, como:

Testes de durabilidade em ciclos térmicos prolongados;

Aplicação dos métodos em outros pares de metais;

Desenvolvimento de processos automatizados para aplicação de cola térmica em escala industrial.

Apesar dos avanços, o protótipo apresentou limitações. A fixação por rebites, embora resistente, exige precisão na montagem e pode gerar folgas com o tempo.

Já a cola térmica, embora prática, possui menor resistência a esforços mecânicos intensos. Trabalhos futuros podem explorar técnicas híbridas, como a combinação de cola com reforços mecânicos, ou o uso de adesivos industriais com maior resistência térmica.

Entre as principais lições aprendidas estão:

A importância de validar teorias com testes práticos;

A necessidade de considerar não apenas o desempenho técnico, mas também a viabilidade econômica;

O valor da interdisciplinaridade, unindo conhecimentos de física, engenharia e gestão de projetos.

REFERÊNCIAS

BARUFFI, Guilherme. **ANÁLISE DOS PARÂMETROS DO PROCESSO DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA EM REBITES DE ALUMÍNIO.**

Orientador: Dr. Arnaldo Ruben Gonzalez. 2022. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica , Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em:

<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/240233/001142060.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 set. 2024.

CHAVES, Damien Augusto. **PROJETO DE PRODUÇÃO DE LÂMINAS BIMETÁLICAS POR CO-LAMINAÇÃO.** Disponível em:

<https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/4edac294-2336-4aab-8af9-cb861ef9cc15/DamienAugustoChaves%20TF2010PMT.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.

DUGATO, Danian Alexandre; PINHEIRO, Márcio do Carmo; PAULETTI, Diogo. **A física mais próxima: estudo de sensores residenciais.** Ciências em Foco, Campinas, SP, v. 15, n. 00, p. e022008, 2023. Disponível em:

<https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/cef/article/view/9596>. Acesso em: 11 jun. 2024.

FARIAS, EWERTON S. *et al.* **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PROTEÇÃO UTILIZANDO DISJUNTOR RESIDUAL MONOFÁSICO**

CONTROLADO POR ARDUINO . 2016. TCC (Especialização) - Curso de Sistemas de Controle e Automação, Laboratório de Instrumentação, Sistemas de Controle e Automação (LINSCA) IFPB, campus João Pessoa, Brasil, 2016. Disponível em:

<https://encurtador.com.br/a7Jll>. acesso em: 19 set. 2024.

FREIRE, Felipe Aragão. **Uma análise das práticas e movimentos epistêmicos desenvolvidos em uma aula virtual sobre dilatação térmica.** Disponível em:

https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/enpec/2021/TRABALHO_COMPLETO_EV155_MD1_SA107_ID543_02082021234006.pdf. Acesso em: 12 jul. 2024.

LOPES, Ezequias Ramos; DE SALLES BRASIL, Marcelo Cerqueira. **Importância Dos Dispositivos De Proteção Do Circuito Elétrico Residencial.** Disponível em:

<https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/63817/1/EZEQUIAS%20RAMOS%20LOPES.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2024.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo V.; SANTOS, Dagoberto B. **Introdução à metalurgia da soldagem.** Belo Horizonte: UFMG, 2012. Disponível em:

<https://maiscursoslivres.com.br/cursos/auxiliar-de-servicos-gerais-metalurgicos-apostila04.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2024.

MODENESI, Prof. Paulo J.; MARQUES, Prof. Paulo Villani. **Introdução aos Processos de Soldagem.** 2000. TCC (Especialização) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000. Disponível em:

https://infosolda.com.br/wp-content/uploads/Downloads/Artigos/processos_solda/introducao-aos-processos-de-soldagem.pdf. acesso em: 27 set. 2024.

OLIVEIRA, D.A.A. **Proposta de ensino de dilatação térmica linear utilizando simulação.** 2023. 74 f. Monografia (Licenciatura em Física) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/75218>. Acesso em: 27 ago. 2024.

ROCHA JÚNIOR, EDNALDO GOMES DA. **ESTUDO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UMA BLINDAGEM BALÍSTICA TIPO ADD-ON.** Orientador: Wanderley Ferreira de Amorim Júnior. 2014. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande , Campina Grande, Paraíba, 2014. Disponível em: <https://encurtador.com.br/RqrRU>. Acesso em: 18 set. 2024.

SOUZA, Kellie Provazi de. **A influência do Ferro e do óxido de Cério sobre a condutividade elétrica e a resistência à corrosão do Alumínio Anodizado.** Orientador: Elisabete Jorge Pessine. 2006. Tese (Doutorado) - Curso de Nuclear Technology Materials, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-11062013-095149/publico/2006SouzaA.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2024.