

# 1

## Introdução

A grande maioria de componentes estruturais precisa ter entalhes tais como furos, ombros, canais, etc., para desempenhar suas funções específicas. Porém, esses entalhes atuam como concentradores locais de tensão, modificando a resistência à fadiga do componente em relação à resistência medida em corpos de prova (CP) sem entalhe. De fato, prever corretamente a resistência à fadiga de componentes estruturais entalhados tem sido o objetivo principal do projetista estrutural desde os tempos de Wöhler [1].

Seguindo esta linha de pesquisa, neste trabalho se propõe uma metodologia para determinar as combinações de gama da tensão nominal  $\Delta\sigma_n$  e tensão máxima  $\sigma_{max}$  que iniciam e propagam trincas curtas que nascem de entalhes em CPs projetados para tal efeito, até se tornarem trincas não-propagantes sob condições de carga fixa (gama constante). Na realidade, são essas as condições que determinam a resistência à fadiga em componentes estruturais entalhados. Assim, o projeto para vida infinita de um componente deve evitar a iniciação de trincas por fadiga, mas também deve tolerar as inevitáveis trincas curtas que podem ser introduzidas acidentalmente na peça durante o processo de obtenção da matéria prima e/ou a posterior fabricação. Para isso, projetar adequadamente CPs específicos é a única forma de comprovar se uma dada condição de carga pode estar associada com trincas não-propagantes em componentes entalhados projetados para vida longa (chamada na literatura de “vida infinita”).

Deste modo, o foco deste trabalho é o estudo do problema do efeito das trincas curtas na vida à fadiga de componentes estruturais. Este tipo de trincas tem um comportamento diferente do das trincas longas, que podem ser analisadas pela teoria tradicional da Mecânica da Fratura Linear Elástica (MFLE), quando as zonas plásticas do material são pequenas comparadas às dimensões da geometria do corpo de prova. Porém, as trincas curtas apresentam um comportamento anormal em relação às trincas longas submetidas à mesma força motriz nominal de propagação das trincas. Em particular, as previsões da MFLE podem ser não conservativas para as trincas curtas. Assim sendo, para tratar com trincas curtas é proposto o modelo do Gradiente de Tensão (GT) que, baseado no modelo de El Haddad, Topper e Smith (ETS), inclui o efeito do gradiente de tensão junto ao entalhe. Este gradiente faz com que trincas que emanam da raiz de um entalhe possam se propagar e depois se tornar não-propagantes.

A seguir se apresenta uma visão global do início e desenvolvimento da teoria da Mecânica da Fratura.

## 1.1

### Visão global

A Mecânica da Fratura teve seus inícios em 1920 com o trabalho de Alan Arnold Griffith [2], que utilizou a lei de conservação da energia para explicar por que as peças trincadas não quebravam em condições de funcionamento, já que as trincas têm um raio de ponta idealmente nulo e, conseqüentemente, uma tensão teoricamente infinita nas suas pontas. Todavia, o fato de incluir conceitos de balanço de energia não era nada prático, pois isto requeria uma análise global do campo de tensões e deformações da peça e, naquela época, as ferramentas de análise por Elementos Finitos ainda não tinham sido desenvolvidas.

Em 1957, foram Williams [3] e Irwin [4] que fizeram com que a Mecânica da Fratura se tornasse aplicável, por meio da introdução do conceito do fator de intensidade de tensões (FIT) para quantificar o campo das tensões em torno de uma trinca em uma peça predominantemente linear elástica [1].

A partir das contribuições de Williams e Irwin, a Mecânica da Fratura tem tido um desenvolvimento acelerado e nas últimas três décadas inúmeras pesquisas têm sido feitas para compreender o complexo comportamento das trincas curtas, como por exemplo, os trabalhos feitos por [5], [6], [7]. Estes trabalhos são resumidos no final do capítulo subsequente.

## 1.2

### Objetivos

#### 1.2.1

##### Objetivo Geral

- Estudar o efeito de trincas curtas que nascem de entalhes semielípticos na vida à fadiga de corpos de prova projetados especificamente para analisar este efeito.

#### 1.2.2

##### Objetivos Específicos

- Aplicar o modelo de Gradiente de Tensão (GT) em um corpo de prova padronizado tipo C(T) com um entalhe modificado semielíptico para determinar teoricamente a maior trinca não-propagante e a carga necessária para gerá-la.

- Utilizar o modelo da Teoria da distância crítica (TCD) no mesmo corpo de prova para definir o limite de fadiga e confrontar estes resultados com os do modelo GT.
- Ensaiai os corpos de prova projetados por meio da aplicação de uma técnica acelerada de ensaios de fadiga (*Step test procedure*) para determinar experimentalmente a carga requerida para gerar trincas não-propagantes.
- Analisar por microscopia óptica os corpos de prova ensaiados para visualizar as eventuais trincas não-propagantes e medir o tamanho das mesmas.
- Comparar os resultados experimentais com os calculados pelos modelos GT e TCD.

### 1.3

#### Resultados esperados e limitações

Aplicando o modelo de Gradiente de Tensões (GT) projeta-se um corpo de prova para ensaios à fadiga. Considerando que as propriedades mecânicas do material dos CPs não foram determinadas experimentalmente, se espera que as previsões deste modelo apresentem uma dispersão que dependa do desvio relativo das estimativas das propriedades utilizadas no projeto do CP. Outro parâmetro que poderia gerar erros nas previsões feitas com o modelo GT é o processo de usinagem, devido às tensões residuais e ao acabamento superficial final por ele causadas.

O ideal seria fazer um programa completo de ensaios para determinar todas as propriedades necessárias para prever o comportamento de um dado material. Todavia, um programa completo de ensaios experimentais demandaria um período relativamente longo, que não seria compatível com um projeto de Dissertação de Mestrado. Portanto, neste trabalho as propriedades de fadiga do material foram estimadas com base em receitas obtidas da literatura.

### 1.4

#### Organização da dissertação

A estrutura desta dissertação compreende cinco capítulos. O Capítulo 2 apresenta o fundamento teórico relevante para a compreensão dos tópicos abordados neste documento. No Capítulo 3 descreve-se o desenvolvimento do projeto do Corpo de Prova (CP) tipo C(T) modificado, utilizado para fazer ensaios à fadiga que permitam obter resultados experimentais para confrontar com os resultados numéricos obtidos pelo modelo GT proposto. No Capítulo

4 apresentam-se os resultados dos ensaios feitos e comparam-se com os valores teóricos calculados a partir do modelo GT. Também, esses dados experimentais são comparados com os valores teóricos de outro modelo de predição de falha por fadiga: o modelo da Teoria de Distancia Crítica (TCD). Finalmente, no Capítulo 5 se apresentam as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros nesta linha de pesquisa.