

4ª Aula – Introdução ao Arco elétrico

1. O arco elétrico

1.1 - Definição : descarga elétrica mantida através de um gás ionizado, iniciada por uma quantidade de elétrons emitidos do eletrodo negativo (catodo) aquecido e mantido pela ionização térmica do gás aquecido.

1.2 - Tipos de fontes de soldagem (máquinas de solda)

Para obtenção do arco elétrico necessitamos uma fonte de energia, denominada vulgarmente de **máquina de solda** e tecnicamente de **fonte de soldagem**. São máquinas que permitem a obtenção do arco elétrico em baixas tensões (10 a 50 V) e altas correntes (40 a 500 A), sendo utilizada em soldagem nos processos Eletrodo Revestido, MIG/MAG, TIG, Arco Submerso, Plasma e Eletroescória.

De forma esquemática, uma máquina de solda pode ser representada pela figura 1. A máquina de solda é alimentada pela rede elétrica, mono, bi ou trifásica, em tensões normais de 110, 220, 380 ou 440V. Qualquer que seja a alimentação, a tensão de saída nos bornes da máquina deverá estar entre 10 a 50 V, e o tipo de corrente poderá ser alternada ou contínua.

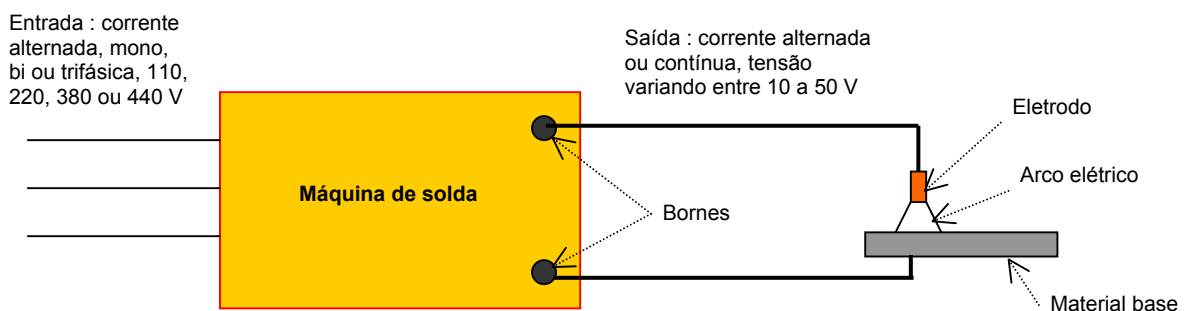


Figura 1 : Representação esquemática de uma máquina de solda por arco elétrico.

As máquinas de solda mais simples são pequenos transformadores, que reduzem a tensão de alimentação para as tensões mencionadas, mantendo a corrente alternada. Devido a simplicidade do equipamento, são de baixo custo e aplicados em processos de soldagem que se trabalhe com corrente alternada. Exemplo típico deste tipo de equipamento são as pequenas máquinas de solda de eletrodo revestido utilizadas em

metalúrgicas de pequeno porte ou mesmo para uso em campo. Um exemplo deste tipo de equipamento pode ser visto na figura 2, com as devidas características técnicas.

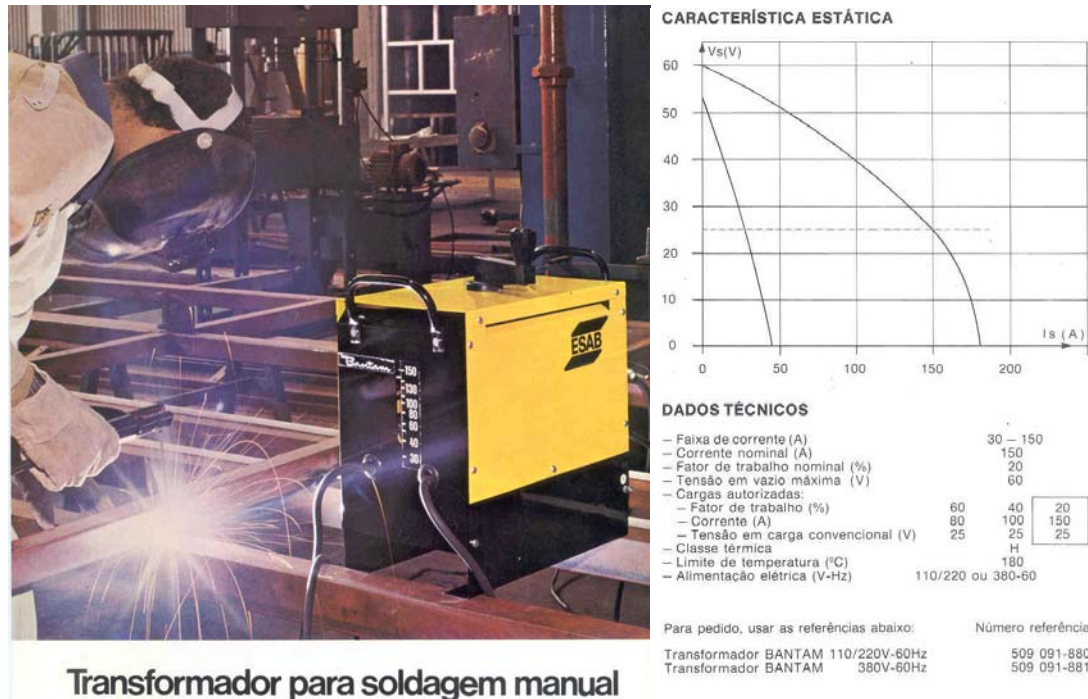


Figura 2 : Catálogo de uma máquina de solda denominada transformador.

Para processos que requeiram o uso de corrente contínua, existem as máquinas de solda conhecidas como fontes retificadoras. Elas retificam a corrente através de diodos e tiristores, sendo muito aplicados no processo MIG/MAG, eletrodo revestido e TIG. Devido a maior complexidade do equipamento, seu custo é mais elevado. Exemplos deste tipo de equipamentos podem ser vistos na figura 3.

Devido a grande evolução da eletrônica, atualmente são construídos equipamentos cada vez menores e mais versáteis. Na década de 80/90 foram lançadas as chamadas fontes inversoras, que reduziram drasticamente o tamanho dos equipamentos, conforme mostrado na figura 4. Na mesma época começaram a surgir fontes de soldagem denominadas multiprocessos, que permitem soldar com diversos processos de soldagem, seja em corrente contínua ou alternada, conforme mostrado na figura 5.



Tig Star 251 AC/DC

Transformador / Retificador monofásico para solda TIG.

Características Técnicas

- Tensão de alimentação monofásica	208-220/230-380
	415-440/460 50/60Hz
- Ciclo de trabalho -10 min (A)	250-35%/190-60%/150-100%
- Potência instalada (KW)	23
- Potência absorvida (KVA)	14-35%/9,1-60%/6-100%
- Faixa de regulagem de corrente (A)	5 - 250 (AC/DC)
- Grau de proteção	IP 21
- Peso (kg)	140
- Dimensões (mm)	450 x 1007 x 887

Características Especiais

- Fonte eletrônica de alta tecnologia
- HF do tipo eletrônico com sistema de liga/desliga automático
- Ignição automática
- Soldagem em corrente contínua e alternada com recurso de onda quadrada
- Amperímetro digital
- Unidade de refrigeração da Tocha
- Solda qualquer tipo de eletrodo revestido, inclusive os celulósicos
- Soldagem por arco pulsado, com regulagem de 0,03 até 3,5 segundos
- A unidade por arco pulsado pode ser usado com comando à distância
- Painel completo com os comandos centralizados
- Proteção térmica contra possíveis sobrecargas
- Rampa de entrada e saída de arco

Acessórios

- Tocha TIG refrigerada a água (3 m) - Comando de pedal (5 m)
- Unidade para arco pulsado (5 m) - Cabo obra (3,5 m)
- Extensão para controle Remoto (5 m) - Conexão de água (3 m)
- Cabo Porta Eletrodos (5 m)



Mig Star 450 S

Retificador trifásico para solda MIG/MAG.

Características Técnicas

Equipamento

- Tensão de alimentação trifásica (V)	230-380 50/60Hz
- Ciclo de trabalho - 10min. (A)	450-60%/350-100%
- Potência instalada (KW)	18
- Potência absorvida (KVA)	21,5-60%/14-100%
- Faixa de regulagem de corrente (A)	40 - 450
- Nº de posições de regulagem	4 x 8
- Diâmetro do arame sólido (mm)	0,8 / 1 / 1,2 e 1,6
- Peso da bobina - máx. (kg)	15 Ø 300 mm
- Grau de proteção	IP 21
- Peso (kg)	185
- Dimensões (mm)	486 x 1025 x 210

Cabeçote

- Ajuste de "Burn-Back"
- Chave seletora para gatilho automático ou manual
- Chave de teste de arame e gás
- 4 roldanas de tração
- Conexão tipo EURO engate

Características Especiais

- Máxima elasticidade e velocidade de resposta, graças ao exclusivo "Integrated Active System"
- Saídas de impedância para soldagem de alumínio, aço inoxidável e aço carbono
- Alta produtividade com velocidades de depósito que podem chegar a até 24 mt / minuto
- Cabeçote com 4 roldanas de tração
- Amperímetro e voltímetro com memorização dos últimos valores de soldagem
- Unidade de refrigeração da Tocha
- Painel completo com comando centralizados
- Proteção térmica contra possíveis sobrecargas

Acessórios

- Tocha MIG refrigerada a água (3 m) - Cabo obra (3,5 m)
- Cabo de interligação (5 m)

Figura 3 : Catálogo de equipamentos de fontes retificadoras dos processos TIG e MIG/MAG

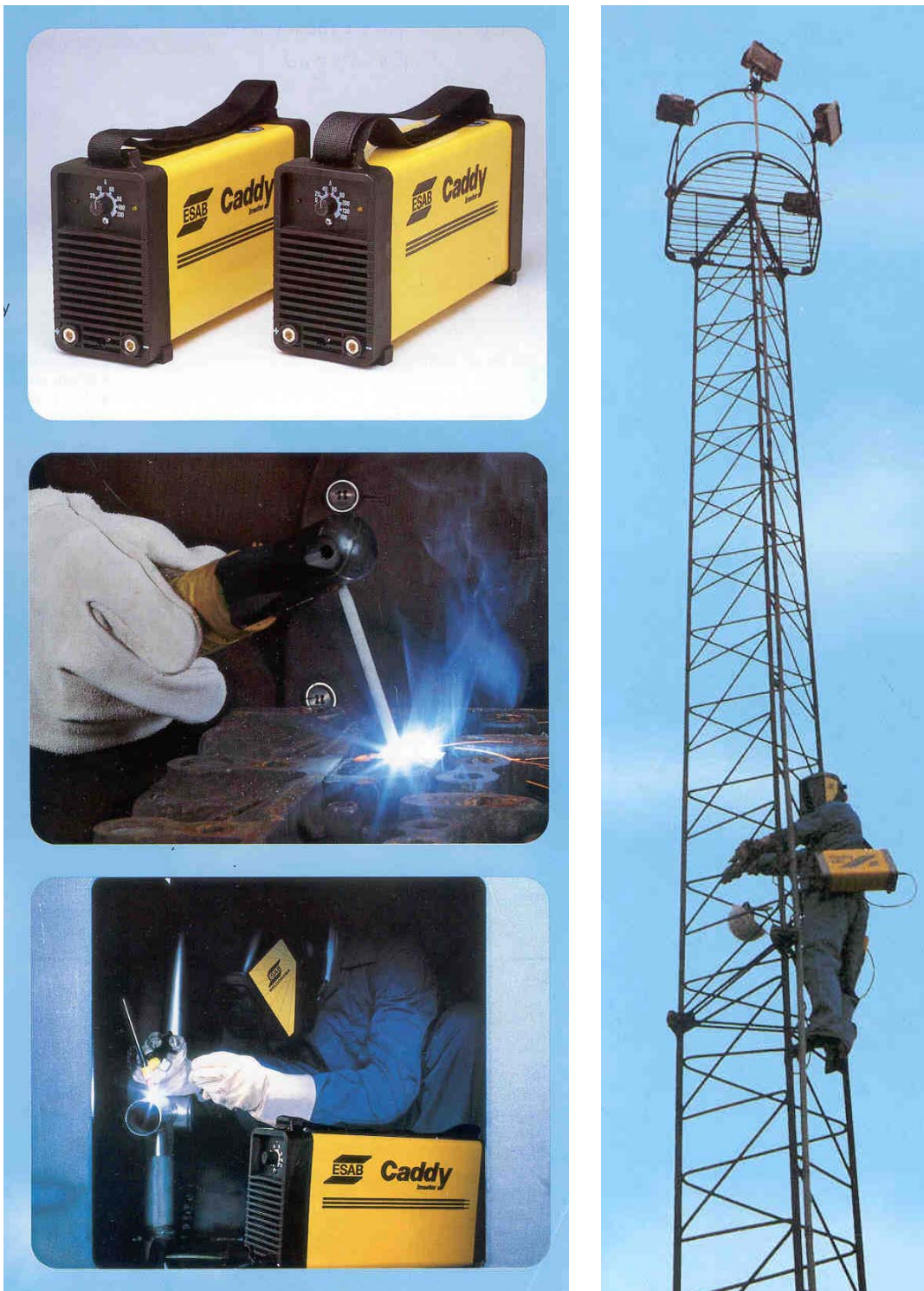


Figura 4 : Catálogo de fonte inversora, capaz de soldar por eletrodo revestido e TIG.
Peso do equipamento – 8 kg.



**MTE DIGITEC
450/600**





**A Fonte de Soldagem a Arco
Microprocessada, Multiprocessada
e Sinérgica.
Facilmente adaptável às
suas necessidades.**

MTE DIGITEC 450/600

**ALTA TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA
COM TRANSISTORES IGBT'S E CONTROLE MICROPROCESSADO**

Com isto desenvolveu-se o mais moderno equipamento de soldagem a arco com as seguintes opções:

- processo MIG/MAG convencional;
- processo MIG/MAG pulsado com comando de corrente;
- processo MIG/MAG pulsado duplamente pulsado;
- processo MIG/MAG pulsado sinérgico;
- processo TIG com corrente contínua constante ou pulsada;
- processo eletrodo revestido com sistema de anti-colagem.

Operação através de controle remoto microprocessado com teclado e "display" de cristal líquido, por meio dos quais é feita a seleção dos processos e os ajustes das variáveis de forma simples e prática.



Dados Técnicos:

MODELO	MTE DIGITEC 450	MTE DIGITEC 600
Corrente nominal	280 A a 100% FC	350 A a 100% FC
Corrente máxima	450 A	600 A
Alimentação	220,380,440 V 3 –	220,380,440 V 3 –
Cos φ	0,95	0,95
Dimensões	500 x 600 x 900 mm	500 x 600 x 900 mm
Peso	130 kg	140 kg

Figura 5 : Catálogo de fonte multiprocesso do IMC/Labsolda/UFSC.

Para uso em locais onde a energia elétrica não está disponível, existem os chamados geradores de energia. Estes equipamentos são cada vez mais raros, pelo simples fato da energia elétrica estar disponível praticamente em qualquer local.

1.3 - Curvas características estáticas da fonte de soldagem

As máquinas de solda (também chamadas de fonte de energia ou fonte de soldagem) podem ser classificadas em **fonte de corrente constante** e **fonte de tensão constante**. O que significa isto? Veja na figura 2 as curvas apresentadas pelo fabricante denominadas característica estática, reproduzida na figura 6. Na verdade estas curvas demarcam uma região onde a máquina de solda trabalha, considerando as correntes e tensões envolvidas. No caso específico da curva considerada, a corrente varia pouco para uma dada variação da tensão. Neste caso denominamos esta fonte de corrente constante. Ela é típica dos processos de soldagem por Eletrodo Revestido e TIG. Isto

significa dizer que nestes processos a regulagem a ser feita é da corrente de soldagem. A região que a máquina trabalha fica então limitada a correntes entre 30 a 150 A, com a tensão variando em torno de 20 a 30V, devido às características elétricas do arco elétrico (veremos a adiante a razão da tensão ficar entre estes valores).

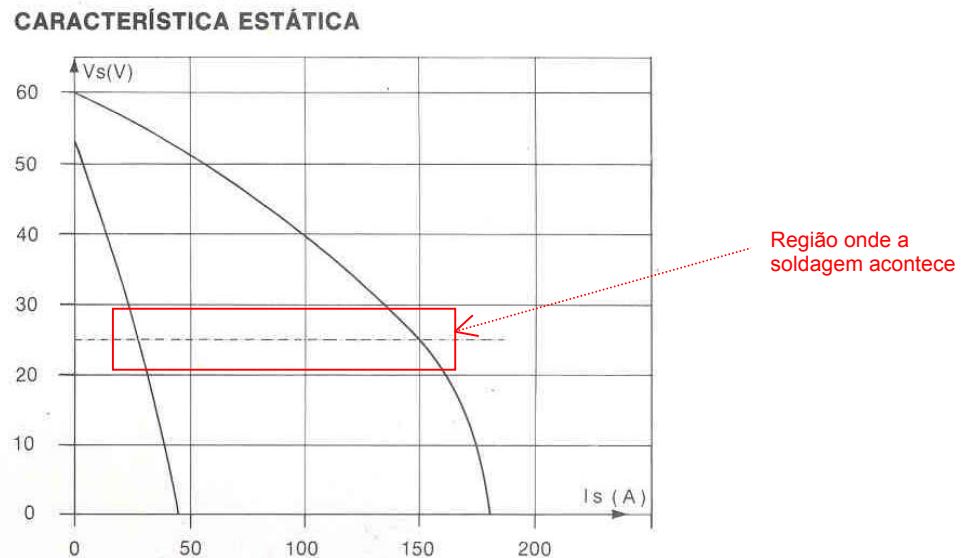


Figura 6 : Curva característica estática do fonte de soldagem da figura 2 – corrente constante.

Para o processo de soldagem MIG/MAG as fontes são de tensão constante, e podem ser representadas pelas curvas mostradas na figura 7. Note que a tensão varia pouco, para uma significativa variação da corrente. Ou seja, no processo MIG/MAG convencional, iremos regular a tensão de soldagem. Isto é feito pelo comandos disponíveis no equipamento.

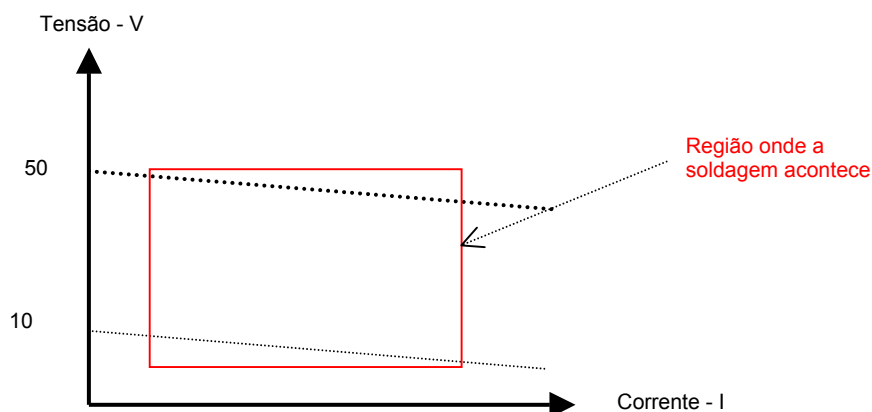


Figura 7 : Característica estática de uma fonte de soldagem MIG/MAG convencional – tensão constante.

Tanto a curva mostrada na figura 6 como a da figura 7 recebem o nome de **curvas características estáticas da fonte**, e definem em que regiões o equipamento trabalha quanto ao nível de corrente e tensão possíveis de serem aplicados na soldagem. Para entender melhor este conceito, façamos uma comparação com a tomada de sua casa. sua casa. A tensão da tomada é constante (110 ou 220V), mesmo para elevados valores de corrente. Assim, se representarmos a curva de saída da tomada a mesma seria uma fonte de tensão constante, conforme mostrado na figura 8.

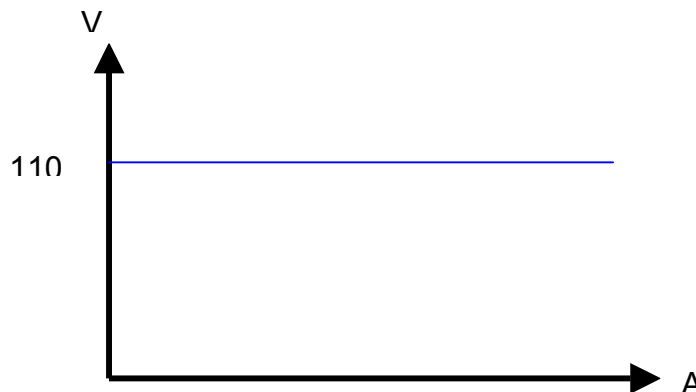


Figura 8 : Curva de saída da tomada de sua casa – tensão constante.

Imaginemos agora que liguemos nesta tomada um aparelho elétrico, por exemplo um aquecedor elétrico de características puramente resistivo, com resistência de $5,5\Omega$ e 11Ω . Como este aquecedor responde ao par tensão e corrente que passam por ele ? Considerando a equação : $V = R \cdot I$ - sendo V : tensão, I : corrente e R : resistência, temos para cada valor da resistência R , a relação V / I como constante, e se fizermos a representação gráfica num diagrama $V \times I$, teremos uma reta que passa pela origem, com inclinação dependendo do valor de R , conforme mostrado na figura 9.

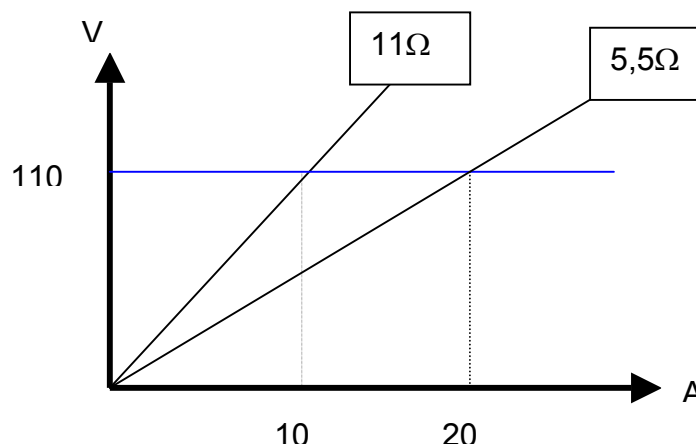


Figura 9 : Ponto de funcionamento do aquecedor elétrico.

Na figura 9, os pontos determinados pela intersecção da curva do resistência R e da curva de alimentação de sua tomada definem **o ponto de funcionamento**, que se dará na corrente de 10 e 20 A respectivamente às resistências de 11 e $5,5\Omega$. Este conceito se aplica também na soldagem, e o ponto de funcionamento dependerá da resistência à passagem da corrente do arco elétrico, que veremos a adiante.

1.4 - Fator de trabalho

Em todas as máquinas de solda são especificadas os valores do chamado fator de trabalho. Este fator relaciona a corrente de soldagem utilizada e o tempo de soldagem que é permitido utilizar a máquina de solda com arco elétrico aberto, em relação a um tempo de 10 minutos. Por exemplo, veja na figura 2 o fator de trabalho indicados para 3 níveis de corrente, reproduzidos na tabela abaixo.

Fator de trabalho [%]	60	40	20
Corrente [A]	80	100	150

Assim, caso se faça uma regulagem de corrente de 150 A, recomenda-se que num tempo de 10 minutos não se ultrapasse de $(20\% \times 10 \text{ minutos}) = 2$ minutos de arco aberto, ou seja , efetivamente soldando. Caso se regule a máquina com 60 A, poderia-se soldar durante 6 minutos num tempo total de 10 minutos. Isto se faz necessário para que o equipamento possa se resfriar durante a parada de soldagem, de forma a preservar o equipamento de um aquecimento excessivo, que poderia causar sérios danos ao equipamento.

1.5 - Abertura do arco elétrico

Para obtenção do arco elétrico, partimos da regulagem da máquina, seja ela de tensão ou corrente constante. A cada regulagem temos, nos bornes da máquina, uma combinação de corrente e tensão que se situa sobre uma curva. Conectando-se nos bornes o cabo terra e o porta eletrodo (no processo eletrodo revestido) ou a pistola com alimentação de arame (no processo MIG/MAG) temos estas partes energizadas. O contato físico entre a ponta do eletrodo revestido (parte metálica) com a peça a ser soldada (conectada ao cabo terra) implica num pequeno curto-circuito, que devido a passagem de uma corrente e uma

tensão aplicada, gera um aquecimento localizado. Este aquecimento promove a emissão de elétrons da superfície do metal aquecido – fenômeno denominado **emissão termoiônica** -, além de gerar gases devido a queima de parte do revestimento. Os elétrons emitidos da superfície bombardeiam os gases contidos na região a frente do catodo, de modo que as moléculas dos gases ou vapores metálicos são ionizados pela retirada de elétrons da camada de valência. A ionização do gás permite a passagem de corrente, formando um arco de plasma. Neste arco os íons se movimentam em alta velocidade, promovendo um intenso aquecimento. A estabilização deste arco depende de um processo contínuo de emissão de elétrons, o que é garantido pelo aquecimento gerado pelo próprio arco. Assim, uma vez aberto, o arco pode ser estabilizado pois seu aquecimento gera contínua emissão de elétrons por emissão termoiônica, que ioniza o gás e assim sucessivamente.

Para abrir o arco, basta aproximar o eletrodo da peça e toca-lo levemente. Neste instante a emissão termoiônica passa a atuar, e elétrons são emitidos da superfície metálica aquecida, ocorre a ionização dos gases e o arco se abre. A estabilização dependerá da correta manutenção da distância entre a ponta do eletrodo e da peça. Caso a distância seja inexistente, a ponta aquecida e fundida pelo arco aberto encosta e se solidifica junto a peça a ser soldada, extinguindo o arco. Neste caso o sistema está em curto-circuito, e o aquecimento do eletrodo se dará apenas por efeito Joule. Se a distância for muito elevada, o arco se extingue pois ele não se estabiliza para grandes distâncias. A estabilidade do arco no processo eletrodo revestido depende da abertura do o arco e manutenção de uma distância constante entre a ponta do eletrodo e a peça a ser soldada.

Pergunta-se : Porque o arco se extingue quando afastamos demasiadamente a ponta do eletrodo e a peça a ser soldada. ?

Resposta : Porque o arco se torna instável. E porque o arco se torna instável ? Porque o arco tem seu próprio comportamento elétrico, dado pela chamada característica estática do arco. Vejamos as características estáticas do arco nos processo MIG/MAG, TIG e Eletrodo Revestido mostrado nas figuras 10, 11 e 12.

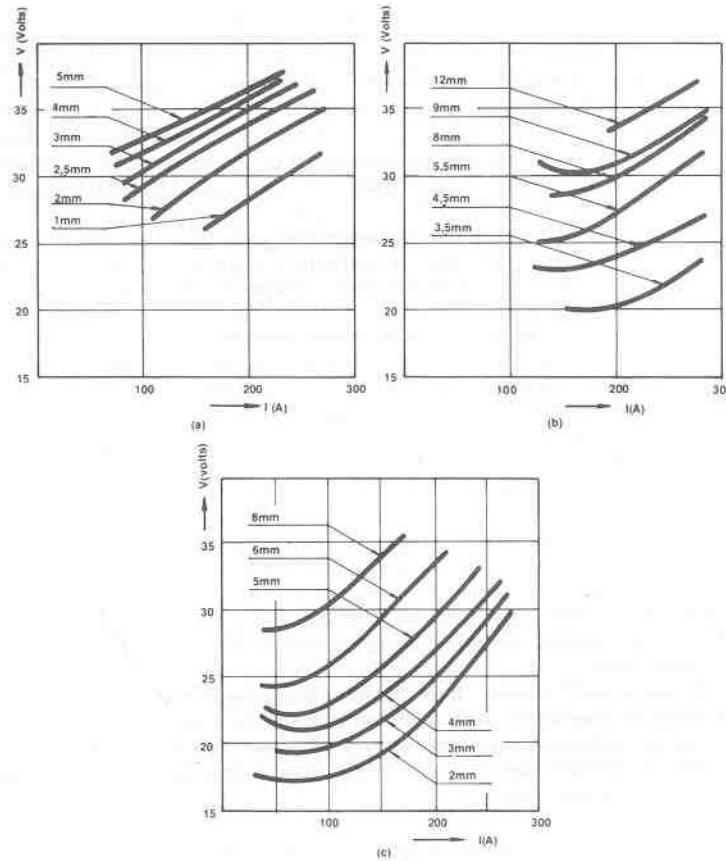


Figura 10 : Características estáticas do processo MIG/MAG, para os gases (a)CO₂, (b)Ar e (c) C-25 (Ar com 25%CO₂). (Quitès e Dutra, 1979)

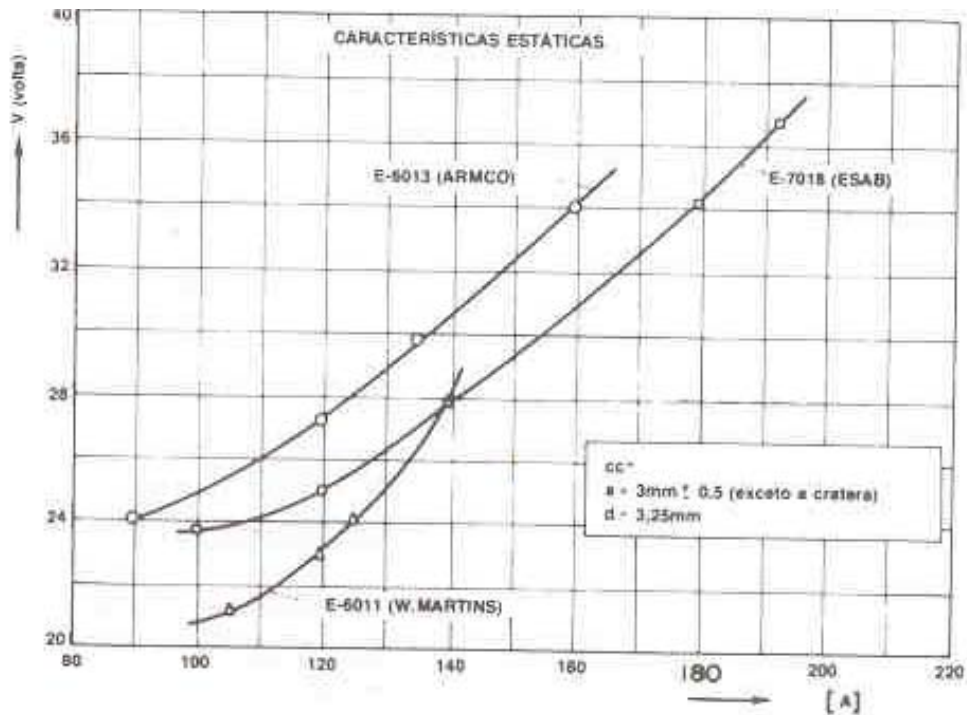


Figura 11 : Características estáticas do processo Eletrodo Revestido do tipo rutilico, celulósico e básico. (Quitès e Dutra, 1979)

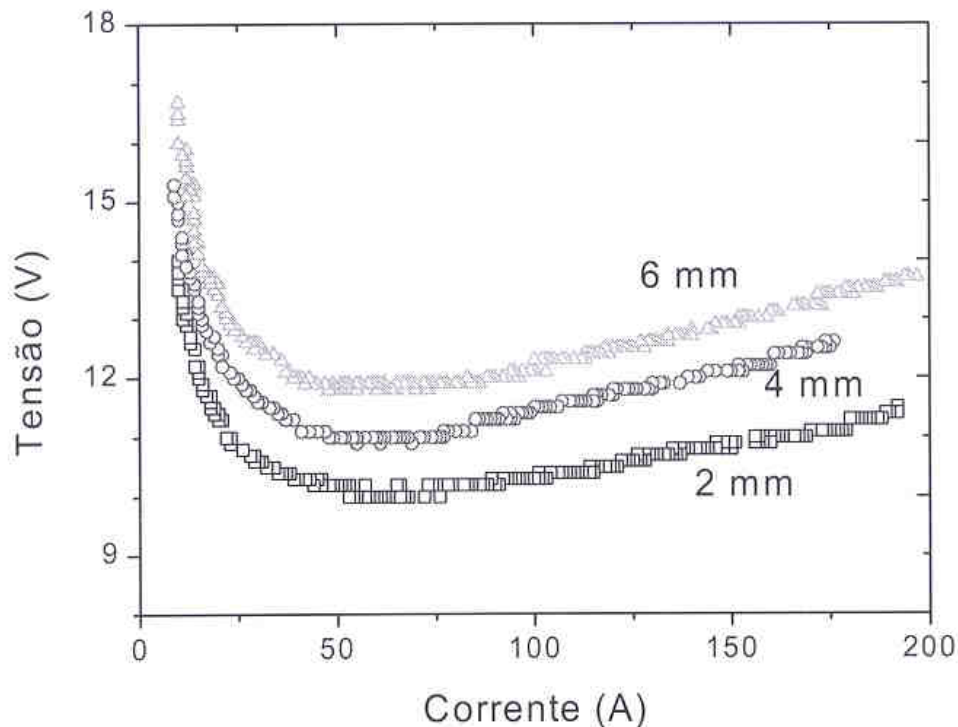


Figura 12 : Características estáticas do processo TIG (Modenesi, 2001).

Na figura 10 são mostradas as curvas do arco no processo MIG/MAG, para 3 diferentes tipos de gases de proteção (Ar, CO₂ e uma mistura C25 - Ar com 25%CO₂), arame de aço carbono de um 1mm de diâmetro. Cada curva é válida para uma certa altura do arco, e representa a relação entre a tensão e corrente a que o arco está submetido. Destas curvas observamos a faixa de corrente e tensão que os arcos se estabilizam, para os diferentes gases de proteção. Assim, por exemplo, no caso do CO₂ observa-se que os arcos são curtos (baixos) e que a tensão necessária para estabilizar o arco se encontram na faixa de 25 a 40V, onde podemos ter correntes variando entre 80 a 280 A. Na realidade podemos soldar em tensões levemente inferiores e correntes levemente superiores. De qualquer forma, estas curvas mostram a faixa de estabilização do processo MIG/MAG, nos dando o noção das correntes de soldagem e tensão aplicadas. Ao compararmos o CO₂ com o Ar, verificamos que o Ar implica em arcos mais longos (altos), podendo as tensões ser menores. A mistura C25 mostra um comportamento híbrido, com alturas intermediárias e baixas tensões de soldagem.

Deve-se atentar ao formato das curvas e sua posição quanto a altura do arco. A figura 10 nos mostra que, para uma mesma corrente que passa pelo arco, a altura do arco será tanto maior quanto a tensão aplicada. Podemos portanto controlar a altura do arco regulando a tensão de soldagem.

E como fica definido o ponto de funcionamento num processo de soldagem. De forma semelhante, devemos considerar as curvas de saída da máquina de solda e as características estáticas do arco. Superpondo as duas, encontramos os possíveis pontos de funcionamento. Utilizemos para isto o processo MIG/MAG, onde a saída da máquina possui uma tensão constante e façamos a sobreposição sobre as características estáticas do arco para este processo mostradas na figura 10. Esta superposição pode ser vista na figura 13.

Quando fazemos a regulagem da máquina em dada tensão, escolhemos uma curva, representada pela cor vermelha. O ponto de funcionamento dependerá agora da altura em que o arco se estabilizará. Esta altura dependerá da tensão aplicada e da velocidade do arame, conforme será demonstrado na prática do laboratório.

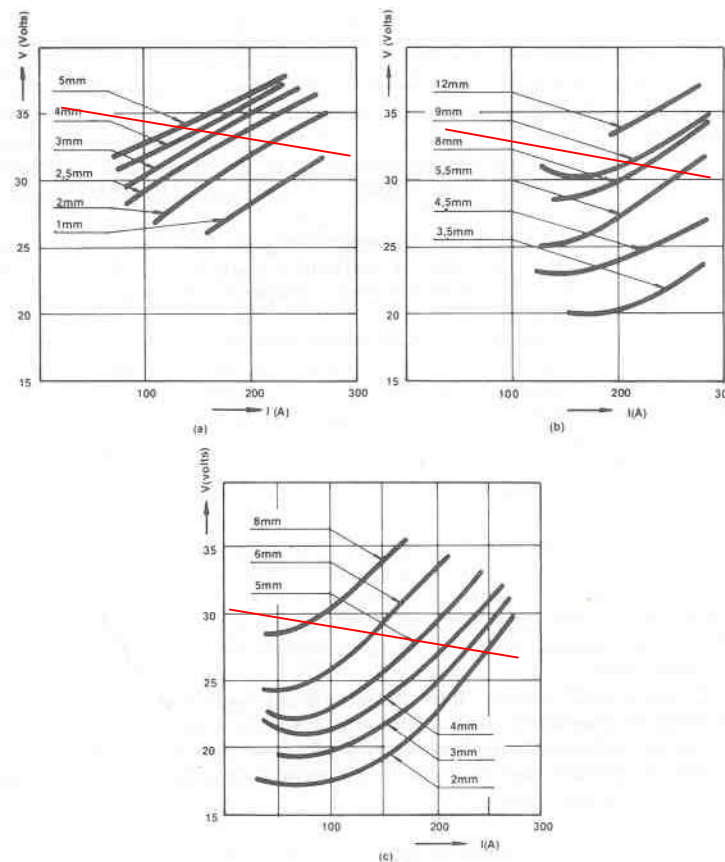


Figura 13 : Ponto de funcionamento no processo MIG/MAG.