

TECNOLOGIA

NAVAL

**2003 - 2004**

Parte - II

**Tecnologia de Processamento de  
Materiais**

# INDICE

1	Processos Tecnológicos.....	5
1.1	Processos Tecnológicos usados em Materiais Metálicos.....	5
1.1.1	Processos industriais de alteração de forma.....	5
1.1.2	Processos tecnológicos - Glossário .....	7
2	Corte por arranque de apara .....	10
2.1	Objectivo e necessidade das máquinas ferramenta.....	10
2.2	Movimentos das máquinas ferramenta .....	10
2.2.1	Tipos de movimentos principal e de avanço .....	10
2.3	Classificação das máquinas ferramentas .....	11
2.3.1	Máquinas ferramentas de utilização geral.....	11
2.3.2	Máquinas ferramentas para produção em série.....	13
2.3.3	Máquinas ferramentas para maquinagem especial.....	13
2.4	Principais máquinas ferramentas utilizadas na indústria metalo-mecânica.....	13
2.4.1	Tornos .....	13
2.4.2	Engenhos de furar.....	15
2.4.3	Fresadoras .....	16
2.4.4	Limadores .....	17
2.4.5	Plainas Mecânicas ("Cepilhadoras Longitudinais") .....	18
2.4.6	Rectificadoras .....	19
2.4.7	Mandriladoras .....	21
2.4.8	Serrotes Mecânicos.....	22
2.4.9	Máquinas ferramentas compostas (Centros de Maquinagem).....	23
2.4.10	Linhas de Fabricação (Trens de Produção) .....	24
2.5	Síntese da teoria do corte por arranque de apara.....	26
2.5.1	1.1 Geometria da cunha cortante.....	26
2.5.2	Classificação da apara quanto ao tipo .....	28

2.5.3	Calor gerado no corte por arranque de apara .....	29
3	Corte por fusão (ou corte térmico).....	30
3.1	Oxicorte .....	31
3.2	Arco plasma .....	32
3.3	A utilização dos eléctrodos de carvão no corte e chanfro .....	33
4	Noções elementares sobre soldadura .....	35
4.1	Introdução .....	35
4.2	Fundamentos da soldadura.....	36
4.2.1	Efeito do calor na soldadura.....	36
4.3	Processos de soldadura .....	37
4.3.1	Nomenclatura básica.....	37
4.3.2	Tipos de juntas .....	37
4.3.3	Posições de soldadura .....	38
4.3.4	Preparação dos bordos — Tipos de chanfros .....	38
4.4	Técnicas e métodos de imposição do cordão de soldadura.....	38
4.4.1	Descrição sumária dos processos de soldadura .....	39
4.5	Soldadura por arco eléctrico.....	57
4.5.1	Fundamentos .....	57
4.5.2	Escorvamento do arco .....	59
4.5.3	Parâmetros de soldadura (variáveis independentes) .....	62
4.6	Eléctrodos e consumíveis.....	64
4.7	Comparação entre os diversos processos de soldadura por arco.....	65
4.8	Execução das soldaduras .....	65
4.9	Brazagem e soldobrazagem.....	68
5	Fundição.....	70
5.1	Principais fases do processo de fundição .....	70
5.2	Propriedades dos Modelos.....	70

5.3	Tipos de Fundição .....	73
5.3.1	Fundição centrífuga.....	73
5.3.2	Fundição contínua.....	74
5.3.3	Fundição injectada .....	74
6	Tratamentos mecânicos .....	75
7	Tratamentos térmicos.....	77
8	Tecnologia de fabrico .....	78

# 1 Processos Tecnológicos

## I Processos de Alteração de Propriedades

- Alteração de Estruturas
  - { Tratamentos Térmicos
  - { Tratamentos Mecânicos
- Alteração de Composição Química
- Revestimentos

## II Processos de Alteração de Forma

- Enformação
  - { Estado Sólido
  - { Estado Líquido
- Corte
  - { Térmico
  - { Mecânico
  - { Químico
- Ligação
  - { Térmica
  - { Mecânica

Nota: a alteração de propriedades pode ser global ou localizada (neste último caso aplica-se principalmente às superfícies exteriores)

## 1.1 Processos Tecnológicos usados em Materiais Metálicos

### 1.1.1 Processos industriais de alteração de forma

**CORTE** - a forma inicial da matéria prima é modificada por remoção de material

- Processos Mecânicos
  - Corte por arranque de apara
  - Corte por arrombamento
- Corte Térmico
  - Oxicorte
  - Laser
  - Arcoplasma
  - Arc air (electrodo de carvão + jacto de ar)

- Corte Químico e Electroquímico (ataque químico)
  - (ex: corte de alumínio usando soda cáustica)
- Electro - Erosão

**ENFORMAÇÃO** - a forma inicial da matéria prima é modificada por deformação plástica ou por fusão

- Processos Primários - transformação da matéria prima
  - a. Laminagem (laminador)
  - b. Trefilagem (fieira)
  - c. Estiragem
  - d. Extrusão
- Processos Secundários - processos de fabrico

- Dobragem {
  - calandragem (calandra)
  - quinagem (prensa quinadeira)
  - manual (com aquecimento)
- Estampagem
- Forjamento
- Fundição

As ferramentas e as matrizes usadas nos processos de deformação plástica devem ser virtualmente indeformáveis na presença dos esforços de processamento e fabrico.

Nos processos de deformação plástica as forças aplicadas devem provocar a cedência do material mas as tensões não devem provocar ruptura localizada.

O aumento da temperatura facilita a deformação plástica. O trabalho a frio reduz a ductilidade, tornando se por vezes necessário proceder a um recozimento.

**LIGAÇÃO** - a forma final obtém-se por adição de material, isto é, por união de peças simples, com formas elementares

- Soldadura
- União adesiva (colagem)
- Soldaduras forte a fraca
- Uniões mecânicas {
  - roscadas
  - depressão
  - cravação

### 1.1.2 Processos tecnológicos - Glossário

**ESTAMPAGEM** - processo de trabalho de chapa metálica para o fabrico de peças não planificáveis; neste processo a chapa situa-se sobre a matriz (peça metálica oca fabricada em material geralmente de grande dureza a elevada resistência), sendo geralmente estrangida pela acção de um encostador. A zona interior da matriz corresponde à forma que se pretende obter para a peça (considerando a recuperação elástica que se verifica depois de retirada a acção mecânica imposta pelo cunho que se encaixa na parte interior da matriz). Se correctamente concebido, o processo não produz alteração significativa de espessura.

**EMBUTISSAGEM** - processo de estampagem profunda em que uma chapa metálica plana é prensada por um punção até adquirir a forma desejada.

**TREFILAGEM** - operação de deformação mecânica que tem como finalidade reduzir o diâmetro de um fio ou arame; consiste em fazer passar o fio através de uma fieira, traccionando-o continuamente. No caso de materiais metálicos usam-se máquinas de trabalho contínuo e realiza-se não só a frio mas por vezes a quente; as fieiras são de aço especial muito duro, carboneto de tungsténio ou mesmo diamante.

**ESTIRAGEM** - operação que consiste em comprimir e reduzir a secção transversal de uma peça metálica ao mesmo tempo que se força a aumentar o seu comprimento por tracção (engloba uma operação de forjamento).

**EXTRUSÃO** - processo de trabalho de materiais não ferrosos, ligas e substâncias plásticas no qual se faz o material atravessar uma matriz através da pressão exercida sobre ele por acção de um êmbolo. O material flui através de um orifício existente na matriz de uma determinada forma ou ao longo das paredes do êmbolo. Permite o fabrico de barras, tubos, perfis.

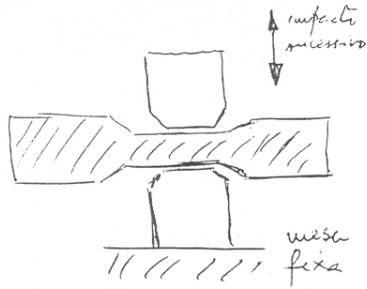
**LAMINAGEM** - processo de deformação de metais para a obtenção de chapas, barras ou perfis que se realiza geralmente a quente, fazendo passar lingotes do metal a alta temperatura entre dois cilindros que giram em sentido contrário.

Laminagem a frio é um processo levado a cabo abaixo da temperatura de recristalização, sendo executado normalmente na siderurgia ou na fábrica de matéria prima. A laminagem a frio, em princípio, aumenta a tensão de rotura e a tensão de cedência do material, garantindo um bom acabamento e tolerâncias reduzidas.

**FUNDIÇÃO** - processo de obtenção de peças em que o metal é fundido e, em seguida, é vazado em moldes cuja forma e constituição permite, após solidificação, obter uma peça com a forma e constituição desejadas. A fundição permite a obtenção de formas complexas impossíveis de executar industrialmente com recursos a outros processos.

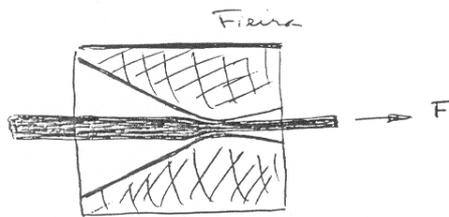
**FORJAMENTO** - consiste na deformação plástica a quente dos materiais por forças de compressão exercidas entre duas bases planas (forjamento em matriz aberta) ou entre duas matrizes fechadas com formas determinadas (forjamento em matriz fechada). O forjamento de peças com grandes dimensões é feito em matrizes abertas montadas em poderosas prensas hidráulicas, sendo a força aplicada muito lentamente, embora algumas peças sejam forjadas a quente entre matrizes abertas ou fechadas, usando martelos de impacto (martelos pilão). São exemplos de peças obtidas por forjamento as

seguintes: veios, veios de excêntricos, pás de hélices, veios de manivelas, chaves, tirantes, etc.

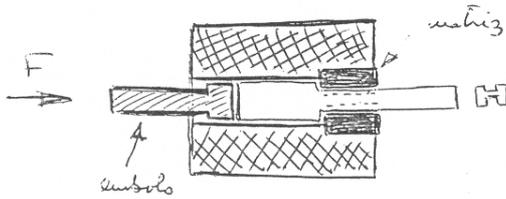


FORGAMENTO

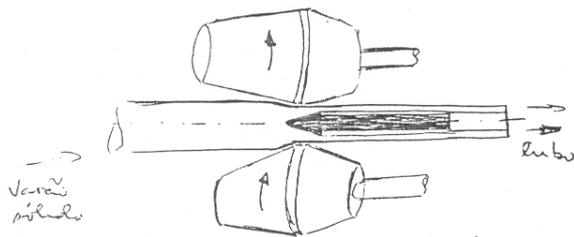
Deformação plástica do aço por compressão, com aquecimento



TREFILAGEM



EXTRUSÃO



FABRICO DE TUBOS  
POR ESTIRAGEM

(processo Mannesmann)

Uso da deformação plástica no fabrico de encaunamentos

Tolerâncias em construções navais

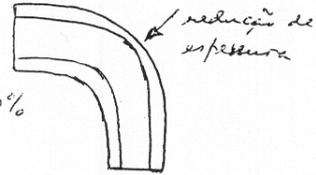
a. Ovalização



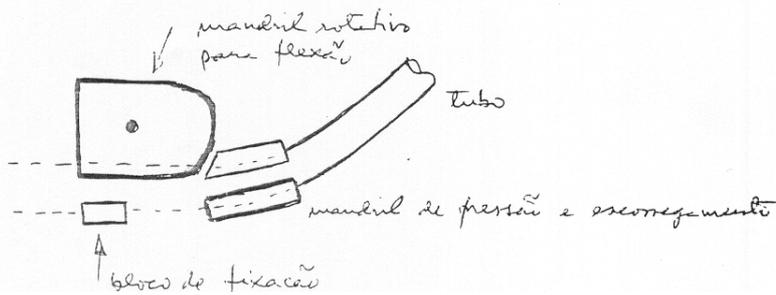
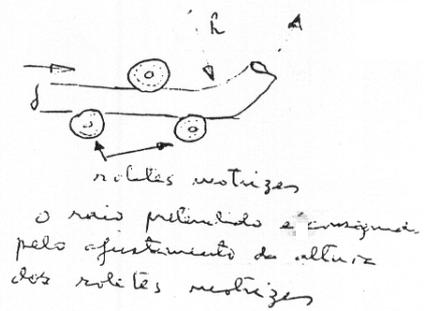
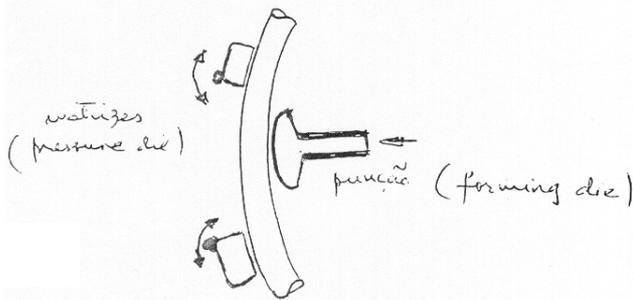
$$100 \times \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{inicial}} < 10\%$$

b. Redução de espessura

$$\frac{e_{inicial} - e_{min}}{e_{inicial}} \times 100 < 20\%$$



Processos de deformação



## **2 Corte por arranque de apara**

### **2.1 Objectivo e necessidade das máquinas ferramenta**

As máquinas ferramentas têm por objectivo fundamental transformar fisicamente um corpo no sentido geométrico (forma), ou no sentido dimensional (medida).

A transformação física, que tem por finalidade dar a um elemento uma forma diferente da inicial pode ser executada com ou sem arranque de apara.

Em ambos os casos é necessário utilizar ferramentas adequadas a aplicáveis as respectivas máquinas ferramentas.

### **2.2 Movimentos das máquinas ferramenta**

Para podermos obter das máquinas ferramentas peças com formas e dimensões precisas, há necessidade de transmitir aos órgãos de trabalho um conjunto determinado de movimentos coordenados.

Estes movimentos podem ser divididos em: Básicos (de trabalho) a Secundários. Entre os primeiros podemos distinguir o movimento principal, chamado também de corte, e o movimento de avanço.

Mediante estes movimentos verifica se o arranque da apara na peça que se está a trabalhar.

Os movimentos secundários servem para preparar o processo de maquinação, assegurar o trabalho sucessivo de várias superfícies de uma mesma peça ou superfícies idênticas em peças diferentes. São exemplos de movimentos secundários o movimento para a regulação da máquina ferramenta de acordo com as dimensões e configuração das peças, os movimentos de comando durante o seu funcionamento, os movimentos de ligar ou desligar os órgãos de trabalho, etc.. Estes movimentos secundários podem ser manuais ou automáticos.

#### **2.2.1 Tipos de movimentos principal e de avanço**

O movimento principal nas máquinas ferramentas pode ser dividido em dois tipos: Rotativo ou Rectilíneo (alternativo).

O movimento principal pode ser comunicado tanto à peça como à ferramenta.

Por exemplo: nos tornos o movimento principal é a rotação da peça a trabalhar; nas fresadoras, rectificadoras e engenhos de furar a rotação da ferramenta; nas limadoras, e em certas máquinas de "talhe" de engrenagens, o movimento alternativo da ferramenta; nas plainas mecânicas o movimento alternativo da peça.

O movimento de avanço nas máquinas ferramentas pode ser contínuo ou intermitente (periódico), simples ou composto, pode constar de uma série de movimentos separados ou pode ainda acontecer não existir movimento de avanço.

Por exemplo: nos tornos, fresadoras, engenhos de furar, o movimento de avanço é contínuo, se bem que nas plainas mecânicas possa ser intermitente.

As rectificadoras cilíndricas têm vários movimentos de avanço: a rotação da peça (avanço circular), o deslocamento axial longitudinal da peça ou da ferramenta (avanço longitudinal) e por fim o avanço transversal transmitido à ferramenta.

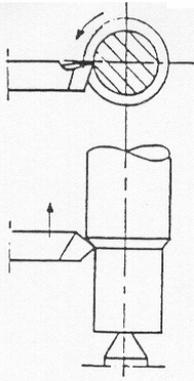
## 2.3 Classificação das máquinas ferramentas

### 2.3.1 Máquinas ferramentas de utilização geral

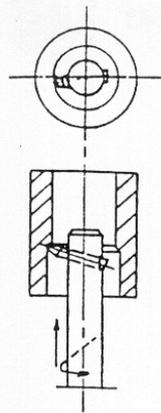
As máquinas ferramentas podem ser classificadas segundo a sua concepção, finalidade ou inter relacionando os movimentos principais da ferramenta e da peça a maquinar. De acordo com este último princípio podemos estabelecer o seguinte quadro:

**Tabela 1 – Máquinas Ferramentas**

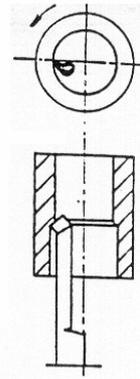
Designação da máquina ferramenta	Movimento da ferramenta	Movimento da peça a maquinar
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TORNOS MECÂNICOS</li> <li>• MANDRILADORAS</li> </ul>	Estacionário	Rotativo
<ul style="list-style-type: none"> <li>• RECTIFICADORAS</li> <li>• FRESADORAS</li> <li>• ENGENHOS DE FURAR</li> </ul>	Rotativo	Estacionário
<ul style="list-style-type: none"> <li>• PLAINAS MECÂNICAS</li> </ul>	Estacionário	Rectilíneo (alternativo)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• LIMADORES</li> <li>• SERROTES MECÂNICOS</li> </ul>	Rectilíneo (alternativo)	Estacionário



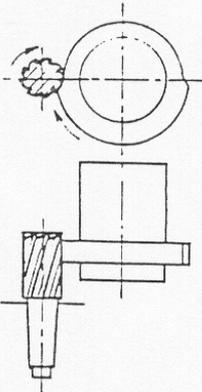
Tornear (exterior)



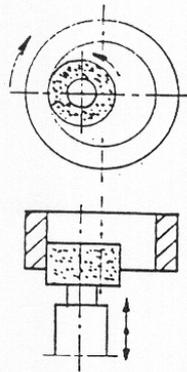
Mandrilar



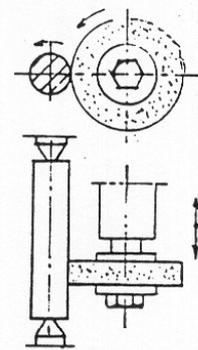
Tornear (interior)



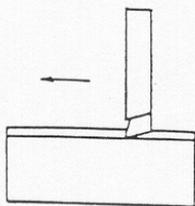
Fresar (Periférico)



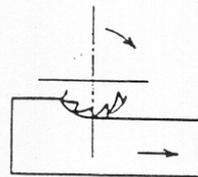
Rectificar (interior)



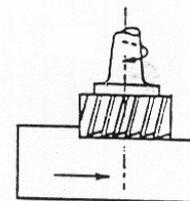
Rectificar (exterior)



Plainar ou limar



Fresar com fresa cilíndrica



Fresar com fresa frontal

EXEMPLOS DE OPERAÇÕES EM MÁQUINAS FERRAMENTAS ONDE SE PODE OBSERVAR O INTER-RELACIONAMENTO DOS MOVIMENTOS PRINCIPAIS DA FERRAMENTA E DA PEÇA A MAQUINAR.

### **2.3.2 Máquinas ferramentas para produção em série**

Incluiremos neste grupo as máquinas ferramentas que executam uma sucessão ordenada de operações em simultâneo.

Segundo a sua concepção podemos classificá-las em:

- Centros de maquinagem
- Trens de produção

### **2.3.3 Máquinas ferramentas para maquinagem especial**

Incluiremos neste grupo as máquinas ferramentas que utilizam o "corte" do metal sem acção de forças mecânicas.

Segundo o processo de "corte" podemos classificá-las:

- Maquinagem por electro-erosão
- Maquinagem por vibração ultrasónica
- Maquinagem mecânica anódica

Podemos também classificar as máquinas ferramentas segundo o seu grau de especialização em:

- a) De aplicação geral: As que efectuam um limitado número de operações em peças de grande diversidade.
- b) Universais: As que efectuam variadas operações ao maquinar diversas peças.
- c) Automáticas: As que depois de postas a ponto, todos os movimentos relacionados com o ciclo de fabricação da peça a trabalhar, assim como a instalação da peça em bruto e a sua extracção quando acabada, se efectuam sem actuação do operador. (Nas máquinas ferramentas semi automáticas a actuação do operador é necessária para instalar a peça em bruto e extraí-la quando acabada) .
- d) De comando numérico: As que realizam a automação de um ciclo de fabricação a partir da informação de comando que recebem sob a forma de dados numéricos.

## **2.4 Principais máquinas ferramentas utilizadas na indústria metalomecânica**

### **2.4.1 Tornos**

- a) Definição

Tornos são máquinas ferramentas que permitem transformar um sólido fazendo-o rodar em torno do seu eixo geométrico, arrancando-lhe perifericamente material, numa peça bem definida tanto na forma como nas dimensões.

b) Principais tipos

- Torno paralelo
- Torno semi automático de torre ou torno revólver:
  - torno revólver horizontal
  - torno revólver frontal
- Torno semi automático de ferramentas múltiplas
- Torno automático
- Torno universal
- Torno vertical de um ou dois montantes
- Torno copiador

A nomenclatura dos principais órgãos de um torno vertical de um montante é dada na figura 1.

A nomenclatura dos principais órgãos de um torno paralelo é dada na figura 1A.

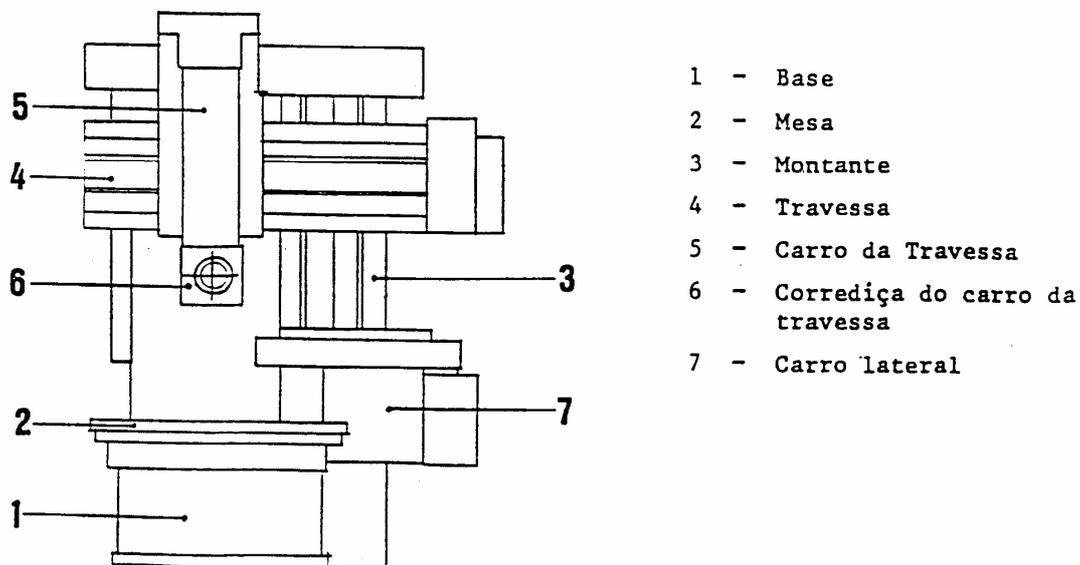
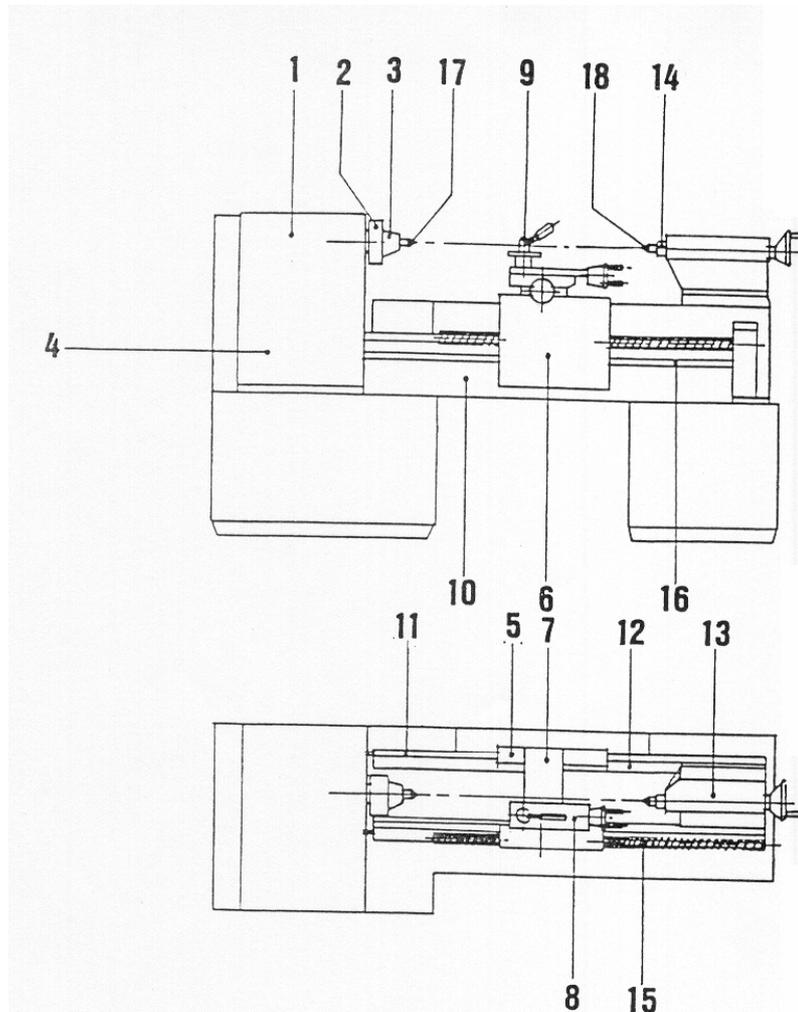


FIGURA 1 - TORNO VERTICAL DE UM MONTANTE



TORNO PARALELO

- |                    |    |                           |    |                           |
|--------------------|----|---------------------------|----|---------------------------|
| - Cabeçote fixo    | 7  | - Espera transversal      | 13 | - Cabeçote móvel          |
| - Árvore           | 8  | - Espera porta-ferramenta | 14 | - Manga do cabeçote móvel |
| - Nariz da árvore  | 9  | - Porta-ferramenta        | 15 | - Fuso principal          |
| - Caixa de avanços | 10 | - Barramento              | 16 | - Vara dos avanços        |
| - Carruagem        | 11 | - Guias da carruagem      | 17 | - Ponto                   |
| - Avental          | 12 | - Guias do cabeçote móvel | 18 | - Contraponto             |

FIGURA 1A

## 2.4.2 Engenhos de furar

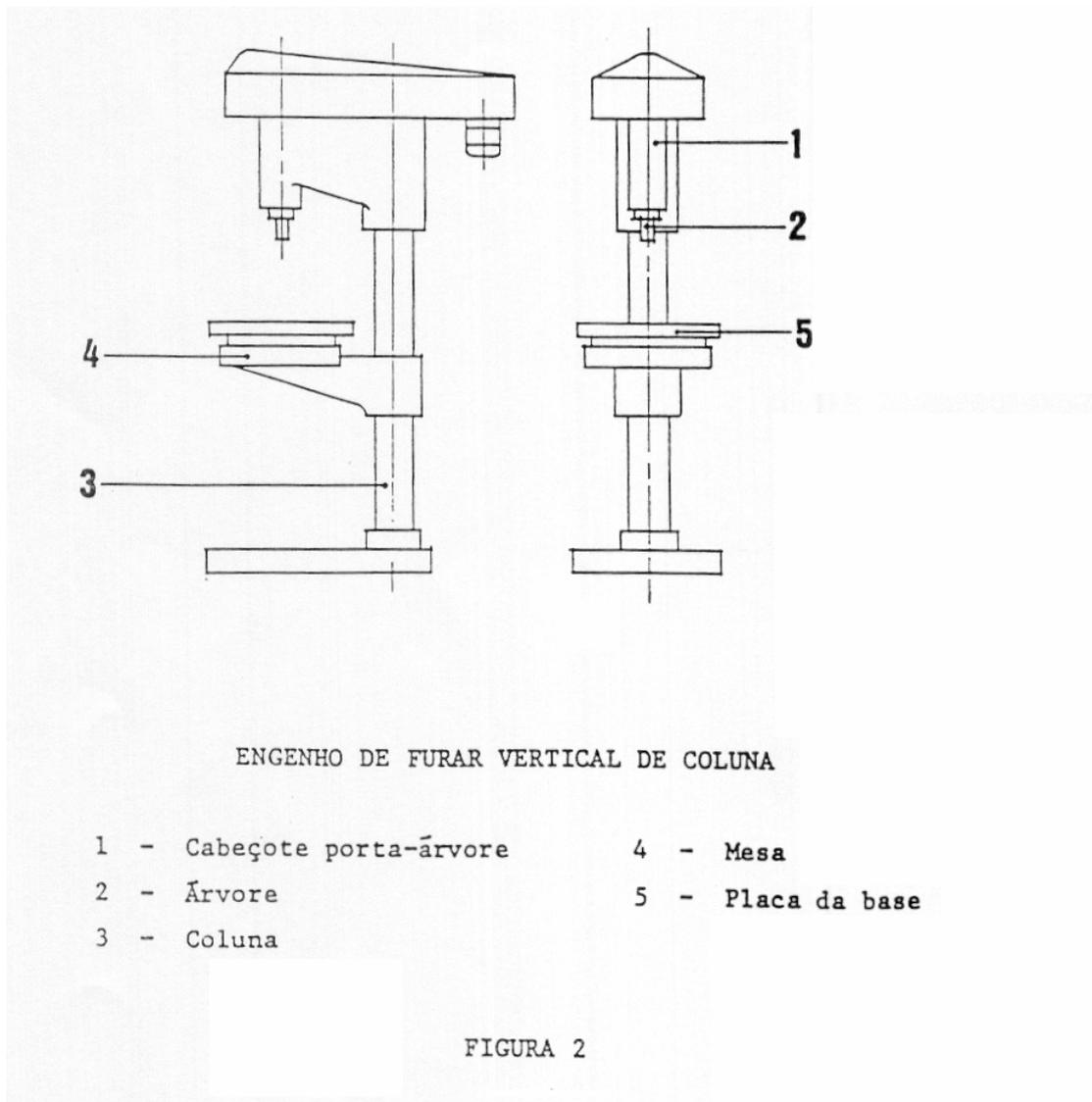
### a) Definição

Engenhos de furar são máquinas ferramentas que executam furos, abrem roscas, etc., em materiais por intermédio de ferramentas cortantes.

### b) Principais tipos

- Engenho de furar vertical de coluna
- Engenho de furar de sobremesa
- Engenho de furar múltiplo
- Engenho de furar de várias colunas
- Engenho de furar radial

A nomenclatura dos principais órgãos de um engenho de furar vertical de coluna é dada na Figura 2.



### 2.4.3 Fresadoras

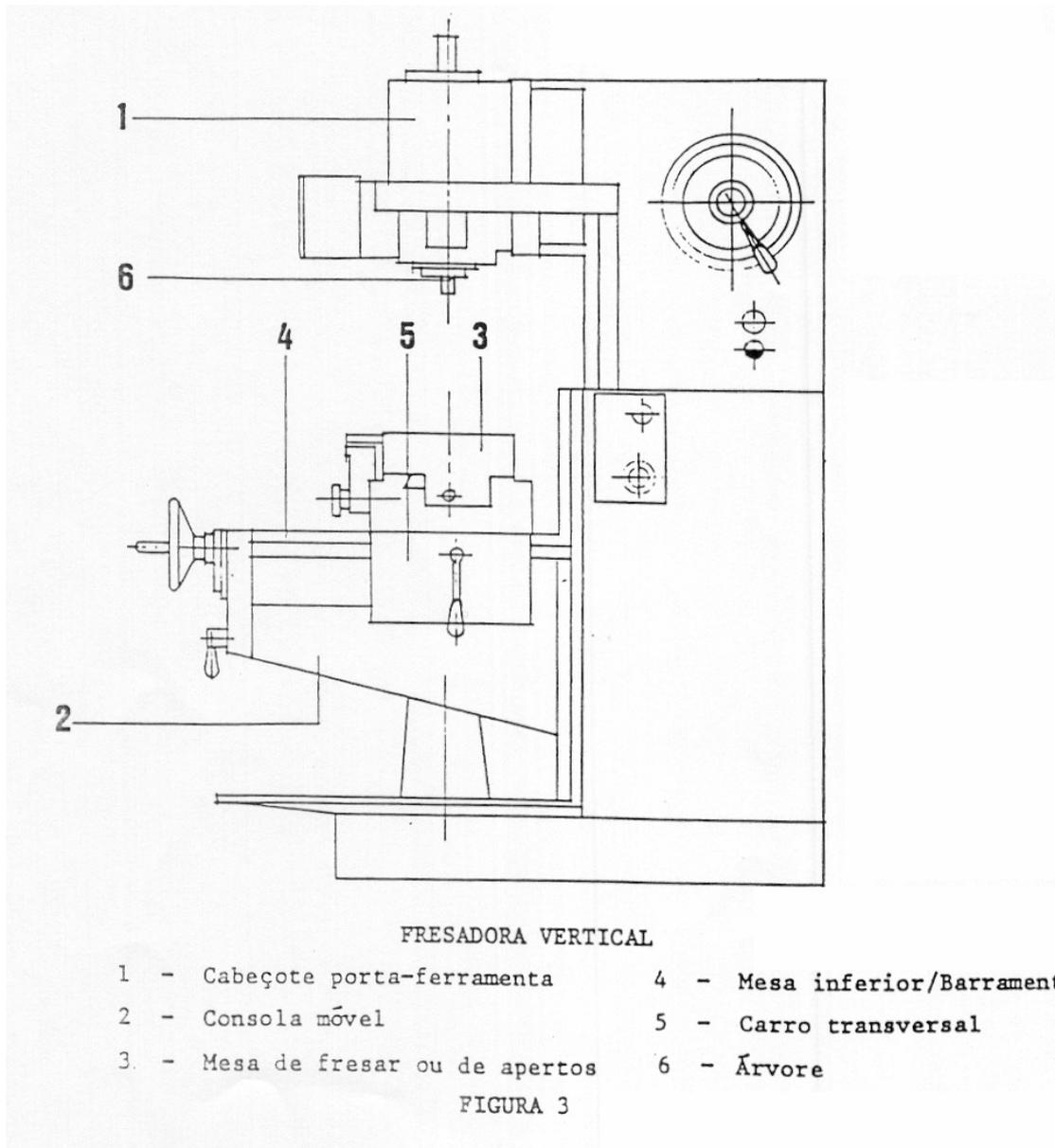
#### a) Definição

Fresadoras são máquinas ferramentas que executam um trabalho no qual a ferramenta (fresa) de arestas cortantes dispostas simetricamente em redor de um eixo gira com movimento uniforme arrancando a apar.

b) Principais tipos

- Fresadora horizontal
- Fresadora de superfícies planas
- Fresadora vertical
- Fresadora universal
- Fresadora copiadora

A nomenclatura dos principais órgãos de uma fresadora vertical é dada na Figura 3.



**2.4.4 Limadores**

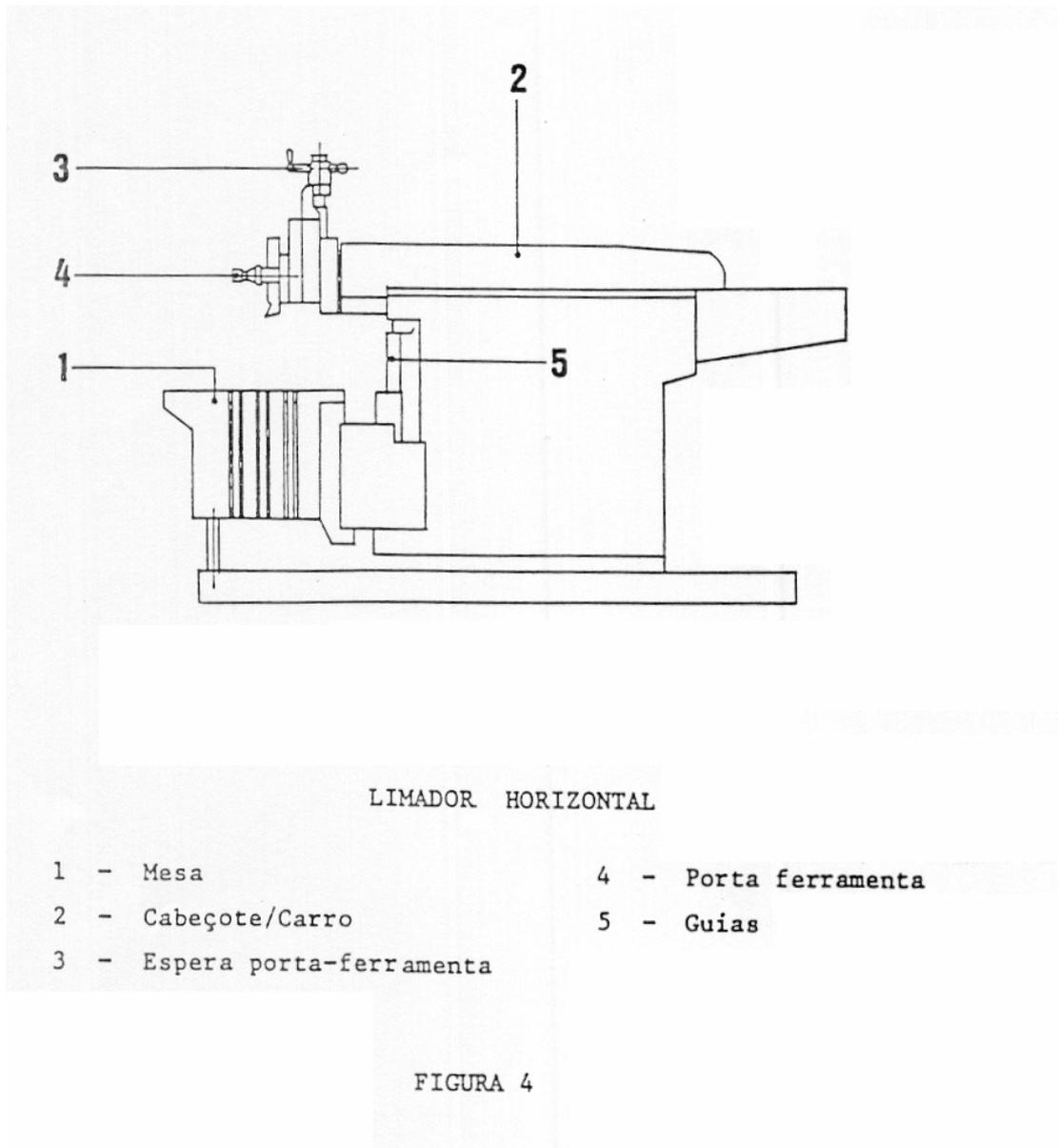
a) Definição

Limadores são máquinas ferramentas que executam um trabalho no qual o corte da apana é realizado mediante a acção de uma ferramenta monocortante, que se move com movimento rectilíneo alternativo sobre a superfície plana de um corpo.

b) Principais tipos

- Limador horizontal
- Limador vertical

A nomenclatura dos principais órgãos de um limador horizontal é dada na Figura 4.



**2.4.5 Plainas Mecânicas ("Cepilhadoras Longitudinais")**

a) Definição

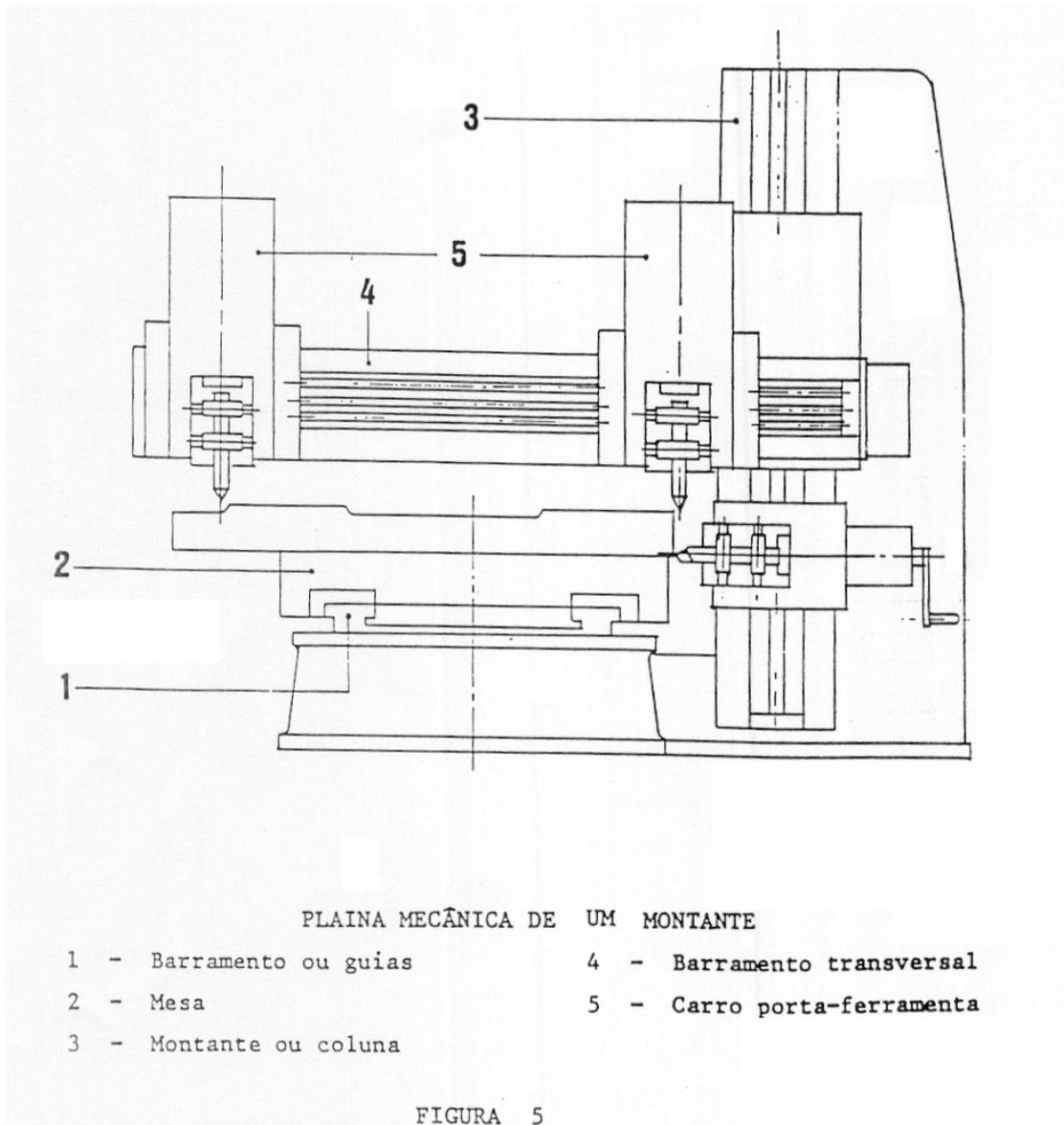
Plainas mecânicas são máquinas ferramentas que executam um trabalho no qual o arranque de apana da superfície plana da peça é realizado através de uma ferramenta

monocortante, em que o movimento principal rectilíneo alternativo é executado pela peça a trabalhar fixada sobre a mesa.

b) Tipos

- Plaina mecânica de um montante
- Plaina mecânica de dois montantes.

A nomenclatura dos principais órgãos de uma plaina mecânica de um montante é dada na Figura 5.



### 2.4.6 Rectificadoras

a) Definição

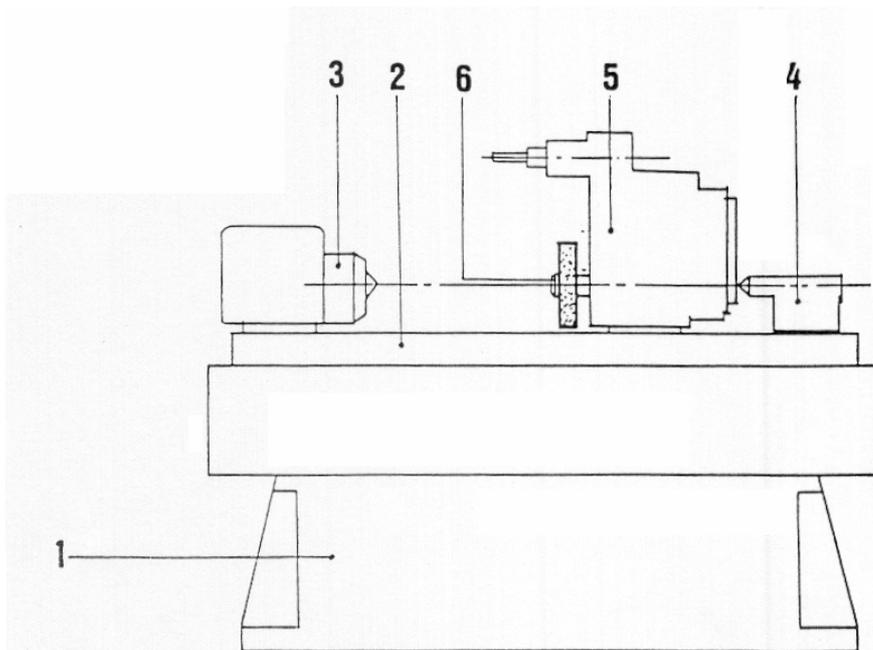
Rectificadoras são máquinas ferramentas que executam a correcção das imperfeições em superfícies quer em peças de ferro fundido ou aço (antes ou depois do tratamento

térmico), quer em metais não ferrosos ou suas ligas. Podem igualmente rectificar materiais não metálicos.

b) Principais tipos

- Rectificadora vertical para superfícies planas
- Rectificadora horizontal para superfícies planas
- Rectificadora universal
- Rectificadora radial
- Rectificadora de superfícies cilíndricas interiores
- Rectificadora de superfícies cilíndricas exteriores
- Rectificadora por coordenadas.

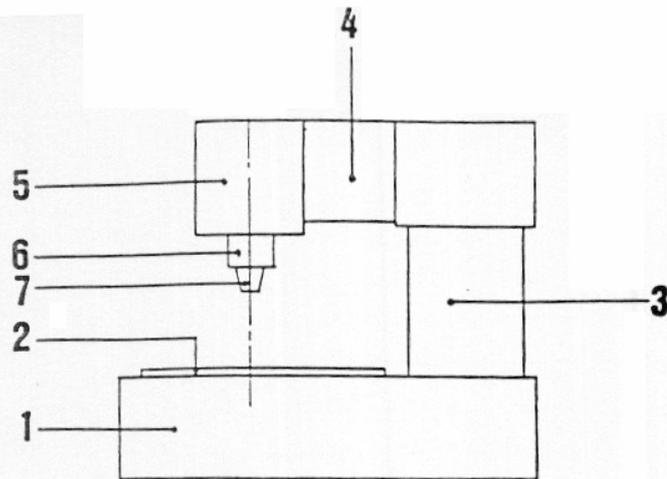
A nomenclatura dos principais órgãos de uma rectificadora universal, e de uma rectificadora radial, é dada respectivamente nas Figuras 6 e 7.



RECTIFICADORA UNIVERSAL

- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| 1 - Base          | 4 - Cabeçote móvel  |
| 2 - Mesa          | 5 - Carro porta-mó  |
| 3 - Cabeçote fixo | 6 - Árvore porta-mó |

FIGURA 6



RECTIFICADORA RADIAL

- |            |                      |
|------------|----------------------|
| 1 - Base   | 5 - Cabeçote         |
| 2 - Mesa   | 6 - Árvore porta-mão |
| 3 - Coluna | 7 - Nariz da árvore  |
| 4 - Braço  |                      |

FIGURA 7

### 2.4.7 Mandriladoras

#### a) Definição

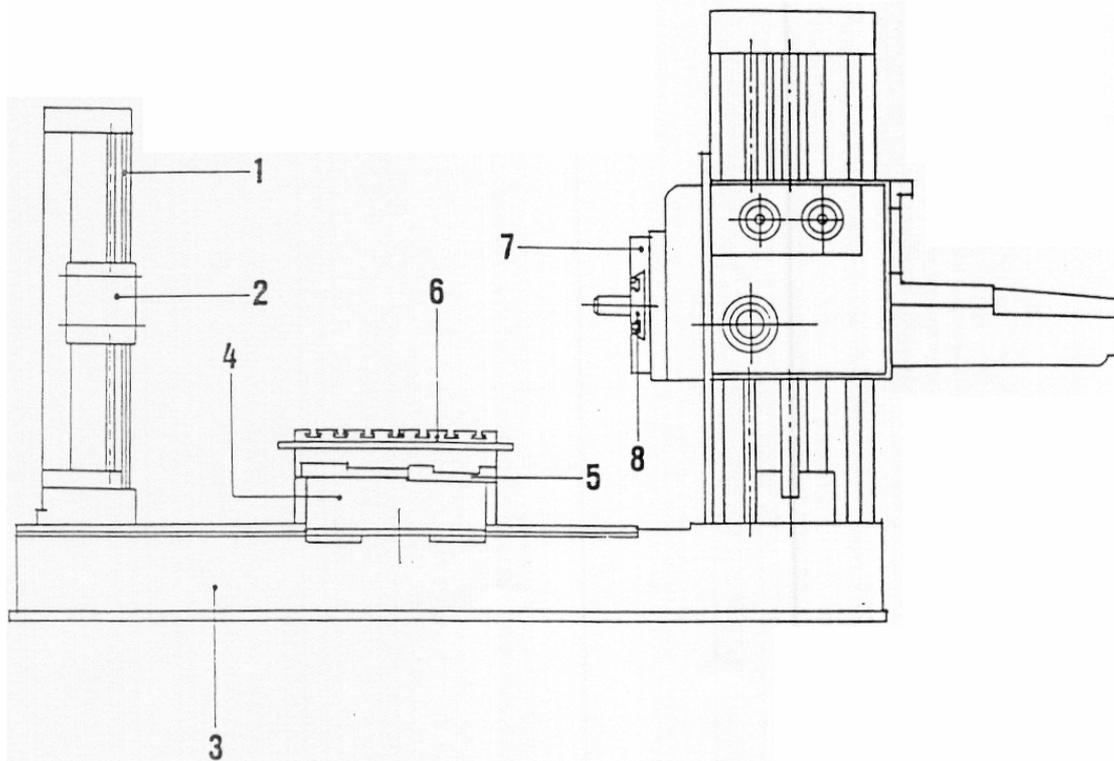
Mandriladoras são máquinas ferramentas que executam diversas operações, tais como: mandrilagem, fresagem, torneamento, etc., de peças volumosas, nas quais a ferramenta arranca a peça segundo uma trajectória circular.

#### b) Principais tipos

Mandriladora universal de mesa horizontal

Mandriladora universal de mesa vertical

A nomenclatura dos principais órgãos de uma mandriladora horizontal é dada na Figura 8.



MANDRILADORA UNIVERSAL DE MESA HORIZONTAL

- 1 - Corrediça da luneta
- 2 - Luneta
- 3 - Bancada
- 4 - Carro
- 5 - Carro intermediário
- 6 - Mesa Giratória
- 7 - Cabeçote
- 8 - Carro radial

FIGURA 8

### 2.4.8 Serrote Mecânicos

#### a) Definição

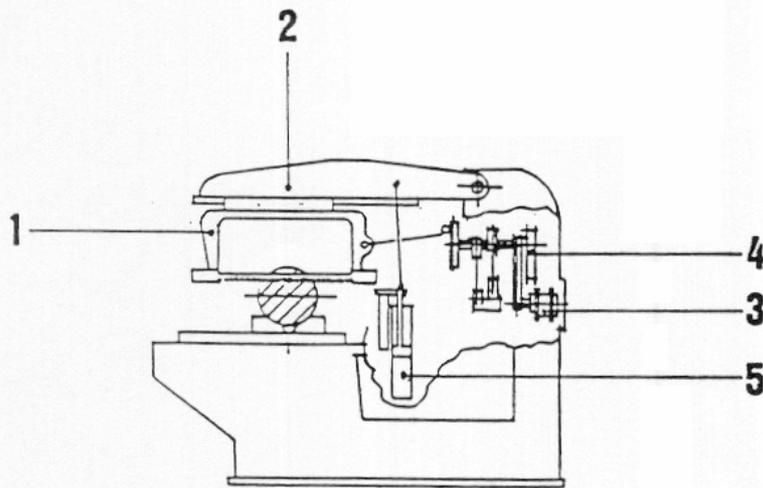
Serrote mecânicos são máquinas ferramentas que permitem o corte de materiais de diferentes dimensões, no qual a ferramenta (serra) está dotada de movimento retilíneo alternativo.

#### b) Principais tipos

Serrote mecânico de arco

Serrote mecânico de disco

A nomenclatura dos principais órgãos de um serrote mecânico de arco é dada na Figura 9.



SERROTE MECÂNICO DE ARCO

- 1 - Patim da serra
- 2 - Arco da serra
- 3 - Motor elétrico
- 4 - Mecanismo de accionamento
- 5 - Macaco hidráulico de levantamento da serra

FIGURA 9

#### 2.4.9 Máquinas ferramentas compostas (Centros de Maquinagem)

##### a) Definição

Máquinas ferramentas compostas são máquinas ferramentas que fabricam unidades construtivas normalizadas. Estas máquinas são importantes na fabricação em série, em que realizam operações de furar, mandrilar, roscar, fresar, etc. Em regra geral maquinam peças que durante o processo permanecem estacionárias.

Esquemas típicos de máquinas ferramentas compostas para furar e mandrilar estão representadas na Figura 10.

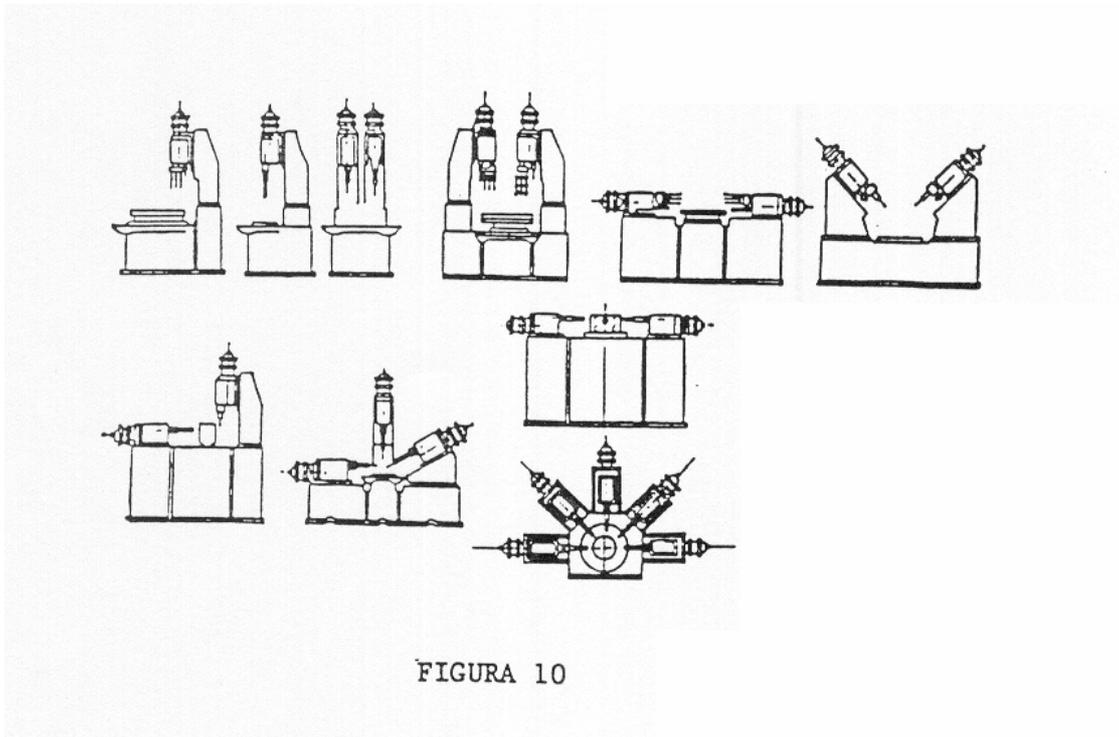


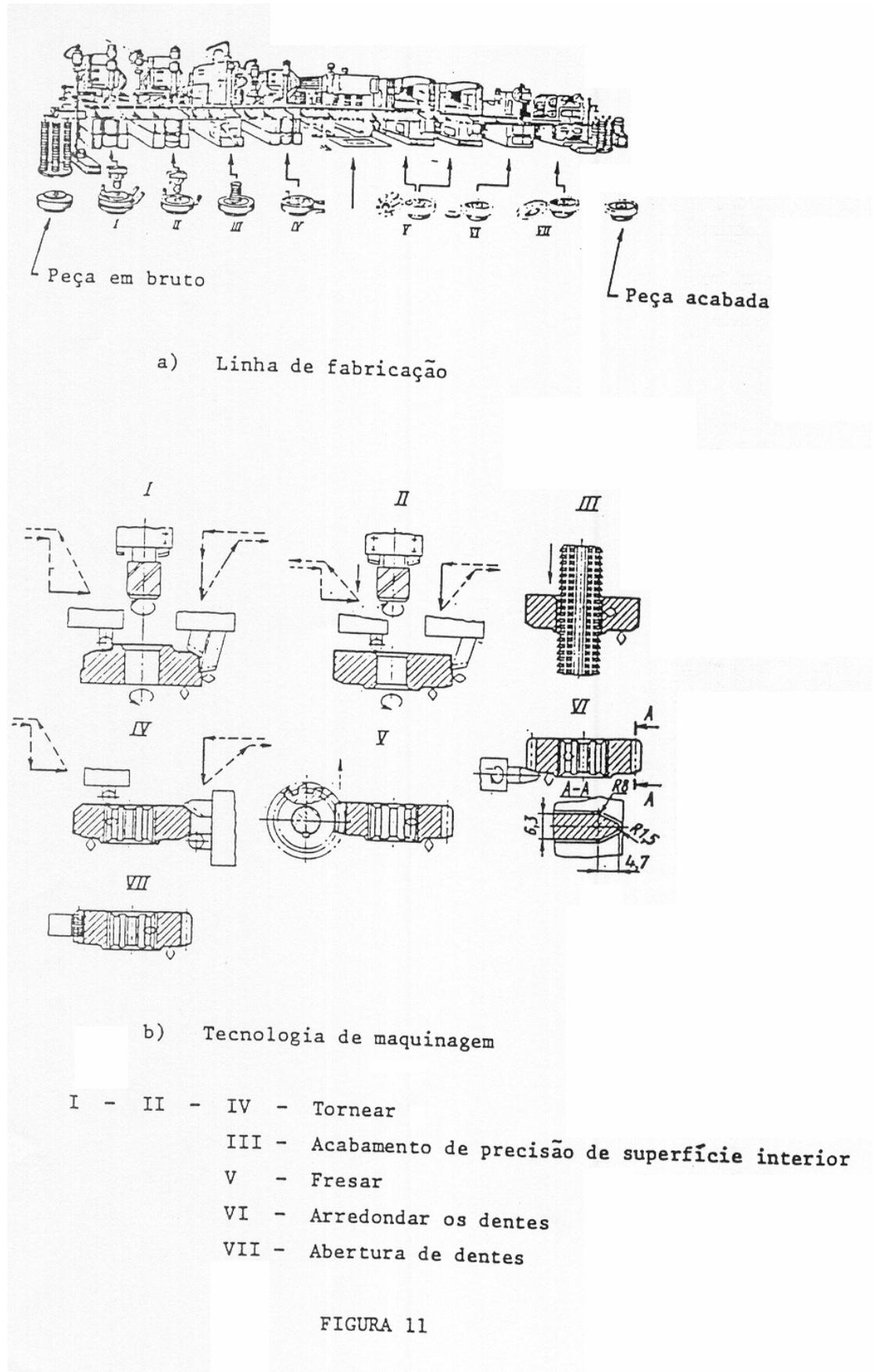
FIGURA 10

#### **2.4.10 Linhas de Fabricação (Trens de Produção)**

##### a) Definição

Linhas de fabricação são séries de máquinas ferramentas, mecanismos de transporte e controle intercomunicados que verificam automaticamente operações de maquinação ou montagem, segundo um processo tecnológico, previamente calculado possuindo um mecanismo comum de comando.

Uma linha de fabricação para maquinar uma roda de coroa, assim como a respectiva tecnologia de maquinação estão representadas na Figura 11.



a) Linha de fabricação

b) Tecnologia de maquinação

- I - II - IV - Tornear
- III - Acabamento de precisão de superfície interior
- V - Fresar
- VI - Arredondar os dentes
- VII - Abertura de dentes

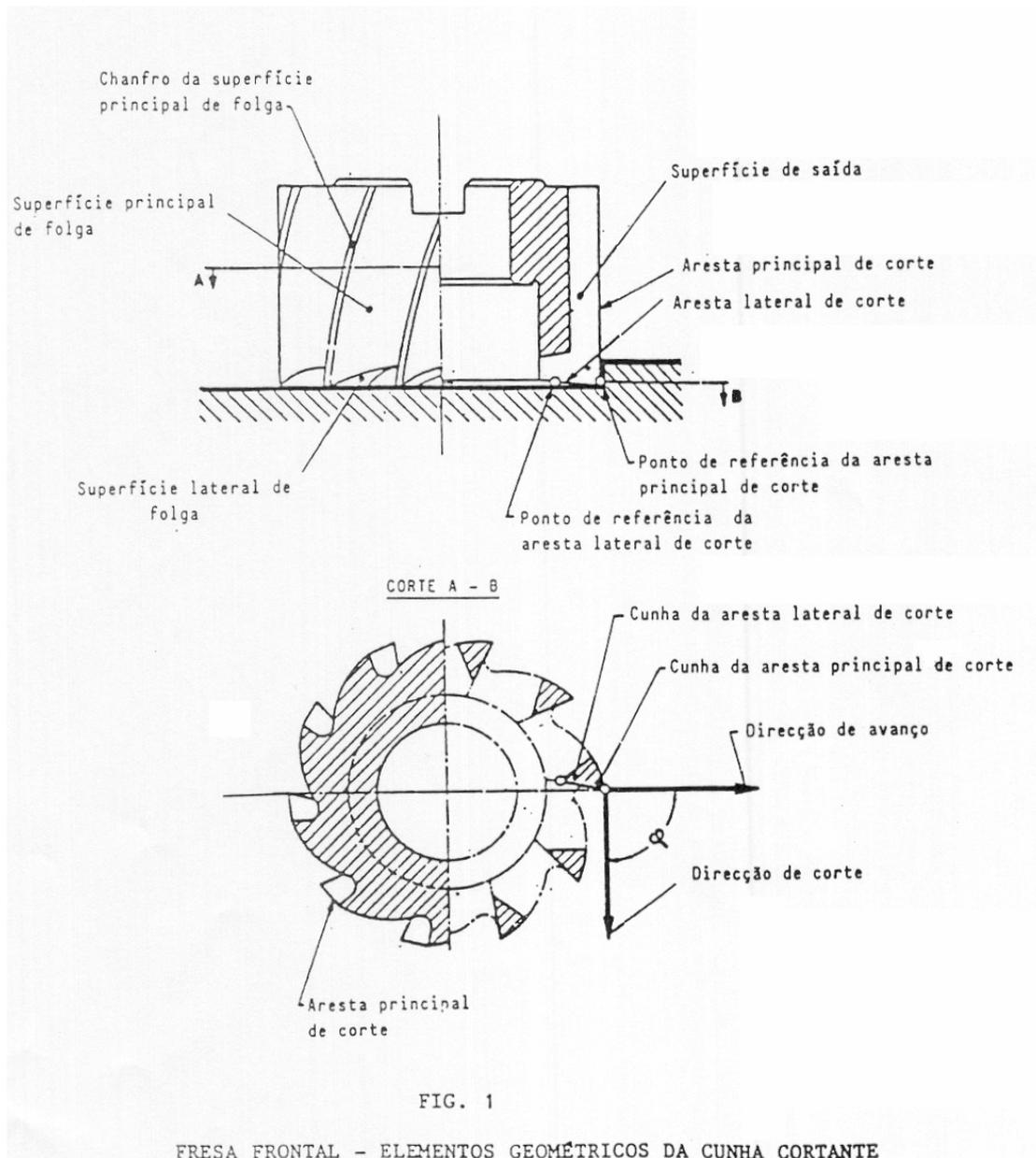
FIGURA 11

## 2.5 Síntese da teoria do corte por arranque de avara

### 2.5.1 1.1 Geometria da cunha cortante

Denomina-se cunha cortante a parte da ferramenta que origina a formação da avara sob a acção do movimento relativo peça ferramenta. As ferramentas de corte podem ter uma ou mais cunhas cortantes limitadas por superfícies planas ou não que se intersectam segundo linhas rectas, quebradas ou curvas, chamadas arestas de corte.

A definição dos elementos geométricos nos casos de uma fresa frontal, de uma broca helicoidal e de um ferro de tornear cilíndrico encontram se representados nas figuras 1, 2 e 3, respectivamente.



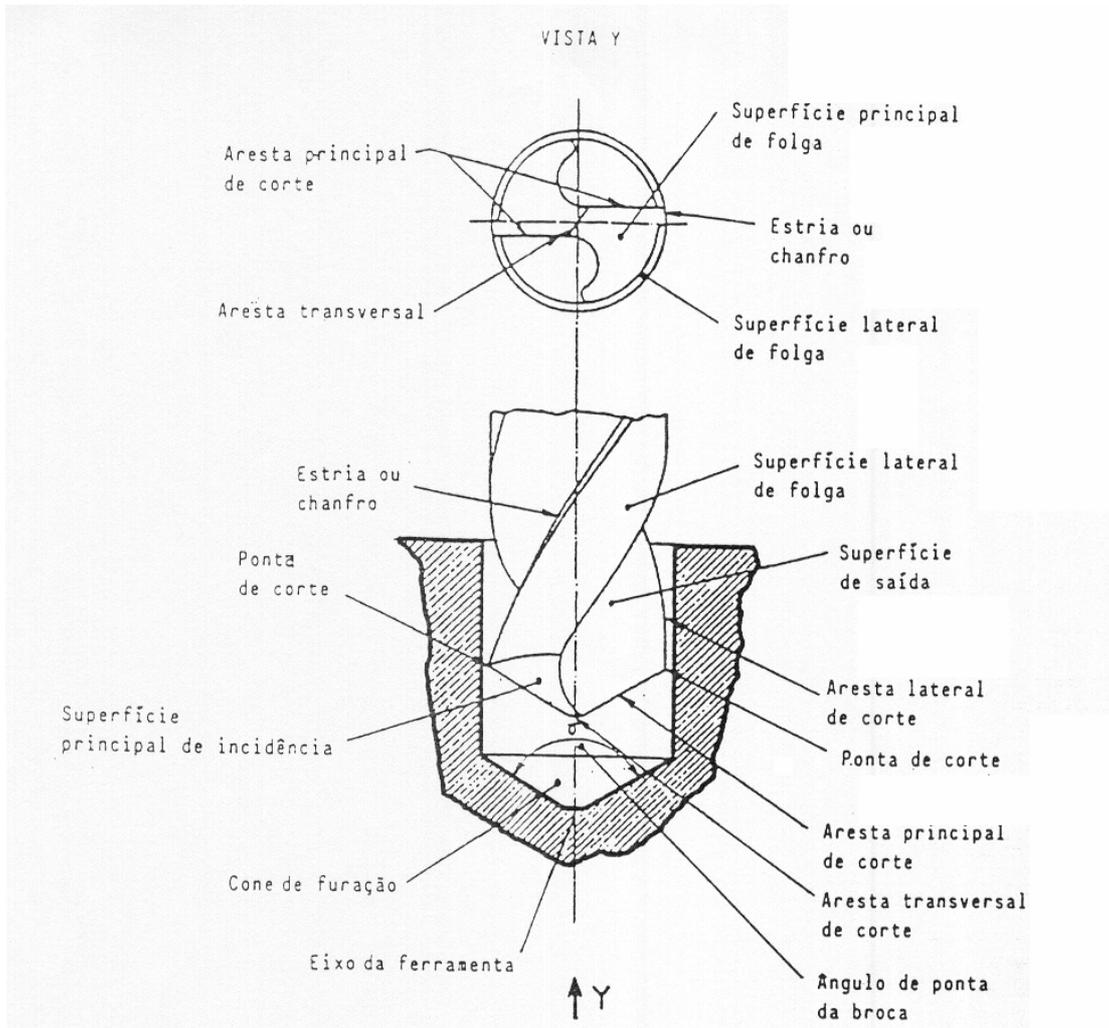
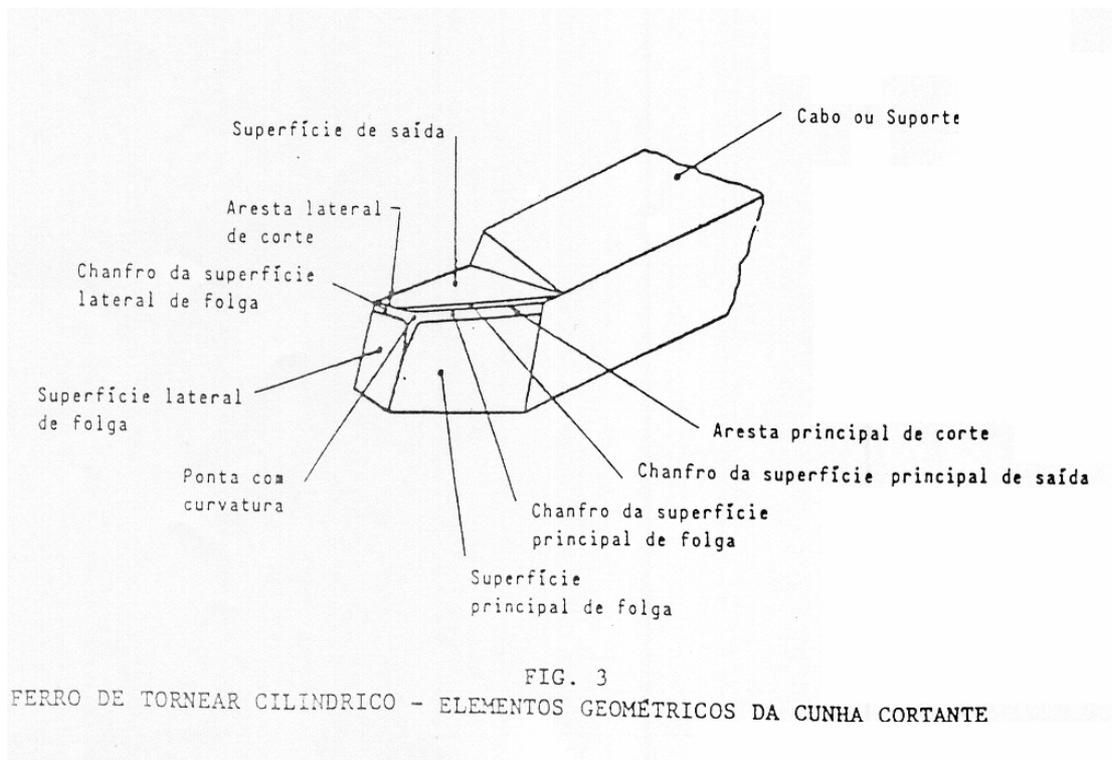


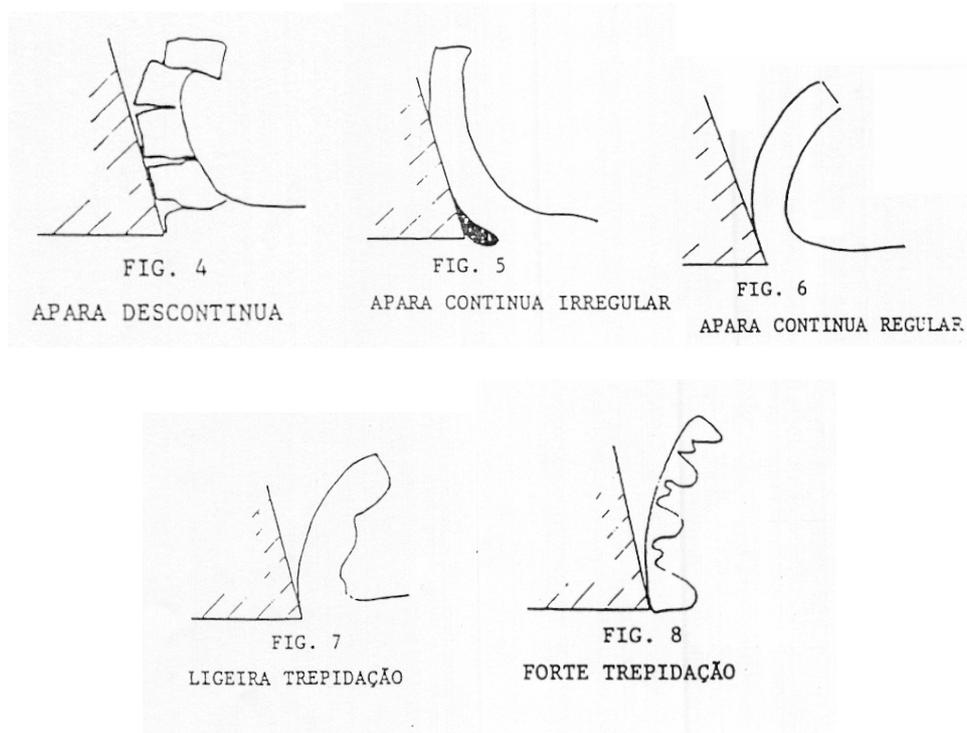
FIG. 2

BROCA HELICOIDAL - ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DA CUNHA CORTANTE



### 2.5.2 Classificação da apara quanto ao tipo

- Apara descontínua, característica dos materiais frágeis ou de estrutura heterogênea. (Fig. 4)
- Apara contínua, característica dos materiais dúcteis de estrutura homogênea dita "irregular" (Fig. 5) ou "regular" (Fig. 6), conforme seja ou não acompanhada da formação de apara aderente.



A alteração das condições de maquinagem numa operação de corte de um dado material pode determinar alteração do tipo de apara produzida.

Assim, se se verificarem trepidações da ferramenta, uma apara contínua poderá passar a apresentar uma variação sensível de espessura se a trepidação é ligeira (Fig. 7) ou transformar se mesmo numa apara de tipo "descontínua não fragmentada" (Fig. 8) se a trepidação é grande.

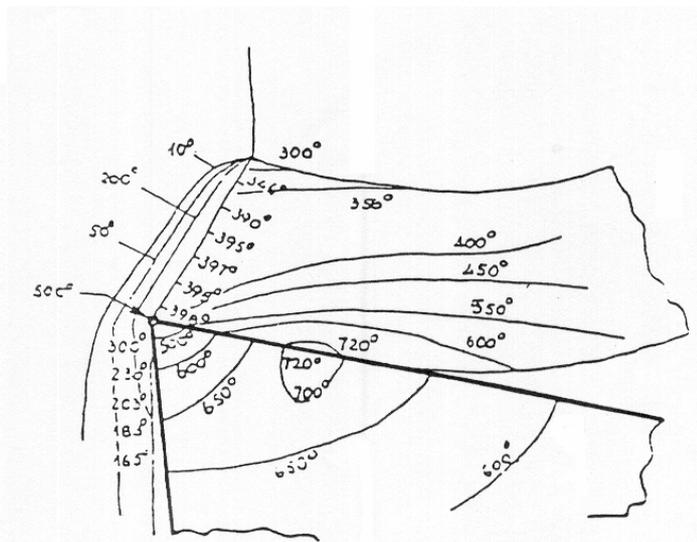
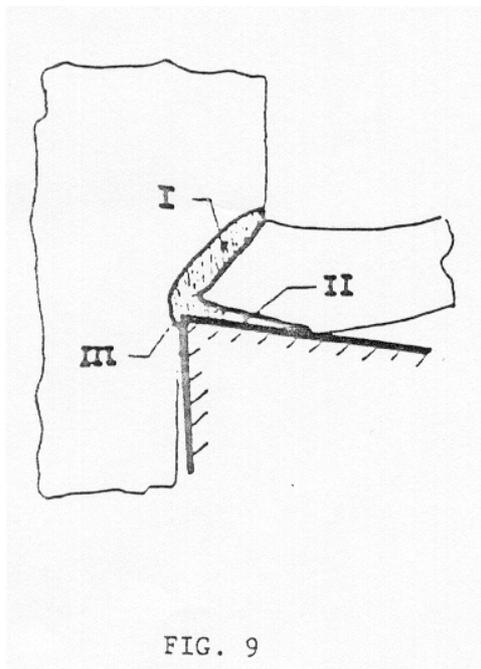
### 2.5.3 Calor gerado no corte por arranque de apara

O desenvolvimento de calor no corte por arranque de apara tem as seguintes origens (Fig. 9):

Na região de escorregamento (I), devido ao atrito interno que acompanha a deformação plástica do material e subsequente escorregamento.

- Atrito entre a apara e a superfície de saída da ferramenta (II).
- Atrito entre a superfície de folga da ferramenta na área adjacente à aresta de corte e a superfície maquinada da peça (III).

Foi experimentalmente comprovado que cerca de 90% do trabalho mecânico de maquinagem se transforma em calor cuja dissipação se vai fazer através da apara, da peça, da ferramenta e do meio ambiente (onde consideramos incluído o fluido de corte quando este é refrigerado).



TEMPERATURA ATINGIDA NO CORTE E SUA DISTRIBUIÇÃO PARA UM AÇO TORNEADO COM METAL DURO A UMA VELOCIDADE DE 60 m/MIN.

### 3 Corte por fusão (ou corte térmico)

O corte por fusão mais usado, o oxicorte, sem qualquer ajuda de fluxos ou técnicas especiais; esta técnica apenas pode ser usada para metais ferrosos (e nem todos as ligas ferrosas). O processo do oxicorte depende do facto de a elevadas temperaturas, o oxigénio combinar-se rapidamente com o ferro para formar óxidos de ferro (reacção química com combustão).

Esta formação de óxido tem lugar numa zona bem definida, muito estreita, o que facilita a precisão obtida no corte.

Antes de executar o corte térmico, a peça tem de ser aquecida a 820/8700C, no início do corte, antes do oxigénio (de grande pureza) ser imprimido contra a zona a cortar. Este corte , apenas possível em metais ou ligas onde a temperatura. dos óxidos formados é inferior à do metal, isto é, se a temperatura de queima (oxidação) é inferior à de fusão do material. Noutros casos, é possível o uso de oxicorte, desde que se usem fluxos ou pó de ferro na zona a cortar (usando em aços inox, ferro fundido, cobre, alumínio, etc.).

Os parâmetros do corte, ou variáveis a ajustar pelo operador, em função da espessura e estado da superfície a peça a cortar, são:

- pressão de trabalho do oxigénio e do gás (acetileno ou propano).
- escolha do bico a utilizar
- velocidade de deslocação imprimido ao maçarico durante o corte.

Uma outra maneira de cortar metais que formam óxidos refractários na superfície, é pelo uso do arco plasma ou melhor do jacto de plasma (eléctrodo de tungsténio e atmosfera envolvente de gases inertes, e algumas vezes com injeção de oxigénio).

Em Engenharia Naval, o corte por arco plasma é usado em ligas de alumínio e em aços inoxidáveis; entretanto, está a começar a ser usado em aços não ligados.

Os lasers são também usados para corte de metais.

Finalmente há que referir que em construção naval o oxicorte é a operação mais automatizada.

Ver na Tabela 2 o efeito dos vários elementos de liga dos aços na eficiência e possibilidade de fazer oxicorte.

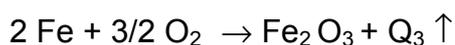
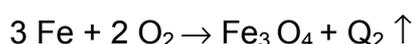
**Tabela 2** Temperaturas de fusão de vários elementos, e dos seus respectivos óxidos, que constituem elementos de liga de aços e os seus efeitos no oxicorte desses mesmos aços

Elemento	Ponto fusão (°C)	Óxido	Ponto fusão do óxido (°C)	Efeito no oxicorte
Carbono	73500	CO CO <sub>2</sub>	-205 -57	C ≤ 0.25% fácil de cortar C > 0.25% necessita pré aquecimento
Manganês	1260	Mn O	1785	1.4 % Mn + 1.5% C difícil de cortar necessita de pré aquecimento
Silício	1410	Si O <sub>2</sub>	1710	Pouco efeito
Crómio	2575	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2275	Cr ≤ 5% fácil de cortar Cr > 10% corte possível com pó de ferro
Níquel	1455	Ni O	1950	Ni ≤ 20 a 30% só possível quando o teor de carbono é baixo Ni ≤ 7% fácil de cortar Aços 18.8 a 35-15 Cr Ni Só é possível cortar com pó de ferro
Molibdénio	2620	Mo O <sub>3</sub>	795	Aço Cr Mo – fácil de cortar Aços Mo W – requerem fluxos
Tungsténio	3370	W O <sub>3</sub>	1470	W ≤ 12-14% fácil de cortar W > 20% difícil de cortar
Alumínio	660	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2048	Al < 10% - corta-se Al > 10% - difícil de cortar
Cobre	1082	Cu O Cu <sub>2</sub> O	1021 1230	Cu < 2% fácil de cortar
Ferro	1537	Fe O Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	1365	

### 3.1 Oxicorte

Neste processo o corte é conseguido por transferência de energia térmica até à fusão, seguida da aplicação de um jacto de oxigénio que oxida o metal numa secção; os óxidos que tenham um ponto de fusão inferior ao dos metais a cortar, liquefazem-se, permitindo a separação das peças na zona de incidência do jacto de oxigénio.

As reacções de oxidação são extremamente exotérmicas, o que permite uma certa continuidade e rapidez na sequência do corte:



$Q_1$ ,  $Q_2$  e  $Q_3$  – Energia calorífica libertada durante a reacção química

As condições necessárias para que ocorra o oxicorte são:

- A temperatura de escoamento das reacções de oxidação tem de ser inferior ao ponto de fusão

- A temperatura de fusão dos óxidos formados tem de ser inferior à temperatura de fusão do material
- A reacção de oxidação têm de ser suficientemente exotérmica.

São diversos os gases combustíveis usados; o mais vulgarizado é o acetileno (que deu origem ao termo oxiacetilénico); o mais usado em estaleiros navais é o propano, por razões económicas.

O gás a usar deve ter as seguintes características:

- Temperatura de chama elevada
- Velocidade de propagação de chama elevada
- Capacidade calorífica elevada
- Reacção química com os materiais de base reduzida ou nula

### **3.2 Arco plasma**

Em termos gerais, o plasma é frequentemente referido como o quarto estado da matéria (além do sólido, do líquido e do gasoso).

O plasma forma-se quando o gás é suficientemente aquecido para se tornar ionizado e electricamente condutor. Este fenómeno é empregado no corte por arco plasma, permitindo que metais sejam cortados a velocidades elevadas com reduzida ou nula formação de escória.

Na essência, o processo envolve a ionização de um gás com um arco eléctrico, forçando o gás e o arco através de um pequeno orifício. O “maçarico” permite a admissão de gás frio que envolve o eléctrodo e quando o arco é estabelecido, entre o eléctrodo e a agulheta do maçarico, ocorre uma ionização parcial enquanto o gás é aquecido pelo arco.

O pequeno orifício por onde o gás parcialmente ionizado passa, produz uma elevada concentração de calor num espaço muito confinado, resultando num arco plasma atingindo temperaturas até 28000°C. Quando o fluxo deste plasma com alta velocidade atinge a superfície da peça, o metal é rapidamente fundido localmente e é soprado.

A técnica do corte por arco plasma foi iniciada em 1974 e hoje pode-se apresentar com três formas: gás duplo, injeção de água e ar plasma.

No sistema de gás duplo, emprega-se uma camada exterior de gás para envolver e proteger o jacto de plasma, possibilitando a redução do efeito de corte da atmosfera no gás de corte, levando a cortes muito rápidos e com perfis de corte agudos. As combinações possíveis de gás duplo no corte por plasma incluem argon e hidrogénio ou azoto e hidrogénio para cortar aços inoxidáveis, alumínio e outros metais não ferrosos. Nestes casos, o hidrogénio é o gás de corte, enquanto que o argon serve de gás envolvente. Outra combinação que é frequentemente utilizada para cortar tanto metais ferrosos como não ferrosos é o azoto e o dióxido de carbono. Com todos estes sistemas de gás duplo usam-se eléctrodos de tungsténio.

O corte por arco plasma com injeção de água é similar ao anterior excepto que a água é usada em lugar do gás envolvente. O gás de corte é o azoto e o objectivo da água é primariamente produzir um máximo de constrição do arco.

Neste caso, a agulheta é equipada com uma cortina radial de água injectada para reduzir a largura e melhorar a qualidade do corte.

O ar plasma é, normalmente, reconhecido como o tipo de arco plasma mais eficiente. Neste caso, usa-se apenas ar comprimido. Devido à elevada temperatura que o ar atinge devido ao arco eléctrico, o ar dissocia-se, transformando-se em iões dos gases constituintes – azoto e oxigénio. O corte é altamente eficiente porque os iões de oxigénio são muito reactivos à temperatura do plasma, particularmente com metais ferrosos. Este sistema usa um eléctrodo de háfnio-cobre.

O ar plasma é o mais económico (menor custo por metro linear de corte), corta todos os materiais desde que sejam condutores eléctricos, com diversas espessuras de 0.75 a 30 mm.

### **3.3 A utilização dos eléctrodos de carvão no corte e chanfro**

O processo de corte e abertura de chanfros utilizando eléctrodos de carvão fundamenta-se na acção combinada do arco eléctrico e de um jacto de ar comprimido.

O metal a retirar é fundido por intermédio do calor libertado no arco eléctrico e retirado pelo fluxo de ar comprimido. Para o efeito, o alicate porta-eléctrodos é alimentado por uma mangueira de ar comprimido e dispõe de uma série de furos, devidamente orientados, por onde sai o ar, sob uma dada pressão, incidindo sobre a espaço a cortar ou a chanfrar.

Com o recurso a este processo podem remover-se metais diversos, a altas velocidades, a que confere a esta operação um bom rendimento. É um método particularmente indicado na execução de cortes e na abertura de canais e chanfros nos seguintes metais:

- aço macio;
- ferro fundido e aço vazado;
- aço inoxidável;
- cobre e latão;
- ligas diversas.

O processo de corte e chanfrar com eléctrodos de carvão apresenta, relativamente aos métodos ainda tradicionais, como por exemplo os que utilizam ferramentas pneumáticas ou maçaricos, as seguintes vantagens:

- Elevada velocidade de remoção do metal. Economia.
- Fácil manejo.
- Inexistência do perigo de explosões.
- Relativamente pouco ruidoso.
- Enorme versatilidade.

Pelas suas características os eléctrodos de carvão estão a ser progressivamente utilizados nas mais diversas indústrias.

Na fundição são utilizados para a remoção de gitos, limpeza e afagamento de peças fundidas e ainda na remoção de defeitos.

Na siderurgia, as eléctrodos de carvão são utilizados na marcação de materiais, na remoção de inclusões de escória e no afagamento e limpeza de biletos.

Em trabalhos de caldeiraria e construção naval os eléctrodos de carvão são utilizados na limpeza de cordões de raiz, na remoção de soldaduras defeituosas, no corte de rebites e na execução de chanfros.

Os eléctrodos de carvão são também utilizados nas oficinas de manutenção, em diversos trabalhos em tubagem, chapas metálicas e peças fundidas.

Os fabricantes normalmente colocam no mercado eléctrodos de carvão para corrente alterna (AC) e para corrente contínua (DC), em vários diâmetros, embora os mais utilizados sejam de 6,35 mm (1/4") e 8 mm (3/16").

A intensidade requerida varia de 150 a 350 amperes para os referidos diâmetros, sendo o desgaste do eléctrodo por minuto de trabalho de cerca de 100 mm, removendo em média por minuto 168 gramas ( $\varnothing$  6.35) e 240 gramas ( $\varnothing$  8).

Com estes eléctrodos podem obter-se chanfros com a profundidade de 2,5 mm ( $\varnothing$  6,35) e 3 mm ( $\varnothing$  8) e com uma largura de 8 mm ( $\varnothing$  6,35) e 10 mm ( $\varnothing$  8).

Para se trabalhar com os eléctrodos de carvão as regras são relativamente simples:

- Um dos terminais do alicate é ligado à máquina de soldar. (Sempre que se utilizar corrente contínua deve empregar-se a polaridade directa para os metais ferrosos e a polaridade inversa para os outros casos). O outro terminal é ligado ao tubo de ar comprimido.
- O eléctrodo é colocado no alicate por forma a que não fique saliente mais que 150 mm.
- Depois liga-se o ar comprimido, a uma pressão de 5 a 7 Kg/cm<sup>2</sup> e com um débito de 0,5 a 3 m<sup>3</sup> /min.
- Escorva-se o arco pelo contacto entre o eléctrodo e a peça. O arco deve ser mantido muito curto, ou seja, com um comprimento de 1 a 5 mm.
- Pretendendo-se um corte profundo ou um chanfro, deve inclinar-se o eléctrodo de carvão de cerca de 45° e deslocar-se o alicate na direcção da inclinação do eléctrodo.

## 4 Noções elementares sobre soldadura

### 4.1 Introdução

Soldadura é um importante método de fabricação e de reparação de construções e equipamentos mecânicos, que merca do desenvolvimento das técnicas de aplicação é cada vez mais utilizado, tomando o lugar de construções rebitadas, fundição etc.

O desenvolvimento dos métodos e técnicas de soldadura têm em vista a qualidade e a economia de meios, o que muitas vezes são objectivos antagónicos, havendo que conciliar, um e outro tendo em vista as margens de segurança, a vi da útil da estrutura etc.

Das inúmeras aplicações de soldadura, citaremos algumas mais directamente relacionadas com a engenharia naval, mencionando algumas dificuldades e progressos no momento presente.

Em construção naval corrente, a soldadura está implantada de forma permanente, podendo-se dizer que o aumento de tonelagem verificado se ficou a dever, em grande parte, ao baixo custo e elevada produção possibilitada pela soldadura automática. Conseguiram-se eléctrodos e métodos de controle de qualidade que satisfazem ou superam as características globais de resistência estrutural do metal base.

Em construção de submarinos, com aços de alta resistência existe presentemente o problema de para aços de muita alta resistência o desenvolvimento das características do material depositado e conseqüentemente dos eléctrodos, não acompanhar em resistência e em qualidade as características das ligas de que são manufacturados os elementos estruturais.

Em construção de cascos aligeirados (hydrofoils, navios de efeito de superfície, hovercrafts-vedetas rápidas), onde se ligas metálicas de alumínio ou ferro de espessura fina existem problemas devido às deformações originadas pela introdução de calor e contracções dos cordões de soldadura.

Em construção de tanques esféricos, reservatórios de gás natural liquefeito, onde se usa alumínio de elevada espessura, existem problemas quanto à qualidade, por motivo de defeitos como porosidade, falta de penetração etc.

Os blocos dos motores mais modernos, são construções mecano-soldadas muito mais económicas do que blocos fundidos, porque se tornam construções mais aligeiradas e resistentes devido a ser possível utilizar materiais com características superiores.

Soldadura e técnicas afins, como a metalização e os enchimentos são também usados extensivamente em reparações, onde outrora não era possível reparar e haveria que substituir o que como é evidente embaratece a utilização dos equipamentos. Como exemplo, citaremos a recuperação de êmbolos de motores diesel de elevadas dimensões, cujas caixas dos aros quando em mau estado, são cheias por soldadura por arco submerso e em seguida rectificadas.

Acabaremos esta introdução definindo o que é “soldadura”:

Soldadura de metais é um método de junção de peças metálicas através do aquecimento a temperaturas acima da gama de recristalização ou do ponto de fusão, com ou sem aplicação de pressão e com ou sem adição de metal, proporcionando a continuidade da matéria entre as peças a unir, sem degradação das propriedades físicas das mesmas.

Além desta soldadura completa existem outras onde as peças a unir não atingem a temperatura de fusão.

Quando a junção é conseguida através da adição de um metal ou liga cujo ponto de fusão é inferior a 500°C, a soldadura é feita com “solda fraca” ou “branda”.

Quando a junção é conseguida através da adição de um metal ou liga não ferrosa cujo ponto de fusão é superior a 500°C, mas inferior aos pontos de fusão dos metais a ligar, diz-se que a soldadura é feita com “solda forte”. Neste caso, o metal de adição adere às superfícies do metal base por atracção capilar.

Estas soldaduras, forte e fraca, sobretudo a primeira, é também chamada brazagem (do inglês ‘brazing’).

Se a união de peças é feita por fusão e o metal de adição for de composição igual à das peças a unir, designa-se esta soldadura por soldadura autogénea.

## **4.2 Fundamentos da soldadura**

A ligação por soldadura de duas peças resulta do facto de existirem forças de coesão entre as partículas metálicas de valor suficiente para garantir a sua ligação íntima.

Na realidade, as partículas de matéria exercem entre si forças de atracção e de repulsão cujo valor relativo tem muito a ver com a distância a que se encontram as partículas e o respectivo nível de energia. A distância a que as partículas se devem encontrar para que as forças de atracção sejam superiores às forças de repulsão podem ser calculadas e podem ser um parâmetro na soldadura. Como as superfícies a soldar apresentam rugosidade, pode acontecer que essa distância não seja atingida mesmo com os corpos em contacto; nesses casos é possível a ligação provocando deformações plásticas nas superfícies a soldar, quer fundindo essas mesmas superfícies quer usando um metal de adição com um ponto de fusão inferior ao dos metais a ligar e que se vai adaptar perfeitamente a todas as irregularidades das superfícies.

Também a existência de matérias estranhas nas superfícies das peças podem dificultar a aproximação das partículas metálicas; também neste caso a deformação plástica, a par das elevadas temperaturas que são atingidas e dos fluxos utilizados permitem ultrapassar esse problema.

### **4.2.1 Efeito do calor na soldadura**

A execução de soldaduras com fusão dos materiais, provoca dois tipos de problemas:

- o efeito do aquecimento localizado e do arrefecimento na micro-estrutura e propriedades do metal base.

- O efeito de tensões residuais que permanecem no cordão devido ao arrefecimento irregular do cordão da soldadura; nalguns casos estas tensões provocam deformações.

O aquecimento localizado e o arrefecimento irregular provocam danos na metalurgia da peça numa zona adjacente ao cordão (a zona afectada pelo calor)

## **4.3 Processos de soldadura**

### **4.3.1 Nomenclatura básica**

Metal soldado: parte da peça soldada mais o metal de adição e, nalguns casos, de componentes do revestimento do metal de adição que foi fundida e ressolidificada durante o processo de soldadura.

Zona afectada pelo calor (ZAC): parte do metal base adjacente ao metal soldado que foi aquecido durante a soldadura a temperaturas tais que sofre mudanças estruturais detectáveis e significativas.

### **4.3.2 Tipos de juntas**

A forma como as peças a soldar se apresentam uma em relação à outra, constitui o tipo de junta. Nessa junta, o metal de adição (se o houver) será depositado naquilo que se chama o cordão.

Este tipo de junta é determinado, principalmente, pela posição geométrica das peças na estrutura a que pertencem e pelas características dos esforços previsíveis (de projecto), etc.

Os tipos de junta são os seguintes:

- Topo a topo - os bordos apresentam-se frente a frente.
- Em T - as peças dispõem-se perpendicularmente uma à outra.
- Em L - as peças dispõem-se perpendicularmente uma à outra formando um L (exterior ou interior).
- Sobreposta - as peças sobrepõem-se numa faixa.
- Rebordeada - o bordo de uma das peças ou o bordo de ambas são virados e unidos pelo contorno com o cordão de soldadura.
- Rebite de soldadura - as peças são sobrepostas e, por meio de furos numa delas, faz-se a soldadura.

Nos tipos de junta onde o cordão de soldadura une duas superfícies metálicas perpendiculares, como é o caso das que se apresentam nas figuras com cordões triangulares, designam-se por cordões de canto. Nos tipos de junta a topo e L exterior, é necessário ou o uso de um cobre-junta (de metal diferente ou do mesmo metal) ou da execução dum cordão de suporte (ou “reprise”), a fim de garantir uma fusão completa das superfícies a unir, evitando descontinuidades, crateras, etc.

O uso de cordão de suporte ou de reverso (ou “reprise”) está mais divulgado em caldeiraria naval corrente e é dado para rematar a soldadura, eliminando os defeitos que por vezes aparecem na execução do 1º cordão, sempre difícil de dar; o cordão de suporte é precedido de uma operação de burilagem com buril mecânico ou disco

abrasivo, ou por “abertura” usando eléctrodo de carvão, ou menos usualmente maçarico oxiacetilénico, afim de remover escórias e produtos de oxidação e encontrar o “são” do 1º cordão.

### **4.3.3 Posições de soldadura**

Os cordões de soldadura podem ser executados nas seguintes posições:

- Ao baixo - cordão horizontal num plano horizontal.
- Horizontal — cordão horizontal num plano vertical.
- Vertical — cordão vertical num plano vertical (ascendente ou descendente).
- Ao tecto ou ao alto — cordão horizontal num plano horizontal mas por cima da cabeça do soldador.

Em soldadura manual a ordem por que estas posições foram indicadas, apresentam uma ordem crescente da dificuldade de executar a soldadura. De notar a dificuldade na soldadura de tubos, sobretudo no caso do tubo estar fixo na posição horizontal (eixo na horizontal).

### **4.3.4 Preparação dos bordos — Tipos de chanfros**

Para se efectuarem as soldaduras, há que preparar os bordos das peças a soldar, conforme as suas espessuras, as características dos materiais e tipo de soldadura.

Os bordos não chanfrados destinam-se geralmente apenas a pequenas espessuras, no máximo 5mm, podendo ir a maiores espessuras com método; da soldadura em que se conseguem penetrações maiores (eléctrodos de grande penetração, e outros).

A nomenclatura dos vários tipos de chanfros na preparação dos bordos apresentam-se na figura1. Os tipos de chanfros são usados em função de espessura, do método de soldadura, da qualidade da junção da posição das estruturas etc.

Os chanfros em V ou X (completos), com ou sem nariz, são os mais usados em caldeiraria naval.

O chanfro de bordo sutado é usado quando se pretende unir topo a topo em peças de espessuras diferentes.

## **4.4 Técnicas e métodos de imposição do cordão de soldadura**

Apresentam-se alguns exemplos de métodos de imposição de cordão, a escolher, conforme a espessura, dimensões do chanfro, quantidade de metal depositado na unidade de tempo, correcção ou minimização de deformações:

- execução de uma passagem
- execução de várias passagens:
- passagens largas, passagens estreitas que se sobreponham parcialmente, execução de movimentos transversais em ziguezague, execução de movimentos triangulares execução de passo de peregrino.
- soldadura contínua - quando a fusão dos bordos a soldar e do tal de adição progride sem interrupção.

- soldadura intermitente - execução de pequenos cordões espaçados, e normalmente colocados alternadamente de um e do outro lado da junta.

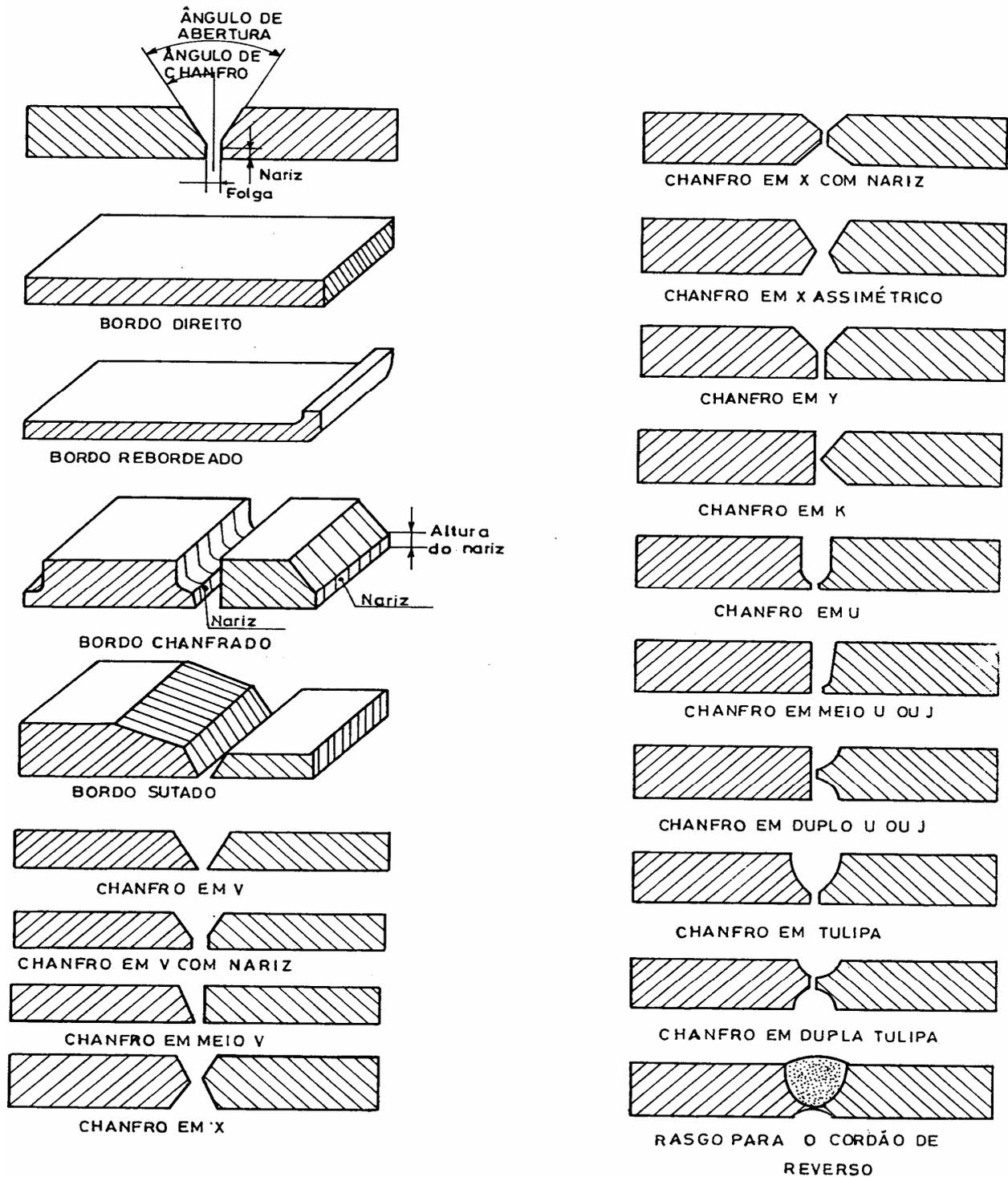


Figura 1 Preparação dos bordos de chanfros

#### 4.4.1 Descrição sumária dos processos de soldadura

Da multiplicidade de processos de soldadura, consoante a fonte de calor, a atmosfera desoxidante, o método de execução etc., daremos agora uma descrição sumária dos que presentemente se usam, deixando para capítulo seguinte o desenvolvimento dos

métodos que realmente têm maior aplicação prática nas actividades de engenharia naval ao nosso alcance.

Apresentamos em seguida uma classificação, necessariamente arbitrária, mas que tenta sistematizar os vários métodos.

Soldadura com fusão e pressão	Por fricção	Pontos ponto salientes roletes topo a topo	Soldadura sem adição de metal
	Por resistência		
	Fusão com pressão		
Soldadura com fusão	com gás	Oxiacetileno Oxídrico Oxigás	
	arco eléctrico	de eléctrodo revestido – Figura 3 arco sob atmosfera gasosa – Figura 18 arco submerso – Figura 9 plasma - Figura 19 electroescória – Figura 11 electrogás – Figura 14	
	Aluminotermia		
	Radiações	Laser – Figura 17 Bombardeamento electrónico – Figura 16	
	Soldadura forte Soldadura fraca ou branda União adesiva		

Soldadura por fricção ou por atrito - método de junção em que o aquecimento e fusão das superfícies a juntar é feito através da produção de atrito pelo movimento das peças com aplicação de pressão - poderemos dizer que é o aproveitamento industrial do efeito de “gripagem”.

Soldadura por resistência - esta soldadura aplica o efeito de Joule, isto é, a grande libertação de calor pela passagem de uma corrente eléctrica bastante intensa através

dos metais. A corrente utilizada tem uma intensidade da ordem da centena de amperes e pequena tensão (5 a 10 V), o calor libertado pela passagem da corrente provoca a fusão dos pontos de contacto das partes metálicas a soldar.

A soldadura por resistência, por pontos, pontos salientes e por roletes requer a sobreposição das partes a soldar. A soldadura por pontos serve para ligar chapas de pequenas espessuras: a corrente eléctrica passa por 2 eléctrodos de cobre geralmente afilado entre os quais são comprimidas as chapas a soldar sobrepostos. Esta soldadura torna-se idêntica a uma rebitagem.

À soldadura com roletes ou por costura, aplica-se em chapas até 5 mm; nesta soldadura, os eléctrodos são constituídos por dois roletes entre os quais se fazem deslizar as chapas sobrepostos, passando a corrente eléctrica entre os roletes fundindo as camadas exteriores das chapas em contacto, formando uma costura contínua de soldadura.

A soldadura por resistência a topo efectua-se juntando as peças do topo e fazendo circular através delas a corrente eléctrica ao mesmo tempo que se comprimem um de encontro ao outro; procura-se assim um pequeno encaixe muito útil para expulsar da zona de soldadura as escórias do material oxidado.

De notar que esta soldadura é feita sem adição de metal.

Soldadura de fusão com pressão - vulgarmente denominada de caldeamento, consistiu numa operação muito usada no passado, nas oficinas de forja, compreendendo basicamente o aquecimento das partes a ligar a uma temperatura tal que estas partes a ligar se tornem bastante plásticas, para que pela acção da martelagem as moléculas de uma outra parte sejam de tal forma comprimidas que a força de coesão molecular entre as partículas em contacto das duas peças seja suficiente para tornar a união contínua, uniforme e permanente.

As caldas, feitas sem adição de metal, constituem uma técnica muito interessante, que hoje já não é usada na extensão de outrora, pelo que nos obstemos de acrescentar pormenores de execução.

Presentemente é mais usada como fonte de calor a passagem de corrente eléctrica, em vez do forno da forja, e em vez da martelagem é utilizada uma pistola especial, como aplicador de pressão. Esta soldadura é muito utilizada para soldar pernos em chapas. O aquecimento pode também ser obtido por chama.

#### **4.4.1.1 Soldadura com gás**

Neste método de junção, a fonte de calor é resultante da queima de gases combustíveis. O gás mais conveniente utilizado é o acetileno embora, por motivos económicos, a maioria dos estaleiros navais esteja a optar por propano.

Usando acetileno a soldadura designa-se oxiacetilénica, e neste caso o aquecimento do metal base e do metal de adição (varetas de metal idêntico ao metal base ou de ligas diferentes) até à fusão é obtido pela combustão do acetileno, misturado com o oxigénio no maçarico; este maçarico pode ser débito fixo ou variável, sendo este último mais aplicado. A potência do maçarico é uma variável importante e exprime-se em capacidade de acetileno por unidade de tempo (l/h), e pode ir dos 10 l/h aos 5000 l/h.

Na figura vemos um esquema de um maçarico típico.

Se o gás combustível é o hidrogénio passa-se a designar por soldadura oxídrica. Se o gás combustível é outro, designa-se por soldadura oxigás.

As propriedades dos gases combustíveis para soldadura mais importante são:

- elevada velocidade de propagação da chama de temperatura elevada
- poder calorífico adequado
- ausência de reacção química com o metal base.

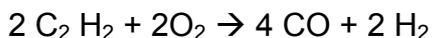
O posto de soldadura é constituído pelas garrafas de oxigénio e do gás combustível, redutores de pressão, válvulas, manómetros, torneiras de regulação, mangueiras e maçaricos.

A chama do maçarico (Figura 2) tem duas zonas bem distintas, o dardo onde se dá o combustão primária e o cauda onde se dá a combustão secundário, com temperaturas distintas. Se o maçarico estiver bem regulado atinge as temperaturas indicadas na figura (aproximadamente 1,1 a 1,2 vol O<sub>2</sub> para 1 vol C<sub>2</sub> H<sub>2</sub>).

A maneira prática de conseguir esta regulação é abrir a torneira do acetileno de forma a aparecer uma auréola branca (chama com excesso de acetileno); abrir em seguida a torneira de oxigénio lentamente até essa auréola desaparecer.

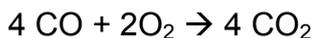
Reacção química da queima oxiacetilénica

Cone interior (dardo)



Oxigénio da garrafa

Cone exterior (cauda)



Oxigénio do ar exterior

#### **4.4.1.2 Soldadura eléctrico por arco eléctrico**

Esta soldadura consiste como já foi dito, em juntar 2 peças metálicas estabelecendo uma união metalúrgica entre eles, Como também já foi dito existem muitos métodos de produzir esta união, através da aplicação de pressão e ou fusão.

A soldadura eléctrico por arco eléctrico é conseguida por fusão. A união entre metais é produzida por redução a um estado de fusão das superfícies a serem juntas e em seguida permitindo a solidificação dos metais, para que o união seja completa.

SOLDADURA OXIACETILÉNICA  
**MAÇARICO DE SOLDAR**

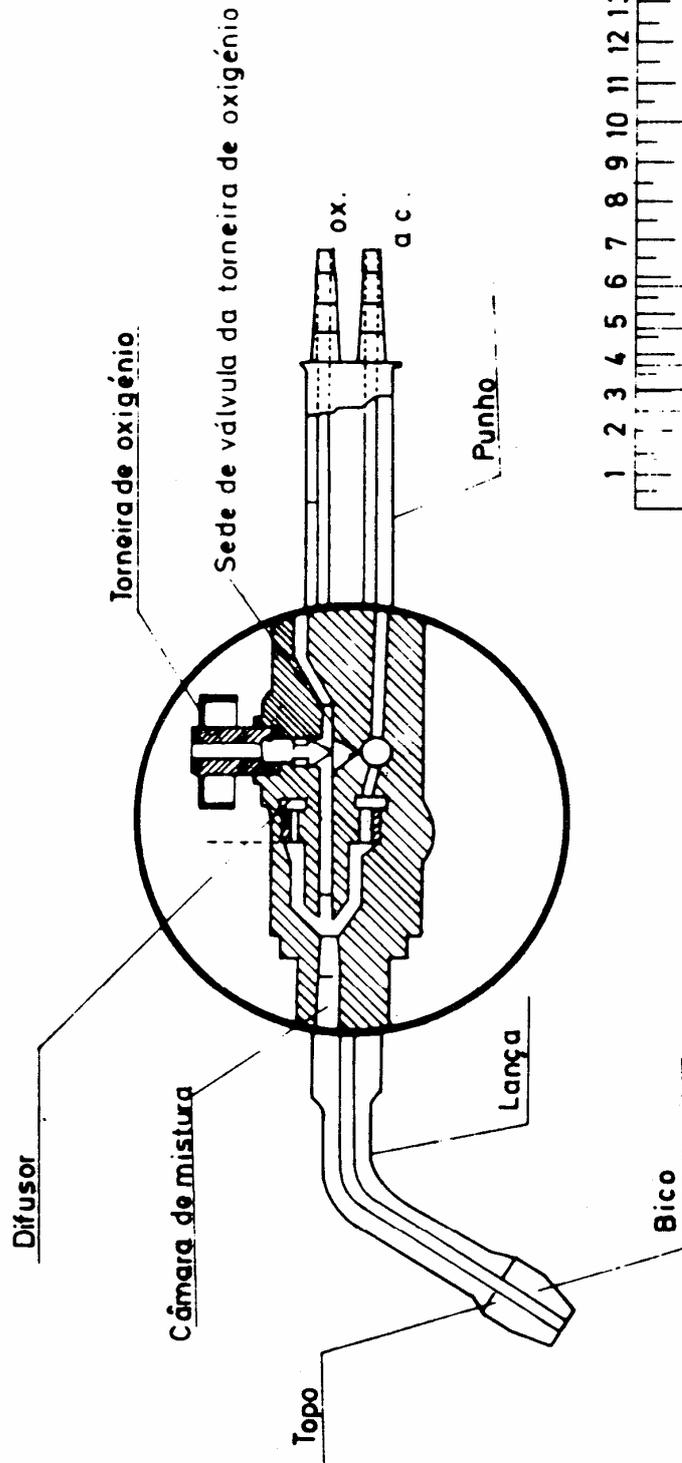


Figura 2 Maçarico de Soldar

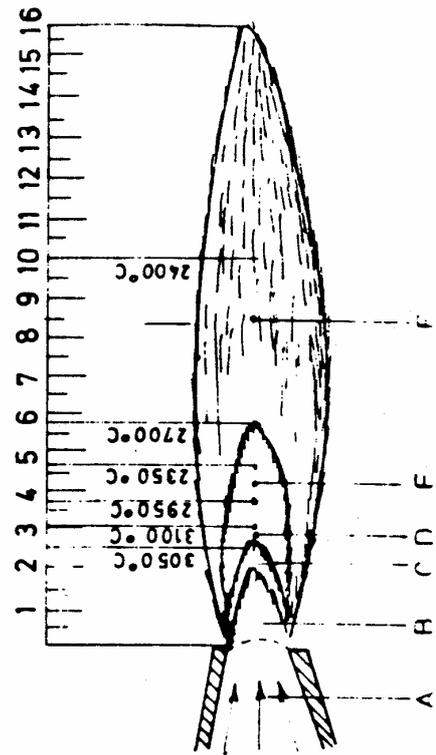


FIG.

Na soldadura por arco, o calor necessário para fundir os metais é produzido por um arco voltaico, que é formado entre as peças a serem soldadas e um arame metálico ou

vão chamado eléctrodo. O arco, que produz temperaturas da ordem dos milhares de graus centígrados, na ponta do eléctrodo, é formado trazendo essa ponta próximo do metal a ser unido. A enorme quantidade de calor produzida permite a liquefacção do eléctrodo e das camadas superficiais das peças a unir numa zona que poderemos designar por cratera ou banho. Na solidificação, os metais são unidos numa sólida e homogénea peça. Movendo o eléctrodo ao longo da costura ou junta a soldar, as superfícies são unidas em todo o seu comprimento.

O arco eléctrico é sem dúvida e de momento a mais usada fonte de energia do calor intenso que é necessária para soldadura por fusão. O arco é uma descarga eléctrica ou faísca mantida numa descontinuidade espacial curta num circuito eléctrico.

A resistência do ar ou gás na intermitência da passagem da corrente transforma a energia eléctrica ou calor a temperaturas elevadas e de forma instantânea e concentrada, suficiente para a fusão dos metais.

A energia utilizável proveniente do arco eléctrico é função de vários factores a desenvolver mais tarde, nomeadamente revestimento dos eléctrodos, tipo de corrente (CA,CC), direcção da fluxo electrónico (CC), etc.

Em quase todos os tipos de soldadura eléctrica por arco, este é envolvido numa atmosfera especial, com o fim de controlar o complexo fenómeno e de melhorar as características físicas do cordão depositado e metal adjacente. A atmosfera envolvente é conseguida a través de várias técnicas: um. revestimento de produtos químicos do eléctrodo, gases inertes (argon, hélio) compostos de fluxo granular, sais metálicos colocados na alma do eléctrodo etc. Conforme os tipos de fluxo, aliado a processos próprios de soldadura, assim temos vários métodos ou processos de soldadura eléctrica como vimos na classificação.

A atmosfera envolvente, em qualquer dos caso, tem como objectivos:

- proteger o metal fundido do oxigénio do ar, usando gás vapor ou escória.
- adicionar materiais de liga e fluxo.
- controlar a fusão da haste consumível, de forma a uma utilizar da energia de forma mais efectiva.
- estabilizar o arco.

A soldadura eléctrica por arco requer um funcionamento contínuo de corrente, com determinadas características controláveis, e a ligação eléctrica ao eléctrodo e às peças a soldar.

#### **4.4.1.3 Soldadura alumínio-térmica**

Neste método de junção a fonte de calor é obtida pela reacção redutora e exotérmica do pó de alumínio sobre os óxidos metálicos (ferrosos) libertados quando o metal está no estado de fusão. Foi muito usado para soldar carris e para tal coloca—se num cadinho com o fundo furado uma mistura de óxido de ferro e alumínio em pó; o início da reacção é provocada por uma chama qualquer e o alumínio combina-se com o oxigénio pondo o ferro em liberdade.

Devido à elevada temperatura desenvolvida, o ferro libertado fica no estado líquido com grande fluidez escorrendo do cadinho para o molde que cerca os pontos do carril a soldar, formando no arrefecimento uma união permanente. Este tipo de soldadura tem

a grande vantagem de soldar as peças sem necessidade de as desmontar do local de utilização.

#### **4.4.1.4 Soldadura por Laser**

É um método de fusão onde a fonte de calor é um laser.

Os lasers do estado sólido são baseadas em cristais transparentes e vítreos, contendo pequenas concentrações de elementos de transição, que podem ser excitados a vários níveis de energia quando são expostos a uma radiação óptica de grande intensidade. Para soldadura o material mais conveniente usado é o rubi - óxido de alumínio com uma pequena concentração de óxido de cromo em solução. O rubi é exposto a uma radiação de grande intensidade óptica, de uma ou mais lâmpadas de xenon; esta exposição faz com que os átomos de cromo sejam excitados a um elevado nível de energia, cuja queda imediata produz o calor requerido para a soldadura (Figura 17).

O uso de laser em soldadura atingiu já uma larga actividade industrial, especialmente em soldaduras em componentes electrónicos e em metais dissimilares, normalmente em pequenas espessuras. A radiação produz muito pouca influência em arcos adjacentes e não requer vácuo. Tem também a vantagem de uma fonte de energia servir para vários postos de soldadura e estes poderem ser nos mais variados locais, pois a radiação pode ser desviada por prismas ou outros componentes ópticos.

As maiores desvantagens são o custo do equipamento, a emissão de radiações de raios X e a possibilidade de criar anomalias na visão dos operadores se não houver protecção adequada.

#### **4.4.1.5 Soldadura por bombardeamento electrónico**

a fonte de calor é a emissão acelerada de electrões incidindo na zona a soldar. Esta emissão é feita a voltagem da ordem das centenas de milhares de volts, com intensidade inferiores a 1 A. Com este método, consegue-se potências específicas ( $W/cm^2$ ) da ordem de  $10^5 W/cm^2$ , possibilita uma profunda penetração.

O bombardeamento feito no vácuo é o que está mais desenvolvido e possibilita já a execução de soldaduras (em laboratórios) de espessuras até 360 mm. Em prática industrial já se conseguem soldar espessuras até 200 mm. Estima-se que existem mais de 1000 máquinas de soldadura no mundo.

As maiores vantagens deste método são a penetração profunda, ausência de distorção, relativamente pouco calor introduzido, não necessita de metal de adição nem de chanfros nas juntas, grande velocidade de avanço o que possibilita elevada produção, pode ser usado em materiais de soldadura difícil como o Titânio e com metais dissimilares.

As maiores desvantagens são o elevado custo do equipamento, reduzida resistência ao impacto (resiliência).

O uso de equipamento sem vácuo, além de perigoso por motivo de radiações, não alcança a mesma penetração porque o ar dispersa e retarda o bombardeamento.

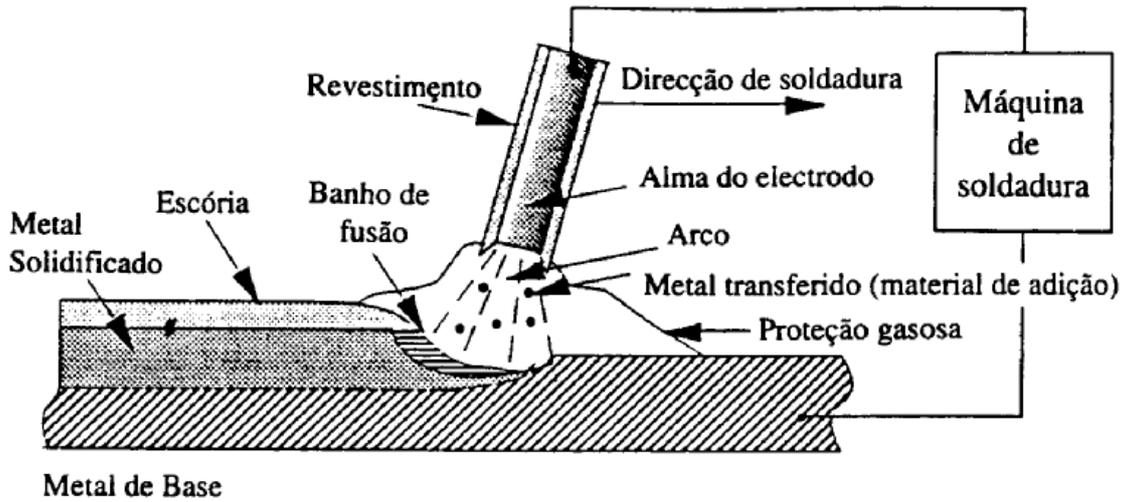
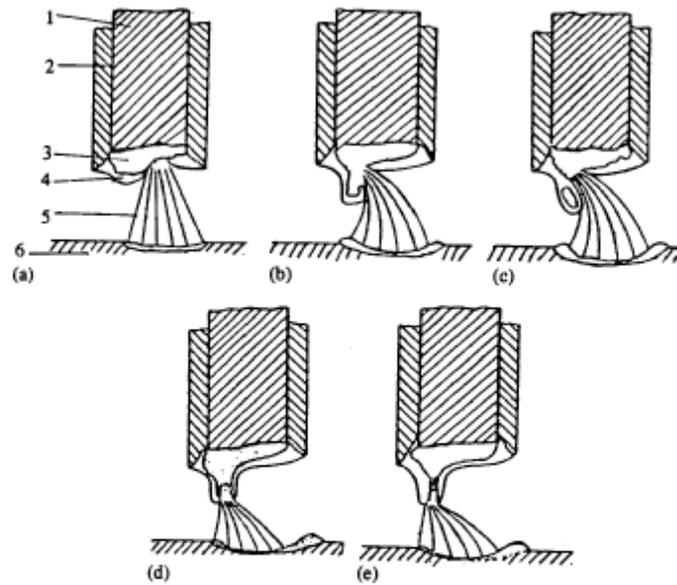


Figura 3 Soldadura com electrodos revestidos



Modos de transferência de electrodos revestidos:

- a) Fase inicial, b) Deformação do metal líquido devido a pressão na raiz do arco, c) separação da gota devido a tensão superficial, d) Alternativamente: o arco move-se para a parte líquida do electrodo, e) a gota separa-se por acção da força electromagnética (ref. 7)

- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| 1 - alma do electrodo  | 4 - escória líquida |
| 2 - revestimento       | 5 - arco            |
| 3 - ponta do electrodo | 6 - metal líquido   |

Figura 4

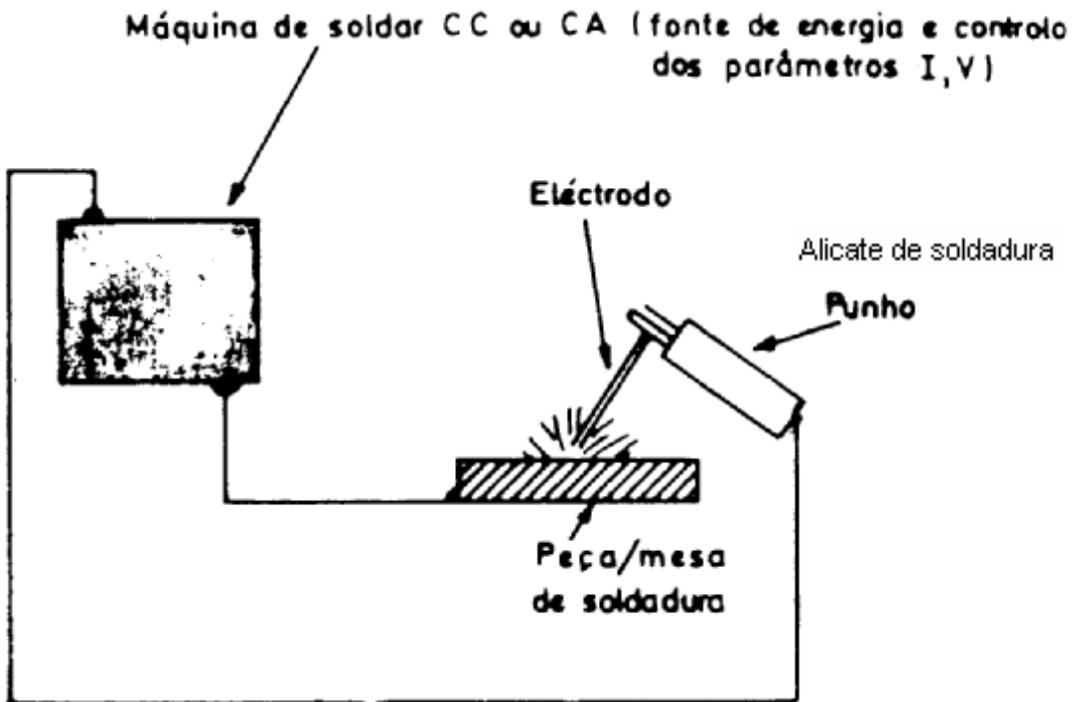


Figura 5 Circuito básico de soldadura por arco eléctrico

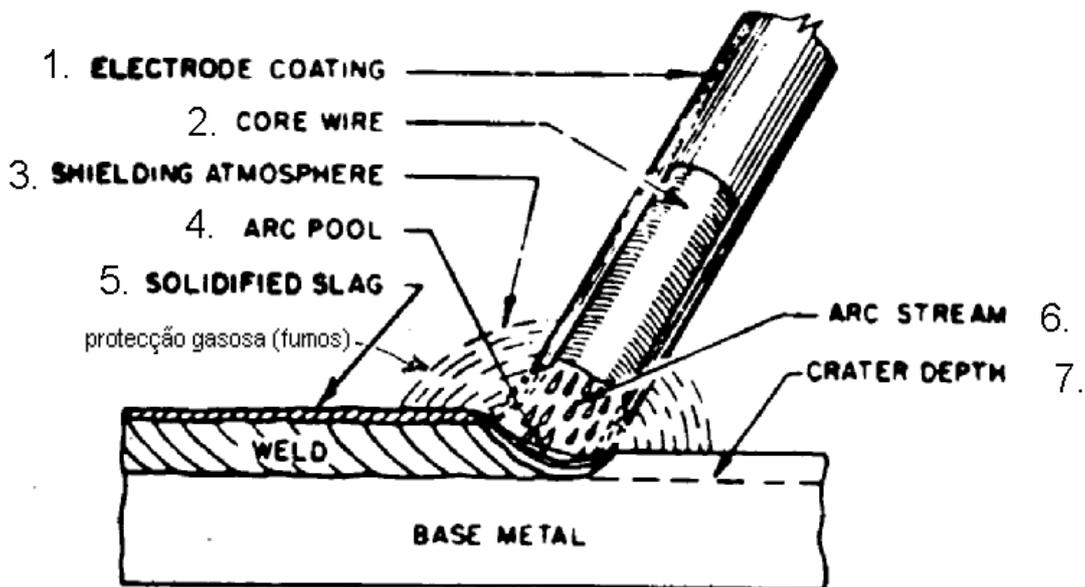


Figura 6 Soldadura por arco. 1-Fluxo ou revestimento; 2-alma; 3-atmosfera protectora; 4-Banho de fusão; 5-Escória; 6-Arco eléctrico e metal transferido; 7-Profundidade da cratera.

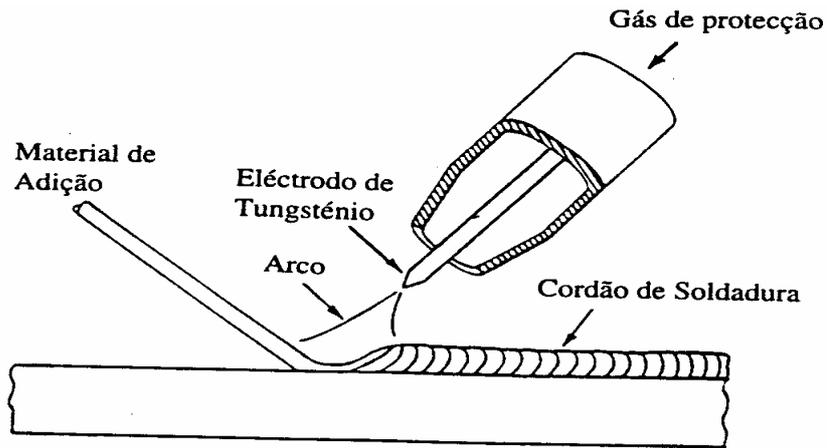
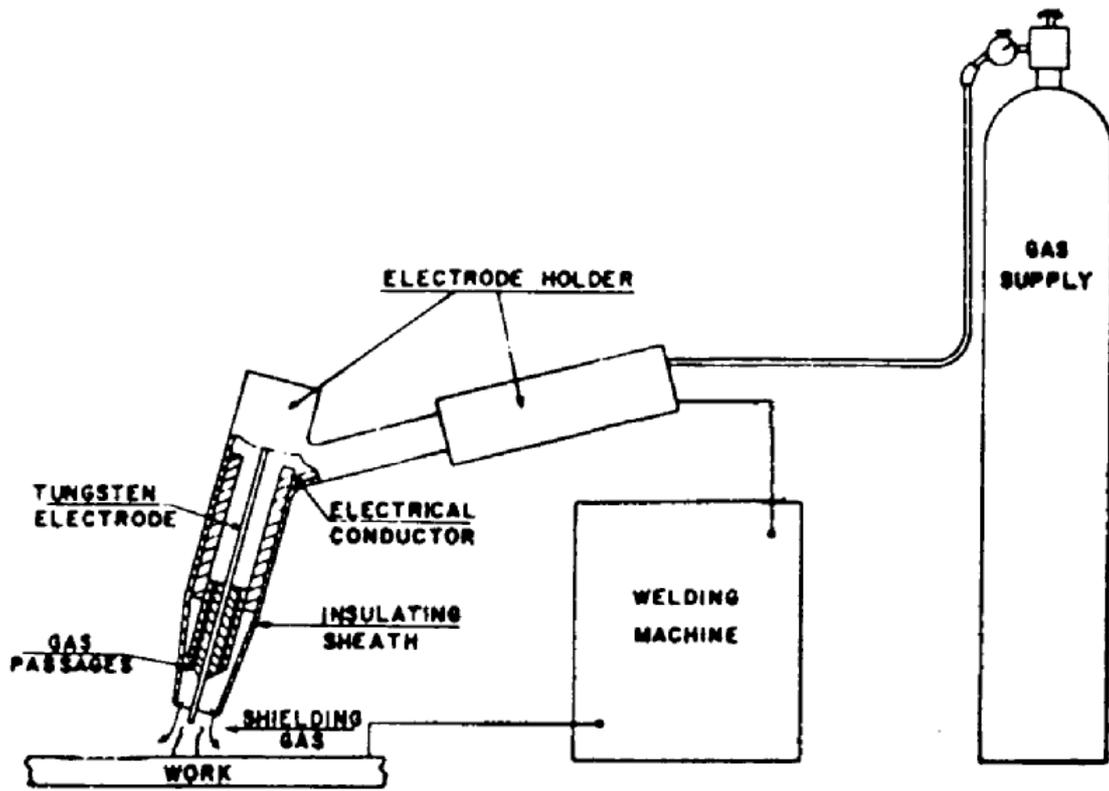


Figura 7 Soldadura TIG

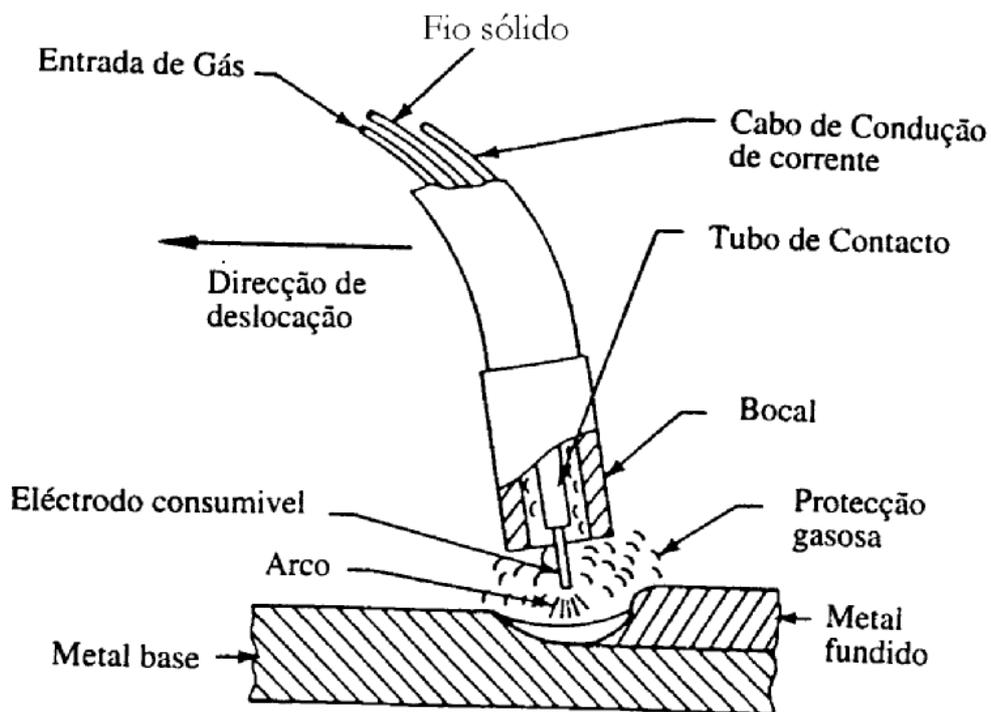
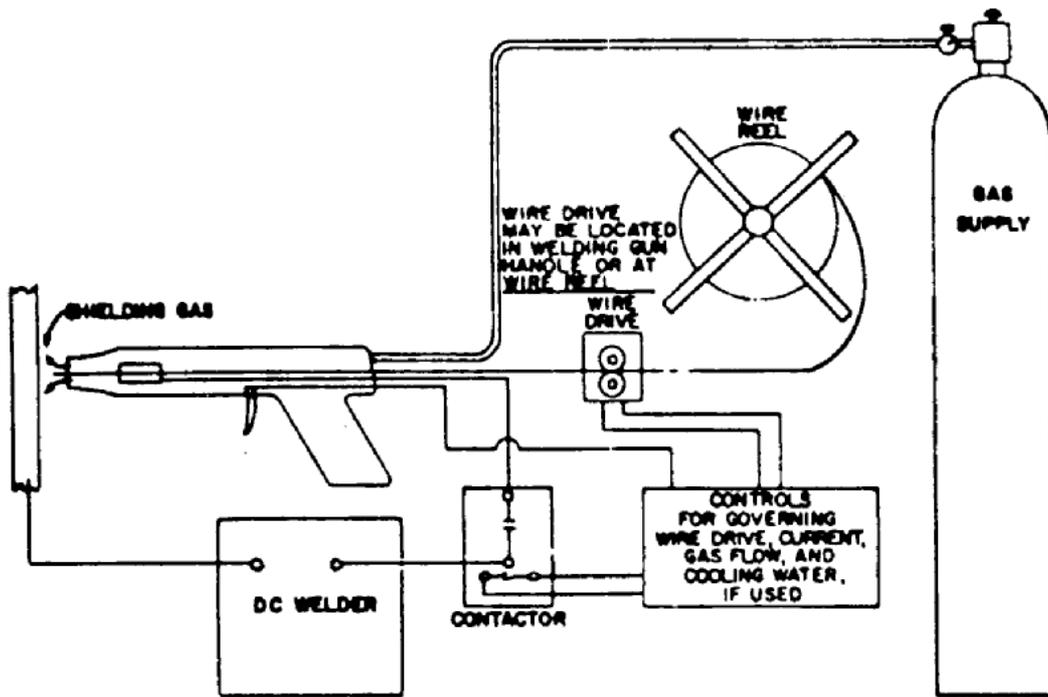
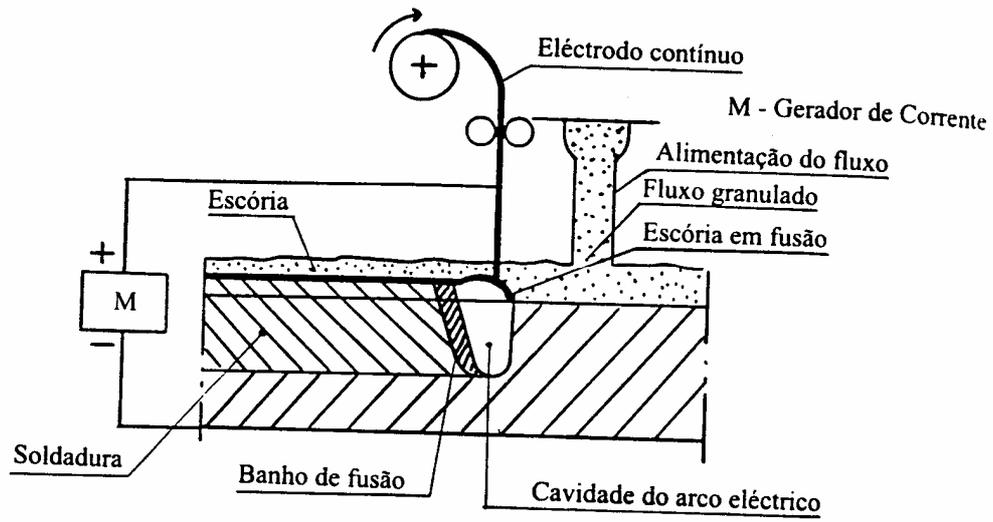


Figura 8 Soldadura MIG (gás inerte) ou MAG (CO<sub>2</sub>)



**Figura 9 Soldadura por arco submerso**

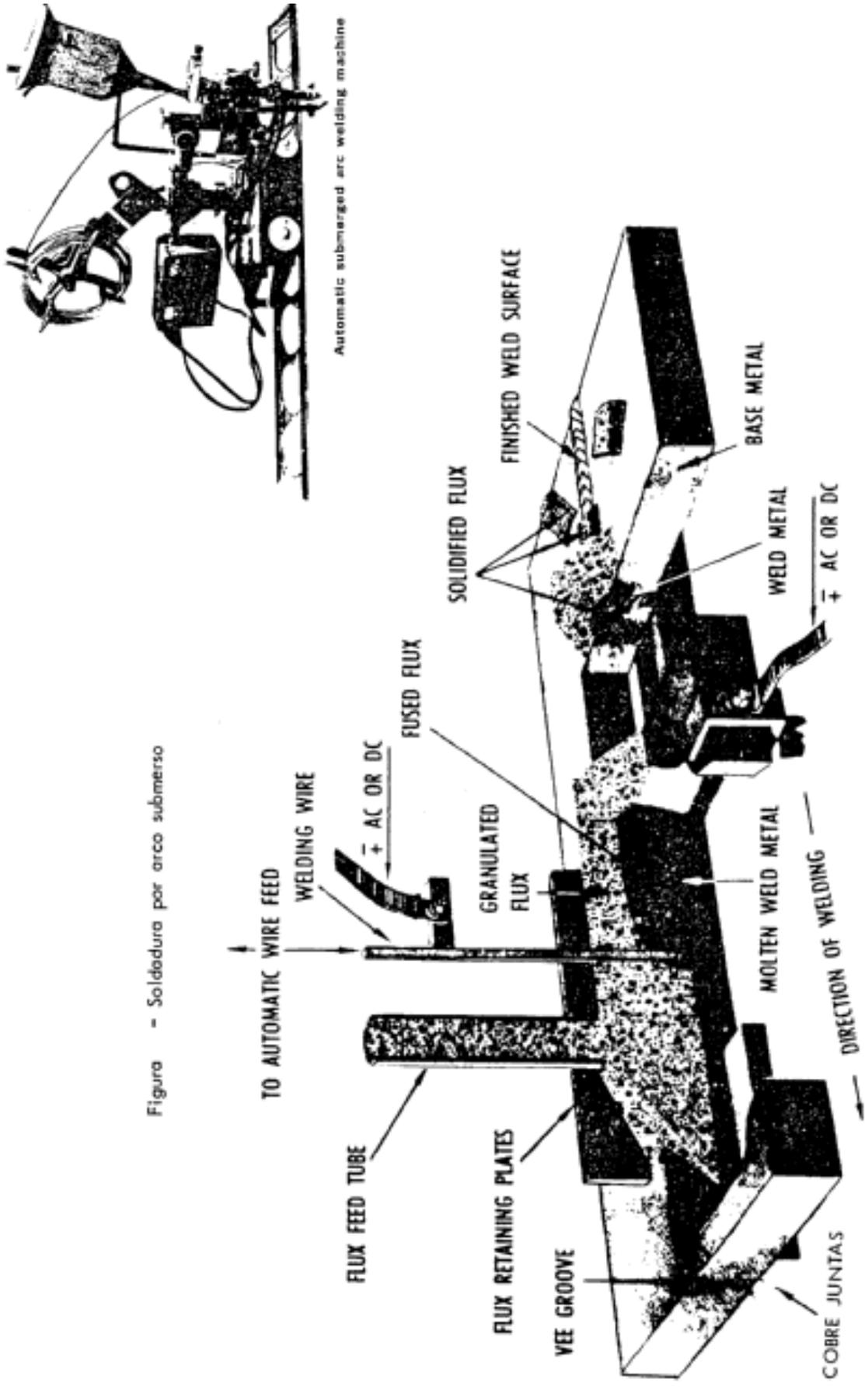


Figura - Soldadura por arco submerso

Figura 10 Soldadura por arco submerso

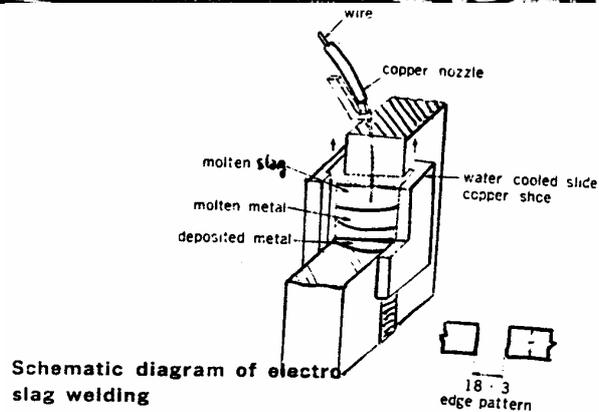
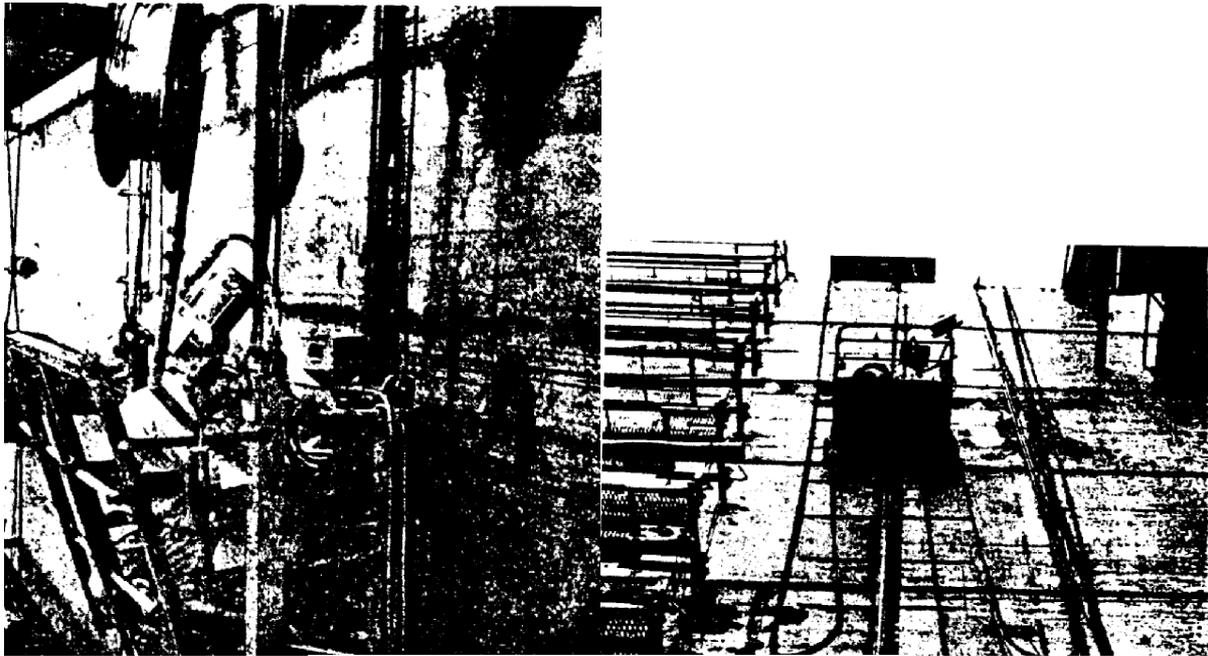


Figura 11 Soldadura por electroescória

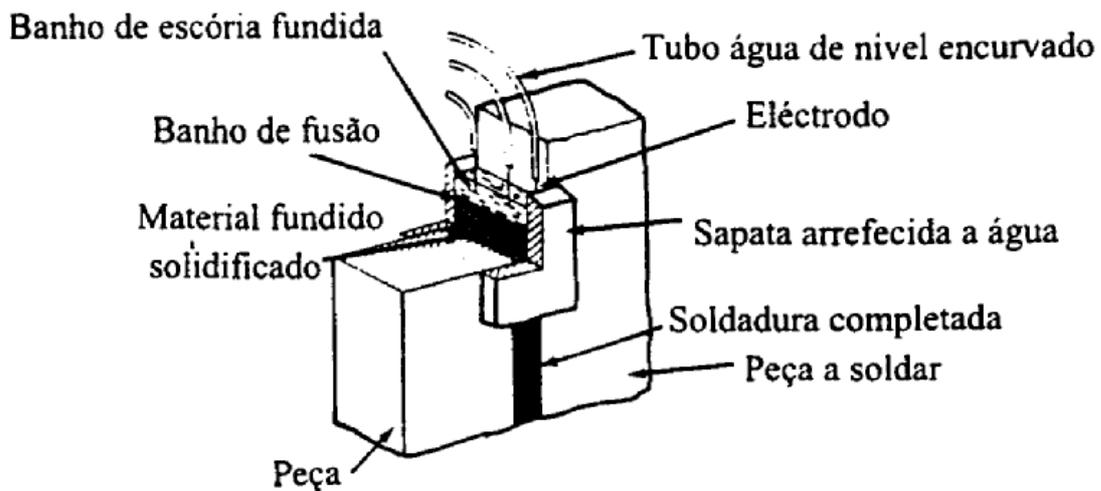


Figura 12 Soldadura por electroescória com guia não consumível

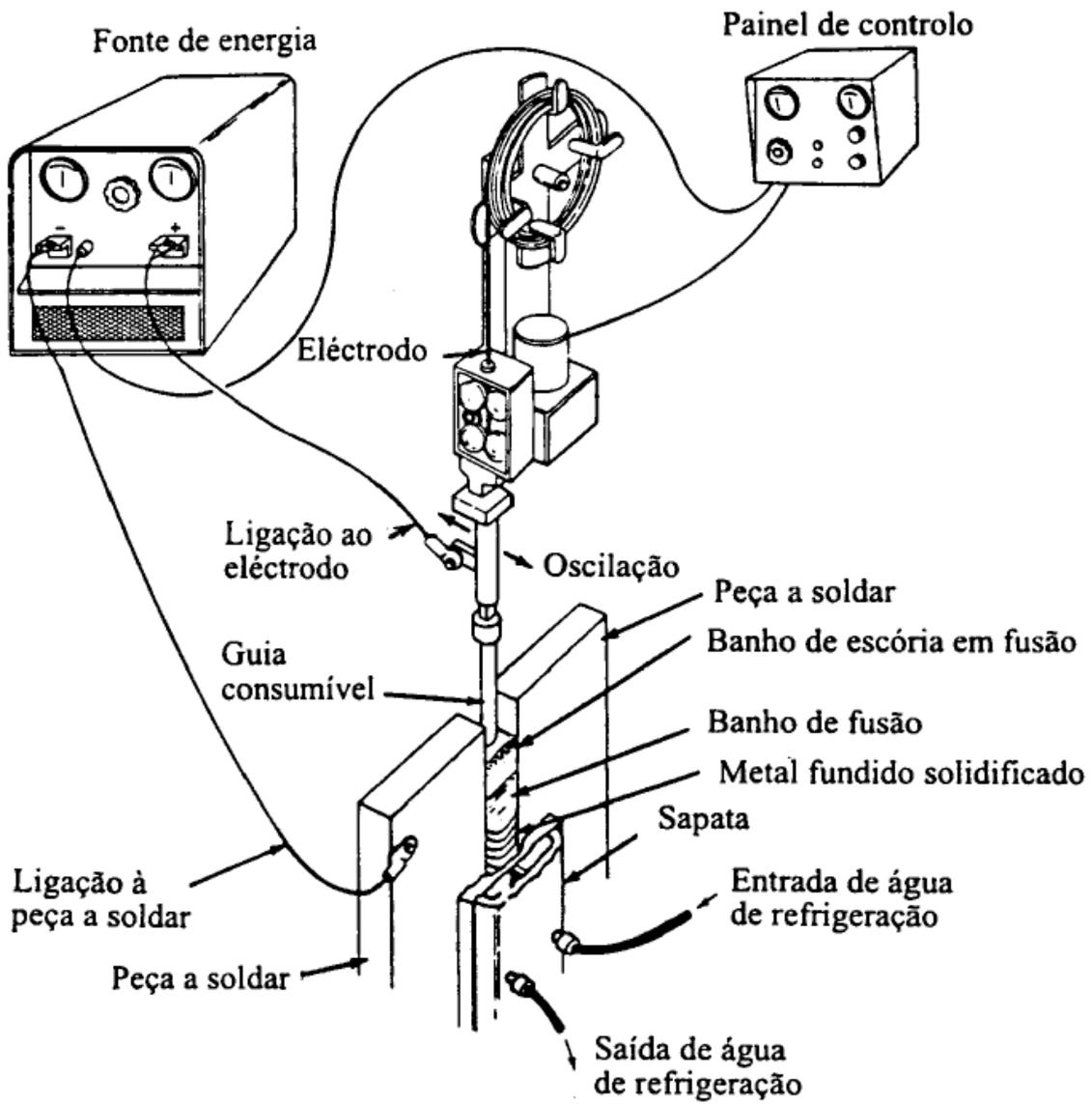


Figura 13 Soldadura por electroescória com guia consumível

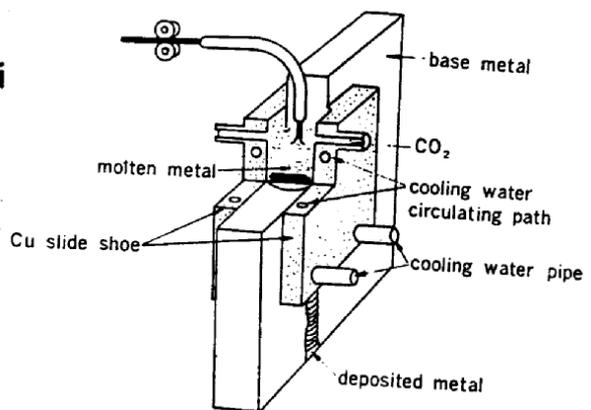
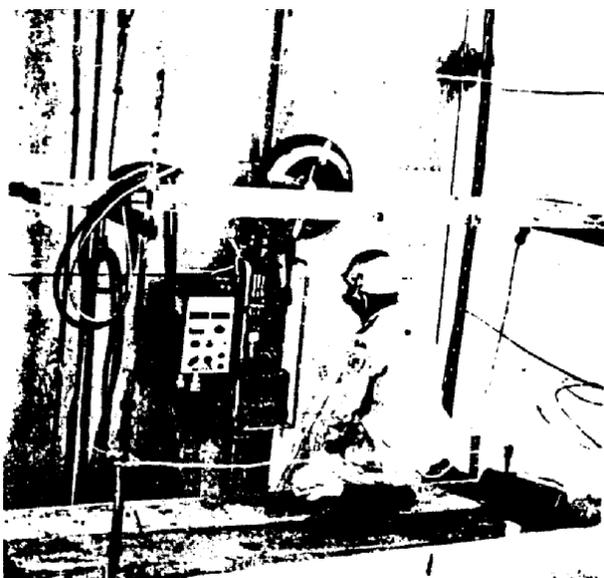


Figura 14 Soldadura electrogás

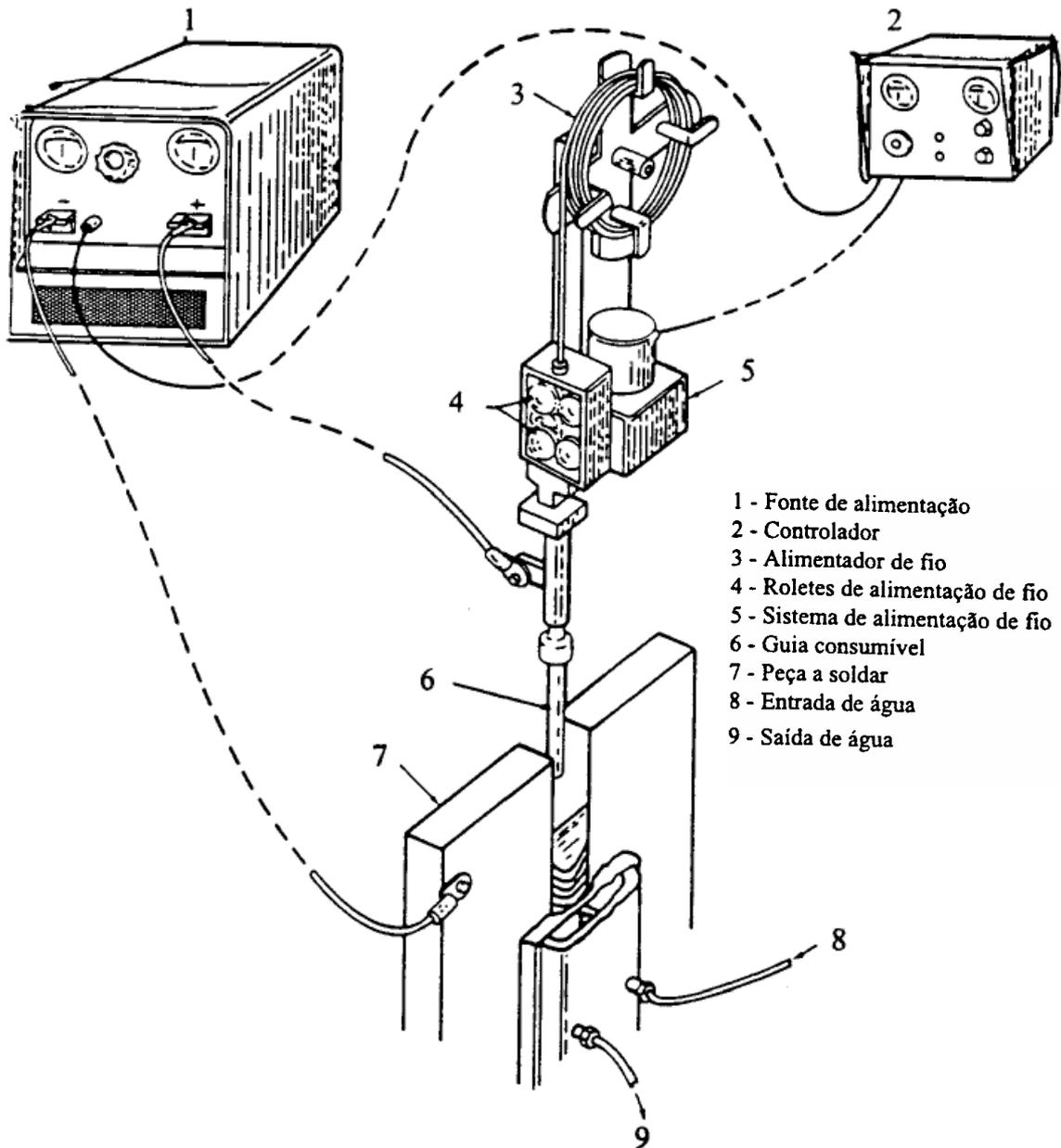


Figura 15 Soldadura electrogás com guia consumível

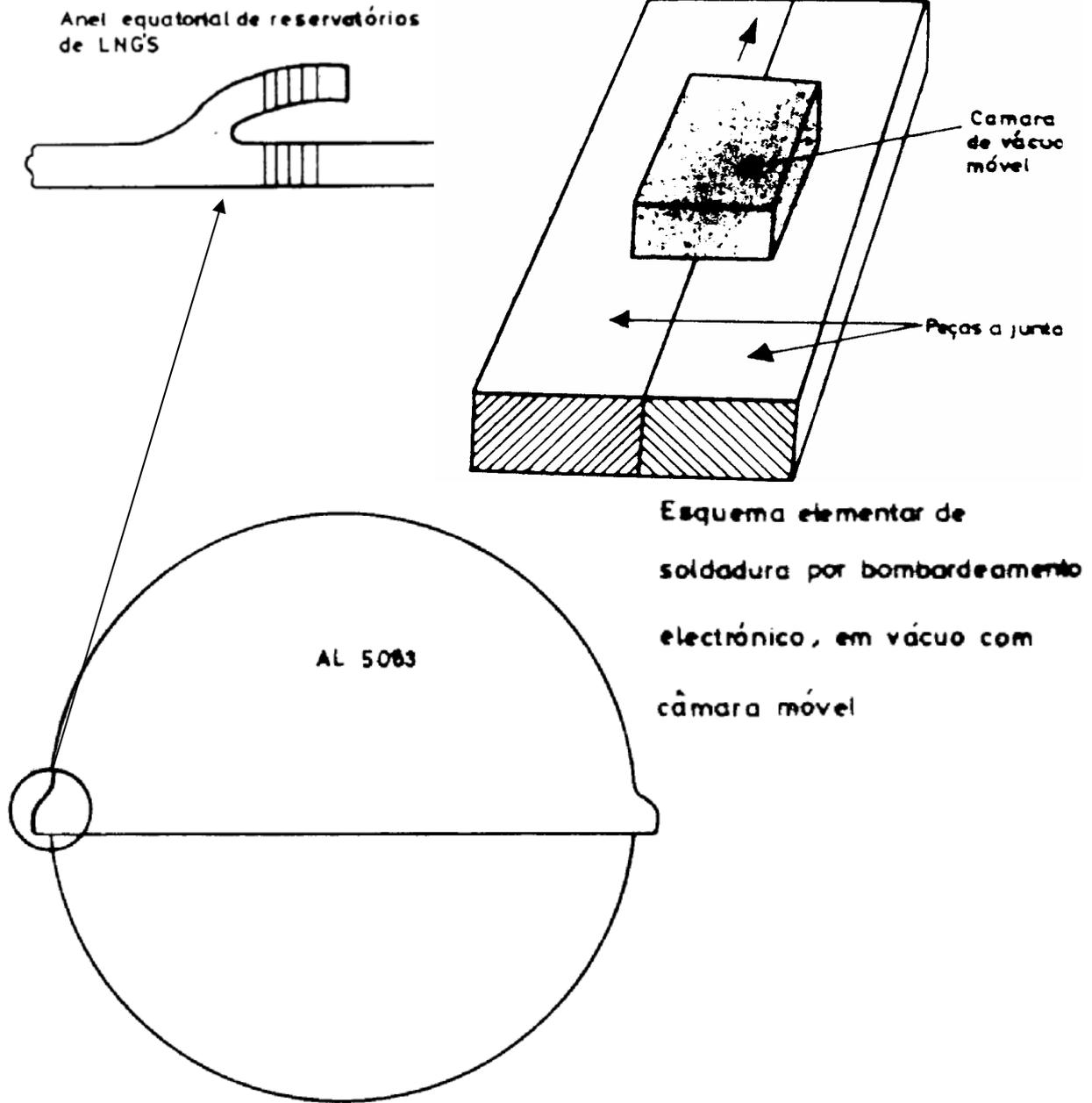


Figura 16 Soldadura por bombardeamento electrónico

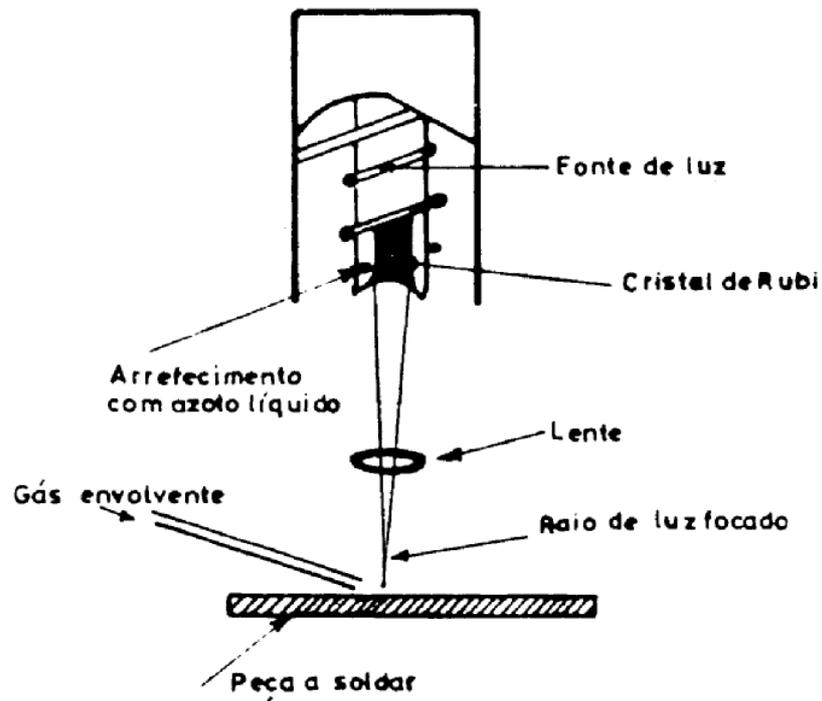


Figura 17 Esquema básico da soldadura por LASER

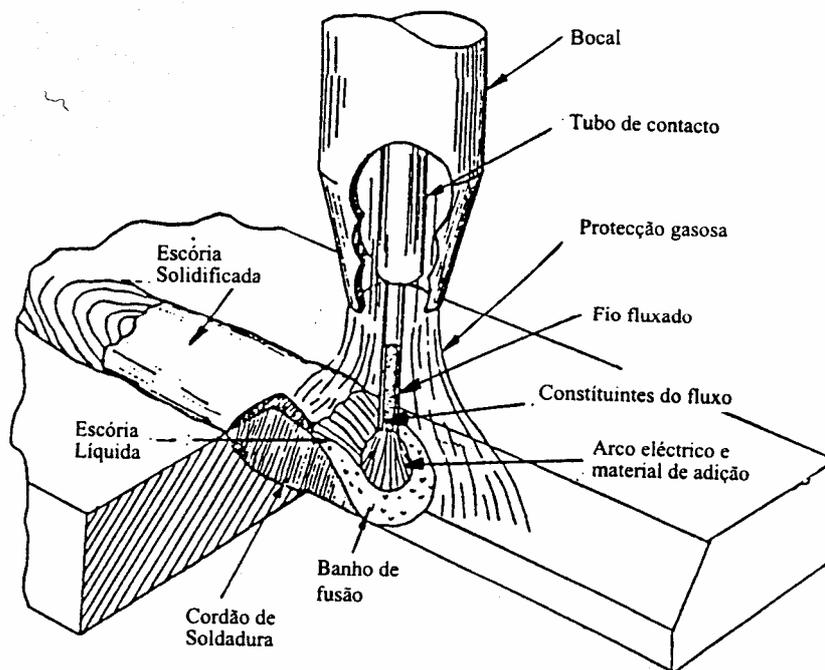


Figura 18 Fio fluxado com protecção gasosa

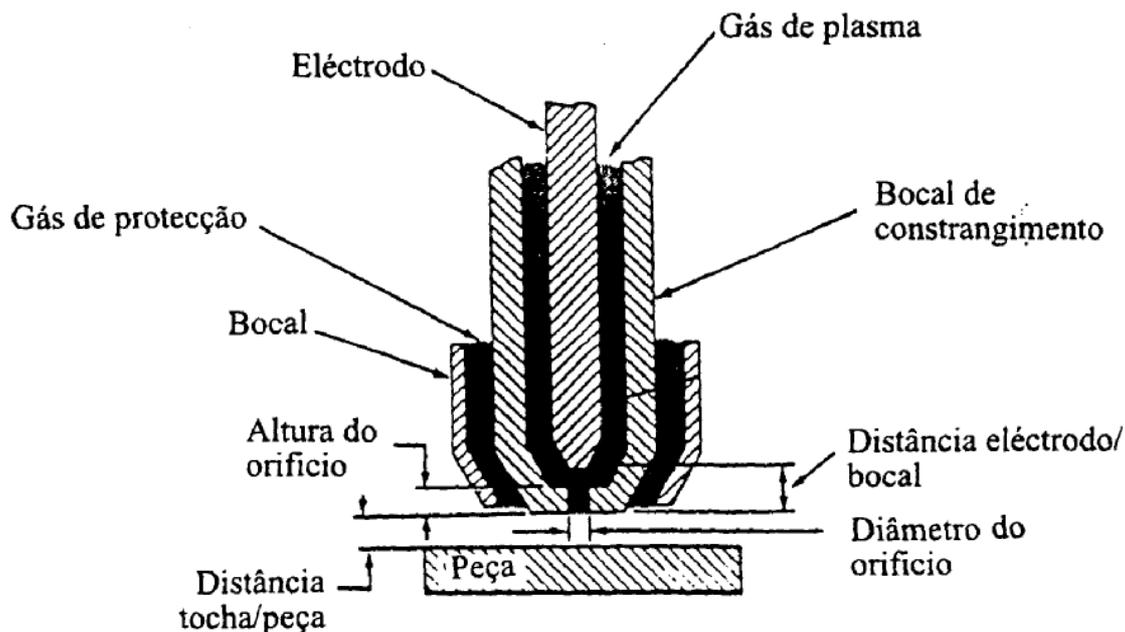


Figura 19 Tocha da soldadura por plasma

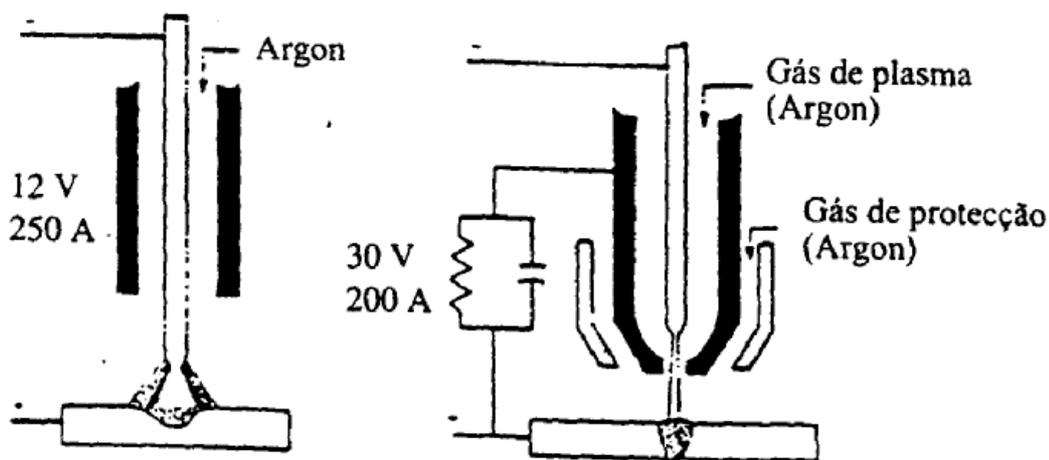


Figura 20 Forma da coluna de arco em TIG (esquerda) e Plasma (direita)

## 4.5 Soldadura por arco eléctrico

### 4.5.1 Fundamentos

Os gases, que são neutros em condições normais, são ionizados quando é aplicado um potencial eléctrico superior a um certo valor, designado por potenciais de ionização. Os átomos dos gases são dissociados em iões positivos e em electrões.

Este potencial de ionização corresponde a energia que é medida em electrões-volt, correspondendo a energia recebida por um electrão, quando um campo eléctrico é acelerado, através de uma diferença de potencial de 1 V.

Num gás ionizado, os iões positivos movem-se na direcção do cátodo e os electrões movem-se na direcção do ânodo, permitindo a condução de electricidade num gás, o que é designado por descarga gasosa.

Consoante as condições de voltagem e de intensidade de corrente, são possíveis diversos tipos de descargas:

- Faísca e ruído (elevada voltagem, instável, fugas)
- Clarão (pressão, baixa intensidade, elevada voltagem - pode ser estável e permanente)
- Arco (baixa voltagem, elevada intensidade - pode ser estável e permanente)

Destas descargas, a única aproveitável para fins de soldadura é o arco.

O arco eléctrico estabelecido entre um eléctrodo e o metal base (peças a soldar), ao ar pode ser controlado através da resistência de atmosferas envolventes formadas com esse mesmo objectivo.

Citaremos, como exemplo, os elementos alcalinos, que têm potenciais de ionização inferiores à maioria dos elementos e, assim, são usados como estabilizadores nos revestimentos dos eléctrodos. Os gases inertes, usados como atmosferas envolventes na soldadura, MIG e TIG têm potenciais de ionização elevados.

O arco eléctrico corresponde a uma libertação de energia; esta energia vai ser aproveitada para fundir a superfície exterior da junta de ligação e para fundir o metal de adição.

Nos diversos tipos de arcos de soldadura existem três tipos de movimento de partículas:

- Os electrões que partem do cátodo e vão bombardear o ânodo
- Os iões positivos que retornam na direcção do cátodo
- Os iões negativos, tais como os do oxigénio, que caminham na direcção do ânodo.

Uma vez que a mobilidade dos electrões é muito maior do que a dos iões (100 vezes superior), a maior parte da corrente eléctrica é transportada pelos electrões.

No arco eléctrico podem-se distinguir três zonas:

- Zona de estrição catódica
- Zona de estrição anódica

Coluna de arco plasma (gás fortemente ionizado mas electricamente não condutor e que é caracterizado por uma elevada temperatura, onde o potencial é constante.

A energia dissipada no cátodo é gasta para libertar e acelerar os electrões e, também mas em menor parte, convertida em calor.

No ânodo, a somar à energia devida à queda de potencial, existe a energia cinética devida ao choque dos electrões, sendo toda ela transformada em energia calorífica. Conclui-se, portanto, que a maior libertação de energia se dá no ânodo.

Na figura 5.11 são indicados os diagramas tensão vs. intensidade para os casos de baixa, média e elevada intensidade de corrente, de arcos de comprimentos  $L$  diferentes ( $L_2 > L_1$ ).

Na figura 5.12 são indicadas as características estáticas das máquinas de soldadura com os respectivos pontos de funcionamento ( $S_1$  e  $S_2$ ).

Por razões de segurança, o potencial em vazio das máquinas ( $V$  para  $I=0$ ) é da ordem dos 80 V (pontos P) (o potencial de descarga mínima no ar é de 80 V).

As máquinas de soldadura são, basicamente, geradores de energia eléctrica com diversas características adequadas aos processos de soldadura onde vão ser usadas.

Existem:

- Máquinas de corrente contínua (CC)
- Máquinas de corrente alterna (CA)

As primeiras podem ser ligadas com polaridade directa (PD) ou com polaridade inversa (PI); nesta última, o eléctrodo é o polo positivo.

O uso de um determinado tipo de máquina está associado ao processo, aos materiais, às posições de soldadura e às dimensões (espessuras) das peças.

O modo de transferência do metal de adição, quando fundido, pode ser feito das seguintes formas:

- Metal pulverizado (5.3.b)
- Transferência globular (baixa intensidade, arco comprido)
- Curto circuito (usado com atmosfera  $CO_2$  em aços)

O modo de transferência depende, essencialmente, da intensidade da corrente; a transferência de pulverizado para globular dá-se a um valor de intensidade de corrente bem definido que se designa por corrente de transição.

Existem alguns casos onde não há corrente de transição, como por exemplo:

- CPD + eléctrodo de aço + atmosfera Argon – Sempre globular
- CC + eléctrodo de aço + atmosfera  $CO_2$  – Sempre globular
- CC + eléctrodo de aço + atmosfera Hélio – Sempre globular
- CC + eléctrodo de aço + atmosfera 80% Hélio +20% Argon – Pulverizado com boa penetração

As forças que actuam sobre a transferência do metal de adição são as seguintes:

- Força gravitacional (pouco importante se a transferência for de metal pulverizado)
- Tensão superficial
- Forças electromagnéticas
- Forças do arco
- Erupções gasosas

#### 4.5.2 Escorvamento do arco

O escorvamento consiste na iniciação do arco no início de uma qualquer soldadura.

O escorvamento é feito, estabelecendo o curto circuito entre o eléctrodo e a peça, depois de se ter ligado a máquina. O soldador toca com o eléctrodo na peça, a tensão cai e a intensidade de corrente aumenta rapidamente. Quando se afasta o eléctrodo, a voltagem e a intensidade de corrente variam no sentido inverso (V aumenta e I diminui).

Entretanto, o aumento de I dá origem a uma libertação de calor elevada que faz fundir a extremidade do eléctrodo e, também, vaporizar algum desse material, sendo o escorvamento executado.

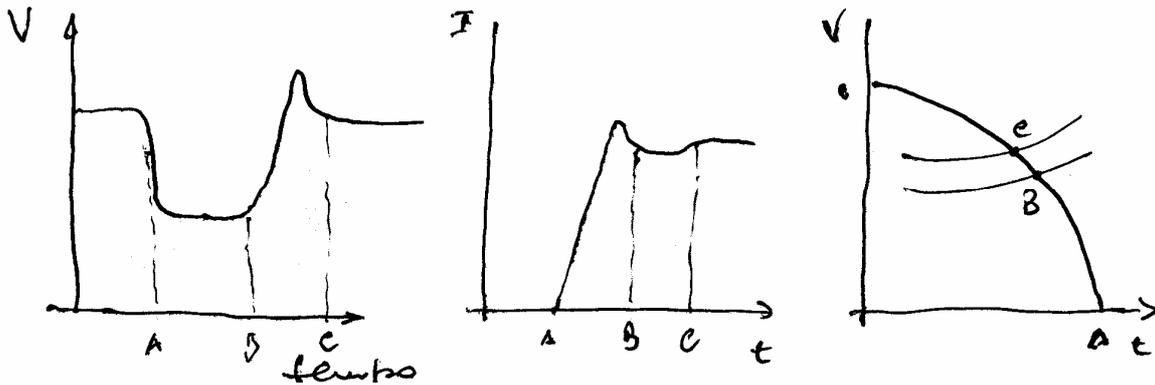


Figura 21

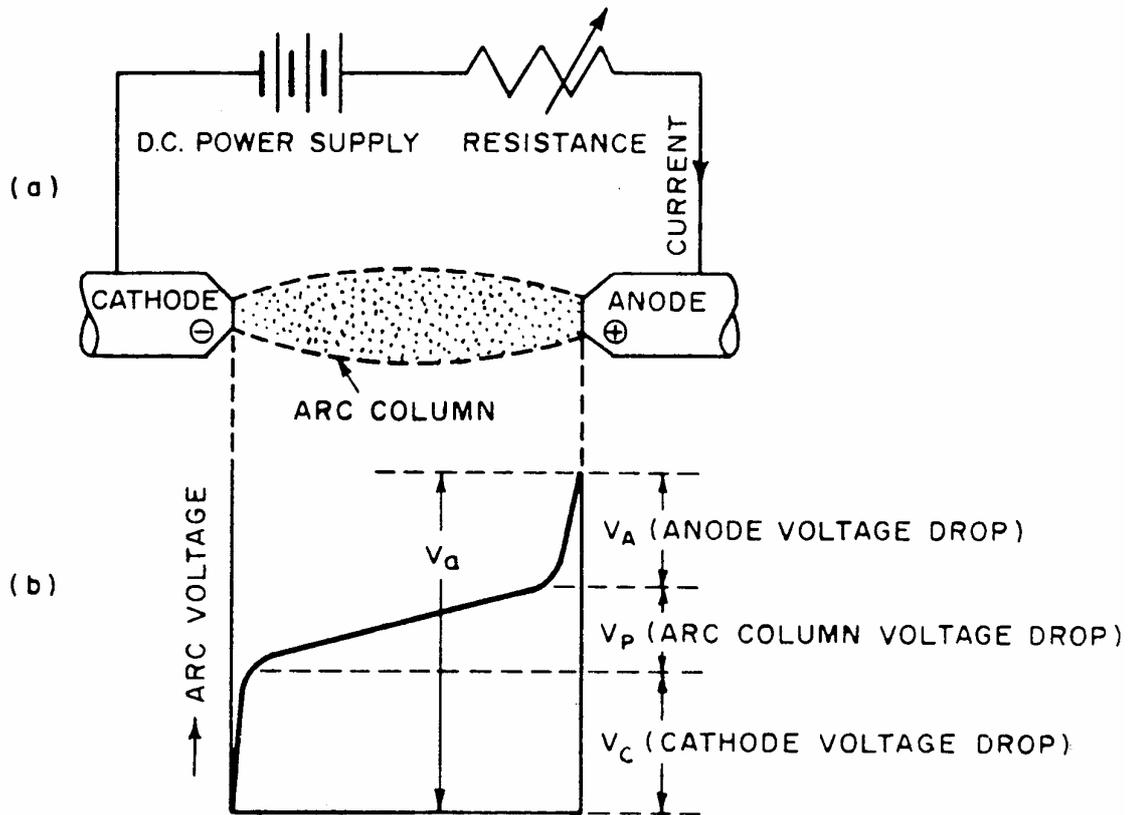


Figura - Estrutura de um arco eléctrico

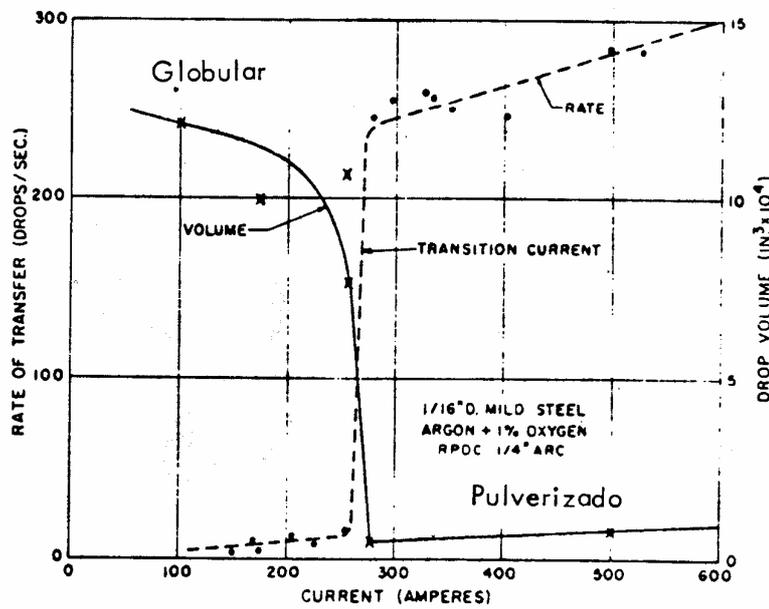


Figura 22 Efeito da intensidade de corrente na transferencia do metal de adiçao

### 4.5.3 Parâmetros de soldadura (variáveis independentes)

Existem alguns elementos a considerar na execução da soldadura que devidamente considerados criam as condições necessárias de execução do cordão, com as características requeridas: são os parâmetros de soldadura.

- Corrente
- Voltagem
- Velocidade de avanço
- Velocidade de alimentação do eléctrodo

São estas variáveis independentes os principais elementos a controlar pelo operador, e com os quais se obtém a energia calorífica fornecida, a quantidade de metal depositado, etc.

Soldadura Manual: estabelecidos I e V, na máquina

Soldadura Semiautomática: estabelecidos I, V e velocidade de alimentação do eléctrodo.

Soldadura automática: estabelecidos I V, velocidade de alimentação do eléctrodo e velocidade de avanço do cordão.

Nota: A velocidade de alimentação do eléctrodo está relacionada com a velocidade de fusão.

A energia ou calor introduzido na peça pela soldadura por arco é

$$h=60 VI/v \text{ (J/cm) (também se designa por entrega térmica)}$$

$$v = \text{a velocidade de avanço em cm/s.}$$

$$h=24 \times 60 VI/v \text{ (cal/s/cm)}$$

O calor gerado pelo arco dissipa-se na peça a soldar, por condução térmica, no eléctrodo por condução térmica e para fundir o seu extremo na atmosfera que rodeia o arco, por radiação.

O calor transferido não é integralmente aproveitado na soldadura propriamente dita.

A quantidade de calor aproveitada é indicada pelo rendimento do arco  $\mu$  sendo a potência calorífica efectiva Q a seguinte:

$$Q= \mu \ 24 VI$$

Valores típicos de rendimento do arco

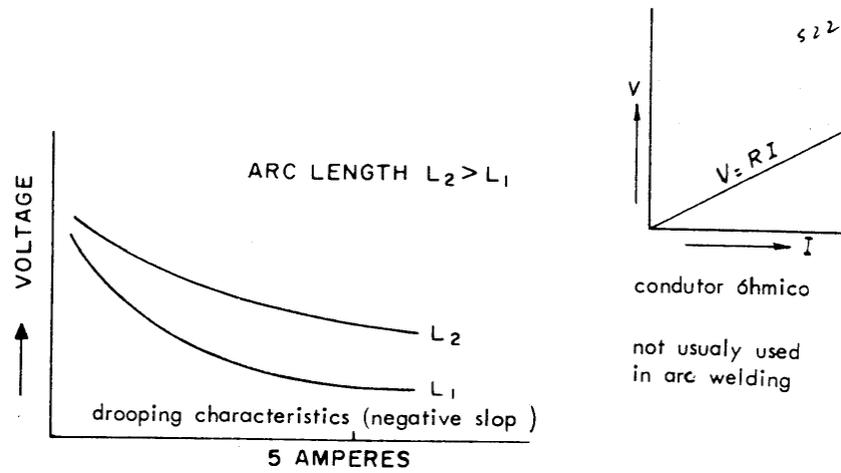
Arco submerso 90 a 99%

Eléctrodo Revestido - aço macio 75 a 85%

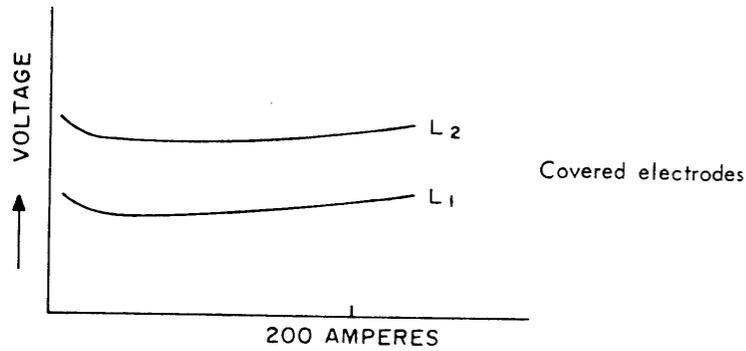
Soldadura com atmosfera envolvente

- aço macio 66 a 85%
- MIG - Alumínio: 70 a 85%

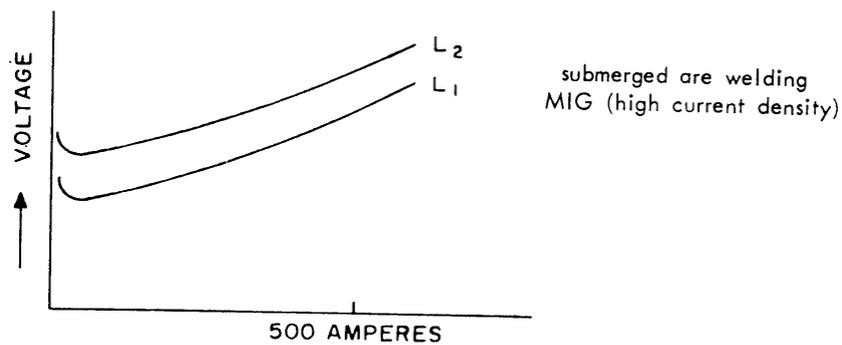
- MIG - Aço: 66 a 70%
- TIG - Aço 22 a 48%
- TIG - Alumínio (ac): 21 a 43%



a. LOW-CURRENT ARCS, UP TO ABOUT 5 AMPERES



b. MEDIUM-CURRENT ARCS, UP TO ABOUT 200 AMPERES



c. HIGH-CURRENT OR HIGH-CURRENT-DENSITY ARCS

**Figura 23** Curvas características dos arcos

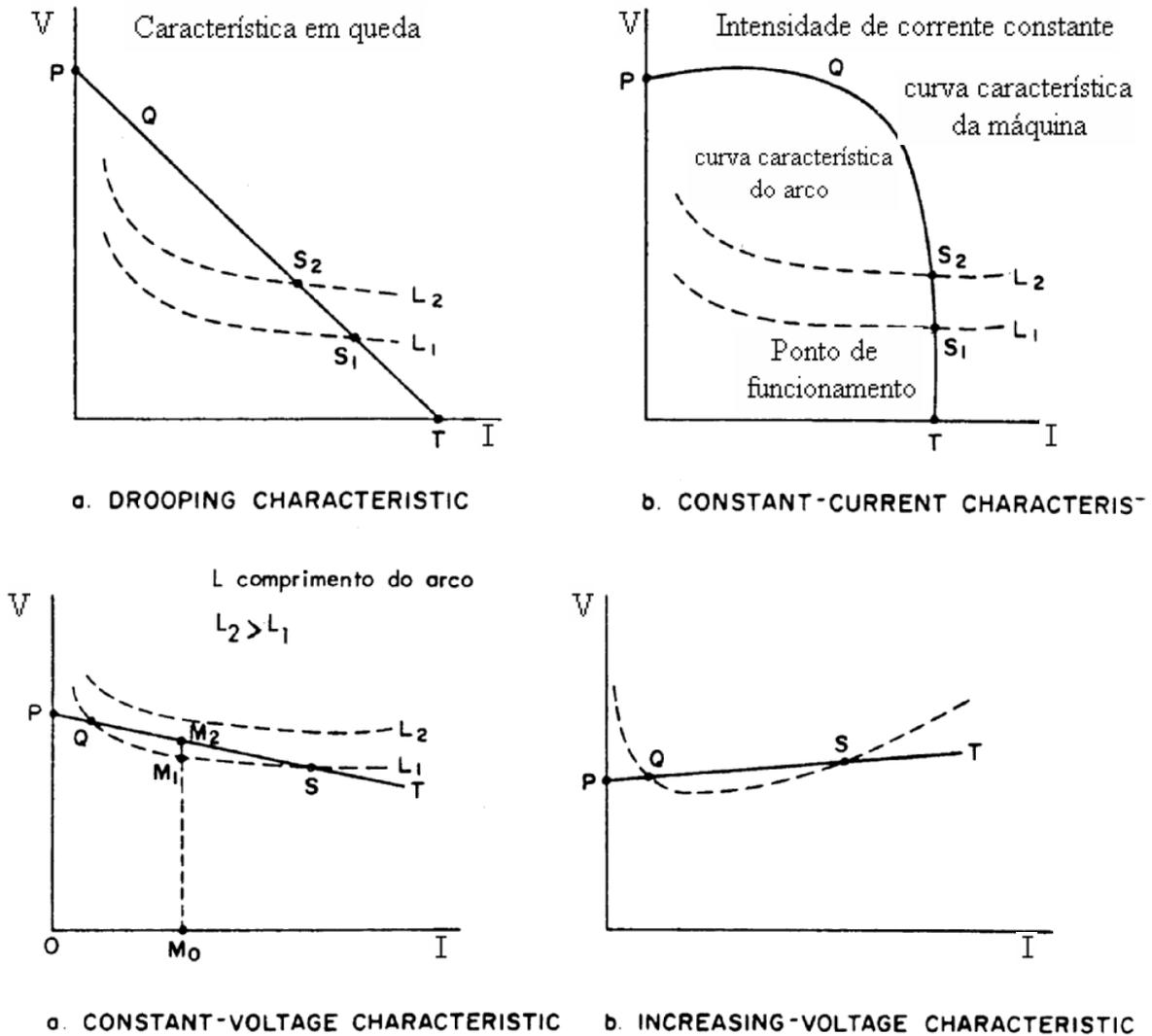


Figura 24

## 4.6 Eléctrodos e consumíveis

Os eléctrodos que constituem um polo que permite o estabelecimento do arco entre ele e a zona a ligar por soldadura podem ser consumíveis (metal de adição) ou não consumíveis (fabricados em material refractário).

Os eléctrodos não consumíveis são, normalmente, feitos de Tungsténio ligado com sódio ou metal afim.

Os eléctrodos consumíveis são fabricados em materiais que constituem o todo ou parte do metal de adição.

Os eléctrodos podem ser revestidos por um fluxo de revestimento cujas propriedades e funções já foram mencionadas anteriormente.

#### 4.7 Comparação entre os diversos processos de soldadura por arco

1 – melhor / alto 6 – pior ou baixo	Eléctrodo revestido	Soldadura por gravidade	Arco Submerso	Electroesc. Electrogás	MIG	TIG
<b>Velocidade de deposição do material</b>	4	3	2	1	5	6
<b>Custo do Equipamento</b>	6	5	2	1	3	4
<b>Propriedades mecânicas (Resiliência)</b>	3	4	5	6	2	1
<b>Posição</b>	Todas	Ao baixo	Ao baixo	Vertical	Tod.	Tod.
<b>Custo (valor relativo)</b>	1-2	2	3-40	4-60	4	2-20
<b>Opinião geral</b>	O mais versátil	Não requer treino especial	Maior velocidade de produção	Não requer muita preparação dos bordos. Sofre o efeito do vento (o electrogás)	Fácil de iniciar o arco. Sofrem o efeito do vento	

#### 4.8 Execução das soldaduras

Executar soldaduras, consiste na utilização da técnica correcta para o método decidido e para as características dos materiais a juntar. Esta técnica é não só a imposição do cordão com as dimensões, parâmetros de soldadura, características do eléctrodo adequadas, mas também com o pré aquecimento, sequência de imposição de cordões, tratamento térmico, medidas correctivas de reparação dos cordões ou de recuperação dimensional (correção de deformações) a partir dos resultados controle de qualidade adoptada.

Neste grupo de operações que vão desde a execução de um projecto que inclui soldadura até à sua entrega como produto terminado, são os campos de actividade principal do engenheiro que se dedica à soldadura (a contribuição do engenheiro de soldadura para o projecto e outras actividades fabris é também importante, mas não se desenvolvem aqui porque estão fora do âmbito deste trabalho).

Na necessidade de executar qualquer junção, quer seja construção ou reparação, há que fazer várias perguntas antes de executar o trabalho propriamente dito:

- a) Quais os materiais ou material em presença?
- b) Qual o objectivo da execução da soldadura da peça?
  - vedar

- pressão interior
  - compressão
  - encastramento
  - união estrutural
- c) Qual a magnitude dos esforços a que a peça se vai submeter?
- d) Que métodos de soldadura posso usar? Qual o mais conveniente?
- e) Qual os parâmetros de soldadura e os características dos eléctrodos a usar?
- f) Quantas passagens e qual a sequência de soldadura que devo usar?
- g) Como devo restringir mecanicamente as peças a unir para evitar deformações?
- h) É necessário pré ou após aquecimento? Qual o controle no decréscimo da temperatura após a imposição do cordão?
- i) Devo aliviar tensões residuais? Qual o método?
- j) Onde devo usar os END's? Quais? Onde?

Como podemos reparar esta lista mistura partes que podem ser de “projecto” com as de execução propriamente dita como acima a definimos.

A conciliação dos projectos com as execuções é necessária porque:

Os cálculos são feitos de forma idealista os materiais são contínuos (sem defeitos) homogéneos, isotrópicos (excepto os materiais fibrosos), a forma é perfeita e não há tensões residuais. A realidade mostra, que existem defeitos, os materiais não são homogéneos, não têm formas perfeitos e existem tensões residuais. Na sua forma mais elementar esta conciliação é conseguida através de factores de segurança arbitrários. Como se disse, o processo tecnológico de soldadura é susceptível de defeitos, quer de natureza interna nos cordões soldados e zonas contíguas (zona afectada pelo calor – ZAC) quer de natureza externa, tensões residuais e deformações – ver Figura 26 e Figura 27.

DEFEITOS DIMENSIONAIS

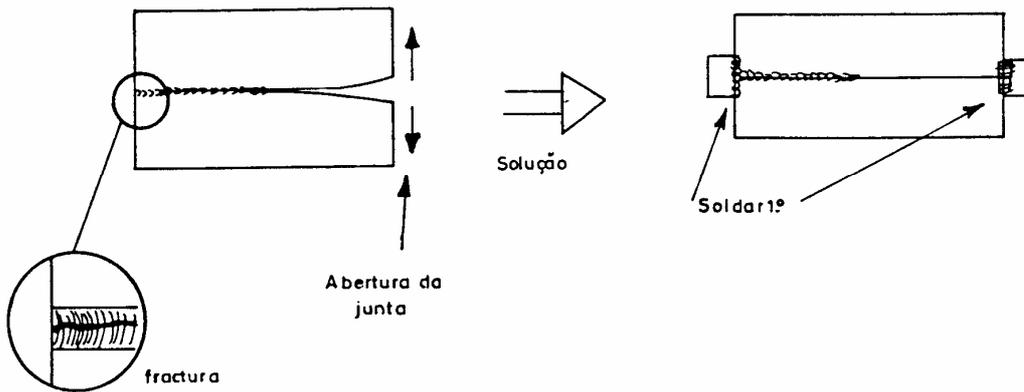
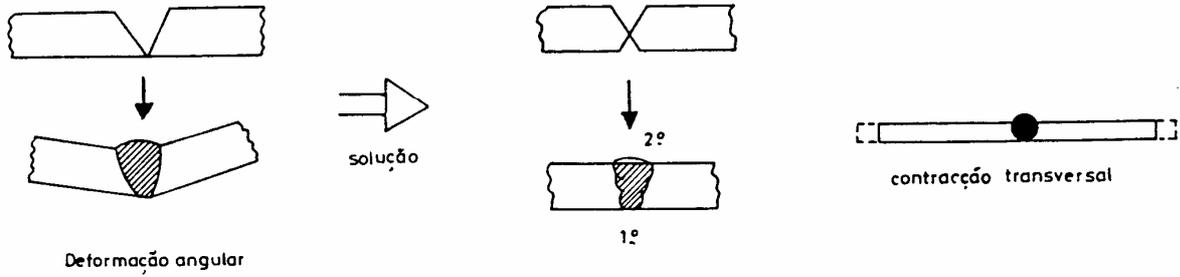
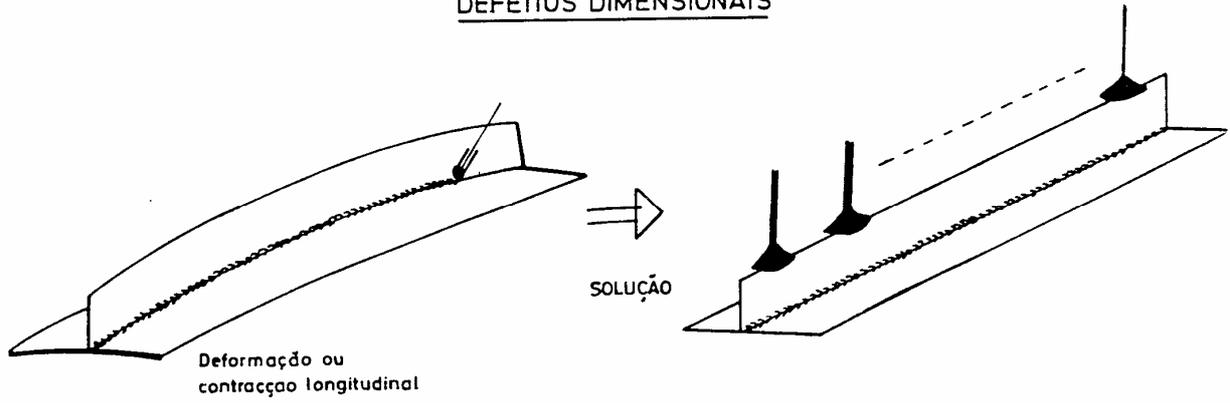


Figura 25 Defeitos de soldadura

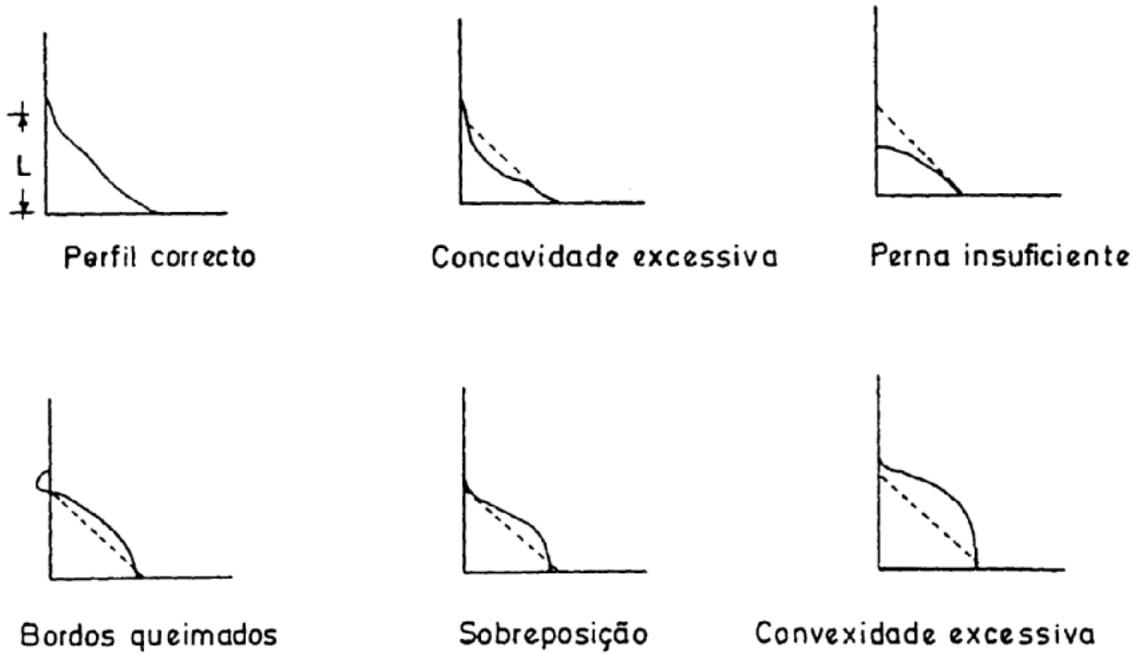


Figura 26 Defeitos dimensionais

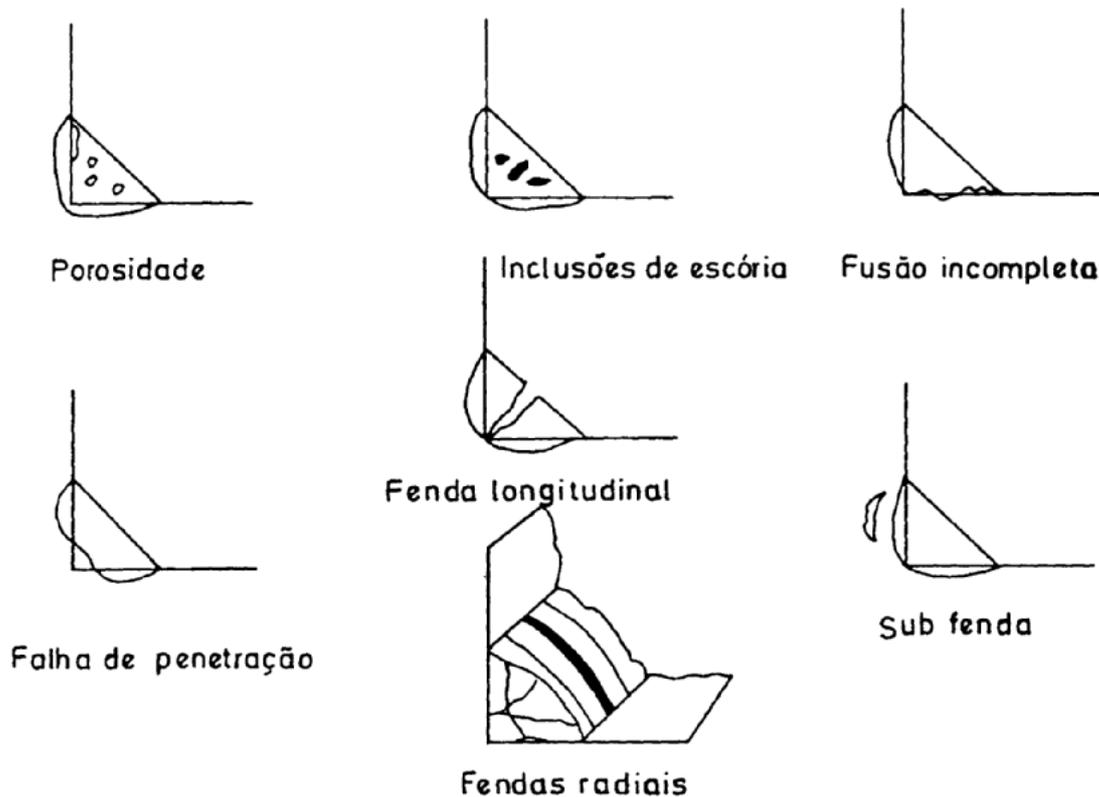


Figura 27 Defeitos estruturais

## 4.9 Brazagem e soldobrazagem

Trata-se de processos afins da soldadura em que apenas existe fusão do metal de adição e não do metal de base. A união metalúrgica entre as peças a soldar e o metal

de adição após solidificação devido ao mecanismo da capilaridade que permite que o metal de adição fundido interpenetre o metal base devido à atracção capilar.

Estes processos exigem o uso de um produto desoxidante e com outras propriedades, designado decapante, que faz parte integrante deste processo.

As soldas para brazagem devem satisfazer as seguintes condições:

- ter um ponto de fusão nitidamente inferior aos dos materiais a soldar
- molhar francamente as superfícies da junta e ser suficientemente fluído para penetrar nela por capilaridade
- efectuar uma ligação metalúrgica com o metal base produzindo uma junta com suficiente resistência mecânica à corrosão.

As ligas adequadas para brazagem devem ter no seu diagrama de equilíbrio um ponto eutético para garantir que, a uma temperatura inferior à de fusão do metal base, mantêm uma fluidez suficiente para o processo de ligação.

Os processos de brazagem permitem as seguintes vantagens:

- Menor consumo de energia
- Menor deformação da peça por sofrer menor aquecimento
- Menor tendência para modificar a estrutura base e, portanto, as respectivas propriedades
- Melhor acabamento.

Este processo apresenta como desvantagens uma menor resistência mecânica das juntas e é, em geral, um processo mais lento.

## 5 Fundição

**Fundição** é um processo de enformação no estado líquido, seguido de solidificação. Dá-se também a designação de fundição ao acto de fundir os metais ou as ligas metálicas, à obra fundida e ainda à oficina onde o processo é praticado.

O objectivo deste processo tecnológico é, pois, obter peças com propriedades determinadas e com forma, dimensões, acabamento e tolerâncias desejadas.

O processo da fundição consiste em fundir os metais ou as ligas metálicas, lançá-los em colheres, vazá-los para os moldes abertos em areias ou noutros materiais, por meio de modelos rígidos e em seguida deixá-los solidificar; posteriormente procede-se à extracção da peça que é submetida às operações de limpeza e acabamento.

A passagem da matéria em fusão designa-se por coada ou vazamento.

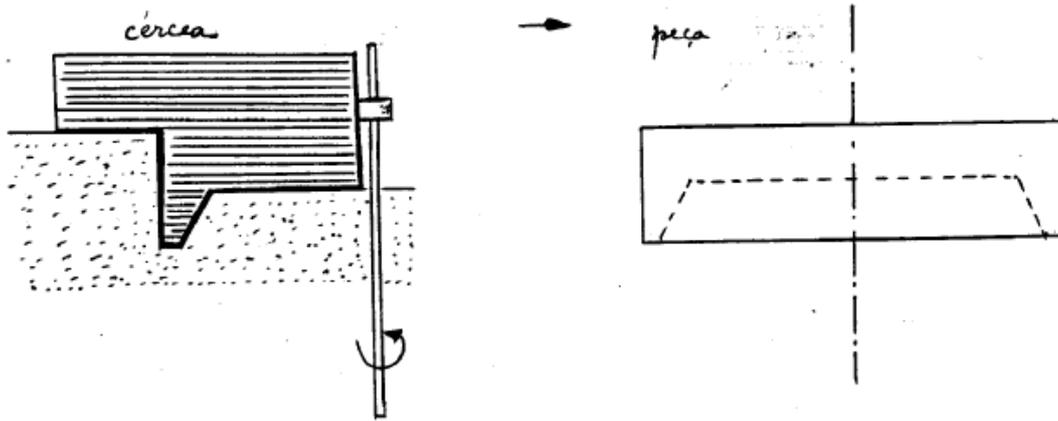
### 5.1 Principais fases do processo de fundição

1. Projecto e desenho
2. Execução do modelo
3. Cálculo da lotação das matérias-primas
4. Processos de fusão
5. Fabrico da modelação
6. Vazamento do metal fundido na modelação
7. Solidificação e arrefecimento
8. Desmoldação
9. Acabamento

### 5.2 Propriedades dos Modelos

1. Facilidade de desmoldação ou de extracção
2. Compensação dimensional da contracção do material ao solidificar
3. Funcionalidade ou congruência: devem ser práticos, precisos, duradouros e úteis

No caso de fundição de peças de revolução é possível executar moldes sem um recurso a modelos, usando cérceas, que são peças planas que, rodando em torno dum eixo de simetria, produzem a forma da peça a fundir. (Ver Figura 28)



**Figura 28 Fundição de peças de revolução**

A fundição é um processo muito antigo, com elevado interesse económico, sobretudo com peças de elevada produção, onde é possível rentabilizar os custos dos modelos e dos moldes.

Para certos tipos de componentes, de formas complexas, é o único processo admissível na medida em que nenhum outro consegue realizar o que foi concebido no projecto.

A aptidão para o vazamento dos diversos materiais metálicos, está relacionada com a capacidade de o material fundido preencher a forma complexa do molde.

Alguns problemas inerentes ao processo de fundição são:

- porosidade interna
- variações dimensionais causadas por contracção
- inclusões sólidas e gasosas que não se libertaram durante o processo de solidificação

A minimização destes problemas ou a sua eliminação, pode resolvida com uma adequada concepção da peça e do molde e por uma correcta prática de fundição.

A fundição tem de ser sujeita a ensaios não destrutivos após execução para garantir a respectiva qualidade. As peças que não tiverem qualidade aceitável serão rejeitadas.

Os aspectos relativos às características dos materiais que têm incidência directa na aptidão para o vazamento são:

- boa fusibilidade (baixa temperatura de fusão e baixo calor específico)
- boa fluidez (facilidade de correr por canais estreitos)
- estabilidade química relativamente ao ar, refractários e materiais de moldação
- capacidade de “não molhar” (no wetting) os materiais dos moldes e dos refractários (não devem interpenetrar ou emulsionar os materiais com que estabelecem o contacto, devem ter uma elevada tensão superficial)
- aptidão para o corte por arranque de aparas (maquinabilidade)
- baixo coeficiente de contracção
- pequena capacidade de absorção de gases

Os metais puros são raramente sujeitos ao processo de fundição porque têm uma elevada contracção e são demasiado macios e fracos para aplicações industriais com

valor económico. Assim, as fundições são geralmente executadas com ligas metálicas que permitem uma maior resistência mecânica e que permitem um ponto de fusão baixo, o que é altamente vantajoso para efeitos de redução de custos na fusão dos materiais.

Os processos de fundição apresentam diversas formas, como a seguir se indica:

- fundição em areia (molde destrutível)
- fundição em coquilha ou molde metálico (molde permanente)

A coquilha apenas pode ser usada com fundição de materiais com baixo ponto de fusão e onde não seja prejudicial o arrefecimento rápido da peça fundida.

A fundição em areia pode ser realizada de diversas formas:

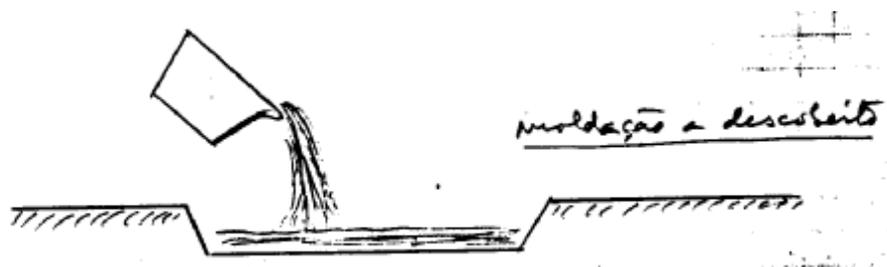
- moldação a descoberto
- moldação em fossa
- moldação em caixa (a mais usada) – ver Figura 31

O tipo de encalque (operação destinada a garantir o completo preenchimento do molde pelo material em fusão), pode ser o seguinte:

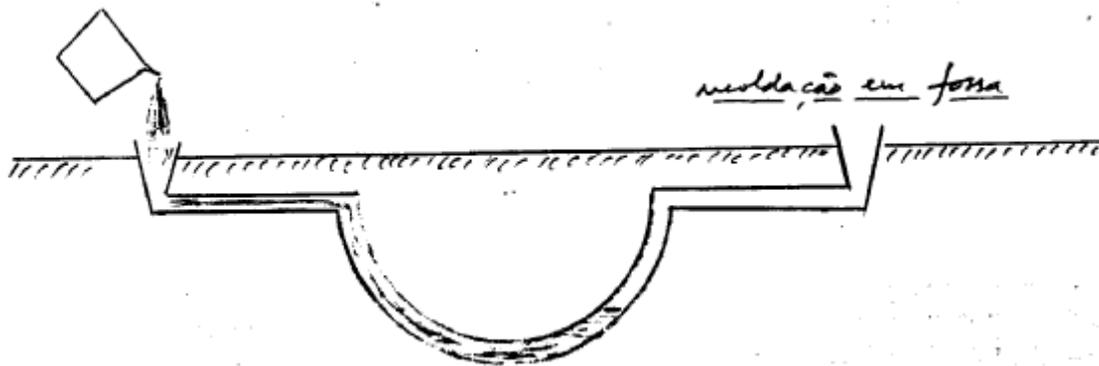
- pressão
- vibração
- choque
- vibração e pressão
- projecção centrífuga
- projecção pneumática

As areias de fundição são constituídas principalmente por sílica livre, sílica (O Si) e alumina (O Al) em percentagens variadas; além destas existem outros materiais como óxido de ferro, cal, soda, potassa, etc., que se juntam com o objectivo de melhorar as características das areias para o objectivo de fabricar moldes.

As areias devem ter plasticidade e coesão, devem ser refractárias e devem ter permeabilidade aos gases.



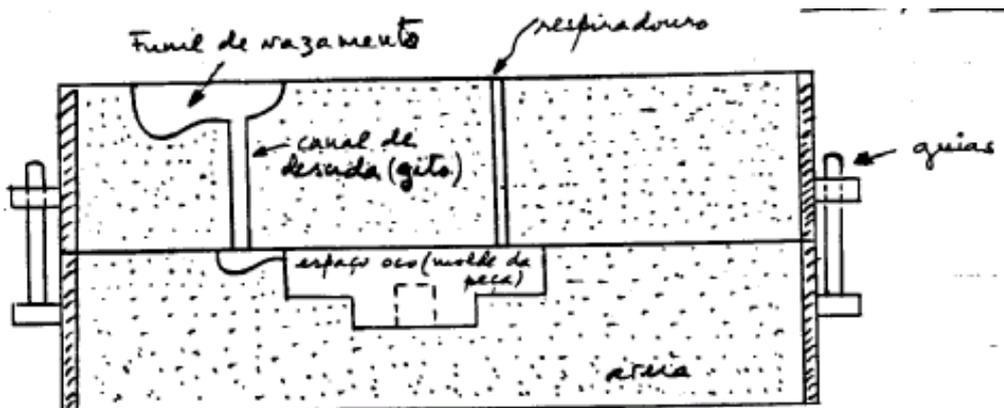
**Figura 29**      **Moldação a descoberto**



**Figura 30** Moldação em fossa

Areia:

- verde (húmida)
- tostada (secagem superficial)
- recozida (estufada)
- negros – matérias que protegem os moldes e os machos de vitrificação e facilitam a limpeza das peças.



**Figura 31** Moldação em caixa de 2 partes

A retirada da peça do molde, após solidificação, designa-se por desmoldação.

O enchimento pode ser exclusivamente por gravidade, sem encalque.

### 5.3 Tipos de Fundição

#### 5.3.1 Fundição centrífuga

Este tipo de fundição, com cerca de 40 anos, foi desenvolvido para o fabrico de tubos de ferro fundido, quer em moldes de areia, quer em moldes metálicos; nessa altura, este fabrico teve uma importância fundamental, porque os processos de laminagem e de soldadura para fabrico de tubos, ainda não estava desenvolvido.

Este processo, que basicamente corresponde ao vazamento num molde rotativo, apresenta como vantagem a obtenção de uma fundição compacta, homogénea, sem impurezas na massa metálica, portanto de melhor qualidade que a fundição por gravidade onde devido ao arrefecimento do exterior para o interior podem ocorrer zonas de crescimento de grão, zonas onde os gases não se tenham podido libertar e zonas de impurezas.

### **5.3.2 Fundição contínua**

Constitui um processo de fundição com molde metálico, de elevada mecanização, onde o produto é fundido continuamente segundo uma linha de produção.

O processo envolve uma fonte de liga em fusão, que é previamente preparada e introduzida num reservatório onde é mantida a uma temperatura adequada. O material fundido alimenta de forma contínua um molde que tem a capacidade de remover o calor rapidamente e solidificar o metal fundido. A fundição, depois de solidificada, é retirada do molde e cortada, de forma mecanizada. Este processo tem bastante aplicação em ligas de baixo ponto de fusão.

### **5.3.3 Fundição injectada**

Fundição que emprega moldes metálicos, nos quais o metal líquido é introduzido sob pressão. Permite obter peças em grandes séries, com dimensões precisas e que, por isso, não necessitam praticamente de maquinaria após fundição.

## 6 Tratamentos mecânicos

Embora os processos de deformação plástica produzam alterações superficiais, é costume utilizar esta designação para processos tecnológicos que alteram propriedades, mas não alteram a forma.

Os tratamentos mecânicos mais conhecidos são os seguintes:

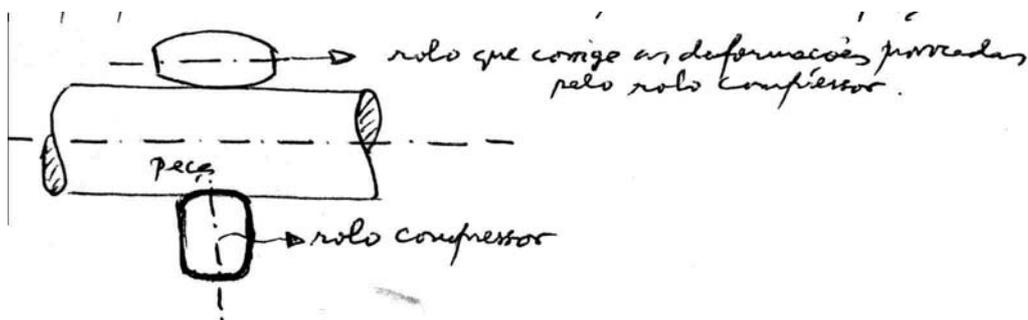
- martelagem
- grenalhagem
- “galetage”
- rodagem
- “over-stressing”
- “under-stressing”

Nos três primeiros processos, a superfície do material fica, após o tratamento, com tensões internas de compressão.

A martelagem é efectuada com martelo, cuja “praça” é projectada contra a superfície da peça.

A grenalhagem é efectuada através da projecção de partículas contra a superfície da peça.

A “galetage” é efectuada por meio de um rolo cilíndrico, com o “rasto” e com flecha, que é apertado contra a peça, provocando deformações permanentes na camada superficial, a qual é alargada preferencialmente na direcção axial da peça.



**Figura 32**

A rodagem consiste em fazer trabalhar um equipamento com cargas crescentes, até atingir a carga de serviço, após a construção ou após uma reparação de grande profundidade. O tratamento de rodagem pode ter várias finalidades, como sejam o polimento de superfícies sujeitas a atrito, o endurecimento dessas superfícies provocado por alteração de fase ou por redistribuição ou reorientação destas e por ser simultaneamente um tratamento de “under-stressing”.

Por vezes chama-se rodagem propriamente dita, ao tratamento que dá origem à alteração das fases à superfície, de modo a provocar um endurecimento.

- O “under-stressing” é o tratamento que consiste em submeter a peça a tensões inferiores à resistência à fadiga de material e sucessivamente de modo a aumentar a resistência à fadiga.
- O “over-stressing” é o tratamento que se faz com tensões inicialmente superiores à resistência à fadiga, mas abaixo da curva de dano.

As curvas de benefício e de prejuízo ou dano, relacionadas com as tensões aplicadas e com o número de ciclos, estão relacionadas com a curva de Wöhler.

Os tratamentos mecânicos de compressão, visam aumentar a resistência à fadiga dos materiais e também a sua resistência à corrosão. Os tratamentos de martelagem e de grenalhagem usam-se, por vezes, para tornar estanques peças porosas ou com fendas; de notar que embora se verifique vedação, não há aumento de resistência.

## 7 Tratamentos térmicos

São processos de alteração de propriedades do material, através da alteração da sua estrutura metalúrgica; não se prevê a alteração da forma das peças, no entanto podem ocorrer pequenas variações dimensionais. Estes processos destinam-se a melhorar as características mecânicas dos materiais e consistem basicamente num aquecimento seguido de um a arrefecimento destinados a:

1. alterar o estado de tensões internas
2. alterar a dimensão do grão
3. alterar as fases
4. alterar a composição (tratamentos termoquímicos)

O ciclo de aquecimento e de arrefecimento (velocidade de variação de temperatura, tempos de permanência a determinadas temperaturas) e a atmosfera que envolve a peça durante o aquecimento e o arrefecimento são perfeitamente definidos de acordo com o tratamento que se pretende fazer.

Os princípios dos tratamentos térmicos, isto é, as razões pelas quais é possível fazer estes tratamentos derivam de:

2. às diferentes temperaturas, os estados da matéria serem diferentes;
3. a temperatura influenciar fortemente a velocidade de difusão;
4. a velocidade de germinação das fases metalúrgicas e o seu crescimento serem também função da temperatura.

Os principais parâmetros dos tratamentos térmicos são os seguintes:

- composição do material
- “história” térmica do material
- história mecânica do material
- ciclo de aquecimento (tempo e temperatura atingida)
- velocidade de arrefecimento

Os tratamentos são realizados com o seguinte equipamento:

- fornos ( de irradiação, de condução)
- aparelhagem de controlo de temperatura
- banhos de arrefecimento
  - no forno
  - ao ar
  - banhos especiais

Os tratamentos térmicos tecnicamente disponíveis são diversos; a sua especificidade aconselha a que sejam tratados na altura em que se fizer referência aos materiais.

Convém desde já referir que, sendo os tratamentos térmicos preferencialmente efectuados em fornos, existe forte limitação no seu uso em construção naval, dada a dimensão das estruturas em causa.

## 8 Tecnologia de fabrico

Efectuado o projecto de engenharia, a materialização de um navio e dos diversos elementos componentes deve ser realizada. Deve, então, proceder-se ao estudo da construção definindo-se o quê, como, onde e quando se deve realizar os diversos processos operatórios (processos tecnológicos) necessários à construção do navio.

O estaleiro naval é um estabelecimento industrial projectado para a concretização da construção dos navios, através de uma sequência lógica e eficaz de operações tecnológicas. O estudo geral da disposição dos diversos meios fabris é feito na disciplina de Tecnologia de Estaleiro. Na presente disciplina aborda-se apenas os tópicos elementares, identificando-se as operações tecnológicas simples, as matérias-primas e as sequências elementares de operação.

Um dos aspectos importantes para a concretização dos navios, relaciona-se com a atribuição e quantificação dos meios e dos tempos de execução das diversas fases operatórias; também será tratado mais tarde na disciplina de Tecnologia de Estaleiro.

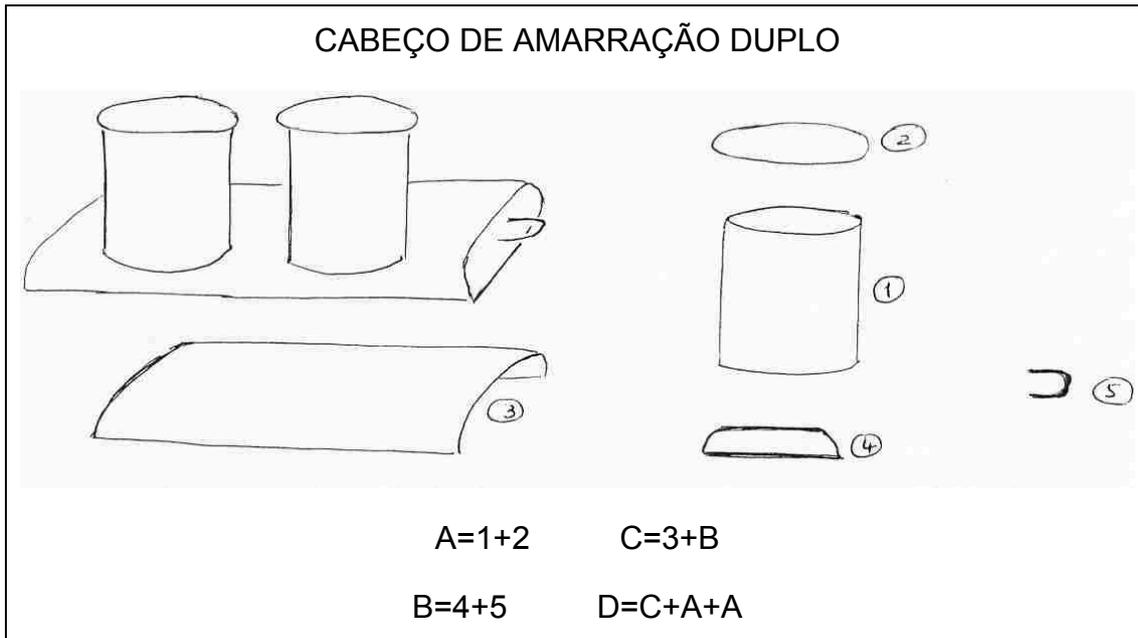
Nas páginas que se seguem, faz-se uma análise simplificada de um componente de um navio, identificando os seguintes aspectos:

- Identificação das peças simples o quê?
- Identificação da fase de fabrico quando?
- Identificação da matéria-prima como?
- Identificação das operações tecnológicas como?
- Identificação do processo de fabrico como?
- Identificação das máquinas ferramenta ou dos postos de trabalho onde?

A componente a analisar é um cabeço de amarração, destinado a permitir a amarração do navio aos cais e outras instalações, através do uso de cabos. As dimensões gerais e as espessuras dos componentes estão relacionadas com o tamanho da embarcação.

O cabeço em análise destina-se a ser soldado ao convés da embarcação, normalmente nas alhetas e amuras.

O olhal (5) destina-se a prender defensas destinadas a proteger a embarcação do embate no cais ou noutras embarcações, quando de braço dado.



PEÇA	QUANTIDADE	FASE DE FABRICO	MATÉRIA-PRIMA	DIMENSÕES	OPERAÇÃO	PROCESSO	MÁQUINA-FERRAMENTA OU POSTO DE TRABALHO
1	2	Traçagem / Marcação	Tubo c/ Costura	De acordo com o projecto de engenharia	Corte	Corte Térmico	Oxicorte
2	2	"	Chapa		"	"	"
3	1	"	"		"	"	"
3	1	"	"		Deformação Plástica	Dobragem	Calandra
4	2	"	"		Corte	Corte Térmico	"
5	2	"	Varão		"	Corte Mecânico	Serrote
5	2	"	"		Deformação Plástica	Dobragem	Manual
A	2	Pré-fabricação	"		Ligação	Soldadura	Soldadura Eléctrica
B	2	"	"		"	"	Manual
C	1	"	"		"	"	"
D	1	Montagem	"		"	"	"
D	1	Acabamento	"		Decapagem	Decapagem por abrasivo	Oficina de Decapaçem
D	1	"	"	Revestimento	Pintura à Pistola	Oficina de Pintura	

De notar que além dos processos principais, existem outras operações aqui não referidas e que são, por exemplo: traçagem e marcação, preparação dos chanfros para soldadura, controlo dimensional, controlo de qualidade das soldaduras, pesagem de D, etc.

De referir que se tratou de um exemplo, podendo haver várias soluções para fabricar o componente, sendo de usar a mais racional, compatível com os meios.



ASSOCIAÇÃO DAS INDÚSTRIAS NAVAIS  
COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO NAVAL

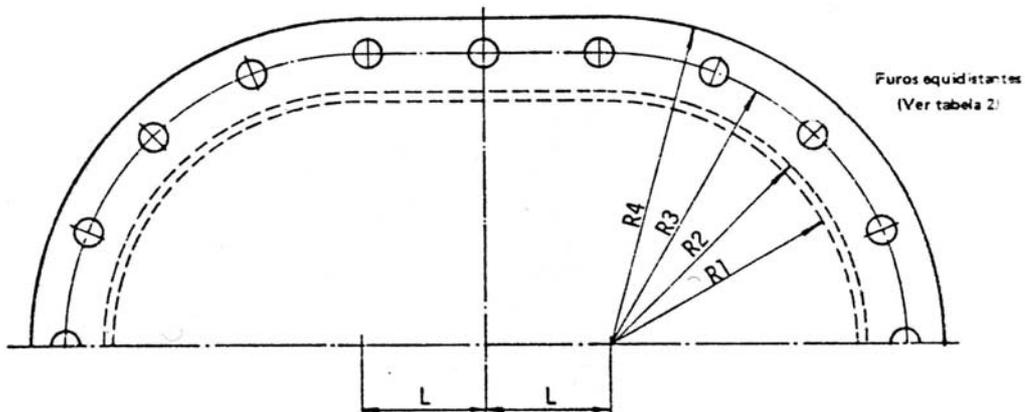
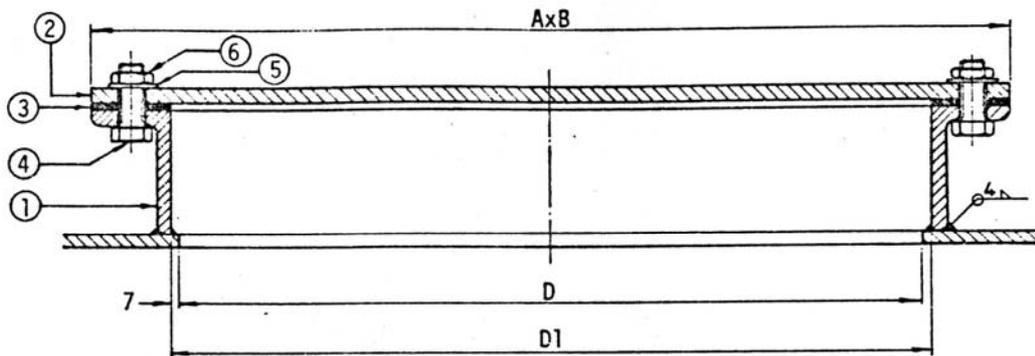
TN 226 C

NORMA NAV 545

VALIDA DESDE	EDIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO	PÁG.
1982-04-27	1	6431.222	1(3)

PUBLICAÇÃO FEITA POR COMISSÃO DE NORMALIZAÇÃO NAVAL - PORTUGAL - REPRODUÇÃO OU CÓPIA PROIBIDA SEM AUTORIZAÇÃO

PORTA DE VISITA  
modelo III  
manhole cover



Ex. Especific.: 6431 004 8 Porta de visita modelo III tipo A NAV 545.

PORTA DE VISITA

modelo III  
manhole cover

NAV 545

T 226 D

PAG. 2(3)  
EDIÇÃO 1

Tabela 1

Tipo	CODIGO
A	6431 004 8
B	6431 005 0
C	6431 006 1

Tabela 2

Tipo	D	D1	A	B	R1	R2	R3	R4	L	Nº de furos
A	500x350	514x364	644	494	175	182	215	247	75	16
B	600x400	614x414	744	544	200	207	240	272	100	16
C	700x500	714x514	844	644	250	257	290	322	100	20

Tabela 3

Posição desenho	Número de unidades	Designação	Material	Dimensões	Classe	Observações
6	Ver tabela 2	Porca sextavada	5 DIN 267	M 20 DIN 555		
5	Ver tabela 2	Anilha	Aço	22	2351.1	NAV 77
4	Ver tabela 2	Parafuso cabeça sextavada	5.6 DIN 267	M 20x50 DIN 933		Resistente à água salgada
3	1	Junta borracha	40 Shore A DIN 53505	5		
2	1	Tampa	Aço construção naval, c/grau de acordo com chipa do pavimento	12	1211.1	
1	1	Aro		100x65x12		

PORTA DE VISITA

modelo III  
manhole cover

NAV 545

PAG. 3(3)

EDIÇÃO 1

TW 226 E

1. INTRODUÇÃO

Esta norma define as dimensões e materiais das portas de visita (MANHOLE COVER) Modelo III utilizadas em construção naval.

2. CARACTERISTICAS

2.1 - Dimensões - De acordo com tabela 2

2.2 - Material - De acordo com tabela 3

2.3 - Acabamento - Decapada a grau Sa 2 1/2 (SIS 05 5900) e pintada com uma camada de primário anti-corrosivo

3. MARCAÇÃO

Em etiqueta apropriada onde deve constar o seguinte:

- . Nome do fabricante
- . Dimensões
- . Código do artigo

4. UTILIZAÇÃO

Em tanques pressurizados onde seja possível o alagamento dos pavimentos.

5. OBSERVAÇÕES

Para simbologia de soldadura ver NAV 438

6. BASE DE ELABORAÇÃO

DIN 53505 (1973)

SIS 05 5900 (1967)