

# O ENSAIO DE TRAÇÃO COMO MEIO DE QUALIFICAÇÃO DE CHAPAS FINAS PARA ESTAMPAGEM <sup>(1)</sup>

ALBERTO DE ALBUQUERQUE ARANTES <sup>(2)</sup>  
JORGE DO AMARAL CINTRA <sup>(3)</sup>

## RESUMO

*O presente trabalho analisa os mecanismos estruturais que ocorrem nos processos de deformação a frio, particularmente nas operações de estampagem. Correlaciona êsses mecanismos com parâmetros que podem ser obtidos nos ensaios de tração "verdadeiro" e demonstra experimentalmente como êsses parâmetros definem, de modo unívoco, os característicos de estampabilidade de chapas de aço de baixo teor de carbono.*

## 1. INTRODUÇÃO

Várias têm sido as tentativas para se estabelecer um método de ensaio de plasticidade de materiais metálicos que forneça um índice capaz de caracterizar quantitativamente aquela propriedade, visando o comportamento do material em operações de estampagem. Desde 1945 o Comitê de Pesquisa criado pela Jernkontoret (Suécia) tem desenvolvido um projeto com os seguintes objetivos:

- 1) Estudar os métodos de ensaios de chapas de aço para estampagem profunda;
- 2) Desenvolver um método mais eficiente, se possível; e
- 3) Estudar a correspondência entre os resultados de ensaios de laboratório e a prática.

---

(1) Contribuição Técnica nº 372; apresentada ao XIV Congresso Anual da ABM; Belo Horizonte, julho de 1959.  
(2) Membro da ABM; Assistente de Metalografia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; do IPT, São Paulo.  
(3) Membro da ABM; Assistente de Mecânica Geral da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; do IPT, São Paulo.

Em fevereiro de 1954, a Jernkontoret publicou um estudo dos métodos clássicos de embutimento mostrando as deficiências desses métodos<sup>1</sup>, os quais, como se sabe, constituem a técnica de ensaio de plasticidade de chapas, de emprêgo mais generalizado. Esses ensaios consistem em produzir uma calota esférica, ou um copo cilíndrico, determinando-se a quantidade de deformação necessária para produzir a ruptura, ou pela flecha da calota no início da ruptura, ou pela máxima relação  $D/d$  (diâmetro do disco a ser estampado/diâmetro do punção), que dê um produto sem defeitos. Esse método, apesar de bastante generalizado e adotado por tôdas as usinas produtoras de chapas, não dá resultados sistemáticamente reprodutíveis, nem diretamente extrapoláveis a problemas práticos de estampagem<sup>1</sup>, pois se baseia na determinação de uma deformação máxima, medida em condições padronizadas, e que não se relaciona de um modo simples com as características intrínsecas de plasticidade do material.

Decorrente da própria deficiência desse método de ensaio, cuja única justificativa para ter sido adotado é a da sua simplicidade, ainda permanece sem solução o problema de seleção de chapas de aço para estampagem. O segundo suplemento de "Metals Handbook", de agosto de 1955, apresenta um novo critério empírico proposto pelo "Committee on Formability of Steel Sheet" da ASM, que classifica os materiais segundo um critério de severidade de deformação que eles podem suportar em provas de estampagem de determinadas peças típicas. Pode-se desde logo criticar esse critério de caracterização das propriedades de um material, pelo fato do método de avaliação introduzir novas variáveis, alheias ao material (forma e natureza dos estampos, tipo de fixação das chapas, condições de atrito entre as chapas e os estampos, etc.) e que dificilmente poderiam ser padronizadas.

Se examinarmos o que acontece a um metal durante uma operação de estampagem, observaremos do ponto de vista estrutural dois fenômenos fundamentais, que deverão ser levados em conta em qualquer ensaio que se proponha a definir quantitativamente a plasticidade do material. Em primeiro lugar as deformações plásticas, que sempre ocorrem por mecanismos de escorregamento, maclação, rotação de contornos de grãos, etc., exigem certa quantidade de energia, que nos processos de estampagem resulta da aplicação de forças em certos pontos do material, que podem não ser necessariamente os pontos que deverão sofrer maiores deformações, isto é, o material que está sendo deformado, freqüentemente tem que transmitir esforços para provocar deformações em pontos afastados da área de aplicação da força externa. Em segun-

do lugar, iniciado o processo de deformação as características mecânicas do material que está se deformando já não serão as mesmas do material original, de modo que há uma mudança das propriedades mecânicas com a quantidade de deformação. A relação entre essa mudança de propriedades e a quantidade de deformação — que chamaremos de “função de encruamento” — pode ser representada por um único parâmetro fundamental da plasticidade que desejamos medir. Só podemos, portanto, definir as características de plasticidade de um metal para os fins de uma operação de estampagem, levando em conta um parâmetro relacionado com a resistência à deformação ( $k$  do parágrafo seguinte) e outro relacionado com a variação dessa resistência com a quantidade de deformação plástica ( $n$  do parágrafo seguinte).

Nos ensaios convencionais de embutimento, nos limitamos à medida de uma deformação plástica, porém já se observou que quando duas chapas dão o mesmo resultado num ensaio de embutimento e se comportam de modo diverso em operações de estampagem, a que apresenta melhor estampabilidade é a que oferece maior resistência à deformação no ensaio de embutimento. Exige-se, portanto, nos materiais para estampagem uma elevada plasticidade associada a uma boa resistência mecânica adquirida pelas regiões que já sofreram a quantidade de deformação necessária à sua conformação, de modo a permitir a transmissão dos esforços às regiões que necessitam ser deformadas. Dessa maneira, não podemos condicionar o método de ensaio a uma simples medida de deformação plástica, mas necessitamos associá-la à resistência do material que vai se modificando pelo processo de encruamento.

O presente trabalho mostra como êsses parâmetros podem ser obtidos de um ensaio de tração “verdadeiro”, o qual pode ser obtido da curva “convencional” (usualmente obtida nos laboratórios de ensaio), introduzindo-se modificações simples.

Por ora, trataremos apenas do caso isotrópico, deixando a consideração da anisotropia para futuras publicações.

## 2. O ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração consiste em se medir as cargas axiais a que é submetido um corpo de prova (alongado e em geral de dimensões padronizadas) e, simultaneamente, os alongamentos que êle sofre. O resultado é o gráfico carga-defor-

mação, que para os materiais dúcteis tem o aspecto esquematizado na figura 1.

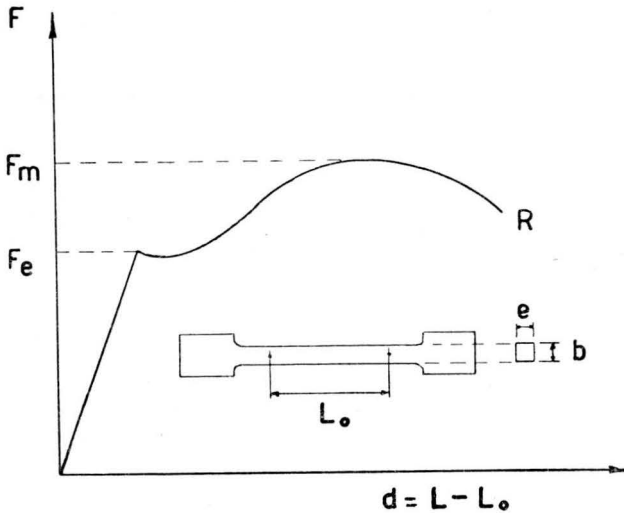


Fig. 1 — Curva F-d típica de material dúctil.

São de uso corrente as seguintes definições:

Tensão:

$$s = \frac{F}{S_0}$$

Alongamento específico:

$$a_1 = \frac{L - L_0}{L_0}$$

onde:

$F$  = força genérica;

$S_0$  = secção transversal inicial do corpo de prova;

$L_0$  = comprimento do corpo de prova (medido entre dois pontos marcados inicialmente) sem carga;

$L$  = distância entre as marcas anteriores quando age a força  $F$  sobre o corpo de prova.

É óbvio que a curva ( $a_1, s$ ) é idêntica à da figura 1 numa escala conveniente, pois  $A_0$  e  $L_0$  são constantes. Três grandezas que têm sido tomadas como índices característicos das

propriedades mecânicas de um metal dúctil são: limite de escoamento,  $\frac{F_e}{S_o}$ ; limite de resistência,  $\frac{F_m}{S_o}$  e alongamento  $\frac{L_o}{L_f - L_o}$  onde  $L_f$  é o comprimento do corpo de prova após a ruptura e  $F_m$  o máximo valor da carga.

Observemos que essas definições falham logo que entramos na região das grandes deformações, pois as dimensões do corpo de prova variam sensivelmente. Elas perdem, portanto, seu sentido na aplicação que estamos considerando, a saber: estampagem de chapas finas, mormente em se tratando de estampagem profunda. A presente observação é, aliás, válida para todos os processos de metalurgia mecânica em que as deformações em jôgo ultrapassam as elásticas. Daí a necessidade de se definir as grandezas que chamaremos de “*tensão verdadeira*” e “*deformação verdadeira*”. Em contraposição a estas, daremos às grandezas definidas mais acima, o qualificativo de “convencionais”.

Tensão verdadeira será, por definição, a relação

$$t = \frac{F}{S}$$

onde  $S$  é a área da secção transversal do corpo de prova no instante em que a carga é  $F$ .

Sendo evidente que  $S$  é menor que  $S_o$ , fica claro que  $t$  é maior que  $s$ . Para definirmos deformação verdadeira, observemos inicialmente que é possível escrever:

$$\alpha_1 = \frac{L - L_o}{L_o} = \int_{L_o}^L \frac{dL}{L_o}$$

isto é, o alongamento específico  $\alpha_1$  é a integral da relação entre o acréscimo de comprimento dividido pelo comprimento inicial. Mas, com a aplicação de cargas relativamente altas, o comprimento varia sensivelmente e essa definição fica imprecisa (pois se refere sempre a  $L_o$ ) e deve ser substituída por esta outra (alongamento específico verdadeiro):

$$a = \int_{L_o}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_o}$$

Com isso a expressão  $\frac{L - L_0}{L_0}$  fica substituída por esta  $\ln \frac{L}{L_0}$ .

Um pouco de trabalho aritmético nos levaria à conclusão de que as quatro grandezas que acabamos de definir se relacionam através das duas igualdades seguintes:

$$t = s (1 + a_1)$$

$$a = \ln (1 + a_1)$$

Em outras palavras, a curva verdadeira  $(a, t)$  pode ser obtida da curva convencional  $(a_1, s)$  pela simples aplicação das equações acima.

A fig. 2 esquematiza essas duas curvas em sua relação recíproca: ao ponto  $P$  de  $(a_1, s)$  corresponde  $Q$  de  $(a, t)$  acima (porque  $t$  é maior que  $s$ ) e à esquerda (porque  $a$  é menor que  $a_1$ ). Enquanto as deformações permanecem pequenas (zona elástica), as duas curvas se confundem, pois as dimensões de corpo de prova são pouco alteradas.

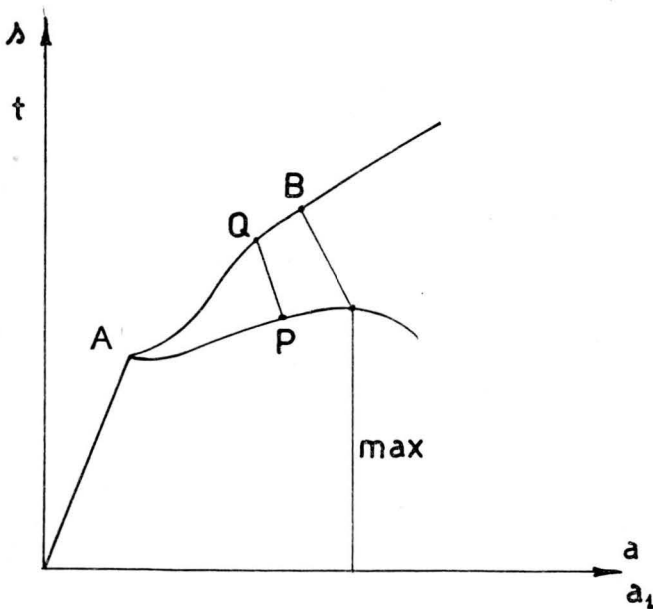


Fig. 2 — Curvas  $(a_1, s)$  e  $(a, t)$  em suas posições relativas.

### 3. O "EXPOENTE DE ENCRUAMENTO $n$ " E O "COEFICIENTE DE RESISTÊNCIA $k$ "

É fato facilmente verificável que o trecho da curva ( $a$ ,  $t$ ) que mais interessa, isto é, o que vai de  $A$  até  $B$  (fig. 2), pode ser representado por uma expressão matemática muito simples, a saber:

$$t = ka^n$$

onde  $k$  e  $n$  são duas constantes características do material e que são determinadas de modo que esta curva matemática represente a média dos pontos obtidos experimentalmente. O trabalho na determinação de  $n$  é bastante facilitado se transformarmos a expressão acima numa de tipo logarítmico, representável por uma reta num gráfico (em papel apropriado, a fim de facilitar o trabalho) di-logarítmico. Vem então:

$$\log t = \log k + n \log a$$

O que importa ressaltar aqui é o significado físico do "expoente de encruamento  $n$ " e do "coeficiente de resistência  $k$ ". A curva ( $a$ ,  $t$ ) para dado metal possui sua forma característica devida ao mecanismo submicroscópico de deformação que sofrem seus grãos cristalinos internamente, bem como ao mecanismo microscópico de acomodação de uns grãos aos outros. Do ponto de vista mecânico macroscópico, o "expoente de encruamento  $n$ " fornece à curva seu tipo característico. Com efeito, o coeficiente  $k$  é, matematicamente, um fixador de escalas; o andamento da curva é dado simplesmente por  $n$ . A fig. 3 esquematiza duas curvas com mesmo  $n$  e  $k$  diferentes. A relação  $AC/AB$  é a relação dos  $k$ . Paralelamente a fig. 4 mostra duas curvas com diferentes  $n$  e mesmo  $k$ .

Em terceiro lugar, o valor dos coeficientes  $n$  e  $k$  reside ainda no fato de a curva verdadeira  $t = ka^n$  manter seu valor no caso de solicitações em duas e mesmo três direções, contanto que se tomem para a tensão " $t$ " e a deformação " $a$ " os valores "efetivos".

A fig. 5 esquematiza um elemento cúbico retirado (imaginariamente) de uma chapa que está sendo estampada, sob a ação das tensões (ditas "principais" porque nas faces onde agem não há tensão de cisalhamento)  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ . As defor-

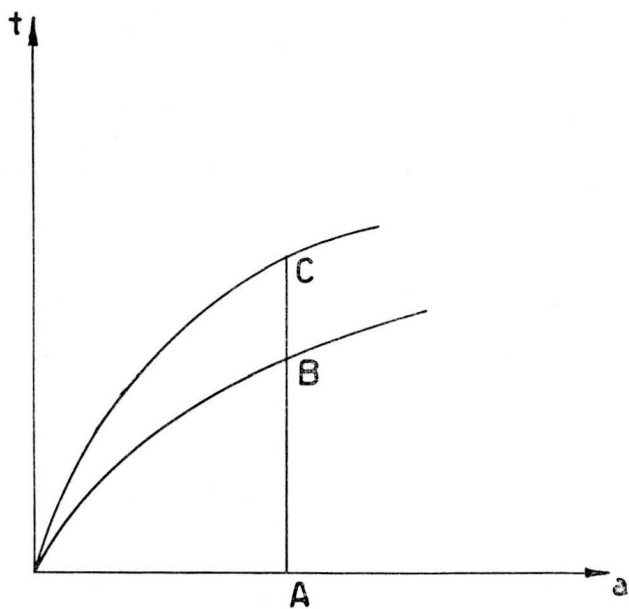


Fig. 3 — Duas curvas verdadeiras com mesmo  $n$  e diferentes  $kk$ .

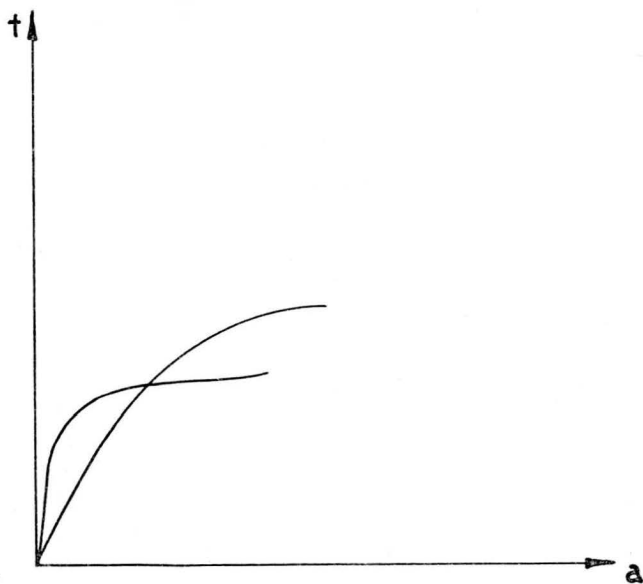


Fig. 4 — Duas curvas verdadeiras com mesmo  $k$  e diferentes  $nn$ .



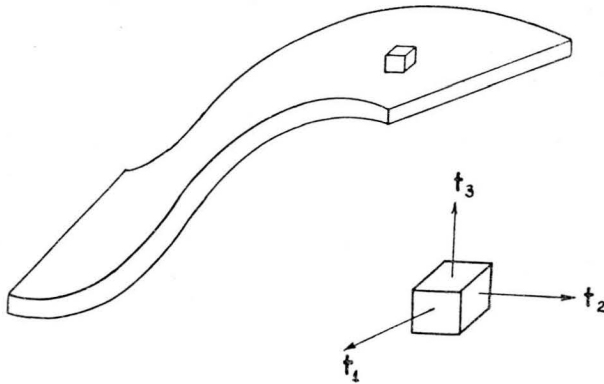


Fig. 5 — Estado triplo de tensões no elemento genérico.

mações nessas direções sendo  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ , definiremos *deformação efetiva* e *tensão efetiva* como sendo as seguintes grandezas, respectivamente:

$$\bar{a} = \frac{1}{3} \sqrt{2(a_1^2 + a_2^2 + a_3^2)}$$

e

$$\bar{t} = \frac{1}{2} \sqrt{(t_1 - t_2)^2 + (t_2 - t_3)^2 + (t_3 - t_1)^2}$$

Do que precede conclui-se que os parâmetros  $n$  e  $k$  estão aptos a qualificar, da maneira mais simples possível, o comportamento geral dos materiais sob grandes deformações, inclusive, portanto, de chapas para estampagem:  $k$  qualifica a chapa quanto à sua resistência e  $n$  quanto ao encruamento. Com isto em mira, foram realizados os ensaios abaixo descritos.

#### 4. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO DE CHAPAS FINAS

Foram ensaiados vários corpos de prova retirados de chapas de procedência A, C e B. Sabia-se, dos resultados de trabalho real, que as chapas A não estampavam bem, ao passo que as chapas B estampavam profundamente com ótimo comportamento; quanto às chapas C tinham comportamento intermediário.

A tabela I contém, para efeito ilustrativo, as dimensões de 2 corpos de prova e os resultados dos ensaios de tração efetuados sobre os mesmos.

TABELA I

	A-1	B-1
Fe (1).....	310	165*
Fm (2).....	377	353
L (3).....	200	200
e (4).....	0,90	0,93
b (5).....	13,2	13,1

TABELA II

d (6)	Carga (kg)	
	A-1	B-1
½	330	200
¾	340	220
1	350	234
2	370	269
3	375	294
4	377	310
5	—	320
6	—	335
7	—	340
8	—	345
9	—	349
10	—	352

- (1) Carga de escoamento (kg)
- (2) Carga máxima (kg)
- (3) Comprimento útil para medida dos alongamentos após ruptura (mm)
- (4) Espessura do corpo de prova (mm)
- (5) Largura do corpo de prova
- (6) Deformação  $d$ , medida em mm, usando  $L_0 = 50$  mm.

(\*) Corpos de prova retirados de chapas laminadas a frio gentilmente cedidos pela General Motors do Brasil.

Com o fim de simplificar a determinação de  $n$ , os autores propõem que se trabalhe com a equação  $t = ka^n$  modificada da seguinte forma:

$$\bar{F} = Ka^n$$

onde:

$$\bar{F} = F(1 + a_1)$$

$$K = kS_0$$

Observemos ainda que  $K$  é o valor  $\bar{F}$  para  $a=1$  e que  $k = K/S_0$ .

Para cada corpo de prova há necessidade de se calcular  $\bar{F}$ . Quanto aos alongamentos específicos verdadeiros serão sempre os mesmos, pois foi fixada a coluna  $a_1$ . A tabela III fornece os resultados dos cálculos para os mesmos corpos de prova das tabelas I e II.

TABELA III

a %	$\bar{F}$ (kg)	
	A-1	B-1
1	334	202
1,5	345	224
2	357	238
4	385	280
6	398	312
8	407	335
10	—	352
12	—	375
14	—	387
16	—	400
18	—	412
20	—	423

No papel di-logarítmico os pontos  $(a, \bar{F})$  estão aproximadamente sobre uma reta. Na literatura encontram-se retas

que abandonam os dois ou três pontos iniciais, para pequenas deformações, pois caem um pouco fora da reta que passa pelos que correspondem às deformações maiores. Os autores fazem a sugestão de não abandoná-los, pois isso corresponderia, fisicamente, a abandonar a influência do trecho da curva próximo ao limite de escoamento, importante, evidentemente.

A tabela IV dá os valores de  $r = F_e/F_m$ ;  $k$ ;  $1000 n$  e alongamento uniforme,  $A$ , para três chapas ensaiadas (colocadas em ordem crescente da estampabilidade em serviço, de acordo com informações da firma que forneceu a matéria prima para sua confecção).

TABELA IV

	A %	1.000 n	k (kg/mm <sup>2</sup> )	r %
A-1	7,2	100	43,2	82
A-2	0,9	86	45,0	88
C-1	14,2	122	43,3	86
C-2	15,4	125	45,3	87
B-1	21,4	255	53,1	47
B-2	24,6	249	53,1	43

## 5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

No que precede, foi feita a tentativa de se encontrar dois parâmetros capazes de qualificar uma chapa quanto a suas características mecânicas, em si, sendo portanto desnecessárias quaisquer considerações referentes a fatores como lubrificação, matriz, velocidade de estampagem, envelhecimento do material, etc..

## 6. CONCLUSÕES

a) Em relação a outros ensaios que têm sido propostos para qualificação de chapas, o ensaio de tração é sem dúvida o mais simples, sendo mínimo o número de fatores que o in-

fluenciam. Os resultados do ensaio de tração devem ser utilizados de maneira a fornecer a curva "verdadeira".

b) O expoente de encruamento  $n$  e o coeficiente de resistência  $k$  são bastante diferentes nas três chapas A, C e B, crescendo com a qualidade do material (ver tabela IV).

c) A relação  $r = \frac{F_e}{F_m}$ , que tem sido proposta<sup>2</sup> ultimamente para qualificar chapas para estampagem, não varia monotonicamente com a qualidade da chapa e não possui o mesmo significado físico que  $n$  e  $k$ , pois é uma relação entre duas grandezas do mesmo tipo, não levando em consideração as deformações.

d) Os ensaios de embutimento, tais como são utilizados correntemente, medem também uma grandeza do tipo alongamento, desprezando a grandeza do tipo resistência; além disso sofreram severa crítica por parte do Comitê Sueco<sup>1</sup>.

e) O alongamento uniforme que consta da tabela IV varia da mesma forma que  $n$  ou  $k$  mas está sujeito à mesma crítica dos dois itens anteriores, além do que sua determinação envolve não pequena dificuldade.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem a preciosa colaboração dos Engs. Paulo Ivanyi, da VEMAG, e Raul Brito Franco, da GMB.

### BIBLIOGRAFIA

1. SVAHN, O. — *Deep-Drawing Properties of Sheet Steel*. Journal of the Iron and Steel Institute, maio 1954, vol. 177, parte 1.
2. MURRAY, G. — *Research Into Deep-Drawing*. Sheet Metal Industries, setembro 1958, vol. 35, n.º 377, pág. 657.
3. ASM Committee on Formability of Sheet Steel. *The Selection of Sheet Steel for Formability*. 2.º Suplemento do Metals Handbook, agosto de 1955.

## DISCUSSÃO

O ENSAIO DE TRAÇÃO COMO MEIO DE QUALIFICAÇÃO DE CHAPAS FINAS PARA ESTAMPAGEM <sup>(1)</sup>

**A. Teixeira da Silva** <sup>(2)</sup> — Dando início aos trabalhos desta Comissão, peço ao Eng. Jorge Amaral Cintra que faça um resumo do trabalho em pauta e do qual é coautor. Ante o advento da indústria automobilística, a qual envolve problemas de estampagem muitas vezes severos, o problema da qualificação das chapas finas a isso destinadas apresenta especial interesse para os usuários e para as usinas que as fabricam.

**J. Amaral Cintra** <sup>(3)</sup> — Os laboratórios do IPT em São Paulo têm sido constantemente procurados por mais de uma indústria automobilística, as quais formulam as dificuldades que às vezes encontram na estampagem de chapas finas, nacionais e estrangeiras. O problema seria o de se obter um ensaio simples, que caracterizasse a boa estampabilidade das chapas de um dado fornecimento e que pudesse ser imposto às usinas produtoras de chapas como Especificação de Recepção. Estudados em muitos laboratórios estrangeiros, nota-se, pela bibliografia e por ensaios, que os métodos preconizados nem sempre apresentam resultados concordantes com a prática. Daí nossa contribuição preliminar, da qual farei um resumo:

.....

**Ferruccio Fabriani** <sup>(4)</sup> — Dentre os ensaios propostos para a qualificação de chapas finas para estampagem, o de tração é o mais simples; tratar-se-ia apenas de dêle extrair a "*curva verdadeira*". Nisso reside um dos aspectos interessantes da contribuição dos Autores, pelo que os felicito.

Pondero que o fator de encruamento foi proposto por Kinsey e dêste fator tiraram os Autores excelente resultado.

Quando o Autor se referiu ao valor instantâneo da carga e alongamento, creio que a expressão mais precisa para denominá-los seria a de chamá-los *verdadeiros*.

**J. A. Cintra** — Concordo com o Prof. Fabriani.

**F. Fabriani** — Finalmente, existem dois ensaios: o proposto pelos Autores e um outro que dá uma relação simples de dois dados de fácil obtenção, concomitantemente ao ensaio,  $r$  e  $nk$ .

Ora, o Autor chamou a atenção para os dados 1.000  $n$ , referindo-se aos corpos de prova das chapas A1 e A2, que apresentaram discrepân-

(1) Contribuição Técnica nº , publicada neste Boletim. Discutida na Comissão F do XIV Congresso; Belo Horizonte, 1959.

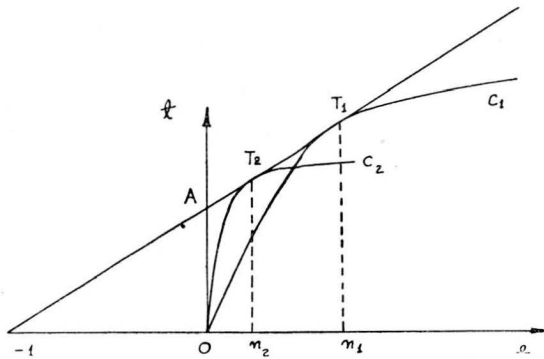
(2) Membro da ABM e Presidente da Mesa; Professor Catedrático da Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais; Belo Horizonte.

(3) Membro da ABM; Assistente de Mecânica Geral da EPUSP; do IPT de São Paulo.

(4) Membro da ABM; Professor Catedrático da ENE da Universidade do Brasil; Rio de Janeiro.

cia. Portanto, o número  $n$  demonstrou que essa chapa é ruim, como é o caso da chapa  $C$  e da chapa  $B$ . Há uma indefinição entre o valor 100 e 122. Combinando-se  $n$  com o  $r$ , essa indefinição desaparece. Portanto, pergunto, não veria o Autor com bons olhos a combinação do ensaio com o valor  $r$ , para dirimir qualquer dúvida?

**J. A. Cintra** — Devo dizer que gostaria de estudar isso mais a fundo, realizar um número maior de ensaios. Contudo direito que me parece uma redundância dar  $n$  e  $r$  simultaneamente. Com efeito, utilizamos a construção gráfica proposta no século passado por Considère. Com referência à figura abaixo: em abscisas se coloca a deformação con-



vencional “e” e em ordenadas a tensão verdadeira  $t$ ; podemos afirmar, com o Autor acima citado, que o ponto de tangência  $T_1$  corresponde ao “limite de resistência” (O A segundo se demonstra), em que o valor de “e” corresponde a  $n_1$ . Consideremos uma segunda curva  $C_2$ , com ponto de tangência  $T_2$ ; o “limite de resistência” será o mesmo  $O \bar{A}$ , mas o limite de escoamento convencional baixou evidentemente, fazendo baixar “r”, o mesmo acontecendo com  $n = n_2$ .

**F. Fabriani** — Comparando-se figuras anteriores, observa-se pela curva superior que temos uma razão de escoamento baixo. Quando  $n$  é alto o  $r$  é baixo. A recíproca, também, é verdadeira; quando o  $n$  é baixo o  $r$  é alto. O Autor respondeu perfeitamente à minha observação; relacionou os  $n$  com os  $r$ . Se estão intimamente relacionados, parece-me, também, redundância dar os  $n$  e dar os  $r$ .

**A. T. Silva** — Não havendo quem mais queira se manifestar, apresento minhas felicitações aos Autores pelo valor intrínseco de seu trabalho, que foi do agrado de todos e, principalmente, pelas qualidades didáticas demonstradas pelo Eng. Amaral Cintra.

# APLICAÇÕES DOS NÚMEROS NORMAIS, ESPECIALMENTE EM GRANULOMETRIA <sup>(1)</sup> <sup>(3)</sup>

FERRUCIO FABRIANI <sup>(2)</sup>

*Nos dois trabalhos anteriores citados, tratou o autor dos assuntos granulometria mineral e metálica. Neste, sobre granulometria geral, propõe a substituição da série de razão raiz-quadrada de dois pela série de números normais. Procura evidenciar a propriedade da substituição e a simplificação que daí resulta, aconselhando assim sua consideração para constituir norma original brasileira, contudo, de uso geral.*

## 1. INTRODUÇÃO

Números normais principais são os valores arredondados da série geométrica que tem por base a unidade e por razão a raiz  $10^{\frac{1}{2}}$  de 10. Esta série fundamental é denominada  $R10^{1 \text{ e } 2}$ ; consiste dos seguintes valores arredondados: 1,00 — 1,25 — 1,60 — 2,00 — 2,50 — 3,15 — 4,00 — 5,00 — 6,30 — 8,00 — 10,00.

Tal série ilimitada tem o caráter recorrente ou rotativo, no sentido de poder ser repetida indefinidamente abaixo de 1,00 (ou acima de 10,00) por meio dos mesmos números, correndo-se a vírgula de acôrdo.

Exemplo: — Vem, abaixo de 1,00: 0,80 — 0,63 — 0,50 — etc. Seria a  $R10/10$ .

Exemplo: — Vem, acima de 10,00: 12,50 — 16,00 — 20,00 — etc. Seria a  $10R10$ , ou, de modo geral,  $XR10$ , valendo X uma potência de 10.

(1) Contribuição Técnica nº 373; apresentada ao XIV Congresso Anual da ABM; Belo Horizonte, julho de 1959.

(2) Membro da ABM; Professor Catedrático da Escola Nacional de Engenharia; Rio de Janeiro, GU.

(3) Ver, também, do mesmo Autor: "Granulometria e módulo de finura", ABM-Boletim, vol. 15, pág. 531; "Especificação geral sobre tamanho de grão em metalografia", ABM-Boletim, vol. 15, pág. 551. Ver ainda Discussão no trabalho seguinte, do mesmo Autor e neste Boletim.



Se tomarmos na série fundamental, os valores de ordem ímpar, teremos a série R5: 1,00 — 1,60 — 2,50 — 4,00 — 6,30 — 10,00. Se inserirmos meios geométricos na R10, teremos a R20, depois a R40, etc.. A R80 já pode ser derivada, com suficiente aproximação, pela média aritmética dos valores contíguos da R40.

Os números normais devem ser utilizados preferencialmente para fins industriais, em grandezas tais como *Dimensões, Áreas, Volumes, Potências, Rotações*, etc., e sempre que se fizer necessária escala de valores numéricos em progressão geométrica <sup>2</sup>.

No trabalho "*Sobre granulometria e módulo de finura*" <sup>3</sup>, o autor apresentou uma Tabela Geral de Tamanhos, em que os tamanhos, em milímetros, variavam entre  $10^{-4}$  e  $10^{-3}$ ;  $10^{-3}$  e  $10^{-2}$ ;  $10^{-2}$  e  $10^{-1}$ , etc.; fato êsse que já estava aconselhando o uso da série dos números normais para granulometria. Contudo, nessa contribuição e na seguinte <sup>4</sup>, mostrou-se o que havia em matéria de granulometria e a facilidade da unificação em base ao sistema métrico decimal. A partir dêsses trabalhos, pretendemos reunificar o sistema, em base aos números normais, visando à implantação de uma norma original brasileira, de uso porém geral, que se reveste da maior simplicidade.

## 2. APLICAÇÃO À GRANULOMETRIA

Nos dois trabalhos anteriores, o autor expôs os sistemas vigentes de granulometria mineral e metálica, de passo que os unificava em base ao sistema métrico decimal, usando todavia a série básica de razão igual à raiz quadrada de dois. Julga o autor, data vênua, que a série de razão raiz quadrada de dois é obsoleta, face ao conceito atrás transcrito <sup>2</sup>: está para a série de números normais assim como o sistema inglês de pêsos e medidas está para o sistema métrico decimal. É o que, espera, ficará patenteado.

Utilizando-se, pois, os números normais, apresentam-se nos quadros IA e IB, de modo simples e assaz condensado, todos os dados do sistema granulométrico que preconizamos.

*Quadro IA* — A coluna "1" dá os tamanhos  $G_i$  "mais arredondados" da 10R20, isto é, da R20 normal vêzes 10: são tamanhos cujos valores normais em milímetros aparecem entre parênteses, quando diversos daqueles. Cada valor dessa coluna pode ser considerado como U, D, C ou M, isto é, unidades, décimos, centésimos ou milésimos de mm (microns) para constar, respectivamente, nas colunas "3" a "6".

A coluna "2" dá a classificação geral em fino, médio e grosso, aplicável a bloco, pedra, pedregulho, areia, silte e argila.

As colunas "3" a "6" (referente respectivamente a pedra, pedregulho, areia e silte) devem ser consideradas como contendo as séries normais e G Unidades (10R20), G Décimos (R20), G Centésimos (R20/10) e G Microns (R20/100), ou milésimos de mm. Nessas quatro colunas, os números entre parênteses são os valores mais próximos de mesh/inch ASTM<sup>3</sup>. Os números entre barras são os valores mais próximos dos tamanhos usuais metalográficos ASTM<sup>4</sup>.

Os valores de  $G_n$  seriam para as grades e  $P_n$  para peneiras. Assim, a série normal de peneiras constaria de 10 peneiras, de aberturas  $P_1 = 3,15$  mm até  $P_{10} = 0,05$  mm (50 Microns). Na ordem crescente, cada abertura é 58,5% maior que a anterior.

Ainda nessas quatro colunas, as frações que aparecem, como por exemplo 125/80, significam: o numerador é o primeiro fator da massa retida em  $P_3$ , de finura média (geométrica) 1,6 mm; o denominador é o segundo fator dessa mesma massa. A soma de todos os primeiros produtos, dividida pela soma de todos os segundos produtos, dá o módulo médio de finura, exposto em trabalho anterior<sup>3</sup>. Já daí decorreria a seguinte nomenclatura das britas:

Tamanho médio (geom. <sup>o</sup> ) mm	Brita n.º	Passa em	Fica em
40	4	$G_5$ (50 mm)	$G_6$ (32 mm)
25	3	$G_6$ (32 mm)	$G_7$ (20 mm)
16	2	$G_7$ (20 mm)	$G_8$ (13 mm)
10	1	$G_8$ (13 mm)	$G_9$ ( 8 mm)
6,3	0	$G_9$ ( 8 mm)	$G_{10}$ ( 5 mm)
4,0	00	$G_{10}$ ( 5 mm)	$P_1$ ( 3,2 mm)

Tal nomenclatura parece agora melhor sistematizada ainda que anteriormente<sup>3</sup>.

*Quadro IB* — Este Quadro é de aplicação em metalografia (e mineragrafia), conforme o segundo trabalho citado<sup>4</sup>. A coluna "7" repete a "1" do Quadro IA: é a de tamanhos dos grãos. Cada valor dessa coluna pode ser consi-

derado como valendo U, D, C ou M, isto é, unidades, décimos, centésimos ou milésimos de mm (microns), respectivamente.

A coluna "8" consigna os valores de  $d$ , diâmetro médio do grão em superfície metalográfica. Vimos no segundo trabalho citado <sup>4</sup> que  $d = G \sqrt{2/2}$ . Os valores de  $d$ , assim calculados, apresentam um erro médio da ordem de 0,1% em relação à série XR10 que, portanto, pode ser adotado nessa coluna. Cada valor da coluna tem que ser multiplicado pelas potências de 10 indicadas, no caso respectivo de GU, GD, GC ou GM.

As colunas 7 e 8 seriam, de ordinário, as mais usadas em metalografia, o que demonstra a extrema condensação da especificação. Aliás, lembremos <sup>4</sup> que, aproximadamente:  $G = 10 d/7$  ou  $d = 7G/10$ , com erro médio da ordem de 1%. Nessas colunas, os tamanhos de maior uso são GC e GM, os primeiros para grãos grossos e os segundos para grãos finos. É o que se mostrou no Quadro IA, colunas 5 e 6.

Poderíamos ter a seguinte nomenclatura desses grãos usuais, chamados micro-grãos:

G	GC	GM
10	meio grossos	extra finos
12,5	"	"
16	"	"
20	grossos	finos
25	"	"
32	"	"
40	"	"
50	extra grossos	meio finos
63	"	"
80	"	"

Exemplos extremos, contidos acima:

- a) grão 80C, de 0,8 mm, com  $d = 0,56$  mm, visível a olho nu;
- b) grão 10M, de 10 microns, com  $d = 0,0071$  mm, visível a 1000X com 7,1 mm.

Os grãos superfinos teriam menos de 10 microns de tamanho, e os supergrossos, ou macro-grãos, mais de 1 mm de tamanho.

Exemplos de macro-grãos:

- a) grão 50D, de 5 mm de tamanho ( $d = 3,55$  mm)
- b) grão 50U, de 50 mm de tamanho ( $d = 35,5$  mm)

A coluna "9" mostra os valores de  $a$ , área média do grão em superfície metalográfica. Vimos no segundo trabalho citado<sup>4</sup> que:  $a = \bar{d}^2 = G^2/2$ . A série assim calculada, pode ser substituída também pela normal (XR10), com erro da ordem de 0,2%. Cada valor da coluna tem que ser multiplicado, conforme antes se viu. Vê-se que cada área não é 100% maior que a anterior, no sentido crescente, e sim apenas 58,5%, o que permite maior precisão na designação do grão médio.

A coluna "10" dá os volumes  $V$  dos grãos, calculados conforme o segundo trabalho anterior:  $V = aG = G^3/2$ . A série assim calculada pode ser substituída pela normal (XR10), com erro da ordem de 0,2%. Cada valor da coluna tem que ser multiplicado, conforme acima se viu.

Quanto à passagem de  $a$  para  $V$ , apenas consignamos a relação

$$V^2 = 2a^3 \text{ (4)}$$

e o uso da mesma, sem o fator 2, em problemas correntes, em metalografia, consistindo na determinação de  $a$ , a partir das percentagens massa, das fases, dadas pelo diagrama de equilíbrio respectivo, ou vice-versa. Claro está que as densidades, das fases em questão, devem ser conhecidas, embora calculadas, aproximadamente, pela análise (ou fórmula).

Exemplo:  $Fe_3C$ , cementita:

Pêso atômico	56	12	grama-átomos
N.º de átomos	3	1	
Produto	168 + 12 = 180 gramas		
Densidade	7,87	2,22	g/cc
Divisão	21,3 + 5,4 = 26,7 cc		
Densidade	$Fe_3C = \frac{180}{26,7} = 6,74$ g/cc aproximadamente		

A coluna "11" dá o número  $N$  de grãos por  $mm^3$ , sendo  $N = 1/V$ . Ainda estamos em presença de série normal (XR10) com o erro da ordem de 0,2%. O mais, como acima foi explicado.

A coluna "12" dá a área superficial (mínima)  $A$  do grão, que se calcula como foi visto no segundo trabalho citado:  $A = 6,696 a = 3,348 G^2$ . Continuamos em série normal, porém, desta vez, a XR40, sem erro apreciável (0,05%).

QUADRO IA — Dimensões e nomenclatura de fragmentos

1 Tamanho G	2 Subnomencla- tura	3 pedra GU G mm	4 pedreg. GD G × 10 <sup>-1</sup> mm	5 areia GC G × 10 <sup>-2</sup> mm	6 silte GM G × 10 <sup>-3</sup> mm
10	fino	315/31,5	(18) [00] 100/100	31,5/315	
11 (11,2)					
12,5	"	G <sub>8</sub>	P <sub>3</sub>	(120) [4] P <sub>8</sub>	
14					
16	"	400/25	125/80	40/250	[10]
18					
20	médio	G <sub>7</sub>	(10) P <sub>2</sub>	P <sub>7</sub>	
22 (22,4)					
25	"	500/20	160/63	(60) [2] 50/200	
28					
32 (31,5)	"	G <sub>6</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>6</sub>	[8]
35 (35,5)					
40	"	630/16	(5) 200/50	63/160	20/500
45					
50	grosso	G <sub>5</sub>	G <sub>10</sub>	(35) [0] P <sub>5</sub>	P <sub>10</sub>
56					
63	"	800/12,5	250/40	80/125	(230) [6] 25/400
71					
80	"	G <sub>4</sub>	G <sub>9</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>9</sub>
90					
XR20		XR10	XR10	XR10	XR10

NOTAS: a) 315/31,5 e outras frações: numerador e denominador são fatores das frações retidas (gramas) entre duas peneiras consecutivas respectivas, para cálculo do módulo médio de finura<sup>2</sup>.

b) (05), (10), etc., são mesh/inch (ASTM).

d) G<sub>1</sub>, G<sub>5</sub>, etc., são grades ou crivos.

c) [00], [0], etc., são tamanhos metalográficos(ASTM).

e) P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, etc., são peneiras.

Ex.: GC = pode ser 10C = 0,1 mm; 32C = 0,315 mm; etc.

QUADRO IB

*Dimensões de grãos (Metalografia)*

7 $G_{mm}$	8 $d_{mm}$	9 $a_{mm^2}$	10 $V_{mm^3}$	11 $N_{mm^{-3}}$	12 $A_{mm^2}$	13 $R_{mm^{-1}}$
$U \times 10^0$	$X \times 10^0$	$X \times 10^1$	$X \times 10^2$	$X \times 10^{-4}$	$X \times 10^1$	$X \times 10^{-2}$
$D \times 10^{-1}$	$X \times 10^{-1}$	$X \times 10^{-1}$	$X \times 10^{-1}$	$X \times 10^{-1}$	$X \times 10^{-1}$	$X \times 10^{-1}$
$C \times 10^{-2}$	$X \times 10^{-2}$	$X \times 10^{-3}$	$X \times 10^{-4}$	$X \times 10^2$	$X \times 10^{-3}$	$X \times 10^0$
$M \times 10^{-3}$	$X \times 10^{-3}$	$X \times 10^{-5}$	$X \times 10^{-7}$	$X \times 10^5$	$X \times 10^{-5}$	$X \times 10^1$
10	7,1	5	5	20	33,5	67
11 (11,2)						
12,5	9	8	10	10	53	53
14						
16	11,2	12,5	20	5	85	42,5
18						
20	14	20	40	2,5	132	33,5
22 (22,4)						
25	18	31,5	80	1,25	212	26,5
28						
32 (31,5)	22,4	50	160	0,63	335	21,2
35 (35,5)						
40	28	80	315	0,315	530	17
45						
50	35,5	125	630	0,16	850	13,2
56						
63	45	200	1250	0,08	1320	10,6
71						
80	56	315	2500	0,04	2120	8,5
90						
10R20	XR20	XR10	XR10	XR10	XR40	XR40

Ex.: Grão 63M;

$G$  = 0,063 mm de tamanho do grão (6-ASTM)

$d$  = 0,045 mm de diâmetro médio metalográfico

$a$  = 0,002 mm<sup>2</sup> de área média metalográfica

$V$  = 0,000125 mm<sup>3</sup> de volume do grão

$N$  = 8.000 mm<sup>-3</sup> n° de grãos por mm<sup>3</sup>

$A$  = 0,0132 mm<sup>2</sup> área superf. (min.) do grão (sólto)

$R$  = 106 mm<sup>-1</sup>  $A/V$  =  $A.N$  do grão (sólto)

N.B.: —  $A'$  =  $A/2$  e  $R'$  =  $R/2$  para grãos agregados (metalografia).

A coluna "13", finalmente, dá a razão  $R$  entre área superficial e volume de grão:  $R = A/V = N.A$ . Ainda série normal XR40, com erro da ordem de 0,2%.

Cabe aqui lembrar que se trata de grãos soltos; em um agregado cristalino (metalografia), a área superficial seria  $A' = A/2$  e a razão  $R' = N.A'$  seria portanto metade de  $R$ .

### 3. OUTRAS APLICAÇÕES DOS NÚMEROS NORMAIS

Os aumentos (métalo e minerográficos) padrões poderiam ser os seguintes valores redondos da XR10, com preferência para os que são da XR5, naquela incluídos (vêr DIN-828:1928) <sup>1</sup>.

Exemplos: 100×; (125×); (200×); 250×; 400×; (500×); (800×); 1000×; (1250×); etc. Valores entre parênteses, a serem evitados. Para aumentos menores, considere-se 1/100 e 1/10 dos valores acima.

A série R40 apresenta, em ordem crescente, cada valor cerca 6% maior que o anterior. Aplicamo-la, mais arredondada, em outubro de 1953, como tabela de vencimentos mensais, no SENAC Regional do DF, com vantagens incontestes, que seriam sensíveis ao serviço público, ao comércio e à indústria de modo geral, como se enumeram adiante.

Foram feitos, consignamo-lo como por exemplo, seis níveis, começando o primeiro no número 38 (da 10R40) e contendo 9 números, isto é, 38 a 60; o segundo nível começando ao meio do primeiro, isto é, em 48 e indo até 75; e assim por diante. Cada número da 10R40 vale 100 cruzeiros. Poderia valer 1 cruzeiro, se se optasse pelo salário-hora, ou 10 cruzeiros, se o caso fôsse salário-dia. As vantagens de tal adoção seguem-se:

- a) O caráter rotativo permite o reajustamento de salários do modo mais simples. Exemplo: Passando o salário mínimo de 3800 para 6000, avançam-se 8 valores; portanto, um salário de 9000 iria para 14000 normalmente, para manter-se o mesmo aumento percentual sem prevaricar-se no rebaixamento contínuo da classe média de cidadãos.
- b) Os cálculos (de desconto) percentuais sobre o salário são feitos de uma vez por tôdas, aplicando-se o mesmo valor numérico (com deslocamento de vírgula) para 3800 ou 38000.
- c) Tal sistema de salários dá menos senso de classes e mais de integração do pessoal, o que é um objetivo

moderno que se procura alcançar por meio do esclarecimento, em todos os níveis, dos ditames de "relações humanas".

Os números normais deveriam também ser escolhidos para formatos de papéis. Julgaria menos adequado o A4 de 210×297 mm (DIN-476-1930) do que o formato carta 224×280 mm (XR20) de quase a mesma área que aquêle. As razões seriam:

- a) A largura de 224 mm permite inserir gráficos de 200 mm de abscissa, havendo ainda margens suficientes, de 20 e 4 mm.
- b) Em relação ao formato americano respectivo, de 216 × 280 mm (8,5 × 11 pol.), tem a mesma altura, o que permite arquivamento conjunto, e largura apenas 8 mm maior, com a vantagem (a).

Teríamos, assim, com os números normais, a possibilidade de erigir todo um sistema de formatos brasileiros, quicá gerais. Outra aplicação dos números normais, que se nos afigura de importância industrial metalúrgica, qual seja, a bitolagem da produção metálica, será objeto do trabalho seguinte do autor. (\*)

#### 4. CONCLUSÕES

A adoção dos números normais em granulometria permite tabular todos os dados necessários a essa técnica, com números normais, portanto, com o máximo de simplificação.

A série de 10 peneiras de aberturas normais e igualmente espaçadas (32D a 50M) substitui a série de 11 peneiras da A.F.Soc. (ex.-AFA), cujo espaçamento (34D a 53M) é irregular, isto é, duplo entre as três primeiras peneiras, em relação ao entre as demais. Tal substituição tem as vantagens de: (a) não influir no resultado do cálculo do módulo (médio) de finura; (b) não exigir peneiras de fios, além de calibrados, com diâmetros exatos (para dar, tantos mesh/inch); (c) facilitar, portanto, a fabricação nacional, duplamente.

Para granulometria metálica (metalografia) seriam usadas, de ordinário, apenas as duas séries do Quadro IB-cols. 7 e 8, ou, a série XR10 apenas, lembrando que, aproximada-

(\*) Ver, neste Boletim: "Aplicação dos números normais à bitolagem de produtos metalúrgicos".



mente  $G = 10 d/7$ , o que demonstra a extrema condensação da especificação proposta. Contudo, maior precisão pode ser obtida na especificação do grão, que pela norma ASTM<sup>4</sup>, da ordem de 10:7, ou seja, 43% maior, pois, apenas 7 números ASTM caberiam no Quadro IA-col. 6, por exemplo. Acresce a vantagem de ficar englobada a especificação dos macrogrãos.

No mais, o sistema decimal aqui proposto faz desaparecer a incongruência de, a um número maior, caber abertura ou grão menor (ASTM).

#### BIBLIOGRAFIA

1. *Manual 1-DIN*; M. Balzola, 1940; editado pela "Asociación de Ingenieros" de Bilbao, Espanha.
  2. *ABNT* — Números Normalizados — Projeto de Norma NB — 71; 1958.
  3. FABRIANI, FERRUCIO — *Sôbre Granulometria e Módulo de Finura*; "ABM-Boletim", vol. 15, pág. 531.
  4. FABRIANI, FERRUCIO — *Uma Especificação Geral sôbre tamanho de grão em Metalografia (e Minerografia)*; "ABM-Boletim", vol. 15, pág. 551.
-