



**SOCIEDADE EDUCACIONAL GARDINGO LTDA. – SOEGAR  
CENTRO UNIVERSITÁRIO VÉRTICE - UNIVÉRTIX**

**TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ENGENHARIA MECÂNICA – 2024/02**



**COORDENAÇÃO DE CURSO: PROF. ESP. MATEUS ZANIRATE DE MIRANDA  
PROFESSORA RESPONSÁVEL: PROF<sup>A</sup>. M. SC. RENATA APARECIDA FONTES**

**MATIPÓ, 2024**

## TRABALHOS PRESENTES NESTE VOLUME

AVALIAÇÃO DA DISTÂNCIA DE FRENAGEM DOS SISTEMAS DE FREIO VEICULAR: ABS E NÃO ABS

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM GTAW E SMAW EM AÇO ASTM-A36

COMPARAÇÃO ENTRE FERRAMENTAS DE AÇO RÁPIDO E METAL DURO NO PROCESSO DE TORNEAMENTO EXTERNO DE EIXO EM AÇO SAE 1045

# **AValiação DA DISTância DE Frenagem DOS SISTEMAS DE FREIO VEICULAR: ABS E NÃO ABS**

**Acadêmicos:** Gabriel Gomes Coelho Pereira, Pedro Henrique Acipreste Costa

**Orientador:** Michel Pedrosa Machado

**Linha de Pesquisa:** Fabricação e Projeto Mecânico.

## **RESUMO**

Este estudo teve como objetivo analisar a eficácia do sistema de freio antibloqueio (ABS) na redução da distância de frenagem em diferentes condições de carga do veículo. Foram realizados testes de frenagem em veículos equipados com e sem sistema ABS em três diferentes condições de carga: apenas motorista, motorista e um passageiro, e motorista e dois passageiros. A distância de frenagem foi medida em cinco repetições para cada condição. Os resultados demonstraram que os veículos com sistema ABS apresentaram uma menor distância de frenagem em todas as condições testadas, em comparação com os veículos sem esse sistema. Além disso, foi observado um aumento na distância de frenagem conforme o acréscimo de passageiros no veículo, tanto para veículos com ABS quanto para veículos sem ABS. Este estudo destaca a importância do sistema ABS na melhoria da segurança veicular, fornecendo evidências sobre sua eficácia na redução da distância de frenagem em diferentes situações de carga do veículo. Esses resultados contribuem para o desenvolvimento de políticas e tecnologias voltadas para a prevenção de acidentes de trânsito e para a promoção da segurança nas vias públicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** sistema de freio antibloqueio (ABS); distância de frenagem; segurança veicular; carga do veículo; prevenção de acidentes.

## **1 INTRODUÇÃO**

O sistema de freio veicular com *Antilock Braking System*, conhecido como ABS (Sistema de Antibloqueio de Freio), é uma tecnologia de segurança avançada projetada para evitar o bloqueio das rodas durante a frenagem brusca. Quando o condutor aciona os freios de forma intensa, o ABS regula automaticamente a pressão de frenagem em cada roda, permitindo que elas continuem a girar e mantendo o controle direcional do veículo. Essa tecnologia é amplamente reconhecida por sua eficácia em reduzir a distância de frenagem e minimizar o risco de derrapagens e perda de controle do veículo (Abeid; Tort, 2014; Dutra *et al.*, 2020; Moore, 2014).

Por outro lado, os veículos sem ABS operam com um sistema de freio convencional, no qual a pressão de frenagem é aplicada igualmente em todas as rodas. Quando o condutor aciona os freios bruscamente, há o risco de as rodas travarem, resultando em derrapagens e perda de aderência ao solo. Isso pode aumentar significativamente a distância de frenagem e comprometer a capacidade de

manobra do veículo, especialmente em condições de pista escorregadia. A ausência do sistema ABS pode impactar negativamente a segurança do veículo e dos ocupantes, tornando-o mais suscetível a acidentes em emergências (Bernardino, 2023; Borba *et al.*, 2016; Diniz, 2021).

O aumento nos acidentes de trânsito e a busca por avanços em segurança veicular tornam urgente a avaliação dos sistemas de freio. Este estudo é relevante em razão da gravidade dos acidentes e pela necessidade de soluções que reduzam seus efeitos. A motivação do pesquisador vem de experiências pessoais e da demanda global por melhorias na segurança nas estradas.

Estudos abordam diferentes aspectos dos sistemas de freios veiculares, desde sua eficiência até seu impacto na segurança viária; ainda persiste uma lacuna significativa no que concerne à comparação direta da distância de frenagem entre veículos equipados com ABS e aqueles desprovidos desse sistema. Embora tenham sido realizadas pesquisas abrangentes sobre a eficácia do ABS em evitar o travamento das rodas durante a frenagem e sua contribuição para a redução de acidentes (Dutra *et al.*, 2020; Gioria, 2008), a avaliação específica da diferença na distância de parada entre veículos com e sem ABS é uma área que ainda carece de investigação aprofundada.

Essa lacuna de pesquisa é particularmente relevante considerando-se a importância crítica da distância de frenagem na segurança veicular. Estudos anteriores demonstraram que uma menor distância de parada pode ter um impacto substancial na capacidade de evitar colisões e reduzir a gravidade dos acidentes (Silva *et al.*, 2017; Viveros, 2010).

Ao preencher essa lacuna na literatura científica, este estudo visa a contribuir para o avanço do conhecimento sobre a eficácia dos sistemas de freios veiculares na prevenção de acidentes de trânsito. Além disso, fornecerá informações relevantes para fabricantes de veículos, legisladores e outros profissionais envolvidos no desenvolvimento e regulamentação de tecnologias automotivas, potencialmente influenciando futuras políticas de segurança viária (Costa, 2023; Silva, 2021).

Contudo, tem-se a seguinte questão norteadora: qual a distância de frenagem em veículos equipados com sistema de freio ABS e não ABS? O objetivo deste estudo foi avaliar a distância de frenagem em veículos equipados com sistemas de freio ABS e não ABS.

A distância de frenagem é essencial para a segurança veicular, pois influencia a capacidade de evitar colisões e de mitigar a gravidade dos acidentes. O sistema ABS ajuda a impedir o travamento das rodas durante a frenagem, o que pode reduzir a distância necessária para parar o veículo em situações de emergência.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

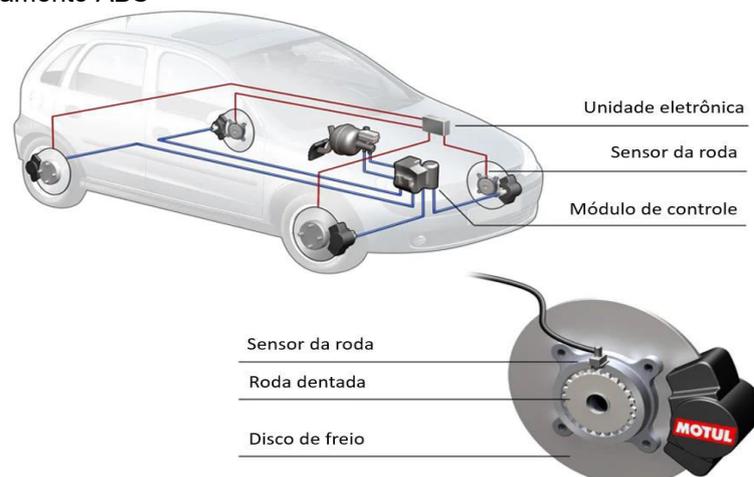
### 2.1 Funcionamento do sistema freio ABS

O funcionamento do sistema de freio ABS (*Antilock Braking System*) é fundamental para a compreensão de sua eficácia na redução de acidentes automotivos. O ABS opera detectando o bloqueio das rodas durante a frenagem e modulando a pressão hidráulica nos freios de cada roda de forma independente. Essa ação permite que as rodas continuem girando, mantendo o controle direcional do veículo e reduzindo a distância de frenagem em situações de emergência (Dutra *et al.*, 2020; Moore, 2014; Silva, 2021).

Durante a operação do ABS, sensores monitoram a velocidade de rotação de cada roda e enviam sinais para uma unidade de controle eletrônico. Essa unidade processa as informações recebidas e determina a necessidade de ajuste na pressão de frenagem em cada roda. Em seguida, válvulas solenoides são acionadas para controlar a pressão hidráulica nos circuitos de freio, impedindo o travamento das rodas e mantendo a aderência ao solo (Amaral, 2019; Mocellin, 2017).

A Figura 1 ilustra os componentes fundamentais para o funcionamento do sistema ABS.

Figura 1 - Funcionamento ABS



Fonte: Bernardino (2023)

O sistema de freio ABS é projetado para funcionar em conjunto com outros sistemas de segurança veicular, como o controle de estabilidade e distribuição

eletrônica de frenagem, proporcionando uma resposta coordenada e eficaz em situações de risco (Toresan Jr, 2010). Essa integração de tecnologias contribui para a melhoria da segurança no trânsito e para a redução do número de acidentes causados por perda de controle do veículo durante a frenagem (Borba *et al.*, 2016; Silva, 2017; Viveros, 2010).

A atuação conjunta desses sistemas é especialmente importante em situações em que o veículo enfrenta condições adversas de aderência, em piso molhado ou escorregadio. Nessas circunstâncias, o ABS evita o travamento das rodas, enquanto o controle de estabilidade atua para corrigir a trajetória do veículo e manter sua estabilidade direcional (Silva, 2017).

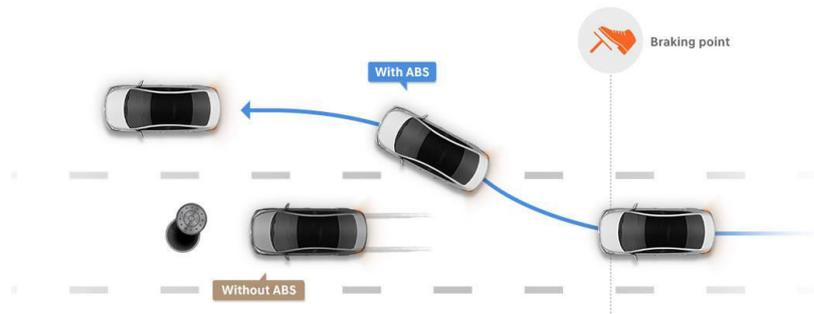
Estudos demonstram que essa integração de sistemas de segurança veicular contribui significativamente para a redução do número de acidentes causados por perda de controle durante a frenagem, proporcionando uma maior confiança ao condutor e uma resposta mais previsível do veículo em emergências (De Borba *et al.*, 2016; Viveros, 2010).

## 2.2 Eficácia na redução de acidentes

A eficácia do sistema de freio ABS na redução de acidentes automotivos tem sido extensivamente estudada e documentada na literatura científica. Estudos indicam que o ABS contribui significativamente para a redução do número de colisões e acidentes graves, especialmente em condições de frenagem de emergência e em superfícies escorregadias (Abeid; Tort, 2014; Dutra *et al.*, 2020; Gioria, 2008). A capacidade do sistema de evitar o travamento das rodas durante a frenagem permite ao motorista manter o controle direcional do veículo, mesmo em situações de pista molhada, neve ou gelo, em que a aderência é reduzida (Moore, 2014; Viveros, 2010).

Além disso, estudos de campo e análises estatísticas demonstram uma redução significativa na gravidade dos acidentes envolvendo veículos equipados com ABS em comparação com aqueles sem esse sistema (Bernardino, 2023; Dutra *et al.*, 2020). A capacidade de manter a estabilidade do veículo durante a frenagem contribui para evitar colisões com obstáculos e outros veículos, bem como para reduzir o risco de capotamento e saída de pista, como mostra a figura 2 (Borba *et al.*, 2016; Silva, 2017).

Figura 2 - ABS na prática



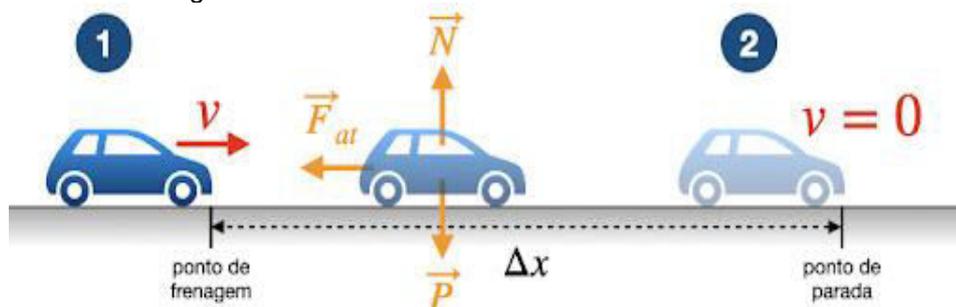
Fonte: Dutra *et al.* (2020)

Esses resultados destacam a importância do sistema de freio ABS como uma tecnologia eficaz de segurança veicular, capaz de salvar vidas e prevenir lesões graves em acidentes de trânsito. A implementação generalizada do ABS em veículos automotivos tem sido incentivada por agências reguladoras e organizações de segurança no trânsito em todo o mundo, como uma medida fundamental para melhorar a segurança nas estradas e reduzir o impacto dos acidentes automotivos na sociedade (Ferreira *et al.*, 2021; Nascimento, 2021).

### 2.3 Distância de frenagem

A distância de frenagem é um aspecto crucial na avaliação da eficácia dos sistemas de freio veicular, tanto com ABS quanto sem ABS. Estudos comparativos têm investigado a diferença na distância percorrida pelo veículo até a completa imobilização durante a frenagem, em condições controladas de teste (Dutra *et al.*, 2020; Moore, 2014; Silva, 2021). A principal métrica utilizada para avaliar a distância de frenagem é a medida da distância percorrida desde o momento em que os freios são acionados até a parada total do veículo.

Figura 3. Cálculo de frenagem



Fonte: Dutra *et al.* (2020) - adaptado

Pesquisas mostram consistentemente que os veículos equipados com sistema de freio ABS tendem a apresentar distâncias de frenagem menores em comparação com aqueles sem ABS, especialmente em situações de frenagem de emergência e

em superfícies escorregadias (Borba *et al.*, 2016; Gioria, 2008). Isso se deve à capacidade do ABS de manter as rodas em movimento, evitando seu travamento e permitindo que o veículo mantenha a tração e o controle direcional durante a frenagem (Bernardino, 2023; Silva, 2017).

Estudos têm investigado os fatores que influenciam a distância de frenagem, incluindo a velocidade inicial do veículo, as condições da pista, a eficiência dos freios e a resposta do motorista ao acionamento dos freios (Mocellin, 2017; Viveros, 2010). Essas análises contribuem para uma compreensão mais abrangente dos determinantes da distância de frenagem e fornecem *insights* importantes para o desenvolvimento e aprimoramento dos sistemas de freio veicular.

### 3 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa experimental. Esse tipo de pesquisa evidencia a relevância da implementação do ABS nos carros produzidos no país, cuja obrigatoriedade começou em 2014. Foram realizados testes para avaliar o desempenho do sistema de frenagem de um veículo rodoviário motorizado (Borba *et al.*, 2016).

O experimento foi realizado em setembro de 2024, em Sericita, cidade da zona da mata mineira, de 7.345 habitantes. O clima é tropical, de temperatura média de 23°C (IBGE, 2022). Esse experimento consistiu na realização de um teste da distância de frenagem de veículo equipado com o sistema de freios ABS e sem esse sistema.

O veículo utilizado nos testes foi um Volkswagen (VW) Gol MSI Comfortline 2014, mostrado na figura 4, equipado com um motor EA111 de 104 cv e freios a disco na dianteira e a tambor na traseira.

Figura 4 - VW GOL MSI 2014



Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 1 apresenta informações detalhadas sobre o peso e dimensões do veículo.

Tabela 1 - Peso e Dimensões do veículo Volkswagen Gol MSI Comfortline 2014

<b>Peso e dimensões do veículo</b>	<b>Valores</b>
Altura (mm)	1464 mm
Largura (mm)	1656 mm
Comprimento (mm)	3895 mm
Entre-Eixos (mm)	2465 mm
Peso (Kg)	961 kg
Tanque (L)	55 L
Porta-Malas (L)	285 L
Ocupantes	5

Fonte – Volkswagen (2014).

A Tabela 2 contém as informações sobre o motor do veículo Volkswagen Gol do ano/modelo 2014.

Tabela 2 - Motor e Performance do veículo Volkswagen Gol MSI Comfortline 2014

<b>Motor/Performance</b>	<b>Valores</b>
Motorização	1.6
Alimentação	Injeção Multiponto
Combustível	Gasolina/Álcool
Potência (cv)	104
Cilindrada (cm <sup>3</sup> )	1598
Torque (Kgf.m)	15,4
Velocidade Máxima (Km/h)	190
Tempo 0-100 (Km/h)	9,8
Consumo Cidade (Km/L)	10,7
Consumo Estrada (Km/L)	13,7

Fonte – Volkswagen (2014).

A Tabela 3 mostra o tipo de suspensão utilizado nos eixos dianteiro e traseiro, bem como o sistema de assistência de direção.

Tabela 3 - Mecânica Suspensão e Freios do veículo Volkswagen Gol MSI Comfortline 2014

<b>Peso e dimensões</b>	<b>Valores</b>
Câmbio	Manual
Tração	Dianteira
Direção	Hidráulica
Suspensão Dianteira	Independente, McPherson
Suspensão Traseira	Eixo de Torção
Freios Dianteiros	Disco Ventilado
Freios traseiros	Tambor

Fonte – Volkswagen (2014).

O estudo foi realizado em via seca e sem ventos fortes, localizada na cidade de Sericita/MG, em uma parte da Av. Sebastião Gomes dos Reis; foi isolada uma distância de 300 metros para a realização do teste. A área reservada é plana e recentemente pavimentada. Para delimitação da parte da via utilizada foram colocados cones de sinalização e fitas para delimitar o ponto inicial da frenagem.

A Figura 5 é uma imagem de satélite que mostra a via onde o teste prático foi realizado.

Figura 5 – Avenida



Fonte: Google Maps.

Os testes de frenagem foram realizados acelerando-se o veículo até 60 km/h na 3ª marcha por 100 metros. Quando a roda dianteira cruzou o ponto marcado pela fita de sinalização, os freios foram acionados bruscamente e a frenagem foi mantida até a parada total do veículo. A distância de frenagem foi medida utilizando-se fita métrica com escala de 5 metros, desde o ponto de início da frenagem até o cubo das rodas dianteiras do veículo parado.

Essa operação foi repetida cinco vezes para cada sessão de teste, a fim de garantir a consistência e a confiabilidade dos dados obtidos.

A primeira parte do experimento foi realizada com o ABS ativado; em seguida, esse sistema foi desativado e os testes repetidos. Antes de se iniciar o experimento, o carro estava frio e com os pneus calibrados, de acordo com as especificações do fabricante.

É importante ressaltar que todos os procedimentos que foram realizados seguiram princípios éticos e de segurança para garantir a integridade dos participantes e a validade dos resultados obtidos.

Os dados dos testes realizados foram comparados entre as condições com o sistema ABS ativo e inativo. As informações resultantes dessa análise foram disponibilizadas aos usuários para demonstrar os benefícios de se possuir o sistema ABS em seus veículos. Isso ajudará os consumidores a tomarem decisões mais bem informadas na hora de investir-se na compra de um automóvel.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados dos testes de distância de frenagem para os sistemas de freio com ABS foram registrados em três diferentes condições. Para a configuração com apenas o motorista a bordo, as distâncias variaram de 11,16 metros a 12,00 metros

nos cinco testes realizados. Quando um passageiro estava presente, a distância média aumentou cerca de 8,14% em relação à situação com apenas o motorista, com valores entre 12,10 metros e 12,71 metros. Já com dois passageiros, as distâncias registradas ficaram entre 12,95 metros e 13,57 metros, com uma distância média de 13,28 metros, 14,98 % superior à situação apenas com o condutor; os resultados estão na Tabela 1.

Tabela 1. Sistema ABS

<b>Condição</b>	<b>Teste 1 (m)</b>	<b>Teste 2 (m)</b>	<b>Teste 3 (m)</b>	<b>Teste 4 (m)</b>	<b>Teste 5 (m)</b>	<b>Média (m)</b>
Apenas motorista (110 kg)	11,50	12,00	11,24	11,16	11,85	11,55
Motorista e um passageiro (170 kg)	12,65	12,55	12,10	12,47	12,71	12,49
Motorista e dois passageiros (250 kg)	13,30	13,56	12,95	13,05	13,57	13,28

Fonte - Elaborado pelos autores.

Em contraste, para os testes realizados com veículos sem sistema ABS, as distâncias de frenagem foram maiores. Para o cenário com apenas o motorista, as distâncias variaram de 14,20 metros a 14,97 metros. Com um passageiro adicional, as distâncias aumentaram ainda mais, com valores entre 15,44 metros e 16,10 metros, tendo uma média de 9,23 % superior à situação anterior. Por fim, com dois passageiros adicionais, as distâncias registradas foram de 16,53 metros a 17,10 metros, com uma média de 16,86 metros, sendo 16,12% superior em relação a apenas o motorista, conforme detalhado na Tabela 2. Esses resultados evidenciam a importância do sistema ABS na redução da distância de frenagem em diversas condições de carga do veículo.

Tabela 2. Sistema Não ABS

<b>Condição</b>	<b>Teste 1 (m)</b>	<b>Teste 2 (m)</b>	<b>Teste 3 (m)</b>	<b>Teste 4 (m)</b>	<b>Teste 5 (m)</b>	<b>Média (m)</b>
Apenas motorista (110 kg)	14,40	14,97	14,88	14,20	14,17	14,52
Motorista e um passageiro (170 kg)	16,10	15,76	15,44	15,98	16,04	15,86
Motorista e dois passageiros (250 kg)	16,94	16,78	17,10	16,96	16,53	16,86

Fonte: elaborado pelos autores.

Uma comparação direta entre a distância de frenagem nas situações do veículo com e sem ABS destaca a eficiência desse sistema. Na situação apenas com o

motorista, observou-se um aumento de 25,71% da distância percorrida até uma parada completa. A distância de frenagem na situação com um e dois passageiros aumentou, respectivamente, 26,98% e 26,95%, um aumento médio de 26,55%. Esses resultados demonstram a influência significativa do sistema ABS na redução da distância de frenagem em diferentes condições de carga do veículo. Essa constatação está em consonância com estudos anteriores que destacam a eficácia do sistema de freio ABS na prevenção de acidentes de trânsito (Bernardino, 2023; Silva, 2017).

Essa diferença pode ser explicada pela capacidade do ABS de evitar o travamento das rodas durante a frenagem, permitindo que o motorista mantenha o controle direcional do veículo e reduza a distância percorrida até a parada completa (Silva, 2021).

Os resultados também colaboram com a teoria que fundamenta o funcionamento do sistema ABS. Ao evitar o travamento das rodas durante a frenagem, o ABS permite que os pneus mantenham a aderência ao solo, possibilitando uma frenagem mais eficaz e controlada (Abeid; Tort, 2014). Isso é especialmente importante em emergências ou em condições adversas de pavimento, em que a perda de aderência, devido ao travamento das rodas, pode resultar em perda de controle do veículo e aumentar o risco de acidentes (Gioria, 2008).

Ademais, os resultados ressaltam a importância de se considerar não apenas a presença do sistema ABS, mas também as condições de carga do veículo ao se avaliar a *performance* de frenagem. Como evidenciado pelos dados, o aumento do peso no veículo contribuiu para um aumento na distância de frenagem, tanto para veículos com ABS quanto para veículos sem esse sistema. Isso reforça a necessidade de os condutores ajustarem sua condução de acordo com a carga do veículo, a fim de garantirem uma resposta de frenagem adequada em diferentes situações (Silva, 2021).

Os resultados também apontam que, à medida que o número de passageiros aumenta, as distâncias de frenagem tendem a se estender tanto para veículos com ABS quanto para veículos sem ABS. Isso sugere que o aumento da carga do veículo influencia negativamente o desempenho da frenagem, independentemente da presença do sistema ABS (Da Costa; Idehara, 2021; Dutra *et al.*, 2020). No entanto, é importante ressaltar que, mesmo nessas condições mais desafiadoras, os veículos com ABS ainda demonstraram um desempenho superior em termos de distância de frenagem quando comparados aos veículos sem esse sistema.

Os resultados apresentados na Tabela 2 revelam que os veículos sem sistema ABS apresentam distâncias de frenagem consistentemente maiores em comparação com os veículos equipados com esse sistema, corroborando estudos anteriores (De Borba *et al.*, 2016; Silva, 2017). Em todas as condições testadas, os veículos sem ABS exigiram uma distância de frenagem superior para alcançar a parada completa quando comparados aos veículos com ABS. Essa diferença na distância de frenagem é atribuída à incapacidade dos veículos sem ABS de evitarem o travamento das rodas durante a frenagem, o que resulta em uma perda de aderência e controle direcional do veículo (Silva, 2021).

Além da diferença na distância de frenagem, é crucial destacar as implicações adicionais do travamento das rodas durante a frenagem em veículos sem sistema ABS. Quando as rodas travam, a capacidade de manobra do veículo é significativamente reduzida, aumentando o risco de perda de controle e de colisões (Abeid; Tort, 2014). Esse fenômeno pode ser especialmente perigoso em condições de estrada escorregadia, com chuva, neve ou gelo, nas quais a aderência já é comprometida (Gioria, 2008).

O travamento das rodas pode levar a padrões de frenagem irregulares, resultando em instabilidade do veículo e aumento do tempo necessário para pará-lo completamente (Moore, 2014). Isso é particularmente crítico em emergências, onde cada centímetro conta na redução do risco de colisão. Estudos demonstraram que o sistema de freio ABS pode reduzir significativamente a probabilidade de acidentes de trânsito ao manter as rodas em rotação e permitir que o motorista mantenha o controle direcional do veículo durante a frenagem (Silva, 2017).

Os dados também indicam que o peso adicional no veículo, representado pela presença de um ou dois passageiros, contribuiu para um aumento na distância de frenagem, tanto para veículos com ABS quanto para veículos sem esse sistema. Isto está em conformidade com estudos anteriores que destacam o impacto da carga do veículo na eficácia da frenagem (Bernardino, 2023; Diniz *et al.*, 2021). Mesmo sob condições de carga mais elevada, os veículos com ABS ainda apresentaram distâncias de frenagem menores em comparação com os veículos sem ABS.

O aumento da distância de frenagem com o acréscimo de peso no veículo pode ser atribuído a vários fatores. Primeiramente, o peso adicional resulta em uma maior carga sobre o sistema de freios, o que pode aumentar o tempo necessário para desacelerar o veículo até a parada completa (Nascimento, 2021). O aumento da

massa do veículo pode afetar a distribuição de peso entre as rodas, influenciando a eficácia da frenagem em cada roda individualmente (Silva, 2017). Isso pode levar a diferenças na aderência entre as rodas, resultando em padrões de frenagem desiguais e, conseqüentemente, em um aumento na distância necessária para parar o veículo.

Outro aspecto a ser considerado é o efeito do peso adicional na inércia do veículo. Veículos mais pesados tendem a ter uma inércia maior, o que significa que exigem mais energia para desacelerar e parar completamente (Mocellin, 2017). Isso pode resultar em uma resposta de frenagem mais lenta, especialmente em situações em que o veículo está em movimento rápido.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destaca a importância do sistema de freio ABS na segurança veicular, evidenciando que ele reduz significativamente a distância de frenagem, independentemente da carga do veículo. Essa melhoria é crucial para proteger ocupantes e demais usuários da via, ajudando a evitar colisões, especialmente em emergências e condições adversas. A integração do ABS com outros sistemas de segurança, como o controle de estabilidade, aumenta a eficácia em situações de risco e oferece mais confiança aos motoristas. O estudo recomenda que a indústria automobilística amplie o uso do ABS e promova a conscientização sobre sua eficácia, com colaboração entre fabricantes, governos e órgãos reguladores para garantir veículos mais seguros e promover uma condução responsável.

## REFERÊNCIA

ABEID, L.; TORT, A. C. As forças de atrito e os freios ABS. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s.l.], v. 36, n. 2, p. 2306, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/XzfKVhZ5Pzxd86khL3cjph/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em 15 mar. 2024.

AMARAL, M. M. **O desenvolvimento dos sistemas de freios e a apresentação do sistema ABS**. 2019. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) — Anhanguera Educacional, Limeira, 2019. Disponível em: [https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/27956/1/MAGNO\\_MODE\\_STO\\_DO\\_AMARAL\\_ATIVIDADE4.pdf](https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/27956/1/MAGNO_MODE_STO_DO_AMARAL_ATIVIDADE4.pdf) . Acesso em 07 mar. 2024.

BERNARDINO, L. G. C. **Avaliação da eficácia da manutenção preventiva em freios automotivos**. 2023. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2023. Disponível em:

<https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/33170/1/avaliacaomanutencaopreventivafreios.pdf> . Acesso em 15 mar. 2024.

BORBA, T. **Comparação do desempenho em frenagem de veículo com sistema ABS ativo e inativo**. 2016. Monografia (Bacharelado em Engenharia Automotiva) – Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville. 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/165263/Trabalho%20de%20Conclus%C3%A3o%20de%20Curso%20-%20Thiago%20de%20Borba.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em 15 mar. 2024.

COSTA, R. T. D. **Desenvolvimento de software e bancada de teste para sensor de velocidade do sistema de freio antitravamento**. 2023. Monografia (Bacharelado em ciência e tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Caraúbas, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/9a34d54d-1534-4507-8410-d46d054e9001/content> . Acesso em 15 mar. 2024.

COSTA, J. P.; IDEHARA, S. J. Modelagem Dinâmica do Desempenho Veicular na Frenagem. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 6, n. 2, p. 46-54, 2021. Disponível em: <http://revistas.poli.br/index.php/rep/article/view/1458/721> . Acesso em 03 set. 2024.

DIAS, I. G.; MATIAS, E. V. A.; FILHO, P. C. O.; GITIRANA, M. B.; SANTOS, A. M.; RODRIGUES, R. F. N. Bancada didática: controle e medição fator de potência. *In*: Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias, 6., 2021. **Anais [...]**. Anápolis: Unievangélica, 2021. p. 91-111. Disponível em: <http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/19617/1/7608-Texto%20do%20artigo-14228-1-10-20220318%20%281%29.pdf> . Acesso em 15 mar. 2024.

DINIZ, J. S. **Dimensionamento de um sistema de freio para um veículo off road tipo Baja SAE**. 2021. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina. 2021. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/26267/1/dimensionamentosistemafreioveiculo.pdf> . Acesso em 15 mar. 2024.

FERREIRA, W. R.; BATTISTEL, A.; OLIVEIRA, T. R. Controle por Busca Extrema e por Modos Deslizantes Aplicado a Freios Automotivos do Tipo ABS. *In*: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. 15.; 2021. **Anais [...]**. [s.l.]. Disponível em: [https://sba.org.br/open\\_journal\\_systems/index.php/sbai/article/view/2707/2247](https://sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sbai/article/view/2707/2247) . Acesso em 05 ago. 2024.

GIORIA, G. S. **Influência da utilização do ABS na segurança veicular baseada na eficiência de frenagem e na probabilidade de travamento de roda**. 2008. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) -Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18149/tde-22102009-105940/publico/GIORIA\\_GUSTAVO.PDF](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18149/tde-22102009-105940/publico/GIORIA_GUSTAVO.PDF) . Acesso em 05 abr. 2024.

GOOGLE. **Google Maps: Sericita, MG**. 2024. Disponível em: <https://maps.google.com>. Acesso em: 05 abr. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Área da unidade territorial: Área territorial brasileira**. 2022. Rio de Janeiro: IBGE,2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/sericita/panorama> . Acesso em 5 abr. 2024.

MOCELLIN, N. **Análise dos vestígios produzidos pelas frenagens no pavimento asfáltico pelos veículos equipados por sistema de freio do tipo ABS**. 2017. Monografia (Pós-graduação em perícia de acidentes de trânsito) – Centro de referência em formação e EAD/CERFEAD, Instituto Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/693/Neri%20Mocellin.pdf?sequence=1> . Acesso em 5 ago. 2024.

MOORE, H. F. **Análise de desempenho de um controlador Bang-Bang em um sistema de freio ABS**. 2014. Monografia (Bacharelado em Engenharia Automotiva) – Universidade de Brasília. Brasília. 2014. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/8606/1/2014\\_HugoFerreiraMoore.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/8606/1/2014_HugoFerreiraMoore.pdf) . Acesso em 15 mar. 2024.

NASCIMENTO, F. S. **Análise de controlador aplicado a sistema de controle de estabilidade veicular**. 2021. Monografia (Bacharelado em Engenharia Automotiva) – Universidade de Brasília. Brasília. 2021. Disponível em: [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/30198/1/2021\\_FelipeSivaNascimento\\_tcc.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/30198/1/2021_FelipeSivaNascimento_tcc.pdf) . Acesso em 05 ago. 2024.

SILVA, E. F. **Influência dos sistemas de freios e de suspensão na evitabilidade de acidentes de trânsito**. 2017. Monografia (Pós-Graduação em perícia de acidentes de trânsito) – Centro de referência em formação e EAD/CERFEAD. Instituto Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/647/Eduardo%20Freitas%20da%200Silva.pdf?sequence=1> . Acesso em 05 abr. 2024.

SILVA, N. L. **Desenvolvimento de um Hardware in the Loop (HiL) de um sistema de frenagem com ABS hidráulico**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da USP. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-25102021-150656/publico/NouriandresLiborioSilvaCorr21.pdf> . Acesso em 05 abr. 2024.

TORESAN JR, W. Cálculo de velocidade para veículos equipados com sistemas de freios ABS. **Instituto Geral de Perícias–RS**, [s.l.], 2010. Disponível em: [https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/pe\\_Goulart/Material\\_de\\_Apoio/Aula%203%20-%20Artigos/Calculo%20Velocidade%20Frenagem%20ABS.pdf](https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/pe_Goulart/Material_de_Apoio/Aula%203%20-%20Artigos/Calculo%20Velocidade%20Frenagem%20ABS.pdf) . Acesso em: 05 abr. 2024.

VIVEROS, H. P. **Análise do desempenho na frenagem de um cavalo mecânico e semi-reboque com suspensão mecânica e sistema ABS mediante simulação em Matlab/Simulink**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2010. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18149/tde-09022011-120021/publico/MSc\\_ViverosHP\\_Desempenho\\_na\\_Frenagem.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18149/tde-09022011-120021/publico/MSc_ViverosHP_Desempenho_na_Frenagem.pdf) . Acesso em 05 abr. 2024.

VOLKSWAGEN. **Manual de instruções: VW Gol MSI 2014.** São Bernardo do Campo:  
Volkswagen do Brasil, 2014.

# **AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM GTAW E SMAW EM AÇO ASTM-A36**

**Acadêmicos:** Mário Cássio Ferreira da Silva, Rodrigo de Assis Benedito.

**Orientador:** Michel Pedrosa Machado.

**Linha de Pesquisa:** Fabricação e Projeto Mecânico.

## **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo comparar os processos de soldagem de eletrodo revestido e eletrodo de tungstênio em atmosfera de gás inerte em aço ASTM-A36, analisando o consumo de materiais, produtividade e acabamento visual em diferentes condições ambientais. A pesquisa foi conduzida em uma multinacional de mineração e envolveu quatro grupos de trabalho, em que dois grupos utilizaram a técnica SMAW e os outros dois a GTAW. Os processos foram realizados em ambientes abertos e fechados, com triplicatas para assegurar a consistência dos dados. Foram avaliados o consumo de material, a quantidade de gás utilizado, a potência elétrica consumida, o tempo de execução e a qualidade visual das soldas, conforme os padrões da norma NBR 16079-1. Os resultados indicaram que a técnica GTAW apresentou um acabamento visual excelente em ambientes fechados, enquanto a técnica SMAW demonstrou consistência em ambos os ambientes, com maior consumo de material e menor tempo de execução. Em ambiente aberto, a soldagem GTAW apresentou variações na qualidade, sugerindo maior sensibilidade a correntes de ar. Conclui-se que a escolha do processo de soldagem deve ser baseada no balanço entre qualidade visual e consumo de recursos, conforme as condições de aplicação. O estudo oferece informações para otimizar decisões no uso de técnicas de soldagem em contextos industriais variados.

**PALAVRAS- CHAVE:** soldagem; gtaw; smaw; astm-a36.

## **1 INTRODUÇÃO**

Os metais e suas ligas desempenharam um papel crucial na história da civilização humana. As uniões metálicas eram desenvolvidas incorporando elementos secundários em baixa concentração a um metal primário, visando a melhorar suas propriedades. Essa abordagem persistiu por milênios e ainda é utilizada, atualmente, no projeto de muitas ligas importantes, como as de ferro, alumínio, magnésio, titânio e superligas (Garcia Filho; Monteiro, 2018).

No contexto atual, o aço ASTM-A36 é uma das ligas metálicas que merecem destaque. É um tipo de aço carbono, que representa 90% dos aços produzidos. Isso se deve principalmente à sua excelente relação custo-benefício e a propriedades como resistência mecânica, boa soldabilidade e usinabilidade (Fonseca *et al.*, 2020).

A soldagem é o método empregado para unir materiais metálicos, aquecendo-os até atingirem uma temperatura adequada. A indústria amplamente utiliza este processo, que possui aplicações que variam desde a fabricação de microeletrônicos até a produção de peças estruturais de máquinas que são capazes de suportar grandes esforços (Faria; Filleti; Helleno, 2022). Assim se apresentam os procedimentos de soldagem SMAW (eletrodo revestido) e GTAW, também conhecido como TIG, métodos com ampla aplicação em diversos setores da indústria (Martim; Vilarinho, 2018).

O SMAW é uma técnica na qual a soldagem é iniciada ao criar um curto-circuito entre o eletrodo e a peça de trabalho. Imediatamente após o contato, os dois são separados, formando assim o arco elétrico que gera a poça de fusão necessária para a soldagem (Martim; Santos; Ribeiro, 2022).

Já no GTAW, o arco elétrico é formado entre um eletrodo de tungstênio, que está acoplado a uma tocha, e é circundado por uma atmosfera de gás inerte. Esse gás não só protege o eletrodo, mas também a extremidade do material de adição, se houver, alcançando até a poça de fusão (Martim; Santos; Ribeiro, 2022).

Na engenharia de soldagem, a seleção do processo e do procedimento de soldagem é crucial. Isso se relaciona com consumo, qualidade e tempo de fabricação. Entender os processos de fabricação e manutenção de equipamentos é essencial para a segurança, produtividade e competitividade (Pereira *et al.*, 2020).

Este trabalho tem como objetivo determinar o consumo de recursos, produtividade e acabamento visual em processos de soldagem SMAW e GTAW em aço ASTM-A36 em variação com o ambiente.

A avaliação desses processos é útil para toda a cadeia de produção, visto que esses são usados de maneira ampla desde a fabricação até a manutenção de sistemas e produtos. Com os dados obtidos por meio deste trabalho, é possível obter indicadores capazes de ajudar na tomada de decisão, durante o desenvolvimento de atividades e criação de projetos.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A soldagem abrange diferentes processos utilizados na fabricação e recuperação de peças. Historicamente, a soldagem é definida como um processo de união de materiais. Contudo, no contexto atual, ela e suas variantes têm sido utilizadas também

para caracterizar a deposição de materiais, na recuperação de peças e para formação de superfícies com características distintas. Operações relacionadas a corte de estruturas metálicas são outro exemplo de processos relacionados a soldagem (Marques; Modenesi; Bracarense, 2016).

A soldagem, amplamente automatizada e padronizada hoje, teve suas primeiras manifestações no século XIX. O processo moderno começou a se desenvolver no início do século XIX, quando Sir Humphry Davy produziu um arco elétrico controlado entre dois eletrodos de carbono usando uma bateria. No final do século XIX, o uso do arco elétrico para unir metais avançou com Auguste De Meritens, que, em 1881, utilizou o calor do arco para juntar placas. Esse método foi posteriormente aperfeiçoado e patenteado por seu aluno russo, Nikolai N. Benardos, em 1885, marcando o início de um avanço rápido nos métodos de soldagem (Lopes; Santos, 2020)

A soldagem, como processo, implica em algumas interações no material submetido, entre elas pode se destacar a influência de temperatura da zona termicamente afetada (ZTA) (Vieira *et al.*, 2019).

A ZTA trata-se da área que sofre alterações de suas propriedades devido ao calor gerado pela soldagem. Essas alterações podem ser positivas, como a formação de martensita na região, levando a uma maior resistência do material, como também podem ser negativas como, quando submetidas a calor em excesso, produz-se estruturas mais frágeis como a ferrita delta que reduzem a resistência a fratura e diminuem a tenacidade do material (Mician; Fratrick; Kajaneck, 2021).

A formação de martensita na ZTA é fortemente influenciada pela taxa de resfriamento rápido, especialmente em aços inoxidáveis ferríticos, em que a soldagem pode causar o crescimento de grãos e reduzir a ductilidade e tenacidade do material (Vilela. *et al.*, 2019). Por outro lado, o excesso de calor durante o processo pode promover a formação de ferrita delta, que é menos desejada devido à sua baixa resistência mecânica. Além disso, o controle inadequado da temperatura durante a soldagem pode gerar tensões residuais, aumentando o risco de falhas futuras. Processos como o GTAW, que permitem maior controle sobre a entrada de calor, são eficazes para minimizar esses efeitos e garantir a integridade da solda (Vilela. *et al.*, 2019).

Existem diversos processos de soldagem, com diferentes características. Dentre eles, destacam-se processos como o eletrodo revestido, em que o eletrodo é fundido, através da formação do arco entre o eletrodo e o metal base, e o revestimento forma uma escória protetora. Tem se também o processo TIG que se trata de uma soldagem em que o eletrodo não é consumível e a formação do arco elétrico é protegida por um gás inerte. Devem-se citar, ainda, os processos MIG/MAG em que o arco é formado entre o material base e um eletrodo de fio metálico que é constantemente alimentado para dentro do arco (Welman, 2003).

No processo de soldagem com eletrodo revestido (SMAW), além da escolha do diâmetro do eletrodo, a seleção do tipo de corrente (corrente contínua ou alternada) e da polaridade são fatores essenciais para garantir a qualidade da soldagem. A polaridade direta (CC-) concentra mais calor no eletrodo, resultando em uma maior taxa de deposição, enquanto a polaridade inversa (CC+) oferece maior penetração no material base. No caso do processo TIG, a precisão no controle da temperatura possibilita a soldagem de materiais mais sensíveis ao calor, como alumínio e titânio, com menor distorção e porosidade (Brandão *et al.*, 2023).

A soldagem SMAW, popularmente conhecida como soldagem por eletrodo revestido, é um processo em que, para formação do arco de soldagem, é utilizado um eletrodo que será consumido, o qual é revestido por uma camada protetora denominada como fluxo. Durante a fusão do eletrodo que será depositado, o revestimento queima formando um gás que protege a poça de fusão da influência da atmosfera, prevenindo e protegendo a zona termicamente afetada de efeitos como a porosidade e formação de trincas, que podem ser ocasionados por gases como o oxigênio e o hidrogênio (Haider *et al.*, 2019).

A soldagem SMAW é amplamente utilizada na indústria por sua portabilidade e eficiência. Entre seus principais usos, estão os ramos automotivos e aeroespaciais e na produção de eletrodomésticos. Ela também é comumente utilizada em locais remotos ou de difícil acesso devido a sua variedade de posições promovidas. Alguns parâmetros são críticos no tocante a esse tipo de soldagem, como o diâmetro do eletrodo — que deve se adequar as lacunas do material base — a polaridade que é de essencial importância para correta distribuição de calor do processo. A velocidade da soldagem é um fator que pode influenciar na geometria do cordão de solda e o ângulo de solda altera a largura e sua penetração (Baghel, 2022).

A soldagem GTAW também conhecida como TIG. É um processo que usa um eletrodo de tungstênio não consumível, devido a seu alto ponto de fusão de 3410°C e uma proteção gasosa inerte, normalmente de argônio ou hélio, para a formação do arco. Ela pode ser feita sem adição de metal, mas quando a adição é feita, essa se dá por meio de uma vareta ou arame separado, sendo então fundido pelo arco e não adicionado como nos processos com eletrodo consumível (Groover, 2017).

O processo GTAW é amplamente utilizado na indústria devido à alta qualidade das juntas soldadas que ele proporciona. Suas principais aplicações incluem setores como aeroespacial, nuclear, marinho, petroquímico, indústrias de semicondutores, equipamentos médicos e eletrônicos. Os parâmetros críticos no processo GTAW são a velocidade de soldagem que afeta a quantidade de energia transferida por unidade de comprimento da solda, sua taxa de alimentação do metal de adição, a vazão e o tipo de gás utilizado, que influencia na proteção da poça de fusão, o diâmetro do bocal de gás e o comprimento do eletrodo não consumível para fora do bocal de gás (Melo, 2017).

O aço ASTM A36 é um aço de baixo carbono com propriedades mecânicas adequadas para soldagem. Suas características incluem boa soldabilidade, facilidade de conformação e usinabilidade, o que o torna um material comum em diversas aplicações industriais. Além disso, o ASTM A36 possui boa resistência e ductilidade, o que o torna adequado para processos de soldagem (Fontes *et.al*, 2020).

Ao soldar o aço ASTM A36, algumas precauções e considerações importantes devem ser levadas em conta para garantir uma soldagem eficaz e de qualidade. Dentre elas, a limpeza da superfície, é essencial garantir que a superfície do aço ASTM A36 esteja limpa e livre de contaminantes, como óleos, graxas e sujeira, que podem afetar a qualidade da solda, a preparação adequada das juntas soldadas, garantindo que estejam na geometria correta e sem imperfeições que possam comprometer a soldagem e a seleção do processo de soldagem (Fontes *et.al*, 2020).

Para o pós-tratamento ao soldar o aço ASTM-A36, é essencial considerar a aplicação de técnicas de resfriamento adequadas entre as deposições de camadas. Isso pode incluir o uso de resfriamento ativo, corrente de deposição de polaridade variável e outras abordagens para controlar a temperatura e minimizar distorções e tensões térmicas no substrato. É fundamental seguir os parâmetros de soldagem

adequados e realizar testes para garantir a qualidade do processo de soldagem (Fragozes, 2023).

Para estabelecer a qualidade de qualquer processo industrial, é necessário o estabelecimento de normas que delimitem os parâmetros inclusos no desenvolvimento das atividades. Quando se trata de processos de soldagem, uma norma normalmente utilizada é a NBR 16079-1 sob o título geral “Ensaio não destrutivo – Terminologia”, cuja descontinuidade só deve ser considerada um defeito quando, por sua natureza, dimensões ou efeito acumulado, tornar a peça inaceitável, por não satisfazer os requisitos mínimos especificados em normas técnicas aplicáveis. Devido às altíssimas temperaturas envolvidas nos processos de soldagem, as consequências deste processo podem ser agrupadas em descontinuidades e alterações nas propriedades dos materiais, deformações globais e localizadas, e tensões internas residuais. No entanto, essas consequências não devem ser entendidas como defeitos de soldagem. É possível utilizar normas complementares para validar a descontinuidade identificada (ABNT, 2012).

Os ensaios não destrutivos (END), como a inspeção por ultrassom, são amplamente utilizados para detectar descontinuidades em materiais, como trincas e corrosão, sem comprometer a integridade das peças. Esses testes permitem que os operadores identifiquem falhas internas, garantindo que os componentes atendam aos requisitos especificados. Além disso, a técnica IRIS, baseada em ultrassom, oferece alta precisão na detecção de descontinuidades volumétricas, assegurando o controle de qualidade durante o processo de inspeção, promovendo melhorias contínuas na produção industrial (Ferraresi, *et.al*, 2021).

Adicionalmente, pode se adicionar que a ISO 3834 é um sistema de gestão de qualidade em soldagem que estabelece padrões para garantir a conformidade com os requisitos da International Standards Organization (ISO). Ela se aplica a empresas envolvidas na produção de produtos soldados por fusão. A norma especifica critérios para a seleção do nível apropriado de requisitos de qualidade entre os três níveis definidos nas partes ISO 3834-2, ISO 3834-3 e ISO 3834-4. Esses níveis abrangem desde requisitos básicos até requisitos mais rigorosos para processos de soldagem em oficinas e locais de instalação.

### 3 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa experimental, que, segundo Gil (2019), envolve, fundamentalmente, a escolha de um tema para investigação, a identificação das variáveis que podem afetá-lo e o estabelecimento de métodos para controlar e observar os impactos dessas variáveis no tema em questão.

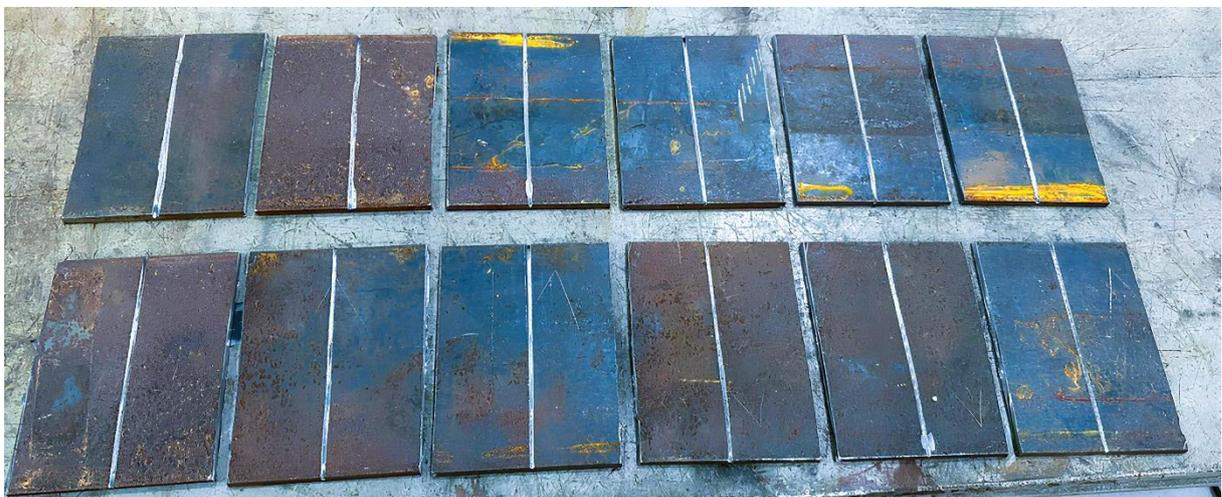
A pesquisa foi realizada em uma empresa multinacional de mineração localizada na Zona da Mata Mineira em outubro de 2024.

O experimento ocorreu a partir de 4 grupos de trabalho. Os grupos CP1 e CP2 utilizaram a solda SMAW, enquanto os grupos CP3 e CP4 utilizaram a solda GTAW. CP1 e CP3 foram conduzidos em um galpão fechado e CP2 e CP4 em área aberta. Todos os processos foram realizados em triplicata, permitindo verificar a consistência dos resultados e reduzir o impacto de variações aleatórias, proporcionando médias mais precisas para a análise final.

As soldagens foram feitas em chapas de aço ASTM-A36, com dimensões de 150mm x 140mm x 9mm. Portanto, foram necessárias 12 chapas para completar todo o experimento. Estas foram cuidadosamente preparadas antes da realização do procedimento de solda. A preparação incluiu a limpeza das superfícies das chapas com uma escova de aço para remover qualquer contaminação que possa interferir na qualidade da solda.

Foi utilizado uma esmerilhadeira para marcar uma linha guia em cada chapa. Esta linha serviu como referência para o soldador, garantindo que a soldagem fosse realizada precisamente ao longo do trajeto pré-definido. A Figura 1 representa as chapas após a preparação.

Figura 1 – Chapas de aço preparadas para soldagem



Fonte – Dados da pesquisa

Além disso, os equipamentos de soldagem foram devidamente preparados antes do início do experimento. Isso incluiu a verificação da máquina de solda, dos medidores de vazão de gás argônio e a preparação dos eletrodos e das tochas, assegurando a precisão dos dados coletados.

Para ambas as técnicas foi utilizada a posição plana e os procedimentos foram delineados pela Norma AWS D1.1/D1.1M (An American National Standard, 2010) para assegurar consistência e qualidade.

Para o método SMAW, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: a Máquina de Solda TDC445 ED 430A Trifásica - BAMBOZZI-TDC445, consumíveis de solda ESAB E-7018 de diâmetro 3,25 mm e comprimento 350 mm com revestimento básico, alicate eletrodo, e estufa para o armazenamento e tratamento dos eletrodos.

Para o método GTAW, os materiais incluíram a mesma Máquina de Solda TDC445, cilindro de gás argônio, cabo de aterramento com grampo terra, uma tocha TIG completa, eletrodo de tungstênio de tório e metal de adição.

A Figura 2 apresenta os principais equipamento utilizados:

Figura 2 – Principais equipamentos utilizados para a realização das soldagens GTAW e SMAW



Fonte – Dados da pesquisa

- 1 – Garrafa de gás argônio
- 2 – Máquina de solda utilizada
- 3 – Alicates eletrodo
- 4 – Tocha Tig
- 5 – Eletrodo Esab7018

Na avaliação dos dois processos de soldagem, foram verificadas as seguintes variáveis:

- Consumo dos materiais: os consumíveis foram pesados antes e depois das soldagens para calcular o consumo de material.
- Para o GTAW, a quantidade de gás argônio consumido foi calculada por meio da vazão do equipamento, tempo de soldagem e densidade do gás de 1,784 g/l.
- O consumo de energia elétrica foi calculado em Kwh, por meio de cálculo utilizando a corrente em que a máquina foi calibrada e a voltagem medida pelo voltímetro.
- Produtividade: o tempo para completar cada soldagem foi cronometrado, fornecendo uma medida direta da eficiência do processo.
- Acabamento Visual: uma inspeção visual foi realizada em cada solda, seguindo os critérios da NBR 16079-1 (ABNT, 2012) que define verificação da aparência geral da solda, que inclui a uniformidade do cordão, a ausência de trincas, porosidades, inclusões de escória e outros defeitos superficiais.

Além disso, foram adotadas medidas de segurança rigorosas, como o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), incluindo máscaras, luvas e aventais de raspa, conforme a norma trabalho a quente NR 34.5 (Brasil, 2011).

A análise dos dados coletados foi realizada no *Microsoft Office Excel* com ajuda de estatística descritiva.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Consumo de Material

A Tabela 1 apresenta os dados de consumo de material durante as soldagens:

Tabela 1 – Dados de consumo de material relacionados por tipo de soldagem e ambiente da realização da soldagem

Tipo de Soldagem	Ambiente	Média de consumo(g)	Desvio Padrão
GTAW	Fechado	10,31	0,81
GTAW	Aberto	10,35	0,51
SMAW	Fechado	26,04	0,58
SMAW	Aberto	26,71	1

Fonte: Elaborado pelos autores

O consumo de material na técnica GTAW foi em média 60,83% menor do que o consumo da técnica SMAW. Isso pode ser explicado, segundo Souza *et.al.* (2014),

porque o consumo de metal de adição no GTAW tende a ser menor em comparação ao SMAW, já que no GTAW o metal de adição é introduzido manualmente, permitindo maior controle sobre a quantidade utilizada. A variação de utilização de material em ambas as técnicas não apresentou diferença significativa entre os ambientes aberto e fechado.

#### 4.2 Gás utilizado

No processo SMAW, não há a utilização de gás de proteção. Já no caso da GTAW, necessita-se a utilização do gás. Na soldagem em ambiente fechado, o consumo médio foi de 29,07 gramas com desvio padrão de 1,34 enquanto em ambiente aberto o consumo médio de gás aumentou para 36,70 gramas com desvio padrão de 2,35. Houve um aumento de 26,24% que pode ser explicado devido perda de eficiência do gás de proteção devido a influência de correntes de ar que dissipam o gás de proteção (Souza, 2011).

#### 4.3 Potência elétrica utilizada

A Tabela 2 apresenta dados do da potência utilizada em durante as soldagens:

Tabela 2 – Dados de potência elétrica utilizada relacionada por tipo de soldagem e ambiente da realização da soldagem

<b>Tipo de Soldagem</b>	<b>Ambiente</b>	<b>Média de consumo (KWh)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
GTAW	Fechado	0,074	0,003
GTAW	Aberto	0,094	0,006
SMAW	Fechado	0,053	0,000
SMAW	Aberto	0,054	0,000

Fonte: Elaborado pelos autores

A técnica SMAW apresentou uma utilização 43% menor de potência elétrica quando comparada à técnica GTAW. Além disso, a técnica SMAW apresentou consumo mais estável na variação de ambiente, enquanto na técnica GTAW houve um aumento de 27,02% no consumo quando em ambiente aberto. Segundo (Schwedersky; Dutra, 2011) os processos com eletrodo consumível como no caso do SMAW apresentam eficiência energética maior que os processos com eletrodo não consumível como o GTAW, a explicação seria que na SMAW a energia gerada seria despreendida sobre o metal base enquanto na GTAW a energia seria perdida para o eletrodo reduzindo a eficiência do processo.

#### 4.4 Produtividade

A Tabela 3 apresenta os tempos de soldagem de cada técnica:

Tabela 3 – Tempos de soldagem relacionados por tipo de soldagem e ambiente da realização da soldagem

Tipo de Soldagem	Ambiente	Média de tempo (min)	Desvio Padrão
GTAW	Fechado	01:22,01	00:04,01
GTAW	Aberto	01:43,01	00:07,01
SMAW	Fechado	00:58,01	00:01,01
SMAW	Aberto	00:59,01	00:01,01

Fonte: Elaborado pelos autores

Em termos de tempo de soldagem, a técnica SMAW apresentou menores tempos do que a GTAW média de 41,88% menor, com variação irrelevante entre os ambientes. Já a soldagem GTAW apresentou uma média 25,60% maior de tempo em ambiente aberto do que em ambiente fechado. Segundo (Groover, 2017), a GTAW é um processo lento, caro e com baixa produtividade e que sofre com variações não controlados do ambiente, o que pode indicar o motivo das variações de tempo.

#### 4.5 Acabamento visual

A Figura 3 apresenta as soldagens em ambiente aberto e a Figura 4 as soldagens em ambiente fechado:

Figura 3 – Soldagens em ambiente externo



Fonte - Dados da pesquisa

Figura 4 – Soldagens em ambiente fechado



Fonte - Dados da pesquisa

A soldagem SMAW apresentou uma qualidade consistente segundo a norma NBR16079-1 em ambos os ambientes, aberto e fechado, sem a formação de trincas, porosidades e descontinuidades.

A técnica GTAW exibiu diferenças em relação aos cenários de soldagem, no espaço fechado demonstrou uma qualidade visual excelente, contudo, em área aberta mostrou certa inconsistência perante a norma NBR16079-1, com presença de porosidade ao longo do cordão de solda. Essa inconsistência segundo (Silva; Maciel, 2022) é explicada por que juntas com proteção gasosa submetidas a corrente de ar mesmo de baixa intensidade tendem a apresentar altos níveis de poros ao se comparar a juntas isentas de corrente de ar. Ainda segundo esse estudo, o resfriamento causado pelas correntes de ar mais fortes pode alterar a microestrutura do cordão de solda, podendo diminuir a dureza da amostra.

## 5 Considerações Finais

O presente estudo atingiu o objetivo de comparar os processos de soldagem SMAW e GTAW aplicados em aço ASTM-A36 sob diferentes condições de ambiente. Os resultados indicaram que o GTAW — embora tenha menor consumo de recursos e oferecido um acabamento visual bem homogêneo em ambientes fechados — sofreu com influências externas quando aplicado em áreas abertas. Por outro lado, o SMAW demonstrou maior consistência visual e produtividade em ambos os ambientes, apresentando também menor custo e tempo de execução. Esses achados sugerem que a escolha do processo de soldagem deve considerar o equilíbrio entre qualidade visual e custos, conforme as condições específicas de aplicação.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16079-1**: Ensaio não Destrutivo— Terminologia Parte 1— Descontinuidade em juntas soldadas. Brasília, 2012.

AWS – American Welding Society. **AWS D1.1/D1.1M**: Código de Soldagem Estrutural-Aço. Miami, 2010. Disponível em: [D1.1-D1.1M-2010-PR-PV.pdf \(aws.org\)](https://www.aws.org/Portals/0/D1.1-D1.1M-2010-PR-PV.pdf). Acesso em: 01 mai. 2024.

BAGHEL, P. K. Effect of SMAW process parameters on similar and dissimilar metal welds: An overview. **Heliyon**, [s.l.],n.8, e12161, 2022. Disponível em: [S2405-8440\(22\)03449-1.pdf \(cell.com\)](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.12161). Acesso em 25 mai. 2024.



GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 7.ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2021.

GROOVER, M. P. **Fundamentos da manufatura moderna**. 5.ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017.

HAIDER, S.F.; QUAZI, M.M.; BHATTI, J.; BASHIR, M. N.; ALI, I. Effect of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) parameters on mechanical properties of low-carbon, mild and stainless-steel welded joints: A review. **Journal of Advances in Technology and Engineering Research**, [s.l.], n.5, p.191-198, 2019. Disponível em: [\(PDF\) Efeito dos parâmetros de soldagem a arco de metal blindado \(SMAW\) nas propriedades mecânicas de juntas soldadas de baixo carbono, aço macio e aço inoxidável: uma revisão \(researchgate.net\)](#). Acesso em 29 mai. 2024.

ISO – **International Standards Organization**. **ISO 3834**: Requisitos da qualidade para soldagem por fusão de materiais metálicos. Brasília, 2012.

LOPES, F. E.; SANTOS, F.S. **Estudo sobre a evolução dos processos de união na indústria automobilística**. 2020. Monografia (ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA SOLDAGEM) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/35072/1/Monografia%20Final%20Versao%205.pdf> .Acesso em: 01 out. 2024.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem**: Fundamentos e Tecnologia. 4. Ed. [s.l.], Gen Ltc, 2016.

MARTIM, H. C.; SANTOS, J. W. F.; RIBEIRO, L. P. Levantamento preliminar do panorama patentário dos processos de soldagem por eletrodo revestido, Tig e Mig/Mag. **REVISTA INGI**, Aracaju, vol. 6, n.4, p. 1838-1847, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.51722/ingi.v6.i4.229> . Acesso em 15 abr. 2024.

MARTIM, H.C.; VILARINHO, L.O. Estudo de Campos Magnéticos Emitidos em Processos de Soldagem Eletrodo Revestido e TIG. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 292-305, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/si/a/8LfzSHmqxYQ9Mj5RkSjq3kd/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 01 mai. 2024.

MELO, R. H. F. **AVALIAÇÃO DA UNIÃO DE CHAPAS FINAS DE LIGAS COM MEMÓRIA DE FORMA NITI PELOS PROCESSOS DE SOLDAGEM GTAW, PAW E LBW**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017. Disponível em: <https://bdtd.ufcg.edu.br/jspui/bitstream/riufcg/16072/3/RAPHAEL%20HENRIQUE%20FALC%3%83O%20DE%20%20MELO%20TESE%20%28PPG-CEMat%29%20CCT%202017.pdf> . Acesso em: 20 jun. 2024.

MICIAN, M.; FRATRIK, M.; KAJANEK, D. Influence of Welding Parameters and Filler Material on the Mechanical Properties of HSLA Steel S960MC Welded Joints. **Metals**,

[s.l.], v.11, n.305, p. 1-18, 2021. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/349261521\\_Influence\\_of\\_Welding\\_Parameters\\_and\\_Filler\\_Material\\_on\\_the\\_Mechanical\\_Properties\\_of\\_HSLA\\_Steel\\_S960MC\\_Welded\\_Joints](https://www.researchgate.net/publication/349261521_Influence_of_Welding_Parameters_and_Filler_Material_on_the_Mechanical_Properties_of_HSLA_Steel_S960MC_Welded_Joints) . Acesso em 20 mai. 2024.

PEREIRA, D. H. M.; PEREIRA, D. H. M.; ROLIM, T. L.; FERREIRA, R. A. S. Análise das tensões residuais utilizando o método DPC na soldagem multipasse do aço ASTM A131 AH36 pelos processos SMAW e FCAW. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v.25, e.2513, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/si/a/f9ZBprZ4kTMM4z9df5JbyCB/?format=pdf#:~:text=Resumo%3A%20As%20tens%C3%B5es%20residuais%20%28TR%29%20nas%20juntas%20soldadas,processos%20eletrodo%20revestido%20%28ER%29%20e%20arame%20tubular%20%28AT%29> . Acesso em 12 mar. 2024.

SILVA, E. B.; MACIEL, T. M. Influência da velocidade de correntes de ar sobre a porosidade em juntas soldadas pelo processo MIG/MAG. **Revista Matéria**, [s.l.], v. 27, n. 2, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/qf8rgb945tSmwqZgYYYYLTJ/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 25 out. 2024.

SOUZA, C. I. **Análise Comparativa dos processos de soldagem GMAW e FCAW com transferência metálica por curto-circuito na posição horizontal**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14888/1/AnaliseComparativaProcessos.pdf> . Acesso em 30 out. 2024.

SOUZA, K. G. S.; LAURSEN, A.; MACIEL, T. M.; MELO, J. B. C. A.; SILVA, A. A. Avaliação e comparação dos processos SMAW, FCAW e GTAW, através da análise microestrutural e microdureza da raiz e do acabamento de juntas soldadas de aços API 5 L X65 e X70. *In*: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 8., 2014, Uberlândia. **Congresso** [...]. Uberlândia: UFCG, 2014. Disponível em: <https://www.abcm.org.br/anais/conem/2014/PDFS/CONEM2014-1509.pdf> . Acesso em 30 out. 2024.

SCHWEDERSKY, M. B.; DUTRA, J. C. Um estudo da eficiência térmica dos principais processos de soldagem a arco, [s.l.], **Associação Brasileira de Soldagem**. Disponível em: [https://labsolda.ufsc.br/publicacoes/artigos/2011\\_consolda\\_mateus.pdf](https://labsolda.ufsc.br/publicacoes/artigos/2011_consolda_mateus.pdf) . Acesso em: 30 out. 2024.

VIEIRA, F. D.; RUBAIE, K. S. F. A.; PRETI, O.; RICHTER, R. O.; DELIJAICOV, S. Impacto nas Propriedades Mecânicas e Tensões Residuais do Material ASTM A572 Grau 50 Soldado por Arco Submerso com Alívio de tensões Térmico. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v.24, e.2431, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/si/a/3vKYfKxnGQ9BWV4Gk944NKF/?format=pdf> . Acesso em: 16 mai. 2024.

VILELA, L. B. M.; FARIA, G. L.; ALCÂNTARA, C. M.; OLIVEIRA, T. R.; COTA, A. B. Efeito da taxa de resfriamento sobre a formação de martensita em um aço inoxidável ferrítico com 11%Cr e baixos teores de intersticiais. **Revista Matéria**, [s.l.], v.24, n.1, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/TJFC8MKZqFpkH8QttvYwRxJ/?format=pdf&lang=pt> . Acesso em: 01. out. 2024.

WELMAN, K. **Welding Processes handbook**. Inglaterra: Woodhead Publishing Ltd, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/268011854\\_A\\_Ferramenta\\_5S\\_e\\_suas\\_Implicacoes\\_na\\_Gestao\\_da\\_Qualidade\\_Total](https://www.researchgate.net/publication/268011854_A_Ferramenta_5S_e_suas_Implicacoes_na_Gestao_da_Qualidade_Total) . Acesso em 01 jun. 2024.

## **COMPARAÇÃO ENTRE FERRAMENTAS DE AÇO RÁPIDO E METAL DURO NO PROCESSO DE TORNEAMENTO EXTERNO DE EIXO EM AÇO SAE 1045**

**Acadêmicos:** Augusto Braga Araújo; Vinícios Soares Carvalho

**Orientador:** Prof.º Carlos Eduardo Marques Cerqueira

**Linha de Pesquisa:** Fabricação e Projeto Mecânico

### **RESUMO**

O estudo em questão traz uma comparação entre ferramentas de corte em aço rápido e metal duro, no processo de desbaste por torneamento cilíndrico externo de barras redondas trefiladas, fabricadas em aço SAE 1045. Trata-se de um processo bastante comum na indústria metalúrgica, realizado com ferramentas facilmente encontradas nesta área. Foi definida a velocidade de corte para cada ferramenta, de acordo com a tabela de velocidade de corte. Após este passo, calculou-se as rotações por minuto da placa universal de três castanhas, onde é acoplada a peça a ser torneada. Os testes consistiram em três operações de torneamento para cada ferramenta, em que cada operação foi realizada com profundidades diferentes: 1 mm no primeiro, 3 mm no segundo e 5 mm no terceiro. O comprimento de corte foi de 45 mm para cada barra e seu comprimento total de 100 mm. Ao final do processo, notou-se uma grande diferença entre as peças usinadas, sobressaindo-se o eixo torneado com metal duro. O objetivo deste trabalho acadêmico, é demonstrar as diferenças que podem ser encontradas neste mesmo processo, com as ferramentas de corte mais comuns no mercado, ficando a título do operador a decisão sobre qual optar, por meio de suas próprias conclusões, com o auxílio deste artigo.

**PALAVRAS-CHAVES:** torno mecânico, metal duro, aço rápido, ferramentas de corte, usinagem.

### **1 INTRODUÇÃO**

A usinagem é um dos processos de fabricação mais importantes na indústria metalúrgica em geral. O processo consiste na retirada de cavaco (excesso) do material usinado, por meio de um material mais duro e resistente que a peça usinada, atribuindo a esta, dimensões, forma ou acabamento, permitindo até mesmo a combinação destes três fatores (Valim, 2018; Machado *et al.*, 2015).

Sua grande utilização deve-se ao fato de que envolvam uma grande variedade de geometrias que podem ser usinadas, de forma a obter um bom

acabamento, mas sem que haja alteração das propriedades do material usinado (Amorim, 2002).

De acordo com Lemos (2019), no século XX, com a evolução da qualidade dos produtos, conseqüentemente estes ficaram mais resistentes e difíceis de serem usinados. Diante disto, surgiram ferramentas de aço rápido e carbeto de tungstênio, respectivamente, capazes de trazer boa qualidade de acabamento, podendo também usinarem as peças com velocidades mais altas, sem que um sacrifique o outro.

A respeito destas duas ferramentas, é necessário saber que são classificadas por ordem de dureza juntamente de outros materiais. As ferramentas de aço rápido recebem o mesmo nome de seu grupo. Já as ferramentas de carbeto de tungstênio pertencem ao grupo dos metais duros (Machado *et al.*, 2015)

Por conta desta classificação, estes materiais apresentam também certa disparidade nos custos de aquisição, assim como no desgaste e durabilidade da ferramenta (Lemos, 2019). Além disso, faz-se necessária a alteração dos parâmetros de funcionamento da máquina que opera a usinagem, como número de rotações e velocidade de corte, por exemplo, para cada ferramenta.

Portanto, fica definido o propósito da pesquisa, com o objetivo de equiparar a usinagem por ferramentas de aço rápido e carbeto de tungstênio no torneamento de aço SAE 1045.

Sendo a importância do estudo, uma comparação que objetiva visualizar os resultados entre ambas as ferramentas, quando utilizadas num mesmo processo e usinando a mesma peça, cada qual com seus parâmetros equivalentes, a fim de compreender as diferenças na resistência, desempenho e qualidade do processo de forma mais prática.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Usinagem**

Segundo Machado e Silva (2004), a usinagem é um processo de fabricação em que há a remoção de cavaco. Segundo o autor, é o processo de fabricação mais popular, em que 10% de toda a produção do metal mundial é transformada em cavaco.

Este processo, caracteriza-se como uma operação em que ocorre a retirada do excesso de material da peça inicial. Seu objetivo é adequar a peça as medidas desejadas. O torneamento é um dos mais importantes, seguido pela furação e fresamento (Groover, 2014).

Na usinagem, são necessárias condições ideais de corte do material (Machado e Silva, 2004):

- Materiais e geometria adequados de ferramenta de corte;
- Velocidade de corte e o avanço correto para a profundidade de corte pré-determinada;
- Um fluido de corte adequado;

Como dito acima, a usinagem consiste na retirada de cavaco, que são resíduos do material usinado, proporcionais às suas características construtivas (Almeida, 2015). Além disso, exige a utilização de máquinas-ferramenta em que a potência de usinagem destas máquinas-ferramenta é exatamente a energia necessitada para remover determinada quantidade de cavaco em um espaço de tempo (Peixoto, 2021).

Aleixo (2020), evidencia que a escolha do material correto para a ferramenta, é um dos pontos mais importantes na usinagem, tendo em vista que, um material incorreto para determinada peça pode causar desgaste prematuro da ferramenta e uma operação malsucedida.

Além disso, Rosa (2017) enfatiza que, apesar de a usinagem depender de uma série de fatores, também pode ser conhecida como uma condição exclusiva do material.

## **2.2 Propriedades mecânicas dos materiais**

Durante um projeto, é imprescindível que o engenheiro tenha um conhecimento acerca das propriedades dos materiais que serão utilizados. Tal conhecimento, permite ao engenheiro que mesmo não conhecendo todos os materiais existentes à sua disposição, tenha uma noção geral de como este deve reagir às solicitações que for exposto. Vlack (1970), cita algumas das principais propriedades mecânicas: resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, fluência, dureza e tenacidade. Ele evidencia que todas são propriedades relacionadas a

habilidade do material em resistir a forças mecânicas. Neste estudo, as principais propriedades a serem citadas e explicadas são: dureza e ductilidade.

- Dureza: de acordo com Callister e Rethwisch (2020), é uma propriedade do material de resistir a deformações plásticas localizadas. Um material duro apresenta alta resistência a perfurações (Askeland e Wright, 2014). Stein (2018), afirma que a dureza pode também ser associada a resistência, risco, corte, abrasão e flexão.

- Ductilidade: É basicamente a deformação plástica que o material sofre até seu ponto de ruptura. Um material pouco dúctil sofre uma deformação muito pequena; muitos nem sofrem, sendo considerados materiais frágeis. Neste caso, o eixo que será utilizado é um material dúctil em relação ao processo, sendo considerado de boa usinabilidade, pois é um material resistente, mas que sofre as deformações plásticas na interface de corte, sem fraturar, ao contrário de um material frágil (Stein, 2018; Vlack, 1970).

### 2.3 Torneamento

A operação consiste na retirada de material em excesso de uma determinada peça, de acordo com as especificações necessárias. A peça é acoplada a uma placa que rotaciona em torno de seu próprio eixo, enquanto a ferramenta avança longitudinalmente ou transversalmente sobre aquela (Machado *et al.*, 2015).

Figura 1: Processo de torneamento cilíndrico externo. Será o método adotado neste estudo.



Fonte: Machado *et al.*, (2015).

Existem várias operações que podem ser realizadas no torneamento. A que será adotada é o torneamento cilíndrico externo. Neste processo, o diâmetro da peça será reduzido para o diâmetro requerido, criando um cilindro (Fitzpatrick, 2013). Será uma operação de desbaste, que consiste na retirada de material e trabalha com uma velocidade de corte menor em relação a operação de acabamento.

## 2.4 Ferramentas de corte

São as ferramentas desenvolvidas com ângulos de corte, detendo materiais e perfis especiais, de acordo com a máquina, especificações de corte e com o material que será usinado (Almeida, 2015).

Por volta de 1868, o metalúrgico britânico Robert Mushet, principal precursor para a criação das ferramentas de corte, introduziu os aços ligas. Os primeiros eram compostos por carbono como elemento ligante, contendo em torno de 0,6 a 1,3% da composição total do material, em que, quanto maior a porcentagem de carbono, maior dureza este conferia ao material (Valim, 2018).

Segundo Ferraresi (1970), Mushet, por meio de experiências, admitiu que elementos de liga poderiam provir maior dureza aos aços, como constatado nas ligas de aço carbono.

## 2.5 Aço rápido

Posteriormente, no ano de 1898, Fred W. Taylor, White e outros, desenvolveram um tipo adequado aço para ferramenta de corte, o aço rápido. Sua composição era de 0,67% de Carbono, 18,91% de Tungstênio, 5,47% de Cromo, 0,11% de Manganês e 0,29% de Vanádio (Machado, 2015; Coelho e Silva, 2018).

Chiaverini (1979) e Valim (2018) demonstram que tais elementos de liga conferem características específicas à ferramenta:

- Carbono: aumenta a dureza e resistência ao desgaste do material.
- Tungstênio: elemento formador de carbonetos, sendo também responsável pela elevada dureza destas ferramentas, podendo chegar a 20% da composição;
- Molibdênio: trata-se de um elemento substituto do tungstênio, apresentando praticamente as mesmas características mecânicas;
- Cromo: unido ao carbono, eleva a temperabilidade do material. Além disso, é responsável por reduzir a oxidação durante os tratamentos térmicos;
- Vanádio: outro forte formador de carbonetos. É o elemento mais duro da composição, aumenta também a dureza a quente da ferramenta, o que a torna resistente as altas temperaturas, que podem chegar até mesmo aos 600 °C;

- Cobalto: amplifica demasiadamente a dureza a quente, melhorando a eficiência da ferramenta na usinagem de alta temperatura;

O aço rápido causou uma grande revolução no mercado por conta do grande aumento da capacidade de produção. As velocidades de corte, que antes variavam entre 3 e 5 m/min, elevaram em até 10 vezes a velocidade de produção, chegando aos 30 a 35 m/min. (Machado *et al.*, 2015; Coelho e Silva, 2018; Valim, 2018;).

Figura 2: Bit de aço rápido semelhante ao que será utilizado neste estudo.



Fonte: [supriferramentas.com.br](http://supriferramentas.com.br)

Justamente por conta deste acontecimento, recebeu o nome de aço rápido (High Speed Steel, traduzindo-se do inglês HSS), por conta da alta velocidade adotada após sua criação. No entanto, estas velocidades, já nem podem ser consideradas tão altas, levando-se em conta novas ferramentas desenvolvidas posteriormente e que aceitam velocidades consideravelmente mais altas (Valim, 2018).

De acordo com Santos (2022), o aço rápido é o aço mais utilizado em ferramentas, principalmente por conta de sua alta dureza quando temperado, mesmo a altas temperaturas. O que permite esta alta dureza é a demasiada presença de partículas de carboneto em sua composição, fornecendo maior resistência ao desgaste.

## 2.6 Metal duro

Após os grandes avanços vindos do desenvolvimento do aço rápido, outro grande avanço surgiu, trazendo um aumento proporcional ao dos aços rápidos em relação às ferramentas de aço-carbono, cerca de 10 vezes mais velocidade de corte para as ferramentas de metal duro, comparando-se às ferramentas de aço rápido. As velocidades saltaram de 30 a 35 m/min para 250 a 300 m/min (Machado *et al.*, 2015).

De acordo com Valim (2018), seu desenvolvimento deu-se na Alemanha, por Schroter, em 1925. São conhecidas pelo nome de Widia (por conta da expressão alemã “**wie diamante**”: como diamante, em português), principalmente por suas características que se assemelham às do diamante, sendo elas alta dureza e resistência ao desgaste.

Figura 3: Ferramenta de corte em metal duro. Semelhante a que será utilizado no processo



Fonte: tecnoferramentas.com.br

São classificados em três classes, de acordo com a norma ISSO 513-1975: classe P, M e K. A classe a ser utilizada neste trabalho é a classe P (Valim, 2018):

- Classe P: cor azul, contém até 35% de sua composição por Carbonetos de Titânio e 7% de Tântalo, além dos Carbonetos de Tungstênio já presentes. Sua utilização dá-se no ferro fundido, nodular e maleável, aço fundido e aço.

### 3 METODOLOGIA

O estudo em questão trata-se de uma pesquisa experimental. De acordo com Gil (2002), a pesquisa experimental é um modelo de pesquisa que consiste na determinação de um objeto de estudo, das variáveis que podem influenciá-lo, definição das formas de controle e uma observação dos efeitos que as variáveis produzirão no objeto de estudo.

O local de realização da pesquisa será em uma indústria privada em Matipó-MG. Os testes serão realizados no mês de outubro, utilizando uma ferramenta em aço rápido e outra em metal duro. Haverá uma avaliação para comparar a durabilidade e o melhor acabamento visual em usinagem por torno convencional, com a utilização de eixos em aço SAE 1045.

Será observado o comportamento das ferramentas em operações de desbastes, com as devidas configurações de velocidade de corte e número de rotações, referentes ao máximo permitido. Isto de acordo com os cálculos e a tabela de velocidade de corte para ferramenta em relação ao seu material, ao material da

peça usinada, ao diâmetro do eixo e a natureza da operação. O estudo visa avaliar o efeito da ferramenta no material, a qualidade superficial da peça usinada e a condição final da ferramenta.

### **3.1 Processo**

O teste consistirá em um processo de usinagem por torneamento mecânico. Para efeito de padronização da operação, aspirando a obtenção de resultados mais confiáveis, será feita a utilização de corpos de prova retirados de uma única barra de eixo SAE 1045, com diâmetro de 1" (25,4 mm); o comprimento destes corpos de prova será de 100 mm cada e serão torneados em um mesmo torno mecânico. Cada ferramenta torneará três corpos de prova. No primeiro eixo, 1 mm de profundidade; no segundo eixo, 3 mm de profundidade; por fim, no terceiro eixo, 5 mm de profundidade. Ao todo, cada ferramenta torneará 135 mm de comprimento total, 45 mm em cada eixo.

Será utilizada também, apenas uma ferramenta de cada material, ao passo que, caso haja a quebra ou desgaste prematuro, mesmo os parâmetros de corte estando corretos, o teste será encerrado para aquela ferramenta, não sendo permitida a afiação ou troca por uma nova.

### **3.2 Equipamento e ferramentas**

A máquina utilizada é um torno mecânico convencional, com placa universal de três castanhas. O modelo do torno é o Nardini Mascote MS 205, modelo 2024. O torno está em perfeitas condições e foi adquirido em maio de 2024 diretamente da fabricante Nardini, sendo um torno de primeira mão.

A ferramenta de metal duro escolhida será do modelo de ferramenta soldada ISO 6 20x20 direita P30 (cor azul); a classe 30 é uma classe intermediária de dureza referente a este tipo de ferramenta, e que atenderá perfeitamente ao experimento.

A ferramenta de aço rápido, será Bits Quadrado Aço Rápido 3/8", com porcentagem de Cobalto: 50%; Norma DIN4964; Formato do Bits: Quadrado, Temperado e Revenido com 64/66 HRC (Dureza Rockwell C); com ângulo de afiação 60° ABNT NBR ISO 3002-1 2013.

Após o fim do teste, os corpos de prova e as ferramentas serão visualizadas em microscópio e serão avaliados visualmente a qualidade do acabamento dos

eixos e a condição final das ferramentas. O estudo dos resultados será exposto em tópicos.

O objetivo final da pesquisa é comparar o acabamento das peças, observando a qualidade visual dos eixos usinados, assim como da condição final a que se encontrarão as ferramentas.

### 3.3 Cálculos

Primeiramente, serão obtidas as velocidades de corte para cada ferramenta. A escolha é realizada levando-se em consideração, o material da ferramenta, o material da peça usinada e se a operação é uma operação de desbaste ou acabamento. Tudo isto se dá por meio da tabela de velocidades de corte.

Tabela 1: Tabela de velocidades de corte.

VELOCIDADE DE CORTE PARA TORNO					
Materiais	Ferramentas de aço rápido			Ferramentas de carboneto metálico	
	Desbaste	Acabamento	Roscar Recartilhar	Desbaste	Acabamento
Aço 1020	25	30	10	200	300
Aço 1045	20	25	8	120	160
Aço extraduro 1060	15	20	6	40	60
Ferro fundido maleável	20	25	8	70	85
Ferro fundido gris	15	20	8	65	95
Ferro fundido duro	10	15	6	30	50
Bronze	30	40	10-25	300	380
Latão e cobre	40	50	10-25	350	400
Alumínio	60	90	15-35	500	700
Fibra e ebonite	25	40	10-20	120	150

Fonte: docente.ifsc.edu.br

A velocidade de corte para o aço rápido no processo de desbaste de eixo em aço 1045 é 20 m/min, enquanto a velocidade de corte para metal duro, também no desbaste de aço 1045 é 120 m/min.

Por meio destas velocidades de corte, serão calculadas as rotações por minuto da peça na seguinte fórmula:

$$n = \frac{Vc \times 1.000}{\pi \times D}$$

Onde:

- n: é o número de rotações por minuto (RPM);
- Vc: é a velocidade de corte (m/min);
- D: é o diâmetro da peça que será usinada (mm).

Portanto, aplicando ao aço rápido, obtém-se a seguinte velocidade de corte:

$$n = \frac{20 \times 1.000}{\pi \times 25,4} = 250,63 \text{ RPM}$$

Aproximando para a RPM mais próxima encontrada no torno, tem-se 250 RPM. Aplicando a fórmula agora para o metal duro:

$$n = \frac{120 \times 1.000}{\pi \times 25,4} = 1.503,82 \text{ RP}$$

Novamente, aproximando-se para a RPM mais próxima encontrada no torno, tem-se 1.600 RPM.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Conforme supracitado, o processo de torneamento foi executado e os resultados obtidos através dele serão discorridos a seguir:

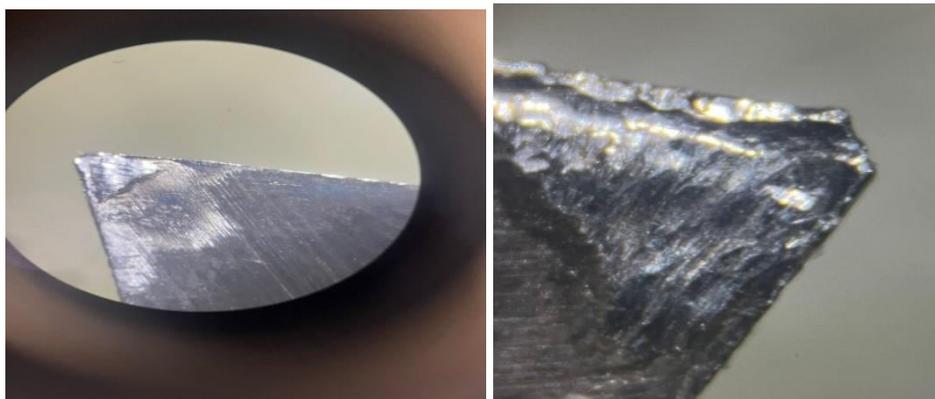
##### **4.1 Eixo torneado em aço rápido**

A ferramenta em aço rápido foi a primeira a passar pelos testes. Seguindo o roteiro programado, a velocidade de corte foi de 25 m/min e 250 RPM. A peça selecionada para avaliação no microscópio, foi a do segundo passe, com 3 mm de profundidade.

Logo de imediato, o que se percebe na peça usinada é uma superfície com determinada aspereza e uma aparência mais fosca e escura. É possível ver também algumas fissuras, quando na imagem aproximada, que demonstram imperfeições na superfície, como pequenas fendas. Isto se dá por conta da perda de afiação da ferramenta, que reduz a eficiência do corte, causando estas falhas (Lemos, 2019).

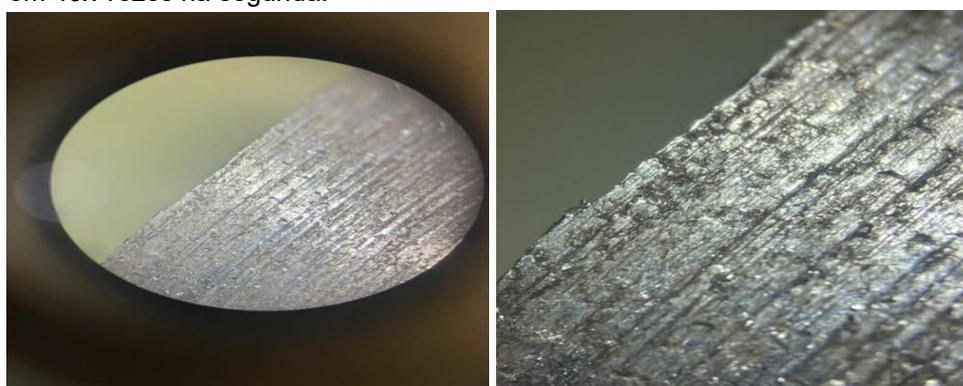
A ferramenta em aço rápido, apresentou desgaste por erosão, com pequenas perdas de material em sua ponta, como mencionado por Machado (2015), a respeito dos mecanismos de desgaste a que estão expostas as ferramentas de corte. A rugosidade da superfície, confirma a dificuldade da ferramenta em manter a resistência ao atrito e, conseqüentemente, ao calor gerado no torneamento (Stein, 2018).

Figura 5: Ponta da ferramenta em aço rápido desgastada; aproximada em 10x vezes na primeira imagem e em 40x vezes na segunda.



Fonte: o autor.

Figura 6: Eixo usinado pela ferramenta em aço rápido aproximado em 10x vezes na primeira imagem e em 40x vezes na segunda.



Fonte: o autor.

#### 4.2 Eixo torneado em metal duro

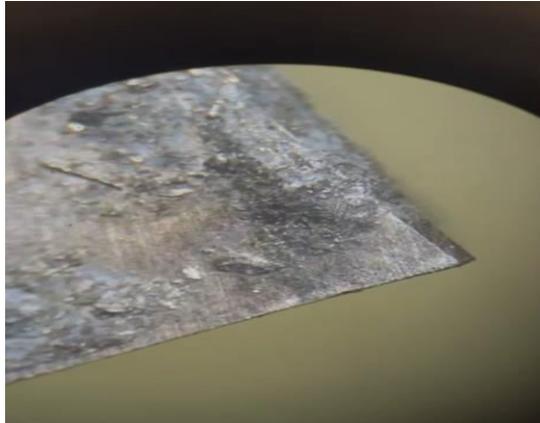
Em seguida, a ferramenta de metal duro também seguiu os padrões definidos, com a velocidade de corte de 120 m/min e 1.600 RPM. Da mesma forma, a peça selecionada foi a do segundo passe, com 3 mm de profundidade.

Notavelmente, o acabamento é bastante superior em relação ao eixo torneado por aço rápido. A superfície encontra-se extremamente lisa e com aparência brilhante, como polida. Pela imagem ampliada, é possível perceber que a superfície apresenta um padrão de linhas bem definido e sem as imperfeições e fendas encontradas no eixo anterior. A diferença se dá pelo fato de o metal duro deter maior dureza e resistência ao desgaste, sendo inclusive, ideal para operações com velocidades mais altas (Machado *et al.*, 2015; Valim, 2018).

A ferramenta, apresentou um pouco de desgaste por adesão e elevado aumento em sua temperatura, muito por conta da alta velocidade de corte, que favorece este aumento da temperatura e, conseqüentemente, o mecanismo de desgaste observado (Amorim, 2002). Novamente, como foi salientado por Machado

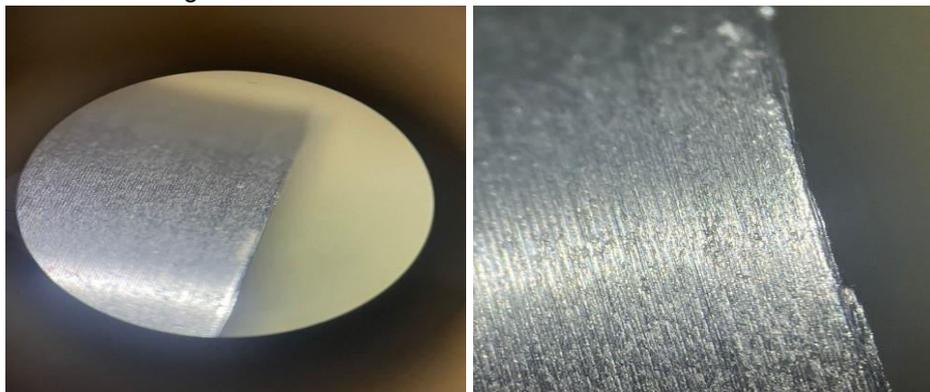
(2015), as ferramentas de corte encontram-se expostas a diversos mecanismos de desgaste.

Figura 7: Ponta da ferramenta de metal duro ampliada em 40x vezes.



Fonte: o autor.

Figura 8: Eixo usinado pela ferramenta em metal duro aproximado em 10x vezes na primeira imagem e 40x vezes na segunda.



Fonte: o autor.

Apesar destes fatores positivos, vale ressaltar que o metal duro exige maior cuidado quanto sua velocidade de corte, por se tratar de um material mais frágil, justamente por ser um material de alta dureza (Rosa, 2017).

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo tem como objetivo, apenas comparar o efeito de ambas as ferramentas numa mesma aplicação. As ferramentas de aço rápido e metal duro no torneamento cilíndrico externo de eixo em aço SAE 1045 e a qualidade, resulta na superfície da peça.

Após a avaliação, é perceptível o desempenho superior obtido pela ferramenta de metal duro, em relação à ferramenta em aço rápido, demonstrando maior resistência ao desgaste e a altas temperaturas; além disso, propiciou um

acabamento mais vistoso e de maior qualidade, com uma superfície extremamente polida.

Entretanto, a ferramenta em aço rápido não deixa de ser uma opção interessante, permitindo inúmeras afiações e conferindo uma longa vida útil à ferramenta. Diferentemente, da ferramenta em metal duro que não permite muitas afiações.

## 6 REFERÊNCIAS

ALEIXO, Guilherme Souza. **Avaliação do desempenho de ferramentas de metal duro e cermet no torneamento do aço ABNT 1045**. 2020. Dissertação (Mestrado em Processos de Fabricação e Materiais) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/39640>. Acesso em: 12 jun. 2024.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Processos de usinagem: Utilização e aplicações das principais máquinas operatrizes**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2015. E-book: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536520070/pageid/0>. Acesso em: 1 jun. 2024.

AMORIM, Heraldo José de. **Estudo na relação entre velocidade de corte, desgaste de ferramenta, rugosidade e forças de usinagem em torneamento com ferramenta de metal duro**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2002. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/3791>. Acesso em: 14 jun. 2024.

ASKELAND, Donaldo R.; WRIGHT, Wendelin J. **Ciência e engenharia dos materiais**. 3ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788522118014>. Acesso em: 12 out. 2024.

CALLISTER Jr., William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia dos materiais**. 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788521637325>. Acesso em: 7 mai. 2024.

COELHO, Reginaldo Teixeira; SILVA, Eraldo Janonne da. **Materiais para ferramenta de corte em usinagem**. 2018. Tese (Bacharelado de Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Núcleo de Manufatura Avançada, Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5&q=MATERIAIS+PARA+FERRAMENTA+DE+CORTE+EM+USINAGEM&btnG=](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=MATERIAIS+PARA+FERRAMENTA+DE+CORTE+EM+USINAGEM&btnG=). Acesso em: 5 mai. 2024.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. 1988. 6ª ed. São Paulo: ABM, 1988. E-book. Disponível em:

<https://pt.scribd.com/doc/44553393/VICENTE-CHIAVERINI-Acos-e-Ferros-Fundidos>. Acesso em: 03 abr. 2024.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. 18<sup>a</sup> ed. São Paulo: Blücher, 1970. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521214199/pageid/0>. Acesso em: 7 mai. 2024

FITZPATRICK, Michael. **Introdução aos processos de usinagem**. Porto Alegre: AMGH, 2013. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788580552294>. Acesso em: 30 set. 2024.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas S.A., 2002. E-book. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo\\_C1\\_como\\_elaborar\\_projeto\\_de\\_pesquisa\\_-\\_antonio\\_carlos\\_gil.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf). Acesso em: 28 jun. 2024.

GROOVER, Mikell P. **Introdução aos processos de fabricação**. 1<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. E-book. Disponível em: [https://www.academia.edu/44421271/Introdu%C3%A7%C3%A3o\\_aos\\_Processos\\_de\\_Fabrica%C3%A7%C3%A3o\\_Mikell\\_P\\_Groover\\_LTC\\_2014\\_](https://www.academia.edu/44421271/Introdu%C3%A7%C3%A3o_aos_Processos_de_Fabrica%C3%A7%C3%A3o_Mikell_P_Groover_LTC_2014_). Acesso em: 2 out. 2024.

LE MOS, Ivan Silva. **Análise do custo-benefício entre ferramentas de HSS, carboneto de tungstênio e insertos de CBN na usinagem de aço SAE 1045**. 2019. Monografia (Bacharelado Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Centro Universitário Sul de Minas, Varginha, 2019. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1218>. Acesso em: 14 mai. 2024.

MACHADO, Álisson Rocha; SILVA, Márcio Bacci da. **Usinagem dos metais**. 8 ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. 2004. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt&as\\_sdt=0%2C5&q=USINAGEM+DOS+METAIS&btnG=&oq=usinag](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt&as_sdt=0%2C5&q=USINAGEM+DOS+METAIS&btnG=&oq=usinag). Acesso em: 21 de jun. 2024.

MACHADO, Álisson Rocha; ABRÃO, Alexandre Mendes; COELHO, Reginaldo Teixeira; SILVA, Márcio Bacci da. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: BLUCHER, 2015. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521208440/pageid/0>. Acesso em: 21 de mai. 2024.

PEIXOTO, Augusto César Santos. **Análise da força de corte e rugosidade no torneamento de ferro fundido cinzento utilizando sistema de resfriamento interno da ferramenta**. 2021. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de Fabricação) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/32851>. Acesso em: 8 mai. 2024.

ROSA, Guilherme Cortelini da. **Estudo da usinabilidade no torneamento a seco do aço inoxidável martensítico AISI 420 C endurecido com ferramenta de metal-duro**. 2017. Tese (Doutorado em Processos de Fabricação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/165625>. Acesso em: 24 ago. 2024.

SANTOS, Erick Eduardo dos. **Resistência ao desgaste microabrasivo em um bit de aço rápido com superfície tratada via laser**. 2022. Monografia (Bacharelado Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2022. Disponível em: [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0%2C5&q=Resist%C3%AAn cia+ao+desgaste+microabrasivo+em+um+bit+de+a%C3%A7o+r%C3%A1pido+com +superf%C3%ADcie+tratada+via+laser&btnG=](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=Resist%C3%AAn cia+ao+desgaste+microabrasivo+em+um+bit+de+a%C3%A7o+r%C3%A1pido+com +superf%C3%ADcie+tratada+via+laser&btnG=). Acesso em: 24 mai. 2024.

STEIN, Ronei Tiago. **Materiais de construção mecânica**. Porto Alegre: Sagah, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788595025134>. Acesso em: 9 jul. 2024.

VALIM, Diego Batista. **Usinagem**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595025110/pageid/0>. Acesso em: 16 mai. 2024.

VLACK, Lawrence H. Van. **Princípios de ciências dos materiais**. 22<sup>a</sup> ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1970. E-book. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788521217565>.

Por conta disto, a qualidade superficial da peça é notavelmente inferior e escurecida, por conta do aumento de atrito e redução da capacidade cortante da ponta, reduzida pela perda de afiação.

