

# CONTROLE DA PROPAGAÇÃO DE TRINCA DE FADIGA EM UM AÇO TIPO API 5LX70 UTILIZANDO A FLECHA MÁXIMA

Helder Pontes Regis

Escola Técnica Federal da Paraíba  
Av. 1º de Maio, 720 - Jaguaribe  
58015-430 - João Pessoa - Paraíba - Brasil.

Marconi Andrade Farias, M.Sc.  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB  
Cidade Universitária - Campus II  
Campina Grande - Paraíba - Brasil.

## Resumo

*Este trabalho tem o intuito de pesquisar a viabilidade de se acompanhar o crescimento de trinca de fadiga em corpos de prova confeccionados em aço tipo API 5LX70, através da relação de proporcionalidade existente entre o tamanho da trinca e a flecha máxima atingida pelo corpo de prova, durante o ciclo de carregamento. Esta relação de proporcionalidade é esperada dentro do regime elástico de deformação, possibilitando o levantamento de gráficos (Flecha Máxima X Comprimento de trinca). Estes gráficos podem ser utilizados para o acompanhamento do crescimento de trinca em corpos de prova padronizados, sendo a flecha máxima, fornecida diretamente pela máquina de ensaios, sem necessidade de equipamentos auxiliares.*

## 1. Introdução

Além dos defeitos introduzidos na fabricação, as estruturas e componentes mecânicos normalmente estão sujeitos a carregamentos cíclicos. Mesmo sem defeitos significativos, trincas podem surgir como conseqüência dos esforços cíclicos. Nos projetos dos elementos mecânicos atuais, deve-se ter como base, as propriedades de

propagação das trincas por fadiga dos materiais envolvidos (figura 1).

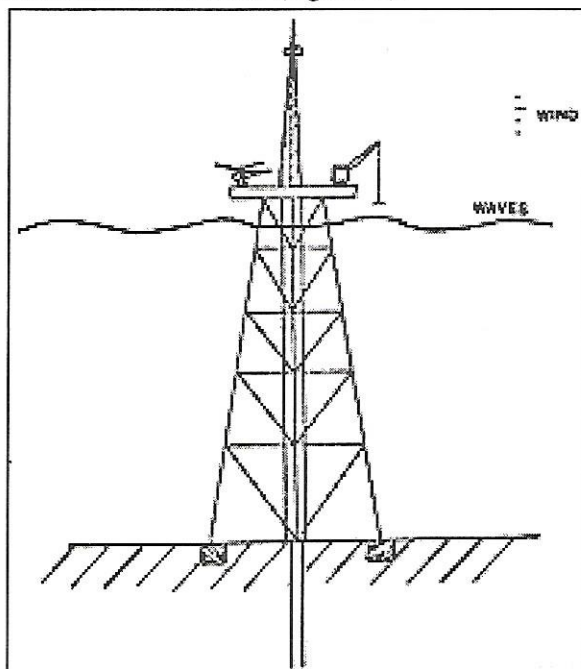


FIGURA 1 : Exemplo de uma estrutura que sofre carregamento cíclico provocado pelo vento e pelas ondas.

A necessidade de ensaios laboratoriais que reproduzissem as condições mais próximas possíveis dos reais esforços que os elementos de máquinas ou estruturas estão sujeitos, levou os pesquisadores a buscarem métodos para o acompanhamento da propagação de trincas de fadiga [1]. Nestes ensaios, basicamente duas variáveis

são monitoradas: o comprimento da trinca e o n° de ciclos de carregamento.

O n° de ciclos de carregamento é fornecido diretamente pela máquina de ensaios, porém, determinar o tamanho da trinca com segurança e precisão, não é tão simples.

O método de acompanhamento de crescimento de trinca, em metais, normalmente utilizado é o método visual, que utiliza lupas ou microscópios móveis, sendo o mais simples, e de menor custo [1]. Contudo, quando o ensaio requer muitas horas, ou a pesquisa requisitar muitos ensaios, ou ainda, quando o corpo de prova estiver no interior de uma câmara climatizadora, este método torna-se inviável por causar cansaço físico ao observador e da impossibilidade da visualização do corpo de prova, no caso do uso de câmaras.

Devido às dificuldades dos métodos de acompanhamento do crescimento de trinca, como já abordado em outros trabalhos científicos [3], este método propõe a elaboração de gráficos (Flecha máxima X Comprimento de trinca) que podem ser uma alternativa simples, de baixo custo e de larga aplicação.

## 2. Materiais e métodos experimentais

### Material

Aço da classificação API 5LX70.

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

Carbono	0,11 %
Manganês	1,5 %
Silício	0,32 %
Fósforo	0,016 %
Enxofre	0,002 %
Alumínio	0,037 %
Cobre	0,01 %
Níquel	0,016 %
Cromo	0,155 %
Nióbio	0,44 %

Vanádio	0,44 %
Molibidênio	0,01 %

Tabela 2 - Propriedades mecânicas de tração

$\sigma_r$ (MPa)	$\sigma_e$ (MPa)	$\Psi$ (%)
628	532,2	30

### Métodos experimentais

Os ensaios de fadiga foram realizados em uma máquina servo-hidráulica, MTS 810, sob controle de carga, tipo compressão-compressão, com carga média de -330 kgf e amplitude de 270 kgf, tendo o carregamento o formato de onda senoidal a uma frequência de 4 Hz. Os corpos de prova foram ensaiados sob flexão a três pontos e dimensionados de acordo com a norma ASTM E813-81 [4], onde  $B=0,5 W$  e  $S=4 W$ , sendo  $W=30\text{mm}$  (figura 2).

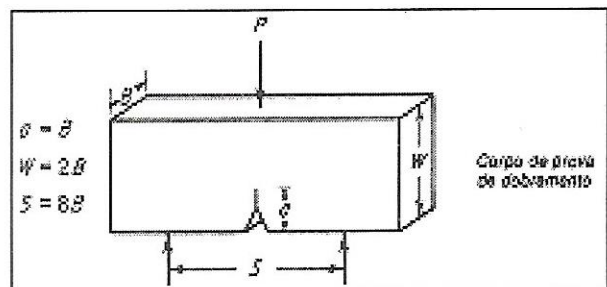


FIGURA 2 : Corpo de prova tipo flexão a três pontos, ou dobramento.

Apesar deste tipo de corpo de prova ser normalmente utilizados para determinação do CTOD (Crack Tip Opening Displacement) [3] e [4], apresentou-se adequado para a análise do método alternativo proposto neste trabalho, onde a trinca foi propagada até a ruptura do corpo de prova.

Foi utilizado o método visual para acompanhar o comprimento da trinca, com o auxílio de uma lupa que fornecia um aumento de 20x (figura 3). Para se conseguir uma melhor visualização da trinca foi realizado um polimento superficial do corpo de prova na região de propagação da trinca, eliminando todos os riscos. Por se utilizar

uma lupa, empregou-se uma escala com precisão de 0,5mm fixada paralelamente à região de propagação.

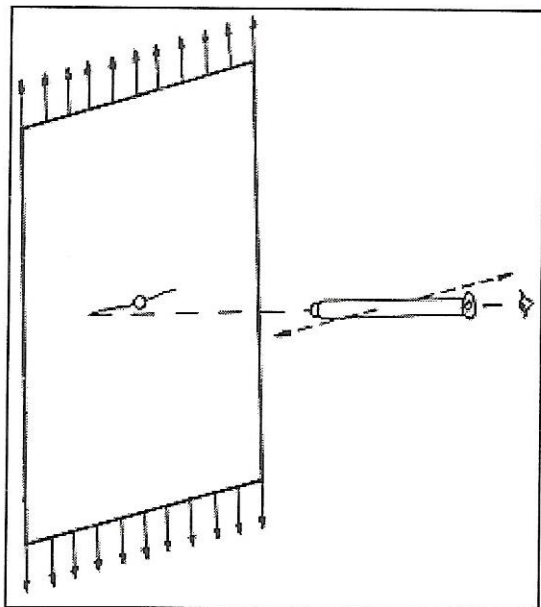


FIGURA 3 : Método visual para o acompanhamento de trinca em um corpo de prova tipo tração.

Para a confecção dos gráficos, foram efetuadas medições do comprimento das trincas a intervalos de tempo regulares e a cada valor de comprimento, associou-se o valor da flecha máxima fornecida pela máquina de ensaios.

### 3. Elaboração dos gráficos

Com os dados de flecha máxima e comprimento de trinca obtidos dos corpos de prova ensaiados, foram confeccionados gráficos do tipo flecha máxima versus comprimento de trinca. Em seguida foram eliminados os pontos iniciais e os pontos finais que apresentavam evidências do início de deformação plástica devido a reduzida área remanescente no corpo de prova.

Em seguida, efetuou-se a regressão linear dos pontos restantes, representando a fase linear elástica.

## 4. Resultados

### 4.1. Corpo de prova nº 1

Com este corpo de prova, procederam-se as primeiras calibrações da máquina e familiarizou-se com a metodologia aplicada. Este corpo de prova havia sido inicialmente ensaiado para obtenção do CTOD, havendo uma zona plástica na ponta da trinca.

Efetuada o ensaio, a trinca de fadiga propagou até a ruptura do corpo de prova. Confeccionados os gráficos, observou-se que, apesar de o corpo de prova haver sofrido deformação inicial, no regime plástico, houve proporcionalidade entre a flecha máxima e o comprimento de trinca (figuras 4 e 5).

Na tabela 3 pode-se ver alguns dados do ensaio.

TABELA 3 : Dados do ensaio, corpo de prova nº 1

Carga máxima	-600 kgf
Carga mínima	-60 kgf
Total de ciclos	9.500
Frequência	4 Hz
Duração / ensaio	40 min
Entalhe + pré-trinca	15,9 mm
Trinca final	20,9 mm

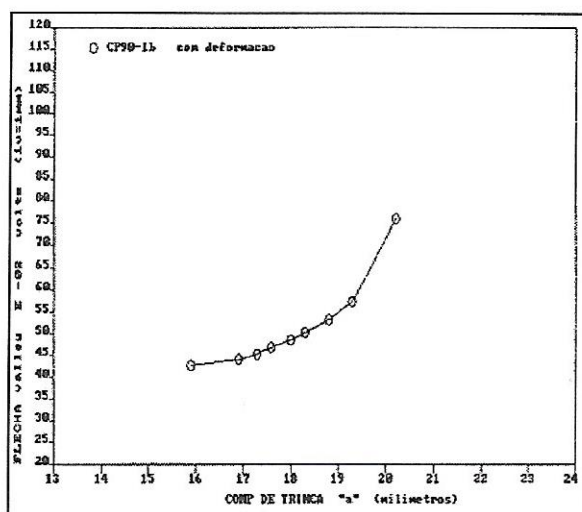


FIGURA 4 : Gráfico, flecha máxima x comprimento de trinca (todos os pontos) corpo de prova nº 1.

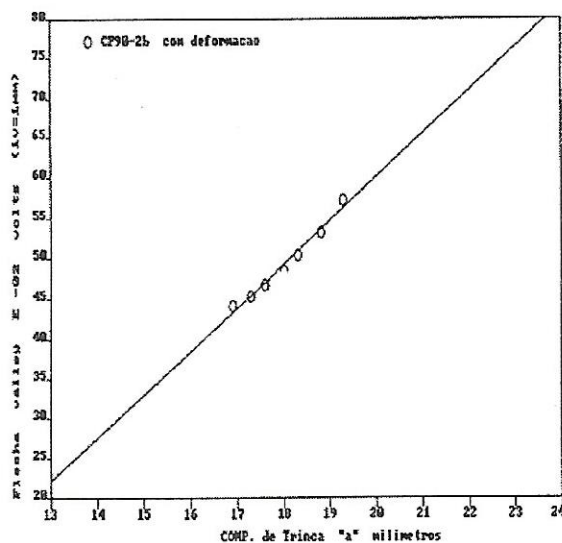


FIGURA 5 : Gráfico, flecha máxima x comprimento de trinca (região elástica com regressão linear) corpo de prova n° 1.

#### 4.2. Corpo de prova n° 2

Neste corpo de prova não houve deformação plástica inicial e pôde-se notar, com maior nitidez, a proporcionalidade existente entre a flecha máxima e o comprimento da trinca na fase elástica do ensaio.

A pré-trinca aberta neste corpo de prova seguiu os padrões da norma inglesa BS-5762/79 [5]. Neste corpo de prova os comprimentos de trinca foram medidos em intervalos de tempo mais curtos, possibilitando um número maior de pontos analisados em relação ao corpo de prova n° 1 ver tabela 4 e figuras 6 e 7.

TABELA 4 : Dados do ensaio, corpo de prova n° 2.

Carga máxima	-600 kgf
Carga mínima	-60 kgf
Total de ciclos	8.560
Frequência	4 Hz
Duração / ensaio	35,7 min
Entalhe + pré-trinca	14,8 mm
Trinca final	20,7 mm

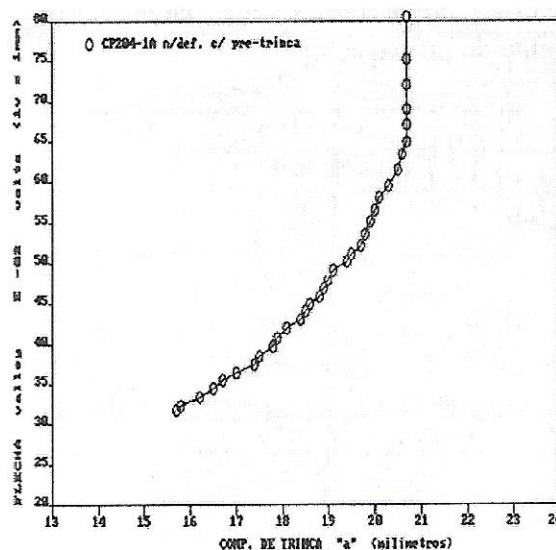


FIGURA 6 : Gráfico, flecha máxima x comprimento de trinca (todos os pontos) corpo de prova n° 2.

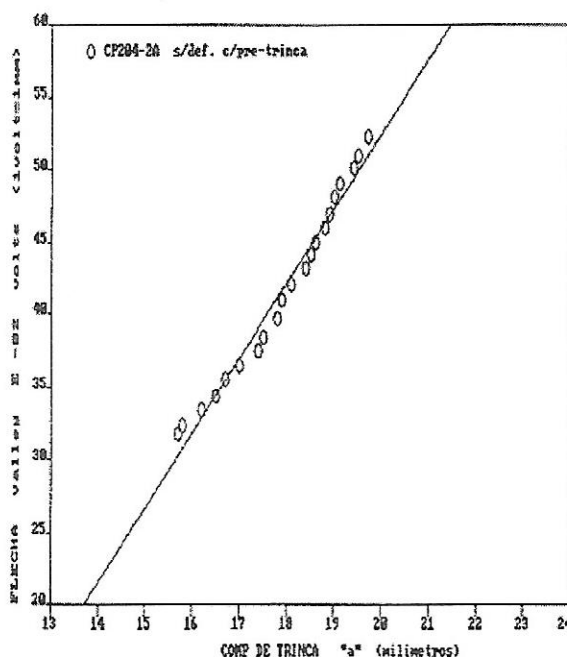


FIGURA 7 : Gráfico, flecha máxima x comprimento de trinca (região elástica com regressão linear) corpo de prova n° 2.

#### 4.3. Corpo de prova n° 3

Semelhantemente ao corpo de prova n° 1, este também sofrera deformação plástica na ponta da trinca devido ao ensaio de CTOD anteriormente realizado. A trinca

de fadiga propagou até a ruptura do corpo de prova e os pontos obtidos mostraram um certo grau de proporcionalidade entre a flecha máxima e o tamanho da trinca na região de deformação elástica.

A tabela 5 e as figuras 8 e 9 mostram os resultados deste ensaio.

TABELA 5 : Dados do ensaio, corpo de prova n° 3

Carga máxima	-600 kgf
Carga mínima	-60 kgf
Total de ciclos	6.500
Frequência	4 Hz
Duração / ensaio	27,1 min
Entalhe + pré-trinca	16,3 mm
Trinca final	21,8 mm

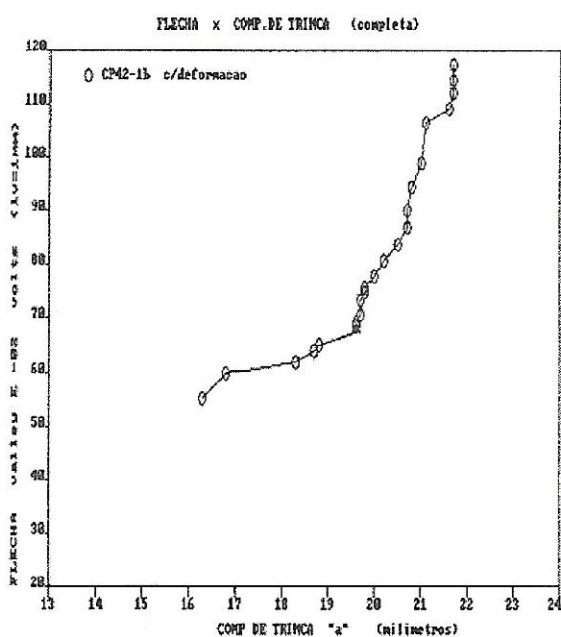
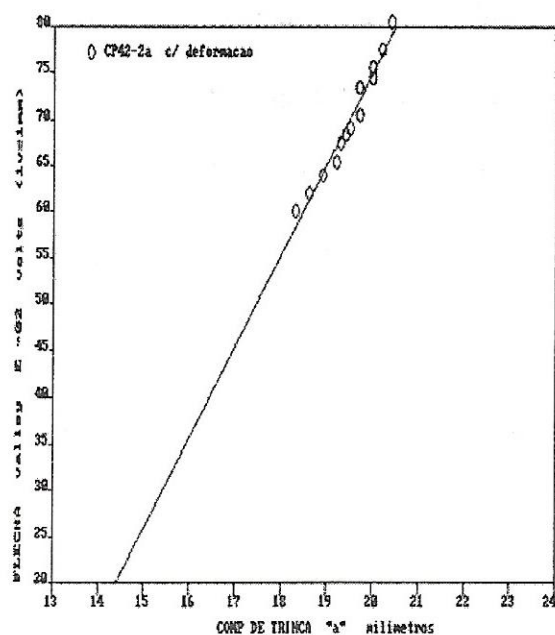


FIGURA 8 : Gráfico, flecha máxima x comprimento de trinca (todos os pontos) corpo de prova n° 3.

FIGURA 9 : Gráfico, flecha máxima x comprimento de trinca (região elástica com regressão linear) corpo de prova n° 3.



## 5. Conclusões

Nota-se com os dados obtidos, que a relação entre flecha máxima e comprimento de trinca, estritamente na região de deformação elástica, apresentou-se próxima de uma equação linear. Partindo desta confirmação, conclui-se que é possível acompanhar o crescimento de uma trinca de fadiga de maneira aproximada, tomando como parâmetro o valor da flecha máxima atingida durante o carregamento. Deve-se ressaltar que para cada material, geometria, dimensões do corpo de prova e condições de carregamento deve-se elaborar gráficos específicos.

Os resultados apresentados são parte inicial de um trabalho de pesquisa bastante amplo. A complementação deste trabalho poderá ser feita com a utilização de outros parâmetros de ensaio para que se possa, através da comparação dos resultados, enriquecer as conclusões a respeito desta linha de pesquisa. A utilização de outros métodos de medição do comprimento de trinca, mais precisos que o método visual, também poderão ser utilizados, como: método da compliance, análise fractográfica, ultrassônico, raio-x, etc. Desta forma poder-se-á chegar a valores mais precisos para diagnóstico da relação existente entre o comprimento da trinca e as deformações

fornecidas pelas máquinas durante os ensaios.

## 6. Referências Bibliográficas

- [1]AGARD, Advisory Group For Aerospace Research & Development. Fatigue Test Methodology. AGARD Lecture Séries No. 118, London, pp. 9.1-9.22, October, 1981.
- [2]STROHAECKER, Telmo Roberto, UFRGS Aplicação da Mecânica da Fratura, Porto Alegre, pp. 19-29, julho 1994.
- [3]BASTIAN, F. L., JÚNIOR, H.M.C. e MORAES, M. M.. Mecânica da Fratura. IBQN - Instituto Brasileiro de Qualidade Nuclear, pp. 5.1-5.28, 1987
- [4]STANDARD TEST METHOD FOR  $J_{IC}$ , “A Measure of Fracture Toughness” ASTM E 813-81, pp 763-781 (1981)
- [5]BS 5762/79, “Methods for Crack Opening Displacement (COD) Testing”, British Standard Institution, pp 1-12, (1979).