

# III Congresso Nacional de Engenharia Mecânica



Anais do Congresso



---

## Realização



Universidade  
Federal  
do Pará



---

## Patrocínio



Companhia  
Vale do Rio Doce



SECTAM  
Sindicato dos Seguros do Comércio,  
Indústria e Serviços do Estado do Pará

---

## Apoio



---

ISBN 85-85769-16-5



9 788585 769161



## III CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA

10 a 13 de Agosto de 2004 - Belém - PA

### Realização:



Universidade Federal do Pará



### Patrocínio:

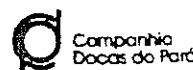


Companhia  
Vale do Rio Doce



SECTAN  
SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA,  
TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE

### Apoio:



## ESTUDO DA VIDA EM FADIGA EM TEMPERATURA AMBIENTE E A 300°C DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO Cr-Mn-N

Ana Claudia Costa de Oliveira

Laboratórios Associados de Sensores e Materiais (LAS), Instituto Nacional de Pesquisas Nacionais (INPE) São José dos Campos, SP, Brasil, ana@las.inpe.br

Luiz Vicente Vareda

Depto. de Eng. de Estruturas da EESC-USP, lvvareda@sc.usp.br

Waldek Wladimir Bose Filho

Depto. de Eng. de Materiais da EESC-USP, waldek@sc.usp.

Dirceu Spinelli

Depto. de Eng. de Materiais da EESC-USP, dspinell@sc.usp.

Maria do Carmo de Andrade Nono

Laboratórios Associados de Sensores e Materiais (LAS), Instituto Nacional de Pesquisas Nacionais (INPE) São José dos Campos, SP, Brasil, maria@las.inpe.br

*Resumo.* Foi investigada a influência da temperatura nas propriedades monotônicas e de fadiga de baixo ciclo de um aço inoxidável austenítico do sistema Cr-Mn-N, utilizado na confecção de colares para perfurações de poços de petróleo. As propriedades monotônicas foram determinadas no intervalo entre a temperatura ambiente e 400°C, cujos resultados mostraram um decréscimo significativo dos valores dos parâmetros de resistência e do alongamento total com o aumento da temperatura. Os ensaios de fadiga foram realizados nas temperaturas ambiente e 300°C, esta última, correspondente à temperatura aproximada de trabalho dos colares. Foi observada uma diminuição significativa na vida em fadiga na temperatura de 300°C. Este comportamento foi explicado como sendo uma consequência da diminuição nos valores dos limites de resistência e de escoamento, e do alongamento total, com o aumento da temperatura.

*Palavras-Chaves :* aço inoxidável, fadiga de baixo ciclo, propriedades monotônicas

### 1. INTRODUÇÃO

O material em estudo pertence ao grupo dos aços inoxidáveis austeníticos baseados no sistema Cr-Mn-N. Este tipo de aço é utilizado em aplicações especiais pela indústria de exploração de petróleo, como colares para perfurações de poços de petróleo, anéis de retenção, fios resistentes à corrosão, etc (Panzembock et. al., 1990 e Macdonald et al, 1996). Os principais mecanismos de aumento de resistência destes aços são o endurecimento por solução sólida, devido à presença dos elementos Cr, Mn e N e o endurecimento por deformação, devido ao aumento da densidade de discordâncias geradas

142 0031  
17 205

SYSNO	142 0031
PROD	-002220
ACERVO EESC	

Gp.

durante o processo de fabricação. Em serviço, os colares estão sujeitos a esforços tanto estáticos como dinâmicos (Gny et. al, 1990).

Com o aumento da profundidade de perfuração, a temperatura do colar aumenta, podendo atingir temperaturas ao redor de 300°C, agravando ainda mais as condições de carregamento mecânico (Nakazawa et. al, 1989). Para estas condições, o material utilizado na confecção destes colares deve apresentar boas propriedades de tração, fadiga e tenacidade à fratura, tanto à temperatura ambiente, como nas temperaturas de trabalho.

O comportamento em fadiga é um fator importante de componentes e estruturas sujeitos a carregamento cíclico.

Neste trabalho, foi investigada a influência da temperatura nas propriedades monotônicas e de fadiga de baixo ciclo de um aço do sistema Cr-Mn-N, utilizado na confecção de colares para perfurações de poços de petróleo. As propriedades obtidas no ensaio de tração foram determinadas no intervalo entre a temperatura ambiente e 400°C. Os ensaios de fadiga foram realizados nas temperaturas ambiente e 300°C, sendo esta última correspondente à temperatura aproximada de trabalho dos colares.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material em estudo foi um aço inoxidável austenítico do sistema Cr-Mn-N, cuja a composição química está na Tab. (1). O tratamento final do aço foi o de forjamento a morno na temperatura de 700°C, seguido de resfriamento em água. As barras foram conformadas a frio com redução de 15% no diâmetro, perfuradas e usinadas mecanicamente para se obter as dimensões nominais de 9m de comprimento, 70mm de diâmetro externo e 70mm de diâmetro interno.

Tabela 1. Composição química do aço (% em peso).

C	N	Mn	Cr	Ni	Nb	Si	P	S	Mo
0,004	0,22	16,74	13,22	2,24	0,21	0,35	0,034	0,002	0,50

Os ensaios de tração foram realizados segundo as normas ASTM E8M-97 e ASTM E21-92 em uma máquina Instron de 100kN de capacidade, em temperatura variando entre a temperatura ambiente e 400°C, utilizando corpos de prova cilíndricos retirados na direção longitudinal do tubo. Os ensaios de fadiga de baixo ciclo foram realizados segundo a norma ASTM E606-92, sob controle de deformação total, nas temperaturas ambiente e 300°C, utilizando uma onda senoidal, com  $R=-1$  e frequência de 0,5Hz, em uma máquina servo-Hidráulica MTS de 250kN de capacidade (Fig. (1)). Utilizando corpos de prova cilíndricos com diâmetro e comprimento útil de 6,35 mm e 15 mm, respectivamente, foram usinados a partir da parede do componente tubular, na direção longitudinal.

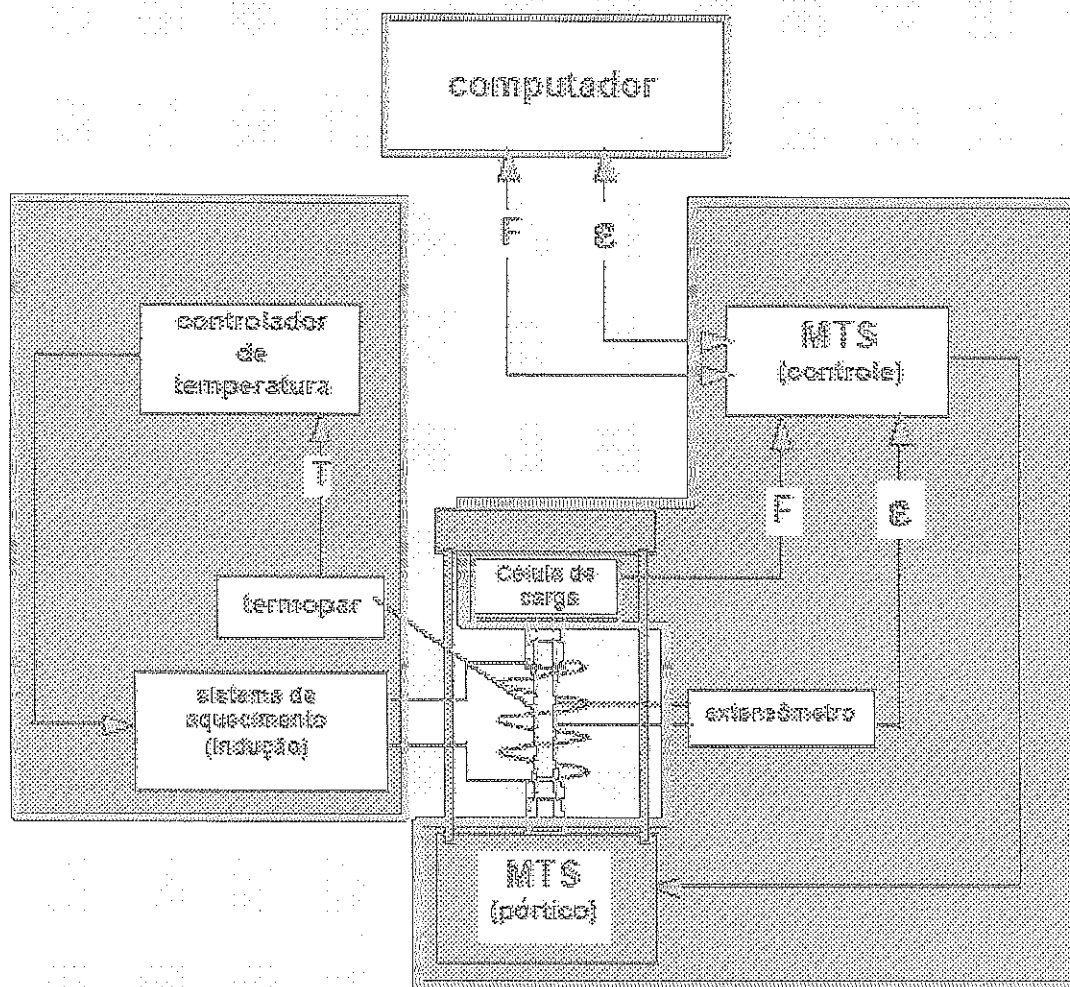


Figura 1 – Esquema do ensaio de fadiga isotérmico (300°C)

### 3. RESULTADOS

A influência da temperatura nas propriedades monotônicas do aço, na direção longitudinal, pode ser observado nas fig. (2a) e (2b). Nota-se que os limites de resistência e escoamento e o alongamento total diminuíram significativamente com o aumento da temperatura. Entretanto a redução da área teve um pequeno aumento a 100°C, em relação à temperatura ambiente e para temperaturas maiores, seu valor teve pequena diminuição.

A grande diminuição dos limites de escoamento e de resistência com o aumento da temperatura é uma característica dos aços inoxidáveis austeníticos contendo nitrogênio (Simmons, 1996).

A eficiência do endurecimento por solução sólida intersticial devido a presença de nitrogênio, responsável pela elevada resistência do aço na temperatura ambiente, diminui com o aumento da temperatura ambiente (Grujicic et. al, 1989).

Como pode ser observado na Fig. (2a), a diminuição no valor do limite de escoamento com o aumento da temperatura é menos acentuada do que a diminuição do limite de resistência. Como consequência disto, a taxa de encruamento diminui com o aumento da temperatura, fazendo com que o início da estricção ocorra para níveis de deformação menores, diminuindo, assim, o alongamento.

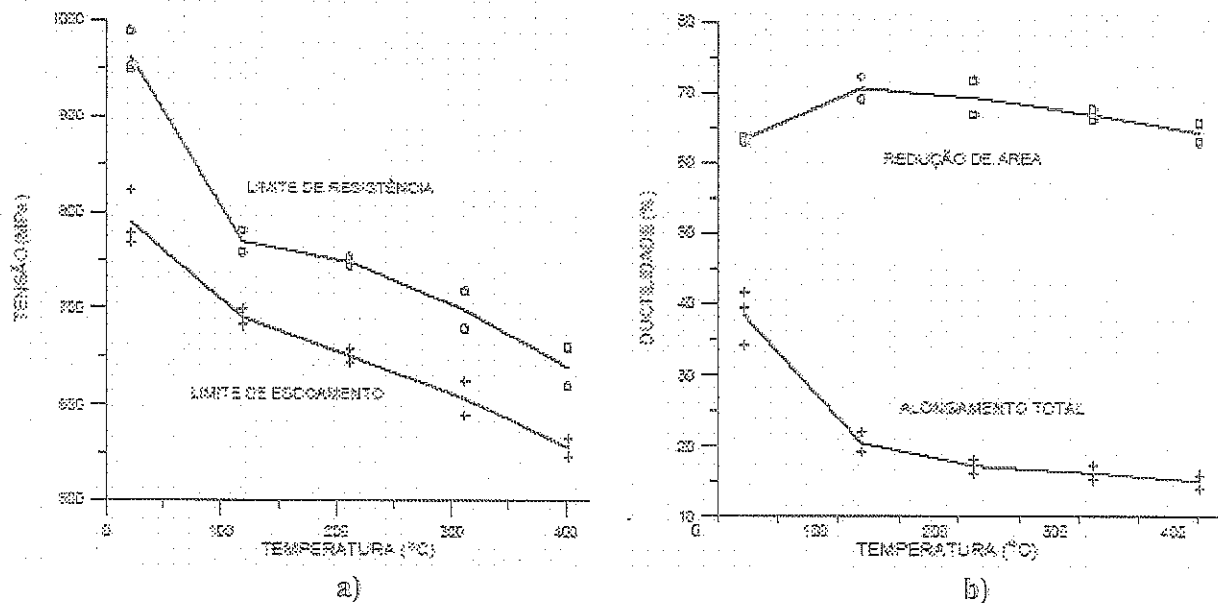


Figura 2. Ensaio de tração: a) limites de escoamento e de resistência em função da temperatura e b) redução de área e alongamento em função da temperatura

Na Fig. 2b, o valor de redução de área, indica que, para o aço em estudo, este parâmetro foi pouco influenciado pela variação da temperatura.

Na temperatura ambiente a estrição dos corpos de prova foram difusas, o que resultou no maior valor do alongamento enquanto que, com o aumento da temperatura esta se tornou mais concentrada, alterando pouco o valor da área final de fratura.

A Fig. (3) apresenta uma comparação entre as curvas deformações total-vida obtidas nas temperaturas ambiente e 300°C. Observa-se que à 300°C ocorre um decréscimo significativo na vida em fadiga do material.

O comportamento em fadiga na região de vida curta é controlado pela ductilidade do material, representada pelos parâmetros de redução de área e alongamento. O decréscimo na vida com o aumento da temperatura indica que, para o aço em estudo, o alongamento é o parâmetro que controla melhor este comportamento, nesta região.

Na região de vida longa, o decréscimo na vida em fadiga com o aumento da temperatura pode ser atribuído à diminuição dos valores dos limites de resistência e de escoamento, uma vez que, nesta região, este comportamento é controlado pelos parâmetros de resistência do material.

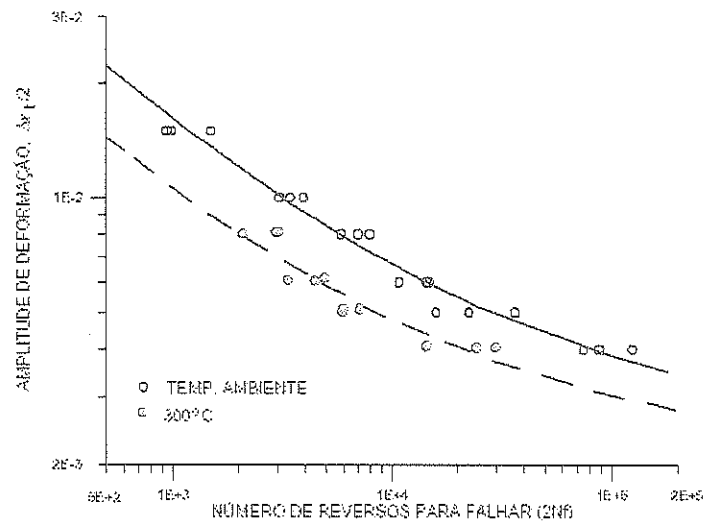


Figura 3. Curvas deformação-vida obtidas nas temperaturas ambiente e 300°C

#### 4. CONCLUSÃO

Os valores dos limites de escoamento e de resistência, e do alongamento total do aço em estudo sofreram um decréscimo significativo com o aumento da temperatura, enquanto que o valor da redução de área variou pouco.

Para a temperatura de 300°C ocorreu um decréscimo significativo na vida em fadiga. Este comportamento é uma consequência do decréscimo dos parâmetros de resistência e de ductilidade do aço, na temperatura de ensaio.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES pelo apoio financeiro.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM E8M-97, 1998, Standard test methods of tension testing of metallic materials. Annual book of ASTM standards [CD-ROM]. West Conshohocken.
- ASTM E21-92, 1997, Standard test methods for elevated temperature tension tests of metallic materials. Annual book of ASTM standards [CD-Rom]. West Conshohocken.
- ASTM E606-92, 1997, Standard practice for strain-controlled fatigue testing. Annual Book of ASTM Standards [CD-Rom]. Philadelphia.
- Gny, I.P. et. al. ,1990, Optimizing the service life of drill-collar joints on the basis of fracture mechanics criteria. Soviet Materials Science, v.26, n.6, p.706-10.
- Grujicic, M. et. al. ,1989, Basic deformation mechanisms in nitrogen strengthened stable austenitic stainless steels. In: Conference on High Nitrogen Steels"HNS88", London, France. Proceedings. p.151-8.
- Macdonald, D. K.A., Aigner, H. ,1996, Some case studies of failed austenitic drillcollars. Engineering Failure Analysis, v.3, n.4, p. 281-97.
- Nakazawa, T. et. al. ,1989, Development of nonmagnetic drill collar steel with high stress corrosion cracking resistance. Nippon Steel Technical Report n.39, v. 40, p.1-7.
- Panzembock, M. et. al. ,1990, Fatigue behaviour of austenitic Cr-Mn-N steels. Fatigue & Fracture Engineering Materials and Structures, v.13, n.6, p.563-78.



Simmons, J. W. ,1996, Overview: high-nitrogen alloying of stainless steels. Material Science and Engineering, v A207, p.159-69.

## ESTUDY OF FATIGUE LIFE AT ROOM TEMPERATURE AND 300°C OF A Cr-Mn-N AUSTENITIC STAINLESS STEEL

Ana Claudia Costa de Oliveira

M.Sc in Materials Engineering – Associated Laboratory of Sensor and Materials (LAS), National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, SP, Brazil, ana@las.inpe.br

Luiz Vicente Vareda

D.Sc. in Metallurgical Engineering – Department of structural Engineering, University of São Paulo – São Carlos, lvvareda@sc.usp.br

Waldek Wladimir Bose Filho

Associate Professor of the Department of materials, Aeronautic and Automotive Engineering, University of São Paulo – São Carlos, waldek@sc.usp.br

Dirceu Spinelli

Associate Professor Department of Materials, Aeronautic and Automotive Engineering, University of São Paulo – São Carlos, dspinell@sc.usp.br

Maria do Carmo de Andrade Nono

Associated Laboratory of Sensor and Materials (LAS), National Institute for Space Research (INPE), São José dos Campos, SP, Brazil, maria@las.inpe.br

*Abstract.* The temperature influence on the monotonic and low-cycle fatigue properties of a Cr-Mn-N austenitic stainless steel, employed in the manufacture of drill collar connections was investigated. The temperature dependence of tensile properties was determined and it was found that the yield strength, ultimate strength and total elongation values decreased significantly in the range between room temperature and 400°C. The low cycle fatigue testing were carried out at room temperature and 300°C. The results showed great influence of temperature at 300°C in the short and long fatigue lives range.

*Keywords :* austenitic stainless steel, low cycle fatigue, monotonic properties