

EFEITOS DAS VARIÁVEIS DE NORMALIZAÇÃO NAS  
PROPRIEDADES DE IMPACTO DO AÇO  
ASTM A-516 GRAU 70

Tadeu Carneiro (\*)

Tibério Cescon (\*\*)

RESUMO

~~O presente Trabalho estuda~~ *Estuda-se* a influência da temperatura e tempo de normalização, além da espessura da chapa a ser normalizada, nas propriedades de impacto do aço ASTM A-516 grau 70. Verificou-se que diferentes condições de normalização podem proporcionar microestruturas equivalentes, porém com diferentes propriedades de impacto. Determinadas condições de normalização, que conduzam a baixas velocidades de resfriamento na zona crítica, fornecem estruturas bandeadas, com propriedades de impacto inferiores às desejadas. *(autor)*.

---

(\*) Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista. Estagiário do Laboratório de Metalografia, da Divisão de Metalurgia, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.

(\*\*) Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista. Chefe do Agrupamento de Caracterização de Produtos Metalúrgicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.

## 1. INTRODUÇÃO

O aço estrutural ASTM A-516, de grande emprego na fabricação de vasos de pressão, frequentemente é normalizado para atender aos requisitos de tenacidade.

Segundo a norma ANSI/ASTM A516-78<sup>(1)</sup>, essa normalização deve ser executada em todas as chapas com espessura superior a 38mm (1,5"); porém, quando se especificar propriedades de tenacidade e as chapas forem submetidas ao ensaio Charpy, elas deverão sofrer tratamento de normalização, qualquer que seja a sua espessura.

A capacidade de um aço resistir ao efeito de entalhe é influenciada por fatores ligados à composição química e por fatores físicos<sup>(2)</sup>. Como fatores ligados à composição química, tem-se, para um aço, o teor de Carbono, de elementos de liga, de impurezas e a quantidade de gases dissolvidos; e, como fatores físicos, podem-se destacar a microestrutura, o tamanho de grão, as dimensões da chapa, a temperatura final de laminação a quente, o método de fabricação do aço e a orientação do corpo de prova com relação à direção de laminação. As condições da superfície da chapa, tais como, cementação e descarbonetação, também são importantes.

Pelo fato do exame metalográfico ser de mais simples execução quando comparado com os ensaios de impacto, o fabricante de equipamentos, usualmente, procura verificar se o tratamento de normalização foi executado através de análises metalográficas do material.

Contudo, a interpretação metalográfica poderá conduzir a dúvidas quanto a ter sido ou não executado o tratamento de normalização, ou até mesmo, de ter sido a normalização corretamente executada.

A boa prática da normalização requer<sup>(3)</sup>:

a) que as chapas sejam uniformemente aquecidas a uma temperatura suficientemente elevada para provocar a completa transformação da ferrita em austenita;

b) a permanência na temperatura de normalização por tempo suficiente, para que haja homogeneização de temperatura em todo o material; e,

c) que se propicie um resfriamento em ar calmo e de maneira uniforme. O resfriamento uniforme requer livre circulação do ar ao redor de cada chapa, de modo que, em nenhum local, o resfriamento seja restringido ou acelerado.

Como o termo normalização está ligado à condição de resfriamento ao ar, pode-se encontrar alguma subjetividade quando da classificação do tratamento térmico de normalização. Com relação a tal fato, Grossmann e Bain<sup>(4)</sup> salientam que as velocidades de resfriamento, no tratamento de normalização, podem variar bastante, abrangendo desde as correspondentes ao resfriamento de corpos de prova de pequenas espessuras, até velocidades de resfriamento bastante baixas, aproximando-se das de um recozimento, como por exemplo, a correspondente ao resfriamento de forjados empilhados em um pátio.

O presente trabalho tem por objetivo mostrar as diferenças microestruturais resultantes de diferentes condições de normalização e a sua influência nas propriedades de impacto.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As chapas de aço ASTM A-516 grau 70, com 25,4mm(1,0") de espessura, utilizadas no presente estudo e pertencentes a uma mesma corrida, foram cedidas pela COSIPA - Companhia Siderúrgica Paulista no estado bruto de laminação, apresentando a seguinte composi

ção química:

. Carbono (C) .....	0,25%
. Silício (Si) .....	0,27%
. Manganês (Mn) .....	1,06%
. Fósforo (P) .....	0,017%
. Enxofre (S) .....	0,008%

A microestrutura do material bruto de laminação encontra-se na Figura 1.

Os limites da zona crítica para o aço em estudo foram determinados por ensaios dilatométricos encontrando-se:

Ac<sub>1</sub> ..... 715°C

Ac<sub>3</sub> ..... 800°C

Foram estudadas três variáveis de normalização a saber:

- a) Temperatura de normalização;
- b) Tempo de permanência na temperatura de normalização; e,
- c) Espessura da chapa a ser normalizada.

As duas primeiras variáveis foram estudadas variando-se uma delas e mantendo-se a outra constante, em chapas com 25,4mm (1") de espessura, e com resfriamento ao ar em todos os ensaios.

Para o estudo da terceira variável foi necessário modificar a velocidade de resfriamento com a finalidade de simular diferentes espessuras de chapas.

A escolha da velocidade de resfriamento que simulasse uma maior espessura foi efetuada com o auxílio das determinações das velocidades de resfriamento ao ar, da região a 1/4 da espessura, em amostras de chapas com 25,4mm (1,0"), 47,0mm (1,85") e 81,3mm (3,20)

de espessura.

Foram encontradas as velocidades médias de resfriamento, na região da zona crítica, a saber:

ESPESSURA DA CHAPA mm (polegadas)	VELOCIDADE MÉDIA DE RESFRIAMENTO NA ZONA CRÍTICA - ( $^{\circ}$ C/min)
25,4 (1,00)	27,6
47,0 (1,85)	19,4
81,3 (3,20)	17,0

Com base nesses resultados e com a finalidade de se simular uma maior espessura de chapa ao mesmo tempo que se simulasse o resfriamento de um feixe de chapas de menor espessura, foi escolhida a velocidade média de resfriamento na zona crítica, de  $4,6^{\circ}$ C/min, a 1/4 da espessura da chapa de 25,4mm (1").

Dessa forma pode ser estudada a influência da espessura da chapa a ser normalizada, nas propriedades de impacto do aço em questão, utilizando-se chapas de 25,4mm (1") de espessura, submetidas a velocidades médias de resfriamento na zona crítica de 27,6 e  $4,6^{\circ}$ C/min a 1/4 da espessura da chapa.

A Tabela I descreve as condições de todos os ensaios utilizados para o estudo das variáveis acima.

TABELA I - Ensaio realizados

Temperatura de normalização (°C)	Ensaio	Tempo de permanência na temperatura de normalização (h)	Velocidade de resfriamento (°C/min)
900	A	1	27,6
930	B	1	27,6
	C	5	27,6
	D	1	4,6
970	E	1	27,6
	F	3	27,6
	G	5	27,6
	H	1	4,6
990	I	1	27,6
	J	1	4,6
1070	K	1	27,6

Os ensaios de impacto foram realizados na orientação LT para todas as condições da Tabela I e também para a chapa como laminada.

Foi realizado ainda, um estudo de acompanhamento metalográfico, através de micrografias em campos ópticos distando 6,35mm (0,25") da superfície da chapa (região ensaiada ao impacto).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A influência da temperatura de normalização nas propriedades de impacto do aço ASTM A-516 grau 70 encontra-se na Figura 2.

Os melhores resultados de impacto foram obtidos para

temperaturas de normalização de até 930°C.

As normalizações a 970 e 990°C (ensaios E e I respectivamente) apesar de terem apresentado resultados satisfatórios com relação à norma ASTM A-516, e microestruturas equivalentes às daquelas das normalizações a 900 e 930°C (ensaios A e B respectivamente), como evidenciam as figuras 3, 4, 5 e 6, mostraram decréscimos sensíveis nas propriedades de impacto, quando comparadas com aquelas apresentadas pelas normalizações a 900 e 930°C.

A normalização a 1070°C (ensaio K) mostrou-se totalmente inadequada, seja do ponto de vista microestrutural por ter apresentado crescimento de grão (vide Figura 7), seja pelas propriedades de impacto que não obedecem à norma ASTM A-516, uma vez que um dos pontos a -40°C registrou 12,8J de energia absorvida no impacto, e o mínimo para um corpo de prova é de 16J segundo a referida norma.

As microestruturas conseguidas com os ensaios de normalização a 900, 930, 970, 990 e 1070°C, com tempo de permanência na temperatura igual a 1 hora e velocidade de resfriamento igual a 27,6°C/min, podem ser observadas nas Figuras 3 a 7.

A influência do tempo de permanência na temperatura de normalização, nas propriedades de impacto do aço em estudo, encontra-se na Figura 8.

Apesar dos ensaios a 970°C com tempos de permanência na temperatura iguais a 3 e 5 horas (ensaios F e G respectivamente), e do ensaio a 930°C com tempo de permanência na temperatura igual a 5 horas (ensaio C) apresentarem resultados satisfatórios quanto às propriedades de impacto conforme a norma ASTM A-516, estas propriedades já se apresentaram inferiores às daquelas dos ensaios a 930°C e

970°C com tempo de permanência de 1 hora (ensaios B e E respectivamente).

Além disso, com o auxílio das Figuras 4, 5, 9, 10 e 11, pode-se observar que as melhores microestruturas deram-se para os ensaios com tempo de permanência na temperatura igual a 1 hora - (ensaios B e E).

A influência da espessura da chapa a ser normalizada nas propriedades de impacto do aço em questão encontra-se na Figura 12.

Como exposto anteriormente, as diferentes espessuras de chapas foram simuladas com a variação da velocidade de resfriamento.

Pode-se concluir com os resultados da Figura 12 que quanto maior for a espessura da chapa piores serão suas propriedades de impacto, podendo-se, inclusive, atingir uma situação tal que as propriedades de impacto sejam piores que aquelas apresentadas por uma chapa de 25,4mm (1") bruta de laminação. Tal situação foi atingida para os ensaios às temperaturas de normalização de 930, 970 e 990°C, com tempo de permanência na temperatura igual a 1 hora e com velocidade de resfriamento igual a 4,6°C/min (ensaios D, H e J respectivamente).

Deve-se salientar que estas situações podem ser representadas por uma chapa de grande espessura, ou mesmo por feixes de chapas de espessuras menores, que proporcionassem condições de resfriamento equivalentes.

As microestruturas apresentadas pelos ensaios cujos resfriamentos foram realizados com velocidade de 4,6°C/min encontram-se nas Figuras 13, 14 e 15.

As microestruturas desses ensaios apresentaram bandeamento como consequência do maior tempo de permanência da chapa dentro da zona crítica durante o resfriamento. Enquanto uma chapa de 25,4mm (1") de espessura permanece cerca de 185 segundos dentro da zona crítica quando resfriada ao ar, as condições de resfriamento com velocidade de 4,6°C/min fazem com que a chapa permaneça cerca de 1110 segundos dentro da zona crítica.

Estudos sobre a influência da variação da velocidade de resfriamento de chapas em seus aspectos microestruturais foram realizados, já em 1927, por Hanemann e Schrader<sup>(5)</sup>, tendo sido constatada a susceptibilidade ao bandeamento com a diminuição da velocidade de resfriamento.

O fato da chapa permanecer na zona crítica por tempo prolongado é prejudicial pois, existirão condições cinéticas favoráveis para que ocorra migração de Carbono da ferrita, nucleada preferencialmente em locais com microsegregação de fósforo, para a austenita<sup>(6)</sup>, conduzindo ao bandeamento da estrutura e a propriedades de impacto inferiores.

#### 4. CONCLUSÕES

Como o tratamento térmico de normalização abrange uma larga faixa de velocidades de resfriamento, as microestruturas obtidas com diferentes condições de normalização apresentar-se-ão com características diferentes. Dessa maneira podem-se obter desde estruturas refinadas com grãos equiaxiais que tornam o tratamento de normalização de fácil reconhecimento, até estruturas fortemente bandeadas correspondentes a menores velocidades de resfriamento.

As estruturas bandeadas propiciam baixas propriedades

de impacto e portanto devem ser evitadas. Para tanto, não devem ser utilizadas as situações que restringem a velocidade de resfriamento, tais como o resfriamento de chapas em feixes. No caso em que a espessura da chapa é suficiente para provocar o bandeamento da estrutura, a solução para a obtenção de propriedades de impacto poderia ser a execução de um tratamento de dupla normalização.

Duas condições de normalização diferentes poderão apresentar microestruturas equivalentes e, aparentemente representativas de um tratamento térmico de normalização satisfatório (vide Figuras 4 e 6). Entretanto, suas propriedades de impacto poderão apresentar diferenças consideráveis, como pode ser observado na Figura 2.

O aço ASTM A-516 grau 70 mostrou-se bastante resistente ao crescimento de grão, permanecendo com estrutura de granulação fina para normalizações em temperaturas de até 930°C (vide Figura 4). O tempo de permanência na temperatura de normalização possui menor importância como variável que atinge as propriedades de impacto do aço em questão; contudo, em condições muito adversas, como as dos ensaios F e G, poderão conduzir a estruturas de granulação mista (vide Figuras 10 e 11) com propriedades de impacto inferiores, como mostra a Figura 8.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à OEA - Organização dos Estados Americanos, que através do Projeto Caracterização de Aços Estruturais, propiciou a execução do presente trabalho; e, à COSIPA - Companhia Siderúrgica Paulista pelo fornecimento das chapas de aço ASTM A-516 grau 70.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. STANDARD specification for pressure vessel plates, carbon steel, for moderate-and lower-temperature service. Philadelphia, American Society for Testing and Material, 1979. (ASTM A 516-78).
2. ROE, G.J. Notch toughness of steels. In: METALS handbook. 9.ed. Metals Park, American Society for Metals, 1978. v.1, p.689-709.
3. METALS handbook. 8.ed. Metals Park, American Society for Metals, 1964. v.2, p.10-1.
4. GROSSMANN, M.A. & BAIN, E.C. Principles of heat treatment. 5.ed. Metals Park, American Society for Metals, 1964. p.197-9.
5. HANEMANN, H. & SCHADER, A. Atlas Metallographicus. 1.ed. Berlin, Verlag von Gebrüder Borntraeger, 1927. v.1, planchas 62-4.
6. COLPAERT, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 3.ed. São Paulo, Edgar Blücher Ltda., 1969. p.178.

### ABSTRACT

~~The present study is concerned with~~ The influence of normalizing time and temperature, as well as the plate thickness, on the impact properties of ASTM A-516 grade 70 steel, <sup>is studied.</sup> Results show that different normalizing conditions may lead to equivalent microstructures with different impact properties. Normalizing conditions that cause low cooling rate in the critical zone exhibit banded microstructure with inferior impact properties. (au thor).

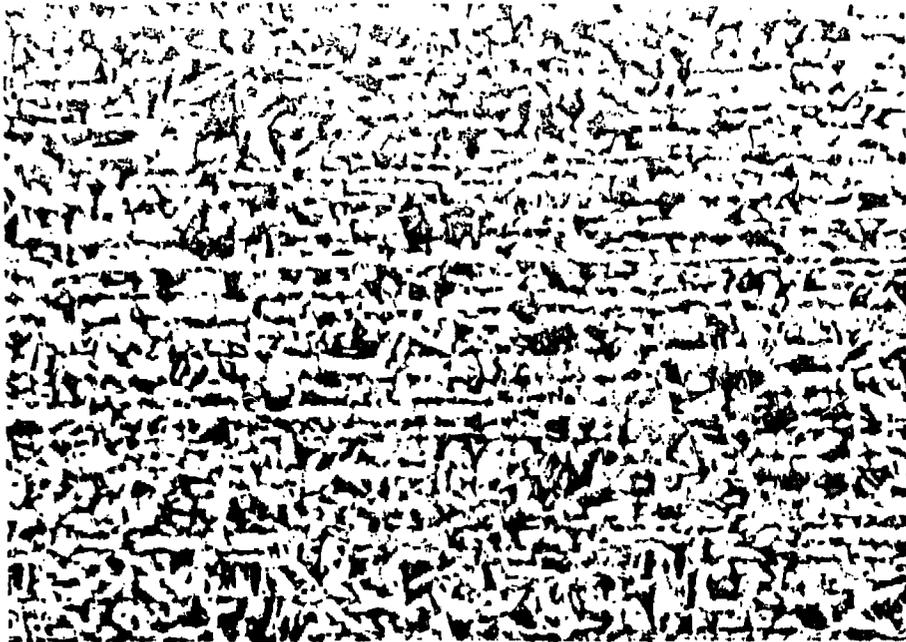


FIGURA 1

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL BRUTO DE LAMINAÇÃO. FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. ATAQUE: Nital. 100X

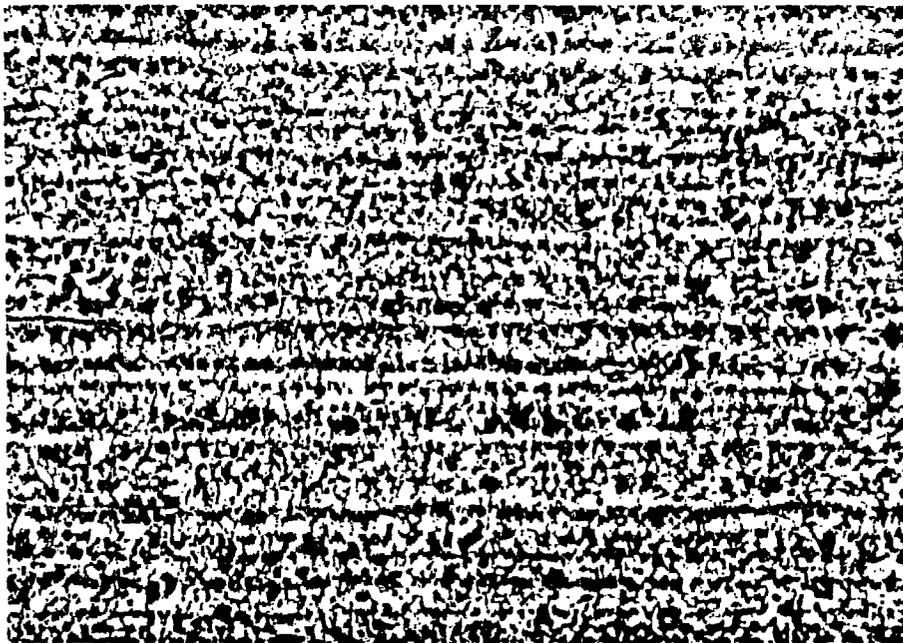
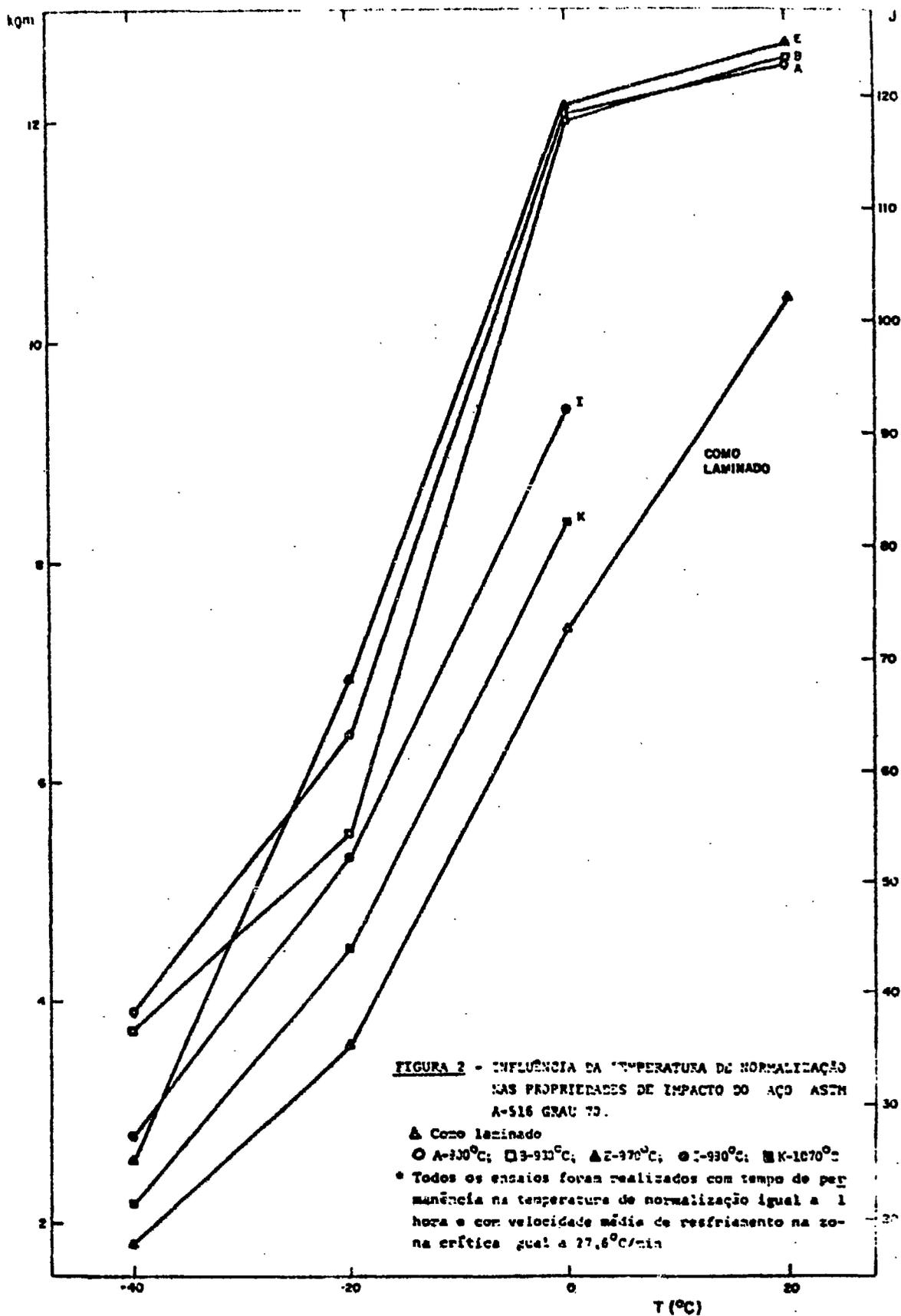


FIGURA 3

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL SUBMETIDO ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO "A". FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. ATAQUE: NITAL. 100X



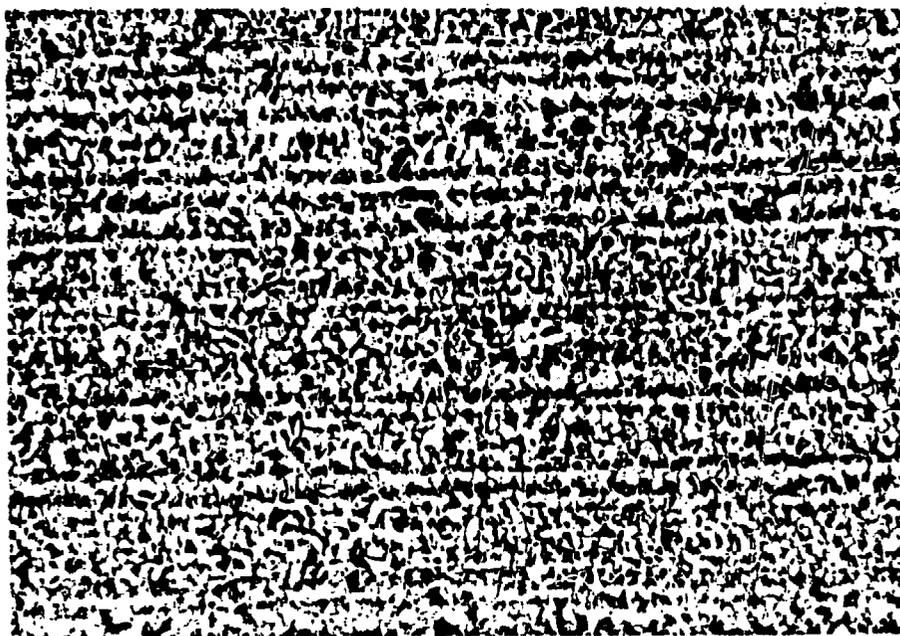


FIGURA 4

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL SUBMETIDO ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO "B". FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. ATAQUE: NITAL. 100X

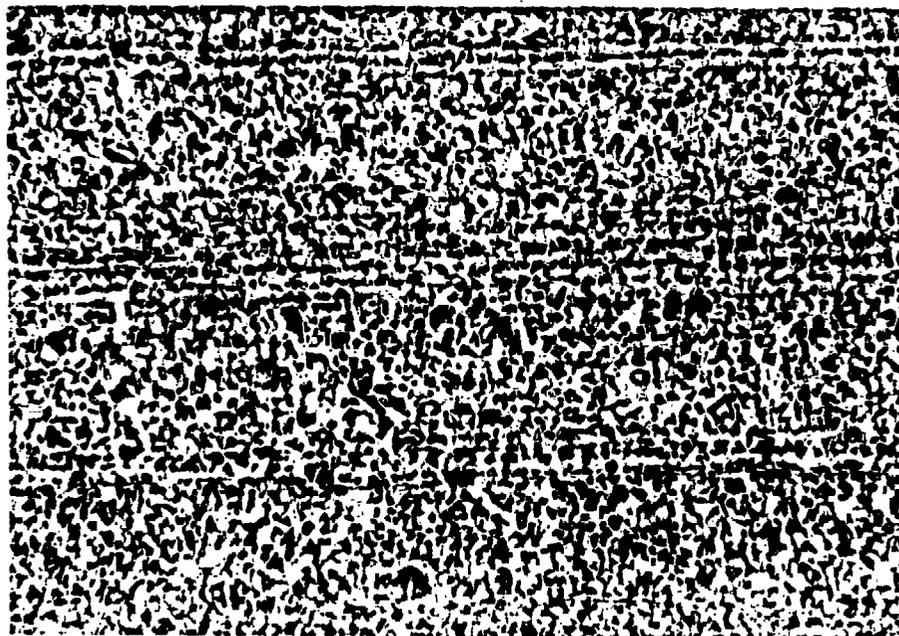


FIGURA 5

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL SUBMETIDO ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO "E". FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. ATAQUE: NITAL. 100X

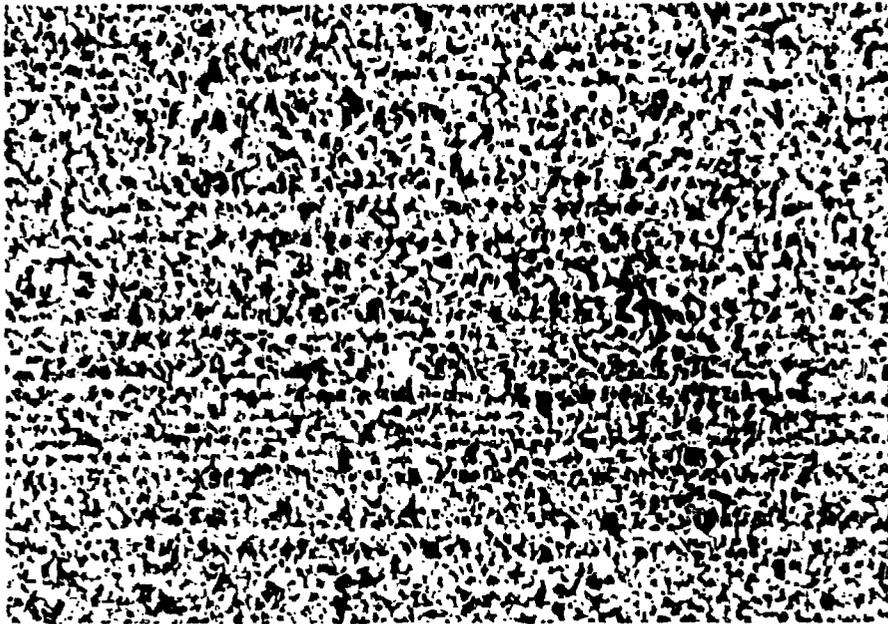


FIGURA 6

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL SUBMETIDO ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO "I". FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. ATAQUE: NITAL. 100X

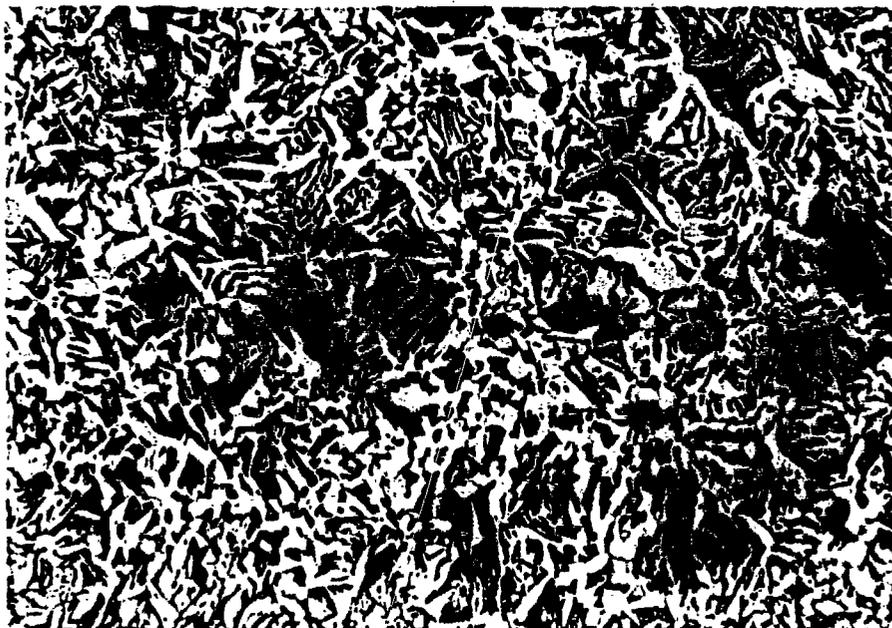
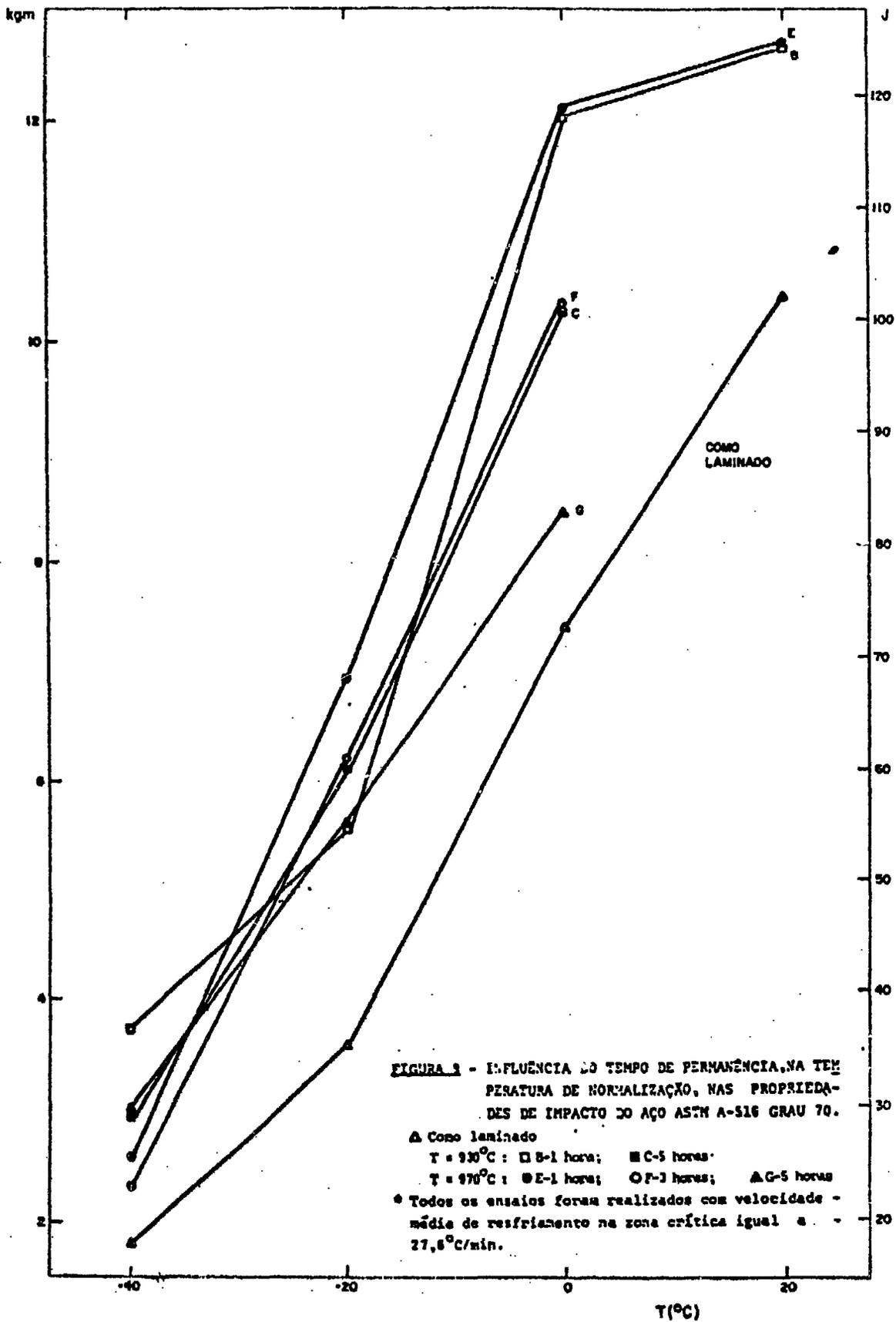


FIGURA 7

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL SUBMETIDO ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO "K". FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. NOTA-SE A OCORRÊNCIA DE CRESCIMENTO DE GRÃO. ATAQUE: NITAL. 100X



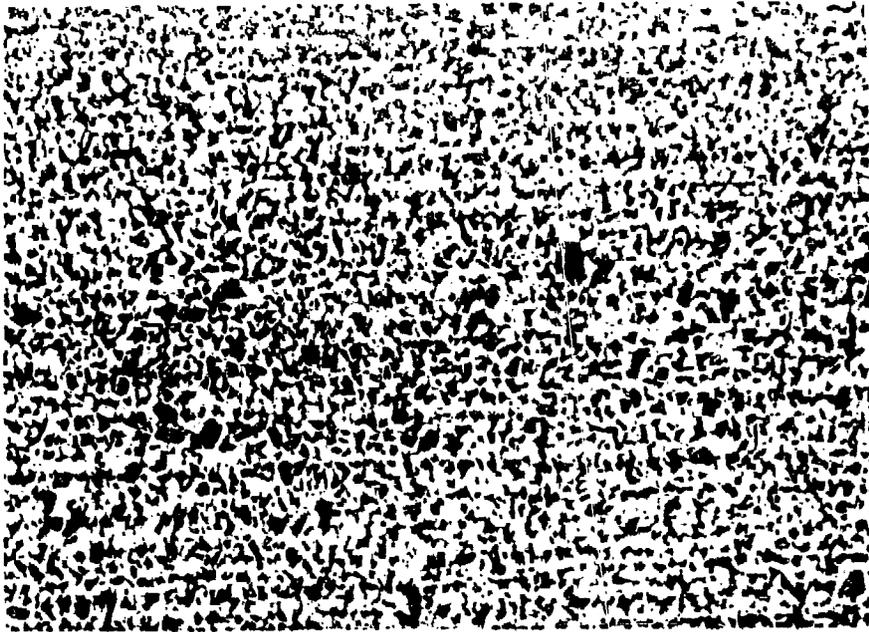


FIGURA 9

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL SUBMETIDO ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO "C". FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. ATAQUE: NITAL. 100X



FIGURA 10

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL SUBMETIDO ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO "F". FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. NOTA-SE A OCORRÊNCIA DE INÍCIO DE CRESCIMENTO DE GRÃO.

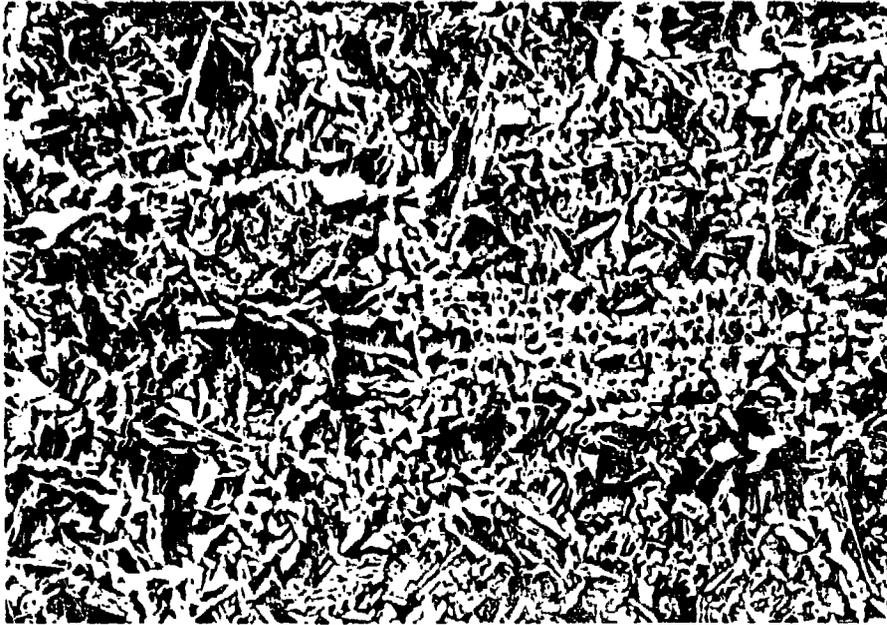


FIGURA 11

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL SUBMETIDO ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO "G". FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. NOTA-SE A OCORRÊNCIA DE CRESCIMENTO DE GRÃO. ATAQUE: NITAL. 100X

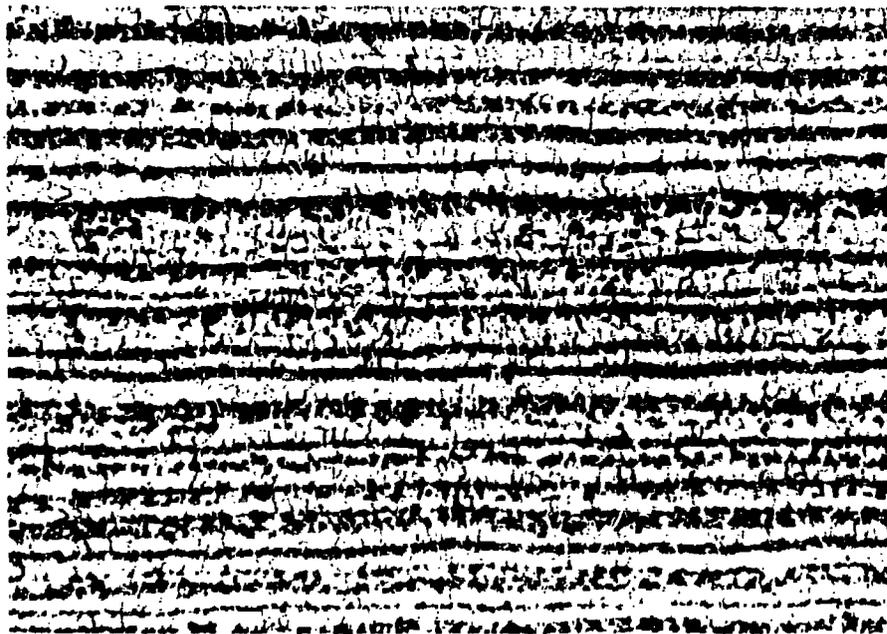


FIGURA 13

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL SUBMETIDO ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO "D". FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. OBSERVA-SE ACENTUAÇÃO DO BANDAMENTO. ATAQUE: NITAL. 100X

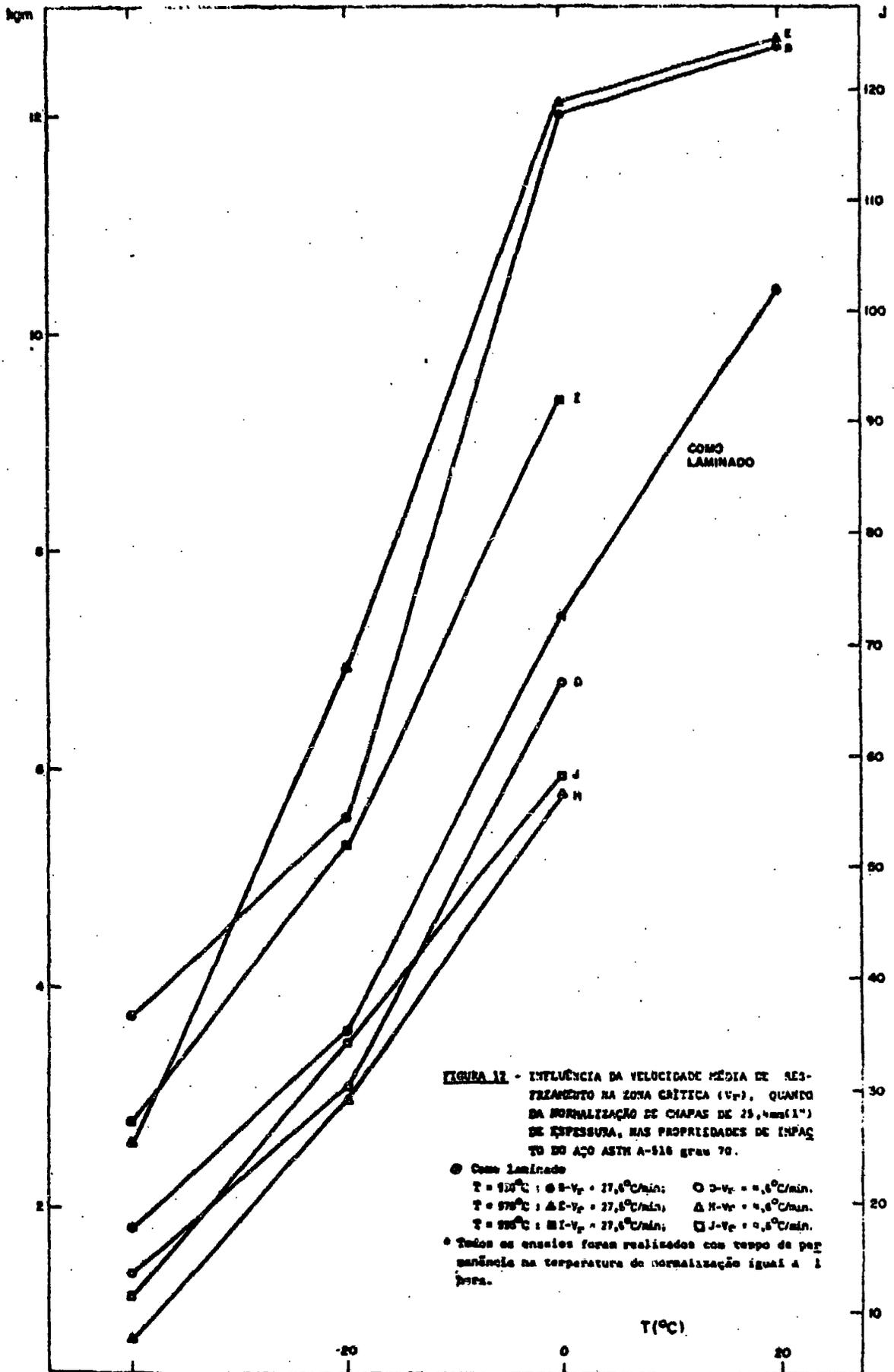




FIGURA 14

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL SUBMETIDO ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO "H". FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. OBSERVA-SE ACENTUA DO BANDEAMENTO. ATAQUE: NITAL. 100X

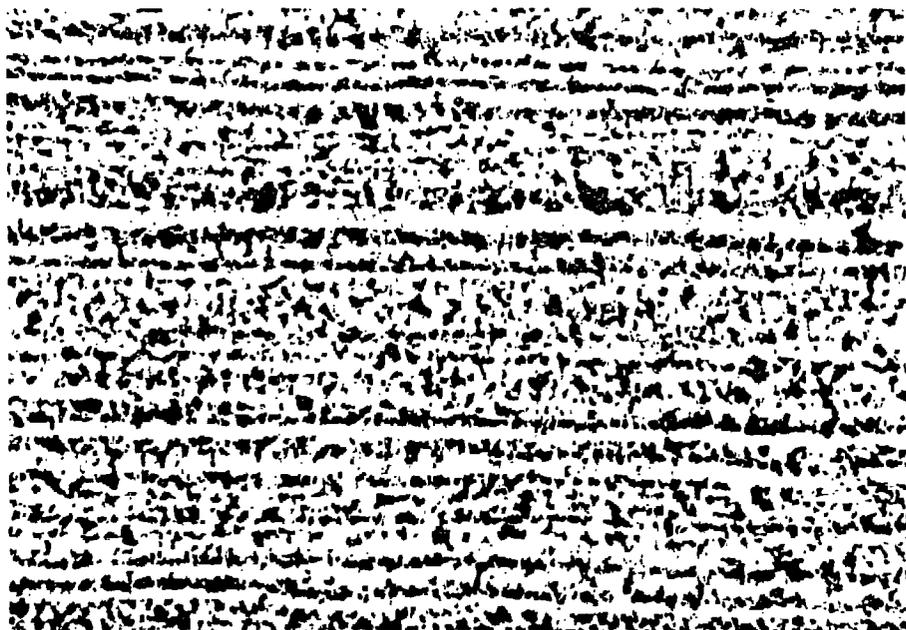


FIGURA 15

ASPECTO DA MICROESTRUTURA DO MATERIAL SUBMETIDO ÀS CONDIÇÕES DO ENSAIO "J". FERRITA, PERLITA E INCLUSÕES ALONGADAS DO TIPO SULFETO. OBSERVA-SE ACENTUA DO BANDEAMENTO. ATAQUE: NITAL. 100X

