



DESAFIOS NA BRASAGEM DE COMPONENTES DE ALUMÍNIO: UMA ABORDAGEM INTEGRADA ENTRE A ENGENHARIA, A FORMAÇÃO POR COMPETÊNCIAS E A JORNADA DE APRENDIZAGEM

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6006

Autores: GIULIANO CESAR BREDAS DE SOUZA, ALEXANDRE LUIZ ALMEIDA, DIEGO RODRIGUES PINHEIRO, LEANDRO CHAGAS, EDUARDO PERCIAK, A FORMAÇÃO POR COMPETÊNCIAS, A JORNADA DE APRENDIZAGEM

Resumo: A aprendizagem dos alunos do curso de Engenharia Mecânica do UniSENAI/PR foi conduzida com base na metodologia da Jornada de Aprendizagem, aplicada ao estudo da brasagem de alumínio. Essa abordagem transforma o docente em mediador e estimula o protagonismo discente no desenvolvimento de competências técnicas e analíticas. Os alunos realizaram práticas como controle de temperatura, análise metalográfica e ensaio por líquido penetrante, identificando falhas como óxidos e porosidade. Alinhada ao ensino por competências, a proposta promove a integração entre teoria e prática com foco na resolução de problemas reais. A interação com o setor industrial, por meio de entrevistas, visitas e pesquisa de campo, fortaleceu o vínculo entre academia e mercado, evidenciando a eficácia da Jornada de Aprendizagem na formação de profissionais criativos e preparados para os desafios da indústria.

Palavras-chave: Jornada de Aprendizagem, Educação em engenharia, Ensino prático, Formação por competência

DESAFIOS NA BRASAGEM DE COMPONENTES DE ALUMÍNIO: UMA ABORDAGEM INTEGRADA ENTRE A ENGENHARIA, A FORMAÇÃO POR COMPETÊNCIAS E A JORNADA DE APRENDIZAGEM

1 INTRODUÇÃO

Este artigo insere-se no contexto da Educação em Engenharia, abordando a integração entre conteúdos técnicos da área de materiais e metodologias de ensino voltadas ao desenvolvimento por competências. A proposta é discutir, a partir de um estudo aplicado, como a compreensão aprofundada dos desafios da brasagem de alumínio pode ser potencializada por abordagens pedagógicas que promovem a interdisciplinaridade, a autonomia e a atuação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem.

A brasagem, amplamente utilizada na indústria para a união de metais, é particularmente relevante em aplicações que exigem estanqueidade, resistência mecânica e precisão dimensional. No caso específico do alumínio, embora suas propriedades — como leveza e alta condutividade térmica — sejam vantajosas, o processo apresenta dificuldades técnicas relacionadas à formação de óxidos estáveis e à necessidade de controle térmico preciso. Tais características tornam o processo suscetível a falhas, especialmente quando não há o devido controle dos parâmetros técnicos.

Neste trabalho, foram realizados ensaios destrutivos e não destrutivos com foco na identificação de falhas recorrentes em juntas brasadas, principalmente aquelas que comprometem a estanqueidade. A análise dos dados permitiu avaliar a influência de variáveis como a preparação superficial e as tolerâncias dimensionais das peças na qualidade final das uniões.

O estudo foi desenvolvido no âmbito da disciplina Jornada de Aprendizagem, que propõe uma metodologia ativa baseada na integração entre disciplinas do período vigente e conhecimentos previamente adquiridos. Essa abordagem permite que os discentes compreendam, de forma aplicada, os fundamentos da engenharia em conjunto com práticas industriais reais. Nesse cenário, o papel do docente é ressignificado: de transmissor de conteúdo, passa a ser um agente mediador do processo formativo.

Os resultados obtidos contribuem para a melhoria dos processos de fabricação e, simultaneamente, demonstram como a articulação entre prática pedagógica e aplicação técnica pode fortalecer a formação de engenheiros, aproximando o ambiente acadêmico das demandas concretas da indústria.

2 METODOLOGIA

A abordagem metodológica deste estudo contempla tanto a dimensão técnica da engenharia quanto a aplicação de práticas pedagógicas ativas no contexto da formação por competências. A pesquisa foi conduzida de forma aplicada, articulando observações no ambiente industrial, análise laboratorial e desenvolvimento acadêmico em sala de aula. Destaca-se, ainda, a valorização do conhecimento tácito compartilhado por profissionais da indústria, cuja experiência prática contribuiu significativamente para a compreensão dos desafios envolvidos no processo de brasagem e para o alinhamento entre teoria e prática no contexto educacional. Observou-se, entretanto, uma lacuna de conhecimentos formais de engenharia entre os profissionais responsáveis pela execução dos processos no chão de fábrica, o que reforça a importância de integrar saberes empíricos e científicos na formação de engenheiros capazes de atuar de forma crítica e colaborativa em ambientes industriais.

2.1 Estudo de Campo e Levantamento do Problema

A pesquisa de campo foi adotada como estratégia metodológica por permitir o contato direto com a realidade investigada, favorecendo a identificação de variáveis práticas que influenciam a qualidade da brasagem. De acordo com Gil (2008), esse tipo de investigação possibilita observar fenômenos em seu contexto natural, sendo especialmente útil em ambientes industriais.

A primeira etapa do estudo foi conduzida em uma empresa do setor metalmeccânico, onde foram observados processos de brasagem de componentes em alumínio. A observação sistemática, aliada a entrevistas não estruturadas com profissionais da área, permitiu identificar dificuldades operacionais, principalmente relacionadas à estanqueidade das juntas. Essa aproximação favoreceu a incorporação do conhecimento tácito ao diagnóstico técnico-acadêmico.

Como destaca Lakatos e Marconi (2003), a análise empírica em campo contribui para a formação de competências práticas, ao articular teoria e prática no ensino de engenharia. Essa abordagem foi essencial para promover o envolvimento dos estudantes com problemas reais e ampliar sua compreensão sobre os desafios industriais.

2.2 Integração Acadêmica e Definição de Métricas

A integração acadêmica é fundamental na formação do engenheiro, promovendo a articulação entre teoria, prática e demandas do setor produtivo. Como destacam Cavalcante et al. (2017), a vivência em projetos integradores e a aproximação com a indústria favorecem o desenvolvimento de habilidades técnicas e comportamentais essenciais para a prática profissional.

As informações coletadas em campo foram integradas à disciplina Jornada de Aprendizagem, onde, com base nos dados obtidos, foi promovido um debate em sala de aula para formular, em conjunto com os estudantes, métricas de análise para avaliar a qualidade das juntas brasadas. Essa etapa buscou estimular o raciocínio crítico e o protagonismo dos alunos, favorecendo a conexão entre teoria e prática, como enfatizam Alencar e Hiluy Filho (2021), ao promover um ambiente de aprendizagem colaborativo e contextualizado.

2.3 Fundamentação Técnica

A fundamentação técnica é essencial para a compreensão e a aplicação correta de processos de união metálica, como a brasagem, que exige um controle rigoroso das variáveis envolvidas. Segundo Ryu et al. (2014), a brasagem de alumínio, embora vantajosa pela sua leveza e condutividade térmica, apresenta desafios específicos devido à formação de óxidos na superfície do material e à necessidade de temperaturas controladas para evitar falhas. Além disso, conforme Silva e Costa (2019), a escolha de fluxos adequados e a preparação da superfície são fatores críticos para garantir a qualidade das juntas brasadas, uma vez que influenciam diretamente a resistência mecânica e a estanqueidade das uniões.

Em paralelo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em fontes acadêmicas e normativas, com o intuito de embasar tecnicamente as decisões tomadas no projeto. Essa pesquisa focou especialmente nos parâmetros de brasagem, tipos de falhas esperadas e nos métodos de inspeção mais adequados para juntas em ligas de alumínio, fornecendo o suporte necessário para a escolha dos melhores procedimentos técnicos a serem aplicados no estudo.

2.4 Análise Experimental e Escolha dos Ensaios

A etapa laboratorial foi precedida por uma discussão técnica sobre os tipos de ensaios mais adequados para a investigação das falhas observadas. Essa escolha foi fundamentada em critérios técnicos estabelecidos durante as aulas, com base na bibliografia consultada e na experiência prática relatada na indústria. A seleção dos métodos considerou tanto a

natureza do material quanto os tipos de defeitos que poderiam comprometer a estanqueidade e a integridade das juntas brasadas, conforme abordado por Ferreira (2012), que destaca a importância de alinhar os métodos de ensaio às características do processo e do material envolvido.

Foram, então, realizados ensaios destrutivos e não destrutivos, com foco na identificação de disfunções recorrentes no processo de brasagem. Entre os métodos aplicados, destacam-se:

- Ensaio por líquido penetrante, utilizado para detecção de trincas e descontinuidades superficiais;
- Análise metalográfica, voltada à observação da microestrutura e da interface de união;
- Espectrometria de emissão óptica, aplicada para avaliação da composição química do material de base, visando à sua identificação e à classificação da soldagem;
- Verificação dimensional das folgas pré-brasagem, com uso de instrumentos de medição, garantindo condições ideais para o efeito de capilaridade necessário à brasagem.

Esses ensaios foram selecionados e validados com base em critérios técnicos discutidos em sala, proporcionando aos estudantes uma experiência aplicada de correlação entre teoria e prática. Os resultados obtidos foram utilizados como ponto de partida para análise crítica e construção de soluções voltadas à melhoria do processo produtivo observado.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção, serão discutidos os princípios teóricos que sustentam os ensaios realizados e as práticas de brasagem, alinhando a pesquisa acadêmica com as demandas do setor industrial. A fundamentação técnica envolve a compreensão dos fatores que afetam diretamente a qualidade da brasagem, incluindo preparação da superfície, controle de temperatura, tolerâncias dimensionais e composição química dos materiais envolvidos. As reflexões e conclusões aqui apresentadas foram construídas no contexto da Jornada de Aprendizagem, favorecendo o desenvolvimento prático e crítico dos alunos frente aos desafios propostos.

3.1 Jornada de Aprendizagem

A Jornada de Aprendizagem transforma o papel do docente, que passa de transmissor de conteúdo a mediador do processo educativo, promovendo o protagonismo discente. Essa abordagem valoriza a intencionalidade pedagógica, considerando os conhecimentos prévios, as experiências e as práticas locais dos alunos. O processo de construção do conhecimento acontece por meio de etapas interligadas: aquisição, interpretação, análise, organização e comunicação da informação, sempre orientadas pela resolução de problemas reais. A culminância da jornada ocorre em momentos como a Estação "Hora de Falar", onde os estudantes apresentam suas soluções em formato de *pitch*, promovendo não apenas a aplicação técnica dos conteúdos, mas também competências como autonomia, trabalho em equipe e comunicação eficaz.

A interação com o setor produtivo é parte essencial dessa metodologia, pois fortalece o vínculo entre a comunidade acadêmica e a indústria. Através de parcerias com sindicatos e empresas, os alunos são expostos a desafios reais que exigem diagnósticos, planejamento e soluções viáveis para problemas concretos. Essa vivência promove um aprendizado significativo, capaz de contribuir para transformações no ambiente industrial. A última etapa

da jornada, chamada "Próximo Desafio", envolve a entrega final do projeto com base nos feedbacks recebidos, reforçando o ciclo contínuo de desenvolvimento das competências técnicas e cognitivas necessárias ao futuro engenheiro.

No curso de Engenharia Mecânica do UniSENAI/PR, essa proposta pedagógica é incorporada como estratégia estruturante, alinhada às Diretrizes Curriculares Nacionais. O processo de ensino-aprendizagem inclui oficinas, seminários, visitas técnicas, estágios e projetos de iniciação científica, além da exposição a problemas reais da indústria. Com isso, busca-se formar profissionais que dominem conteúdos técnicos e apresentem postura crítica, capacidade de inovação e atuação colaborativa. As metodologias utilizadas conduzem o aluno a reconhecer a relevância do aprendizado, promovendo o desenvolvimento de habilidades para a resolução criativa de desafios complexos, a partir de um processo formativo sólido, reflexivo e conectado com o mercado de trabalho.

3.2 Preparação da Superfície e Controle de Oxidação

A brasagem de alumínio, devido à sua alta reatividade com o oxigênio, exige um controle rigoroso da preparação superficial. A formação de óxidos no alumínio pode interferir na aderência do material de brasagem e, conseqüentemente, comprometer a qualidade da união. Ferreira (2012) destaca que a remoção completa de óxidos é essencial para garantir uma boa fusão durante o processo. Isso pode ser feito por meio de tratamentos químicos ou mecânicos para garantir que a superfície do alumínio esteja limpa e livre de impurezas, como óxidos e contaminantes. Outros autores, como Silva e Costa (2019), também destacam a importância de controlar a espessura dos óxidos formados, pois eles podem agir como barreiras à fusão do material de brasagem, comprometendo a qualidade da junta.

3.3 Controle da Temperatura de Brasagem

O controle preciso da temperatura durante o processo de brasagem é um dos fatores mais críticos para garantir a qualidade das juntas. Segundo Silva e Costa (2019), a brasagem do alumínio exige que o material atinja temperaturas específicas para promover a fusão do metal de brasagem sem comprometer a integridade do substrato de alumínio. Temperaturas inadequadas podem levar à fusão incompleta ou ao superaquecimento da peça, resultando em juntas fracas ou com defeitos estruturais. Goulart (2016) e Martins (2014) reforçam que o controle térmico também impacta a microestrutura do material, podendo gerar tensões residuais que comprometem a resistência da união, se não forem bem controladas.

3.4 Composição Química dos Materiais de Brasagem

A formação de juntas de brasagem de alta qualidade depende criticamente da escolha da composição química dos materiais envolvidos. A determinação precisa da composição do material base, facilitada por técnicas como a espectrometria de emissão óptica (OES), é essencial para otimizar o processo. Trabalhos anteriores, como os de Ryu et al. (2014), Andrade (2015) e Pereira et al. (2017), sublinham a influência da composição e da presença de impurezas na fusão do alumínio e na integridade da junta.

3.5 Tolerâncias Dimensional e Folgas para Brasagem

A AWS C3.4M/C3.4:2007 especifica as tolerâncias dimensionais para juntas brasadas, enfatizando a importância das folgas adequadas para garantir a capilaridade durante a brasagem. A correta especificação das folgas entre as peças a serem unidas permite que o material de brasagem se espalhe uniformemente, preenchendo as lacunas e garantindo uma união forte e estanque. Lima (2011) e Carvalho (2018) sugerem que folgas inadequadas podem resultar em defeitos como a infiltração de gases ou vazamentos nas juntas, enquanto Castro et al. (2015) indicam que uma folga muito grande pode gerar falhas de fusão e diminuir

a resistência da junta. Se as folgas forem muito grandes ou pequenas, o processo de brasagem pode ser comprometido, resultando em defeitos como falhas de aderência ou pontos fracos nas juntas.

3.6 Ensaio por líquido penetrante

O ensaio por líquido penetrante é uma técnica de inspeção não destrutiva amplamente utilizada para a detecção de descontinuidades superficiais em materiais metálicos, especialmente aqueles com alta condutividade térmica, como o alumínio. De acordo com Silva et al. (2020), o processo envolve a aplicação de um líquido colorido ou fluorescente sobre a superfície do material, que penetra nas descontinuidades abertas. Após um período de aplicação, o excesso de líquido é removido, e um revelador é aplicado para realçar as falhas.

Outro estudo relevante de Rocha e Ferreira (2021) destaca que a técnica é eficaz para detectar trincas finas e porosidades em materiais com superfícies porosas, como as ligas de alumínio. Eles enfatizam que a qualidade da preparação da superfície e a escolha do líquido penetrante são fatores determinantes para o sucesso do ensaio.

3.7 Análise Metalográfica

A análise metalográfica é uma ferramenta essencial para estudar a microestrutura de materiais metálicos, oferecendo informações cruciais sobre as propriedades mecânicas e de resistência das juntas brasadas. Segundo Oliveira et al. (2022), essa técnica envolve a preparação da amostra para observação em microscópio, permitindo a visualização das fases do material, como a formação de precipitados, grãos e descontinuidades. No caso das juntas brasadas de alumínio, a análise metalográfica é fundamental para avaliar a formação de falhas na interface entre os metais base e o material de brasagem.

De acordo com Souza e Silva (2020), a análise metalográfica permite identificar os efeitos do processo térmico e o comportamento da interface de união, o que é especialmente importante em processos como a brasagem, onde o controle térmico é essencial para garantir a qualidade das uniões.

3.8 Espectrometria de emissão óptica

A obtenção de uniões brasadas com alta qualidade e desempenho está diretamente relacionada à seleção criteriosa da composição química dos materiais envolvidos no processo. A análise precisa da constituição elementar do metal base, viabilizada por técnicas avançadas como a espectrometria de emissão óptica (OES), é fundamental para a otimização dos parâmetros de brasagem (Ryu et al., 2014). Essa técnica permite identificar e quantificar os elementos presentes na liga, fornecendo informações essenciais para a escolha adequada do material de adição e para o controle de variáveis críticas, como temperatura e tempo, com o objetivo de garantir a formação de uma interface metalúrgica coesa e resistente.

Estudos como os de Andrade (2015) e Pereira et al. (2017) destacam a influência significativa de elementos específicos e de impurezas no comportamento de fusão do alumínio, afetando diretamente a integridade mecânica da junta brasada. A compatibilidade química entre o metal base e o material de brasagem, assim como a ausência de contaminantes que possam comprometer a molhabilidade e a qualidade da ligação, são fatores determinantes para o sucesso do processo e para a obtenção de propriedades finais satisfatórias na união.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os alunos registraram o processo de pré-aquecimento do componente e posteriormente da brasagem conforme apresentado na Figura 1 e, posteriormente, chegaram

à conclusão, com base na literatura e na troca de experiências, de que há uma lacuna importante no controle de temperatura. Embora o processo dependa da experiência do soldador, os estudantes identificaram que a falta de um controle mínimo de temperatura pode comprometer a qualidade e a segurança do procedimento, sugerindo que um controle mais rigoroso seria necessário para garantir resultados consistentes.

Figura 1 – Pré-aquecimento e brasagem.



Fonte: Os autores (2024)

O controle preciso da temperatura durante o processo de brasagem é um dos parâmetros que contribuem para a boa execução da operação. A brasagem do alumínio, por exemplo, exige que o material atinja temperaturas entre 580 °C e 620 °C para promover a fusão do metal de brasagem sem comprometer a integridade do substrato de alumínio. Temperaturas inadequadas podem levar à fusão incompleta ou ao superaquecimento da peça, resultando em juntas fracas ou com defeitos estruturais. Além disso, o uso de oxiacetileno pode gerar uma chama muito quente, o que, se não controlado, pode causar oxidação excessiva da peça. O alumínio forma uma camada de óxido de alumínio (Al_2O_3) em sua superfície, que é bastante resistente, mas também dificulta a aderência do metal de brasagem. Se a temperatura não for controlada adequadamente, essa camada de óxido pode se tornar mais espessa, dificultando o processo de brasagem e comprometendo a qualidade da junta.

Como parte do processo construtivo do conhecimento, os alunos concluíram que seria necessário realizar um ensaio não destrutivo para verificar a qualidade da junta brasada. Essa decisão foi tomada após consulta à bibliografia técnica e com base na orientação do professor da disciplina, considerando os fundamentos da engenharia aplicados ao contexto da atividade. Dentre as alternativas analisadas, identificaram que o ensaio de Líquido Penetrante (LP) seria o mais apropriado neste momento, por sua eficácia na detecção de descontinuidades superficiais, como poros e trincas.

O ensaio foi então aplicado na região da brasagem, seguindo os procedimentos recomendados: limpeza da superfície, aplicação do líquido penetrante, remoção do excesso e posterior aplicação do revelador. O teste confirmou a presença de porosidade na amostra, validando a necessidade do uso de métodos de inspeção para a identificação de defeitos que não seriam visíveis a olho nu. A Figura 2 apresenta o resultado do teste de LP.

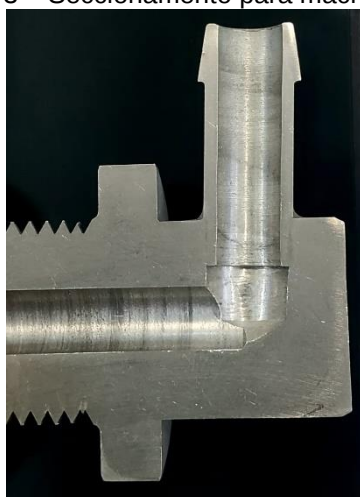
Figura 2 – Ensaio de Líquido penetrante.



Fonte: Os autores

Após a identificação do problema por meio do ensaio de LP, os alunos seguiram para a próxima etapa de análise e, de acordo com a discussão em sala, foi realizado o ensaio destrutivo de metalografia na região onde foi localizado o defeito. A Figura 3 apresenta a área que foi seccionada para análise macrográfica.

Figura 3 – Seccionamento para macrografia.



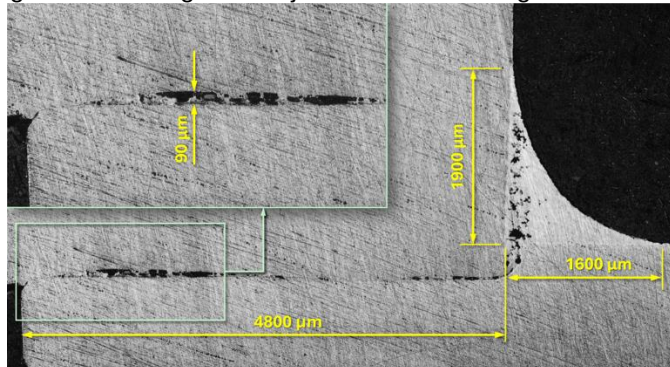
Fonte: Os autores

A análise metalográfica foi conduzida com o objetivo de avaliar a microestrutura da junta brasada e identificar possíveis descontinuidades geradas durante o processo. Após o preparo metalográfico convencional — que incluiu etapas de lixamento, polimento e ataque químico adequado à liga de alumínio — foi possível observar características da interface entre o metal base e o material de brasagem. As imagens obtidas em microscópio óptico revelaram regiões com possível presença de porosidade e descontinuidades internas, indícios que corroboram as dificuldades associadas à ausência de controle preciso de temperatura e à atuação da camada de óxido de alumínio (Al_2O_3) durante a brasagem. A análise estrutural também permitiu examinar a uniformidade da zona de união e a ocorrência de segregações, oferecendo subsídios adicionais para compreender a qualidade metalúrgica da junta.

A análise revelou porosidades na junta brasada, com extensão de 190 μm . A área onde a brasagem deveria ocorrer tem 4.800 μm por 90 μm , porém o metal de adição não alcançou essa região. Além disso, foram observados problemas dimensionais na montagem pré-soldagem, com áreas sem folga. Essas falhas comprometem a união, afetando propriedades como estanqueidade e resistência.

Esses defeitos podem ser causados pela falta de controle da temperatura, formação de óxidos de alumínio (Al_2O_3) e ausência de proteção atmosférica. A Figura 4 mostra a micrografia da região brasada, evidenciando as porosidades e a geometria da folga.

Figura 4 – Micrografia da junta brasada em liga de alumínio.



Fonte: Os autores (2024)

Em complemento foi determinada a composição da amostra por meio da técnica de OES, com o uso de do equipamento SPECTROLAB. Os resultados quantitativos para cada elemento identificado na liga estão apresentados na Tabela 1. A análise por OES possibilitou a identificação precisa dos constituintes da liga e suas respectivas concentrações percentuais, fornecendo subsídios para a caracterização do material, bem como para a análise de suas propriedades.

Tabela 1 - Coeficientes de rendimento dos alunos no período 2000-2002.

Elemento	Porcentagem (%)
Silício (Si)	1,62
Ferro (Fe)	0,34
Cobre (Cu)	0,08
Manganês (Mn)	0,49
Magnésio (Mg)	0,800
Zinco (Zn)	0,04
Níquel (Ni)	0,01
Cromo (Cr)	0,009
Chumbo (Pb)	0,010
Estanho (Sn)	0,004
Titânio (Ti)	0,036
Alumínio (Al)	96,55

Fonte: Os autores (2024)

A análise química da amostra revelou uma composição predominantemente formada por alumínio, com teores significativos de silício (1,62%) e magnésio (0,800%), sugerindo uma possível classificação na série 6XXX de ligas Al-Mg-Si. Apesar do teor de silício estar acima das faixas típicas de ligas amplamente utilizadas, como as 6061, 6082 e 6351, esse enriquecimento pode indicar uma adaptação da liga visando maior fluidez, característica desejável em processos como a brasagem. A literatura aponta que o silício favorece a molhabilidade nas ligas de alumínio, enquanto a presença de magnésio, comum nessa série, exige a aplicação de fluxos adequados para a remoção eficaz de óxidos e garantia da qualidade da junta.

5 DISCUSSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante as aulas, foram discutidos os resultados dos testes realizados sobre o processo de brasagem de alumínio, com base nas bibliografias e nas práticas recomendadas pelas normas técnicas. A partir desses estudos, os alunos chegaram à conclusão de que a qualidade da brasagem pode ser significativamente aprimorada por meio de uma série de práticas essenciais.

O alumínio, ao formar uma camada de óxido (Al_2O_3) quando exposto ao ar, cria um obstáculo para a aderência do material de adição durante o processo de brasagem. Essa camada de óxido, com ponto de fusão em torno de 2.050°C , deve ser removida adequadamente, visto que o alumínio metálico funde a aproximadamente 660°C , tornando a remoção do óxido por aquecimento inviável. Para garantir a eficiência da brasagem, os alunos destacaram a importância da limpeza da superfície.

A limpeza deve ser realizada por meio de escovação com escovas de aço inoxidável ou lixamento leve, seguida de limpeza química com solventes como acetona ou álcool isopropílico, e aplicação de soluções específicas para alumínio. Após essa etapa, é essencial realizar o enxágue com água deionizada e a secagem completa das peças.

No que tange ao controle da temperatura, o uso de pirômetro foi recomendado como uma ferramenta indispensável. Ele garante que a temperatura atinja a faixa ideal para a fusão do material de adição, sem ultrapassar o ponto de fusão do alumínio. Esse controle rigoroso contribui para a qualidade das juntas metálicas e evita sobreaquecimento e falhas durante o processo.

A análise dos resultados obtidos nos ensaios evidenciou desafios substanciais na brasagem de componentes de alumínio, destacando, principalmente, o controle de temperatura, a formação de óxidos (Al_2O_3) e a ocorrência de porosidade nas juntas. A capacidade dos alunos em identificar e interpretar esses problemas foi profundamente impactada pela metodologia da Jornada de Aprendizagem, que estrutura o processo educacional em etapas interligadas de aquisição, interpretação, análise, organização e comunicação da informação, sempre orientadas pela resolução de problemas concretos.

A fase inicial de imersão no contexto industrial, por meio de pesquisa de campo e entrevistas com profissionais da área, proporcionou um aprendizado prático essencial para a compreensão dos desafios reais da brasagem. Esse contato direto com a indústria alimentou a etapa de interpretação, em que os alunos passaram a relacionar as observações empíricas com os conceitos teóricos adquiridos.

A experimentação laboratorial subsequente, com a execução de ensaios de líquido penetrante e análise metalográfica, representou um momento importante para a análise dos problemas encontrados. Ao confrontarem a teoria com os resultados práticos, os alunos foram capazes de visualizar e compreender as manifestações das falhas identificadas no ambiente industrial.

As discussões em sala de aula e a orientação docente desempenharam um papel fundamental ao estabelecer conexões entre as observações realizadas e os princípios da brasagem, assim como as propriedades do alumínio. Esses momentos de troca de ideias permitiram aos alunos aprofundar sua compreensão dos fenômenos observados e aprimorar sua capacidade analítica.

Como resultado desse processo formativo, os estudantes, com base na pesquisa e na discussão dos resultados obtidos, demonstraram compreensão dos aspectos técnicos envolvidos no processo de brasagem e desenvolveram a capacidade de relacioná-los à resolução de problemas reais da indústria. Assim, evidencia-se que a Jornada de Aprendizagem, ao integrar teoria, prática e contexto, constitui uma metodologia eficaz para a

formação de engenheiros capazes de atuar em cenários complexos e dinâmicos, promovendo a construção de competências técnicas e analíticas de forma significativa.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, Cely Martins; HILUY FILHO, João José (Org.). **Integração acadêmica e tecnológica nas engenharias: experiências em ensino e aprendizagem**. Fortaleza: INESP, 2021. Disponível em: <https://www.al.ce.gov.br/publicacoes-inesp/downloads/pelo-id/1490>. Acesso em: 11 abr. 2025.

ANDRADE, M. A. **Influência da composição química nas propriedades das ligas de alumínio utilizadas em processos de brasagem**. Revista Brasileira de Materiais, v. 20, n. 3, p. 45–52, 2015.

ASM INTERNATIONAL. **ASM Handbook: Volume 2 – Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. 10. ed. Metals Park: ASM International, 1990.

CARVALHO, R. F. (2018). **Controle de Processos de Soldagem e Brasagem: Teoria e Prática na Indústria**. 1. ed. Porto Alegre: Editora Bookman.

CASTRO, A. P.; MACHADO, F. A.; LIMA, E. F. (2015). **Estudo das Folgas de Brasagem: Impactos no Processo de Soldagem de Alumínio**. Journal of Welding Technology, 64(5), 240-249. <https://doi.org/10.1061/j.weldtech.2015.05.003>

CAVALCANTE, Antonio Paulo de Hollanda; ALENCAR, Cely Martins Santos de; CASTRO, Helano de Sousa; HILUY FILHO, João José; FERNANDES, Carlos Estêvão Rolim. **A integração acadêmica e tecnológica na formação do engenheiro do Centro de Tecnologia da UFC**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA – COBENGE, 45., 2017, Joinville. ABENGE, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/60869>. Acesso em: 11 abr. 2025.

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI – UNISENAI. **Projeto Pedagógico do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica**. Curitiba: UniSENAI, 2023.

FERREIRA, J. C. **Ensaio dos materiais: fundamentos teóricos e práticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

FERREIRA, J. P. (2012). **Tecnologia de Soldagem: Processos e Materiais**. 4. ed. São Paulo: Editora Blucher.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOULART, D. B. (2016). **Fundamentos de Processos de Fabricação e Soldagem: Teoria e Prática**. 2. ed. São Paulo: Editora Pearson.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LIMA, L. C. (2011). **Influência das Tolerâncias Dimensionais nas Juntas de Soldagem e Brasagem**. Revista Brasileira de Engenharia Mecânica, 33(2), 185-195. <https://doi.org/10.1590/S0104-05982011000200008>

MARTINS, A. S. (2014). **Aquecimento e Controle Térmico na Soldagem e Brasagem de Metais**. 1. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos.

OLIVEIRA, C. L.; PEREIRA, M. S.; FONSECA, J. A. (2022). **Estudo Metalográfico de Juntas Brasadas em Alumínio: Efeitos do Processamento Térmico**. Materials Science and Engineering Journal, 70(1), 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.msej.2022.04.005>

PEREIRA, J. S.; ALMEIDA, R. M.; SOUZA, D. F. (2017). **Influência de Impurezas na Qualidade da Brasagem de Alumínio**. Revista Brasileira de Soldagem, 53(4), 489-497. <https://doi.org/10.1590/0104-9224.2017.53.04.489>

PEREIRA, L. C.; SANTOS, D. F.; OLIVEIRA, T. R. **Estudo da brasagem em ligas de alumínio: influência das impurezas e da molhabilidade**. Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, Curitiba, 2017.

ROCHA, L. F.; FERREIRA, A. B. (2021). **Aplicações e Avanços no Ensaio por Líquido Penetrante em Ligas de Alumínio**. Journal of Nondestructive Testing, 42(3), 250-259. <https://doi.org/10.1016/j.jndt.2021.05.002>

RYU, H. W.; LEE, S. H.; KIM, Y. H. **Effect of base metal composition on brazing behavior and mechanical properties of aluminum joints**. Journal of Materials Processing Technology, v. 214, n. 4, p. 912–919, 2014.

RYU, S. et al. **Brazing of aluminum and its alloys: a review**. Journal of Materials Processing Technology, v. 214, n. 6, p. 1222-1231, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.12.013>.

SILVA, J. A.; MORAES, F. S.; COSTA, M. P. (2020). **Análise de Eficiência do Ensaio por Líquido Penetrante em Materiais Metálicos**. Revista de Engenharia de Materiais, 37(4), 110-118. <https://doi.org/10.1590/0123456789>

SILVA, L. A.; COSTA, A. A. (2019). **Processos de Soldagem e Brasagem: Teoria e Aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC.

SILVA, L. A.; COSTA, A. S. **Aspectos críticos na brasagem de ligas de alumínio**. Revista Brasileira de Soldagem, v. 67, n. 2, p. 184-192, 2019. Disponível em: <https://www.rbsa.org.br>. Acesso em: 11 abr. 2025.

SOUZA, R. L.; SILVA, T. P. (2020). **Análise Metalográfica de Juntas Brasadas: Implicações nas Propriedades Mecânicas**. Journal of Welding and Materials, 28(4), 302-312. <https://doi.org/10.1016/j.jwm.2020.01.008>

