



PRONAVI
ENGENHARIA NAVAL



SOLDAGEM **MIG**

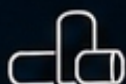
DO INICIANTE AO PROFISSIONAL



TEORIA
COMPLETA



PRÁTICA
PASSO A PASSO



APLICAÇÕES EM
CHAPAS E TUBULAÇÃO

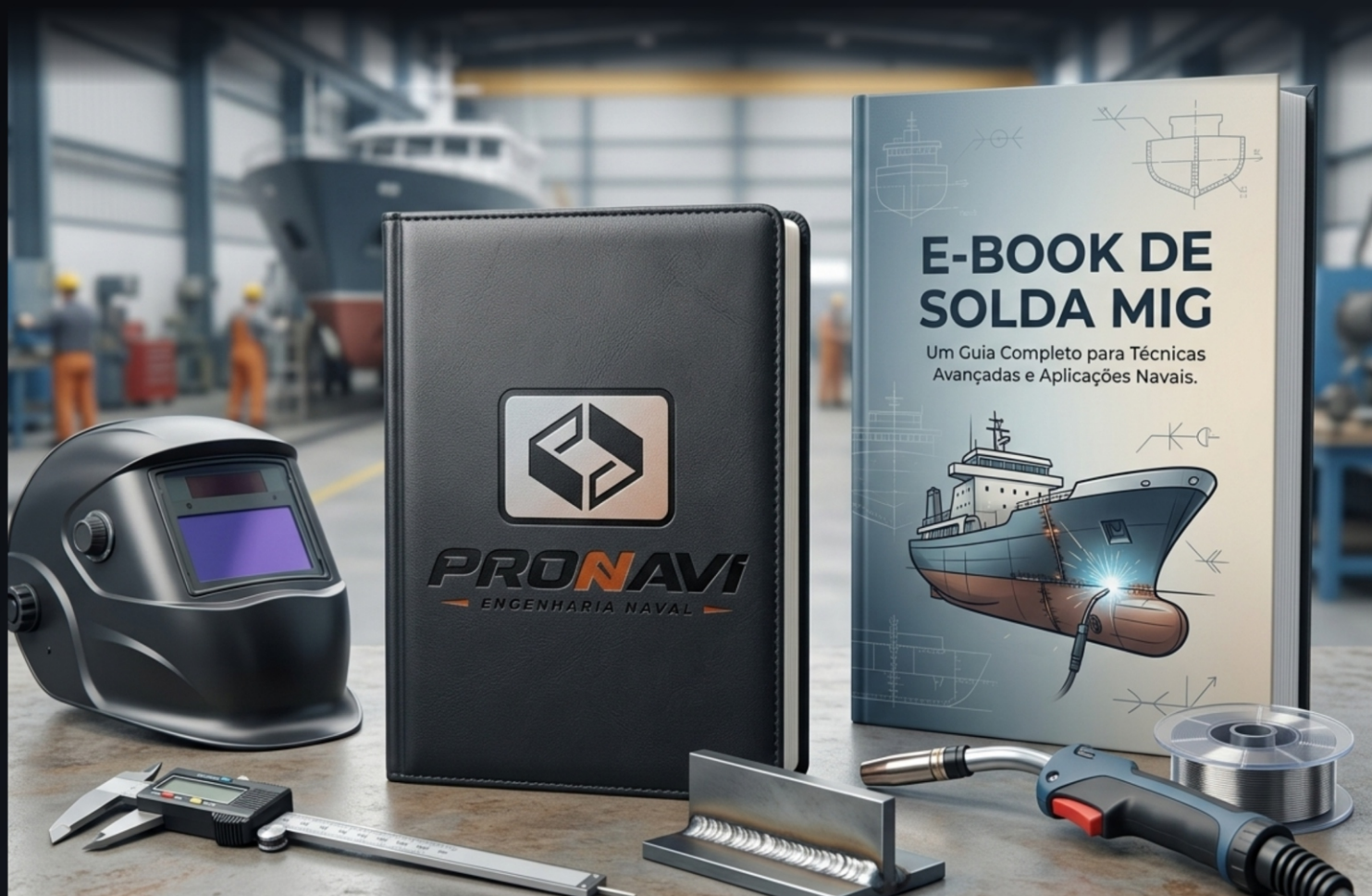


NORMAS E
SEGURANÇA

TÉCNICAS • EQUIPAMENTOS • PROCESSOS • NORMAS • SEGURANÇA



PRONAVI
— ENGENHARIA NAVAL —



TREINAMENTO TÉCNICO AVANÇADO

GUIA DEFINITIVO:

SOLDAGEM MIG/MAG (GMAW)

Do Iniciante ao Profissional — Técnicas, Normas AWS/ASME e Práticas Navais



MANUAL OPERACIONAL DA ENGENHARIA NAVAL E INDUSTRIAL PESADA

NORMAS:
AWS D1.1 / ASME IX

QUALIFICAÇÃO:
Chapas e Tubos (1G a 6G)

EDIÇÃO:
PRONAVI Engenharia Naval

SOBRE O TREINAMENTO PRONAVI

- A PRONAVI Engenharia Naval desenvolveu este e-book com o objetivo de fornecer um guia técnico rigoroso, prático e completo sobre o processo de soldagem MIG/MAG (GMAW - *Gas Metal Arc Welding*), focado no setor naval, de caldeiraria e de estruturas metálicas de alta responsabilidade.

Missão da Capacitação Técnica

Formar soldadores e inspetores altamente qualificados, capazes de executar juntas soldadas com isenção de defeitos em conformidade com as normas internacionais AWS D1.1 (Steel Structural Welding), ASME Seção IX e as Normas Regulamentadoras brasileiras (NR-6, NR-18, NR-34).

SUMÁRIO GERAL DO E-BOOK

CAP. 01 Fundamentos MIG/MAG

Princípios de arco elétrico, tocha, alimentador e transferência metálica.

CAP. 02 Segurança e EPIs

Normas NR-6/18/34, proteção contra UV, fumos e choque elétrico.

CAP. 03 Arames e Gases

AWS A5.18 (ER70S-6), misturas Ar/CO₂ e vazão adequada.

CAP. 04 Geometria do Chanfro

Preparação em V em chapas de 3/8", abertura de raiz e nariz.

CAP. 05 Tabela de Regulagem

Parâmetros exatos de tensão, corrente e velocidade de arame.

CAP. 06 Soldagem em Chapas

Execução detalhada nas posições 1G, 2G, 3G e 4G.

CAP. 07 Soldagem de Tubos

Passe de raiz e acabamento em tubulações (1G, 2G, 5G e 6G).

CAP. 08 Inspeção e Ensaio END

Correção de porosidades, falta de fusão e exames VT / PT / RT.

CAP. 09 Qualificação & EPS

Elaboração da Especificação do Procedimento de Soldagem (EPS).

CAP. 10 Boas Práticas Navais

Manutenção da equipagem e padrões do estaleiro PRONAVI.

CAPÍTULO 2: SEGURANÇA, EPIS E NORMAS REGULAMENTADORAS

A soldagem MIG/MAG gera intensa radiação ultravioleta (UV) e infravermelha (IV), além de fumos metálicos de Manganês e Silício. O cumprimento das normas NR-6 (EPI), NR-18 (Construção Civil/Caldeiraria) e NR-34 (Atividades em Estaleiros) é obrigatório.

EPIS Obrigatórios do Soldador

Máscara com Optoeletrônico: Tonalidade regulada entre DIN 10 e DIN 13 para MIG/MAG.

Luvas de Raspa Específicas: Cano longo com flexibilidade nos dedos para controle do gatilho da tocha.

- Avental e Blusão de Raspa: Com gola alta para proteção do pescoço contra respingos.
- Perneiras e Botas de Segurança: Sem cadarço aparente e com biqueira reforçada.
- Proteção Respiratória: Máscara PFF2/P3 para retenção de vapores e fumos metálicos.

Riscos Críticos no Estaleiro

1. Asfixia e Fumos em Ambientes Confinados (NR-33):
2. gás de proteção (CO_2 ou Argônio) é mais denso que o ar e pode deslocar o Oxigênio em tanques e porões de embarcações. Exige exaustão forçada contínua.
3. Choque Elétrico:
4. fiação terra de retorno deve estar rigidamente conectada à estrutura naval. Verifique o isolamento do cabo da tocha.
5. Incêndio (NR-34):
6. trabalho a quente exige permissão de trabalho (PT) e vigia de solda com extintor operante.

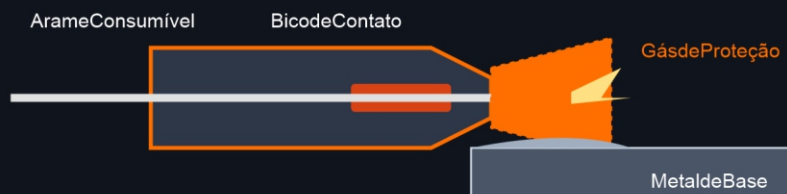
NORMAS REGULAMENTADORAS APLICÁVEIS

Norma	Escopo e Aplicação Principal	Requisito Crítico
NR-06	Equipamentos de Proteção Individual	Certificado de Aprovação (CA) válido em todos os itens.
NR-34	Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria Naval	Inspeção prévia de gases e Liberação de Trabalho a Quente.
AWS Z49.1	Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes	Padrão internacional de segurança do arco elétrico.

CAPÍTULO 1: O PROCESSO MIG/MAG (GMAW)

- O processo GMAW (Gas Metal Arc Welding), popularmente conhecido como MIG/MAG, utiliza o calor criado por um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo consumível em forma de arame contínuo e a peça de trabalho. O poço de fusão é protegido continuamente por um fluxo de gás (inerte no MIG ou ativo no MAG).

Esquema Funcional da Tocha MIG/MAG



MODOS DE TRANSFERÊNCIA METÁLICA

- A forma como o metal derretido é transferido do arame para a poça de fusão determina a aplicação e a posição de soldagem:

1. Curto-Circuito (Short-Arc)

2. arame toca a poça de fusão de 20 a 200 vezes por segundo, gerando um curto-circuito controlado. Produz baixa entrada de calor (*Heat Input*), sendo ideal para chapas finas e soldagem fora de posição (3G, 4G, 5G, 6G).

1. Spray (Aerosol)

Ocorrem pequenas gotas finas transferidas axialmente sem contato físico com o arame. Requer tensões e correntes elevadas com pelo menos 80% de Argônio na mistura. Altíssima taxa de deposição, exclusivo para posição plana (1G) e filete horizontal (2F).

1. Globular

As gotas de metal fundido formam-se na ponta do arame com diâmetro maior que o próprio arame e caem por gravidade.

Gera alto índice de respingos. Comum quando se utiliza 100% CO_2 em tensões intermediárias.

CAPÍTULO 3: CONSUMÍVEIS — ARAMES E GASES DE PROTEÇÃO

A escolha correta do par Arame + Gás define as propriedades mecânicas da solda, como resistência à tração, tenacidade e isenção de porosidades.

1. CLASSIFICAÇÃO DOS ARAMES PARA AÇO CARBONO (AWS A5.18)

Decodificação do Arame AWS ER70S-6

- ER** Electro/Rod: Pode ser usado como eletrodo ou vareta.
- 70** Resistência Mínima à Tração: $70.000 \text{ ext}\{ \text{PSI} \} \setminus (\text{pprox } 485 \text{ ext}\{ \text{MPa} \})$.
- S** Solid: Arame maciço/sólido.
- 6** Composição Química: Alto teor de Silício ($\text{\$Si\$}$) e Manganês ($\text{\$Mn\$}$), atuando como desoxidante forte para chapas com leve oxidação.

6 SELEÇÃO DO GÁS DE PROTEÇÃO (MAG)

Composição do Gás	Tipo de Transferência	Características do Arco e Penetrabilidade
100% $\text{\$CO_2\$}$ (MAG)	Short-Arc / Globular	Penetração profunda em V, maior nível de respingos, custo baixo.
75% $\text{\$Ar\$}$ / 25% $\text{\$CO_2\$}$	Short-Arc / Spray	Arco suave, excelente estabilidade, respingos reduzidos. Padrão estaleiro.
85% $\text{\$Ar\$}$ / 15% $\text{\$CO_2\$}$	Spray / Pulsado	Excelente acabamento, perfil de cordão plano, ideal para alta taxa de deposição.
100% Argônio ($\text{\$Ar\$}$)	Spray (Não ferroso)	Uso exclusivo para Alumínio e Cobre. Não usar em Aço Carbono (causa mordeira).

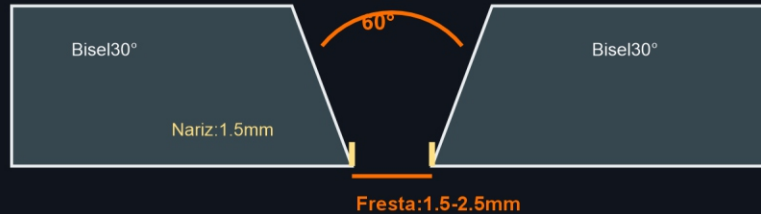
AJUSTE DA VAZÃO DE GÁS

A vazão recomendada do regulador/fluxômetro para tochas MIG de 300A a 500A varia entre **12 l/min e 18 l/min**. Vazões abaixo de 10 l/min causam porosidades por falta de proteção, enquanto vazões acima de 22 l/min criam turbulência e aspiram o ar atmosférico para a poça.

CAPÍTULO 4: PREPARAÇÃO DE CHAPAS E GEOMETRIA DO CHANFRO

A perfeita preparação da junta é responsável por 50% do sucesso da soldagem MIG/MAG em estruturas navais. Chapas com espessura igual ou superior a $3/8"$ (9,5 mm) exigem biselamento em V para garantir penetração total na raiz.

Geometria do Chanfro em V de 60° (AWS D1.1)



PARÂMETROS GEOMÉTRICOS OBRIGATÓRIOS

Ângulo do Bisel: $30^\circ \pm 2.5^\circ$ em cada chapa, totalizando abertura de 60° .

Abertura de Raiz (Fresta/Root Gap): 1,5 mm a 2,5 mm para permitir a entrada da poça em Short-Arc.

Nariz (Face da Raiz/Root Face): 1,5 mm para evitar perfuração (*burn-through*) durante o passe de raiz.

ÂNGULOS DE INCLINAÇÃO DA TOCHA

Técnica Empurrando (Forehand)

- A tocha aponta na direção do avanço da solda (10° a 15°).
- A Cordão mais largo e raso.
- A Menor penetração.
- A Ótimo para chapas finas e passes de acabamento.

Técnica Puxando (Backhand)

- A tocha aponta em sentido oposto ao avanço (10° a 15°).
- A Cordão mais estreito e alto.
- A Maior profundidade de penetração.
- A Recomendado para passe de raiz e chapas grossas.

CAPÍTULO 5: TABELA PRÁTICA DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Os parâmetros de soldagem MIG/MAG devem ser ajustados em perfeita sintonia entre a Tensão (Volts) e a Velocidade do Arame (m/min). Abaixo está a tabela oficial de regulagem da PRONAVI para arame maciço ER70S-6 e gás de mistura 75% Ar / 25% CO₂.

Espessura do Metal	Diâmetro Arame	Passe / Posição	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade Arame	Vazão Gás
1,5 - 2,0 mm	0,8 mm	Passe Único (1G/2F)	16 - 18 V	70 - 100 A	3,5 - 4,5 m/min	12 l/min
3,2 - 4,8 mm	0,9 mm	Multi-passe (1G/3G)	18 - 21 V	120 - 160 A	5,5 - 7,0 m/min	14 l/min
9,5 mm (3/8")	1,2 mm	Passe de Raiz (1G-4G)	19 - 22 V	140 - 180 A	4,5 - 6,0 m/min	15 l/min
9,5 mm (3/8")	1,2 mm	Enchimento (1G Plana)	25 - 28 V	220 - 270 A	8,0 - 10,0 m/min	18 l/min
9,5 mm (3/8")	1,2 mm	Vertical Ascendente (3G)	20 - 23 V	150 - 190 A	5,0 - 6,5 m/min	16 l/min
> 12,7 mm (1/2")	1,2 mm	Acabamento (1G Spray)	27 - 31 V	260 - 320 A	9,5 - 12,0 m/min	18 l/min

CONCEITOS CHAVE DE REGULAGEM FINA

1. Extensão Livre do Arame (Stick-out)

Distância mantida entre a ponta do bico de contato e a peça de trabalho. Para transferência por curto-circuito (Short-Arc), mantenha o stick-out estritamente entre **10 mm e 15 mm**. Se o stick-out for excessivo, a corrente cai, gerando falta de fusão.

1. Ruído Característico do Arco elétrico

2. som do arco MIG em Short-Arc bem ajustado deve ser contínuo e estalado, similar a "bacon fritando na frigideira".

Ruídos de estouros espaçados indicam excesso de arame ou falta de voltagem.

CAPÍTULO 6: EXECUÇÃO EM CHAPAS (POSIÇÕES 1G A 4G - AWS)

A qualificação do soldador conforme a norma AWS D1.1 avalia a habilidade de controlar a gravidade e o escoamento do metal fundido nas quatro posições fundamentais em junta de topo com chanfro em V.

Posição 1G (Plana)

A peça repousa horizontalmente sobre a bancada e a soldagem é feita por cima. Permite altas taxas de deposição (Modo Spray ou Globular). Mantenha ângulo de ataque a 90° e inclinação de 10° a 15° empurrando.

Posição 2G (Horizontal)

A linha de solda corre horizontalmente em uma chapa mantida na vertical. O metal tende a escorrer para a margem inferior. Deposite passes filetados estreitos com sobreposição de 50% entre os cordões.

Posição 3G (Vertical)

A junta é vertical. A progressão Ascendente (UP) é obrigatória para chapas estruturais acima de 3 mm. Utilize movimento de tecimento em 'Z' ou 'Meia-Lua', fazendo pequenas pausas nas margens laterais para evitar mordeduras.

Posição 4G (Sobre-Cabeça)

A soldagem é executada pela parte inferior da chapa. Exige transferência Short-Arc rigorosa com amperagem reduzida, arco curto ($\text{stick-out} = 10 \text{ mm}$) e velocidade de avanço ágil para sustentação da poça.

SEQÜÊNCIA MULTI-PASSE EM CHAPA DE 3/8" (9.5 MM)

Distribuição dos Passes no Chanfro



- Passe 1 (Raiz): Garantir penetração total e reforço inferior de 1,0 a 2,0 mm.
- Passes 2 e 3 (Enchimento): Limpeza rigorosa da fuligem e escória leve antes de cada passe.
- Passes 4, 5 e 6 (Acabamento): Sobreposição uniforme com margens perfeitamente fundidas.

CAPÍTULO 7: SOLDAGEM DE TUBULAÇÕES (POSIÇÕES 5G E 6G)

A soldagem de tubos industriais e navais sob pressão é regulada pelo código ASME Seção IX. A qualificação em posição 6G abrange automaticamente todas as demais posições de tubos e chapas.

Posição 5G (Tubo Fixo Horizontal)

- o tubo fica travado na posição horizontal. O soldador deve executar a solda contornando o tubo do teto ao chão (Descendente) ou do chão ao teto (Ascendente), transitando pelas posições Plana, Vertical e Sobrecabeça em uma única

junta.

Posição 6G (Tubo Fixo Inclinado a 45°)

- o tubo permanece fixo em um ângulo de 45° ($\pm 5^\circ$). Esta é a posição de maior complexidade técnica, exigindo transição contínua de ângulo de ataque da tocha e controle absoluto

TÉCNICA DE PASSE DE RAIZ EM TUBULAÇÕES

o passe de raiz MIG/MAG em tubos de aço carbono sem anel de encosto (*backing*) exige técnica cirúrgica:

- **Preparação do Tubo:** Bisel em $37,5^\circ$ (Ângulo total 75°), nariz de $1,5 \text{ mm}$ e abertura de raiz constante de $2,0 \text{ mm}$.
- **Técnica de Penetração (Keyhole):** Mantenha um pequeno furo de fechadura (*keyhole*) visível na poça de fusão à frente do arco. Isso garante que o metal derretido do arame atravessasse o nariz e forme o cordão interno de penetração perfeita.
- **Gas Purging (Insuflamento):** Ao soldar tubos de aço inoxidável ou ligas especiais, utilize Argônio puro internamente no tubo para evitar oxidação grave da raiz (chamada de "Açucaramento").

Posição 6G — Orientação do Arco e Tubo a 45°



Eixo Fixo a 45°

Progressão Ascendente

CAPÍTULO 8: INSPEÇÃO, CONTROLE DE DEFEITOS E END

Na indústria naval, defeitos na soldagem podem comprometer a integridade estática e dinâmica da embarcação. Conheça as principais discontinuidades do processo MIG/MAG e os Ensaios Não Destrutivos (END) empregados.

1. DEFEITOS FREQUENTES EM MIG/MAG E SOLUÇÕES

Defeito	Causa Provável	Ação Corretiva Imediata
Porosidade	Perda do gás por vento, bocal sujo ou umidade na chapa.	Instalar biombos contra vento, limpar bocal da tocha e esmerilhar a junta.
Falta de Fusão (Mordeira Fria)	Velocidade de avanço muito rápida ou tensão baixa para o arame.	Aumentar a tensão (Volts), reduzir velocidade e focar o arco na margem do chanfro.
Respingos Excessivos	Tensão incompatível com a velocidade de arame ou indutância baixa.	Ajustar indutância no painel e calibrar voltagem conforme tabela do fabricante.
Mordeduras (Undercut)	Corrente excessiva ou tecimento muito veloz no centro da junta.	Reduzir amperagem e realizar pequenas pausas nas margens laterais.

2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS (END) NA ENGENHARIA NAVAL

Inspeção Visual (VT)

Avaliação 100% obrigatória de todos os cordões. Checa perfil de acabamento, altura de reforço ($1,0 \leq h \leq 3,0$ mm) e ausência de trincas e poros

superficiais.

Partículas Magnéticas (MT)

Utilizado em materiais ferromagnéticos para detectar trincas subsuperficiais através do acúmulo

Líquido Penetrante (PT)

Aplica-se um líquido vermelho por capilaridade para detectar discontinuidades abertas à superfície, como microtrincas na raiz ou cratera.

Ultrassom (UT) / Radiografia (RT)

Exames volumétricos definitivos em juntas de alto risco (casco do navio). Revelam falta de penetração interna e inclusões profundas.

CAPÍTULO 9: ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM (EPS)

Toda solda estrutural em estaleiros deve ser precedida por uma EPS (Especificação do Procedimento de Soldagem) qualificada através de um RQP (Registro de Qualificação do Procedimento).

Elementos Essenciais de uma EPS para MIG/MAG

1. Variáveis Essenciais (AWS D1.1): Qualquer alteração nessas variáveis exige requalificação do procedimento:
 - Mudança de processo (ex: MIG maciço para Tubular).
 - Mudança do tipo de gás de proteção ou alteração na composição nominal do gás em mais de 5%.
 - Alteração do tipo de corrente (CC+ para CC-) ou modo de transferência (Short-Arc para Spray).
 - Redução na temperatura de pré-aquecimento recomendada.

CHECKLIST DE MANUTENÇÃO DIÁRIA DA EQUIPAGEM MIG

Antes de iniciar a jornada de trabalho no estaleiro PRONAVI, o soldador deve inspecionar rigorosamente os seguintes pontos:

Alimentador de Arame

- Roldanas de tração com canaleta adequado para o diâmetro (K para tubular, V para maciço).
- Pressão dos roletes regulada para não esmagar o arame nem permitir patinamento.

Tocha e Consumíveis

- Bico de contato limpo, sem desgaste ovalizado no furo.
- Conduíte espiralado de aço limpo com jato de ar comprimido.
- Aplicação de pasta/spray anti-respingo no bocal.

CONHECIMENTO QUE UNE. QUALIDADE QUE TRANSFORMA.

Este e-book foi desenvolvido para levar você do nível iniciante ao nível profissional em Soldagem MIG, com conteúdo técnico, prático e atualizado conforme as normas nacionais e internacionais.

Mais que teoria, um guia para a prática com segurança, qualidade e excelência.



SEGURANÇA
EM 1º LUGAR



QUALIDADE
EM CADA SOLDA



CONFORMIDADE
COM NORMAS



PROFISSIONALISMO
SEMPRE



Excelência em cada projeto. Confiança em cada união.



www.pronavi.com.br



contato@pronavi.com.br



(21) 97030-9258

SOLDAGEM MIG

DO INICIANTE AO PROFISSIONAL