



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DAS ENGENHARIAS
ENGENHARIA MECÂNICA

YURI FELIPE PIERRE BARBALHO

**ANALISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE UM GÁS ATIVO E UM GÁS
INERTE NA SOLDAGEM GMAW**

CARAÚBAS /RN
MARÇO / 2019

YURI FELIPE PIERRE BARBALHO

**ANALISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE UM GÁS ATIVO E UM GÁS
INERTE NA SOLDAGEM GMAW**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Mecânica

Orientador: Me. Prof. Carlos
Cássio de Alcântara - UFERSA

CARAÚBAS / RN
MARÇO / 2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

B228a Barbalho, Yuri Felipe Pierre.
Análise comparativa da utilização de um gás
ativo e um gás inerte na soldagem GMAW / Yuri
Felipe Pierre Barbalho. - 2019.
38 f. : il.

Orientador: Carlos Cássio de Alcântara.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2019.

1. Soldagem. 2. GMAW. 3. MIG. 4. MAG. I.
Alcântara, Carlos Cássio de, orient. II. Título.

YURI FELIPE PIERRE BARBALHO

**ANALISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE UM GÁS ATIVO E UM GÁS
INERTE NA SOLDAGEM GMAW**

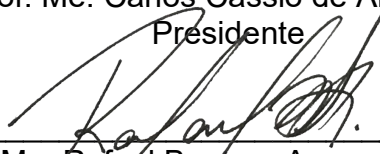
Trabalho de conclusão de curso
apresentada a Universidade Federal
Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Mecânica.

Defendida em: 11 / 03 / 2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Carlos Cássio de Alcântara
Presidente



Prof. Me. Rafael Bezerra Azevedo Mendes
Membro Examinador



Prof. Me. Daniel Nicolau Lima Alves
Membro Examinador

CARAÚBAS / RN

MARÇO / 2019

AGRADESCIMENTOS

A Deus primeiramente, por ter me dado forças nos momentos de maior dificuldade no decorrer de toda a minha caminhada durante o curso.

Ao meu pai, Antônio Barbalho, que foi a minha principal inspiração para esse trabalho. A minha mãe, Edna Pierre, por sempre me incentivar e dizer que tudo ia dar certo.

As minhas irmãs, Ingridy Marina e Isabela Loreny, pelos conselhos que me deram durante tanto tempo.

A Isabelle Varela, que de uma forma positiva sempre me cobrava e me fez ter vontade de crescer no meio acadêmico, além de me acalmar e torcer sempre pelo meu sucesso.

Ao meu Orientador Carlos Cássio de Alcântara, que aceitou o desafio de realizar um TCC em tão pouco tempo e mesmo com imprevistos em nenhum momento veio com palavras que me fizessem desistir e que sempre se mostrou disposto para ajudar tanto em práticas quanto para tirar dúvidas.

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido, por ter ajudado na confecção dos corpos de prova e nos ensaios necessários para o trabalho.

Aos meus professores e amigos que adquiri ao longo do curso. Aos meus amigos de fora da faculdade, que sabendo as dificuldades do curso e/ou a faculdade, nunca me abandonaram nos momentos de maiores apertos de estudos.

RESUMO

Considerado um dos pilares da engenharia mecânica, a soldagem está presente nos principais processos de fabricação de peças, entre os diversos tipos de soldagem a soldagem MIG/MAG tem um lugar de destaque entre as principais. O processo de soldagem através da MIG/MAG é realizado com a utilização de um gás inerte ou ativo, de forma a proteger a região de solda. Dependendo do tipo de transferência metálica e o tipo de gás a ser utilizado, este irá reagir ao arame eletrodo, podendo alterar as propriedades mecânicas e a geometria do cordão de solda. O objetivo deste trabalho é estudar a variação das propriedades mecânicas utilizando os dois tipos de gases utilizados nas soldagens MIG e MAG em uma chapa de aço ASTM A36, que foi submetida a ensaios de tração e testes de microdureza *Vickers*. Os gases utilizados foi o argônio puro e uma mistura de argônio e dióxido de carbono. Os resultados para ambos os gases foram semelhantes, diferenciando que os corpos de prova soldados argônio puro apresentou menor alongamento antes da falha e uma dureza um pouco mais elevada.

Palavras-Chave: Soldagem MIG/MAG, Gás de proteção, Propriedades mecânicas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos Processos de Soldagem	10
Figura 2 - Formação do arco elétrico	12
Figura 3 - Soldagem GMAW (esquemática).....	14
Figura 4 - Principais componentes de uma bancada de soldagem MIG/MAG .	17
Figura 5 - Tocha de Soldagem	18
Figura 6 - Gráfico carga x alongamento	19
Figura 7 - Gráfico convencional $\sigma \times \epsilon$	20
Figura 8 - Dimensões do corpo de prova	23
Figura 9 - Máquina EMIC para ensaio de tração.....	24
Figura 10 - Corpos de prova polidos para o ensaio de microdureza Vickers ...	25
Figura 11 - Microdurômetro utilizado na microdureza Vickers.....	26
Figura 12 - Corpos de provas soldados (A) Gás A, (B) Gás B.	27
Figura 13 - Tensão x Deformação dos corpos soldados com Gás A.	28
Figura 14 - Corpos de prova soldados com Gás A após a ruptura.....	29
Figura 15 - Tensão x Deformação dos corpos de prova soldados com Gás B	29
Figura 16 - Corpos de prova soldados com Gás B após a ruptura.....	30
Figura 17 - Tensão x Deformação, média dos gases A e B	31
Figura 18 - Microdureza Vickers para corpos soldados com Gás A.....	32
Figura 19 - Microdureza Vickers para corpos soldados com Gás B.....	32
Figura 20 - Comparativo das médias das microdureza dos corpos de prova soldados com Gás A e Gás B	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Processos de soldagem por fusão	11
Tabela 2 - Propriedades mecânicas do ER70S-6	15
Tabela 3 - Propriedades mecânica do aço ASTM A36.....	22
Tabela 4 Quantidade de corpos de provas	22
Tabela 5 - Resultados apresentados no ensaio de tração, corpos de prova soldados com Gás A.	28
Tabela 6 - Resultados apresentados no ensaio de tração, corpos de prova soldados com Gás B.	30
Tabela 7 - Classificação dos gases para o processo GMAW de acordo com o IIW (NOVOZHILOV, 1988)	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1 SOLDAGEM.....	9
2.1.1 Arco Elétrico	11
2.1.2 Zona Termicamente Afetada (ZTA).....	12
2.2 SOLDAGEM MIG/MAG	13
2.2.1 Consumível	14
2.2.2 Gases.....	15
2.2.3 Equipamentos	17
2.2.3.1 Tocha de soldagem e acessórios	17
2.2.3.2 Unidade de alimentação de arame	18
2.2.3.3 Fonte de energia.....	18
2.3 ENSAIOS MECÂNICOS.....	18
2.3.1 Ensaio de Tração	19
2.3.2 Ensaio de Dureza	21
3. METODOLOGIA	22
3.1 CORPOS DE PROVA	22
3.2 ENSAIO DE TRAÇÃO.....	23
3.3 MICRODUREZA VICKERS.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1 CORPOS DE PROVA	27
4.2 ENSAIO DE TRAÇÃO.....	28
4.3 ENSAIO DE MICRODUREZA	31
5. CONCLUSÃO	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
7. ANEXOS	38

1. INTRODUÇÃO

Na maior parte dos processos de fabricação, por menor que seja, é necessário a união entre duas peças, para isso, existe os elementos de fixação, que podem ser classificados em permanentes ou móveis. Entre os elementos de fixação permanentes, o mais utilizado na indústria devido a sua versatilidade e economia, é o processo de soldagem.

A soldagem é o mais importante processo industrial de fabricação de peças metálicas. Processos de soldagem e processos afins são também utilizados na recuperação de peças desgastadas, para a aplicação de revestimentos de características especiais sobre superfícies metálicas e para corte. O sucesso da soldagem está associado a diversos fatores e, em particular, com a sua relativa simplicidade operacional. (Modenesi; Marques e Santos, 2012).

Segundo Modenesi e Marques (2000), soldagem pode ser definida como o processo de união de duas ou mais peças por fusão, em geral metálicas, assegurando, na junta soldada, a continuidade de propriedades físicas, químicas e metalúrgicas.

Para Fischer (2011) a soldagem se tornou mundialmente conhecida por ser peça chave na engenharia mecânica, principalmente para a indústria automotiva, naval e industrial. Grande parte deste sucesso deve-se ao processo de soldagem com eletrodo consumível sob proteção gasosa, do inglês de “*Gas Metal Arc Welding*” (GMAW) ou também comumente conhecido como soldagem “*Metal-Inert Gas*” (MIG) e soldagem “*Metal-Active Gas*” (MAG). Devido as suas vantagens como a alta produtividade, a alta flexibilidade das posições de soldagem, excelente qualidade dos cordões e possibilidade de aplicação para soldagem e brasagem de vários materiais com diferentes propriedades físicas, o processo MIG/MAG é um dos processos de soldagem mais utilizados.

O objetivo do presente trabalho é fazer uma análise comparativa da influência dos dois tipos de gases (inerte e ativo) na soldagem de um aço ASTM A-36, para este fim serão executados ensaios mecânicos de forma a se ter parâmetros comparativos entre os mesmos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SOLDAGEM

A união entre dois metais pode ser classificada em duas categorias, podendo ser considerada permanente ou móvel. Segundo Modenesi, Marques e Santos (2012), as categorias podem ser classificadas de acordo com o aparecimento de forças macroscópicas entre as partes unidas ou microscópicas (interatômicas ou intermoleculares), como exemplo do primeiro caso tem a união através de parafusos e rebites, onde a resistência da junta é dada pela resistência ao cisalhamento do elemento de união mais as forças de atrito na superfície de contato. No segundo caso a união é conseguida através da aproximação dos átomos e moléculas das partes a serem unidas, ou destas e um material intermediário, até distâncias suficientemente pequenas para a formação de ligações químicas, como exemplo temos a soldagem, brasagem e colagem.

A história mostra que a soldagem é utilizada desde épocas mais remotas, para Modenesi, Marques e Santos (2012) e Neris (2012) tem sido descoberto artefatos datados entre 3000 e 4000 anos onde já eram confeccionados por processos de brasagem e/ou soldagem por forjamento.

Segundo Neris (2005), soldagem é a operação que visa obter a união entre duas ou mais peças, assegurando a continuidade das propriedades físicas e químicas necessárias ao seu desempenho.

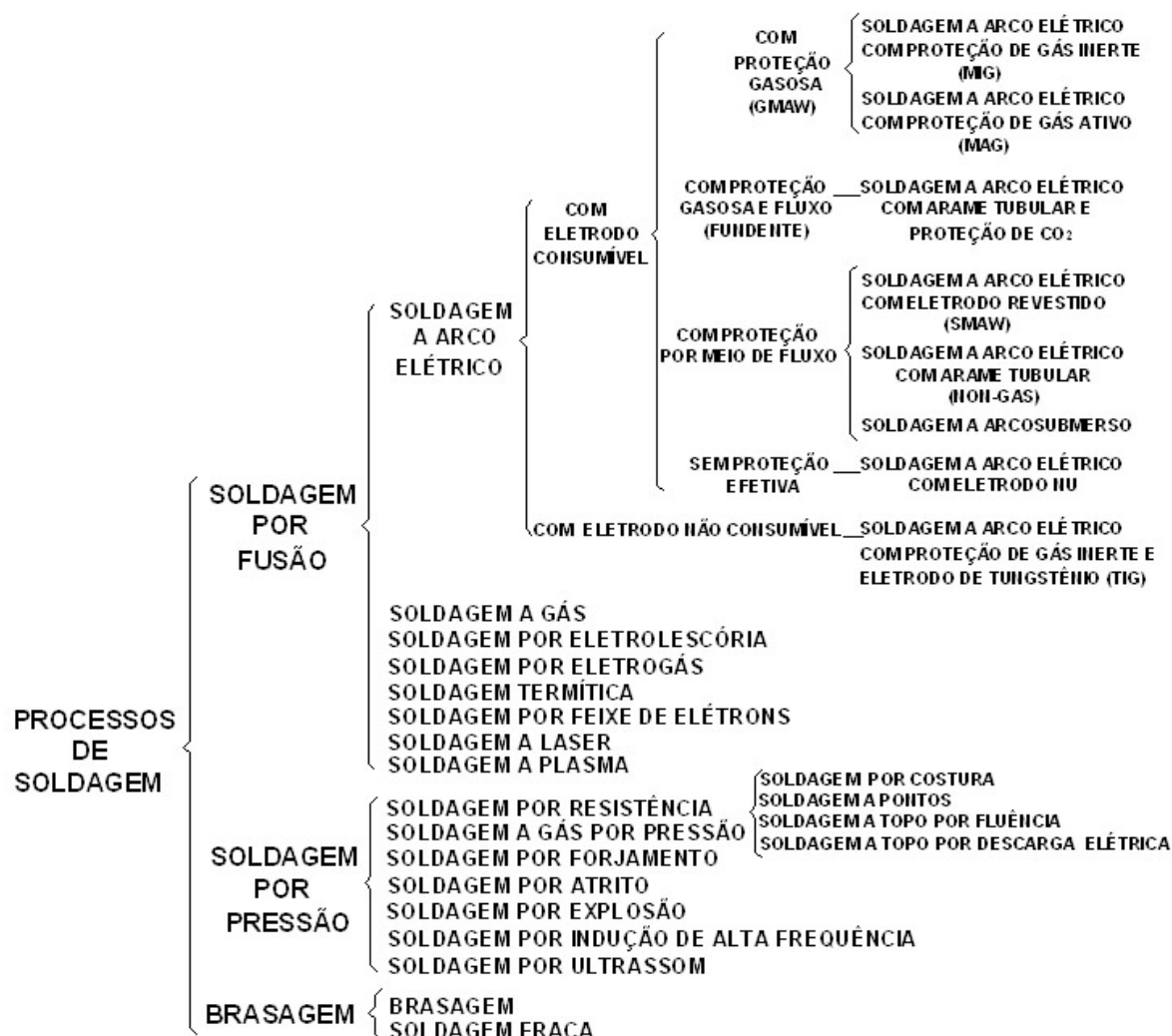
A modernização nas técnicas de soldagem passou a se desenvolver mais rapidamente depois da descoberta do arco elétrico e a utilização do gás acetileno em processos de soldagem.

É importante não confundir os conceitos de solda e soldagem, segundo Peixoto (2002), soldagem é o processo pelo qual se consegue a união, solda é a zona de união onde houve a solubilização.

A Figura 01 mostra os diferentes tipos de soldagem classificado de acordo com método de união, subdivida pela forma de energia empregada no processo.

Figura 1 - Classificação dos Processos de Soldagem

CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM



Fonte: Neris (2012)

Segundo Peixoto (2012), entre as principais vantagens da soldagem se encontra redução do peso, uniões mais resistentes e uniões possíveis de serem usinadas, já entre as desvantagens se encontra a o fato de ser um elemento não desmontável, a possibilidade de ocorrer tensões e deformações e necessidade de mão de obra especializada.

Para Modenesi (2012) Dentre os vários processos de soldagem por fusão, os que utilizam arco elétrico como fonte de energia são mais utilizados na indústria. A Tabela 1 mostra as principais características dos processos mais utilizados na soldagem fusão.

Tabela 1 - Processos de soldagem por fusão

Processo	Fonte de Calor	Tipo de corrente e polaridade	Outras características	Aplicações
Soldagem com Eletrodos Revestidos	Arco elétrico	Continua ou alternada. Eletrodo + ou -	Manual. Vareta metálica recoberta por camada de fluxo.	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos, reativos e de baixo ponto de fusão.
Soldagem MIG/MAG	Arco elétrico	Continua. Eletrodo+	Automática mecaniz, ou semiautomática. O arame é solido.	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessura ≥ 1 mm. Soldagem de chapas, tubos, etc.
Soldagem TIG	Arco elétrico	Continua ou alternada. Eletrodo -	Manual ou automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente.	Soldagem de todos os metais, exceto Zn, Be e suas ligas, espessura entre 1 e 6 mm. Soldagem de não ferrosos e aços inox.

Fonte: Modenesi (2012)

2.1.1 Arco Elétrico

O arco elétrico é a fonte de calor mais utilizada na soldagem por fusão de materiais metálicos, pois apresenta uma combinação ótima de características, incluindo uma concentração adequada de energia para a fusão localizada do metal base, facilidade de controle, baixo custo relativo do equipamento e um nível aceitável de riscos à saúde dos seus operadores. A seleção de parâmetros de soldagem, as suas condições operacionais e seus resultados dependem

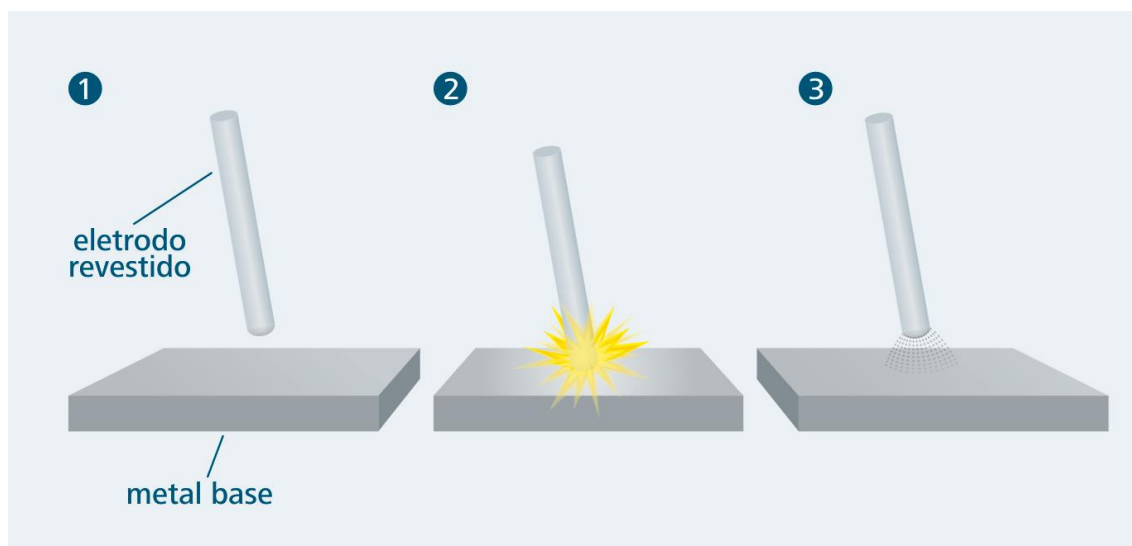
fortemente de fenômenos que ocorrem no próprio arco e em suas vizinhanças. (Modenesi, Marques e Santos, 2012).

De acordo com Peixoto (2012), o arco elétrico é a coluna formada entre o eletrodo e a peça; é considerado o quarto estado da matéria (plasma); dependendo do processo utilizado e das condições de soldagem, sua temperatura pode variar entre 5000 e 8000 K; é composto por gás altamente ionizado e eletricamente neutro.

Segundo Modenesi (2012) o arco normalmente ocorre entre um eletrodo cilindro, podendo esse ser consumível (Aço) ou não consumível (Tungstênio). Para o caso do aço soldado com MIG/MAG tem-se a passagem do metal fundido através do arco. O comprimento do arco é variável e depende do balanço entre as velocidades de alimentação e fusão do arame-eletrodo.

A Figura 02, retirada de Peixoto (2012) mostra a criação do arco, desde o ponto 1 onde o eletrodo está próximo ao metal base, no momento 2 é gerado um curto quando o eletrodo entra em contato com o metal base e no momento 3 tem a presença do arco elétrico.

Figura 2 - Formação do arco elétrico



Fonte: Peixoto (2012)

2.1.2 Zona Termicamente Afetada (ZTA)

De acordo com Polido et al. (2005) no processo de soldagem, o calor difundido para o metal base é influenciado pelo insumo de calor, que irá variar de acordo com tensão, corrente e velocidade de aplicação durante o processo

de soldagem. O material próximo a zona de fusão e que é significativamente afetado pelo aumento de temperatura é denominado zona termicamente afetada (ZTA), normalmente nessa região as propriedades mecânicas são alteradas.

Segundo Reis Sobrinho e Alcântara (2000) a extensão da ZTA é dada em função da energia de soldagem. Processos de alta energia como o arco submerso, possuem uma ZTA mais extensa que os processos de eletrodo revestido ou com proteção gasosa, TIG ou MIG/MAG.

2.2 SOLDAGEM MIG/MAG

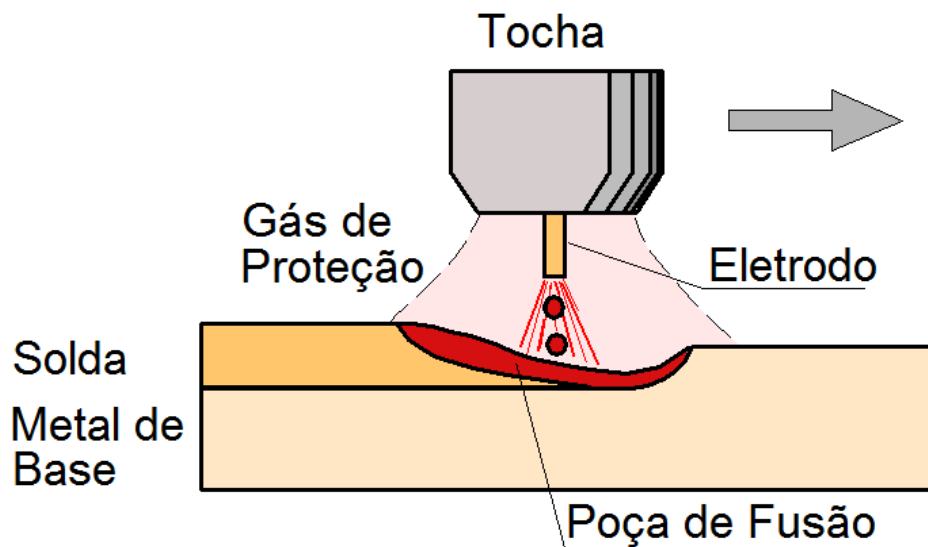
De acordo com Norton (2013) a soldagem a arco gás-metal (GMAW – *gas metal arc welding*) também conhecida como MIG (*metal inert gas*) ou MAG (*metal active gas*), utiliza um eletrodo de arame, nesse processo um gás (inerte ou ativo) é dirigido à solda para deslocar o ar. Isso torna a solda limpa devido à ausência de escória, que não precisa ser removida, mas não pode ser usada externamente se a velocidade do vento é superior a 8 km/h. (Norton, 2013).

O processo MIG baseou-se no processo TIG, iniciando com a soldagem do Alumínio e posteriormente estendeu-se à soldagem dos aços inoxidáveis, ao se notar que uma pequena adição de O_2 (oxigênio) ao gás inerte facilitava a abertura do arco. Posteriormente ao processo MIG, desenvolveu-se o MAG para baratear custos e concorrer com os eletrodos revestidos na maioria das aplicações, utilizando-se CO_2 (dióxido de carbono) e mistura de gases como gás de proteção (Neris, 2012).

Para Neris (2012) A soldagem MIG é um processo a fusão por arco elétrico utilizando um arame eletrodo consumível continuamente alimentado a poça de fusão e um gás inerte para proteção da região onde ocorre a soldagem. Já a soldagem MAG é diferenciada pelo tipo de gás, que nesse caso será um gás ativo para a proteção da região de soldagem.

A Figura 3 exemplifica de forma resumida os principais elementos da soldagem MIG/MAG, onde pode-se ver uma tocha alimentando continuamente uma poça de fusão com eletrodo e utilizando o gás de proteção.

Figura 3 - Soldagem GMAW (esquemática)



Fonte: Modenesi, Marques e Santos (2012)

O que difere os processos MIG e MAG é unicamente a utilização dos gases, visto que todos os demais componentes dos processos são os mesmos para ambos. A mudança do gás poderá causar diferentes alterações nas propriedades mecânicas dos materiais.

2.2.1 Consumível

Consumível é o termo aplicado aos produtos que são utilizados durante a realização da soldagem, exemplo: no processo de soldagem com eletrodos revestidos, o eletrodo é o elemento consumível, já na soldagem MIG/MAG o arame-eletrodo é considerado consumível. De acordo com Peixoto (2012) também são considerados consumíveis, equipamentos que são considerados como sacrifício, por exemplo bocais, bicos de contatos e etc.

Segundo Scotti e Ponomarev (2008), o arame-eletrodo deve garantir uma alimentação continua na poça de fusão, para isso, os arames são vendidos em forma de carreteis e é mais comumente chamado de arame de solda.

O arame a ser utilizado nesse trabalho é o Arame Solido não cobreado ER70S-6 ao carbono que de acordo com o catálogo de consumíveis ESAB (2018) possui em sua composição química: 0,08% C (carbono); 0,85% Si (silício); 1,45% Mn (manganês), e apresenta as propriedades mecânicas mostradas na Tabela 02.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas do ER70S-6

Condições	Limite de Escoamento	Limite de Resistência	Alongamento
80%AR – 20% CO_2	470 MPa	560 MPa	25%
100% CO_2	430 MPa	530 MPa	24%

Fonte: ESAB (2018)

2.2.2 Gases

No processo de soldagem MIG/MAG, a proteção da poça de fusão é feita através da utilização de gases, podendo estes serem inertes ou ativos. Gases inertes são gases que não reagem com a poça de fusão do metal líquido, enquanto gases reativos são gases que podem interagir com o material fundido. Segundo Neres (2012) essa interação pode alterar as propriedades mecânicas e metalúrgicas do metal de solda, podendo o gás a ser utilizado ser ativo ou redutor, sendo o CO_2 (Dioxido de Carbono e Oxigênio) os gases ativos e o H_2 (Hidrogenio) como o gás redutor mais utilizados no processo.

Segundo a Tatagiba, Gonçalves e Paranhos (2012), o gás de proteção na soldagem a arco tem a finalidade básica de proteger a poça de fusão contra efeito nocivo de gases contido na atmosfera, que associado as características da fonte e ao metal de adição, pode melhorar a qualidade, ajudar na produtividade da soldagem de aços, aços inoxidáveis, ligas de alumínio e outro.

De acordo com Micalli Jr, Batalha, Razera e Mariucci (2002) o tipo de gás tem influência direta nas características do arco, no tipo de transferência do material do eletrodo para a peça, na velocidade de soldagem, penetração e na forma externa da solda.

O *International Institute of Welding* (IIW) classifica os gases em 7 classes, variando de acordo com a composição e quantidade de oxigênio no metal da solda depositado, conforme o Anexo I.

Teske (2006) observou que a tabela apresentada no anexo I leva em consideração o potencial de oxidação dos gases ou misturas gasosas, ou seja, a capacidade do gás de proteção de oxidar um metal durante a soldagem. Conforme o aumento de CO_2 e O_2 na composição, resultara em maiores teores residuais de oxigênio no metal da solda. De acordo com Jonsson, Murphy e

Szekely (1995) e Stenback e Persson (1989) a tenacidade do metal de solda aumenta quando seu conteúdo de oxigênio é reduzido. O uso de um gás de proteção com elevado potencial de oxidação também pode resultar em porosidade no metal de solda.

O potencial de oxidação (PO) pode ser definido como a capacidade do gás de proteção oxidar um metal durante a soldagem. Os gases CO_2 e O_2 , quando presentes no gás de proteção, aumentam o conteúdo de oxigênio no metal de solda e o PO varia com a porcentagem volumétrica dos mesmos na mistura. O PO do CO_2 em misturas gasosas pode ser considerado como a metade do potencial de oxidação do O_2 quando este é empregado. (Lyttle e Stapon, 1990).

A escolha do tipo de atmosfera protetora para soldagem depende de fatores como custo, facilidade de manuseio, efeitos fisiológicos sobre as pessoas, geração de fumos e gases, estabilidade a temperaturas elevadas, entre outros. A solubilidade do gás no metal fundido que se quer proteger durante a soldagem, também deve ser observada, pois se uma quantidade substancial do gás entra no metal fundido pode causar liberação do gás durante a solidificação causando descontinuidades na solda produzida, como por exemplo, porosidade. (Tatagiba, Gonçalves e Paranhos, 2012).

Segundo Fischer (2011) os principais gases utilizados na soldagem MIG/MAG são:

- Argônio (AR), devido a sua facilidade de liberar elétrons, ele possibilita um arco mais estável em baixas correntes e permite uma ignição fácil do arco, porém seu baixo potencial de ionização e baixa condutividade térmica provocam menor penetração e aparecimento de mordeduras;
- Hélio (He), devido ao seu valor de mercado, são mais utilizados como misturas. A adição de hélio no gás de proteção aumenta a condutividade térmica e o potencial de ionização. Apresentam um perfil mais arredondado e uma penetração maior;
- Dióxido de carbono (CO_2), apresentam boas condições de penetração, porém, seu uso puro pode adicionar custos ao processo, devido a necessidade de limpeza de respingos e arco mais intenso. Embora seja um gás inerte a temperatura ambiente, na temperatura de soldagem se

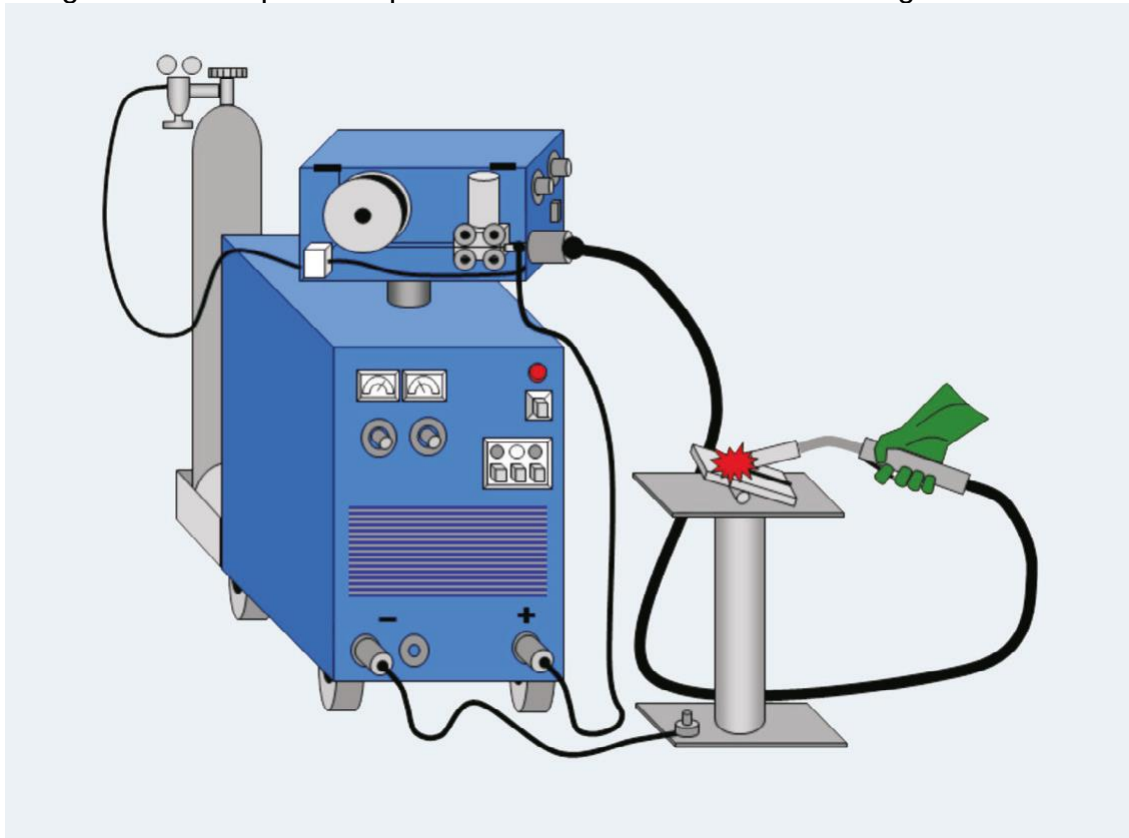
comporta como gás oxidante, podendo causar oxidação dos elementos de liga.

- Oxigênio (O_2), não é usado puro como gás de proteção, ele é duas a três vezes mais oxidantes que o CO_2 . Sua adição na mistura melhora as características do arco elétrico e aumenta a molhabilidade da poça de fusão. Com o aumento de O_2 , aumentam também a perda dos elementos de liga.

2.2.3 Equipamentos

De acordo com a Fischer (2011) o sistema de soldagem MIG/MAG é composto por uma máquina de soldagem (Fonte de energia), um alimentador de arame com um reservatório de metal de adição, uma tocha de soldagem e cilindros de gás, que são demonstrados na Figura 4:

Figura 4 - Principais componentes de uma bancada de soldagem MIG/MAG



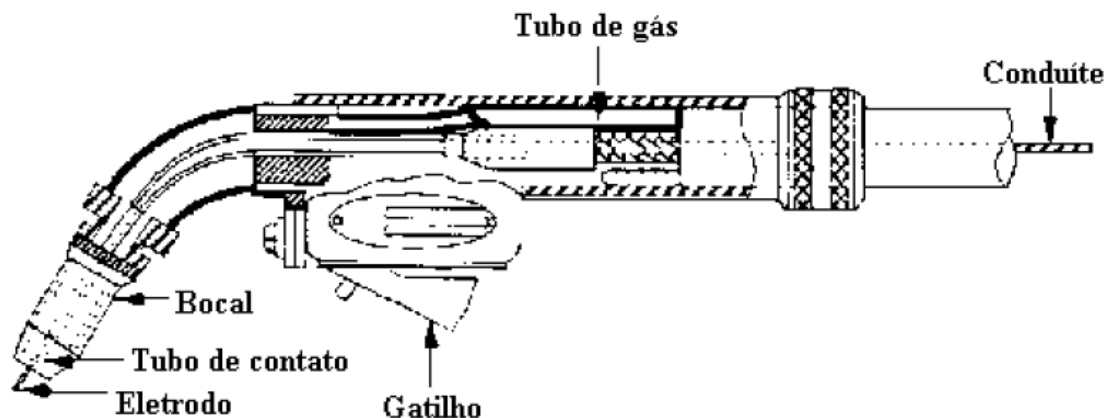
Fonte: Peixoto (2012)

2.2.3.1 Tocha de soldagem e acessórios

A tocha de soldagem, mostrada na Figura 5, consiste basicamente de um bico de contato, que faz a energização do arame-eletrodo; de um bocal que

orienta o fluxo de gás protetor e de um gatilho de acionamento do sistema. (Micalli Jr, Batalha, Razera e Mariucci, 2002).

Figura 5 - Tocha de Soldagem



Fonte: Micalli Jr, Batalha, Razera e Mariucci (2002)

2.2.3.2 Unidade de alimentação de arame

Para Neris (2012) o motor alimentador de arame e o controle de soldagem são considerados um único módulo, tendo como principal função puxar o arame do carretel e alimenta-lo ao arco, controlando a velocidade a um valor adequado a aplicação, sendo sua ativação controlada a partir do gatilho da tocha, determinando o início e o fim da alimentação.

2.2.3.3 Fonte de energia

De acordo com Silva (2005), os processos de soldagem à fusão requerem uma fonte calorífica que disponibilizara a energia necessária para o aumento de temperatura até a mudança de estado físico e a união no do material no estado liquido até que a união se materialize

Segundo Micalli Jr, Batalha, Razera e Mariucci, (2002), o processo de soldagem MIG/MAG utiliza corrente do tipo continua que pode ser fornecida por um conjunto transformador-retificador ou por um conversor.

2.3 ENSAIOS MECÂNICOS

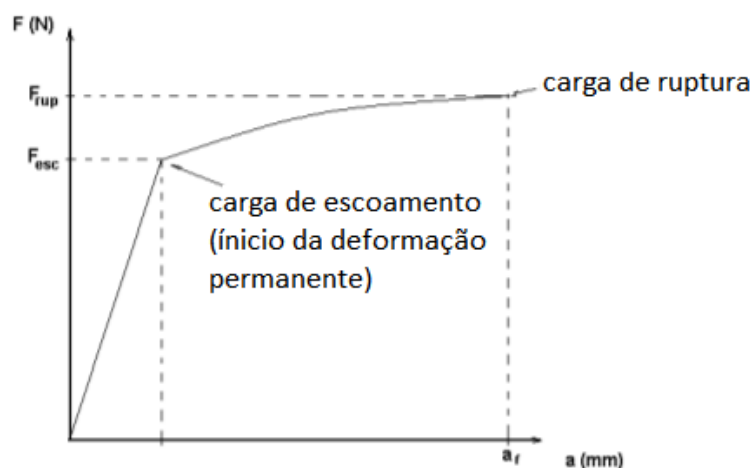
Quando se deseja iniciar um projeto mecânico é interessante saber as propriedades mecânicas dos materiais disponíveis, de forma a existir uma boa variedade de opções na escolha do material com seus limites e finalidades.

2.3.1 Ensaio de Tração

Segundo Callister (2012) quando uma carga estática ou que varia lentamente ao longo do tempo, é aplicada uniformemente em uma seção transversal ou sobre a superfície do material, pode-se ter conhecimento das propriedades do material através de um ensaio tensão-deformação. Esse ensaio pode ser realizado através de três tipos diferentes de esforços: tração, compressão ou cisalhamento.

Os materiais metálicos apresentam inicialmente um comportamento elástico quando estão sob efeito de cargas de tração crescentes. Na região elástica ocorre alongamento do corpo de prova de tração (cdp) e, sendo retirada a carga, o cdp retoma suas dimensões originais. Se a carga de tração exceder a um determinado limite (limite elástico ou de escoamento), o cdp começa a deformar permanentemente (comportamento plástico), não recuperando mais as suas dimensões originais se a carga for retirada. Em muitos metais este ponto não é bem definido e convencionou-se adotar um percentual de alongamento para a sua determinação. Na Figura 6 está ilustrada a curva carga x alongamento ($F \times a$) de um material metálico ensaiado à tração. (Bayer, 2013).

Figura 6 - Gráfico carga x alongamento



Fonte: Bayer (2013)

De acordo com Callister (2012) esse tipo de ensaio é, normalmente, registrado em um computador como carga ou força em função do alongamento, onde as características carga-deformação vão depender das dimensões do corpo de prova. Para minimizar os fatores geométricos, esses valores são

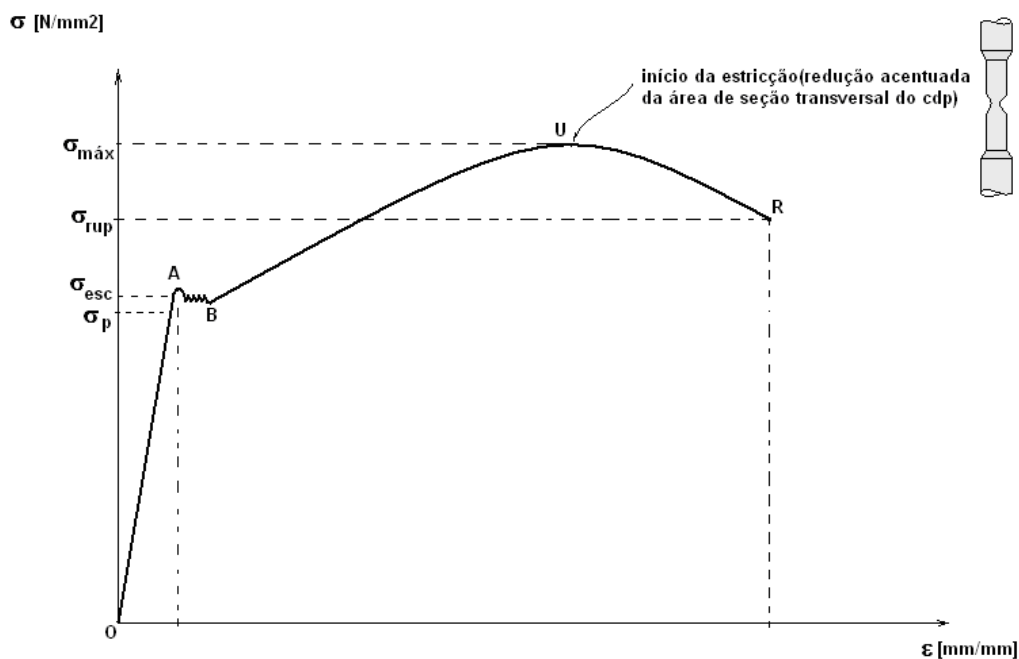
normalizados aos parâmetros tensão de engenharia (σ) e deformação de engenharia(ϵ), sendo definido pelas equações.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \text{e} \quad \epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Onde: F é carga instantânea aplicada à seção transversal do corpo de provas, dada em newton (N) ou libras-força(lb_f); A_0 é a área da seção transversal antes da aplicação de qualquer carga (em m^2 ou in^2); l_0 é o comprimento inicial antes da aplicação de qualquer carga; l_i é o comprimento instantâneo. No SI (Sistema Internacional) a tensão de engenharia é utilizada com a unidade MPa (megapascal) ou no sistema inglês psi (libras-força por polegada quadrada).

A Figura 7 mostra o gráfico $\sigma \times \epsilon$ convencional, para Bayer (2013) é considerado convencional devido a considerar a mesma área transversal nos cálculos de tensão com as cargas crescentes.

Figura 7 - Gráfico convencional $\sigma \times \epsilon$



Fonte: Bayer (2013)

Na Tabela 2, é importante observar os valores de propriedades que podem ser retirados do gráfico.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas

OA – região de comportamento elástico	U – ponto de tensão máxima
AR – região de comportamento plástico	R – ponto de ruptura
AB – região de escoamento de discordâncias	σ_u – limite de resistência do material [Mpa] ou [N/mm ²]
BU – região de encruamento uniforme (empilhamento de discordâncias)	σ_e - limite de ruptura do material [Mpa] ou [N/mm ²]
UR – região de encruamento não uniforme (estricção)	σ_R - limite de escoamento [Mpa] ou [N/mm ²]
A – ponto de escoamento	σ_p - limite de proporcionalidade [Mpa] ou [N/mm ²]

Fonte: Bayer (2013)

2.3.2 Ensaio de Dureza

De acordo com Callister (2012), dureza é uma medida de resistência de um material a uma deformação plástica localizada (um risco ou uma pequena impressão).

Para Bayer (2013) e Callister (2012) os primeiros ensaios de dureza eram realizados de acordo com a capacidade de um material riscar outro mais macio, exemplo: o gesso (2) risca o talco (1), mas não risca quartzo (7), portanto assim constituía uma escala qualitativa onde o diamante é o material mais duro (dureza Mohs diamante = 10). Ao longo do tempo foram desenvolvidas técnicas quantitativas para determinação da dureza, que consiste em um penetrador que é forçado sobre a superfície de um material a ser testado, com condições controladas de carga e taxa de aplicação. Quanto maior e mais profunda a impressão, menor será o número índice de dureza e mais macio será o material.

3. METODOLOGIA

3.1 Corpos de prova

Para a realização dos ensaios foi proposta a confecção de corpos de provas soldados com dois tipos de gases, onde foram realizados ensaios de tração e microdureza, de forma a poder verificar diferenças produzidas na utilização dos diferentes gases na soldagem.

Para a confecção dos corpos de provas foi utilizado o aço estrutural ASTM A-36. A Tabela 3 apresenta os valores das propriedades mecânicas do material.

Tabela 3 - Propriedades mecânica do aço ASTM A36

Propriedades Mecânicas	
Limite de Escoamento (LE)	250 MPa
Limite de Ruptura (LR)	400 – 550 MPa
Alongamento	23%

Fonte: Allgayer (2017)

Os gases utilizados no processo de soldagem foi uma mistura contendo 80% de Argônio (Ar) e 20% de dióxido de carbono (CO_2), conhecido comercialmente como *Stargold+*. O outro gás utilizado no processo foi o Argônio puro. Durante o trabalho esses gases serão referenciados como Gás 01 e Gás 02, sendo o Gás 01 a mistura (Ar + CO_2) e o Gás 02 o gás puro (Ar).

A quantidade de corpos de prova para cada tipo de ensaio pode ser verificada na Tabela 4.

Tabela 4 Quantidade de corpos de provas

	Gás 01	Gás 02
Tração	03	03
Microdureza	03	03

Fonte: Acervo próprio

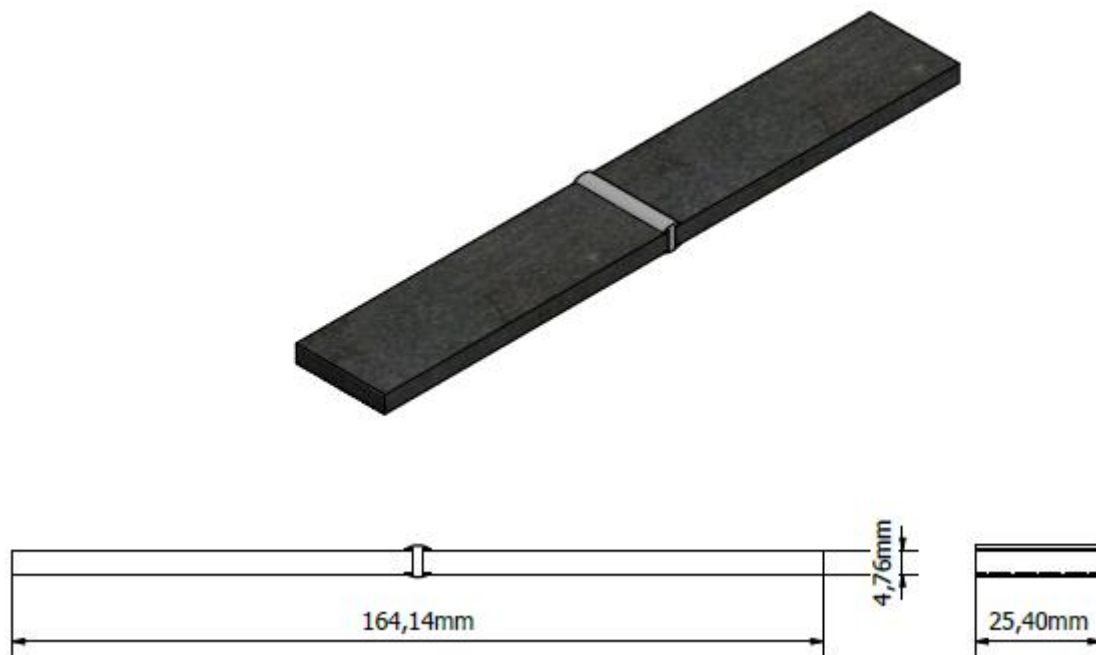
Ambos os corpos de provas foram soldados utilizando os mesmos parâmetros, de forma a deixar como única variável o tipo de gás utilizado durante a soldagem. Durante a soldagem os parâmetros foram fixados em:

- Diâmetro do arame: 0,8mm;
- Arame de solda: Arame sólido 1.0 70S-6 aço carbono;
- Pressão: 10kgfcm²;
- Corrente: 200A;

- Velocidade de deposição: 7,5 mm/s;
- Chanfro em I;
- Soldas de topo;
- Cordão de solda em ambos os lados do corpo de prova.

As dimensões dos corpos de prova foram feitas seguindo a norma NBR 6892, que podem ser observadas na Figura 8.

Figura 8 - Dimensões do corpo de prova



Fonte: Acervo próprio

3.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

Para a realização ensaios de tração, foram confeccionados 3 corpos de provas soldados com o Gás 01 e 3 corpos de prova com Gás 02.

Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina EMIC DL-3000 (Figura 9), com célula de carga de 100KN e com velocidade de avanço da garra de 20 mm/s.

Figura 9 - Máquina EMIC para ensaio de tração



Fonte: www.solucoesindustriais.com.br

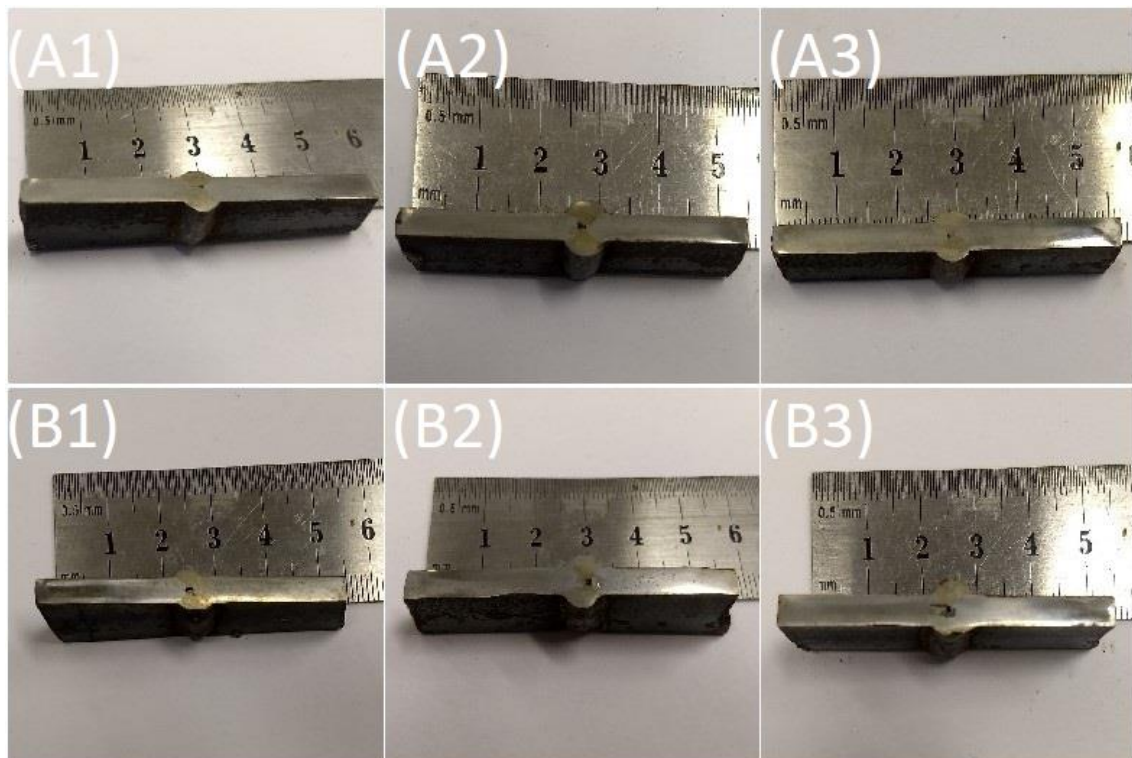
3.3 MICRODUREZA VICKERS

Para os ensaios de microdureza *Vickers* foram confeccionados 3 corpos de prova para cada tipo de gás, reduzido as dimensões, deixando aproximadamente corpos de prova de 40x12x4,7 mm, que em seguida foram lixadas e polidas com lixas de granulometria na sequência 180, 320, 800, 1200.

Para melhor a visualização e facilitar na interpretação de dados foi feito um ataque químico nas peças de forma conseguir visualizar o material depositado e a ZTA. Ao final as peças ficaram como mostrado na Figura 10.

Durante a confecção dos corpos de microdureza, foi possível observar que todos os corpos de prova apresentaram falha na penetração do material fundido. De acordo com Resende et al. (2009), entre as desvantagens do processo MIG/MAG se encontra a baixa penetração, exigindo a confecção de chanfros.

Figura 10 - Corpos de prova polidos para o ensaio de microdureza *Vickers*



Fonte: Acevo próprio

Os ensaios de microdureza *vickers* foram realizados no microdurômetro INSIZE ISH-TDV2000 (Figura 11). Foram realizadas 30 endentações em cada corpo de prova partindo do centro em direção a extremidade da peça, cada endentação foi feita em um intervalo de 0,25mm.

Para os ensaios de microdureza, o microdurômetro foi configurado para aplicar uma carga de 0,1 kgf durante um intervalo de 15 segundo.

Figura 11 - Microdurômetro utilizado na microdureza *Vickers*



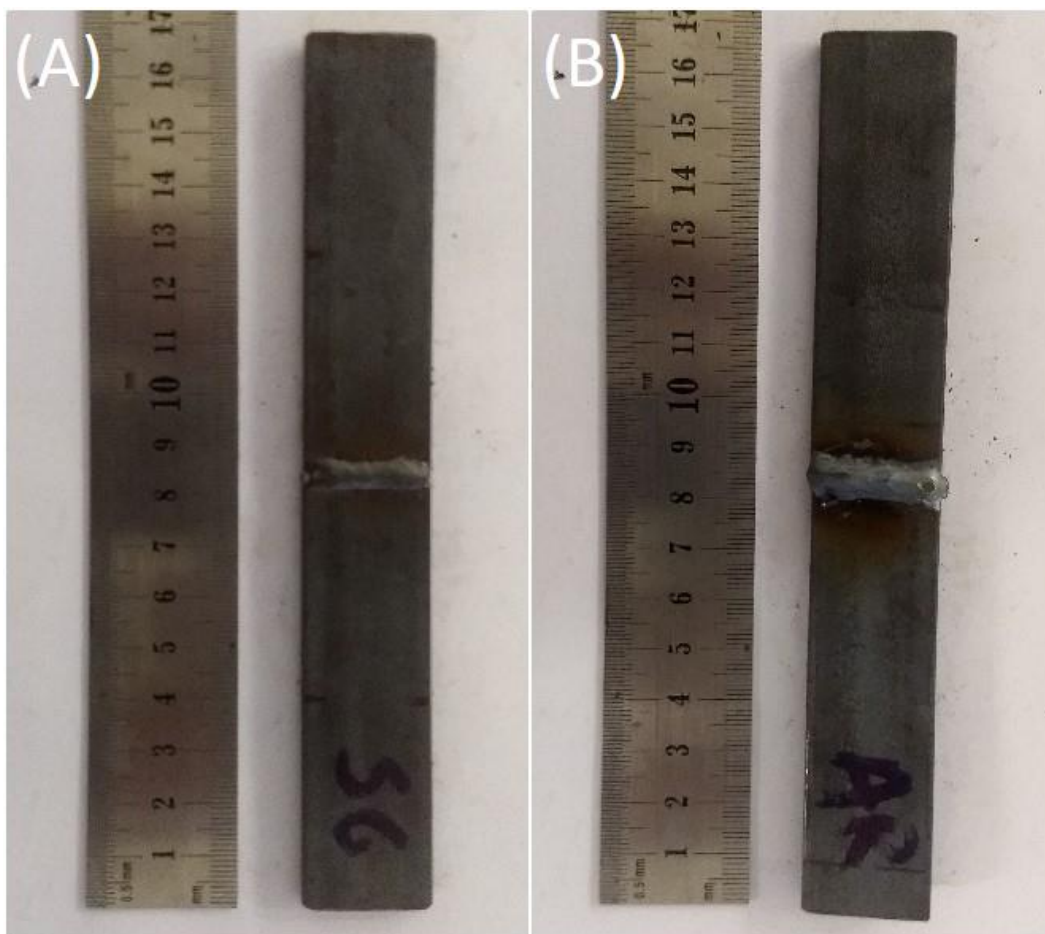
Fonte: Acervo próprio

4. RESULTADOS E DISCUÇÕES

4.1 CORPOS DE PROVA

Com os corpos de prova já soldados pode-se verificar uma diferença no cordão de solda quando utilizado cada um dos gases, Figura 12. Os cordões de solda utilizando Gás A (corpo de prova à esquerda) apresentou melhor acabamento e um cordão de solda mais estreito, enquanto os cordões de solda utilizando Gás B (corpo de prova à direita) apresentou-se mais robusto, porém ficou visível em alguns corpos de prova a falta de penetração, apresentando falha na parte central da solda.

Figura 12 - Corpos de provas soldados (A) Gás A, (B) Gás B.



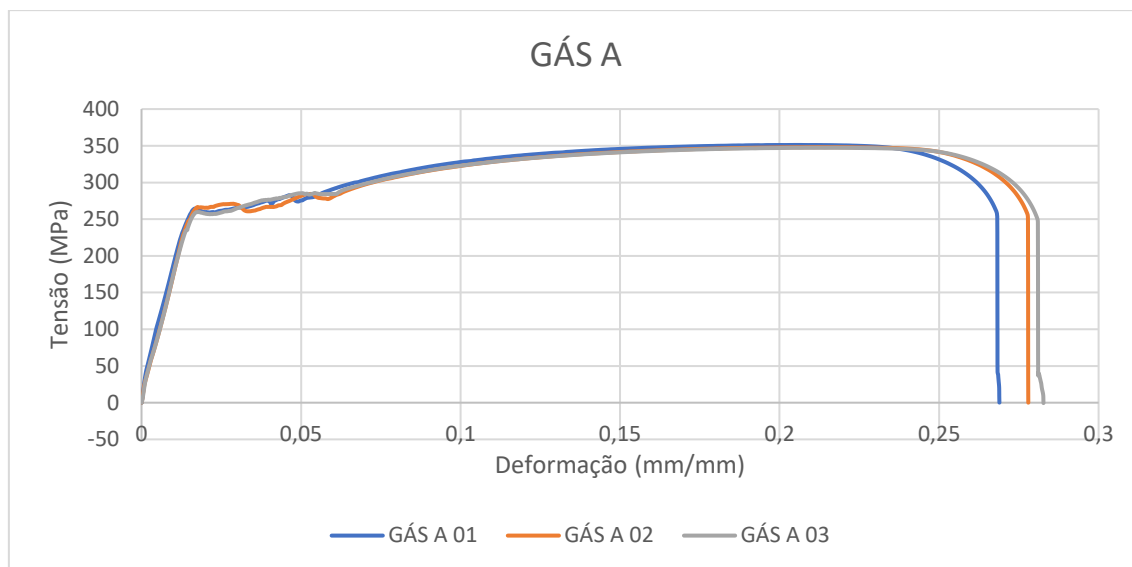
Fonte: Acevo próprio

Essa falta de penetração utilizando o Gás B foi justificada por Canto (1990) como devido à grande instabilidade do arco, quando se utiliza baixa densidade de corrente, assim, o arco irá produzir grandes glóbulos de metal fundido lançados erráticamente em direção a poça de fusão, o que causa a presença de cordões de solda irregular e com pouca penetração.

4.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

Os resultados do ensaio de tração para a soldagem utilizando o gás A apresentou curvas bem definidas e semelhantes, Figura 13.

Figura 13 - Tensão x Deformação dos corpos soldados com Gás A.



Fonte: Acervo próprio

Os valores de tensões podem ser verificados na Tabela 5. Devido a ter apresentado uma regularidade nos ensaios os valores mostrados na tabela foram próximos para todos os corpos de prova, apresentando assim um baixo desvio padrão.

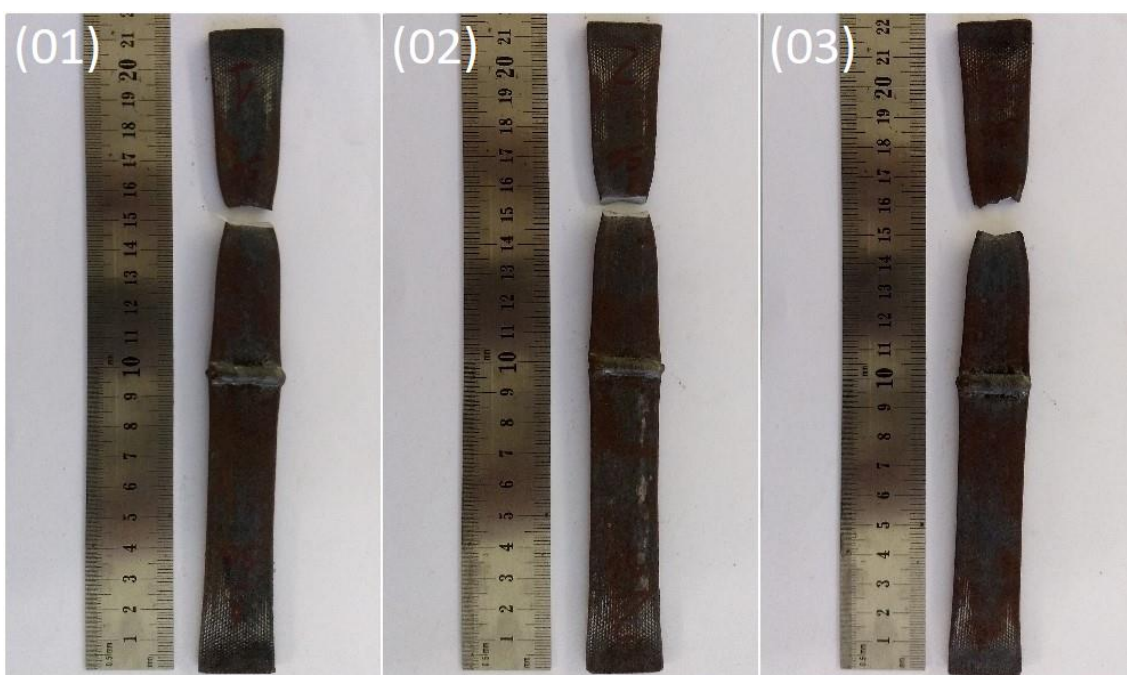
Tabela 5 - Resultados apresentados no ensaio de tração, corpos de prova soldados com Gás A.

	Gás A 01	Gás A 02	Gás A 03	Média	Desvio Padrão
Tensão máxima (MPa)	351,14	348,08	347,28	348,83	1,66
Limite de tensão de escoamento (MPa)	263,36	265,17	258,14	262,22	2,98
Tensão de ruptura (MPa)	253,51	246,62	249,50	249,88	2,83
Deformação(mm)	44,21	45,61	46,12	45,31	0,81
Alongamento (%)	26,82	27,78	28,09	27,56	0,54

Fonte: Acervo próprio

Após realização dos ensaios de tração, pôde-se verificar que todos os corpos soldados apresentaram boa resistência na região soldada e na ZTA, apresentando resistência maior que a do metal base, fazendo com que a ruptura ocorresse no metal base, como pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 - Corpos de prova soldados com Gás A após a ruptura.

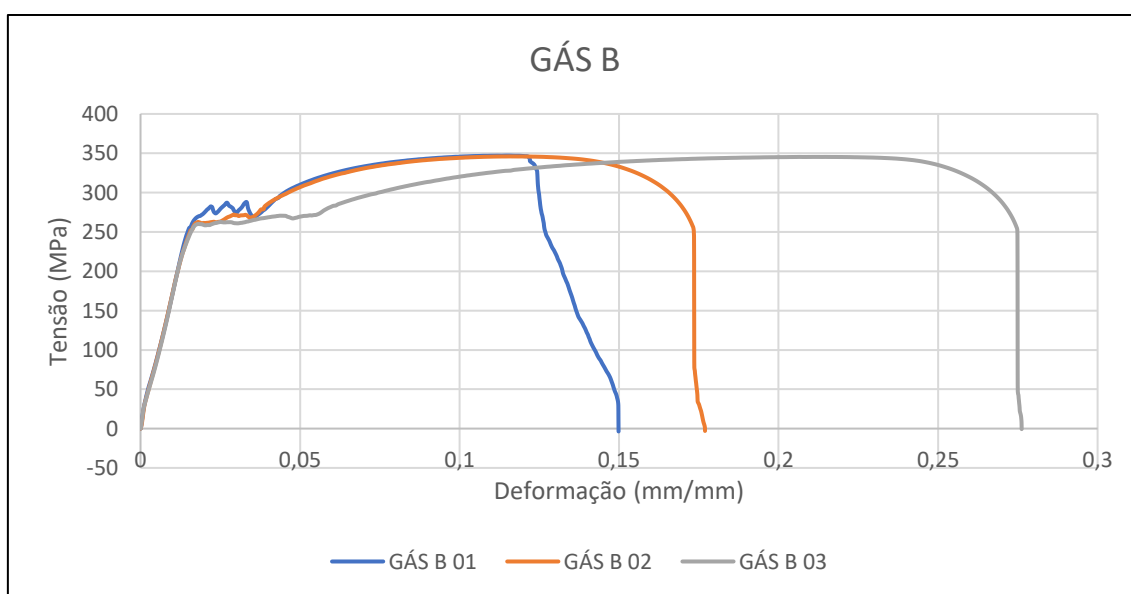


Fonte: Acervo próprio

Apesar de ter rompido no metal base, esses valores ainda ficaram abaixo do valor definido na norma que rege o aço A-36 (Tensão máxima entre 400 e 550MPa).

Os corpos de prova soldados com o Gás B apresentaram resultados semelhantes aos corpos soldados com o Gás A, porém com menor alongamento, Figura 15.

Figura 15 - Tensão x Deformação dos corpos de prova soldados com Gás B



Fonte: Acervo próprio

Os resultados referentes as tensões são mostradas na Tabela 6.

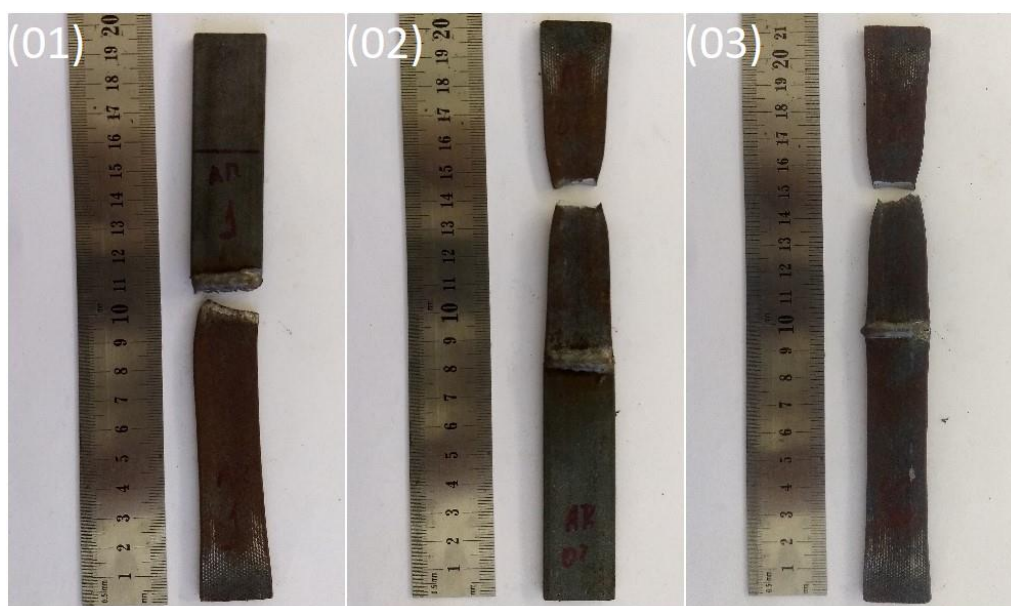
Tabela 6 - Resultados apresentados no ensaio de tração, corpos de prova soldados com Gás B.

	Gás B 01	Gás B 02	Gás B 03	Média	Desvio Padrão
Tensão máxima (MPa)	346,99	345,98	345,31	346,09	0,69
Limite de tensão de escoamento (MPa)	251,30	245,50	251,62	249,47	2,81
Tensão de ruptura (MPa)	331,01	254,55	245,66	277,07	38,31
Deformação(mm)	20,33	28,45	45,12	31,30	10,32
Alongamento (%)	12,38	17,33	27,48	19,06	6,29

Fonte: Acervo próprio

Os corpos de prova soldados com Gás B apresentaram variações no rompimento. Dos 3 corpos de provas 1 rompeu na solda devido à falta de penetração do material fundido nos corpos de prova, os outros dois corpos de prova, com uma penetração melhor, romperam no metal base, como mostra a Figura 16. Devido a esse rompimento na solda, não foi possível atingir o alongamento especificado na norma do aço ASTM A36 (23%), ficando com uma média próxima aos 19% de alongamento. Devido a apresentar baixa ductilidade o corpo de prova 01 acabou rompendo pouco depois do início da zona de deformação plástica, assim apresentou uma menor deformação e uma maior tensão de ruptura, justificando assim o aumento no desvio padrão apresentado na Tabela 6.

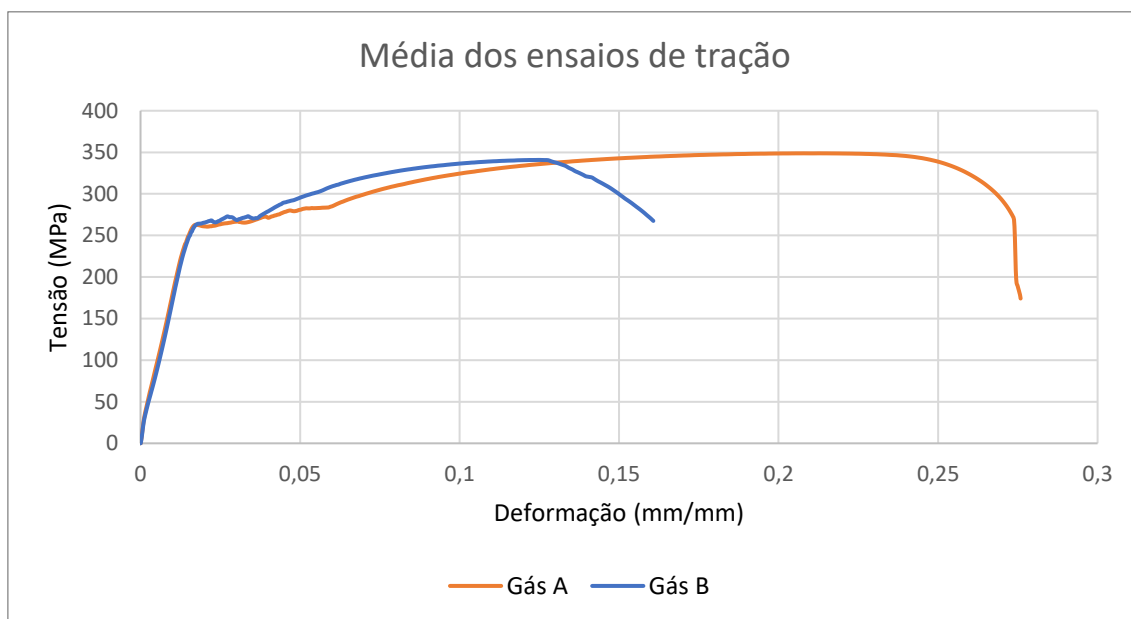
Figura 16 - Corpos de prova soldados com Gás B após a ruptura.



Fonte: Acervo próprio

Através da média das cargas trativas em relação à distância (Figura 17), pode-se verificar que ambos apresentaram tensão de escoamento e tensão máxima bem semelhantes, diferenciando apenas a ductilidade dos materiais. Pode-se observar que o material soldado com Gás A apresentou uma maior deformação antes da falha total, tornando uma alternativa com maior alongamento.

Figura 17 - Tensão x Deformação, média dos gases A e B

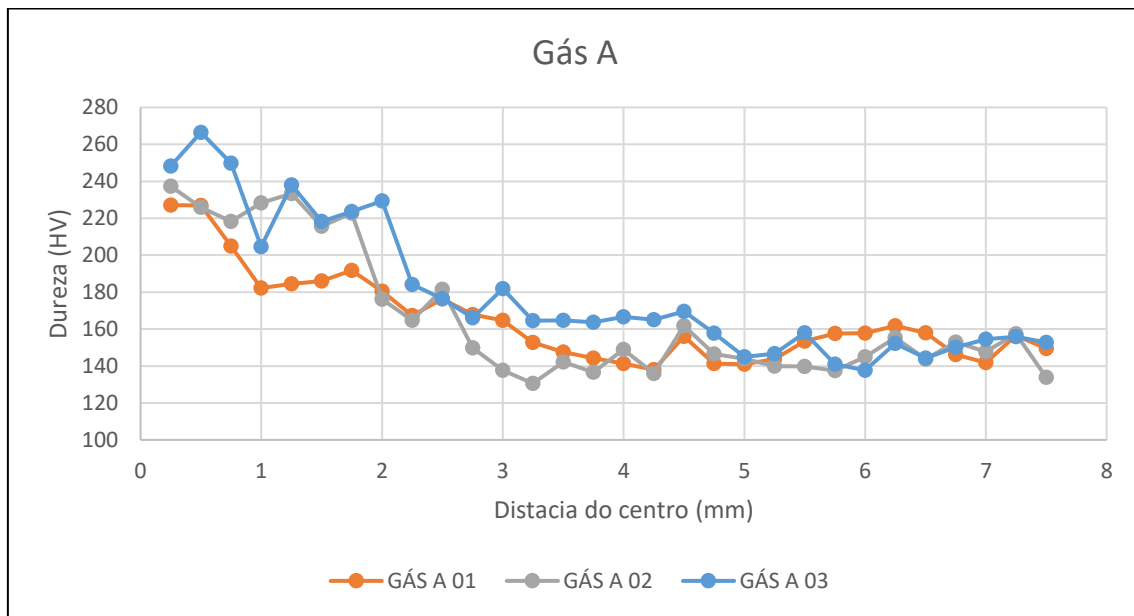


Fonte: Acervo próprio

4.3 Ensaio de Microdureza

A Figura 18 apresenta uma relação da dureza e a distância do centro do corpo de prova que foram soldados com o Gás A. Pode-se observar que quando soldado com o Gás A, os corpos de prova apresentaram durezas mais elevadas no metal solda, dureza intermediária na ZTA e valores de dureza mais baixa no metal base.

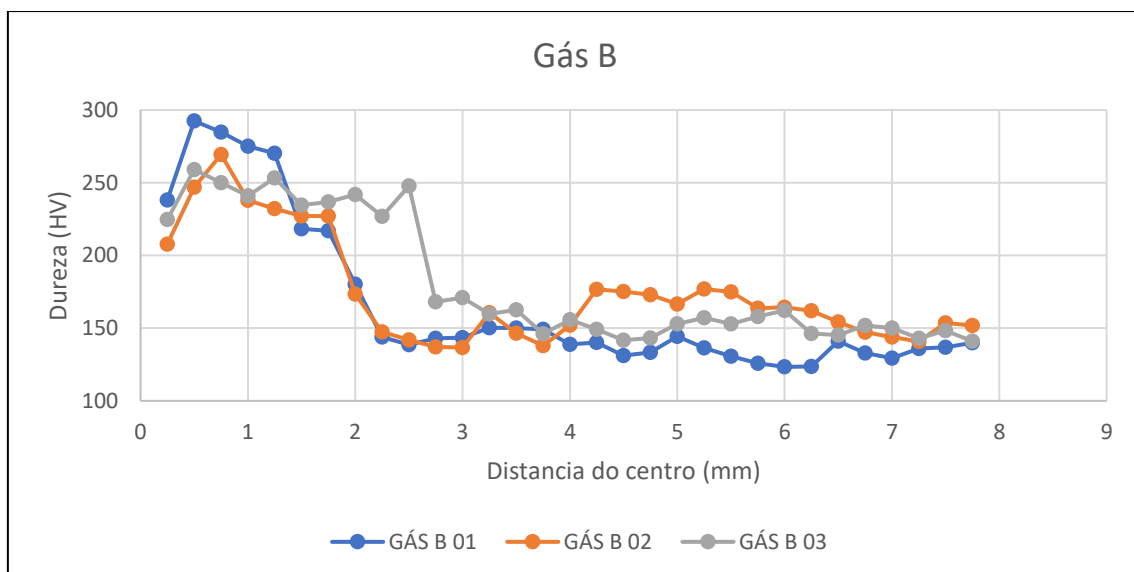
Figura 18 - Microdureza *Vickers* para corpos soldados com Gás A.



Fonte: Acervo próprio

A Figura 19 faz a relação da dureza com a distância do centro para os corpos de prova soldado com o Gás B.

Figura 19 - Microdureza *Vickers* para corpos soldados com Gás B

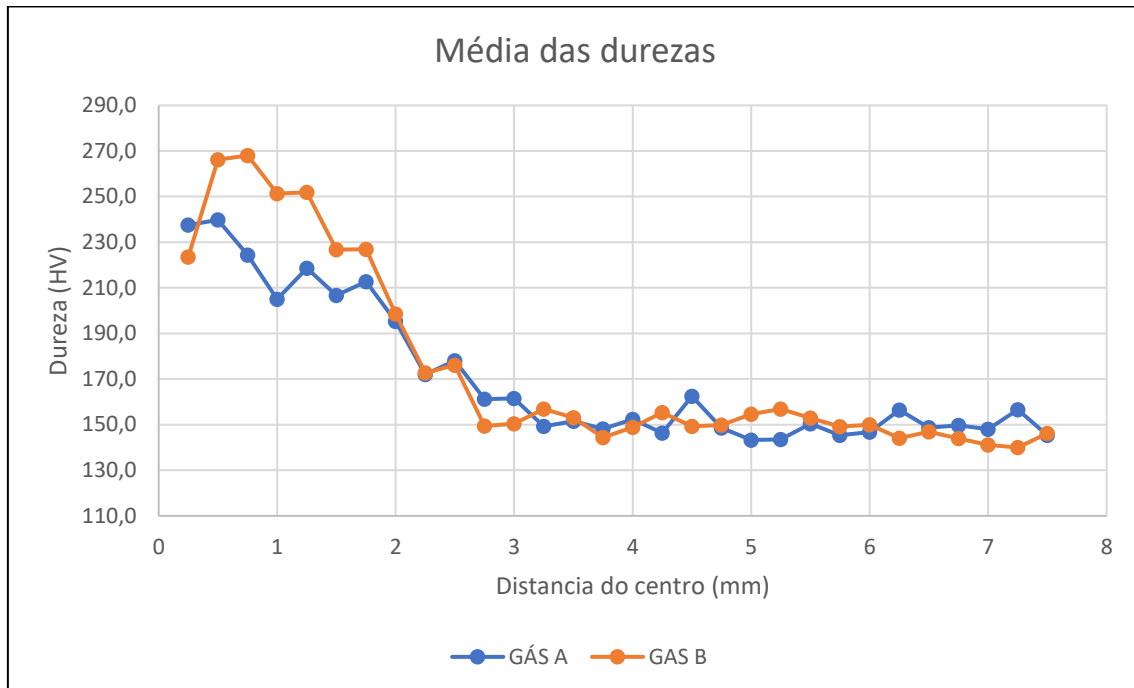


Fonte: Acervo próprio

Os corpos de provas soldados com Gás B apresentaram durezas intermediárias no metal de solda, teve um aumento das durezas na ZTA e valores de durezas mais baixas no metal base.

A Figura 20, faz a comparação das médias das durezas para os corpos de prova soldados com cada um dos gases.

Figura 20 - Comparativo das médias das microdureza dos corpos de prova soldados com Gás A e Gás B



Fonte: Acervo próprio

Pode-se observar, que o metal de solda quando soldado com Gás A apresentou uma maior dureza, porem na ZTA os corpos de prova soldados com o Gás B se apresentou com durezas mais elevada.

Em relação a ZTA pode-se observar que ambas apresentaram valores de comprimento semelhantes, onde com aproximadamente 2,5mm de distância do centro, já estava encerrando a ZTA.

5. CONCLUSÃO

Após a elaboração dos corpos de provas foi possível verificar diferenças visuais no cordão de solda, o corpo de provas soldado com o Gás 02(inerte) apresentou um cordão de solda mais grosso.

O trabalho foi considerado satisfatório visto que tinha como objetivo verificar a influência mecânica da utilização de dois tipos diferentes de gases. Para os ensaios de tração, pode-se verificar uma boa semelhança entre os gases, diferenciando apenas o alongamento dos materiais. As tensões máxima e de escoamento apresentaram valores bem próximos.

Assim como visto durante o referencial teórico, o gás ativo poderia interagir com a poça de material fundido, sendo capaz de alterar algumas propriedades mecânicas. Esse fenômeno pôde ser observado nos ensaios de microdureza, onde os corpos de prova soldados com o gás ativo tiveram uma dureza inferior tanto na ZTA quanto no metal de solda.

Como ideias para trabalhos futuro, fica a possibilidade de variação da composição do gás ativo, que comercialmente pode ser encontrado com composições de CO_2 variando entre 10% e 25%, acrescentando ensaios mais detalhados, como microestrutura. Outra opção seria a confecção de corpos de prova com chanfro em X ou V, facilitando a penetração do metal de solda.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALLGAYER, Alexandre André. **Caracterização das propriedades mecânicas e metalúrgicas de uma junta de aço ASTM A36 Soldado pelo processo de arco submerso (SAW) com diferentes aportes térmicos.** 72 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Centro Universitário Univates, Lajedo, 2017.

BAYER, Paulo Sérgio. **Ensaio dos materiais.** 22 f. Curso Técnico em Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Joinville, 2013.

CALLISTER JR., William D.; RETHWISCH, David G.. **Ciência e engenharia de materiais:** Uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2012. 845 p.

CANTO, Manoel Augusto Allgayer. **Influência dos gases de proteção utilizados no processo MIG/MAG sobre as propriedades mecânicas do metal de solda.** 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e dos Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

Catalogo de consumíveis, **ESAB**, 2018

FISCHER, Alexander. **Estudo da influência dos parâmetros no processo de soldagem GMAW – arco pulsado.** 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

JÖNSSON, P. G.; EAGAR, T. W.; SZEKELY, J. Heat and Metal Transfer in Gas Metal Arc Welding Using Argon and Helium. **Metallurgical and Materials Transactions B.** v. 26B. p. 383 – 395. April. 1995.

LYTTLE, K.A.; STAPON, W.F.G. **Select the Best Shielding Gas Blend for the Application**. Welding Journal, v. 69, n. 11, p. 21-27, 1990.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. **Soldagem I: Introdução aos processos de soldagem**. 52 f. Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani; SANTOS, Dagoberto B.. **Introdução a metalurgia de soldagem**. 209 f. Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

NERIS, Manoel Messias. **Soldagem**. 51 f. Cetec Capacitações, São Paulo, 2012.

NORTON, Robert L.. **Projeto de máquinas**. 4^a. ed. : Bookman, 2013. 1055 p.

PEIXOTO, Aridomá Lobato. **Soldagem**. 90 f. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Belém, 2012

POLIDO, Rafael Saito et al. **Caracterização da zona termicamente afetada em aço estrutural submetido à soldagem por arco submerso**. In: congresso nacional de estudantes de engenharia mecânica, 12., 2005, Ilha Solteira.Unesp, 2005

REIS SOBRINHO, J. F.; ALCÂNTARA, G. N. **Influência dos parâmetros de soldagem na microestrutura da zona afetada termicamente de uma junta soldada de aço de alta resistência**. In: congresso brasileiro de engenharia e ciência dos materiais, 14., 2000, São Pedro. Anais. São Carlos

RESENDE, André Alves de et al. **Influência das correntes de soldagem do processo plasma-MIG sobre a geometria do cordão de solda e taxa de fusão do arame**. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v. 14, n. 4, p.320-328, dez. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-92242009000400006>.

SILVA, Régis Henrique Gonçalves e. **Soldagem MIG/MAG em transferência metálica por curto-circuito controlado aplicada ao passe de raiz**. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

STENBACKA, N.; PERSSON, K. A. Shielding Gases for Gas Metal Arc Welding. **Welding Journal**. v. 68, n. 11, p. 41 – 47. Nov.1989.

TATAGIBA, Luiz Claudio Soares; GONÇALVES, Renata Barbosa; PARANHOS, Ronaldo. Tendências no desenvolvimento de gases de proteção utilizados na soldagem MIG/MAG. **Soldagem & Inspeção**, [s.l.], v. 17, n. 3, p.218-228, set. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-92242012000300006>.

TESKE, Mario. **Influência da composição do gás de proteção na soldagem do aço ASTM A516 Pelo processo GMAW**. 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica e de Materiais, Departamento de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2006

7. ANEXOS

ANEXO I – CLASSIFICAÇÃO DOS GASES PARA O PROCESSO GMAW

Tabela 7 - Classificação dos gases para o processo GMAW de acordo com o IIW (NOVOZHILOV, 1988)

Grupo	Índice	Nº de gases	Gases					Tipo	Quantidade de O2 no metal de solda
			CO2	O2	AR	HE	H2		
I1	1	1	-	-	-	-	100	Redutores	-
	2	2	-	-	85 à 95	-	R		
I2	1	1	-	-	100	-	-	Inerte	< 0,02%
	2	1	-	-	-	100	-		
	3	2	-	-	25 à 75	R	-		
M1	1	2	-	>0 à 2	R	-	-	Pouco oxidante	< 0,025%
	2	2	>0 à 4	-	R	-	-		
	3	3	>0 à 4	>0 à 2	R	-	-		
M2	1	2	-	>2 à 5	R	-	-	Oxidante	< 0,035%
	2	2	>4 à 10	-	R	-	-		
	3	3	>0 à 10	>2 à 5	R	-	-		
M3	1	2	-	>5 à 12	R	-	-	Mais oxidante	< 0,045%
	2	2	10 à 25	-	R	-	-		
	3	3	10 à 25	>0 à 12	R	-	-		
M4	1	2	-	>12	R	-	-	Idem	< 0,054%
	3	2	>25	-	R	-	-		
	3	3	0 à >25	0 à >12	R	-	-		
C1	1	1	100	-	-	-	-	Muito oxidante	~0,06 à 0,07 %

○ R= Restante