

B.

BR7802006

1N15-ml-4705



**COPPE**  
**UFRJ**

Coordenação dos Programas  
de Pós-Graduação de Engenharia  
da Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  
COPPE-UFRJ

Programa de Engenharia  
Metalúrgica e de Materiais

## **PROPMEC**

GRUPO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS

CARACTERÍSTICAS DE FRATURA EM FLUÊNCIA  
DE UM AÇO 5 Cr-1/2 Mo A 600 E 650°C

CONTRIBUIÇÃO TÉCNICA AO XXXIII CONGRESSO ANUAL DA ABM  
JULHO DE 1978  
RIO DE JANEIRO

CARACTERÍSTICAS DE FRATURA EM FLUÊNCIA

DE UM AÇO 5 Cr-1/2 Mo A 600 E 650°C <sup>(1)</sup>

Rogério Luiz Cunha de Paiva <sup>(2)</sup>

Sergio Neves Monteiro <sup>(3)</sup>

Tito Luiz da Silveira <sup>(4)</sup>

- (1) Apresentado ao XXXIII Congresso Anual da ABM - Associação Brasileira de Metais
- (2) Estudante de Graduação - Departamento de Engenharia Metalúrgica, EE/UFRJ.
- (3) Engenheiro Metalúrgico, Ph.D., Professor de Engenharia Metalúrgica, COPPE-EE/UFRJ.
- (4) Engenheiro Mecânico, M.Sc., Professor Titular, Faculdade de Engenharia Souza Marques.

### RESUMO

Estudou-se o comportamento em fluência de um aço contendo 5 Cr-1/2 Mo nas temperaturas de 600 e 650°C.

As características de fratura observadas por metalografia ótica e eletrônica revelam uma transição no modo de ruptura de intergranular para transgranular no campo de temperaturas e tensões utilizadas neste trabalho.

Discute-se este comportamento com base nos possíveis mecanismos de deformação por fluência atuantes neste material.

### ABSTRACT

The creep behavior of a 5 Cr-1/2 Mo steel was studied at 600 and 650°C.

The characteristics of fracture, observed by optical and scanning metallography, displayed a transition from intergranular to transgranular mode of rupture in the range of temperatures and stresses studied.

This behavior was discussed based upon the possible mechanisms for creep deformation taking place in this material.

## 1. INTRODUÇÃO

Os aços de baixa liga ao cromo e molibdênio vêm sendo extensivamente utilizados em aplicações estruturais pelo compromisso que apresentam entre: preço, resistência à corrosão, resistência a fluência e soldabilidade. As proporções Cr-Mo típicas variam entre 1/2 Cr-1/2 Mo a 9 Cr-1 Mo.

De um modo geral todos os aços Cr-Mo com teores de Cr inferiores a 10% em peso apresentam níveis de resistência a fluência aproximadamente semelhantes. Esta resistência a fluência se situa um pouco acima dos aços ao carbono e razoavelmente abaixo dos aços inoxidáveis austeníticos.

Teores de Cr inferiores a 2% em peso são utilizados em aços com a finalidade de evitar grafitização. Acima de 2% de Cr estes aços apresentam uma crescente resistência tanto à corrosão quanto à oxidação <sup>1</sup>.

A importância industrial dos aços Cr-Mo tem motivado recentemente uma série de trabalhos que visa relacionar as características mecânicas e microestruturais em fluência <sup>2-6</sup>.

O presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento em fluência de um aço 5 Cr-1/2 Mo, um dos mais comumente utilizados no setor industrial, investigando a utilidade decorrente dos modos de ruptura associados às condições estudadas.

## 2. TÉCNICA EXPERIMENTAL

O material estudado atende às exigências da norma ASTM A387 gr 5, classe 2, conforme indicado nas Tabelas I e II. O material foi retirado de uma chapa com 29 mm de espessura. As condições nominais de tratamento do material no fabricante são aquecimento a 705°C seguido de um resfriamento brusco. Os ensaios foram conduzidos com o material no estado de fornecimento, cuja estrutura é apresentada na Figura 1. É pos-

sível constatar granulação fina e a presença de inclusões.

Os ensaios de fluência foram executados a carga constante nas temperaturas de 600 e 650°C. A técnica experimental utilizada nestes ensaios está descrita em trabalho anterior<sup>7</sup>.

### 3. RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de fluência estão indicados na Tabela III.

A Figura 2 mostra o aspecto de corpos de prova rompidos em condições extremas de tensão inicial e temperatura dentro dos intervalos estudados.

A Figura 3a mostra em baixo aumento uma micrografia de região vizinha à fratura do corpo de prova ensaiado a 600°C com tensão inicial de 10 Kg/mm<sup>2</sup>. A Figura 3b mostra uma fotografia obtida por microscopia eletrônica de varredura da superfície da fratura do mesmo corpo de prova.

A Figura 4 mostra com maior aumento os mesmos aspectos da Figura 3. Importa aqui observar que na superfície de fratura, Figura 4b, não é possível encontrar microporos (dimples) que caracterizam a fratura dútil clássica.

A Figura 5 caracteriza a morfologia de fratura de um corpo de prova também ensaiado a 600°C, entretanto, numa tensão inicial de 17 Kg/mm<sup>2</sup>, o formato da superfície de fratura é tronco-cônico e não ocorre cavitação disseminada. A Figura 6, relativa ao mesmo corpo de prova, porém com maior aumento, mostra grande densidade de microporos (dimples) na superfície de fratura.

#### 4. DISCUSSÃO

Pela comparação entre as Figuras 2a e 2b torna-se óbvio que ocorre uma transição nos mecanismos controladores da fratura neste aço.

Macroscopicamente é possível distinguir em 2b uma fratura dútil com acentuada formação de estricção. Em 2a a fratura está associada a uma menor deformação localizada.

A diferença relativa entre a redução de área e a elongação em corpos de prova rompidos, se acentua, à medida que prevalece o modo de fratura correspondente a Figura 2b.

Assim, a Figura 7 permite delinear o campo de ocorrência dessas morfologias no intervalo de tensões e temperaturas estudadas. É possível observar que a redução de área, e sua diferença relativa para a alongação, diminui com a tensão inicial de ensaio.

Considerando que o tempo de ruptura varia inversamente com a tensão inicial é possível concluir que o material em longos tempos de serviço tende a diminuir a dutilidade em relação ao que se observa em ensaios de curta duração.

Este tipo de comportamento é comum a um aço tipo 1 1/4 Cr-1/2 Mo, conforme resultados de Viswanathan <sup>6</sup>. Supõe-se que maiores tempos de trabalho favoreçam a deformação em fluência por deslizamento de contorno de grão <sup>9</sup>. O deslizamento nos contornos de grão gera a formação de vazios intergranulares que se interligam fragilizando o material <sup>10</sup>. A Figura 3 reforça esta suposição. De fato, o ensaio com maior tempo de ruptura dentre aqueles realizados, mostra intensa cavitação disseminada no volume do material e, justamente esse ensaio, corresponde ao menor valor apurado da redução de área.

A interligação dos vazios disseminados pode se processar da superfície para o interior do material, através de vã

rias frentes de propagação concorrentes. Isto difere da fratura dútil clássica na qual a interligação dos vazios se inicia no interior e atingindo a periferia do material original, por cisalhamento, o formato tronco-cônico característico da ruptura<sup>9</sup>. Os dois processos de fratura que correspondem às Figuras 2a e 2b são esquematicamente apresentados na Figura 8.

Corroborando esta conclusão é possível observar na Figura 2a uma trinca paralela a superfície de fratura e que possivelmente concorreu com a trinca responsável pela ruptura do corpo de prova.

O tipo de fratura originado do deslizamento do contorno de grão é principalmente de natureza intergranular.

No presente material não foi possível observar contornos facetados na superfície de fratura, como mostrado por Assis<sup>10</sup> que estudou detalhadamente este efeito em outro aço.

Justifica-se, entretanto, o aspecto irregular da superfície de fratura, do material rompido com baixa plasticidade, Figura 4b, pelo fato do seu tamanho de grão ser muito reduzido, Figura 1.

A morfologia de fratura do material rompido em alta plasticidade é caracterizada pela grande quantidade de microporos presentes, Figura 6. Este resultado está de acordo com os de Assis<sup>10</sup>.

Extensiva observação metalográfica não acusou nenhuma relação entre as inclusões presentes no material no estado inicial, Figura 1, e a formação de cavidades disseminadas. Igualmente não foi constatada interação dessas inclusões na fratura dútil com marcante estricção.

## 5. CONCLUSÕES

- A fratura do aço 5 Cr-1/2 Mo ensaiado em fluência entre 600 e 650°C varia de intergranular para transgranular à medida que as tensões e as temperaturas de trabalho aumentam.
- A fratura intergranular em fluência é associada a intensa cavitação disseminada no volume do material. Isto resulta possivelmente da deformação por deslizamento em contornos de grão.
- A fratura transgranular é caracterizada por elevada plasticidade local e ausência de cavitação disseminada. Isto provavelmente decorre da atividade de mecanismos de recuperação que facilitam a movimentação de discordâncias no interior dos grãos, como sugere Assis<sup>10</sup>.
- As segundas fases presentes neste aço, reveladas por metalografia ótica, não parecem participar diretamente do processo de fratura.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi executado com recursos fornecidos pelo CNPq, CEPG/UFRJ, CNEN e Fundação Técnico Educacional Souza Marques.

Os autores agradecem ao auxílio prestado pelo Sr. Nivaldo Luiz Mendes na condução dos ensaios de fluência.

## BIBLIOGRAFIA

1. United States Steel; Steels for elevated temperature service, UDUSS 43-1089 (Janeiro 1966).
2. Finkelburg, W.D.: A study of the creep behavior of different microstructures in a chromium-molybdenum steel,



Erlangen Research Abstracts, Institut für Werkstoffwissenschaften I, Technische Fakultät, Universität Erlangen-Nürnberg (julho 1973).

3. Kroha, E.: Effect of microstructural changes during creep on the fracture toughness of a Cr-Mo steel, Erlangen Research Abstracts, Institut für Werkstoffwissenschaften I, Technische Fakultät, Universität Erlangen-Nürnberg (junho 1974).
4. Viswanathan, R.: Effect of impurities on creep properties of 12,5 Cr-0,5 Mo steel, Metals Technology (junho 1975).
5. Swift, R.; Rogers, H.C.: Study of creep embrittlement of 2 1/4 Cr-1 Mo steel weld metal, Welding Research Supplement 188-s, A.W.S. (julho 1976).
6. Viswanathan, R.: Effect of stress and temperature on the creep and rupture behavior of a 1,25 pct chromium - 0,5 pct molybdenum steel, Met. Trans. A, V. 8A, p.877, (junho 1977).
7. Silveira, T.L.: Aspectos de fluência em ligas ferro-cromo-níquel, Tese M.Sc., COPPE/UFRJ (junho 1975).
8. Garofalo, F.: Fundamentals of creep and creep rupture in metals, Cap. 7, Macmillan (1965).
9. Tetelman, A.S.; Mc Evily, A.J.: Fracture of Structural Materials, Cap. 9, John Wiley (1967).
10. Assis, A.M.C.A.: Estudo das características estruturais e fractográficas ligadas ao comportamento mecânico em fluência de aços tipos AISI 304 e 316 entre 550 e 800°C, Tese M.Sc., COPPE/UFRJ (janeiro 1978).

TABELA I - COMPOSIÇÃO QUÍMICA - PESO

Elementos	C	Cr	No	Si	Mn	P	S
Material estudado	0,15	5,4	0,44	0,35	0,41	-	0,022
Composição Nominal ASTM A 387 gr 5	max 0,15	4 a 6	0,4 a 0,7	max 0,55	0,27 a 0,63	max 0,040	max 0,030

TABELA II - PROPRIEDADES MECÂNICAS

	Limite de escoamento a 0,2% Kg/mm <sup>2</sup>	Limite de ruptura Kg/mm <sup>2</sup>	Alongamento em 50% %	Redução de área %
Material estudado	38,8	55,6	30,4	65
ASTM A 387 gr 5 classe II	min 31,6	52,7 a 70,3	min 18	min 45

TABELA III - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLUÊNCIA

Temperatura (°C)	Tensão inicial (Kg/mm <sup>2</sup> )	Alongamento %	Redução de área %
600	10,00	36,06	49,14
	12,00	56,49	76,15
	16,93	32,93	84,83
650	10	33,91	75,16
	12	31,00	88,31
	28	25,15	89,25

## LEGENDA DAS FIGURAS

**FIGURA 1:** Aço 5 Cr-1/2 Mo no estado inicial. Observa-se a granulação fina e a presença de inclusões.

**FIGURA 2:** Corpos de prova rompidos em fluência.

Condições	a	b
Temperatura °C	600	650
Tensão inicial Kg/mm <sup>2</sup>	10	12
Alongamento %	36	31
Redução de área %	49	88
Tempo de ruptura h	130	15

**FIGURA 3:** Material ensaiado a 600°C com tensão inicial de 10 Kg/mm<sup>2</sup>; alongamento 36%; redução de área 49%.

3a) micrografia em região próxima a fratura revelando intensa cavitação disseminada no volume do material, ataque Nital 3.

3b) fractografia em microscopia eletrônica de varredura.

**FIGURA 4:** Mesmas condições da Figura 3 com maior aumento. Na superfície de fratura não são observados microporos (dimples) característicos de fratura dútil clássica.

**FIGURA 5:** Material ensaiado a 600°C com tensão inicial de 17 Kg/mm<sup>2</sup>; alongamento 36%; redução de área 85%.

5a) micrografia na região de fratura caracterizando seu formato de tronco-cônico; não é ob

servada cavitação disseminada.

5b) fratura em microscópio eletrônico de varredura.

FIGURA 6: Fratura nas mesmas condições da Figura 5b, porém com maior aumento. É possível constatar microporos (dimples) na maior parte da superfície de fratura.

FIGURA 7: Relação entre redução de área e alongamento com a tensão inicial em fluência.

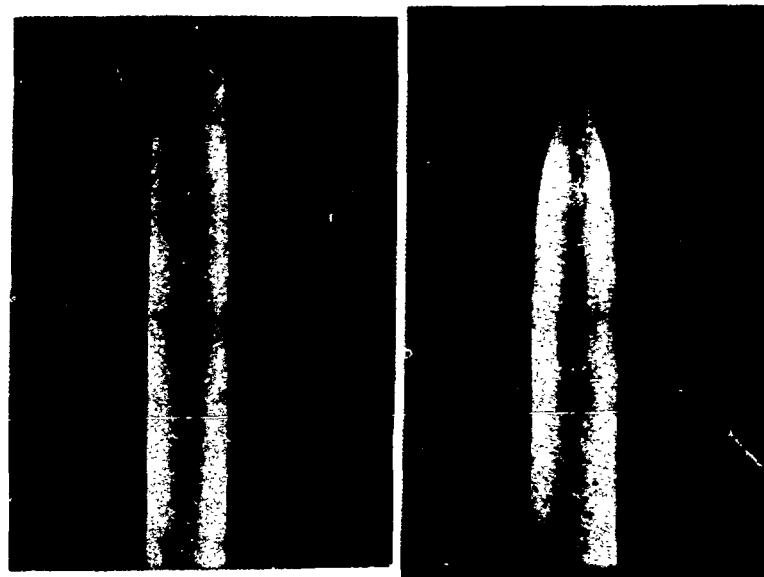
FIGURA 8: Morfologia dos processos de fratura observada em 600 e 650°C.

8a) tendência nas altas tensões iniciais e altas temperaturas de ensaio.

8b) tendência nas baixas tensões iniciais e baixas temperaturas de ensaio.



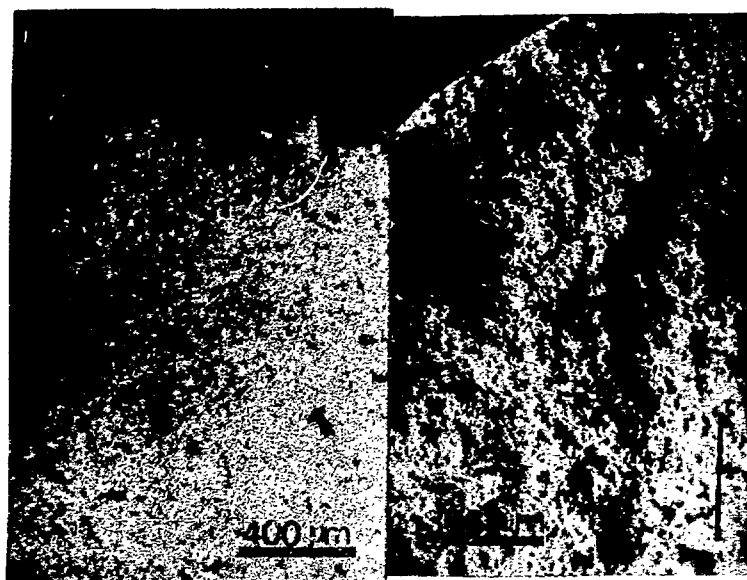
FIGURA 1



(a)

(b)

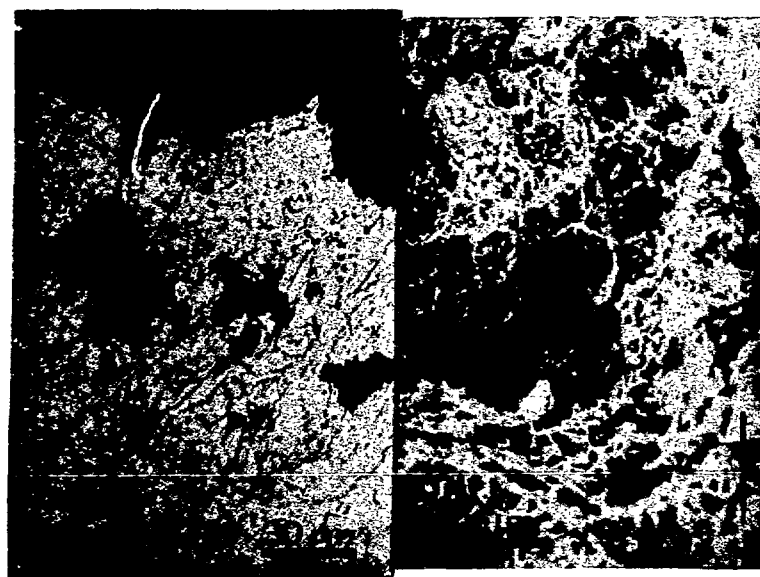
FIGURA 2



(a)

(b)

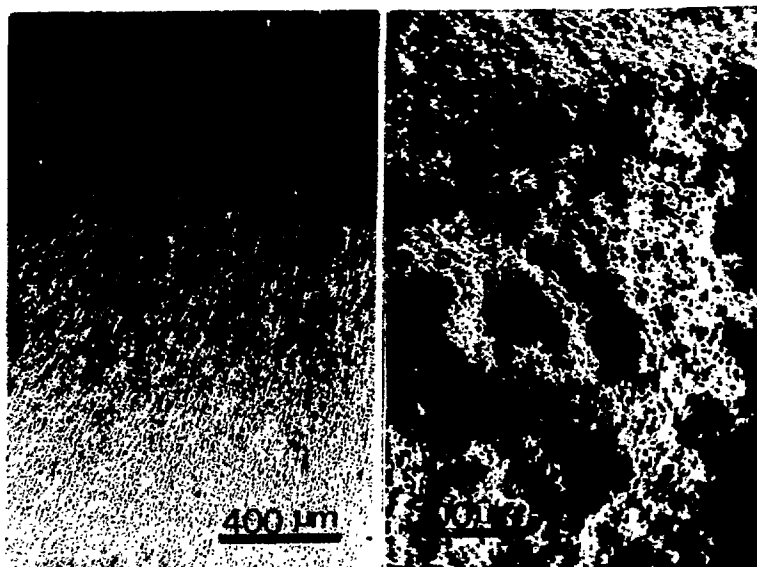
FIGURA 3



(a)

(b)

FIGURA 4



(a)

(b)

FIGURA 5

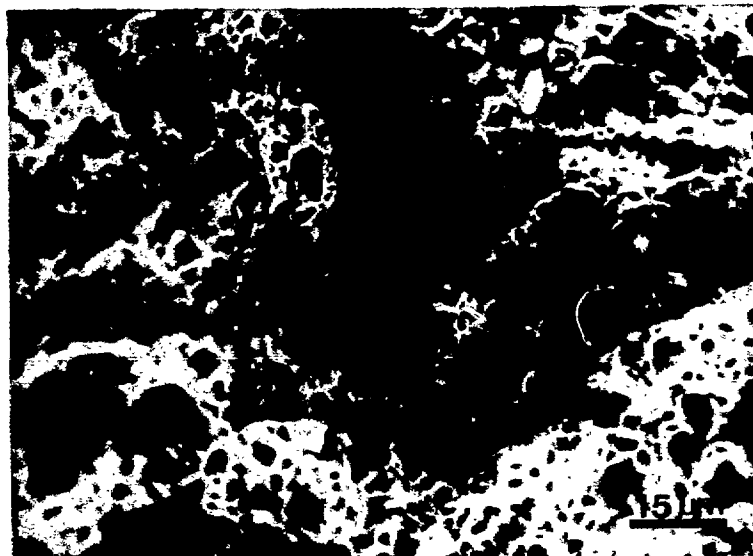


FIGURA 6



LEGENDA: R.A. (%) ○ ; ELONG. (%) ●

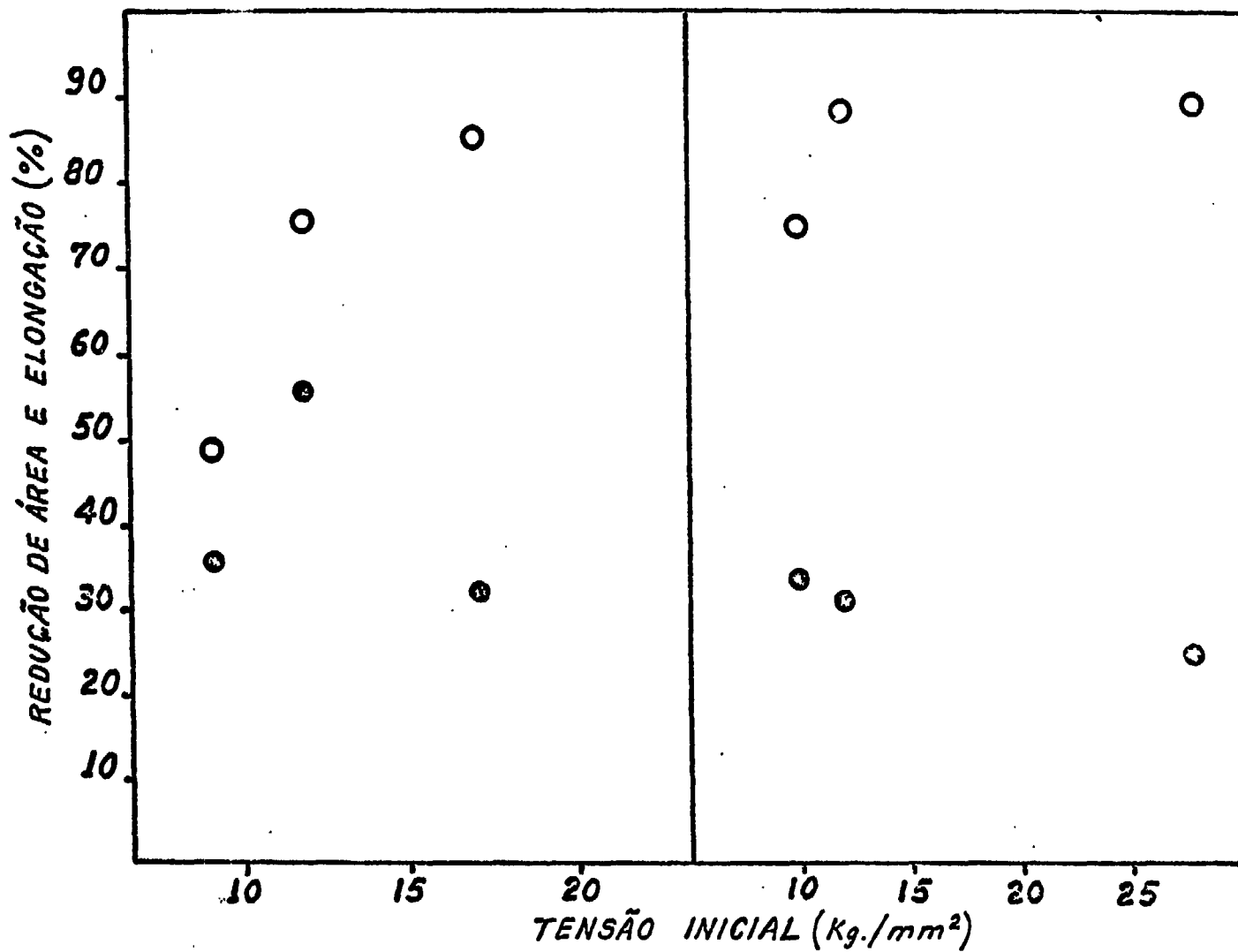


FIGURA 7

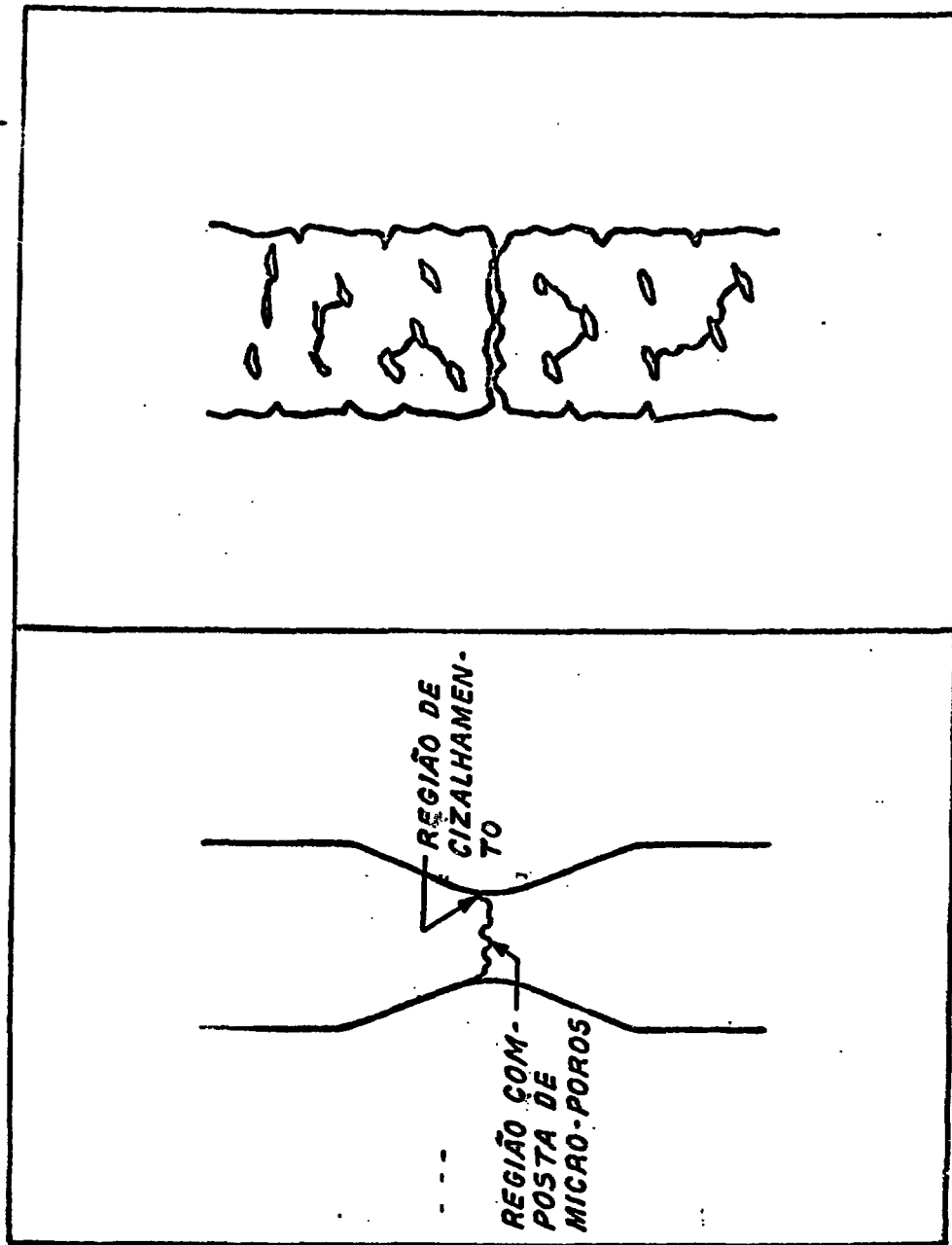


FIGURA A

Centro de Tecnologia  
COPPE/UFRJ  
Setor de Reprografia

