

# ANÁLISE DE FRATURA DE CHAPA DE FEIXE DE MOLA\*

*Abraão Santos Silva<sup>1</sup>  
Matheus Mariano da Silva Reis<sup>2</sup>  
Brenno Lima Nascimento<sup>3</sup>  
Frederico Castro Souza<sup>4</sup>  
Iris Sterfanie Santos<sup>5</sup>  
Sandro Griza<sup>6</sup>*

## Resumo

O presente estudo trata de uma análise de falha em uma chapa de feixe de mola que compõe um forno de calcinação. Essa chapa, composta por aço inoxidável, foi fabricada pelo processo de laminação à frio. Durante o desempenho de sua função a chapa é submetida à tração e flexão, mecanismos que podem causar fadiga quando em solicitações cíclicas. Diante desta hipótese, foi realizada a análise de falha constatando que a chapa sofreu fratura por fadiga após deformação plástica excessiva junto a mudança de seção.

**Palavras-chave:** Análise de falha; Fadiga; Fratura; Feixe de mola.

## FRACTURE ANALYSIS OF LEAF SPRING SHEET

### Abstract

The present work deals with a fault analysis on a blade sheet of a calcination component. This plate was made with a cold rolling process and a stainless steel, during the performance of its function was subjected to traction and flexion, the mechanisms that caused the fatigue. Therefore, a failure analysis was performed, which consists of a fatigue fracture after a plastic process. The hardness test found the value of 435 HV from the cold manufacturing process. In addition, a sheet has overheated fracture images.

**Keywords:** Failure analysis; Fatigue; Fracture; Leaf Spring.

<sup>1</sup> *Engenheiro de Materiais, Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

<sup>2</sup> *Graduando em Engenharia de Materiais, Bolsista, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (DCEM), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

<sup>3</sup> *Graduando em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

<sup>4</sup> *Engenheiro de Manutenção, Votorantim Cimentos, Laranjeiras, Sergipe, Brasil.*

<sup>5</sup> *Engenheira Civil, Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (P2CEM), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

<sup>6</sup> *Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (P2CEM), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

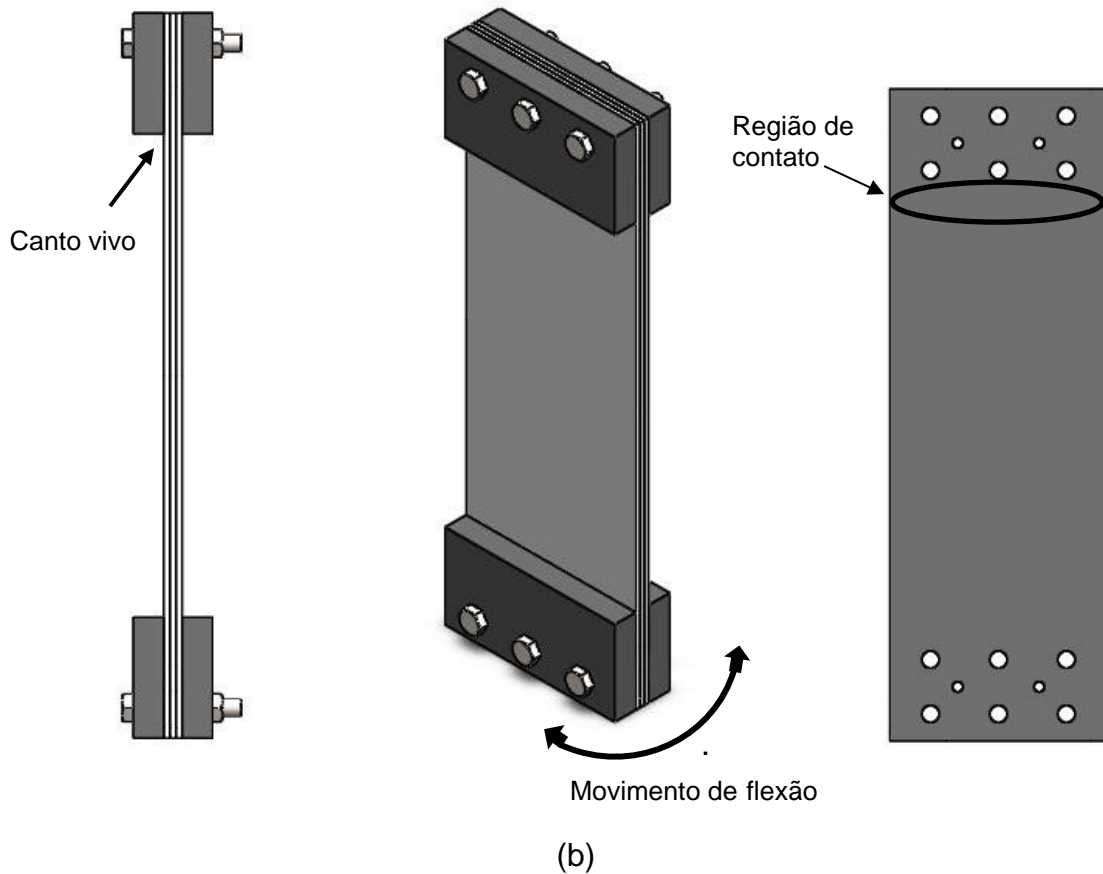
O processo de laminação consiste em uma conformação mecânica com o intuito de reduzir a seção transversal do material através da compressão direta. Essa compressão se dá pela passagem do material entre rolos cilíndricos adquirindo assim a espessura desejada, fabricando um produto semi acabado e de elevada dureza [1]. A laminação pode ser realizada a quente ou a frio. A laminação a frio tem o objetivo de produzir microestrutura mais refinada aplicando tensões de compressão maiores, a quantidade de passes que o produto será submetido depende da espessura que se requer do produto final [2].

A partir desse processo de conformação por laminação são produzidas chapas de aço utilizadas em componentes mecânicos ou equipamentos. Entretanto muitos desses materiais estão sujeitos à falha durante seu desempenho, e um dos mecanismos que mais causam falhas durante o serviço é devido a fadiga [3,4]. A fadiga é causada quando o material ou peça é submetido a variações de tensões e deformações em um determinado ponto específico, essa variação resulta em uma deformação localizada que por sua vez findam em trincas levando a fratura [5,6].

Diante disso, o objeto deste estudo tem como correlação a falha ocasionada por fadiga tendo como precursor um concentrador de tensão influenciado por um canto vivo. O sistema em estudo é um feixe de molas acoplado em uma parede externa de um forno de calcinação (Figura 1a), onde esse feixe movimentava-se semelhante a um pêndulo. Isso fez com que a parte superior da chapa em questão sofresse fadiga agravada pela seção da garra que agiu como canto vivo (Figura 1b).



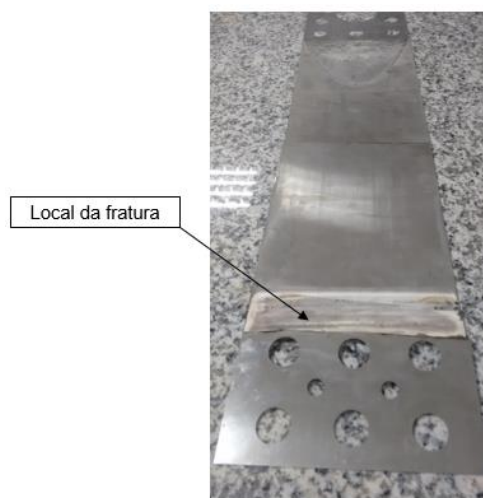
(a)



**Figura 1.** Feixe de molas acoplado a parte externa de um forno de calcinação (a). Modelo representativo do feixe de molas, objeto de estudo (b).

A seleção incorreta do material associada ao subdimensionamento dos componentes está ligada a casos de fratura por fadiga decorrentes da flexão da chapa e consequente cisalhamento [7].

O presente estudo tem o intuito de realizar a análise de fratura, caracterização de microestrutura, análise química e dureza em chapa fina que constitui feixe de mola (Figura 2), para identificar as possíveis causas que têm levado à fratura da chapa em serviço.



**Figura 2.** Mola como recebida para a análise com região da fratura indicada.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

Foram realizadas metalografias e imagens da superfície de fratura. As análises de fratura foram realizadas com o auxílio de microscópio estereoscópico Zeiss Stemi 2000-C e microscópio eletrônico de varredura (MEV) Jeol JSM-5700, permitindo distinguir o local de iniciação da fratura.

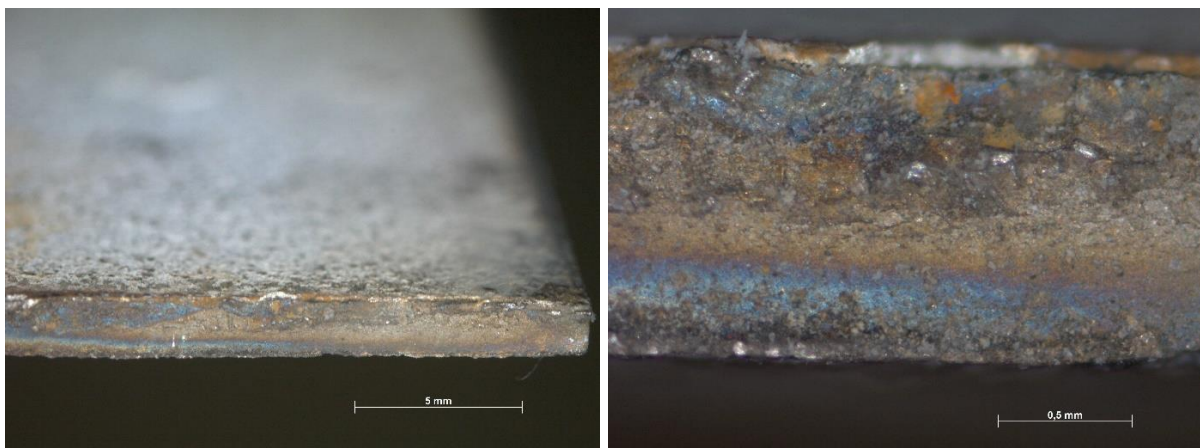
Após a identificação da região, foi realizada a preparação das amostras metalográficas a partir de dois cortes longitudinais à chapa, sendo um distante e outro próximo a região de fratura. As amostras foram embutidas em prensa de embutimento PRE-30Mi da Arotec. A preparação das amostras para o ensaio micrográfico envolveu o lixamento até #1200 em politriz semiautomática Aropol 2V-PU da Arotec, seguida por processo mecânico com utilização de pasta de diamante como agente polidor. As amostras foram atacadas com solução reativa de água régia (75% de HCl e 25% de HNO<sub>3</sub>) para aquisição de imagens microestruturais a partir de microscópio ótico Leica DM2500M.

Medições de microdureza foram realizadas em microdurômetro Vickers Future Tech FM-800 com aplicação de carga de 1000 gf durante 15 s.

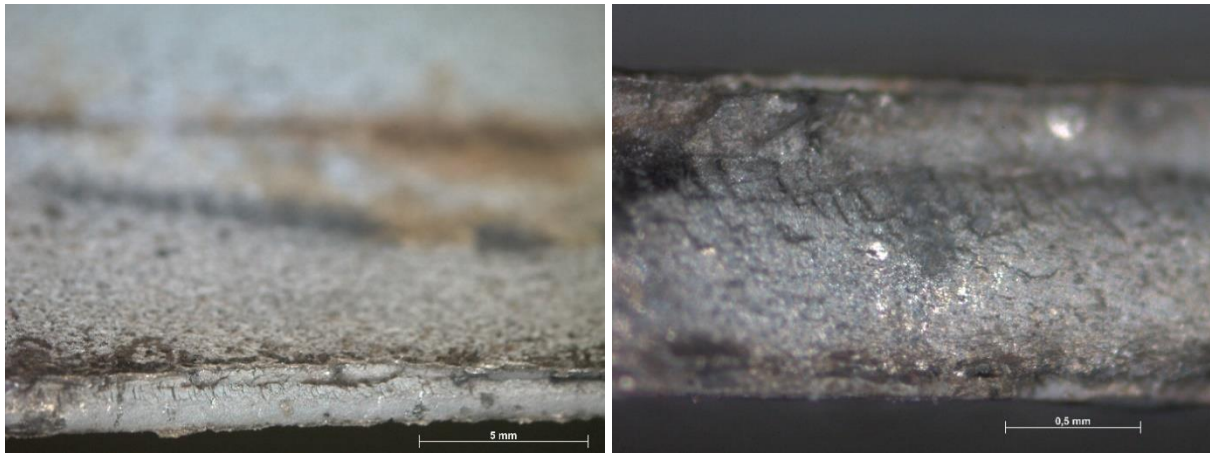
Realizou-se análise química em um espectrômetro de emissão ótica estacionário Foundry Master XPert Oxford como técnica analítica para determinação da composição elementar dos aços.

### 2.2 Resultados e Discussão

A fratura apresenta superfície plana (Figura 3) iniciada no lado da chapa indicado na Figura 1. Após a superfície plana, há uma região mais rugosa central e depois a fratura final por cisalhamento. A extensa superfície plana e lisa segue ao longo de praticamente toda a largura da chapa. Na extremidade mostrada na Figura 3, há uma tonalidade azulada sobre a fratura que indica que esta parte da chapa foi aquecida a temperatura em torno de 300°C quando a trinca estava em propagação. A Figura 3 mostra aspecto semelhante de fratura plana seguida de zona rugosa e ruptura final por cisalhamento em local distante do mostrado na Figura 3.



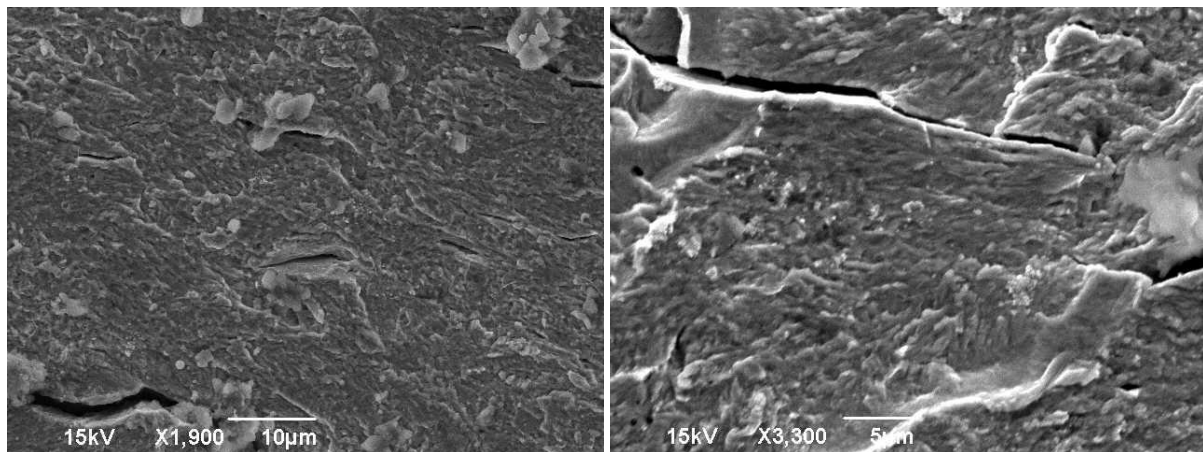
**Figura 3.** Superfície plana da fratura. Pode-se observar a extremidade da chapa com tonalidade azulada em sua superfície.



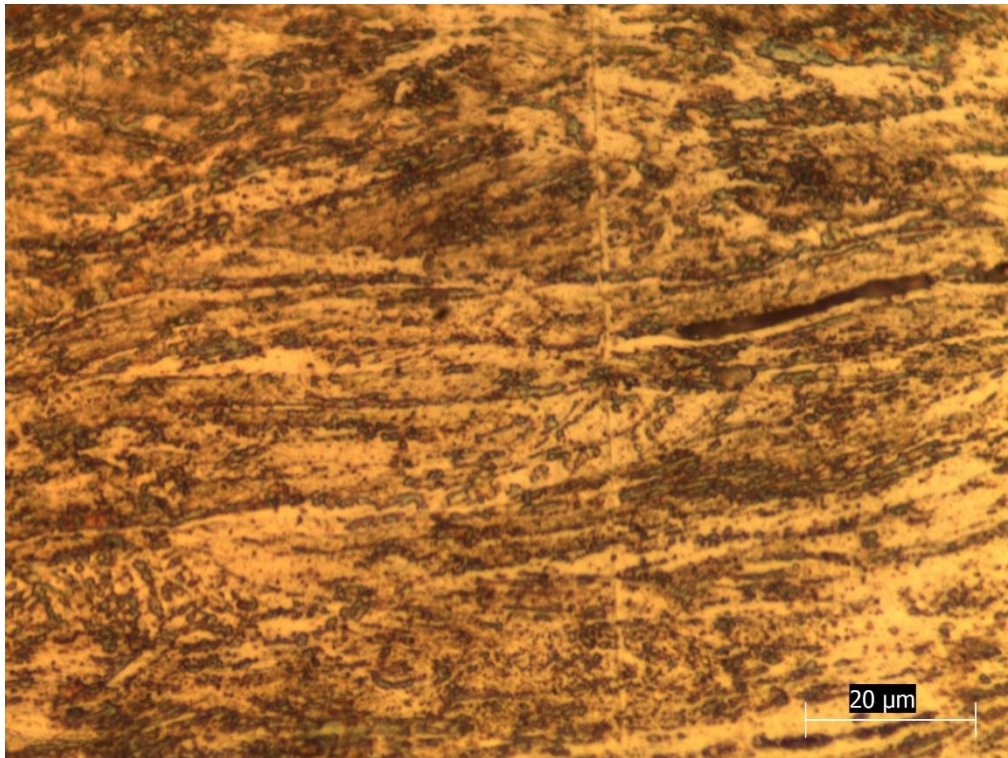
**Figura 4.** Superfície de fratura contendo os mesmos aspectos da Fig. 3, ou seja, superfície plana partindo de um lado da chapa e atingindo região de cisalhamento final no lado oposto da chapa.

A Figura 5 apresenta o aspecto de fratura visto em grande ampliação, onde observamos superfície deformada típica de processo de propagação de fadiga. Algumas zonas de cisalhamento são vistas sobre a fratura, aparentando ser trincas perpendiculares. As análises microestruturais indicaram que a matriz é composta preponderantemente de austenita altamente deformada contendo também ferrita delta alinhada (Figura 6). Esta ferrita delta é a responsável pelas zonas de cisalhamento vistas perpendicularmente a fratura plana na Figura 5.

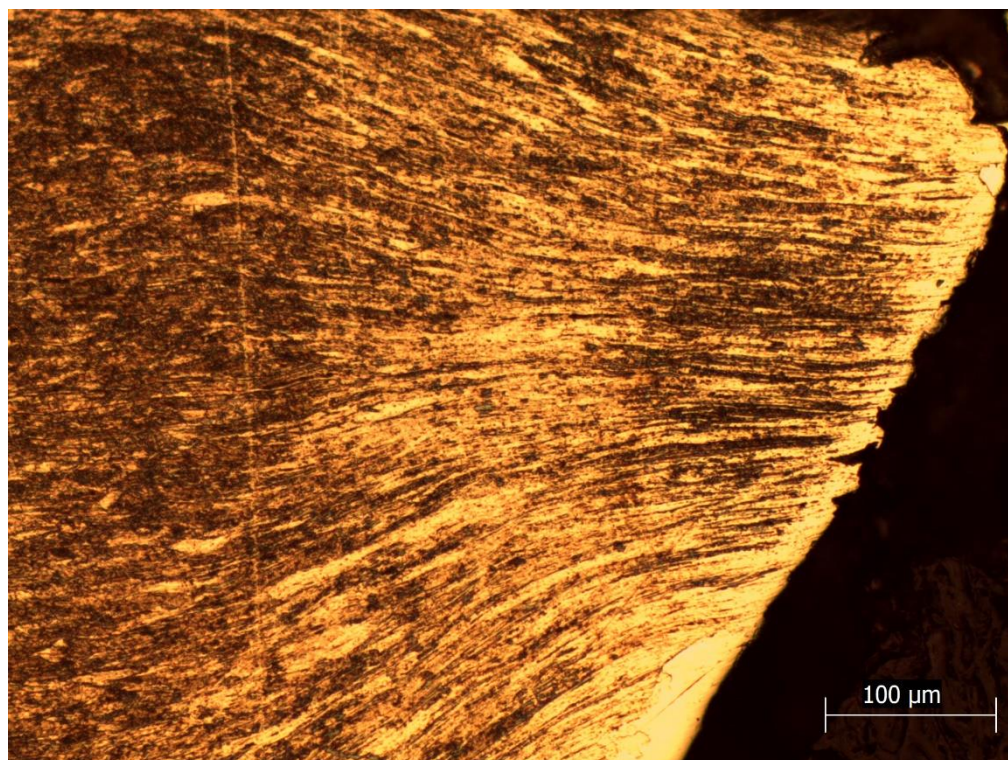
A Figura 6 mostra a deformação plástica que ocorreu devido ao cisalhamento final na fratura. As durezas encontradas foram 508 HV nesta região deformada de cisalhamento final e 435 HV na região da chapa afastada da fratura. O aumento de dureza ocorreu devido à deformação plástica que precedeu a fratura. A Tabela 1 apresenta o resultado de análise química, que indica que a chapa é composta por liga a base de Cr e Ni.



**Figura 5.** Superfície de fratura vista em grande ampliação, onde observa-se o aspecto de propagação plana de fadiga. Zonas de cisalhamento perpendicular também podem ser observadas.



**Figura 6.** Microestrutura composta de matriz predominantemente de austenita altamente deformada. Ferrita delta alinhada também pode ser observada.



**Figura 7.** Microestrutura junto à fratura, onde observa-se a deformação plástica que precedeu a fratura por cisalhamento final.

**Tabela 1.** Composição química da mola em percentual da massa total.

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Teor %	0,17	0,94	1,19	0,019	0,009	16,5	5,41	0,19

### 3 CONCLUSÃO

Portanto, conclui-se que a principal causa da fratura da chapa ocorreu por sollicitação dinâmica na região de contato da chapa com a garra de fixação, cujo qual agiu como concentrador de tensão (Figura 1), e aliado ao mecanismo de flexão cíclica acarretou na deformação plástica até atingir a ruptura, caracterizando assim falha por fadiga. O processo iniciou ao longo da largura da chapa indicada na Figura 2 e propagou para seu interior devido a flexão até atingir a ruptura por cisalhamento final do outro lado da espessura da chapa. A chapa é constituída de aço inoxidável contendo 0,17% de C, 16,5% de Cr e 5,41% de Ni como elementos de liga majoritários. A chapa foi fabricada por intensa deformação a frio (dureza de 435 HV) para aumentar sua resiliência.

### Agradecimentos

CAPES, CNPq pelo financiamento.

### REFERÊNCIAS

- 1 Celtin PR, Helman H. Fundamentos da conformação – Mecânica dos metais. 2ª edição. Artliber editora LTDA; 2012.
- 2 Lima, TN; Azevedo, TF; Monteiro, EA; Valença, SL; Fontes, LS; Griza, S. ANÁLISE DA DEFORMAÇÃO A FRIO DE LIGAS DE Ti35Nb2Sn, p. 2003-2011. In: 70º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro, 2015.
- 3 Garcia, A.; Spim, J. A.; Dos Santos, C. A. Ensaios dos Materiais. Rio de Janeiro, Editora LTC, 2000.
- 4 Lima, Tiago Nunes; Azevedo, Thiago Figueiredo; Monteiro, Emerson de Andrade; Blas, Juan Garcia de; Pereira, Luiz Carlos; Griza, Sandro. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DA LIGA Ti35Nb2Sn LAMINADA A FRIO E ENVELHECIDA, p. 2029-2036. In: 70º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro, 2015
- 5 American Society for Testing and Materials. E 1823 – 96; Standard Terminology – Relating to Fatigue and Fracture Testing. Filadélfia, 1996.
- 6 Affonso, Luiz O. M. Equipamentos Mecânicos: análise de falhas e solução de problemas. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.
- 7 NATIONAL PROGRAMME ON TECHNOLOGY ENHANCED LEARNING. Module 7: Design of Springs. IIT Kharagpur. [acesso em 18 de maio de 2019].