

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PROJETO E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO - MESTRADO PROFISSIONAL

Dirceu Jesus Lima da Silva

DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA
DETERMINAÇÃO DE VALORES DE FATORES DE CONCENTRAÇÃO DE
TENSÕES

Passo Fundo

2016

Dirceu Jesus Lima da Silva

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA
DETERMINAÇÃO DE VALORES DE FATORES DE CONCENTRAÇÃO DE
TENSÕES**

Orientador: Prof. Dr. Márcio Walber

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Passo Fundo
2016

Dirceu Jesus Lima da Silva

**DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA
DETERMINAÇÃO DE VALORES DE FATORES DE CONCENTRAÇÃO DE
TENSÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Projeto e Processos de Fabricação da Universidade de Passo Fundo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Projeto e Processos de Fabricação.

Data de aprovação: 17 de dezembro de 2016.

Os componentes da Banca examinadora abaixo aprovaram a Dissertação:

Professor Doutor Márcio Walber
Orientador

Professor Doutor Ademar Michels
Faculdade de Horizontina

Professor Doutor Agenor Dias de Meira Junior
Universidade de Passo Fundo

Professor Doutor Vagner Alves Guimarães
Universidade de Passo Fundo

Dedico este trabalho aos meus netinhos:

Isabela e Lucas que embora em suas tenras idades, certamente se sentiram em diversos momentos trocados pelos livros.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse levado a bom termo.

Primeiramente a Deus por me conceder energia, fé e persistência durante o transcorrer de toda esta jornada.

Minha gratidão a Universidade de Passo Fundo e a sua reitoria pela bolsa concedida e pelos ensinamentos que pude auferir através de seus professores.

Ao Prof. Dr. Vagner Alves Guimarães, diretor da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, ao Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica Prof. Me. Luiz Fernando Prestes e ao Coordenador do PPGPPF, Prof. Dr. Márcio Walber. Este em especial por ter assumido a árdua tarefa para si, mas gratificante para mim, de ter sido meu orientador, sempre transmitindo não somente seus conhecimentos, mas também estímulo e apoio nos momentos necessários.

A todos os professores do curso que muitos contribuíram para o meu crescimento profissional através do compartilhamento de seus conhecimentos.

Meus agradecimentos também aos Técnicos dos Laboratórios da FEAR, pela disponibilidade de uso dos mesmos bem como pelo auxílio na preparação dos materiais e na realização dos ensaios.

Agradecimentos também ao pessoal de apoio, em especial à secretária Helena, sempre indispensáveis para o bom andamento e organização das atividades do curso.

Meus agradecimentos aos meus familiares, especialmente à minha esposa Leonice, pelo estímulo e pela compreensão nas horas que teve que compartilhar-me com os livros e com as pesquisas nas madrugadas, e ao meu filho Rodrigo, que muito contribuiu com seus conhecimentos na área de Informática.

Finalmente, gostaria de agradecer também a todos os colegas de turma pela agradável companhia, e também pelos conhecimentos e ensinamentos compartilhados não somente através dos trabalhos apresentados, mas também pelas experiências trocadas nas horas de convívio.

RESUMO

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um procedimento para determinação de valores teóricos de concentradores de tensões, a partir de equações previamente estabelecidas na literatura, de modo a despertar no estudante de engenharia, mais interesse e maior envolvimento com um tema tão importante quanto é o assunto em pauta, bem como proporcionar ao projetista, ainda que principiante, a obtenção dos referidos valores, através de uma interface amigável de um programa computacional, de maneira simples e objetiva, que será disponibilizado para uso gratuito via “web”. Tal estudo se justifica pela necessidade de os projetistas determinarem os fatores de concentração de forma rápida para otimizar o tempo de projeto no dimensionamento de elementos mecânicos, oferecendo ainda ao usuário, possíveis alternativas visando à minimização dos efeitos negativos ocasionados pelos concentradores de tensões. A interface gráfica, de fácil utilização na determinação de valores de concentração de tensões para descontinuidades previamente inseridas em seu banco de dados, também permite ao usuário o recurso de inserir no mesmo, novas descontinuidades e respectivas equações, bem como a edição de valores já constantes no banco de dados. Com o objetivo de avaliar o funcionamento do programa, foram realizadas a modelagem de três situações clássicas de concentradores de tensões. As referidas situações foram comparadas analiticamente, numericamente através do método dos elementos finitos e experimentalmente através de ensaios padronizados. Como resultados, comparou-se e validou-se os fatores de concentração de tensão calculados analiticamente pelo programa.

Palavras-chave: Entalhes, descontinuidades, concentradores, tensões, fatores.

ABSTRACT

The present work consists in the development of a procedure for determining theoretical values of stress concentrators, from previously established equations in the literature, in order to awaken in the engineering student, more interest and greater involvement with a matter as important as the subject matter, as well as providing the designer, even if a beginner, to obtain those values through a user-friendly interface of a computer program, in a simple and objective way, which will be made available for free use via the web. This study is justified by the need for designers to determine the concentration factors quickly to optimize the design time in the design of mechanical elements, while also offering the user possible alternatives aimed at minimizing the negative effects caused by the stress concentrators. The graphical interface, easy to use in determining the concentration values of stresses for discontinuities previously inserted in its database, also allows the user to insert in the same, new discontinuities and their equations, as well as the edition of already constant values in the database. In order to evaluate the operation of the program, the modeling of three classic situations of stress concentrators was carried out. These situations were compared analytically, numerically by the finite element method and experimentally by means of standardized tests. As a result, the stress concentration factors calculated analytically by the program were compared and validated.

Keywords: Notches, discontinuities, concentrators, tensions factors.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplos comuns de concentradores de tensão	17
Figura 2 - Fatores teóricos de concentração de tensão para uma haste cilíndrica escalonada	18
Figura 3 - O acúmulo e desvio de linhas de fluxo perto de obstruções	26
Figura 4 - Comportamento das tensões em duas seções equivalentes em uma barra submetida à flexão	27
Figura 5 - Definição de tensão bruta e tensão líquida em uma peça entalhada submetida à tração	27
Figura 6 - Barra plana de largura H e espessura h com um furo circular de diâmetro d submetida a uma força de tração P	29
Figura 7 - Fatores de concentração de tensões K_{tg} e K_{tn} para uma barra com largura finita com um furo circular	30
Figura 8 - Barra cilíndrica de diâmetro D com uma ranhura circunferencial em forma de U com profundidade t e raio r, submetida a um esforço de torção T	31
Figura 9 - Cilindro vasado excêntrico submetido a uma pressão interna p	32
Figura 10 - Exemplos de descontinuidades característicos dos cinco grupos.	33
Figura 11 - Exemplos de descontinuidades característicos dos cinco grupos	34
Figura 12 - Formas características de descontinuidades	34
Figura 13 - Formas características de descontinuidades	34
Figura 14 - Variação com redução de largura ou ombro	38
Figura 15 - Alterações de projeto visando a minimização de K_t	39
Figura 16 - Exemplos de medidas para redução das concentrações de tensões	39
Figura 17 - Malha de elementos finitos	43
Figura 18 - Método geral para análise de sistemas discretos	44
Figura 19 - Malha de elementos finitos para o modelo com concentração de tensões	45
Figura 20 - Elementos de um extensômetro de resistência elétrica	46
Figura 21 - Extensômetros de filamento. (a) grade plana. (b) com placa de enrolamento (Bobina)	47
Figura 22 - Algumas configurações de medidores de resistência elétrica	47
Figura 23 - Exemplo de programa ou instrução em linguagem binária	52
Figura 24 - Exemplo de programa ou instrução em linguagem hexadecimal	52
Figura 25 - Simbologia usada na construção de algoritmos tipo fluxograma	59
Figura 26 - Exemplo de algoritmo tipo fluxograma	60
Figura 27 - Painel de comando virtual XAMPP	70
Figura 28 - Interface gráfica do programa CalcFactor	71
Figura 29 - Selecionando uma descontinuidade	72
Figura 30 - Seleção por palavra chave ou parte dela	73

Figura 31 - Cálculo do FCT para a descontinuidade selecionada	74
Figura 32 - Seleção de arquivo de imagem para a nova descontinuidade	75
Figura 33 - Selecionando a imagem para a nova descontinuidade	75
Figura 34 - Figura da descontinuidade com a equação que permite o cálculo do FCT por ela gerado	77
Figura 35 - Componente plano com entalhe circular	80
Figura 36 - Componente plano com furo	80
Figura 37 - Componente cilíndrico	80
Figura 38 - Malha modelo com entalhe circular	81
Figura 39 - Malha modelo com furo	82
Figura 40 - Malha modelo cilíndrico	82
Figura 41 - Restrição e carregamento dos modelos planos	83
Figura 42 - Restrição e carregamento do componente cilíndrico	83
Figura 43 - Corpos de prova usinados	84
Figura 44 - Posição de instalação dos strain gauges	85
Figura 45 - Processo de colagem dos strain gauges	85
Figura 46 - Corpos de prova instalados na máquina de fadiga SHIMADZU	86
Figura 47 - <i>Software</i> Servo Controller 4830 máquina de fadiga SHIMADZU	87
Figura 48 - Tela do <i>software</i> Catman AP	87
Figura 49 - Aparato experimental utilizado nos ensaios	88
Figura 50 - Corpo de prova montado na máquina de ensaio de tração	89
Figura 51 - Tela do programa CalcFactor para cálculo chapa com entalhe circular	90
Figura 52 - Tela do programa CalcFactor para cálculo de chapa com furo	91
Figura 53 - Tela do programa CalcFactor para eixo escalonado	92
Figura 54 - Distribuição de tensões na região do entalhe	93
Figura 55 - Deslocamentos para carregamento de 10.000 N	93
Figura 56 - Direções das tensões principais	94
Figura 57 - Distribuição de tensões na região do entalhe de furo	95
Figura 58 - Deslocamentos para carregamento de 10.000 N – entalhe de furo	96
Figura 59 - Direções das tensões principais	96
Figura 60 - Tensão máxima de cisalhamento componente cilíndrico	97
Figura 61 - Curva para determinação do FCT para eixo cilíndrico com variação de diâmetro sob torção	98
Figura 62 - Tela de medição corpo de prova com entalhe circular – carregamento 10.000 N	99
Figura 63 - Tela de medição corpo de prova com furo – carregamento 10.000 N	100
Figura 64 - Imagens dos corpos de prova com entalhe circular e com furo após o ensaio de tração	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Situação das 20 principais linguagens de programação (jun./2016)	63
Tabela 2 - Editor de equações do programa	78
Tabela 3 - Propriedades mecânicas do material ASTM A-36.....	81
Tabela 4 - Dados da malha de elementos finitos	82
Tabela 5 - Resultados do ensaio experimental no entalhe semicircular duplo para três cargas	94
Tabela 6 - Resultados do ensaio experimental no furo circular para três carregamentos ...	96
Tabela 7 - Valores de medição no corpo de prova com entalhe circular.....	100
Tabela 8 - Valores de medição no corpo de prova com furo.....	101
Tabela 9 - Valores de Kt Analíticos e numéricos	103
Tabela 10 - Valores de Kt Analíticos e experimentais	103
Tabela 11 - Valores de Kt Numéricos x experimentais.....	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de descontinuidades	35
Quadro 2 - Tipos de descontinuidades	36
Quadro 3 - Tipos de descontinuidades	37
Quadro 4 - Sugestões para minimização dos efeitos dos concentradores de tensões.....	40
Quadro 5 - Sugestões para minimização dos efeitos dos concentradores de tensões.....	41

LISTA DE SÍMBOLOS

A	área (ou ponto)
A	raio de furo
A	eixo principal da elips
A_{bruta}	área bruta
$A_{líquida}$	área líquida
B	eixo menor de elipse
D	diâmetro (ou largura)
D	diâmetro maior do furo
d	diâmetro menor do furo
H	maior largura do elemento
H	espessura do elemento
K	fator de concentração de tensão
K_t	fator teórico de concentração de tensões para a tensão normal
K_{tg}	fator de concentração de tensões com a tensão nominal com base na área bruta
K_{tn}	fator de concentração de tensão com o esforço nominal baseado na área líquida
K_{ts}	fator de concentração de tensão para tensão de cisalhamento
$K_{tx}, K_{t\theta}$	fatores de concentração de tensão nas direções x e θ
L	comprimento do condutor
M	momento
n	coeficiente de segurança
p	pressão
P	carga, força
r	raio de curvatura do furo, do arco, ou do entalhe
R	raio de furo, círculo ou distância radial
R	resistência elétrica
t	profundidade da ranhura ou do entalhe
T	torque
X, Y, Z	coordenadas retangulares
v	coeficiente de Poisson

ρ	resistividade
σ	tensão normal
σ_a	amplitude da tensão normal alternada
σ_A, σ_B	tensões normais extremas nos pontos A e B
σ_{eq}	tensão normal equivalente
σ_g	tensão normal nominal com base na área bruta
$\sigma_{líqA-B}$	tensão normal líquida na seção AB
σ_{max}	tensão normal máxima
σ_n	tensão normal nominal com base na área líquida
σ_{nom}	tensão normal nominal ou de referência
$\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$	componentes de tensão
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	tensões principais
τ	tensão de cisalhamento
τ_{max}	máximo esforço de cisalhamento
τ_{nom}	tensão cortante nominal ou de referência
w	largura do elemento

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
1.1 Contexto.....	16
1.2 Justificativa	19
1.3 Motivação	19
1.4 Objetivos do trabalho.....	20
1.4.1 Objetivo Geral.....	21
1.4.2 Objetivos Específicos	21
1.5 Metodologia da Pesquisa	21
1.6 Estrutura do documento	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 Concentradores de tensões: histórico, concepção inicial e relevância.....	23
2.2 Conceptualização intuitiva dos fatores de concentração de tensões.....	26
2.3 Conceptualização matemática dos fatores de concentração de tensões.....	26
2.3.1 Tensão nominal bruta e tensão nominal líquida	27
2.3.2 Seleção da tensão nominal.....	28
2.4 Concentradores de tensões mais frequentes e suas equações	33
2.5 Redução das concentrações de tensões.....	38
2.6 Métodos para determinação de fatores de concentração de tensões.....	42
2.6.1 Método dos Elementos Finitos	42
2.6.2 Método por extensometria	45
2.6.2.1 Extensômetros de resistência elétrica	46
2.6.2.1.1 Princípio de funcionamento.....	48
2.6.3 Método analítico	49
2.6.3.1 Computadores, linguagens de programação e “ <i>software</i> ”	49
2.6.3.2 Linguagens de programação	51
2.6.3.2.1 Linguagem de baixo nível	51
2.6.3.2.2 Linguagens de alto nível.....	53
2.6.3.2.3 Linguagens interpretadas	53
2.6.3.3 <i>Software</i>	53
2.6.3.3.1 Campos de aplicação do <i>software</i>	54
2.6.3.3.2 Atributos de um bom “ <i>software</i> ”	56
2.6.3.3.3 Desenvolvimento de um “ <i>software</i> ”	56
2.6.3.3.4 Processo de “ <i>software</i> ”	57
2.6.3.3.5 Engenharia de “ <i>software</i> ”	57
2.6.3.4 Algoritmos	58
2.6.3.4.1 Tipos de algoritmos	58
2.6.3.4.2 Método para construção de algoritmos.....	60
2.6.3.5 Linguagens de programação utilizadas no desenvolvimento de “ <i>softwares</i> ”	61
3 PROCEDIMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS	64

3.1 Programa computacional	64
3.1.1 Definição do programa	65
3.1.2 O <i>software</i> na atualidade	65
3.1.3 Estrutura do programa e definição das linguagens de programação	66
3.1.4 Código fonte do programa	69
3.1.5 Acesso, inicialização e utilização do programa.....	70
3.1.5.1 Acesso e Inicialização do programa	70
3.1.5.2 Utilização do programa CalcFactor	71
3.1.5.2.1 Cálculo do valor de FCT para uma descontinuidade já cadastrada	71
3.1.5.2.2 Inclusão, exclusão, ou edição uma descontinuidade	74
3.1.5.2.3 Editor de equações.....	78
3.2 Análises numéricas	79
3.2.1 Modelos analisados	79
3.2.2 Material utilizado.....	80
3.2.3 Discretização dos modelos analisados.....	81
3.2.4 Condições de contorno das análises	83
3.3. Medição experimental	83
3.3.1 Procedimento de preparação dos corpos de prova.....	84
3.3.2 Procedimento colagem dos strain gauges	84
3.3.3 Procedimento de medição das tensões	86
3.3.4 Análise fractográfica.....	88
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	90
4.1 Resultados do programa computacional desenvolvido	90
4.1.1 Modelo plano com entalhe duplo oposto semi circular	90
4.1.2 Elemento plano com furo	91
4.1.3 Modelo cilíndrico	91
4.2 Análises numéricas	92
4.2.1 Análise numérica do modelo com entalhe semicircular duplo oposto	92
4.2.2 Análise numérica do modelo com furo	95
4.2.3 Análise numérica modelo cilíndrico.....	97
4.3 Medições experimentais nos corpos de provas planos	98
4.3.1 Corpo de prova com entalhe circular.....	99
4.3.2 Corpo de prova com furo.....	100
4.4 Resultados da análise de fratura	101
4.5 Correlação dos resultados encontrados	102
5 CONCLUSÕES.....	105
5.1 Conclusões.....	105
REFERÊNCIAS	108
ANEXO 1 – ALGUMAS DESCONTINUIDADES E SUAS EQUAÇÕES DE FCT ...	111
ANEXO 2 – CÓDIGO FONTE DO PROGRAMA.....	130

INTRODUÇÃO

Quando do projeto convencional de uma peça, seu dimensionamento tem por objetivo, evitar que a mesma falhe por colapso plástico. Assim sendo, duas propriedades importantes normalmente são levadas em consideração quando do cálculo, quais sejam: tensão de escoamento e o módulo de elasticidade do material. Com base nisso, considera-se que a tensão de projeto, será a tensão de escoamento do material dividida por um coeficiente maior que a unidade, denominado coeficiente de segurança.

Para vasos submetidos à pressão, quando fabricados em aço laminado, este fator assume valores em torno de 1,5 elevando-se para o valor 4 se os mesmos forem fabricados em aço fundido. Para cabos de aço, o valor fica entre 5 e 10. Dessa forma, não se está contemplando a possibilidade de que o componente venha a falhar por fratura frágil, pois que o referido fator indicaria que dificilmente ocorreria tal modo de ruptura.

Porém na prática, tal consideração nem sempre se verifica pois em regiões onde ocorram a presença de trincas, com efeitos agravados pela presença de concentradores de tensões que normalmente produzem restrições às deformações plásticas, o aumento das tensões pode levar a peça a se romper com valores inferiores às tensões de projeto e de modo frágil.

Os referidos concentradores de tensões são descontinuidades ou alterações bruscas nas configurações geométricas de uma peça, cujo objetivo é o de proporcionar à mesma, as condições necessárias de modo que cumpra a contento as funções à qual será destinada, e por este motivo recebem também a denominação de concentradores de tensões geométricos ou concentradores de tensões estáticos.

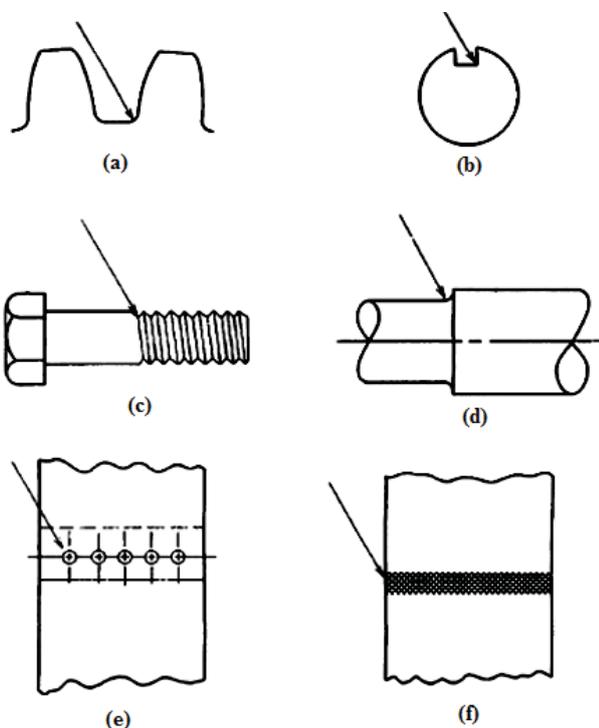
Devido ao incremento produzido nas tensões, por conta destas descontinuidades, acabam ocorrendo tensões mais elevadas na região, podendo estas atingirem valores muito superiores às tensões nominais calculadas. Uma tensão amplificada por tais concentradores, devido ao seu elevado valor localizado, facilmente supera a tensão limite elástico do material da peça, podendo inclusive ultrapassar a tensão de ruptura do mesmo.

1.1 Contexto

As descontinuidades causadoras de concentrações de tensões são formas geométricas que ocorrem na peça dependendo de sua função, tais como: variações bruscas de seção,

furos, rasgos para alojamento de chavetas, chanfros, ranhuras, sulcos, ressaltos, rebaixos, entre outros. Alguns exemplos estão ilustrados na Figura 1.

Figura 1 - Exemplos comuns de concentradores de tensão



(a) dentes de engrenagem; (b) rasgo de chaveta de eixo; (c) roscas dos parafusos; (d) variação de diâmetros; (e) chapas rebitadas ou aparafusadas em conjunto; (f) junta soldada

Fonte: MYER (1998)

Uma descontinuidade também recebe as denominações de “entalhe” ou “nó” embora esta seja uma expressão seja usada em menor escala. Segundo Budynas & Nisbett (2011), uma descontinuidade “é um efeito altamente localizado. Em alguns casos pode ser devido a um arranhão na superfície”.

Sua presença numa peça, segundo Yung e Budynas (2002) ocasiona um rearranjo na distribuição dos esforços, gerando nas regiões onde as mesmas ocorrem, tensões superiores à tensão média que atuaria nesta mesma região da peça, se submetida ao mesmo esforço, porém, sem a presença do referido entalhe.

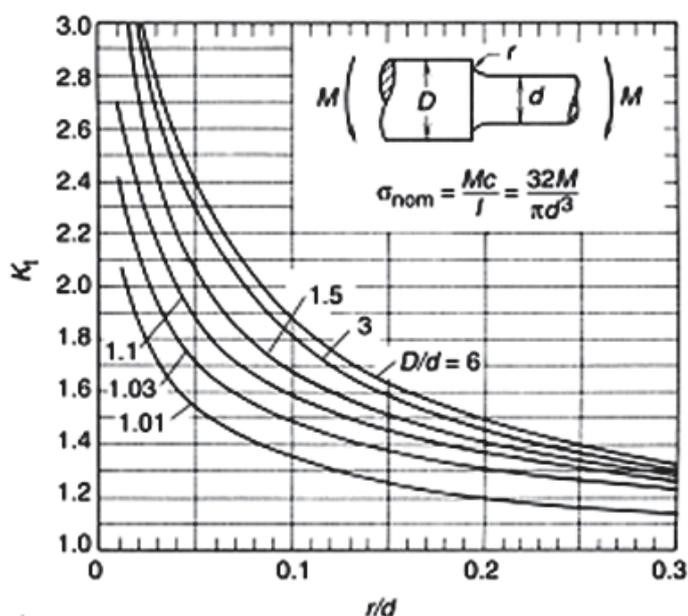
Os valores das máximas tensões em decorrência de entalhes podem ser obtidos através de ensaios em laboratórios utilizando-se processos tais como a extensometria e a fotoelasticidade, ou com o auxílio de “*software*” de análise de tensões como os que se valem da teoria de elementos finitos.

Segundo Pilkey (1997), da razão entre o valor da tensão máxima e a tensão nominal média, calculada para uma peça idêntica, porém sem entalhe, resulta um número maior que

a unidade, comumente representado por K_t , denominado “fator teórico de concentração de tensão”.

Com base em algum dos procedimentos citados, podem ser construídos diagramas tal como o representado nas Figura 2, onde o profissional da área de projetos levando em consideração o tipo de solicitação, bem como as configurações geométricas da peça e do entalhe, pode de forma rápida e prática, muito embora suscetível à diversas possibilidades de erros inerentes a todo processo gráfico, obter o valor do fator de concentração de tensão para a geometria configurada.

Figura 2 - Fatores teóricos de concentração de tensão para uma haste cilíndrica escalonada



Fonte: HALFORD (2006)

Com o valor obtido e multiplicado pela tensão nominal o projetista obterá o valor da tensão máxima que supostamente ocorrerá na peça provida do referido entalhe.

Conforme Norton (2013), através da teoria da elasticidade podem ser obtidas expressões para determinação de fatores de concentração de tensões para geometrias simples, analiticamente.

No decorrer do tempo, vários pesquisadores se dedicaram ao estudo dos concentradores de tensões, entretanto cabe um especial destaque ao eng. Rudolf Earl Peterson (1901-1982) que deu uma contribuição fundamental no estudo dos fatores de concentração de tensões, o que pode ser constatado através de seu livro publicado em 1953. Tal dedicação, segundo Pilkey (1997) lhe rendeu a denominação de “*Mr. Stress Concentrator*”.

1.2 Justificativa

Os procedimentos atualmente utilizados para determinação dos valores dos fatores de concentração de tensões elencados anteriormente, apresentam alguns inconvenientes, conforme descritos a seguir:

A extensometria assim como a foto-elasticidade, são procedimentos relativamente complexos e onerosos, e que exigem laboratórios bem equipados, assim como pessoal especializado e com boa experiência nos respectivos procedimentos.

Os “*softwares*” utilizados, geralmente encontram-se inseridos em programas mais abrangentes, também de custos elevados, e que para sua utilização, requerem por parte do usuário, um bom conhecimento e bastante domínio das diversas funções oportunizadas pelo mesmo.

A utilização de diagramas, não obstante seja um procedimento simples e praticamente isento de custos, comumente resulta em valores pouco precisos, como normalmente acontece em todo processo gráfico, quer seja por imprecisão na confecção dos mesmos, quer seja por erros na leitura dos valores.

O uso de equações, dependendo da configuração geométrica do entalhe, implicará no emprego de diversas fórmulas, que embora simples do ponto de vista algébrico, geralmente são longas, o que além de implicar em dispêndio de tempo, poderá induzir o calculista a erros.

As dificuldades acima relacionadas poderão ser minimizadas se o usuário dispuser de um “*software*” específico, simples, abrangente, e provido de uma interface amigável, que facilite a sua utilização bem como a interpretação dos resultados, e que ainda proporcione quando possível, sugestões alternativas para o projeto visando à redução dos efeitos nocivos causados pelos concentradores de tensão.

1.3 Motivação

Nas últimas décadas, se vem dando especial atenção ao estudo da Mecânica da Fratura e da Fadiga dos Materiais, onde partindo do princípio que um determinado componente mecânico apresente uma trinca, se consiga prever o comportamento desta trinca no que tange ao seu tamanho bem como ao tempo para que ela atinja a dimensão limite estabelecida como aceitável de modo que atenda ao grau de confiabilidade estabelecido para

aquele componente, em função da maior ou menor responsabilidade que este irá desempenhar no projeto da máquina ou equipamento.

O início de uma trinca pode ocorrer pelos mais diversos motivos. Pode-se destacar dentre estes os que surgem: quando da solidificação do material, por deposição de hidrogênio em soldas, por decoesão lamelar, ou através da nucleação em serviço devido à fadiga ou corrosão sob tensão.

Entretanto, os concentradores geométricos de tensões são de vital importância, pois que em peças que apresentem descontinuidades por necessidade de projeto, mormente aquelas submetidas à esforços variáveis, é muito comum que estes concentradores geométricos, em decorrência das altas tensões proporcionadas pelos mesmos, se tornem os protagonistas no processo de nucleação de uma trinca.

Nos materiais dúcteis, quando da presença de tensões elevadas que ultrapassem o patamar de escoamento, ocorre uma redistribuição das tensões na região da descontinuidade, havendo assim uma redistribuição parcial dos esforços e como consequência uma redução na velocidade de propagação de uma possível trinca. Já quando os concentradores de tensões ocorrem em materiais frágeis, devem receber especial atenção tendo em vista que estes materiais, por não apresentarem escoamento, caso de a tensão máxima gerada em decorrência do entalhe iniciar a nucleação de uma trinca, tal processo levará ao colapso em um processo extremamente rápido. Segundo Barson e Rolfe (1999), estas velocidades nos aços são superiores a 2000 m/s.

Não obstante sua importância, em decorrência da grande atenção que se tem dado ao estudo da propagação da trinca, poderá parecer ao acadêmico de engenharia ou mesmo ao projetista iniciante, que os concentradores de tensões geométricos estejam relegados à um nível de importância secundário.

Em decorrência disto, bem como levando-se em consideração também as dificuldades elencadas no item 1.2, tem este trabalho também por objetivo, despertar nos futuros profissionais da área de engenharia, a real importância dos concentradores de tensões no projeto de peças, especialmente aquelas submetidas a esforços variáveis.

1.4 Objetivos do trabalho

A seguir são apresentados o objetivo geral a ser alcançado, bem como os objetivos específicos que permitirão levar este trabalho a bom termo.

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um programa que possibilite a obtenção de valores teóricos de fatores de concentração de tensão para diferentes formas geométricas de descontinuidades, com a utilização de equações previamente estabelecidas em bibliografia especializada.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos consistem em:

- a) Desenvolver um programa computacional de fácil interpretação e que possa ser editado, possibilitando livre acesso e que proponha, quando possível, alternativas visando a minimização dos efeitos dos entalhes;
- b) Definir uma linguagem de programação adequada para o desenvolvimento do programa, utilizando um apanhado de equações especificamente desenvolvidas para as principais formas geométricas de descontinuidades geradoras de concentração de tensões.
- c) Realizar simulações de cálculo para algumas descontinuidades através do programa desenvolvido neste trabalho, e paralelamente também, utilizando um “*software*” de análise de tensões baseado na teoria dos elementos finitos, bem como através de ensaios práticos, com o objetivo de confrontação dos resultados obtidos.

1.5 Metodologia da Pesquisa

Para o desenvolvimento do procedimento proposto neste trabalho, de modo que ao final se atinja os objetivos anteriormente elencados, considera-se necessário o cumprimento das seguintes etapas:

- **Primeira Etapa:** Realizar uma breve análise sobre os concentradores de tensões, bem como os motivos que levaram ao estudo dos mesmos, sua importância, as metodologias utilizadas para a determinação de seus valores, bem como possíveis alternativas e sugestões visando a atenuação de seus efeitos, culminado com uma coletânea de equações já estabelecidas para as principais descontinuidades causadoras de concentração de tensões.

- **Segunda Etapa:** Análise de algumas linguagens de programações, visando à escolha da que mais se adequa ao objetivo proposto.
- **Terceira Etapa:** Desenvolvimento do programa computacional utilizando a linguagem de programação escolhida.
- **Quarta Etapa:** Cálculo de valores de concentração de tensão para algumas descontinuidades através do programa desenvolvido e com a utilização de “*softwares*” tradicionais de análise de tensões, acompanhados de ensaios de laboratório, visando a validação do programa em questão.
- **Quinta Etapa:** Análise dos resultados obtidos, conclusões finais bem como sugestões para possíveis trabalhos futuros.

1.6 Estrutura do documento

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, acompanhados das referências bibliográficas e dos anexos.

Capítulo 1 - aborda conteúdos introdutórios relacionados ao tema ao qual se refere o presente trabalho, bem como a justificativa, a motivação e os objetivos a serem alcançados.

Capítulo 2 - apresenta a revisão bibliográfica, discutindo os principais assuntos ligados ao trabalho desenvolvido, tais como conceptualização dos concentradores de tensões e sua relevância, bem como uma relação das equações estabelecidas ao longo dos anos para os concentradores mais frequentemente encontrados nas estruturas mecânicas, e que serão utilizadas na elaboração do programa computacional. Apresenta ainda: possíveis alternativas para atenuação de seus efeitos, os métodos mais utilizados na determinação dos concentradores, finalizando com uma revisão sobre o conceito de “*software*” e as linguagens de programação mais utilizadas, visando a escolha de linguagem a ser empregada.

Capítulo 3 – apresenta o desenvolvimento do programa computacional e o desenvolvimento das análises de elementos finitos e medições experimentais realizadas, visando a comparação dos resultados com o objetivo de validação do programa desenvolvido.

Capítulo 4 – faz-se a confrontação dos resultados obtidos através dos diferentes métodos utilizados bem como a análise e discussão dos mesmos.

Capítulo 5 – apresenta as conclusões finais e possíveis sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo, inicia com um breve histórico sobre os fatos que motivaram os estudos em relação aos concentradores de tensões, sua relevância sob a ótica de diversos autores, prosseguindo com a conceptualização dos mesmos. Contém ainda uma resumida descrição de alguns métodos empregados para obtenção dos seus valores, encerrando com a descrição do método analítico bem como as equações obtidas para descontinuidades presentes com maior frequência nos componentes mecânicos bem como possíveis alternativas e sugestões visando a atenuação de seus efeitos.

2.1 Concentradores de tensões: histórico, concepção inicial e relevância

Segundo Gordon (1978), no final do século XIX, os projetistas se deparavam com situações bastante controversas, pois não obstante a adoção de coeficientes de segurança bastante elevados para projetos de grande responsabilidade, como no caso de caldeiras e estrutura de navios, o que resultava estruturas aparentemente dimensionadas para suportarem esforços muito acima dos quais realmente necessitariam suportar, ainda assim as mesmas não raramente entravam em colapso.

Na época, o transporte marítimo era um componente importantíssimo na economia dos países o que impingia aos projetistas a demanda por embarcações mais velozes e com maiores capacidades de carga, e conseqüentemente, mais resistentes e com maior confiabilidade.

Já no início do século XX, mais precisamente em 1901, a mais moderna embarcação projetada e construída até então, o *destroyer H.M.S. Cobra*, um dos navios mais rápidos na época, repentinamente partiu-se em dois, afundando rapidamente no Mar do Norte.

Em 1903, foram feitas várias experiências com um *destroyer* semelhante, o *H. M. S. Wolf* com o mar em condições semelhantes ao enfrentado pelo *Cobra* quando do acidente, chegando-se à conclusão que as tensões geradas, apesar das condições bastante adversas, ainda assim eram bastante inferiores à tensão máxima suportada pelo aço utilizado na construção, bem como em relação às tensões admissíveis que os projetistas haviam considerado em seus cálculos, pois que o fator de segurança utilizado, estava entre cinco e seis. Assim, ainda que tais descobertas tenham sido muito importantes no sentido de eximir-se de culpas a empresa responsável pela fabricação da embarcação bem como o seu corpo técnico, permanecia como incógnita os fatores que haviam provocado o acidente.

O primeiro passo importante no sentido da elucidação das reais causas de colapsos de estruturas aparentemente bem dimensionadas sob o ponto de vista de projeto, mas que vieram a falhar, foi dado em 1903 por C. B. Inglis, que era professor de engenharia em *Cambridge*.

Ainda segundo Gordon, Inglis demonstrou que as tensões calculadas só poderiam ser confiáveis para materiais e peças com superfícies lisas e sem mudanças bruscas nas suas formas, pois que irregularidades geométricas tais como furos, trincas e cantos afiados, poderiam elevar em muito as tensões nas regiões onde estas ocorriam, proporcionando assim a possibilidade de atingirem valores bem acima da tensão de ruptura do material.

Tais princípios, ainda que de forma totalmente empírica, já eram largamente empregados tanto pelos fabricantes de chocolates quando da solidificação do mesmo ao produzirem rebaixos que facilitavam a quebra em posições previamente estabelecidas, quanto pelos funcionários das gráficas onde eram impressos os selos ao picotarem as folhas para facilitar o destaque das unidades. Por incrível que possa parecer mesmo as costureiras e balconistas já utilizavam tal princípio, ao produzirem um pequeno corte inicial nos tecidos, com a finalidade de iniciar uma ruptura que era consumada pelas mãos ao tracionar as partes que ladeavam a região do corte.

Cabe ressaltar que em 1898, Kirsch, um engenheiro alemão, demonstrou pela primeira vez que o fator de concentração de tensão para um furo circular numa placa infinita submetida a tensões uniformes era 3.

Entretanto, segundo Sauoma (2000), ao investigar falhas inesperadas em navios de guerras em 1913, C. E. Inglis ampliou a solução para a concentração de tensões em torno de um furo circular em uma placa infinita ao caso geral de uma elipse.

Ainda segundo Sauoma (2000), este problema já havia sido resolvido 3 anos antes pelo russo Kolosof, ainda que a história atribua o feito apenas a Inglis.

Tendo em vista que estas descontinuidades são denominadas “concentradores de tensão” ou mais especificamente, “concentradores geométricos de tensões” e as tensões por eles “amplificadas” são comumente denominadas “tensões concentradas” ou “tensões de pico”.

A determinação dos valores máximos das tensões geradas em decorrência destas descontinuidades, é de fundamental importância para o projetista quando do dimensionamento de uma peça, mormente quando se tratar de materiais frágeis, pelo fato destes não possuírem patamar de escoamento, tendo em vista que esta particularidade é

restrita aos materiais dúcteis, e têm a propriedade de amenizar os efeitos negativos destas concentrações.

Myer (1998) destaca: “falhas em máquinas e estruturas quase sempre iniciam em locais de concentração de tensões locais causadas por descontinuidades geométricas ou micro estruturais”.

Conforme Hearn (1997), “a presença de qualquer súbita mudança de seção, furo, curvatura acentuada, entalhe, ranhura, falha no material, etc., aumentará significativamente a tensão localizada”.

Segundo Myer, dependendo da configuração geométrica de um entalhe, o valor da tensão, pode superar em muitas vezes o valor da tensão nominal líquida que atua na peça.

Pluinage (2004), afirma; “a grande maioria das falhas emanam de concentradores de tensão geométricos”.

Segundo Young e Budynas 2002, ocorrerá concentração de tensão, quando houver em uma pequena área de uma estrutura, um grande gradiente de tensão, podendo este ser ocasionado por uma mudança na geometria da estrutura ou pelo contato de uma estrutura adjacente.

Ainda conforme Young e Budynas 2002, “alterações bruscas nas geometrias das peças interrompem o fluxo de tensões através da estrutura entre as regiões de aplicações das cargas”.

Pluinage, 2004, observa: “efeito de nó, é o que resulta da modificação na distribuição das tensões devido a presença de um entalhe que altera o fluxo de forças”.

Embora os estudos sobre concentradores de tensão sejam quase que na sua totalidade voltados para os materiais metálicos, cabe ressaltar que os efeitos dos mesmos se fazem também sentir nos demais materiais.

Harper et al (1999) afirma “os plásticos são particularmente vulneráveis à concentração de tensões em cantos internos, assim a maioria deles tendem a ser sensíveis ao entalhe”.

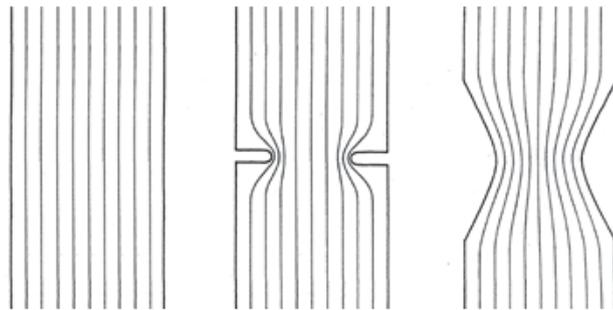
Ao longo do tempo, foram inúmeros casos de rupturas que mais tarde constataram-se iniciadas em posições onde estavam presentes algum tipo de descontinuidade.

2.2 Conceptualização intuitiva dos fatores de concentração de tensões

Myer (1998) sugere que uma apreciação intuitiva de tensão gerada por uma descontinuidade geométrica pode ser feita associada à alteração na distribuição do “fluxo de forças” através da peça.

A Figura 3 mostra a influência do perfil de uma peça no comportamento das linhas de força que “fluem” no seu interior.

Figura 3 - O acúmulo e desvio de linhas de fluxo perto de obstruções



Fonte: STEPHENS (2001) modificado

2.3 Conceptualização matemática dos fatores de concentração de tensões

Segundo Pilkey (1997, 2008), o fator de concentração de tensão pode ser definido como a razão entre o pico de tensão na peça na região do entalhe em relação à outra tensão tomada como referência, que será genericamente chamada de tensão nominal.

Assim, considerando-se a peça da figura 4, tem-se:

$$K_t = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{nom}} \quad (1)$$

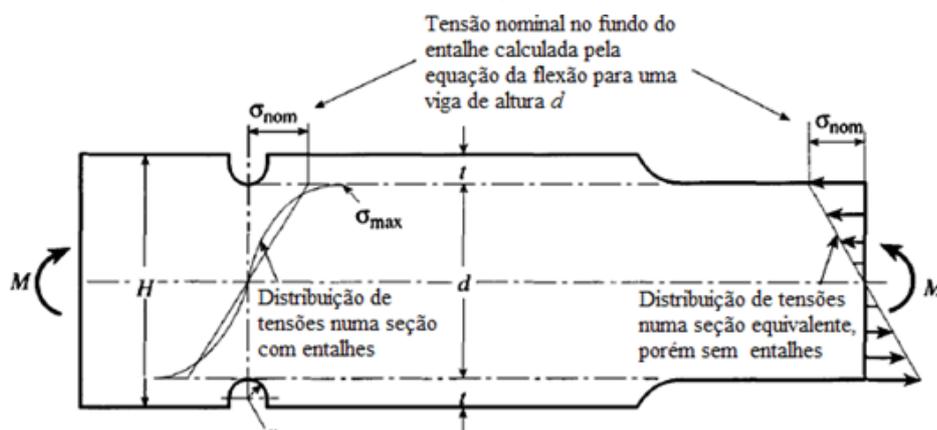
e

$$K_{ts} = \frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{nom}} \quad (2)$$

Sendo $\sigma_{m\acute{a}x}$ e $\tau_{m\acute{a}x}$ respectivamente as tensões máximas normal e cortante nas posições da peça onde ocorrem os entalhes, e σ_{nom} e τ_{nom} as correspondentes tensões de referência, ou tensões nominais de referência, tomadas em pontos sem a presença de entalhes. O subscrito “t” indica que o fator de concentração obtido desta forma é um fator teórico e “s”, que o fator se refere a um esforço de corte.

A Figura 4 mostra um exemplo de uma barra submetida à um esforço de flexão no plano vertical, e a representação das distribuições de tensões em pontos análogos, distantes $d/2$ em relação à linha neutra, porém sendo o da esquerda, situado fundo de um entalhe. Nota-se a evidente superioridade da tensão na seção com entalhe $\sigma_{máx}$ em relação à sua análoga σ_{nom} na seção sem o entalhe.

Figura 4 - Comportamento das tensões em duas seções equivalentes em uma barra submetida à flexão

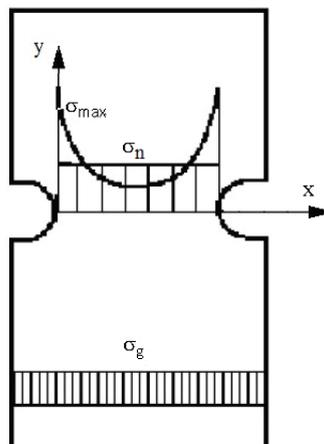


Fonte: PILKEY (2008) modificada

2.3.1 Tensão nominal bruta e tensão nominal líquida

Conforme Pluvinage (2004), a tensão nominal adotada para o cálculo do fator teórico de concentração de tensões pode ser obtida com base na área bruta, ou seja, desconsiderando-se a perda de área devido ao entalhe ou com base na área líquida, isto é, levando-se em consideração somente as áreas remanescentes após descontadas as áreas subtraídas pelos entalhes.

Figura 5 - Definição de tensão bruta e tensão líquida em uma peça entalhada submetida à tração



Fonte: PLUVINAGE (2004) modificada

Assim, para a peça da Figura 5 submetida à um esforço de tração, calculando-se K_t com base na área bruta tem-se:

$$K_{tg} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_g} \quad (3)$$

e com base na área líquida,

$$K_{tn} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_n} \quad (4)$$

onde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ – tensão máxima no fundo do entalhe (MPa)

σ_n – tensão nominal calculada com base na área líquida (MPa)

σ_g – tensão nominal calculada com base na área bruta (MPa)

K_{tn} – fator teórico de concentração de tensão com base na seção líquida

K_{tg} – fator teórico de concentração de tensão com base na seção bruta

Devido à redução de área em decorrência do entalhe, teremos:

$$\sigma_g < \sigma_n \quad (5)$$

e assim:

$$K_{tg} > K_{tn} \quad (6)$$

Conforme Budynas e Nisbett (2011), o valor do fator de concentração assim obtido é um valor teórico, pois que seu valor “depende apenas da geometria da peça”. Isto é indicado pelo subscrito t .

2.3.2 Seleção da tensão nominal

Pilkey (1997, 2008), salienta a importância da correta identificação da tensão nominal de referência σ_n para a obtenção do fator de concentração de tensão de interesse.

Os três exemplos a seguir, visam exemplificar algumas situações e as respectivas escolhas.

Exemplo1- Uma barra plana de largura H e espessura h com um furo circular de diâmetro d submetida a uma força de tração P , tal como demonstrado na Figura 6.

Neste exemplo, a tensão nominal de referência pode ser definida de duas maneiras:

a- Usando-se a área bruta da barra, tal como a área da seção situada na posição B-B.

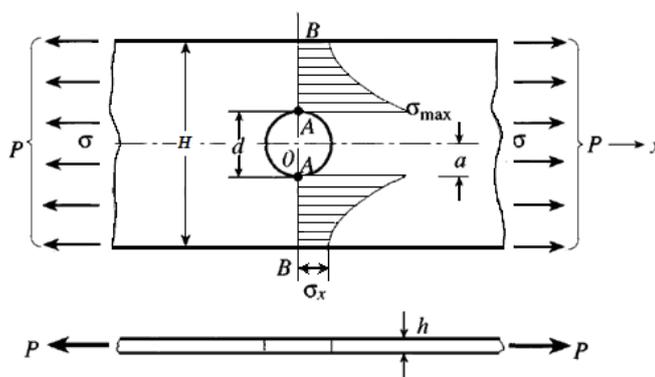
Neste caso teremos para tensão de referência:

$$\sigma_{nom} = \sigma_g = \frac{P}{A_{bruta}} = \frac{P}{Hh} = \sigma \quad (7)$$

que resultará substituindo em (3) um fator de concentração de tensão:

$$K_{tg} = \frac{\sigma_{máx}}{\sigma_g} = \frac{\sigma_{máx}}{\sigma} = \frac{\sigma_{máx}Hh}{P} \quad (8)$$

Figura 6 - Barra plana de largura H e espessura h com um furo circular de diâmetro d submetida a uma força de tração P



Fonte: PILKEY (2008)

b- Usando-se a área líquida da barra, na posição onde está situado o furo, ou seja, a seção situada na posição A-A. A tensão normal média na seção remanescente será a tensão de referência cujo valor será:

$$\sigma_{nom} = \frac{P}{A_{liquida}} = \frac{P}{(H-d)h} = \sigma_n \quad (9)$$

que substituído em (4) resultará o fator de concentração:

$$K_{tn} = \frac{\sigma_{máx}}{\sigma_n} = \frac{\sigma_{máx}}{\sigma} = \frac{\sigma_{máx}(H-d)h}{P} \quad (10)$$

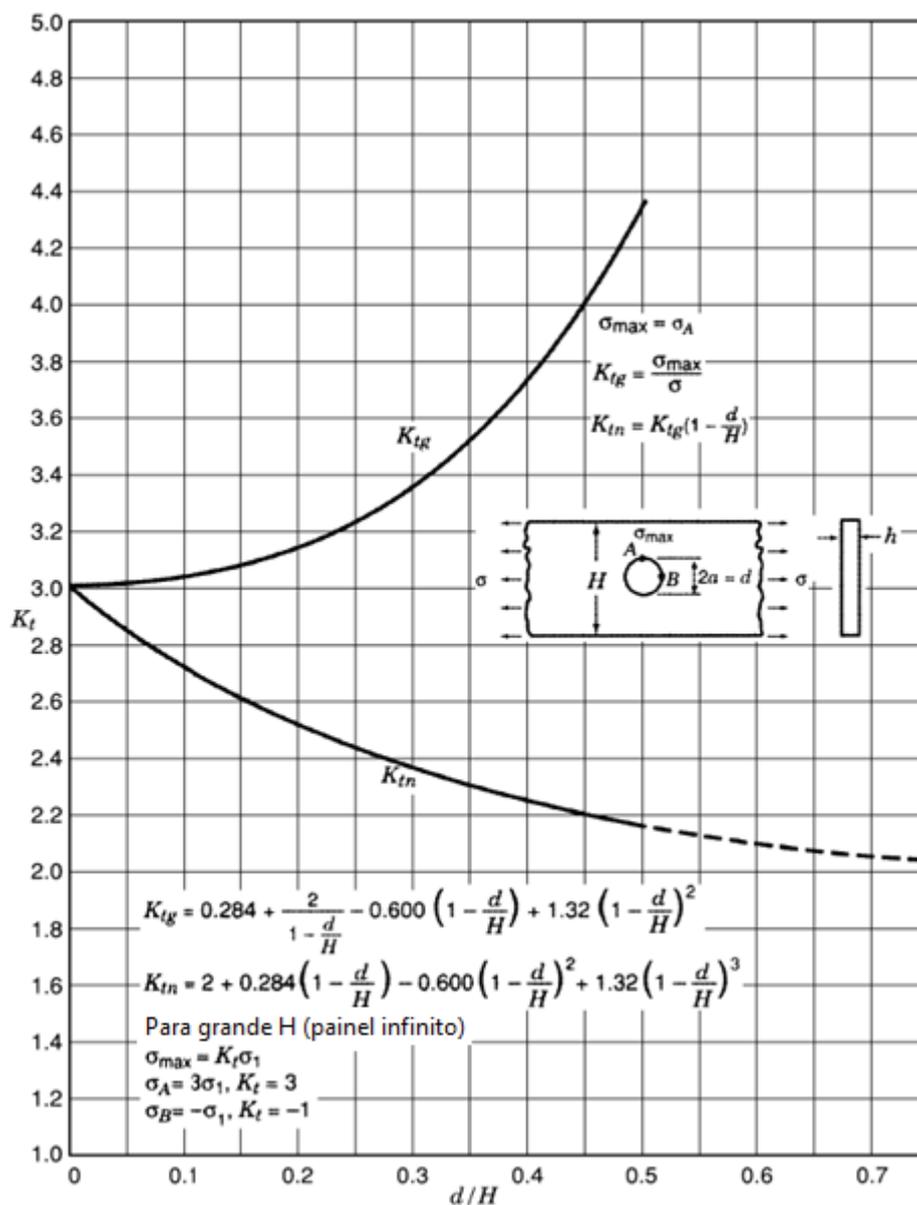
De (8) e (10) obtém-se uma relação entre os dois fatores resultando:

$$K_{tn} = \frac{H-d}{H} K_{tg} \quad (11)$$

Valores de K_{tg} e K_{tn} para a referida placa estão representadas na Figura 7. Nela pode ser observado que quando d/H aumenta de 0 a 1, K_{tg} cresce de 3 até ∞ enquanto K_{tn} reduz de 3 para 2.

O projetista pode utilizar qualquer um dos fatores. Em termos práticos, o K_{tg} seria mais vantajoso em relação ao K_{tn} pela simplicidade do cálculo da área bruta. Se obtidos a partir das respectivas curvas da Figura 7, para $d/H > 0,5$ a curva relativa à K_{tg} torna-se muito íngreme, havendo um comprometimento quanto a precisão na sua leitura. Entretanto, deve-se dar preferência na utilização do K_{tn} uma vez que a seção de interesse é geralmente a seção remanescente ou líquida.

Figura 7 - Fatores de concentração de tensões K_{tg} e K_{tn} para uma barra com largura finita com um furo circular



Fonte: PILKEY: (1997) modificada

Pode-se levar em consideração ainda, que em casos nos quais haja a possibilidade de a peça vir a sofrer esforço por fadiga, somente o K_{tn} pode ser utilizado.

Exemplo 2 – Uma barra cilíndrica de diâmetro D com uma ranhura circunferencial em forma de U com profundidade t e raio r , submetida a um esforço de torção T , tal como mostrada na Figura 8.

As alternativas para definição da tensão a ser tomada como referência são:

a- Usar como tensão de referência a tensão gerada num ponto B' situado na superfície da barra, que neste caso, é um ponto que está bastante distanciado do ponto crítico (fundo da ranhura).

Neste caso, a tensão de referência seria:

$$\tau_{B'} = \tau_D = \frac{16T}{\pi D^3} = \tau_{nom} \quad (12)$$

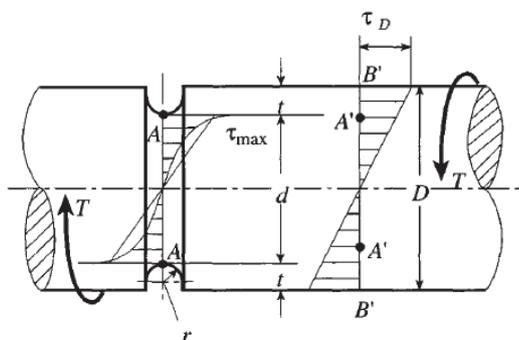
b- Usar a tensão gerada no ponto A' como tensão de referência. Seu valor seria:

$$\tau_{A'} = \frac{16Td}{\pi D^4} = \tau_{nom} \quad (13)$$

c- Considerar como tensão de referência, a tensão superficial gerada numa barra cilíndrica fictícia com diâmetro d , ou seja, com diâmetro igual ao diâmetro líquido da barra original na região do sulco. Neste caso a tensão de referência seria a tensão num ponto análogo ao ponto A , porém na superfície externa de uma barra sem sulco, e seu valor:

$$\tau_A = \frac{16T}{\pi d^3} = \tau_{nom} \quad (14)$$

Figura 8 - Barra cilíndrica de diâmetro D com uma ranhura circunferencial em forma de U com profundidade t e raio r , submetida a um esforço de torção T

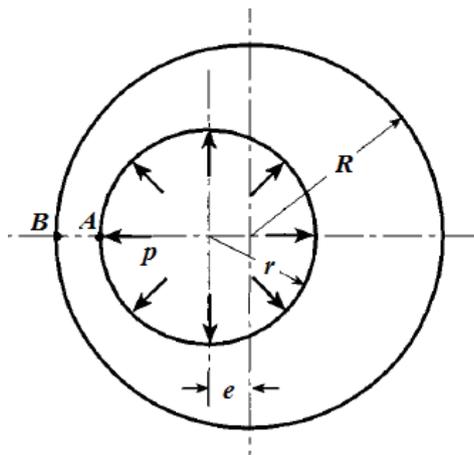


Fonte: PILKEY (2008)

Na verdade, a esta tensão nominal nesta barra fictícia com seção transversal líquida jamais ocorrerá na prática em qualquer ponto da barra real com a ranhura circunferencial. Entretanto devido às suas características intuitivas e à facilidade de cálculo, é a mais utilizada das três para o cálculo da tensão de referência.

Exemplo 3 – Um cilindro vasado excêntrico submetido a uma pressão interna p , conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Cilindro vasado excêntrico submetido a uma pressão interna p



Fonte: PILKEY (2008) modificada

Este é um caso de difícil solução sendo conveniente tomar-se a pressão interna como tensão de referência, ou seja:

$$\sigma_{nom} = p \quad (15)$$

De modo que se tem:

$$K_t = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{p} \quad (16)$$

Como se pode denotar através dos exemplos expostos anteriormente, as tensões de referência dependem muito da situação em pauta. Portanto, quando da disponibilização de diagramas de fatores de concentração de tensões, é primordial que se indique a forma como foram obtidas tais tensões.

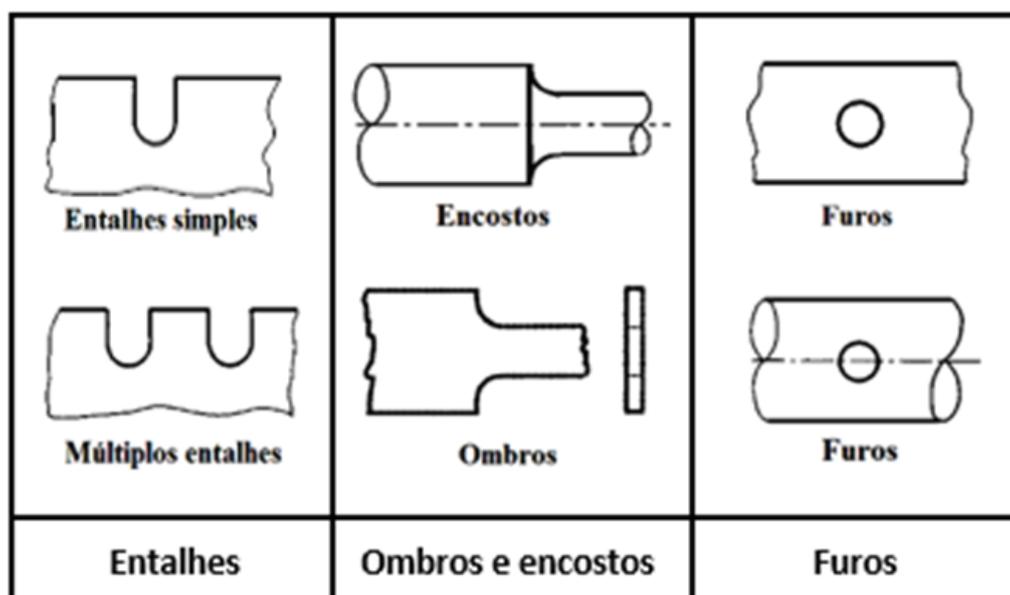
Pode optar-se por apresentar em um mesmo gráfico, as plotagens com base em mais de uma tensão de referência. Assim, poderemos ter os valores de K_{tg} e K_{tn} sendo apresentados num mesmo diagrama tal como o já exposto na Figura 7.

2.4 Concentradores de tensões mais frequentes e suas equações

Neste subitem, são relacionados os tipos de concentradores de tensões agrupados segundo suas principais características geométricas, os esforços aos quais estão submetidos, acompanhados das equações que permitem o cálculo dos seus valores. Devido ao grande número de concentradores de tensões existentes, somente os mais comumente encontrados nos projetos de máquinas estão relacionados, sendo que uma relação mais ampla, com as respectivas equações e diagramas nas quais as mesmas se baseiam, é apresentada no ANEXO 1, conforme PILKEY (2008).

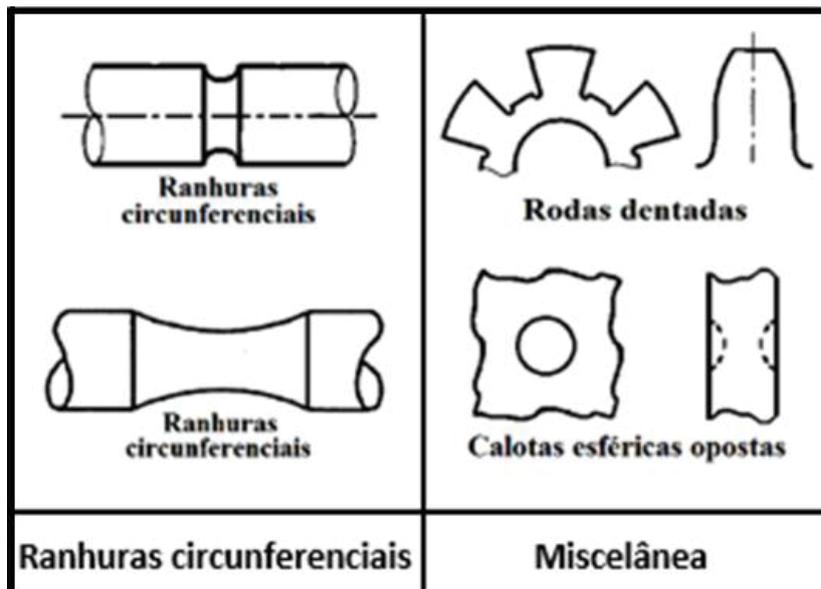
Visando uma maior praticidade, a partir deste ponto o termo descontinuidade será mais utilizado, referindo-se a qualquer alteração na peça que venha proporcionar efeitos de concentração de tensões, sendo que referências às peças, serão genericamente denotadas pelo termo elemento. Com base nestes critérios, Pilkey classifica as descontinuidades em cinco grandes grupos. Cada um dos quatro primeiros, são constituídos por descontinuidades com formas geométricas bem caracterizadas quais sejam: entalhes, ranhuras ou sulcos circunferenciais, ombros ou encostos e furos, sendo o quinto, composto por uma miscelânea de diferentes entalhes, onde são reunidos todos aqueles que não se enquadram em nenhum dos quatro grupos anteriores. Nas figuras 10 e 11 estão representados exemplos de elementos pertencentes a cada um destes cinco grupos.

Figura 10 - Exemplos de descontinuidades característicos dos cinco grupos



Fonte: PILKEY (1997) modificada

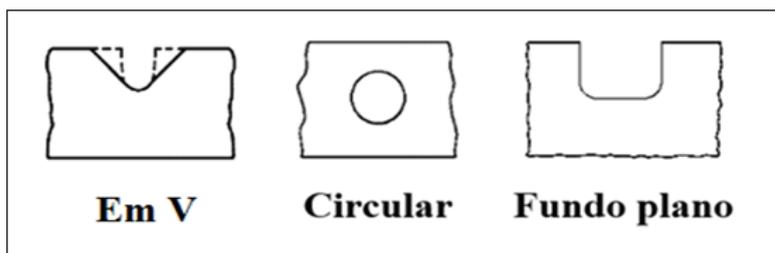
Figura 11 - Exemplos de descontinuidades característicos dos cinco grupos



Fonte: PILKEY (1997) modificada

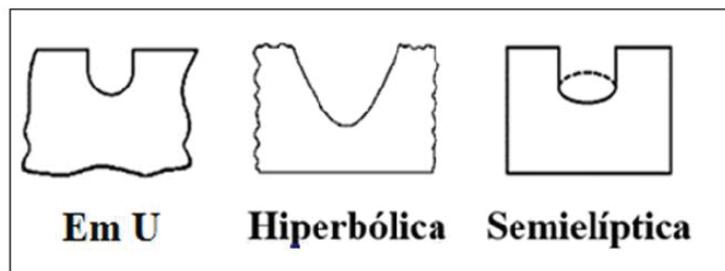
As descontinuidades podem ser encaradas como uma supressão localizada de material, resultando em um vazio com contornos característicos, geralmente nas formas circunferenciais, semicircunferências, elípticas ou hiperbólicas sendo que em alguns casos recebem as denominações U ou V, devido à semelhança com essas letras. Algumas destas formas características com as respectivas denominações estão representadas nas figuras 12 e 13.

Figura 12 - Formas características de descontinuidades



Fonte: PILKEY (1997) modificada

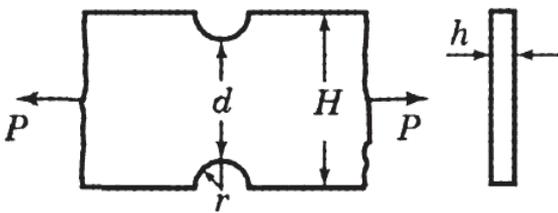
Figura 13 - Formas características de descontinuidades



Fonte: PILKEY (1997) modificada

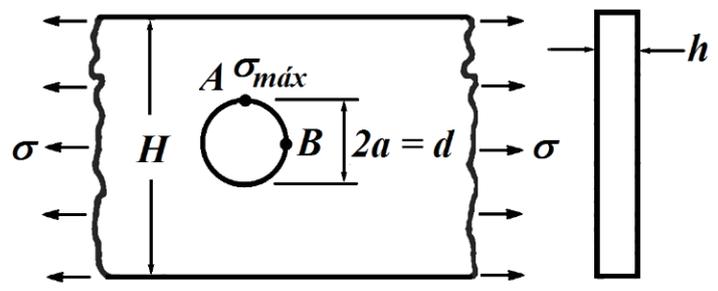
Nos quadros 1, 2 e 3, são relacionadas algumas descontinuidades representativas dos grupos anteriormente referenciados, acompanhadas das respectivas equações que permitem o cálculo dos valores dos fatores de concentração de tensões respectivo. Uma relação mais ampla encontra-se no ANEXO 1.

Quadro 1 - Tipos de descontinuidades

TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
ENTALHE DUPLO OPOSTO SEMICIRCULAR	BARRA FINA LARGURA FINITA	TRAÇÃO
		$K_{tg} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma} \quad \sigma = \frac{P}{hH}$ $K_{tg} = \frac{H}{d} K_{tn} = \frac{H}{(H - 2r)} K_{tn}$
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{nom}} \quad \sigma_{nom} = \frac{P}{hd} = \frac{P}{(H-2r)h}$ $K_{tn} = 3,065 - 3,472 \cdot \left(\frac{2r}{H}\right) + 1,009 \cdot \left(\frac{2r}{H}\right)^2 + 0,405 \cdot \left(\frac{2r}{H}\right)^3$
Onde:	H —largura do elemento (mm) r —raio do entalhe (mm) d —distância entre o fundo dos entalhes(mm)	
$\sigma_{m\acute{a}x}$ —tensão normal máxima (MPa)	K_{tg} — FCT com base na área bruta	
σ_{nom} — <i>tensão nominal</i> (MPa)	K_{tn} — FCT com base na área líquida	
σ — tensão normal de referência (MPa)		
P —carga aplicada (N)		

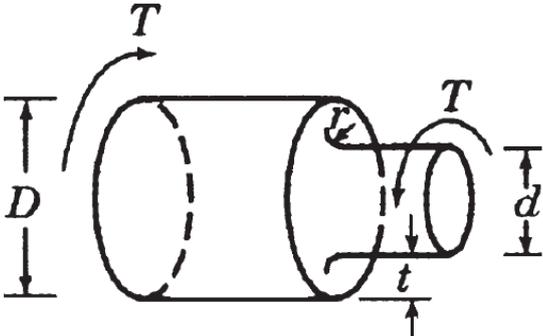
Fonte: Autor

Quadro 2 - Tipos de descontinuidades

TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
FURO CIRCULAR	BARRA FINA LARGURA FINITA	TRAÇÃO
		$K_{tg} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma} \quad \sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_A$ $K_{tn} = K_{tg} \cdot \left(1 - \frac{d}{H}\right)$
$K_{tg} = 0,284 + 2/(1 - d/H) - 0,600 \cdot (1 - d/H) + 1,32 \cdot (1 - d/H)^2$ $K_{tn} = 2 - 0,284 \cdot (1 - d/H) - 0,600 \cdot (1 - d/H)^2 + 1,32 \cdot (1 - d/H)^3$		
Para valores grandes de H (equivalente à largura infinita) tem-se:		
$\sigma_{m\acute{a}x} = K_t \cdot \sigma_1 \quad \sigma_A = 3 \cdot \sigma_1 \quad (K_t = 3) \quad \sigma_A = -\sigma_1 \quad (K_t = -1)$		
Onde:		
$\sigma_{m\acute{a}x}$ – tensão normal máxima (MPa)		
σ_{nom} – tensão normal nominal (MPa)		
σ – tensão normal de referência (MPa)		
H – largura do elemento (mm)		
h – espessura do elemento (mm)		
a – raio do furo (eixo menor da elipse)* (mm)		
d – diâmetro do furo (eixo maior da elipse)* (mm)		
σ_1 – tensão principal (MPa)		
A e B – pontos de tensões extremas		
a – raio do furo (eixo menor da elipse) (mm)		
*No caso de furo elíptico.		

Fonte: Autor

Quadro 3 - Tipos de descontinuidades

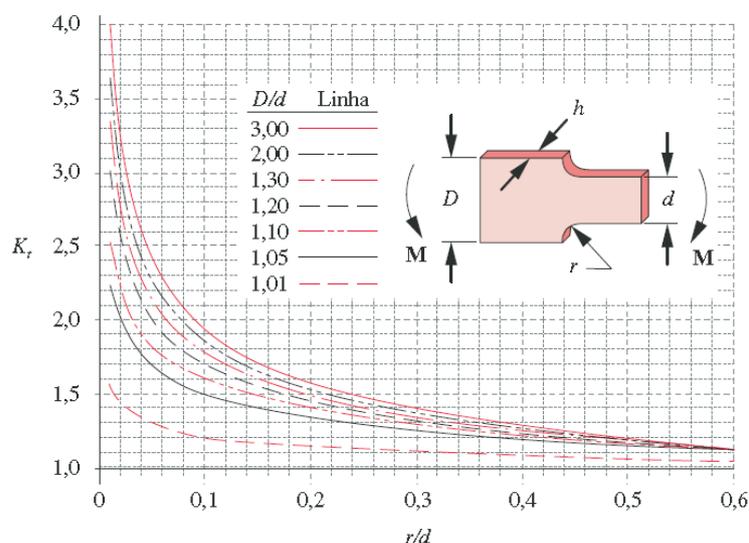
TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
OMBRO CIRCUNFERENCIAL	CILÍNDRICO COM VARIAÇÃO DE SEÇÃO	TORÇÃO
		$K_{ts} = \frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{nom}}$ $\tau_{nom} = \frac{16T}{\pi d^3}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^3$		
Para $0,25 \leq t/r \leq 4,0$:		
$C_1 = 0,905 + 0,783 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,075 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$		$C_3 = 1,557 + 1,073 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,578 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$
$C_2 = -0,437 - 1,969 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,553 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$		$C_4 = -1,061 + 0,171 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,086 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$
Onde:		
$\tau_{m\acute{a}x}$ –tensão cortante máxima (MPa)		
τ_{nom} –tensão cortante nominal (MPa)		
T – torque aplicado (N.m)		
D –diâmetro maior do elemento (mm)		
d –diâmetro menor do elemento (mm)		
t –diferença entre raios (mm)		
r –raio de concordância ou de “adoçamento” (mm)		
K_{ts} –FCT para tensão de cisalhamento		
K_{tn} -FCT no cisalhamento área líquida		
C_1, C_2, C_3 e C_4 – coeficientes determinados a partir das curvas		

Fonte: Autor

2.5 Redução das concentrações de tensões

Segundo Norton (2011), os efeitos das concentrações de tensões se manifestam com maior intensidade nas posições onde as peças apresentam variações abruptas em suas formas ou dimensões. Assim constata-se por exemplo, que para barras providas de ombros (degraus), tal como a representada na Figura 14, há um crescimento nos valores dos fatores de concentração à medida que aumentam os valores da relação D/d e/ou diminuem os da relação r/d , conforme pode-se constatar no diagrama.

Figura 14 - Variação com redução de largura ou ombro



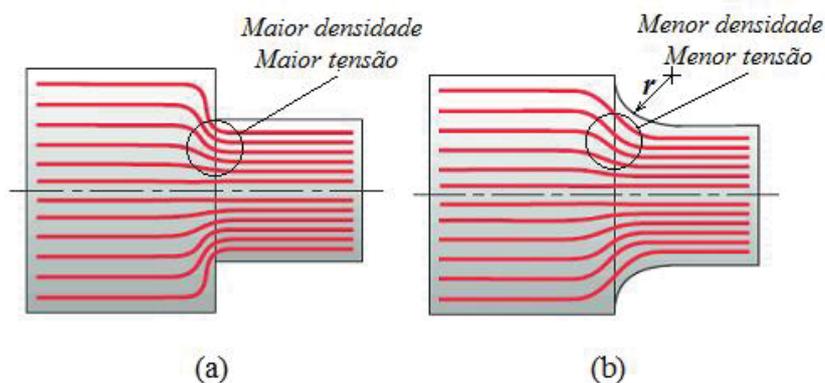
Fonte: Norton (2011) modificada

De um modo geral, as concentrações de tensões podem ser reduzidas evitando-se variações abruptas de seções, bem como cantos agudos nos pontos de transição entre superfícies de diferentes contornos, procurando-se utilizar para isso, raios de transição tão grandes quanto possíveis, o que equivale a pouca curvatura, ou em um linguajar mais corriqueiro, a curvas pouco acentuadas. Por óbvio, a adoção de tais medidas, são restringidas por necessidades de satisfazer as condições impostas pelo projeto.

Como exemplo pode-se citar variações de seções utilizadas com a finalidade de restringir o deslocamento relativo de determinados componentes, tal como um rolamento que terá um eixo alojado em seu anel interno. Para que este rolamento tenha eliminada a possibilidade de escorregamento numa determinada direção sobre o eixo, costuma-se projetar neste, uma variação de seção a qual atuará como uma escora que atuará no anel interno do rolamento. Assim, estando este alocado no diâmetro menor do eixo, será impossível o seu deslocamento na direção em que este eixo, apresenta maior diâmetro.

A mudança brusca de diâmetro produzirá um “canto vivo” no ponto de transição, que irá gerar no entorno do eixo uma solicitação superior àquela gerada em pontos no interior do mesmo, o que é representado na Figura 15 (a), por linhas de força mais próximas entre si (maior densidade) na região de mudança de diâmetro (vide item 2.2, figura 3). Constatase que a eliminação deste “canto vivo”, pela adoção de uma transição mais gradual através de uma curva de raio r , tal como na Figura 15 (b), irá reduzir sensivelmente a concentração de tensões, sendo menores para valores maiores de r . Tal raio é denominado raio de concordância entre os dois diâmetros ou cotidianamente de raio de adoçamento.

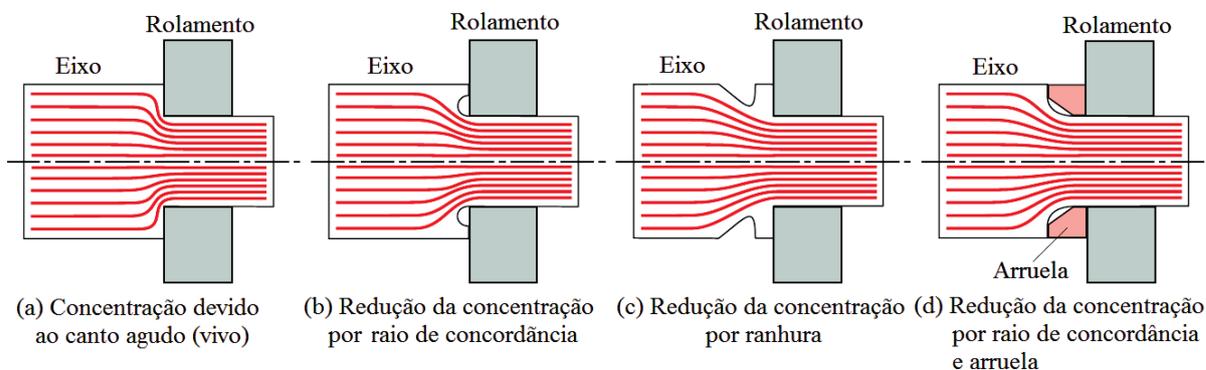
Figura 15 - Alterações de projeto visando a minimização de K_t



Fonte: NORTON (2011) modificada

A solução mais simples representada na Figura 15 (b), com a adoção de raios de concordância relativamente grandes nem sempre é viável para o caso de rolamentos, haja visto que o raio de curvatura da borda do anel interno destes, normalmente é bastante reduzido. Assim, devem ser buscadas soluções alternativas tais como as que estão representadas na Figura 16.

Figura 16 - Exemplos de medidas para redução das concentrações de tensões

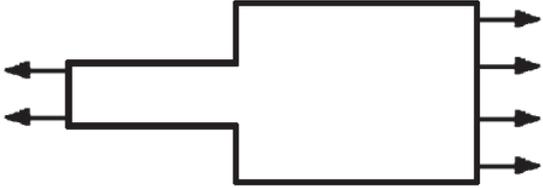
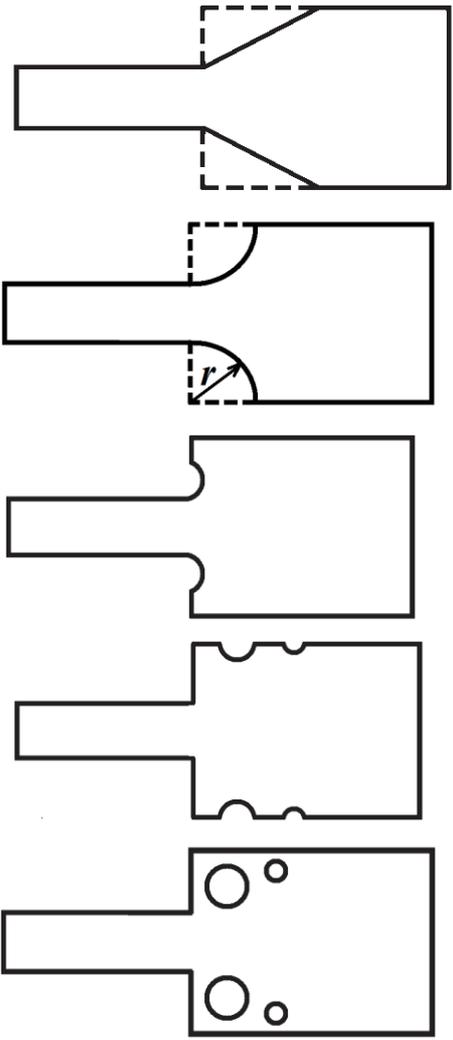


Fonte: NORTON (2011) modificada

Observa-se que as soluções (b) e (c) da figura 16, foram obtidas através da retirada de material e a solução demonstrada em (d) conseguiu-se através do aumento do raio de curvatura e da utilização de uma arruela especial que serve de encosto para o rolamento. Nota-se pela distribuição das linhas de força, que em todos os casos os efeitos da concentração de tensões foram minimizados.

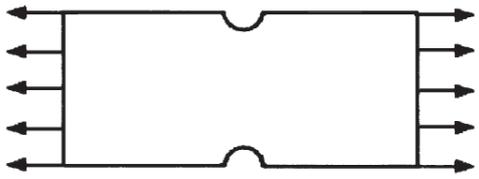
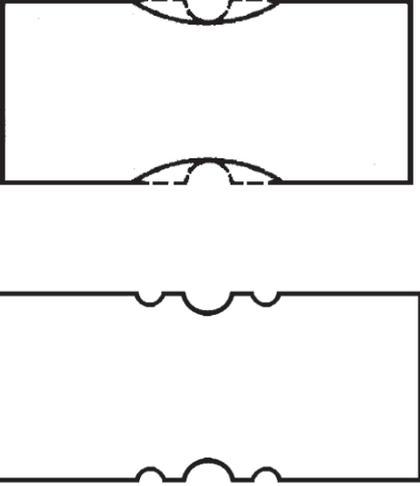
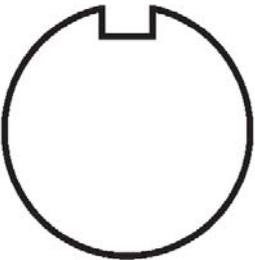
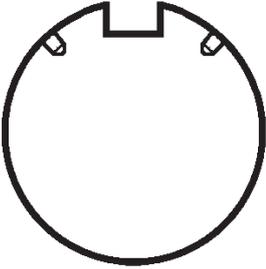
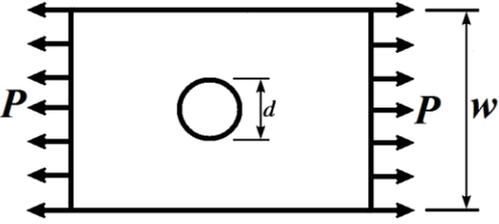
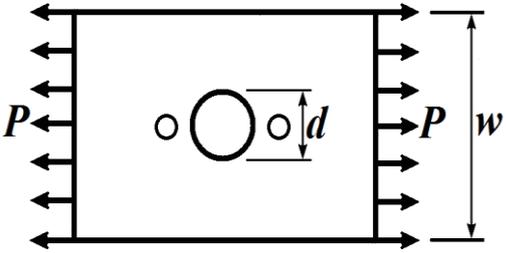
Nos quadros 4 e 5, tem-se outros exemplos de situações onde as geometrias determinadas pelo projeto, ocasionam a geração de tensões concentradas com as respectivas alternativas para atenuação dos seus efeitos sempre se levando em consideração a possibilidade ou não de alteração do projeto inicialmente proposto.

Quadro 4 - Sugestões para minimização dos efeitos dos concentradores de tensões

PROJETO INICIAL	SUGESTÕES PROPOSTAS
	

Fonte: YOUNG (2002) modificado

Quadro 5 - Sugestões para minimização dos efeitos dos concentradores de tensões

PROJETO INICIAL	SUGESTÕES PROPOSTAS
 <p>A rectangular plate with a central notch. Uniform pressure loading P is applied to both the left and right vertical faces, indicated by multiple arrows pointing outwards.</p>	 <p>Two diagrams showing stress concentration reduction. The top diagram shows a smooth fillet transition at the notch. The bottom diagram shows a multi-lobed fillet transition, which is a more advanced stress concentration reduction technique.</p>
 <p>A circular plate with a rectangular notch at the top.</p>	 <p>A circular plate with a rectangular notch at the top. The corners of the notch are chamfered, which helps to reduce stress concentration.</p>
 <p>A rectangular plate with a central hole of diameter d. The plate has a width w. Uniform pressure loading P is applied to both the left and right vertical faces.</p>	 <p>A rectangular plate with a central hole of diameter d. The plate has a width w. Uniform pressure loading P is applied to both the left and right vertical faces. The corners of the hole are chamfered to reduce stress concentration.</p>

Fonte: YOUNG (2002) modificado

2.6 Métodos para determinação de fatores de concentração de tensões

Os fatores de concentração de tensões podem ser obtidos como visto no item 2.2, ou seja, dividindo-se a tensão máxima produzida pelo entalhe, por uma tensão de referência denominada tensão nominal, σ_{nom} ou τ_{nom} , conforme as equações (1) e (2), ou analiticamente, desenvolvendo matematicamente uma equação que forneça o valor do referido fator em função única e exclusiva da forma geométrica de um determinado entalhe. A determinação analítica é aplicável somente para alguns poucos casos devido à complexidade dos cálculos envolvidos dependendo do tipo de entalhe.

Para obter-se os fatores de concentração de tensões através das equações (1) ou (2), é necessário ter além da tensão nominal ou de referência, a tensão máxima produzida pelo entalhe. Esta tensão pode ser obtida através de métodos numéricos tal como o Método de Elementos Finitos, ou a partir de medições experimentais como, fotoelasticidade, termoelasticidade, extensometria, revestimentos frágeis, holografia, franjas de moiré, dentre outros.

Há que se ressaltar, que estes métodos se caracterizam pela medição de deformações onde as tensões são obtidas de forma indireta, a partir das equações fundamentais de resistência dos materiais para o regime elástico, que estabelecem relações matemáticas relativamente simples entre tensões e deformações, tais como a da lei de Hooke Generalizada.

A seguir será apresentado uma descrição sucinta de alguns destes métodos.

2.6.1 Método dos Elementos Finitos

Conforme Stephens (2001), o método numérico mais utilizado para determinação de fatores de concentração de tensões é o método dos elementos finitos.

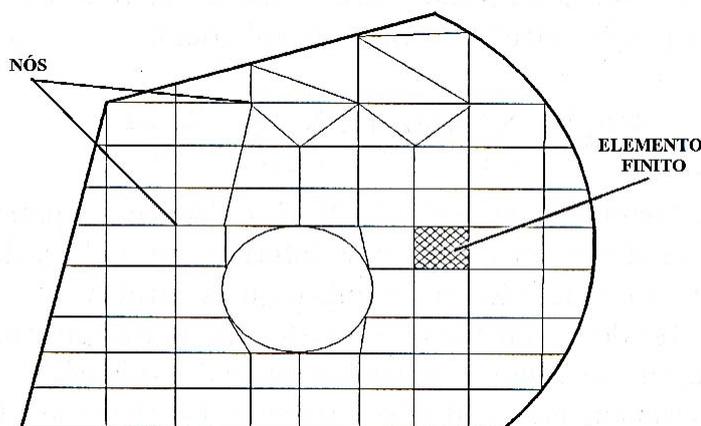
Este método segundo Assan (2003), surgiu como uma alternativa vantajosa para a resolução que digam respeito à teoria da elasticidade em relação aos métodos de Rayleigh-Ritz, Galerkin, diferenças finitas, resíduos ponderados e outros.

O método dos elementos finitos, é baseado no método de Rayleigh-Ritz, sendo a estrutura em dividida (discretizada) em um número finito de partes (elementos finitos), conectados entre si através de pontos discretos (nós), para os quais aplicar-se-ão as equações de equilíbrio tradicionalmente aplicadas na solução de sistemas contínuos (não

discretizados). Segundo Alves Filho (2000), “o método dos elementos finitos é um método aproximado de cálculo de sistemas contínuos”.

A Figura 17 representa uma estrutura discretizada por uma malha que a subdivide em n partes (elementos finitos), sendo cada uma destas partes analisadas como uma pequena estrutura submetida à toda sorte de esforços produzidos pelos elementos limítrofes. As linhas imaginárias que dividem a estrutura irão gerar uma malha (ou rede) de elementos finitos (não infinitesimais), sendo que nas interseções destas linhas têm-se os nós.

Figura 17 - Malha de elementos finitos



Fonte: ASSAN (2003) modificada

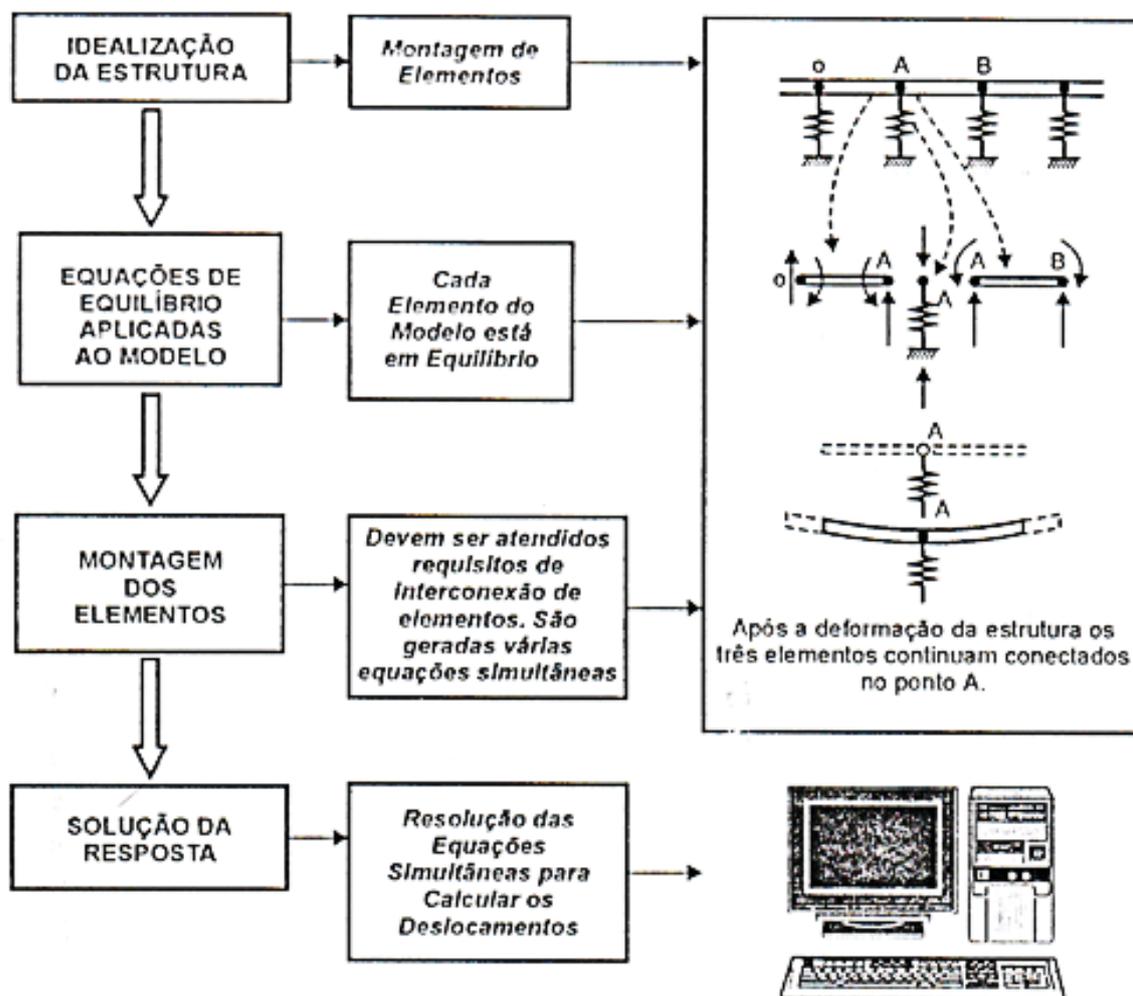
Partindo-se do princípio que a estrutura como um todo está em equilíbrio, então cada um dos n elementos agindo sobre os elementos vizinhos e/ou sob a ação destes, também estará em equilíbrio.

Procedendo-se a análise estrutural para todos os elementos da malha, teremos um número elevado de equações algébricas tanto maior quanto forem o número de elementos gerados pela malha.

Uma malha mais fina (elementos menores), possibilitará resultados mais precisos. Em contrapartida, o número de elemento também aumenta, resultando como consequência maior o número de equações a serem resolvidas.

Alves Filho (2000) salienta que a sequência de passos utilizados na análise de um sistema estrutural discretizado é a mesma já utilizada para análise de sistemas não discretizados, apenas levando-se em conta as particularidades da montagem dos elementos. A Figura 18, demonstra o método geral para análise de sistemas discretos.

Figura 18 - Método geral para análise de sistemas discretos

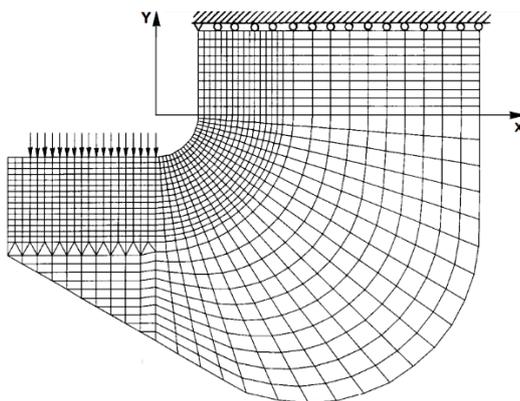


Fonte: Alves Filho (2000)

Conforme Norton (2013), “quando a análise de tensões é feita através de técnicas numéricas, os fatores de concentração de tensões são obtidos automaticamente desde que a malha tenha sido suficientemente fina em torno das regiões de concentração de tensões”.

Tal situação é ilustrada através da Figura 19, onde representa-se uma quarta parte de uma chapa com furo circular centralizado com a malha mais refinada nas proximidades do furo. O estudo de um quarto da chapa sem prejuízo da análise prende-se ao fato de a mesma apresentar simétrica em relação aos eixos *x* e *y*.

Figura 19 - Malha de elementos finitos para o modelo com concentração de tensões



Fonte: KO (1997) modificada

2.6.2 Método por extensometria

Conforme Portela (1996), “a extensometria é um conjunto de técnicas que permitem determinar o estado de deformação em torno de um ponto de um corpo, a partir do conhecimento das extensões em várias direções nesse ponto”.

Ainda segundo Portela, os extensômetros podem ser classificados de acordo com o fenômeno no qual se baseia seu princípio de funcionamento sendo os mais comuns os seguintes:

- Extensômetros mecânicos- utilizam dispositivos mecânicos de alavancas e engrenagens ligados à base fixada à peça a fim de se obter a ampliação dos deslocamentos relativos desta base.
- Extensômetros óticos - a ampliação do deslocamento das da base presa à peça é obtida por meios óticos (espelhos e lentes).
- Extensômetros de resistência elétrica – baseia-se na variação da resistência elétrica que sofre um condutor elétrico quando submetido a uma deformação.
- Extensômetros acústicos ou de corda vibrante - Um fio de aço é tensionado entre dois pontos ligados à base, e forçado a vibrar (corda vibrante) sendo então seu período de vibração auscultado por meio de um eletroímã.
- Extensômetros de semicondutores – baseiam-se na propriedade que apresentam certos materiais não metálicos de variarem sua resistência sob o efeito de deformações.

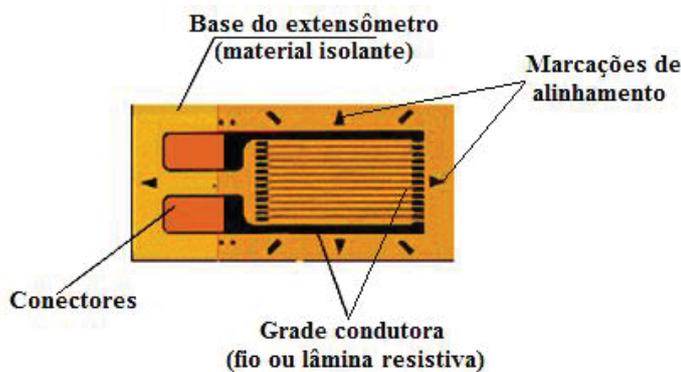
Conforme Dally (1999), cada técnica apresenta suas peculiaridades, e características de desempenho, tais como amplitude da faixa de medição, sensibilidade, desempenho, comprimento útil, e precisão de medições, sendo que nenhuma delas apresenta todas as essas

propriedades com nível ótimo. Entretanto, o extensômetro de resistência elétrica, é o que apresenta as propriedades mais próximas do ideal sendo por este motivo, um dos dispositivos mais utilizados na medição de deformações em todo mundo. São também muito empregados como sensores e transdutores com a finalidade de medição de forças, torques, pressões e acelerações.

2.6.2.1 Extensômetros de resistência elétrica

Um extensômetro elétrico segundo Richards (2013), consiste basicamente de um fio condutor em formato de grade contínua, colada à um suporte de base não condutor, conforme ilustrado na Figura 20.

Figura 20 - Elementos de um extensômetro de resistência elétrica



Fonte: Disponível em: <<https://www.eecis.udel.edu/~portnoi/academic/academic-files/extensometria.html>>. Acesso em: 03 fev. 2016.

Segundo Dally (1999), os medidores de deformações baseados na variação da resistência elétrica de condutores elétricos, foram descobertos em 1856 por Lord Kelvin, que observou um aumento na resistência elétrica dos mesmos, quando eram submetidos à esforços de tração.

Kelvin ainda constatou, que diferentes materiais, possuíam diferentes sensibilidades quanto às variações de suas resistências e que através da utilização de pontes de Wheatstone poderiam se obter com precisão as medidas das mudanças destas resistências.

O norte-americano P. W. Bridgman através de experimentos em 1923 demonstrou algumas aplicações práticas da descoberta de Kelvin na realização de medidas, mas foi a partir de 1930 que estas foram impulsionadas. É atribuído a Roy Carlson em 1931, uma das primeiras aplicações de um fio resistivo para a medição de deformações. Entre os anos de 1937 e de 1939, Edward Simmons no Califórnia Institute of Technology, - Pasadena, CA,

USA, e Arthur Ruge do Massachusetts Institute of Technology - Cambridge, MA, USA, em trabalhos independentes um do outro, pela primeira vez mediram deformações em um corpo de prova, usando fios metálicos colados em sua superfície, e que ao mesmo tempo encontraram a solução para um dos grandes problemas relativos a estes dispositivos que era o seu comprimento através da disposição do fio condutor enrolado em várias voltas assumindo o formato de grade plana ou bobina o que permitia um grande comprimento do condutor acomodado numa pequeno espaço como demonstrado na Figura 21.

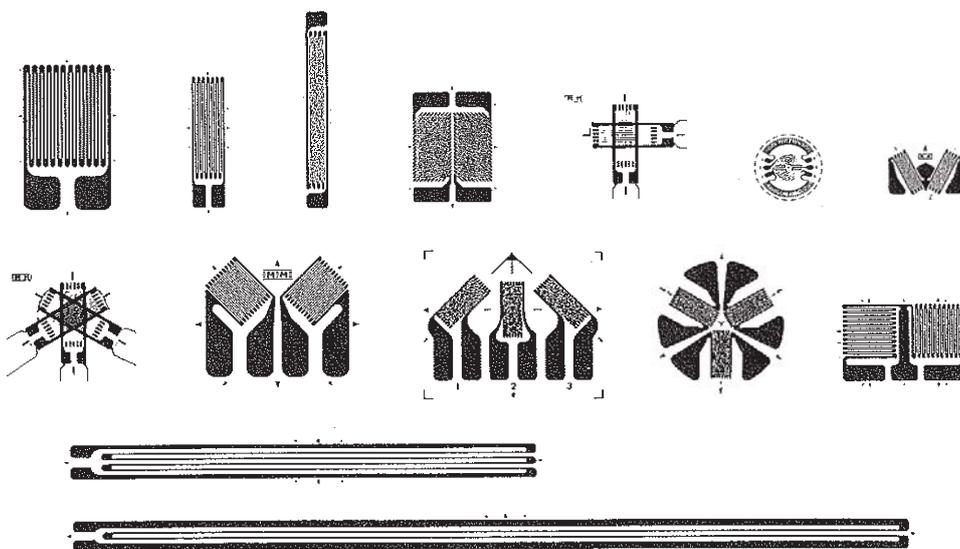
Figura 21 - Extensômetros de filamento. (a) grade plana. (b) com placa de enrolamento (Bobina)



Fonte: Dally (1999) modificada

Ainda segundo Dally, a partir de 1952 Saunders e Roe na Inglaterra, produziram os primeiros extensômetros impressos em finas folhas ou lâminas contendo um labirinto ou grade metálica, colados a um suporte flexível feito geralmente de epóxi. Posteriormente, as técnicas de fabricação de circuitos impressos passaram a ser usadas na confecção dessas lâminas, o que permitiram configurações bastante variadas e intrincadas, como os exemplos mostrados na Figura 22.

Figura 22 - Algumas configurações de medidores de resistência elétrica



Fonte: Dally (1999) modificada

2.6.2.1.1 Princípio de funcionamento

Os extensômetros são dispositivos empregados para medições geralmente nas superfícies das peças partindo-se do pressuposto que este estará afixado com perfeita aderência sobre a mesma, a fim de detectar com fidelidade deformações que por ventura a mesma venha sofrer. Ao se deformar, a superfície provoca igual deformação no extensômetro ocasionando uma variação na sua resistência elétrica, de modo proporcional à deformação produzida.

A variação da resistência de um resistor quando da sua deformação, ocorre devido a dois fatores: um devido a variação das dimensões do condutor tanto no seu comprimento quanto na sua seção transversal, e outro devido a alteração na resistividade condutor devido as mudanças micro estruturais do material do qual é constituído.

O princípio de funcionamento de um extensômetro, baseia-se na propriedade que um condutor elétrico possui em variar sua resistência à passagem de uma corrente elétrica através do mesmo, quando a área A da sua seção transversal e seu comprimento L são alterados, que de uma forma simples pode ser expressa pela equação:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (17)$$

Onde:

R -resistência elétrica do condutor (Ω)

ρ -resistividade do material do condutor ($\Omega.m$)

A -área da seção transversal do condutor (m^2)

L -comprimento do condutor (m)

A resistência de um extensômetro necessita apresentar valores relativamente elevados, normalmente 120Ω a 350Ω o que exige um comprimento de alguns centímetros. Para que se possa medir deformações em regiões de dimensões reduzidas, há a necessidade de acomodar-se este comprimento a pequenas dimensões, o que é conseguido dispondo o condutor em forma de grade (ver figura 21), sobre a base isolante. Segundo Garcia (2002), em laboratório podem ser determinados esforços, tensões e deformações lineares ou angulares com mais facilidade nas superfícies das peças.

A utilização de um extensômetro, consiste em fixá-lo firmemente à superfície na qual queremos medir a variação de comprimento, de modo que o condutor elétrico presente no mesmo sofra igual deformação, o que acarretará uma variação na sua resistência elétrica. Com base em padrões pré-estabelecidos, estas deformações podem ser determinadas com bastante precisão.

Os extensômetros são de grande valia na medição destas grandezas quando limitadas às superfícies das peças.

Garcia (2002), considera ser um dos métodos mais utilizados na investigação do estado de tensões em sólidos, principalmente naqueles que apresentam geometria com relativo grau de complexidade.

2.6.3 Método analítico

Neste caso, os fatores de concentração de tensões serão calculados utilizando-se as equações estabelecidas por dedução com base nos conceitos de RM, ou por métodos matemáticos com base em gráficos obtidos através da realização de ensaios em laboratórios, como o fotoelástico e a extensometria por exemplo. Estas equações podem ser resolvidas através da sua inserção numa calculadora programável ou não, ou num computador.

O presente trabalho, conforme exposto anteriormente, tem por objetivo, o desenvolvimento de um programa computacional, que se valendo destas equações previamente desenvolvidas, permita a resolução destas equações de forma simples e objetiva.

Objetivando obter-se subsídios, a seguir faz-se algumas considerações sobre os computadores bem como sobre suas linguagens de programação. Faz-se também uma análise sucinta sobre a engenharia de *software* e o *software*, bem como suas características e aplicações visando obter-se subsídios para a escolha da linguagem a ser adotada.

2.6.3.1 Computadores, linguagens de programação e *software*

Ascencio (2007), salienta que: “desde o início de sua existência, o homem procurou criar máquinas que o auxiliassem em seu trabalho, diminuindo esforço e economizando tempo”.

Segundo Carvalho (1998), “Descartes acreditava no emprego sistemático do cálculo algébrico como um método poderoso e universal para resolver todos os problemas”

Em busca destas alternativas ao longo do tempo, vários estudiosos se dedicaram a estudar e construir máquinas e/ou dispositivos que facilitassem e mecanizassem os cálculos matemáticos, visando aliviar a árdua tarefa de executá-los mentalmente, bem como agilizá-los, de modo prático e preciso, valendo-se do raciocínio lógico.

Lógica esta, que conforme Agazzi (1986), nasceu verdadeiramente como ciência das ideias e dos processos da mente com Aristóteles, e afirma: “Até hoje não existe forma alguma concebível de lógica, por muito distinta que seja da lógica formal, que não tenha algum tipo de conexão com a obra aristotélica”.

Fonseca Filho (2007), a revolução da Computação começou efetivamente quando um jovem de 24 anos, o logicista inglês chamado Alan Mathison Turing (1912-1954), teve a ideia de um dispositivo teórico para buscar a resposta a um desafio do famoso matemático David Hilbert”.

Em 1936, Turing consagrou-se como um dos maiores matemáticos da época, fazendo antever aos seus colegas que era possível executar operações computacionais sobre a teoria dos números por meio de uma máquina abstrata que tivesse embutida as regras de um sistema formal. Turing definiu uma máquina teórica que se tornou um conceito chave dentro da Teoria da Computação. Tal dispositivo foi denominado Máquina de Turing. Através dela, é que surgiu pela primeira vez uma boa definição do que significaria computar algo.

A máquina teórica de Turing não só estabelece um exemplo de teoria da computação como também uma prova de que certos tipos de máquinas computacionais poderiam ser construídas.

Realmente, uma Máquina de Turing Universal, exceto pela velocidade, a qual depende do *hardware*, pode emular qualquer computador da atualidade, desde computadores pessoais até supercomputadores, desconsiderando-se o tempo dispendido para tal.

Segundo Fonseca Filho (2007), “uma Máquina de Turing Universal é uma Máquina de Turing específica que lê na sua fita de alimentação, além de dados de entrada, um programa P que é uma especificação de uma Máquina de Turing qualquer”.

Ainda conforme Fonseca Filho, “Turing também esteve interessado na programação das operações de um computador – o que então começou a chamar-se de *codificação* – em função das operações matemáticas aí envolvidas e começou a escrever linguagens de programação, avançadas então para o *hardware* da época”

Na década de 1940, os primeiros computadores possuíam somente dois níveis de linguagem de programação: o nível da linguagem de máquina, no qual toda a programação era feita, e o nível da lógica digital, onde os programas eram executados. Em 1951 na

Universidade de Cambridge, Maurice V. Wilkes, com a finalidade de simplificar o *hardware*, lançou a ideia de projetar um computador de três níveis. Tal máquina, denominada Electronic Delay Storage Automatic Calculator (EDSAC), tinha um programa chamado *interpretador*, que ficava armazenado permanentemente, e tinha por função executar programas em linguagem de máquina. O *hardware* assim poderia ser simplificado, pois teria que executar tão somente um pequeno conjunto de micro instruções armazenadas, o que demandava menos circuitos eletrônicos. Foi o início da evolução das linguagens e das arquiteturas das máquinas.

2.6.3.2 Linguagens de programação

Segundo Ascencio (2007), o computador tem por finalidade receber, manipular e armazenar dados valendo-se de duas partes fundamentais e totalmente distintas que são o *hardware*, parte física e o *software*, que são os programas.

Quando desenvolvemos um programa para processar dados, este programa pode ser único, ou composto de vários programas interligados, os quais são confeccionados utilizando-se uma linguagem de programação, que consiste basicamente num conjunto limitado de instruções (vocabulário), associado a um conjunto de regras (sintaxe) a serem executadas em sequência lógica pela máquina, com o objetivo de obter-se uma resposta.

Para facilitar a confecção de um programa, utiliza-se a chamada linguagem de alto nível, constituída de um conjunto de comandos de fácil compreensão por parte do programador. Entretanto, o processador do computador só é capaz de interpretar comandos escritos numa linguagem baseada no sistema binário de numeração, denominada linguagem de baixo nível ou linguagem de máquina. Assim, o programa escrito em linguagem de alto nível pelo programador, deve ser “traduzido” (compilado) para a linguagem de máquina (baixo nível), o que é realizado pelos denominados programas compiladores.

2.6.3.2.1 Linguagem de baixo nível

Conforme Manzano (2015), “as linguagens de baixo nível possibilitam uma comunicação em termos de máquina”. Uma linguagem de baixo nível, ou linguagem de máquina, consiste numa série de instruções dadas em códigos binários (0 e 1) que podem ser de 8 a 64 bits, que é a linguagem executável pelo processador (Figura 23). Porém é uma linguagem difícil de ser utilizada pelo programador pois está intrinsicamente ligada à

arquitetura do processador, de tal forma que Fedeli (2010) afirma: “existem tantas linguagens de baixo nível quantos forem os processadores”.

Figura 23 - Exemplo de programa ou instrução em linguagem binária

1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0
0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0

Fonte: Autor

Com o objetivo de facilitar a programação, passou-se a representar-se os programas em linguagem de máquina, através da notação hexadecimal (Figura 24), onde a sequência de bits é representada por números hexadecimais. Ainda assim, tal linguagem é de difícil compreensão, o que torna a programação uma tarefa muito árdua para o programador.

Figura 24 - Exemplo de programa ou instrução em linguagem hexadecimal

11	1A	FB	AB	7F	43	27	5B	6C	D5	6F	99	FF	10	11	20
39	03	30	39	73	63	F4	3A	B4	74	84	AB	7D	6B	54	35

Fonte: Autor

Visando tornar a tarefa de programar mais intuitiva facilitando assim a programação, foi criada a linguagem simbólica Assembly.

Conforme salienta Manzano (2016), esta linguagem pode ser usada com mais facilidade pelo programador pois os comandos em linguagem de máquina (binários e/ou hexadecimais), são substituídos por palavras abreviadas em formatos mnemônicos (siglas com significado definido em suas ações), indicando a operação que tal comando realizará diretamente sobre os registros do processador. Assim por exemplo, segundo Fedeli (2010), o comando JMP, é uma instrução para pular para um determinado endereço e está associada a palavra “JUMP” (pular). Outro exemplo: JNZ, mnemônico de “*Jump Not Zero*”, cujo comando é: pule para determinado endereço se o acumulador não for zero.

Embora esta linguagem tenha tornado bem mais fácil a programação, seja uma linguagem de fácil leitura por parte do processador, e proporcione um maior controle sobre os recursos do mesmo, ela requer um grande número de instruções mesmo para tarefas bastante simples, bem como demanda por parte do programador, bons conhecimentos de

detalhes do *hardware*, ou seja, da arquitetura interna do processador, dos endereços e modos de operação de dispositivos, etc.

2.6.3.2 Linguagens de alto nível

Conforme Manzano (2016), “as linguagens de alto nível possibilitam maior facilidade de comunicação com o computador pelo fato de serem próximas à comunicação humana, pois se baseiam em palavras do idioma inglês”. Assim, por exemplo, comandos tais como: READ, WRITE, PLOT, etc. estão especificando à máquina, exatamente as ações comuns ao nosso cotidiano facilitando sobremaneira a tarefa do programador. Surgiram entre o final dos anos 50 e o início da década de 60. Como exemplos pode-se citar: o Cobol, o Fortran, o Algol e o Basic.

As linguagens de alto nível, ao contrário do Assembler, são linguagens bem distanciadas da linguagem de máquina, e sua “conversão” para esta, a fim de que o processador consiga interpretar seus comandos, é um procedimento bem mais complexo e que é efetuado por programas denominados “compiladores”.

2.6.3.3 Linguagens interpretadas

Um programa desenvolvido em linguagem de alto nível necessita ser compilado, ou seja, transformado para linguagem de baixo nível (linguagem de máquina) para que o processador consiga interpretar os comandos. A compilação é feita por um outro tipo de programa denominado programa compilador.

Uma outra maneira de executar um programa escrito em linguagem de alto nível, é através da sua interpretação por outro programa denominado interpretador. Tal linguagem é chamada linguagem interpretada.

2.6.3.3 Software

Segundo Sommerville (2007), o *software* consiste no programa computacional “acompanhado de todos os dados de documentação e configuração associados, necessários para que o programa opere corretamente”.

Conforme Pressman (2011), um *software* consiste em:

(1) instruções (programas de computador) que, quando executadas, fornecem características, funções e desempenho desejados; (2) estruturas de dados que possibilitam aos programas manipular informações adequadamente; e (3) informação descritiva, tanto na forma impressa como na virtual, descrevendo a operação e o uso dos programas.

2.6.3.3.1 Campos de aplicação do *software*

Pressman (2011), classifica os campos de aplicação do *software* em sete grandes categorias:

Software de sistema - são programas desenvolvidos com a finalidade de darem suporte a outros programas tais como:

- Compiladores, editores e utilitários para gerenciamento de arquivos, que processam estruturas complexas de informação, mas determinadas.
- Componentes do sistema operacional, drivers, processadores de telecomunicações, *softwares* de rede, e caracterizam-se por processarem dados amplamente indeterminados.

Em ambos os casos, caracterizam-se por forte interação com o *hardware*; utilização por múltiplos usuários; operações concorrentes obedecendo escala de ordem, compartilhamento de recursos e gestão de processo sofisticada; complexas estruturas de dados e múltiplas interfaces externas.

Software de aplicação - quando desenvolvidos sob medida para atender uma necessidade específica. Processam dados comerciais ou técnicos facilitando tomadas de decisões técnicas/administrativas bem como operações comerciais. Também são utilizados para controlar funções em tempo real, como transações ponto-a-ponto e controle de processos de fabricação.

Software científico/de engenharia – normalmente são caracterizados por algoritmos “*number crunching*” para processamento numérico pesado, aplicando-se em todas as áreas do conhecimento. No entanto, ultimamente vêm se afastando dos algoritmos numéricos convencionais, pois aplicações do tipo: projeto auxiliado por computador, simulação de sistemas e outras aplicações de cunho interativo estão passando a se caracterizar como sistemas em tempo real e até mesmo como *software* de sistemas.

Software embutido – embarcado num produto ou sistema têm como finalidade a implementação e o controle de características e funções para o próprio sistema e para o usuário final. Servem para executar funções limitadas e específicas como por exemplo o controle do painel de um micro-ondas ou fornecer função significativa e capacidade de

controle de funções digitais de automóveis, como o nível de combustível, painéis e sistemas de freios.

Software para linha de produtos – tem capacidade específica de utilização por muitos clientes diferentes. Pode ter o foco num mercado bem específico tal como o controle de estoque ou direcionado para o consumo em massa como os processadores de texto, computação gráfica, multimídia, gerenciamento de bancos de dados e aplicações tanto pessoais quanto comerciais.

Software aplicado à web – denominado “*WebApp*” e direcionado a redes, congrega uma enorme e diversificada gama de aplicações. Podem ser simples conjuntos de arquivos de hipertexto interconectados, que apresentem informações por meio de textos e/ou gráficos limitados. Porém, com o surgimento da web 2.0, evoluíram e assumiram a forma de sofisticados ambientes computacionais com recursos especializados, funções computacionais e conteúdo para usuário final. Também podem estar integrados à bancos de dados corporativos e a aplicações comerciais.

Software de inteligência artificial – vale-se de algoritmos não numéricos visando a solução de problemas complexos passíveis de computação ou de análise direta. São direcionados à robótica, sistemas especializados, reconhecimento de padrões de voz e de imagem, redes neurais artificiais, provas de teoremas e jogos.

Computação mundial aberta – com a rápida expansão das redes sem fio, estamos caminhando em direção a uma verdadeira computação distribuída, ampliada, compartilhada e incorporada tanto nos ambientes domésticos quanto comerciais. Tais “*softwares*” têm como objetivo permitir, através de extensas redes, a interação entre dispositivos móveis, computadores pessoais e sistemas corporativos.

Netsourcing ou recursos via internet – atualmente a internet está rapidamente se transformando tanto num mecanismo computacional quanto num provedor de conteúdo, desafiando o engenheiro de *software* a desenvolver aplicativos simples, ou seja, que se enquadrem dentro do planejamento financeiro pessoal, e ao mesmo tempo sofisticados que tragam benefícios aos usuários finais visados no mercado mundial.

Software aberto – consiste na distribuição do código fonte para aplicações tais como sistemas operacionais, bancos de dados e ambientes de desenvolvimento de modo que muitas pessoas possam participar e contribuir no seu desenvolvimento. Neste caso, o engenheiro de *software* é desafiado a construir um código-fonte auto descritivo e principalmente

desenvolver técnicas que permitam tanto aos clientes quanto aos desenvolvedores saberem que alterações já foram implementadas e como se manifestaram no *software*.

2.6.3.3.2 Atributos de um bom *software*

Conforme Sommerville (2007), os atributos de um bom *software* são:

- Facilidade de manutenção – é de fundamental importância que seja escrito de maneira que permita alterações conforme a necessidade do usuário.
- Confiança – engloba várias características tais como confiabilidade, proteção e segurança pois em caso de falha do sistema, não pode causar danos físicos ou econômicos.
- Eficiência – um *software* eficiente não deve sobrecarregar o sistema não utilizando recursos tais como memória e/ou processamento além do estritamente necessário para seu bom funcionamento.
- Usabilidade – deve ter uma interface amigável, ou seja, que facilite aos usuários para os quais ele foi projetado, acesso às suas funções de maneira prática e preferencialmente intuitiva, bem como documentação de adequada.

Quando um *software* é bem-sucedido — atende as necessidades dos usuários, opera perfeitamente durante um longo período, é fácil de modificar e, mais fácil ainda, de utilizar —, ele é realmente capaz de mudar as coisas para melhor. Porém, quando um *software* falha — quando seus usuários estão insatisfeitos, quando é propenso a erros, quando é difícil modificá-lo e mais difícil ainda utilizá-lo —, fatos desagradáveis podem e, de fato, acontecem. Todos queremos construir *softwares* que facilitem o trabalho, evitando pontos negativos latentes nas tentativas malsucedidas. Para termos êxito, precisamos de disciplina no projeto e na construção do *software*. Precisamos de uma abordagem de engenharia. (PRESSMAN, 2011, p. VII)

2.6.3.3.3 Desenvolvimento de um *software*

Segundo Ascencio (2007), são as seguintes as etapas para o desenvolvimento de um programa:

- Análise - Nesta etapa deve-se estudar o enunciado do problema para ter-se condições de definição dos dados de entrada, do processamento e os dados de saída.
- Algoritmo – Pode ter a forma de uma descrição narrativa, de um fluxograma ou uma linguagem tal como o português, escrita de forma estruturada, com a finalidade de descrever o problema e suas soluções.

- Codificação – Nesta etapa algoritmo é transformado em códigos segundo a linguagem de programação escolhida pelo programador.

Conforme PRESSMAN (2011) um software consiste em: “ (1) instruções (programas de computador) que quando executadas, fornecem características, funções e desempenho desejados; (2) estruturas de dados que possibilitam aos programas manipular informações adequadamente; e (3) informação descritiva, tanto na forma impressa como na virtual, descrevendo a operação e o uso dos programas”.

2.6.3.3.4 Processo de *software*

Segundo Sommerville (2007), o processo de *software* consiste na associação de um conjunto de atividades a fim de resultar um produto de *software*. As fundamentais e que são comuns a todos os processos de *software* se resumem a quatro que são:

- Especificação de *software* – são as definições das finalidades, atribuições e restrições que o *software* deve apresentar, as quais são definidas em conjunto entre usuários/clientes e os engenheiros de *software*.

- Desenvolvimento de *software* – atividade de projeto e programação.

- Validação de *software* – o *software* é testado para garantir o correto funcionamento e verificar se atende as demandas do usuário/cliente.

- Evolução de *software* – o *software* eventualmente é modificado para se adaptar às novas necessidades do usuário/cliente.

2.6.3.3.5 Engenharia de “*software*”

Conforme exposto por Sommerville (2007), no decorrer do tempo, devido à importância que o *software* adquiriu, seu desenvolvimento passou a merecer uma abordagem mais disciplinada e organizada e assim, a necessidade de “uma pesquisa séria, estudo consciente e caloroso debate”, conforme exposto em Pressman (1995). Devido à complexidade de alguns *softwares*, e com o surgimento da “indústria do *software*”, a figura do “programador” isolado foi sendo substituída por equipes de profissionais que demandavam organização e controle, bem como a utilização de ‘métodos, procedimentos e ferramentas’. Surgiu assim a “engenharia do *software* e com ela a necessidade de alguém que gerenciasses estas equipes

visando a aplicação de metodologias adequadas e a racionalização dos custos, bem como o cumprimento de metas e resultados, no caso, o engenheiro de *software*.

Rezende (apud MAFFEO, 2005), define engenharia de *software* como sendo: “a área interdisciplinar que engloba vertentes tecnológica e gerencial visando a abordar de modo sistemático (modular), os processos de construção, implantação e manutenção de produtos de *software* com qualidade assegurada por construção segundo cronogramas e custos previamente definidos”.

Já Sommerville (2007), define: “a engenharia de *software* é uma disciplina de engenharia relacionada com todos os aspectos da produção de software, desde os estágios iniciais de especificação do sistema até sua manutenção, depois que este entrar em operação”.

Para Pressman (2011) engenharia de *software* é “o estabelecimento e o emprego de sólidos princípios de engenharia de modo a obter *software* de maneira econômica, que seja confiável e funcione de forma eficiente em máquinas reais”.

Segundo Rezende (2005), a engenharia de *software* abrange um conjunto de três elementos fundamentais: métodos, ferramentas e procedimentos que possibilita ao gerente de *software* (engenheiro de *software*) controlar todo processo de desenvolvimento bem como garantir como resultado um *software* de alta qualidade.

A coordenação ou gerenciamento da equipe encarregada do desenvolvimento de um *software* bem como de todas as peculiaridades inerentes ao processo fica a cargo do engenheiro de *software*. Assim, o engenheiro de *software*, pode ser definido:

Segundo Rezende (2005), “todo profissional da área de informática ou da ciência da computação que desenvolve soluções profissionais utilizando-se dos recursos de *software*, observando os padrões requeridos de qualidade, produtividade e efetividade.

2.6.3.4 Algoritmos

Conforme Ascencio (apud FORBELLONE, 1999), “algoritmo é uma sequência de passos que visa atingir um objetivo bem definido”.

2.6.3.4.1 Tipos de algoritmos

Segundo Ascencio (2007), os mais usados são: descrição narrativa, fluxograma e pseudocódigo.

• **Descrição narrativa** - quando após a análise do enunciado do problema, escreve-se os passos a serem seguidos em uma linguagem corrente, tal como a portuguesa, para a resolução do mesmo.

Vantagem: não há necessidade de conhecimento de aprendizado de uma linguagem em particular.

Desvantagem: a transcrição do algoritmo poderá ser mais difícil, pois poderá ser interpretada de forma diferente dependendo do programador.

Exemplo: Consideremos uma simples tarefa, como a adição de dois números, para exemplificar este tipo de algoritmo.

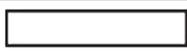
1º. passo – receber os dois números.

2º. Passo – somar os dois números.

3º. Passo – mostrar o valor resultante da soma.

• **Fluxograma** – quando após a análise do problema, determina-se a sequência de passos para a solução do mesmo, utilizando-se símbolos gráficos, conforme convenção representada na Figura 25.

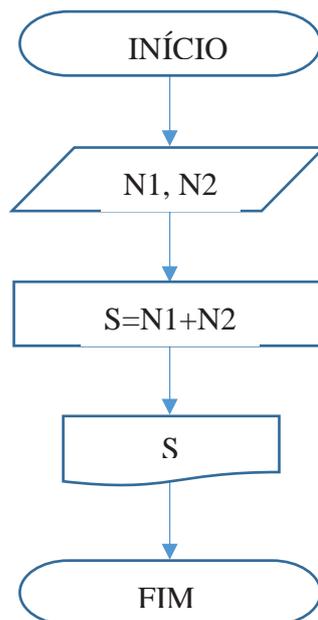
Figura 25 - Simbologia usada na construção de algoritmos tipo fluxograma

	Símbolo utilizado para indicar o início e o fim do algoritmo.
	Permite indicar o sentido do fluxo de dados. Serve exclusivamente para conectar os símbolos ou blocos existentes.
	Símbolo utilizado para indicar cálculos e atribuições de valores.
	Símbolo utilizado para representar a entrada de dados.
	Símbolo utilizado para representar a saída de dados.
	Símbolo utilizado para indicar que deve ser tomada uma decisão, apontando a possibilidade de desvios.

Fonte: Ascêncio (2007)

Exemplo: considerando o exemplo anterior, onde a tarefa consiste na soma de dois números, tem-se (Figura 26):

Figura 26 - Exemplo de algoritmo tipo fluxograma



Fonte: Autor

• **Pseudo código** – quando após a análise do enunciado do problema, os passos para a resolução do mesmo, consiste em adotar-se regras pré-estabelecidas.

Vantagem: conhecidas as palavras reservadas da linguagem a escrita do programa em qualquer linguagem de programação é quase imediata.

Desvantagem: para a elaboração deste tipo de algoritmo, é necessário o conhecimento prévio das regras do pseudocódigo.

Exemplo: ainda tomando como exemplo a soma de dois números:

ALGORITMO

DECLARE N1, N2, M NUMÉRICO

ESCREVA “Digite dois números”

LEIA N1, N2

$M \leftarrow N1 * N2$

ESCREVA “Multiplicação = “, M

FIM_ALGORITMO.

2.6.3.4.2 Método para construção de algoritmos

Conforme Ascencio (2007), seguintes passos devem ser seguidos para a construção de um algoritmo:

1º. passo – Entendimento perfeito do problema em questão, colocando-se em destaque os pontos mais importantes e os objetos que compõem o mesmo.

2º. passo - Definição dos dados de entrada, determinando-se quais serão fornecidos e que objetos farão parte deste cenário-problema.

3º. passo – Definição de quais cálculos executados (processados), as restrições a serem adotadas, bem como a verificação de quais os objetos que atuarão nestas atividades. É através do processamento que os dados de entrada serão transformados nos dados de saída.

4º. passo – Definição de quais serão os dados de saída após o processamento.

5º. passo – Construção do algoritmo.

6º. passo – Realização de simulações com o objetivo de testar o algoritmo.

2.6.3.5 Linguagens de programação utilizadas no desenvolvimento de *softwares*

O desenvolvimento da primeira linguagem de programação, é atribuída a Ada Lovelace entre 1842 e 1843, que escreveu um algoritmo para a Máquina Analítica (início de computador mecânico). Em 1940, com o surgimento dos computadores elétricos, foram escritos os primeiros programas em linguagem de máquina, dentre as quais a Plankalkül, criada em 1943 por Konrad Zuse na Alemanha Nazista, que praticamente não causou influência nas linguagens futuras. A ENIAC coding system também em 1943, e a C-10 em 1949 (WIKPÉDIA, 2016).

No decorrer dos anos seguintes, muitas outras linguagens foram sendo desenvolvidas, dentre as quais se pode relacionar

Fortran, Scratch, ABAP, Dart, SAS, Groovy, Transact-SQL, Lisp, Ada, Scala, Lua, Logo, Prolog, Scheme, RPG (OS/400), LabVIEW, OpenEdge ABL, Erlang, Haskell, Alice, Apex, Bash, F#, Q, Ladder Logic, Rust, Awk, Go, (Visual) FoxPro, VBScript, ABC, ActionScript, APL, AutoLISP, BBC BASIC, bc, Bourne shell, C shell, cg, CL (OS/400), Clojure, Common Lisp, cT, Elixir, Emacs Lisp, EXEC, Factor, Forth, Hack, Icon, IDL, Inform, Io, Ioke, J, Julia, Korn shell, Maple, Mathematica, Mercury, ML, MQL4, MS-DOS batch, NATURAL, NXT-G, OCaml, OpenCL, Oz, Pascal, PL/I, PowerShell, REXX, Simulink, Smalltalk, SPARK, SPSS, Stata, Tcl, Verilog, VHDL, Java, C, C++, Python, C#, PHP, JavaScript, Perl, Visual Basic .NET, Ruby, Visual Basic, Assembly language, Delphi/Object Pascal, Swift, Objective-C, R, MATLAB, PL/SQL, D e COBOL (TIOBE Index, 2016)

Muitas destas linguagens caíram em desuso no decorrer do tempo, sendo paulatinamente substituídas por linguagens mais atualizadas e que foram se adaptando à evolução dos computadores na medida em que estes foram se modernizando e aumentando suas capacidades de processamento e armazenamento dos dados.

Dentre as que se encontram em uso na atualidade, mostra-se na tabela 7 a classificação das 12 principais linguagens de programação ao longo do tempo, a partir de 1986, segundo o índice “TIOBE Index” da “The Software Quality Company”.

Estas posições representam as médias ao longo dos 12 meses dos respectivos anos.

Tabela 1 - Classificação das 12 principais linguagens de programação

Linguagem de programação	1986	1991	1996	2001	2006	2011	2016
Java	-	-	24	3	1	1	1
C	1	1	1	1	2	2	2
C++	7	2	2	2	3	3	3
C#	-	-	-	12	6	5	4
Python	-	-	19	25	7	6	5
PHP	-	-	-	10	4	4	6
JavaScript	-	-	27	9	8	9	7
Visual Basic .NET	-	-	-	-	-	180	8
Perl	-	-	3	4	5	8	9
Ruby	-	-	-	31	23	10	10
Lisp	3	5	6	16	13	12	27
Ada	2	3	7	20	15	17	28

Fonte: Tiobe -The Software Quality Company. Alterada. Disponível em:

<http://www.tiobe.com/tiobe_index?page=index>. Acesso em: 29 jul. 2016.

O índice TIOBE Programming Community é um indicador da popularidade de linguagens de programação sendo atualizado uma vez mensalmente. A classificação é feita com base no número de engenheiros qualificados a nível mundial, cursos e fornecedores de terceiros. Para calcular as classificações as informações utilizadas são obtidas através de motores de busca populares, como Google, Bing, Yahoo!, Wikipédia, Amazona, YouTube e Baidu. O índice TIOBE não tem como objetivo especificar a melhor linguagem de programação, mas sim oferecer subsídios aos programadores para que possam verificar se suas habilidades de programação ainda estão atualizadas ou para que possam tomar uma

decisão estratégica sobre a linguagem de programação ser utilizada na construção um novo sistema de *software*.

A Tabela 8 mostra a classificação das 20 principais linguagens de programação mais utilizadas na atualidade, com as seguintes informações distribuídas nas colunas da seguinte forma: as três primeiras, mostram na sequência, a classificação em 2016 e 2015 e situação relativa entre os dois anos; as duas últimas, a classificação segundo o percentual de utilização e a variação do mesmo referente aos dois anos considerados.

Tabela 1 - Situação das 20 principais linguagens de programação (jun./2016)

Jun 2016	jun 2015	Situação	Linguagem	Classificação	Variação
1	1		Java	20.794%	+2.97%
2	2		C	12.376%	-4.41%
3	3		C++	6.199%	-1.56%
4	6	▲	Python	3.900%	-0.10%
5	4	▼	C#	3.786%	-1.27%
6	8	▲	PHP	3.227%	+0.36%
7	9	▲	JavaScript	2.583%	+0.29%
8	12	▲▲	Perl	2.395%	+0.64%
9	7	▼	Visual Basic .NET	2.353%	-0.82%
10	16	▲▲	Ruby	2.336%	+0.98%
11	11		Visual Basic	2.254%	+0.41%
12	23	▲▲	Assembly language	2.119%	+1.36%
13	10	▼	Delphi/Object Pascal	1.939%	+0.07%
14	14		Swift	1.831%	+0.39%
15	5	▼▼	Objective-C	1.704%	-2.64%
16	13	▼	R	1.540%	+0.02%
17	15	▼	MATLAB	1.447%	+0.01%
18	17	▼	PL/SQL	1.346%	+0.12%
19	26	▲▲	D	1.063%	+0.45%
20	18	▼	COBOL	1.048%	+0.10%

Fonte: TIOBE Programming Community. Disponível em: <http://www.tiobe.com/tiobe_index?page=index>.

Acesso em: 29 jul. 2016.

Este capítulo apresentou o referencial teórico, o equacionamento principal para determinação de fatores de concentração de tensões, bem como um estudo dos principais métodos para determinação, além do analítico. O capítulo seguinte apresentará o procedimento utilizado para cálculo analítico, idealizado através de um programa computacional, além das análises numéricas e medições experimentais realizadas, afim de fomentar a discussão e correlacionar com cálculos analíticos determinados através do programa desenvolvido.

3 PROCEDIMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Este capítulo apresenta os procedimentos utilizados para a determinação do fator de concentração de tensão para diferentes configurações de entalhes clássicos da literatura.

O objetivo principal é demonstrar através de um programa computacional o cálculo de concentradores de tensão (K_t) e comparar o procedimento analítico realizado pelo programa com análises numéricas pelo método dos elementos finitos (MEF) e medições experimentais em corpos de prova. A sequência apresentada neste capítulo é mostrada a seguir, sendo:

- 1) Determinação de um procedimento de cálculo e criação de uma interface através de um programa computacional.
- 2) Realização de análises numéricas de 3 modelos clássicos da literatura, para posterior validação dos cálculos efetuados pelo programa computacional.
- 3) Realização de medições experimentais através de ensaios de tração em corpos de prova com entalhe circular e com furo, para também validar os cálculos realizados pelo programa, comparando com os resultados dos modelos numéricos.

Posteriormente, no capítulo 4, os dados numéricos e experimentais serão discutidos e analisados, a fim de correlacionar os valores calculados de K_t com o procedimento analítico empregado no programa computacional.

3.1 Programa computacional

Neste item inicialmente buscou-se uma definição exata do tipo de programa que se queria, ao que se denominou, definição do programa. Num segundo momento, sob o título: “O *softwar*” na atualidade”, fez-se uma análise sobre as modalidades de *softwares* mais utilizados na atualidade, onde visou-se a escolha da forma mais adequada do tipo de programa que seria desenvolvido para que se enquadrasse na tendência do momento, tanto no que diz respeito à sua popularidade e contemporaneidade, quanto à sua adequação aos propósitos estabelecidos como objetivos do trabalho.

Definido o tipo de programa a ser desenvolvido, analisou-se qual a estrutura necessária para o seu funcionamento bem como a definição das linguagens de programação mais adequadas, levando-se em consideração também suas popularidades, usabilidades, iteratividades com outras linguagens, bem como suas disponibilizações sob formas gratuitas, haja visto que o programa desenvolvido, é de caráter tão somente didático e não econômico.

Cumpridas as etapas anteriormente descritas, deu-se início à programação e à estruturação na prática do código fonte do programa, utilizando-se as linguagens escolhidas conforme será detalhado oportunamente, e sua disponibilização em um servidor remoto.

Finalizando o item 3.1, apresenta-se de forma bastante detalhada como acessar e inicializar o programa, bem como utilizar a interface gráfica para acessar a todas as funcionalidades do programa.

3.1.1 Definição do programa

Para a definição do programa, parte-se do princípio, que o mesmo deverá apresentar os seguintes atributos e/ou exigências:

- Ter a capacidade de retornar através de uma interface gráfica amigável, valores de fatores de concentração de tensões para descontinuidades em elementos mecânicos, mediante a inserção pelo usuário, das características geométricas das referidas descontinuidades e/ou elementos, bem como o tipo de solicitação aplicada, para elementos inicialmente catalogados em um banco de dados.
- Permitir edição, exclusão ou a inserção de novas descontinuidades, elementos (peças), esforços aplicados e respectivas equações no banco de dados através da interface.
- Disponibilizar, alternativas para minimização dos efeitos dos concentradores de tensões, quando possível.
- Disponibilizar um tutorial sob a forma de ajuda para facilitar ao usuário a utilização do programa.
- O programa deverá estar adaptado às tendências no que diz respeito à área da informação, já que esta é muito dinâmica e em plena expansão e mutação.
- Tendo em vista seu uso meramente didático/instrutivo, deverá ser produzido com a utilização de linguagens e/ou tecnologias disponibilizadas para uso, isento de custos, ou seja, na modalidade *open source*.

3.1.2 O *software* na atualidade

Inicialmente, quando da Web 1.0, os dados eram disponibilizados em sites que eram acessados pelos usuários e simplesmente vistos ou então “baixados” os conteúdos de interesse em seu computador, para posterior utilização. Os *softwares*, igualmente passavam

pelo processo de *download*, ou eram adquiridos os chamados *softwares* de “prateleira”, que vinham previamente armazenados em mídias, a fim de serem instalados num computador pessoal, para serem utilizados individualmente por seus adquirentes (Disponível em: <<http://whatis.techtarget.com/definition/Web-20-or-Web-2>> Acesso em: 01/11/2016).

A Web 2.0, com a qual convivemos atualmente, caracteriza-se pela maior interatividade entre usuários da rede, por esta apresentar uma conectividade mais abrangente, e canais de comunicação mais avançados e mais ágeis. Isso se reflete diretamente numa maior colaboração entre os utilizadores de internet ou clientes, e os provedores de conteúdo.

Em decorrência dessa agilidade, tornou-se prática comum a utilização de programas tipo *Application Web* que são programas centralizados, hospedados num servidor, que podem ser acessados e utilizados de qualquer máquina conectada através da Internet ou de uma Intranet. Desta alternativa, decorrem uma série de vantagens, tais como: eliminação de tempo dispendido para *downloads* e instalação de programas, facilidade de alterações, correções e atualizações de programas, etc. Uma outra grande vantagem é a de que não havendo a necessidade da instalação dos programas no “computador-cliente”, este não precisa necessariamente ser uma máquina muito robusta, tanto na sua velocidade de processamento quanto na capacidade de armazenamento de dados, haja visto que a parcela mais pesada destas duas tarefas será realizada do lado do servidor.

Uma outra modalidade bastante recorrente, são programas que rodam diretamente nos navegadores (“*browser*”), que além de não terem a necessidade de instalação na máquina-cliente, apresentam uma resposta muito rápida, pois independem da velocidade da conexão, tal como o JavaScript que é uma das linguagens mais utilizadas na atualidade para esta finalidade.

3.1.3 Estrutura do programa e definição das linguagens de programação

Em decorrência do exposto anteriormente, optou-se pela elaboração de um programa na modalidade “Aplicativo Web”, que ficará assim, hospedado em um servidor remoto, e que rodará diretamente no navegador utilizado pela máquina no lado cliente (“*client side*”).

Em uma modalidade tipo aplicativo web, temos três elementos bem caracterizados:

- O computador do usuário ou lado cliente (“*cliente side*”) – responsável por solicitar e/ou prover de dados o sistema e também arcar com parte do processamento de dados.

- O servidor ou lado servidor (*server side*) – responsável pelo recebimento e interpretação das solicitações vindas do lado cliente, bem como pela troca de informações com o banco de dados armazenados no banco de dados do sistema.

É salutar salientar-se a distinção entre “servidor físico” (*hardware*), que “aloja” todos os componentes eletro/eletrônicos do sistema, e o “servidor programa”, que é o (*software*) que é o responsável por alimentar ou “servir” os dados à rede!

- A internet ou uma intranet – “via” de comunicação entre o lado cliente, e o lado servidor: a internet ou uma intranet.

Para a escolha das linguagens de programações utilizadas, deve-se levar também em consideração que o programa será disponibilizado gratuitamente, o que nos limita a escolha de linguagens que estejam disponibilizadas para uso livre, ou seja na modalidade *open source*.

Um programa que funcione como um aplicativo-web, obviamente deverá estar estruturado para atender cada um dos três segmentos elencados anteriormente, quais sejam, lado cliente, lado servidor e a via de comunicação entre eles, conforme suas demandas e respectivas peculiaridades, para o que se lançou mão das seguintes tecnologias e/ou linguagens de programação.

- HTML (“HyperText Markup Language”) – é a linguagem que descreve a estrutura e o conteúdo semântico de um documento da Web tais como título, imagens, etc. (Disponível em: <<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTML>>. Acesso em: 22 de dez. 2016).

- CSS (“Cascading Style Sheets”) – linguagem de folhas de estilo que é usada para definir a apresentação de documentos escritos em uma linguagem de marcação tais como HTML ou XML. Sua principal vantagem é a distinção entre o formato e o conteúdo de um documento. (Disponível em:

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Cascading_Style_Sheets> Acesso em: 23 dez. 2016).

- JavaScript – linguagem de programação interpretada inicialmente incorporadas aos navegadores (“*browsers*”) para proporcionar a execução de “*scripts*” no lado cliente interagindo com o usuário e permitindo a alteração do conteúdo da página exibida sem a necessidade de iteração com o servidor (Disponível em:

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Cascading_Style_Sheets> Acesso em: 22 de dez. 2016).

- Linguagens de Scripts – São linguagens de programação utilizadas para manipular, personalizar e automatizar funcionalidades de sistemas já existentes (SILVA, 2010).

- HTTP (“HyperText Transfer Protocol”) – protocolo WEB para transmissão de dados entre cliente e servidor via rede. Define a maneira como as páginas serão transmitidas pela internet (DAVIS, 2008).

- PHP (“PHP: Hypertext Preprocessor” originalmente “Personal Home Page”) – linguagem de programação de scripts que atua entre a página requisitada pelo cliente e o servidor auxiliando este na interpretação e na geração de páginas HTML que é retornada ao lado usuário (MACEDO, 2004).

- Apache – programa servidor, armazenado no servidor físico, interpretador do código PHP, responsável pelo recebimento das solicitações dos navegadores (“browsers”), e pelo atendimento das mesmas, transformando-as em páginas da web para que retornem ao cliente via rede (DAVIS, 2008).

- MySQL – sistema responsável pelo gerenciamento de banco de dados relacional através da utilização do SQL como linguagem de consulta padrão. (MACEDO, 2004). Será responsável pelo armazenamento de todos os dados fornecidos pelo usuário bem como os gerados pela utilização do programa.

- SQL (“Structured Query Language”) – considerada a linguagem mais popular para criar, recuperar, atualizar e deletar dados de sistemas de gerenciamento de bancos relacionais (DAVIS, 2008).

Estas tecnologias e/ou linguagens de programação foram utilizadas conforme descreve-se a seguir:

No lado cliente, construiu-se uma interface gráfica estruturada em HTML/CSS/JavaScript, e incorporada ao Browser, a qual terá como finalidade servir como elemento de comunicação entre a máquina e o usuário, conforme detalharemos oportunamente, na seção: “Como rodar o programa”.

As informações solicitadas, ou os dados inseridos pelos usuários através desta interface, serão enviados na forma de páginas HTML pela Internet, (ou pela Intranet) mediante protocolo HTTP para o servidor. Esses dados ao chegarem ao servidor físico após interpretadas por programas PHP, requisitarão as informações necessárias ao programa servidor, no caso o Apache, que acessará ao banco de dados, MySQL, retornando-as novamente via rede até a máquina cliente para no caso serem processadas por um programa

com código fonte em JavaScript, que rodando sobre o Browser, realizará os cálculos dos FCTs apresentando os resultados na interface anteriormente mencionada.

As linguagens utilizadas estão todas enquadradas na modalidade “Open Source”, ou seja, podem ser utilizadas sem custos pelo usuário. A seguir faremos algumas outras considerações sobre os motivos que levaram à escolha das referidas linguagens.

A seguir faz-se uma breve descrição sobre cada uma das linguagens e/ou tecnologias utilizadas, com o objetivo não somente de justificar suas escolhas, mas também de esclarecer a função específica de cada uma delas na estrutura e no funcionamento do aplicativo.

Servidor Apache-é um programa tipo servidor web que tem capacidade de interpretar código PHP obedecendo assim as instruções contidas em uma página web (HTML) e após acessar a um banco de dados devolver as solicitações novamente em formato de páginas web. (DAVIS, 2008)

PHP - O servidor por si só, não tem condições de interpretar as informações originadas de uma página HTML, desta forma, é necessário que dentro da mesma, sejam inseridos programas que possam ser interpretados por este programa servidor. Optou-se neste caso pela linguagem PHP que é uma das linguagens mais difundidas e utilizadas para este objetivo na atualidade. A interpretação de scripts PHP permite a geração de código JavaScript, HTML bem como imagens, e/ou texto bem como documentos PDF, XML que tanto podem ser enviados ao cliente quanto armazenados no servidor (MILLETTO, 2014).

O servidor web utilizado será o Apache que além de ter a vantagem de ser “open source” tal como o PHP, ou seja, pode ser utilizado de graça, ainda apresenta plena capacidade de interpretação de processamento de seu código, bem como perfeita iteratividade com o banco de dados MySQL, que também será utilizado para armazenamento de dados no servidor físico.

O MySQL também é gratuito, constituindo-se, entretanto num banco de dados muito bem equipado, oferecendo uma performance comparável aos mais conceituados e caros bancos de dados comerciais, tais como Oracle, Informix, DB2 (IBM), e SQL Server (Microsoft) (DAVIS, 2008).

3.1.4 Código fonte do programa

O conteúdo do código fonte desenvolvido é apresentado no ANEXO 2, no final do mesmo.

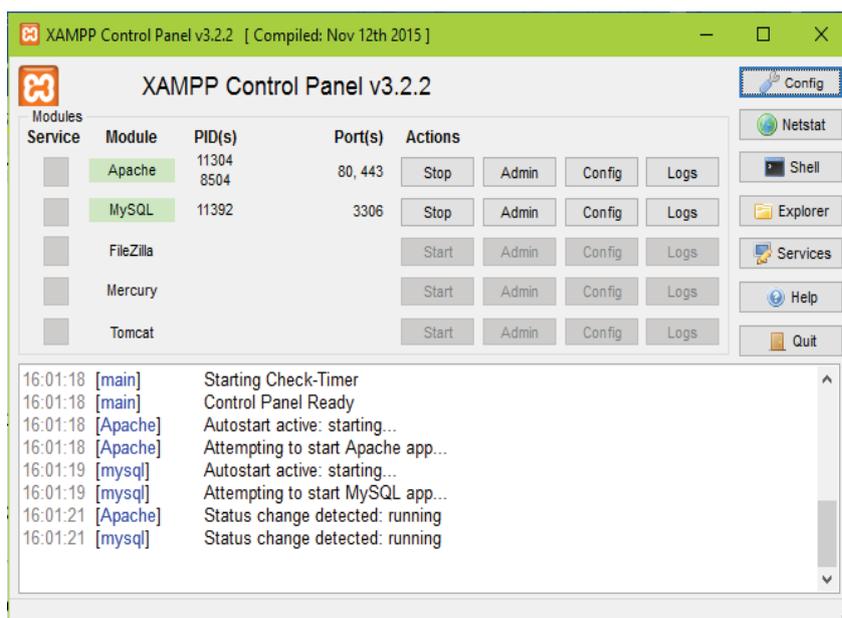
3.1.5 Acesso, inicialização e utilização do programa

Este subitem, tem por objetivo demonstrar-se os procedimentos para acesso e inicialização do programa, e também proporcionar ao usuário, uma familiarização com a interface gráfica, seus comandos e simbologias, como calcular os FCTs para descontinuidades já cadastradas ou edita-las, como cadastrar novas descontinuidades ou grupos, tipos de elementos nos quais estão inseridas estas descontinuidades, bem como os tipos de esforços atuantes sobre os mesmos.

3.1.5.1 Acesso e Inicialização do programa

Por ser um aplicativo-web, tanto o programa, quanto o banco de dados, não estarão instalados no computador cliente, mas sim num computador remoto denominado servidor, que tanto poderá ser um servidor ligado à www ou um servidor local ligado à uma rede interna de uma empresa ou corporação. Para rodar o programa, o usuário terá que acionar via rede o servidor Apache previamente instalado neste servidor remoto. Este acionamento é feito através de um painel de comando virtual, denominado “XAMPP Control Panel”, o qual também permitirá o acesso ao banco de dados MySQL também instalado no mesmo servidor (Figura 27).

Figura 27 - Painel de comando virtual XAMPP



Fonte: Autor

O acionamento deste painel é obtido através do comando “XAMPP” na Barra de comando do computador cliente, quando então surgirá a imagem mostrada na Figura 27, com as respectivas mensagens indicando se obteve-se êxito ou não no intento. Obtendo-se o êxito, o que pode ser confirmado pelo destaque em verde em Apache e MySQL, a referida janela poderá ser minimizada.

Após isto, deve-se digitar na linha de comando do navegador (“*Browser*”), os comandos: “*localhost/calcfactor/site*”. Surgirá então na tela do computador cliente, a interface gráfica representada na Figura 28. O programa então está “carregado” e pronto para ser usado.

Figura 28 - Interface gráfica do programa CalcFactor



Fonte: Autor

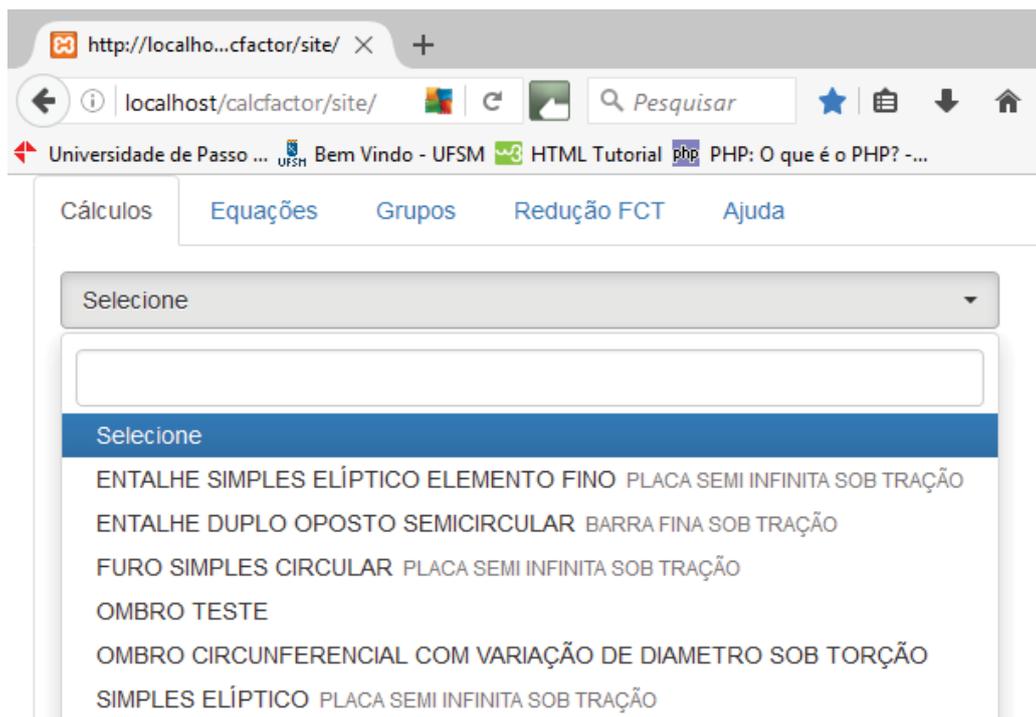
3.1.5.2 Utilização do programa CalcFactor

Os subitens a seguir, têm por objetivo, proporcionar uma detalhada orientação para a utilização do programa CalcFactor, dando uma ideia completa do potencial do mesmo, além de permitir ao usuário, total acesso e domínio às funcionalidades do mesmo.

3.1.5.2.1 Cálculo do valor de FCT para uma descontinuidade já cadastrada

Para o cálculo de uma descontinuidade já cadastrada, na aba “Cálculos”, clica-se em “Selecione”, conforme mostra a Figura 29, escolhendo uma das opções que surgirão.

Figura 29 - Selecionando uma descontinuidade



Fonte: Autor

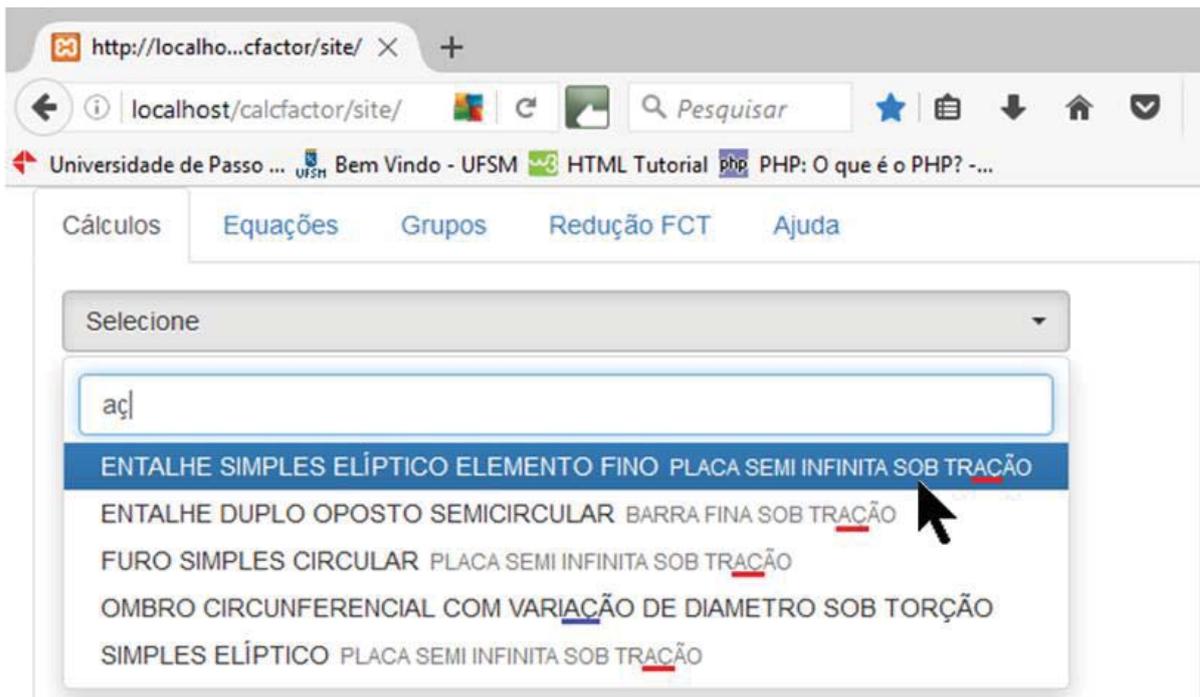
Como opção, pode-se também digitar uma palavra característica, ou parte dela, relativa à opção desejada, tal como o tipo e/ou formato da descontinuidade, tipo de elemento, ou tipo de solicitação aplicada (Figura 30).

Ex.: Digitando a palavra “tração”, ou simplesmente “aç” surgirá a relação de todas as descontinuidades submetidas ao esforço de tração, mas também aparecerão todas as opções onde existam palavras com estas duas letras em sequência, como neste caso em que em que apareceu na quarta opção um caso onde não esforço de traço, mas que foi selecionado devido à palavra “variação!”

Caso não surja nenhuma sugestão, deve-se verificar a ortografia da palavra. Caso não haja incompatibilidade ortográfica, significa que não há ainda descontinuidades catalogadas com aquela palavra.

A palavra deverá ser escrita exatamente como foi catalogada, respeitando-se a acentuação, não havendo, entretanto, distinção entre maiúsculas e minúsculas.

Figura 30 - Seleção por palavra chave ou parte dela



Fonte: Autor

Como exemplo, será apresentado o cálculo do FCT (K_{tg}) para o ENTALHE SIMPLES ELÍPTICO ELEMENTO FINO PLACA SEMI INFINITA SOB TRACÃO. Observam-se as etapas:

- 1- Primeiramente “clica-se” sobre a opção desejada e a imagem bem como a equação correspondente será carregada.
- 2- Após, verifica-se se a imagem “carregada” corresponde à expectativa no que concerne a todas as características selecionadas.
- 3- Em caso afirmativo, deve-se preencher os campos vazios e “clicar” em “calcular”, e o valor de FCT surgirá à direita dos campos preenchidos.
- 4- Caso a figura carregada não seja a correta, deve-se retornar à primeira etapa, clicando novamente na barra sensível onde aparecia a palavra selecionar (e que agora aparece o nome da última opção escolhida) e fazendo uma nova opção, seguindo novamente a mesma sequência anteriormente descrita.

Figura 31 - Cálculo do FCT para a descontinuidade selecionada

http://localho...cfactor/site/ X +

localhost/calcfactor/site/ Pesquisar

Universidade de Passo... Bem Vindo - UFSM HTML Tutorial PHP: O que é o PHP? ...

Cálculos Equações Grupos Redução FCT Ajuda

ENTALHE SIMPLES ELÍPTICO ELEMENTO FINO

Min r

t

σ

σ_{máx}

entalhe elíptico simples elemento fino semi infinito sob tração

$$K_{tg} = 0,855 + 2,21 \cdot \sqrt{t/r}$$

Variável	Valor	Calcular
t (profundidade)	5	Ktg = 3.708098
r (raio)	3	

Fonte: Autor

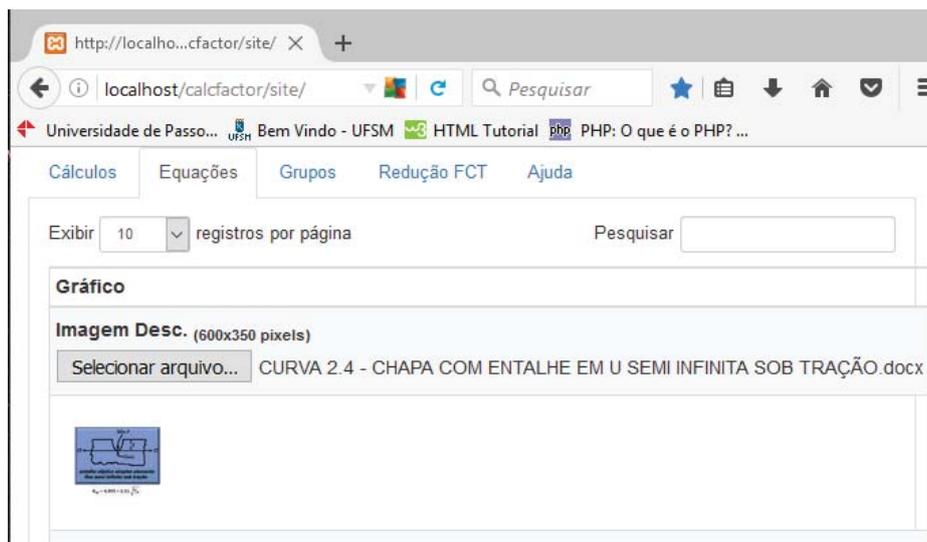
3.1.5.2.2 Inclusão, exclusão, ou edição uma descontinuidade

- **Inclusão de uma nova descontinuidade**

- Para incluir-se uma nova descontinuidade, seleciona-se “Equações” na aba da interface gráfica, conforme demonstrado na Figura 32.

- Na coluna “Gráfico”, clica-se em “Selecionar arquivo”, localiza-se a imagem da descontinuidade previamente armazenada na pasta “imagens Desc”.

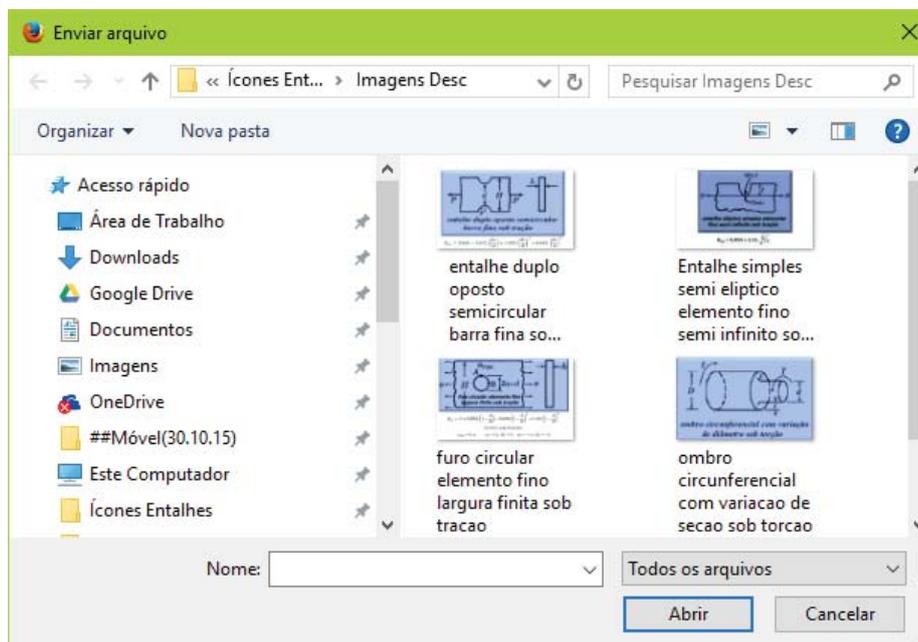
Figura 32 - Seleção de arquivo de imagem para a nova descontinuidade



Fonte: Autor

- Localiza-se a pasta “Imagens Desc” previamente criada e onde estarão armazenadas as figuras representativas das descontinuidades, conforme mostra a Figura 33.

Figura 33 - Selecionando a imagem para a nova descontinuidade



Fonte: Autor

- Escolhe-se a figura correspondente ao tipo de descontinuidade, de elemento do esforço aplicado, e clica-se em “Abrir”.

As figuras deverão estar na resolução 600x350 e preferencialmente no formato .jpg, e seu nome, o da pasta onde a mesma está armazenada, assim como o caminho das pastas

até chegar a ela, não deverá conter caracteres especiais, acentuações gramaticais, cedilha, etc.

- Na coluna “Tipo”, clica-se em “Selecionar arquivo”, para escolher o tipo de elemento no qual está inserida a referida descontinuidade.

- Na coluna “Equação”, no campo destinado à edição de equações, digita-se a equação correspondente, seguindo-se o padrão de edição conforme estabelecido pela tabela constante no item 3.1.5.2.3, sob título: “Editor de equações

O campo destinado à edição de equações pode ser ampliado clicando-se no seu canto inferior direito e arrastando-se.

-Clica-se em “salvar”.

• Edição de uma descontinuidade já existente

-Clica-se em , altera-se o(s) campo(s) que assim se desejar, depois salva-se clicando em , ou descarta-se a(s) alteração(ões), clicando-se em, .

Clicando-se em  para salvar uma ou mais alterações, pode-se por algum motivo não se obter êxito. Neste caso, toda a faixa horizontal assumirá temporariamente a cor avermelhada para indicar tal situação, e a(s) alteração(ões) será(rão) descartada(s). Caso o(s) salvamento(os) tenha(m) sido exitoso(s), a faixa assumirá temporariamente a cor verde.

Obs.: Caso seja aberta a edição, (clicando-se ) , e nenhuma alteração seja realizada, ao executar a operação de salvamento clicando-se em , também a faixa horizontal correspondente à descontinuidade em edição assumirá a cor vermelha, para indicar que não houve alterações.

• Exclusão de uma descontinuidade já existente -Para excluir-se uma descontinuidade já cadastrada no banco de dados do programa, clique em .

• **Inclusão de novas descontinuidades, elementos ou esforços no banco de dados do programa.**

-Para incluir-se uma nova descontinuidade, um novo tipo de elemento ou um novo tipo de esforço, clica-se na aba “Grupos” e “Seleciona-se” um dos cinco grupos de descontinuidades: ENTALHES, RANHURAS, OMBROS, FUROS ou DIVERSOS.

-No campo “Tipo”, digita-se o nome de um dos cinco “Grupos” (ENTALHES, RANHURAS, etc.), seguido da forma e do tipo de entalhe (SIMPLES EM U, MÚLTIPLOS OPOSTOS SEMICIRCULARES, DUPLO OPOSTO EM U, etc.)

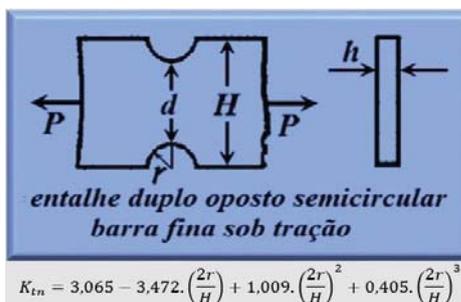
-Na coluna “Elemento”, seleciona-se a forma básica da peça na qual está inserido a descontinuidade (BARRA FINA, PLACA SEMI INFINITA, SEÇÃO CILÍNDRICA, etc.)

-Na coluna “Esforço”, seleciona-se o tipo de solicitação atuante (TRAÇÃO, FLEXÃO, TORÇÃO, etc.)

-Cria-se ou seleciona-se, caso já exista, uma figura que irá representar o elemento com a respectiva descontinuidade e o esforço considerados, e armazena-se na pasta “Imagem Desc”. Como opção, o que é interessante, sugere-se que na figura seja incorporada a equação que permita o cálculo do FCT na sua forma tradicional, tal como o exemplo mostrado na Figura 34.

As figuras deverão estar na resolução 600x350 e preferencialmente no formato .jpg, e seu nome, o da pasta onde a mesma está armazenada, assim como o caminho das pastas até chegar a ela, não deverá conter caracteres especiais, acentuações gramaticais, cedilha, etc.

Figura 34 - Figura da descontinuidade com a equação que permite o cálculo do FCT por ela gerado



Fonte: Autor

Nas abas superiores, juntamente com as abas “Cálculos”, “Equações” e “Grupos” já anteriormente explicitadas, encontram-se ainda as abas “Redução das FCT” e “Ajuda”. A primeira, tem por objetivo oferecer algumas sugestões ao estudante e/ou projetista iniciante, sugestões de como reduzir os efeitos dos concentradores de tensões de forma segura e econômica. Já a segunda, com o título “Ajuda” apresenta-se sob a forma de um tutorial visando proporcionar um auxílio ao usuário na utilização do programa.

A interface do programa ainda apresenta no seu canto superior esquerdo, um campo “Exibir “ “registros por páginas” onde proporciona-se ao usuário a possibilidade de escolher o número de itens a serem apresentados por página, entre as opções: 10, 25, 50, 100 itens por página, ou todos eles na mesma página.

No caso de haver mais de 10 itens catalogados e optar-se pela apresentação em mais de uma página, habilita-se automaticamente a navegação entre as páginas no canto inferior direito da interface do programa.

No canto superior direito da interface gráfica, ainda existe um campo que oferece a opção pesquisar através da inserção de palavras chave.

3.1.5.2.3 Editor de equações

Para a edição de equações devem ser utilizados os seguintes operadores matemáticos (Tabela 2):

Tabela 2 - Editor de equações do programa

Math.pow(a, b)	Eleva “a” na potência “b”
Math.sqrt(a)	Calcula raiz quadrada de “a”
+	Soma
-	Diminui
/	Divide
*	Multiplica
{a:::b}	a = variável que receberá o valor, b = nome descritivo da variável.

Fonte: Autor

Exemplificando, para um elemento fino com dimensão semi-infinita, com entalhe semielíptico e submetido à tração, cuja equação escrita no modo tradicional é:

$$K_{tg} = 0,855 + (2,21 \cdot \sqrt[2]{t/r})$$

Quando escrita no padrão do editor utilizado neste programa, assumirá a forma:

$$K_{tg}=0.855+(2.21*\text{Math.sqrt}(\{\text{t}:::\text{profundidade}\}/\{\text{r}:::\text{raio}\}))$$

3.2 Análises numéricas

As análises numéricas elásticas lineares com aplicação de carga estática foram realizadas com objetivo de avaliar diferentes formas geométricas sujeitas a concentradores de tensão, para posterior comparação com ensaios experimentais e com cálculos realizados pelo programa computacional.

Tais avaliações são importantes para compreensão dos efeitos provocados pela concentração de tensões causada devido a entalhes e variação das formas geométricas no projeto de componentes mecânicos.

O entendimento de tais efeitos é muito importante no ensino de engenharia, onde o conhecimento de todos os recursos e limitações disponíveis para avaliação no projeto de componentes tem fundamental importância na decisão do engenheiro para resolver problemas técnicos.

As análises numéricas seguem o seguinte procedimento/etapas de análise:

- **Pré-processamento:** nesta etapa é avaliado o problema estrutural de análise, feito o planejamento do modelo de elementos finitos, definindo a propriedade dos materiais, realizado a escolha dos elementos e elaborada a malha de elementos finitos e também definido as condições de contorno, carregamentos e restrições.
- **Processamento:** nesta etapa são configurados os dados de saída da análise.
- **Pós processamento:** nesta etapa são avaliados e interpretados os resultados da análise realizada.

A teoria de falha utilizada nas análises é a da energia de distorção, que prevê que ocorre escoamento quando a energia de deformação por distorção em uma unidade de volume alcança ou excede à energia de deformação por distorção por unidade de volume correspondente ao escoamento sob tração ou compressão do mesmo material, também é conhecido como teoria de Von Misses (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005).

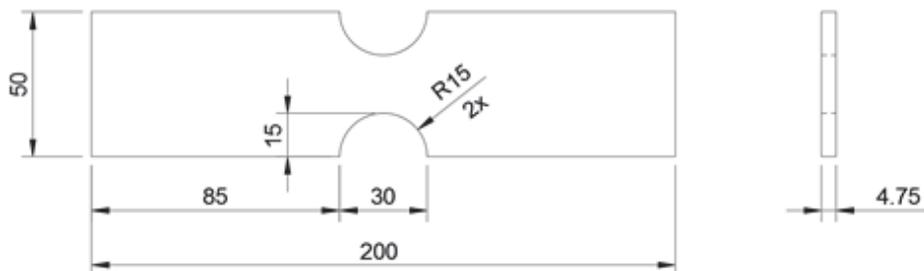
3.2.1 Modelos analisados

São avaliados numericamente 3 modelos de componentes sujeitos a concentradores de tensão clássicos da literatura, sendo:

- Chapa plana com entalhe circular sujeita a tração;
- Chapa plana com furo sujeita a esforço de tração;
- Modelo cilíndrico com variação de diâmetro (escalonamento), sujeito a esforço de torção.

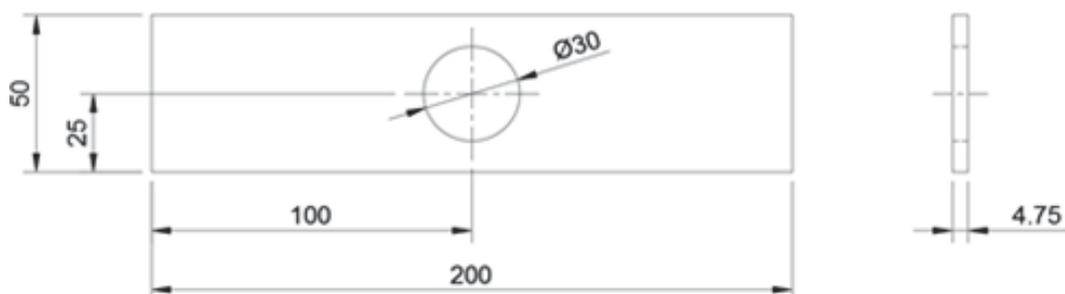
As dimensões dos componentes analisados são apresentadas nas figuras 35 a 37.

Figura 35 - Componente plano com entalhe circular



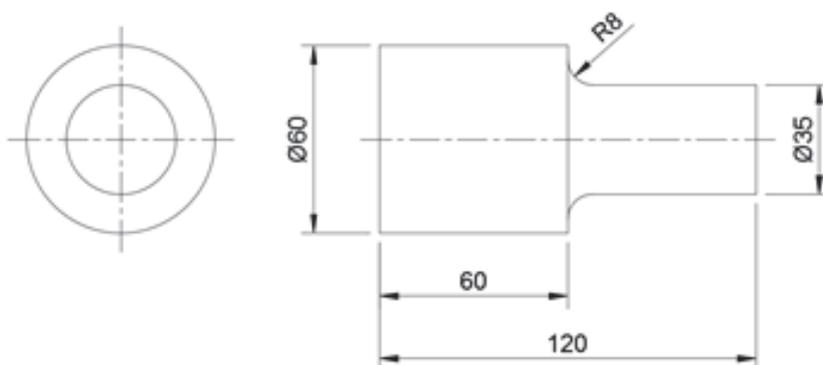
Fonte: Autor

Figura 36 - Componente plano com furo



Fonte: Autor

Figura 37 - Componente cilíndrico



Fonte: Autor

3.2.2 Material utilizado

Os componentes analisados são fabricados com o material ASTM A-36.

A Tabela 3 mostra as propriedades mecânicas desses materiais.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas do material ASTM A-36

Limite de resistência à Tração (MPa)	450
Limite de Escoamento (MPa)	250
Módulo de Elasticidade (GPa)	210
Coefficiente de Poisson	0,30
Densidade (Kg/m ³)	7.850

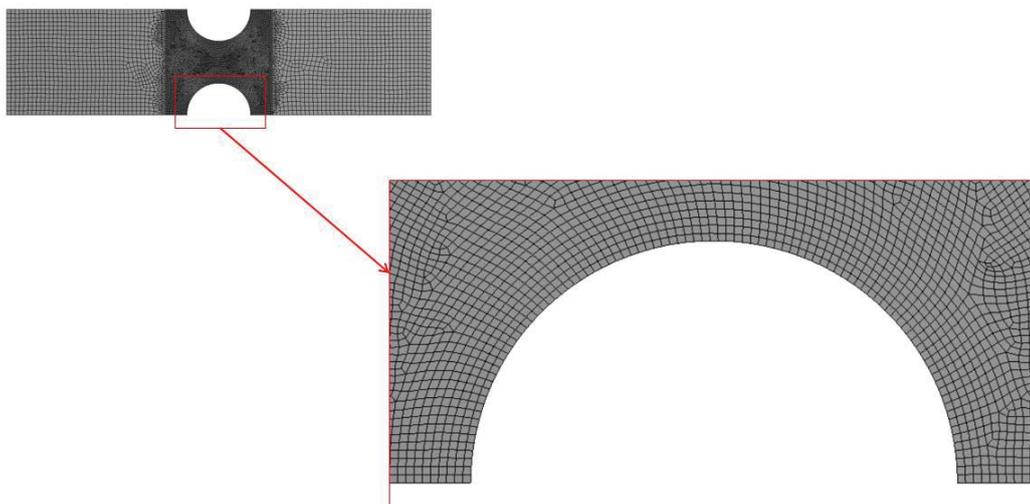
Fonte: ASM Metals Handbook, 1990

As propriedades descritas na Tabela 3 são inseridas nos dados de engenharia (*Engineering Data*) no *software* de elementos finitos.

3.2.3 Discretização dos modelos analisados

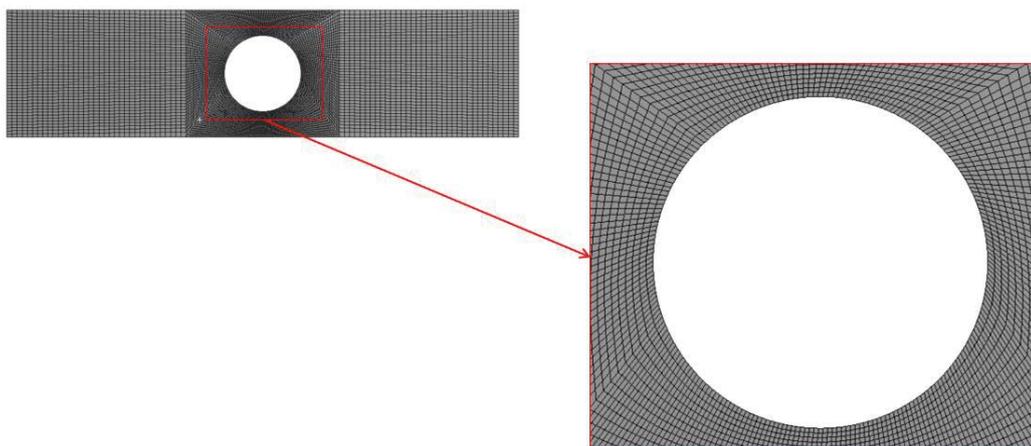
Os modelos das chapas com entalhe circular e furo foram discretizados através de elementos de casca (SHELL 181) da biblioteca de elementos do *software* baseado no Método dos Elementos Finitos, do tipo quadrilaterais compostos por quatro nós, com seis graus de liberdade por nó, sendo translações nas direções X, Y e Z e rotações em relação aos eixos X, Y e Z, com tamanho de elemento de 0,5 mm na região de interesse e nas demais regiões com tamanho 2 mm. As figuras 38 e 39 mostram a discretização dos elementos para os modelos planos de entalhe circular e furo, com o refinamento realizado na região de interesse.

Figura 38 - Malha modelo com entalhe circular



Fonte: Autor

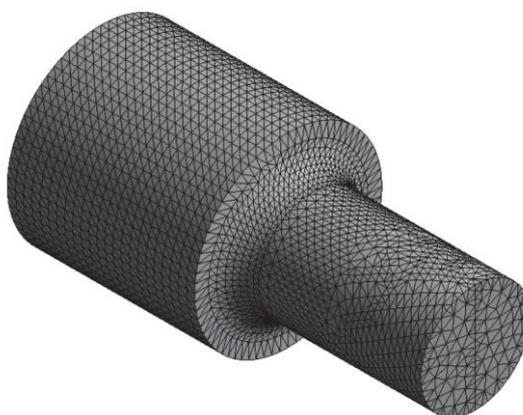
Figura 39 - Malha modelo com furo



Fonte: Autor

O componente cilíndrico foi discretizado com elementos tetraédricos de 2 mm de 10 nós (SOLID 187) da biblioteca de elementos de *software* MEF, onde cada nó possui três graus de liberdade translacionais nas direções nodais X, Y e Z. A Figura 40 mostra a malha gerada para este modelo.

Figura 40 - Malha modelo cilíndrico



Fonte: Autor

A Tabela 4 apresenta o número de elementos e nós utilizados na discretização completa dos três modelos de elementos finitos.

Tabela 4 - Dados da malha de elementos finitos

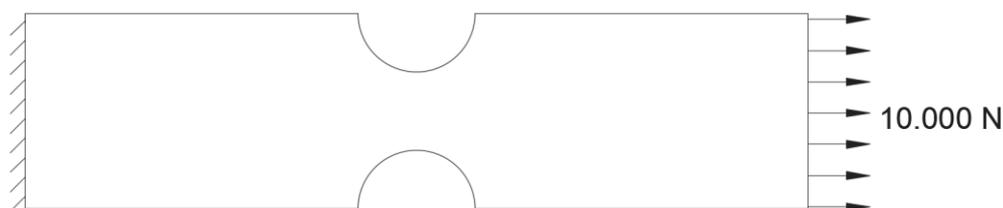
	Chapa com entalhe circular	Chapa com furo	Componente cilíndrico
Número de Nós	9.483	8.810	32.747
Número de Elementos	9.260	8.508	18.745

Fonte: Autor

3.2.4 Condições de contorno das análises

Os modelos das chapas com rasgo e furo foram restringidos em translação e rotação em todas as direções (X, Y e Z), em uma das extremidades. Na outra extremidade foi aplicado um carregamento uniforme de 10.000 N. A Figura 41 mostra a restrição e carregamento adotado para os modelos planos.

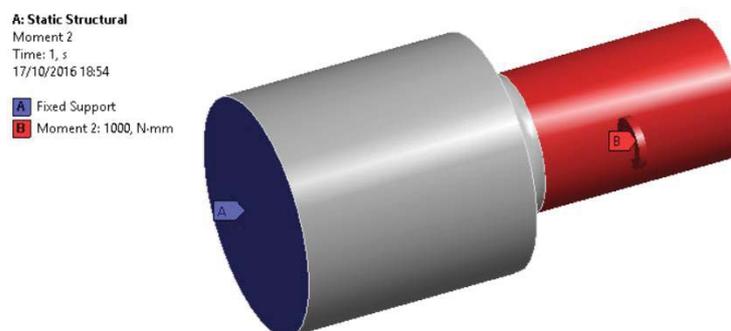
Figura 41 - Restrição e carregamento dos modelos planos



Fonte: Autor

O componente cilíndrico foi restringido em uma das faces (cor azul) e aplicado um momento de 1.000 N.mm na face cilíndrica (cor vermelha). A Figura 42 mostra a restrição e carregamentos aplicados no componente cilíndrico.

Figura 42 - Restrição e carregamento do componente cilíndrico



Fonte: Autor

Essas configurações caracterizam a fase de pré-processamento de uma análise numérica por elementos finitos. As etapas de processamento e pós-processamento serão apresentadas no capítulo 4.

3.3. Medição experimental

Afim de comparar diferentes metodologias de análises de esforços em componentes com concentradores de tensão, serão realizadas medições experimentais de tensões em dois

corpos de prova (chapa plana com entalhe circular e com furo). Também serão realizados ensaios de tração e posterior análise de fratura em ambos os corpos de prova, para verificar o efeito provocado pelos entalhes nas peças analisadas após um esforço de tração até o rompimento.

3.3.1 Procedimento de preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova (de material ASTM A-36) foram usinados em Centro de Usinagem tipo Vertical com as mesmas dimensões dos modelos analisados numericamente. A Figura 43 mostra uma imagem dos corpos de prova após o processo de usinagem.

Figura 43 - Corpos de prova usinados



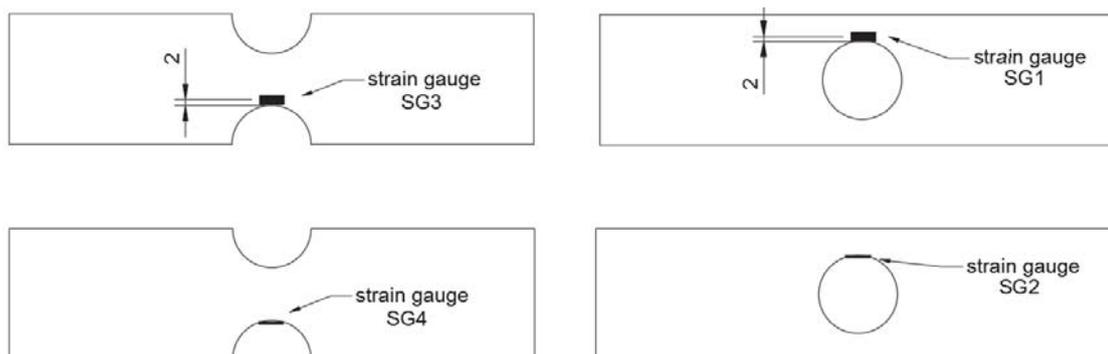
Fonte: Autor

3.3.2 Procedimento colagem dos *strain gauge*

Através do uso de *strain gauges* é possível avaliar a deformação longitudinal experimentada por uma estrutura quando sujeita a uma carga (força externa) para determinar a magnitude desta força.

Afim de medir o valor da tensão máxima, foram instalados *strain gauges* em duas posições de cada corpo de prova, sendo uma posição próxima ao local esperado em que ocorra a tensão máxima e outra na parte circunferencial do raio. A Figura 44 mostra os locais onde foram instalados os *strain gauges* nos corpos de prova com com entalhe circular e com furo, com a identificação de cada *strain gauge* conforme configurado no *software* de medição.

Figura 44 - Posição de instalação dos *strain gauges*



Fonte: Autor

O procedimento de colagem seguiu os seguintes passos:

- 1) Efetuar a limpeza do local, removendo possíveis marcas de usinagem que possam prejudicar a aderência do *strain gauge*;
- 2) Determinação da posição exata de colagem;
- 3) Colagem do *strain gauge*, com cola apropriada (Loctite 427);
- 4) Montagem e soldagem dos terminais, afim de formar a ponte de Wheatstone (1/2 ponte);
- 5) Soldagem da fiação sobre os terminais.

A Figura 45 ilustra os principais passos deste processo.

Figura 45 - Processo de colagem dos *strain gauges*



Fonte: Autor

Os *strain gauges* utilizados são do tipo unidirecional, fabricados pela empresa HBM.

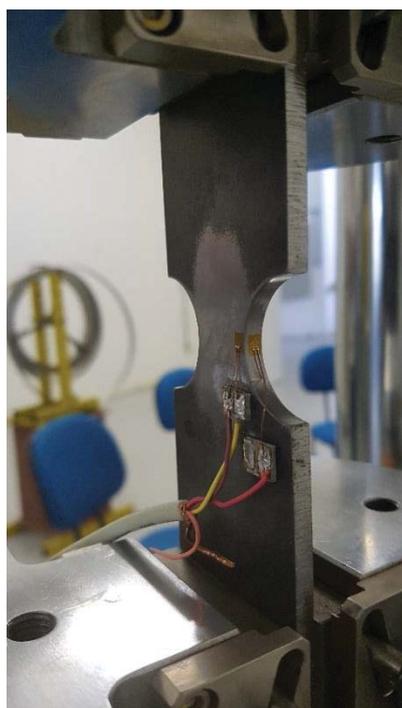
3.3.3 Procedimento de medição das tensões

O ensaio de medição das tensões foi realizado em uma máquina universal de ensaios SHIMADZU modelo Servopulser - Tipo E, sendo aplicados três carregamentos (1.000 N, 5.000 N e 10.000 N, respectivamente).

Cada carregamento foi medido três vezes, sendo medida a tensão máxima para cada carregamento aplicado nos corpos de prova com entalhe circular e com furo, através dos *strain gauges* instalados nos corpos de prova. Os carregamentos foram aplicados de forma gradual, com um tempo de 5 segundos até atingir a carga máxima estabelecido para cada medição, do mesmo modo que as análises numéricas foram realizadas.

A Figura 46 (a) mostra o corpo de prova com entalhe circular montado na máquina de fadiga, a Figura 46 (b) mostra o corpo de prova com furo instalado no equipamento.

Figura 46 - Corpos de prova instalados na máquina de fadiga SHIMADZU



(a)

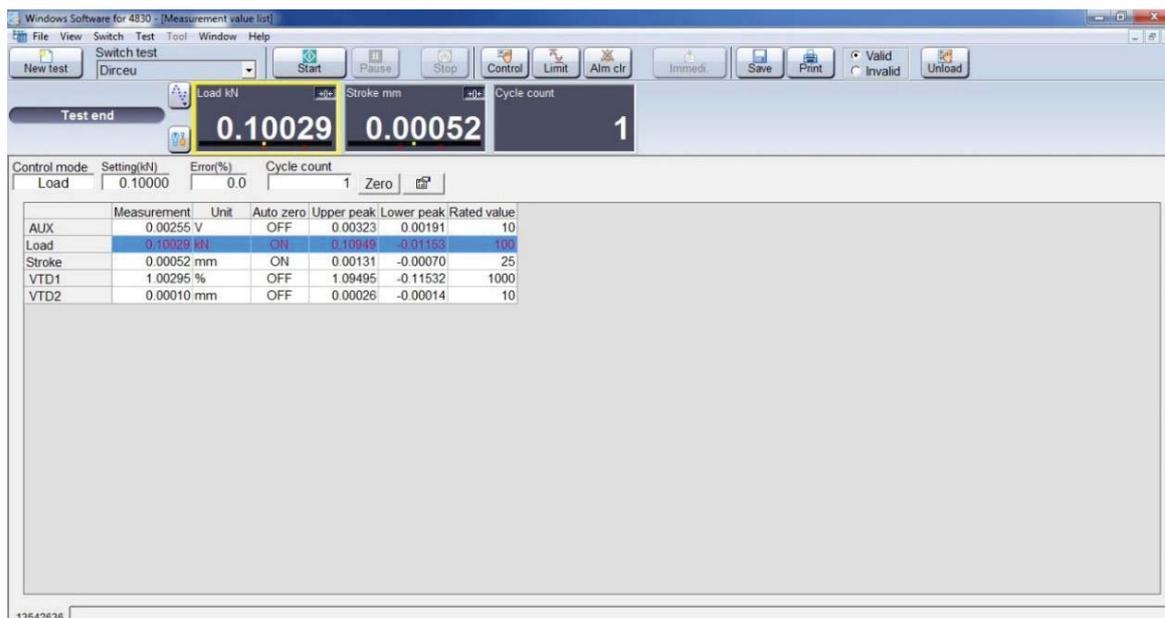


(b)

Fonte: Autor

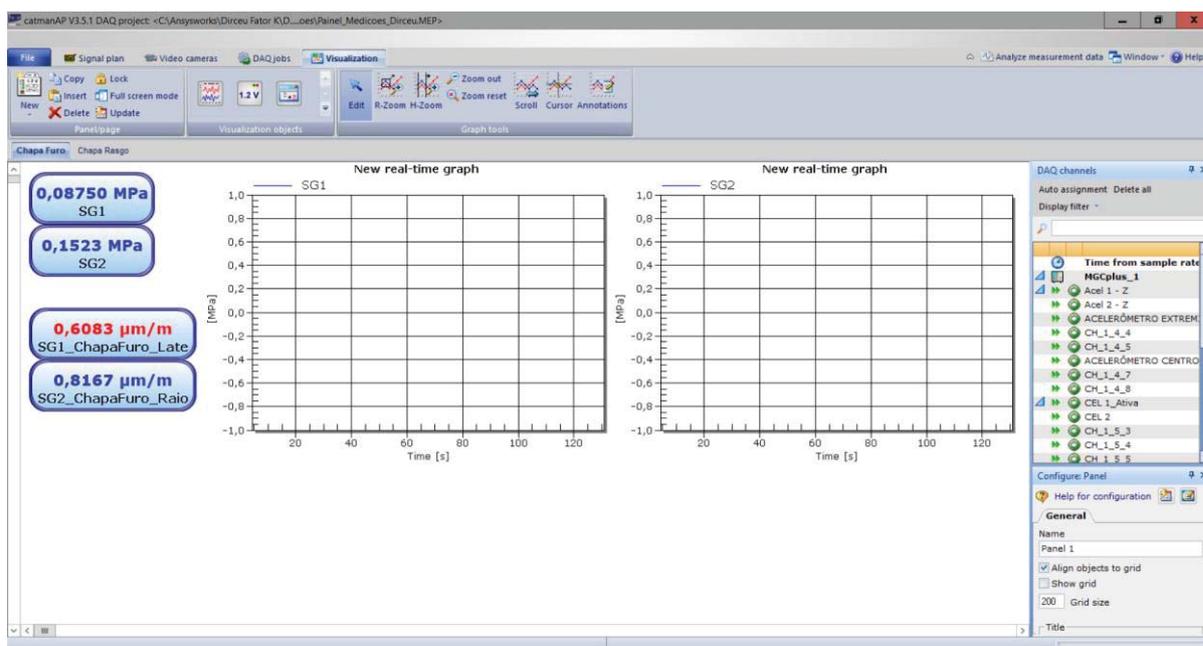
A Figura 47 mostra a tela do *software Servo Controller 4830 (version 320)* da máquina de ensaios SHIMADZU, com a configuração do carregamento de 0,1 KN (aproximadamente 10 N) para exemplificar a configuração dos carregamentos aplicados nos corpos de prova.

Figura 47 – Software Servo Controller 4830 máquina de fadiga SHIMADZU



Fonte: Autor

Os dados foram coletados através de um sistema de aquisição de sinais MGCplus da marca HBM, de 16 canais. Para aquisição e tratamento dos dados e conversão da resistência medida pelos *strain gauges* foi utilizado o *software* Catman AP versão 3.5. A Figura 48 ilustra a tela do *software* Catman AP, com o painel de configuração criado, convertendo os dados medidos pelos *strain gauges* em tensão em MPa.

Figura 48 - Tela do *software* Catman AP

Fonte: Autor

A Figura 49 mostra todo o aparato experimental utilizado nos ensaios, sendo um notebook, um sistema de aquisição de sinais e a máquina de ensaios de fadiga SHIMADZU.

Figura 49 - Aparato experimental utilizado nos ensaios



Fonte: Autor

3.3.4 Análise fractográfica

A superfície de fratura dos corpos de prova ensaiados em tração foi fotografada em estereoscópio marca ZEIS modelo Stemi 2000. Esta técnica permite avaliar a superfície de fratura do material verificando a possível redução na deformação plástica dos materiais ensaiados gerada pela presença de diferentes tipos de entalhe, trazendo um indicativo qualitativo da restrição a deformação gerada pelas diferentes geometrias de entalhe.

Dessa forma, foram realizados ensaios de tração nos corpos de prova com entalhe circular e com furo. O equipamento utilizado foi uma máquina Universal de Ensaio de Tração / Marca: Schenck / Modelo:Upm 200. A Figura 50 mostra um dos corpos prova ensaiados na máquina de ensaios.

Figura 50 - Corpo de prova montado na máquina de ensaio de tração



Fonte: Autor

Este capítulo apresentou os principais passos utilizados na elaboração do programa computacional, das análises numéricas e das medições experimentais realizadas em corpos de prova com entalhe circular e com furo. O capítulo seguinte apresenta os resultados obtidos, com a respectiva discussão, a fim de correlacionar os valores calculados de K_t com o procedimento analítico empregado no programa computacional desenvolvido.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na sequência deste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados dos seguintes itens:

- Do programa computacional para determinação dos fatores de concentração de tensões;
- Das análises numéricas dos diferentes modelos;
- Das medições experimentais de dois modelos de chapas com concentradores de tensão;
- Dos ensaios de tração e análise de fratura de dois modelos de chapas com concentradores de tensão.

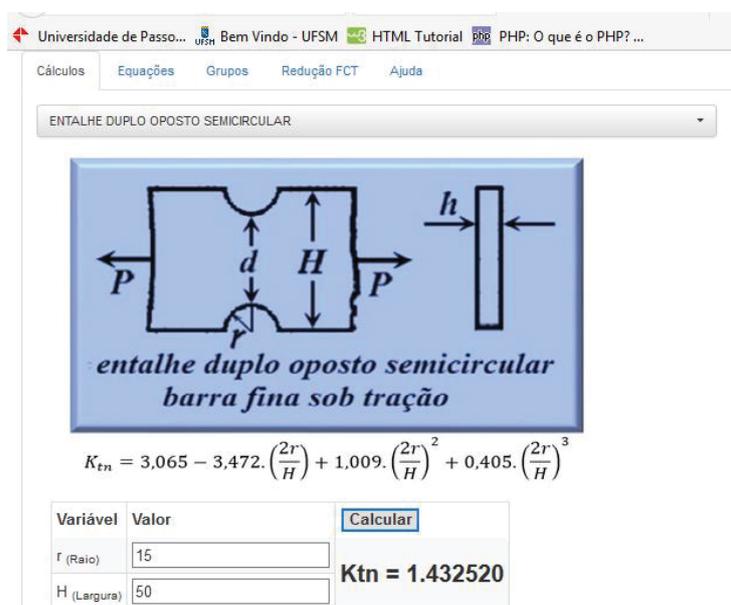
4.1 Resultados do programa computacional desenvolvido

A seguir são apresentados os resultados dos fatores de concentração de tensões calculados no programa desenvolvido.

4.1.1 Modelo plano com entalhe duplo oposto semicircular

Executando o cálculo no programa *CalcFactor*, fornecendo como dados de entrada as dimensões do raio do entalhe e da largura da chapa, tem-se o fator de concentrador de tensão teórico para esta situação. A Figura 51 mostra a tela do programa com os parâmetros setados e o valor de K_t obtido.

Figura 51 - Tela do programa CalcFactor para cálculo chapa com entalhe circular



ENTALHE DUPLO OPOSTO SEMICIRCULAR

entalhe duplo oposto semicircular
barra fina sob tração

$$K_{tn} = 3,065 - 3,472 \cdot \left(\frac{2r}{H}\right) + 1,009 \cdot \left(\frac{2r}{H}\right)^2 + 0,405 \cdot \left(\frac{2r}{H}\right)^3$$

Variável	Valor
r (Raio)	15
H (Largura)	50

Calcular

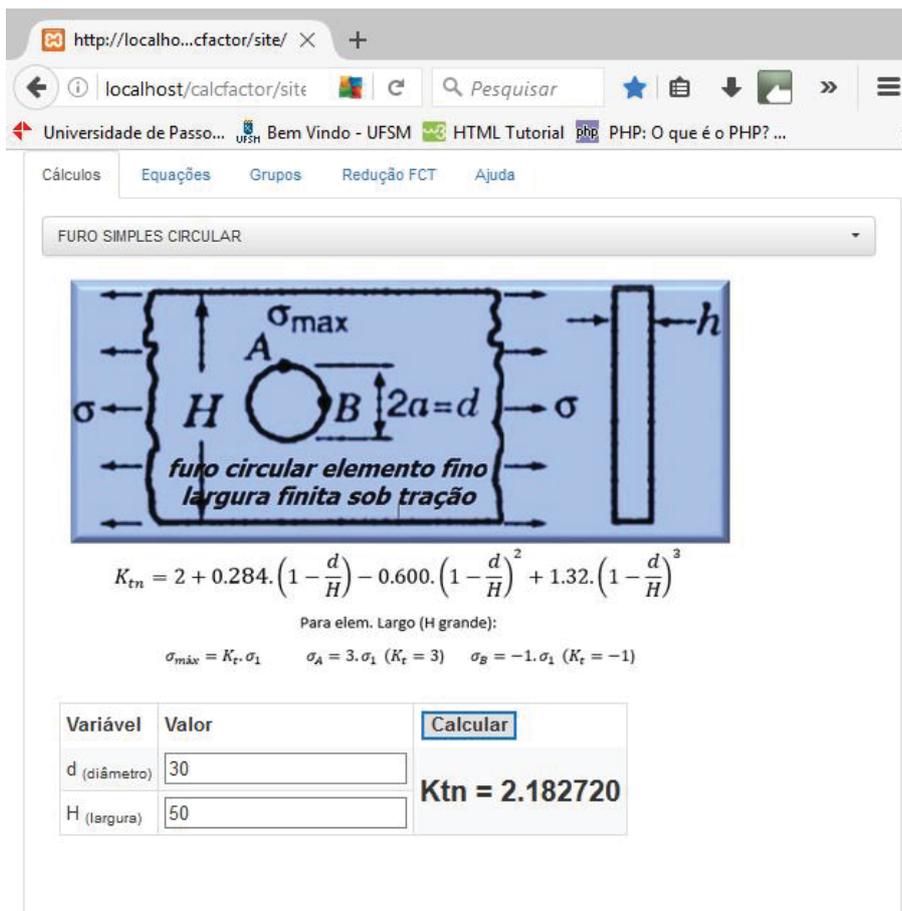
Ktn = 1.432520

Fonte: Autor

4.1.2 Elemento plano com furo

Executando o cálculo no programa, fornecendo como dados de entrada as dimensões do diâmetro do furo e da largura da chapa, tem-se o fator de concentrador de tensão teórico para esta situação. A Figura 52 mostra a tela do programa com os parâmetros configurados e o valor de K_t obtido.

Figura 52 - Tela do programa CalcFactor para cálculo de chapa com furo



FURO SIMPLES CIRCULAR

σ_{max}
A
H
B
 $2a=d$
furo circular elemento fino
largura finita sob tração

$$K_{tn} = 2 + 0.284 \cdot \left(1 - \frac{d}{H}\right) - 0.600 \cdot \left(1 - \frac{d}{H}\right)^2 + 1.32 \cdot \left(1 - \frac{d}{H}\right)^3$$

Para elem. Largo (H grande):
 $\sigma_{max} = K_t \cdot \sigma_1$ $\sigma_A = 3 \cdot \sigma_1$ ($K_t = 3$) $\sigma_B = -1 \cdot \sigma_1$ ($K_t = -1$)

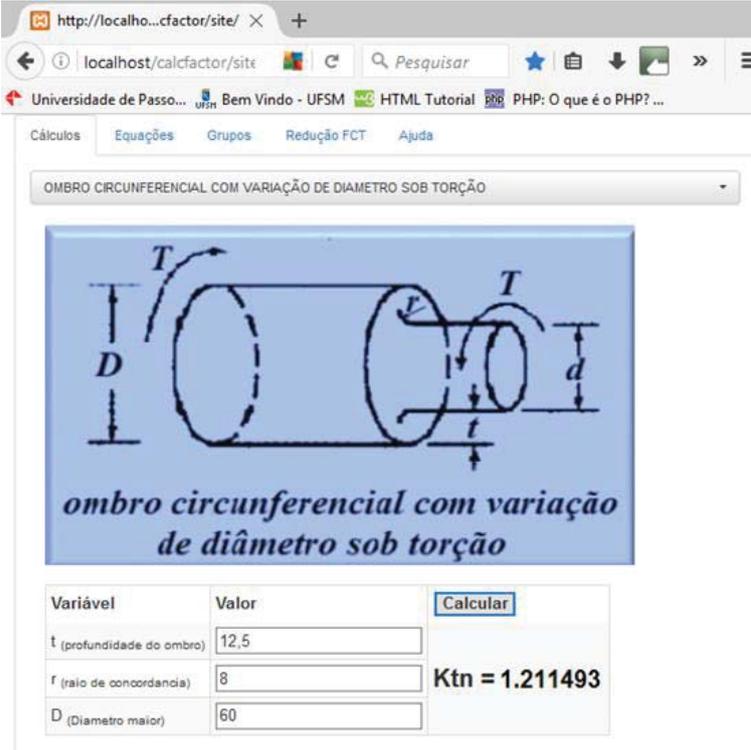
Variável	Valor	Calcular
d (diâmetro)	30	Ktn = 2.182720
H (largura)	50	

Fonte: Autor

4.1.3 Modelo cilíndrico

Executando o cálculo no programa, fornecendo como dados de entrada a profundidade (escalonamento entre as seções), o raio de concordância (adoçamento) e o diâmetro maior, tem-se o fator de concentrador de tensão teórico para esta situação. A Figura 53 mostra a tela do programa com os parâmetros configurados e o valor de K_t obtido.

Figura 53 - Tela do programa CalcFactor para eixo escalonado



OMBRO CIRCUNFERENCIAL COM VARIAÇÃO DE DIÂMETRO SOB TORÇÃO

ombro circunferencial com variação de diâmetro sob torção

Variável	Valor	Calcular
t (profundidade do ombro)	12,5	K_{tn} = 1.211493
r (raio de concordância)	8	
D (Diâmetro maior)	60	

Fonte: Autor

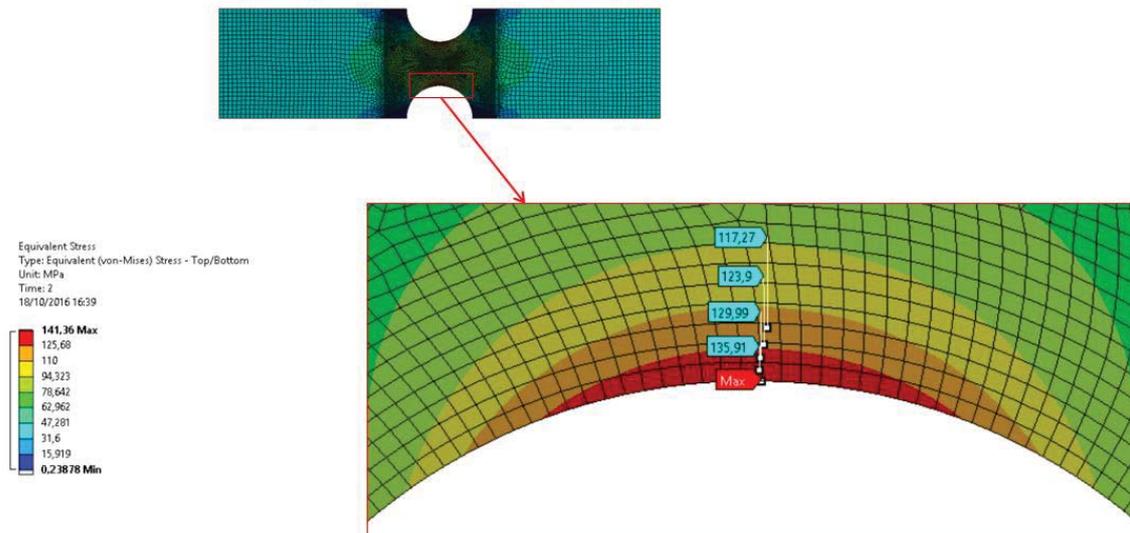
4.2 Análises numéricas

A seguir são apresentados os resultados das análises estáticas lineares realizadas em três modelos diferentes: chapa plana com entalhe circular, chapa plana com furo e do modelo cilíndrico com variação de diâmetro, todos com os respectivos cálculos de concentração de tensões (K_t).

4.2.1 Análise numérica do modelo com entalhe semicircular duplo oposto

A Figura 54 ilustra a distribuição das tensões de Von Mises na região onde ocorre a máxima tensão, próximo a borda do entalhe para o carregamento de 1000 N. O valor máximo de tensão encontrado é 141,3 MPa, verifica-se também o decréscimo de tensão nos elementos a partir do afastamento da borda do entalhe, sendo que cada elemento mede 0,5 mm. A tensão obtida no primeiro elemento após a região onde se localiza a tensão máxima fica na ordem de 135,9 MPa.

Figura 54 - Distribuição de tensões na região do entalhe



Fonte: Autor

A Figura 55 mostra o deslocamento máximo de 0,05 mm produzido através da aplicação do carregamento de 10.000 N no modelo.

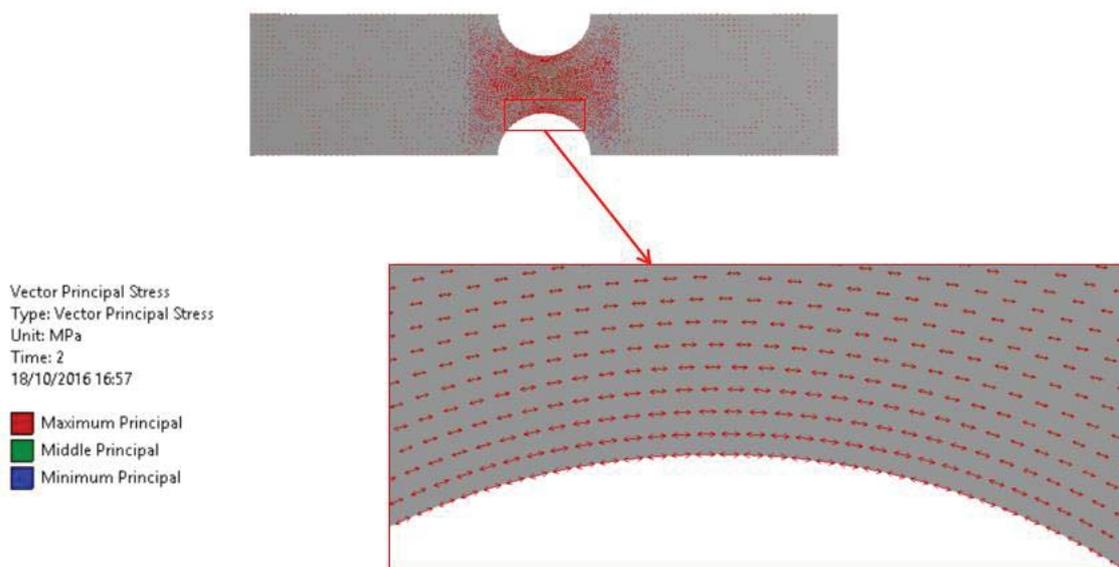
Figura 55 - Deslocamentos para carregamento de 10.000 N



Fonte: Autor

A Figura 56 mostra a direção das tensões máximas principais produzidas pelo carregamento aplicado de 10.000 N. Verifica-se que as tensões máximas de tração acompanham a direção circunferencial do entalhe.

Figura 56 - Direções das tensões principais



Fonte: Autor

A Tabela 5 mostra os maiores valores de tensão e os deslocamentos máximos para três carregamentos, conforme foi realizado no ensaio experimental.

Tabela 5 - Resultados do ensaio experimental no entalhe semicircular duplo para três cargas

Carregamento (N)	Tensão Máxima (MPa)	Deslocamento Máximo (mm)
1.000	14,136	0,005
5.000	70,68	0,025
10.000	141,36	0,05

Fonte: Autor

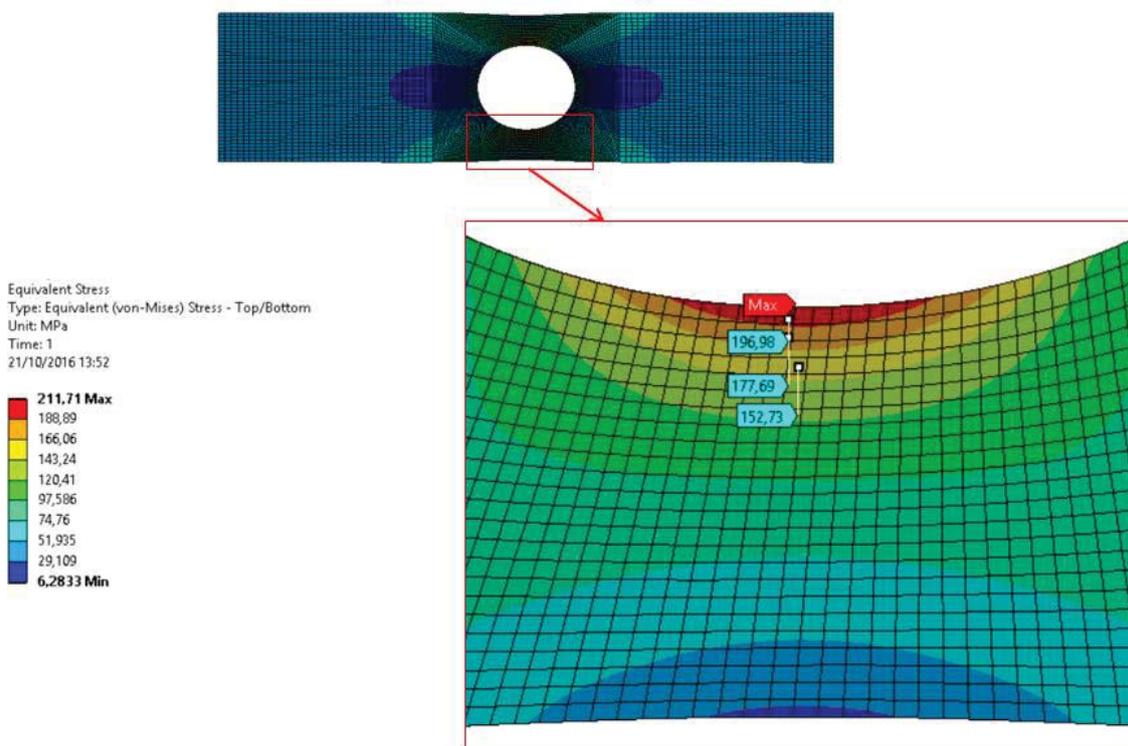
Através dos valores encontrados nas análises fica evidenciado o comportamento linear das tensões e deslocamentos através dos carregamentos impostos ao modelo devido aos valores de tensão não ultrapassarem ao limite de escoamento do material, ficando na região elástica da curva tensão-deformação.

Com os valores obtidos numericamente, tem-se condição de determinar o fator teórico de concentração de tensões para esta situação, relacionando a tensão máxima obtida numericamente com a tensão nominal calculada. A tensão nominal para esta situação, considerando uma área líquida de 100 mm² do modelo, é 100 MPa. Assim, o fator teórico de concentração de tensão é calculado dividindo-se a tensão máxima obtida numericamente de 141,36 MPa por 100 MPa, resultando em um $K_t = 1,41$.

4.2.2 Análise numérica do modelo com furo

A Figura 57 ilustra a distribuição das tensões de Von Mises na região onde ocorre a máxima tensão, próximo a borda do entalhe de furo para o carregamento de 10.000 N. O valor máximo de tensão encontrado é 211,71 MPa, verifica-se também o decréscimo de tensão nos elementos a partir do afastamento da borda do entalhe, sendo que cada elemento mede 0,5 mm. A tensão obtida no primeiro elemento após a região onde se localiza a tensão máxima fica na ordem de 196,9 MPa.

Figura 57 - Distribuição de tensões na região do entalhe de furo



Fonte: Autor

A Figura 58 mostra o deslocamento máximo de 0,053 mm produzido através da aplicação do carregamento de 10.000 N no modelo de entalhe circular.

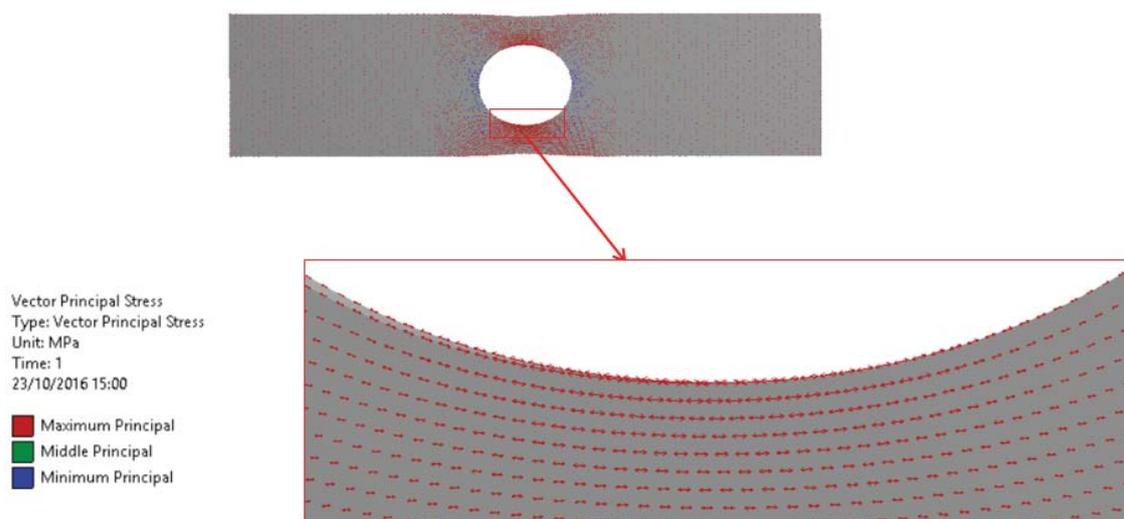
Figura 58 - Deslocamentos para carregamento de 10.000 N – entalhe de furo



Fonte: Autor

A Figura 59 mostra a direção das tensões máximas principais produzidas pelo carregamento aplicado de 10.000 N. Verifica-se que as tensões máximas de tração acompanham a direção circunferencial do entalhe de furo.

Figura 59 - Direções das tensões principais



Fonte: Autor

A Tabela 6 mostra os maiores valores de tensão e os deslocamentos máximos para três carregamentos, conforme foi realizado no ensaio experimental.

Tabela 6 - Resultados do ensaio experimental no furo circular para três carregamentos

Carregamento (N)	Tensão Máxima (MPa)	Deslocamento Máximo (mm)
1.000	21,171	0,0053
5.000	105,86	0,026
10.000	211,71	0,053

Fonte: Autor

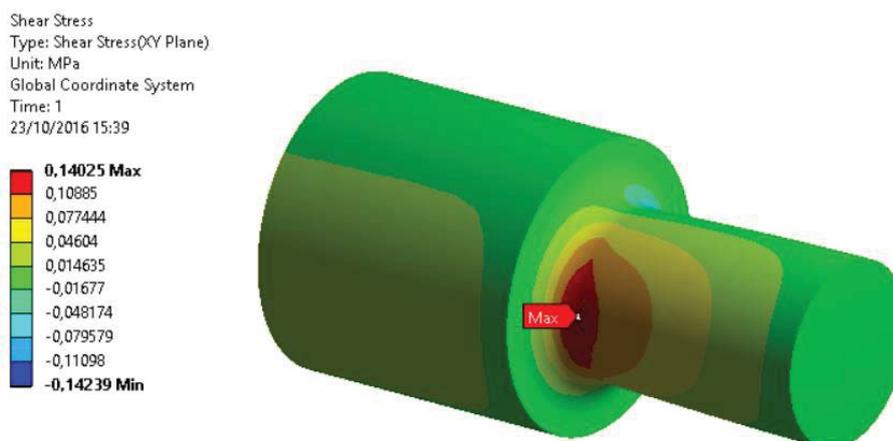
Através dos valores encontrados nas análises fica evidenciado o comportamento linear das tensões e deslocamentos através dos carregamentos impostos ao modelo devido aos valores de tensão não ultrapassarem ao limite de escoamento do material, ficando na região elástica da curva tensão-deformação.

A tensão nominal para esta situação, considerando uma área líquida de 100 mm^2 do modelo, é 100 MPa . Assim, o fator teórico de concentração de tensão é calculado dividindo-se a tensão máxima obtida numericamente de $211,71 \text{ MPa}$ por 100 MPa , resultando em um $K_t = 2,12$.

4.2.3 Análise numérica modelo cilíndrico

A Figura 60 ilustra a distribuição das tensões de Von Mises na região onde ocorre a máxima tensão cisalhante no componente cilíndrico, para um momento torçor aplicado na extremidade de 1.000 N.mm .

Figura 60 - Tensão máxima de cisalhamento componente cilíndrico

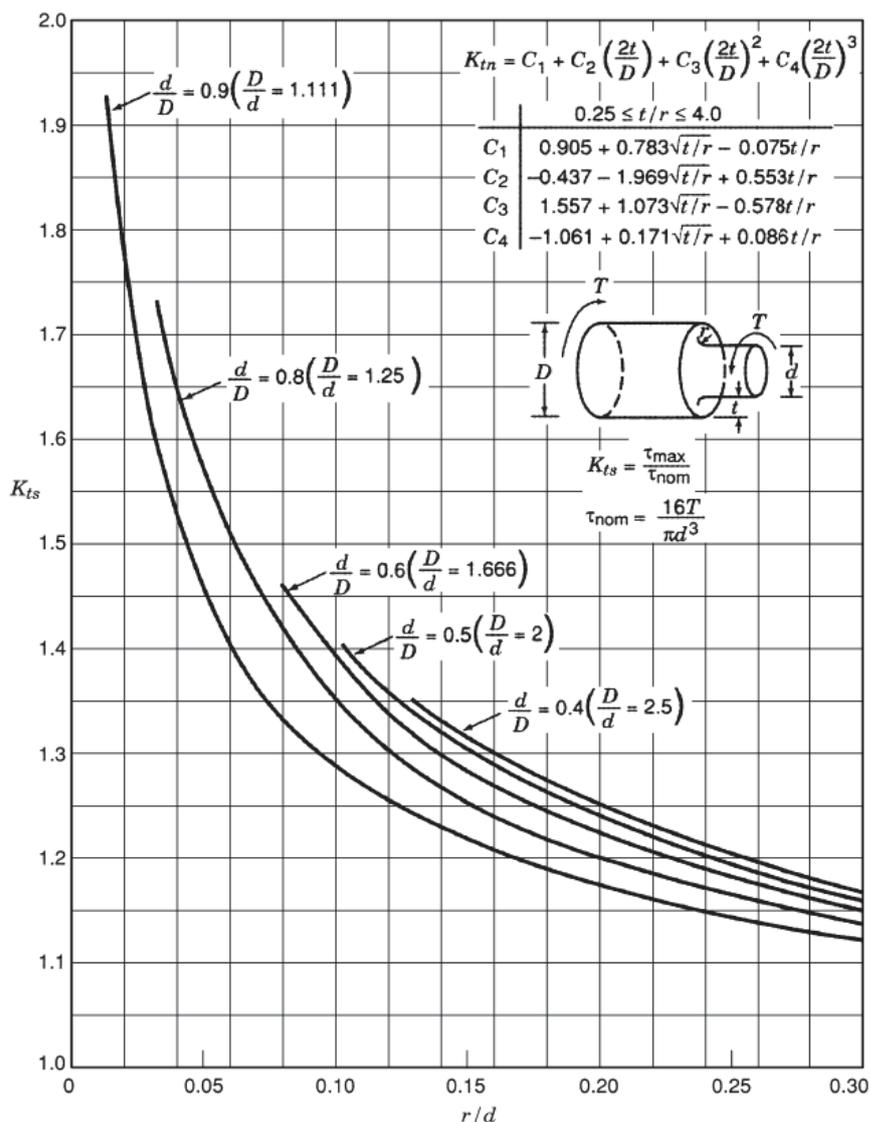


Fonte: Autor

Calculando a tensão de cisalhamento no adocamento no diâmetro de 35 mm obtém-se o valor de $0,11 \text{ MPa}$. O Fator de Concentração de Tensões (K_t) é obtido dividindo-se o valor máximo apresentado na Figura 60 de $0,14 \text{ MPa}$ pelo valor calculado $0,11 \text{ MPa}$. O K_t obtido é igual a $1,27$.

No ensino de Engenharia tradicional, o K_t pode ser obtido através de gráficos como o apresentado na Figura 61.

Figura 61 - Curva para determinação do FCT para eixo cilíndrico com variação de diâmetro sob torção



Fonte: PILKEY (1997)

A relação D/d é de aproximadamente 1,71 e a relação r/d é de aproximadamente 0,23. Entrando com estes valores nas curvas apresentadas na Figura 61 obtém-se um K_t em torno de 1,22. Observa-se uma boa aproximação com o valor obtido comparando com o componente analisado pelo Método dos Elementos Finitos, 1,27 e também com o fator obtido através do programa computacional, que resultou em um $K_t = 1,211493$.

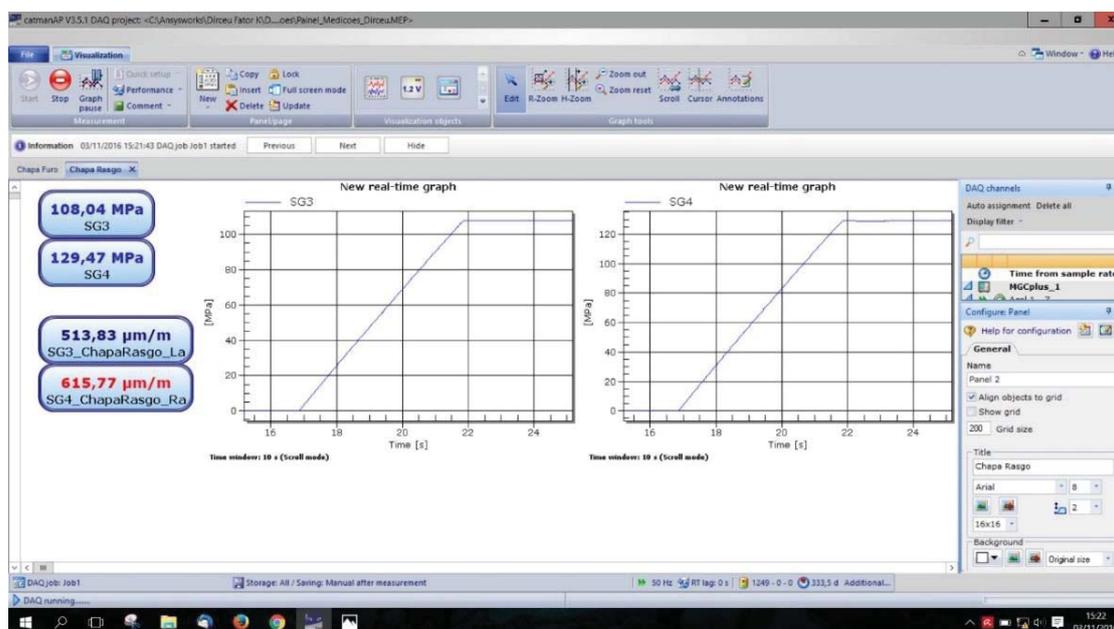
4.3 Medições experimentais nos corpos de provas planos

Na sequência serão apresentados os resultados das medições experimentais realizadas nos dois corpos de prova planos, com entalhe circular e com furo.

4.3.1 Corpo de prova com entalhe circular

A Figura 62 mostra a tela do *software* Catman após a aplicação do carregamento de 10.000 N no corpo de prova com entalhe circular.

Figura 62 - Tela de medição corpo de prova com entalhe circular – carregamento 10.000 N



Fonte: Autor

A Figura 62 mostra os resultados de tensão obtidos nos dois *strain gauges* colados no corpo de prova com rasgo. No *strain gauge* 3 (SG3), localizado na parte lateral do corpo de prova verificou-se um valor de tensão de 109,54 MPa, no *strain gauge* 4 (SG4), localizado na parte cilíndrica do corpo de prova verificou-se um valor de tensão de 130,32 MPa. O valor inferior de tensão encontrado no *strain gauge* 3 era esperado, tendo em vista que o mesmo foi posicionado um pouco afastado do local da tensão máxima, devido a limitações de espaço no processo de colagem.

No entanto, o *strain gauge* 4 apresentou um valor de tensão muito próximo ao valor de tensão máxima obtido pela análise numérica. A Tabela 7 mostra os valores de tensão encontrados em cada *strain gauge* nas 3 medições realizadas no corpo de prova para os 3 carregamentos avaliados.

Tabela 7 - Valores de medição no corpo de prova com entalhe circular

Carregamento (N)	Medição 1 (MPa)		Medição 2 (MPa)		Medição 3 (MPa)		Tensão Média (MPa)	
1.000	11,5	SG3	11,3	SG3	11,4	SG3	11,4	SG3
	13,9	SG4	13,8	SG4	13,9	SG4	13,8	SG4
5.000	55,2	SG3	55,5	SG3	55,5	SG3	55,4	SG3
	66,9	SG4	67,3	SG4	66,9	SG4	67,0	SG4
10.000	108,1	SG3	108,2	SG3	108,3	SG3	108,2	SG3
	129,4	SG4	129,6	SG4	129,7	SG4	129,5	SG4

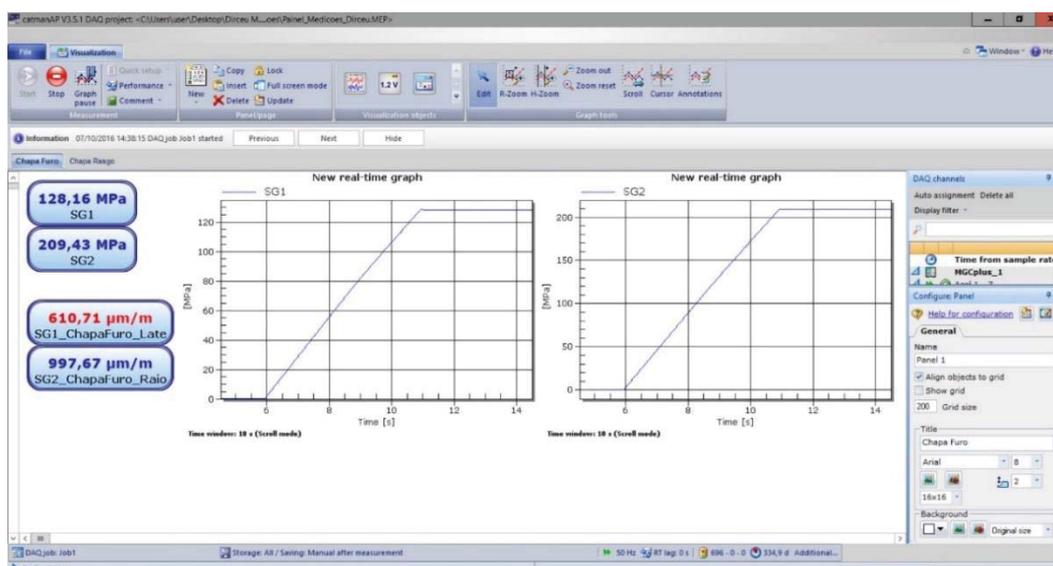
Fonte: Autor

Com os valores obtidos experimentalmente, tem-se condição de determinar o fator teórico de concentração de tensões para esta situação, relacionando a tensão máxima obtida experimentalmente com a tensão nominal calculada. A tensão nominal para esta situação, considerando uma área líquida de 100 mm^2 , é 100 MPa. Assim, o fator teórico de concentração de tensão é calculado dividindo-se a tensão máxima obtida experimentalmente de 129,5 MPa por 100 MPa, resultando em um $K_t = 1,29$.

4.3.2 Corpo de prova com furo

A Figura 63 mostra a tela do *software* Catman após a aplicação do carregamento de 10.000 N no corpo de prova com furo.

Figura 63 - Tela de medição corpo de prova com furo – carregamento 10.000 N



Fonte: Autor

A Figura 63 mostra os resultados de tensão obtidos nos dois *strain gauges* colados no corpo de prova com rasgo. No *strain gauge* 1 (SG1), localizado na parte lateral do corpo de prova verificou-se um valor de tensão de 128,16 MPa, no *strain gauge* 2 (SG2), localizado na parte cilíndrica do corpo de prova verificou-se um valor de tensão de 209,43 MPa. O valor inferior de tensão encontrado no *strain gauge* 1 era esperado, tendo em vista que o mesmo foi posicionado um pouco afastado do local da tensão máxima, devido a limitações de espaço no processo de colagem.

No entanto, o *strain gauge* 4 apresentou um valor de tensão muito próximo ao valor de tensão máxima obtido pela análise numérica. A Tabela 8 mostra os valores de tensão encontrados em cada *strain gauge* nas 3 medições realizadas no corpo de prova para os 3 carregamentos avaliados.

Tabela 8 - Valores de medição no corpo de prova com furo

Carregamento (N)	Medição 1 (MPa)		Medição 2 (MPa)		Medição 3 (MPa)		Tensão Média (MPa)	
100	13,7	SG1	13,5	SG1	13,7	SG1	13,6	SG1
	22,1	SG2	21,7	SG2	21,9	SG2	21,9	SG2
500	67,5	SG1	66,4	SG1	68,2	SG1	67,3	SG1
	108,8	SG2	106,9	SG2	108,9	SG2	108,2	SG2
1000	128,1	SG1	130,4	SG1	134,8	SG1	131,1	SG1
	209,4	SG2	211,1	SG2	215,8	SG2	212,1	SG2

Fonte: Autor

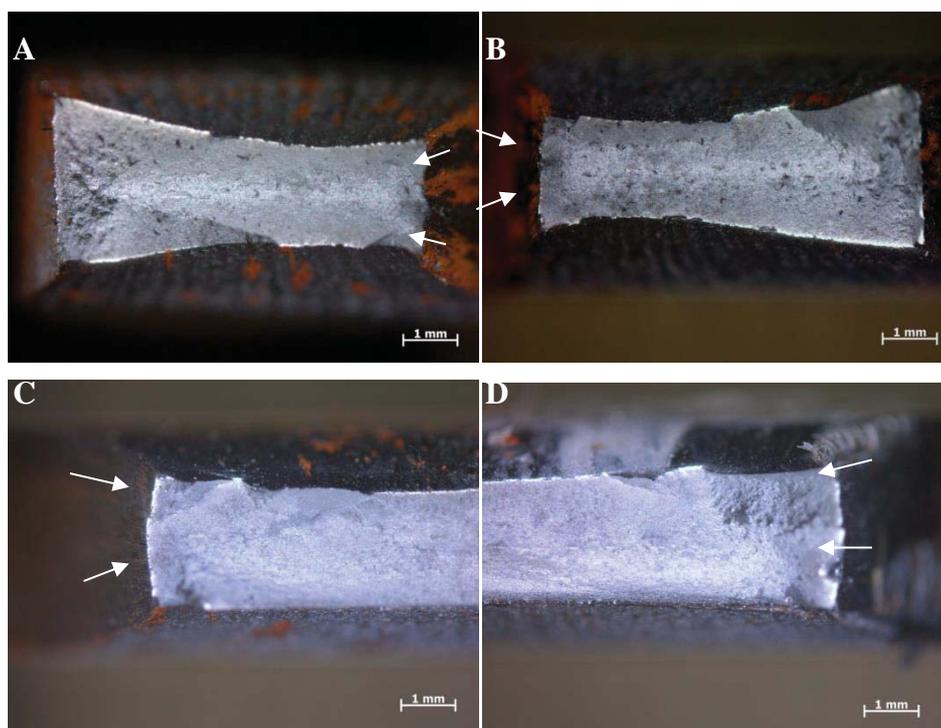
A tensão nominal para esta situação, considerando uma área líquida de 100 mm² do modelo, é 100 MPa. Assim, o fator teórico de concentração de tensão é calculado dividindo-se a tensão máxima obtida experimentalmente de 212,1 MPa por 100 MPa, resultando em um $K_t = 2,12$.

4.4 Resultados da análise de fratura

A superfície de fratura do corpo de prova com furo central indica uma restrição a deformação gerada pela geometria interna do furo. Na região indicada por setas (região interna do furo), conforme mostra a figura 64 (A e B), é possível verificar uma menor deformação, em relação ao restante da área fraturada, indicando um ponto de concentração de tensão para o corpo de prova com furação central.

A superfície de fratura do corpo de prova com entalhe circular lateral é apresentada na Figura 64 (C e D). É possível visualizar que o modo de fratura nas laterais do corpo de prova não foi modificado em relação a região centrais da fratura, marcando uma fratura uniforme. Este modo de fratura indica a presença de um baixo fator de concentração de tensões na lateral do corpo de prova

Figura 64 - Imagens dos corpos de prova com entalhe circular e com furo após o ensaio de tração



Fonte: Autor

4.5 Correlação dos resultados encontrados

A seguir são apresentados de forma comparativa os fatores de concentração de tensão obtidos através do programa computacional desenvolvido, em relação com as análises numéricas e medições experimentais realizadas.

Os valores obtidos estão demonstrados na Tabela 9 onde tem-se os valores dos fatores de concentração de tensão obtidos através do programa computacional desenvolvido (método analítico ou teórico), e os resultados obtidos através das análises numéricas (MEF), bem como a diferença percentual entre os resultados obtidos através dos dois métodos.

Tabela 9 - Valores de K_t Analíticos e numéricos

Tipo de peça	K_t Teórico	K_t MEF	Diferença (%)
Entalhe circular	1,43	1,41	1,40
Furo	2,18	2,12	2,75
Cilíndrico	1,21	1,27	4,95

Fonte: Autor

Percebe-se na Tabela 9 que as diferenças encontradas relacionando os fatores de concentração de tensões calculados pelo programa desenvolvido (coluna K_t Teórico) e os fatores obtidos através das análises de elementos finitos apresentaram uma diferença percentual muito pequena, mostrando a eficácia dos cálculos realizados pelo programa.

A Tabela 10 mostra os fatores de concentração de tensão obtidos através do programa computacional desenvolvido comparados com os resultados obtidos pelas medições experimentais.

Tabela 10 - Valores de K_t Analíticos e experimentais

Tipo de peça	K_t Teórico	K_t Experimental	Diferença (%)
Entalhe circular	1,43	1,29	9,8
Furo	2,18	2,12	2,75

Fonte: Autor

Percebe-se na Tabela 10 que as diferenças encontradas relacionando os fatores de concentração de tensões calculados pelo programa desenvolvido (coluna K_t Teórico) e os fatores obtidos através das análises experimentais realizadas apresentaram uma diferença percentual um pouco maior comparando com os resultados analíticos, mas ainda considerados muito pequenos, devido aos procedimentos experimentais apresentarem vários fatores que podem ocasionar tais diferenças, como configurações e setagens nos *softwares* de aquisição e tratamento de dados, colagem dos *strain gauges*, entre outros.

A Tabela 11 mostra os valores dos fatores de concentração de tensão obtidos através das análises numéricas (coluna MEF) bem como os resultados obtidos pelas medições experimentais para os corpos de prova com entalhe semicircular duplo oposto, e para o corpo de prova com furo circular, bem como a variação percentual entre as medições relativas aos dois métodos.

Tabela 11 - Valores de K_t Numéricos x experimentais.

Tipo de peça	K_t MEF	K_t Experimental	Diferença (%)
Entalhe circular	1,41	1,29	8,51
Furo	2,12	2,12	0,00

Fonte: Autor

Percebe-se na Tabela 11, que as diferenças encontradas relacionando os fatores de concentração de tensões calculados pelo método dos elementos finitos e os fatores obtidos através das análises experimentais realizadas apresentaram uma diferença percentual relativamente pequena, comparando com os resultados analíticos, pelos fatores já comentados anteriormente.

O resultado comparativo numérico e experimental do corpo de prova com furo não apresentou nenhuma diferença percentual, mostrando que o modelo numérico está representando bem o que ocorre na prática, validando todos os cálculos de concentradores de tensão realizados.

5 CONCLUSÕES

Neste último capítulo, inicialmente faz-se uma comparação entre os objetivos propostos e os efetivamente alcançados, tanto no que diz respeito ao objetivo geral quanto no que se refere aos objetivos específicos, visando chegar-se à conclusão se o trabalho atingiu estes objetivos, culminando com algumas sugestões para trabalhos que possivelmente possam vir a ser desenvolvidos futuramente.

5.1 Conclusões

Na proposta deste trabalho estavam propostos os seguintes objetivos:

Objetivo Geral:

Um programa que possibilitasse a obtenção de valores teóricos de fatores de concentração de tensão para diferentes formas geométricas de descontinuidades, com a utilização de equações previamente estabelecidas em bibliografia especializada.

Os objetivos específicos:

- a) Desenvolvimento um programa computacional de fácil interpretação e que pudesse ser editado, possibilitando livre acesso e que propusesse, quando possível, alternativas visando a minimização dos efeitos dos entalhes;
- b) Que se definisse uma linguagem de programação adequada para o desenvolvimento do programa.
- c) Que se fizesse um apanhado de equações especificamente desenvolvidas para as principais formas geométricas de descontinuidades geradoras de concentração de tensões.
- d) Que se realizassem simulações de cálculos para algumas descontinuidades através do programa desenvolvido neste trabalho, e paralelamente também, utilizando um *software* de análise de tensões baseado na teoria dos elementos finitos, bem como através de ensaios práticos, com o objetivo de confrontação dos resultados obtidos.

Conclui-se então, que o objetivo geral foi plenamente atingido, haja visto que o programa foi desenvolvido embasado em equações relacionadas em bibliografia especializada e consolidadas por inúmeras pesquisas através dos mais diferentes métodos e

processos por renomados pesquisadores ao longo das últimas décadas, conforme referências citadas no final do trabalho.

Com relação aos objetivos específicos:

- a) A proposta de um programa de fácil interpretação, que permitisse edição, livre acesso, e apresentasse quando possível, sugestões de minimização dos efeitos dos FCTs, considera-se também, foi plenamente atingida, o que se justifica pelo que segue, haja visto que o programa:
- É de fácil interpretação, pois seu resultado obtido para cada valor de FCT é de fácil leitura e disponibilizado ao lado da figura que representa o elemento, a descontinuidade e o esforço geradores do referido resultado.
 - Permite a edição e/ou exclusão de descontinuidades já cadastradas em seu banco de dados, bem como a inclusão de outras descontinuidades ainda não cadastradas. Tanto na edição quanto na inclusão de novas descontinuidades, as características fundamentais relativas aos FCTs, quais sejam, a forma da descontinuidade, o tipo de elemento onde a mesma está inserida, bem como o tipo de esforço atuante, são totalmente configuráveis conforme necessidade do usuário, podendo este acrescentar novas modalidades, nomenclaturas, grupos, formas de esforços que por ventura julgue necessário.
 - Terá livre acesso, pois foi totalmente desenvolvido embasado em linguagens e tecnologias disponibilizadas sob a forma de uso livre, ou modalidade “*open source*”, e pretende-se disponibilizar-se o mesmo via rede para uso gratuito.
 - Apresenta orientação para o estudante ou projetista iniciante a respeito de possíveis alternativas visando a minimização dos efeitos dos concentradores de tensão.
- b) Com relação às linguagens de programações adotadas para o desenvolvimento do programa, considera-se que foram adequadas, pois são linguagens atualizadas, em plena ascensão no que diz respeito ao índice de utilização das mesmas. Entretanto são linguagens leves, que assim como o banco de dados, ficam armazenados no lado servidor e quando acionadas, rodam sobre o navegador, exigindo assim baixíssima necessidade de performance por parte do lado usuário estando perfeitamente integradas às tendências e padrões dos aplicativos web atuais.

- c) As equações utilizadas foram obtidas a partir de bibliografia especializada, onde para cada descontinuidade dependendo do seu grau de complexidade, foi aplicada uma metodologia de determinação dos valores de FCT, sendo alguns poucos obtidos a partir de desenvolvimento dedutivo, e para as demais, a grande maioria, métodos práticos, tais como o método da fotoelasticidade, largamente empregado na construção de ábacos, e a partir destes, as equações propriamente ditas através de métodos matemáticos.

- d) Foram realizadas simulações numéricas e medições experimentais, afim de ampliar as informações para validar o programa computacional desenvolvido. As correlações realizadas no capítulo 4 mostraram uma ótima concordância entre o K_t analítico (programa desenvolvido), K_t numérico e K_t experimental, validando assim o programa.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

A informática, os computadores, os *softwares* e a Tecnologia da Informação de forma geral está a cada dia mais presente em nossas vidas seja no nosso trabalho, no nosso lazer, no transporte, na saúde, na educação, enfim, em toda e qualquer atividade que se possa imaginar.

As linguagens de programação são inúmeras, cada uma delas adequando-se mais a um ou a outro ramo de atividade.,

Entretanto, a informática possui uma versatilidade de tal ordem, que linguagens aparentemente desenvolvidas para determinados objetivos, permitem com alguma criatividade, o desenvolvimento de programas baratos (utilizando linguagens disponibilizadas gratuitamente na internet), relativamente simples, e com resultados que pouco ou nada deixam a desejar em relação aos *softwares* comerciais.

Dessa forma, e principalmente visando um maior envolvimento dos profissionais de engenharia nesta área tão fundamental que é a área da informática e suas ferramentas, fica como sugestão, o desenvolvimento de outros trabalhos no mesmo molde deste, ou seja: programas que atendam necessidades específicas das áreas de engenharia utilizando-se linguagens alternativas que não aquelas tradicionalmente utilizadas.

REFERÊNCIAS

AGAZZI, Evandro. **La logica simbolica**. Herder, Barcelona, 1986.

ALVES FILHO, Avelino. **Elementos Finitos**. São Paulo: Editora Érica, 2000.

ASCENCIO, Ana Fernanda Gomes; CAMPOS, Aparecida Veruchi de. **Fundamentos da programação de computadores**. 2ª ed., Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2007.

ASSAN, Aloisio Ernesto. **Método dos Elementos Finitos**. 2ª Edição, Campinas, SP, Ed. da Unicamp, 2003

BARSON, John M; ROLFE, Stanley, T. **Fracture-and-Fatigue-Control-in-Structures**. Third Edition, ASTM, USA, 1999

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Shigley's Mechanical Engineering Design**. Ninth Edition, New York: McGraw-Hill, Inc., 2011.

CARVALHO, Roberto Lins de; OLIVEIRA, Cláudia Maria G.M. de. **Modelos de Computação e Sistemas Formais**. Rio de Janeiro: DCC/IM, COPPE/Sistemas, NCE/UFRJ, 11a Escola de Computação, 1998.

CSS (“Cascading Style Sheets”) (Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Cascading_Style_Sheets> Acesso em: 23 dez. 2016).

DALLY, J. W. and Riley, W. F. **Experimental Stress Analysis**. Third Edition, New York: Mc Graw Hill, Inc., 1999

DAVIS, Michele E; PHILLIPS, Jon A. **Aprendendo PHP & MySQL**. Editora Alta Books. Rio de Janeiro. 2008.

FEDELI, Ricardo Daniel; POLLONI, Enrico Giulio Franco; PRES, Fernando Eduardo. **INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**. 2ª. Edição. Editora Cengage Learning Edições Ltda, São Paulo. 2010.

FONSECA FILHO, Clézio, **HISTÓRIA DA COMPUTAÇÃO: O CAMINHO DO PENSAMENTO E DA TECNOLOGIA**. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2007.

GARCIA, Manoel R.; ROMERO, Pedro M.; RODRIGO, Maria, D. M.; GIL, Ana Poy. **RESISTENCIA DE MATERIALES**. Universitat Du Jaume I, 2002

GORDON, J. E. **Structures or Why Things Don't Fall Down**. London: Penguin Books, 1987.

HALFORD, G. R. ; MANSON, S. S. **Fatigue and Durability of Structural Materials**. EUA: ASME International, 2006.

HARPER, Charles A. **Modern Plastics Handbook**. Technology Seminars, Inc. Lutherville, Maryland: McGraw-Hill Companies, 1999.

HEARN, E. J. **Mechanics of Materials 1, An Introduction to the Mechanics of Elastic and Plastic Deformation of Solids and Structural Materials**, Third edition, Butterworth Heinemann, United Kingdom 1997.

HTML (“HyperText Markup Language”) (Disponível em:
<<https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/HTML>>. Acesso em: 22 de dez. 2016).

JavaScript (Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Cascading_Style_Sheets> Acesso em: 22 de dez. 2016).

KO, William L. **Stress Analysis of B-52 Pylon Hooks for Carrying the X-38 Drop Test Vehicle**. NASA/TM-97-206218. Dryden Flight Research Center Edwards, California, 1997.

MACEDO, Marcelo da Silva. **INTEGRANDO FLASH COM PHP**. Editora Ciência Moderna Ltda. Rio de Janeiro. 2004.

MANZANO, José Augusto N. G.; LOURENÇO, André Evandro; MATOS, Ecivaldo. **ALGORITMOS Técnicas de Programação**. 2ª Edição. Editora Érica. São Paulo. 2015.

MANZANO, José Augusto N. G.; OLIVEIRA, Jayr Figueiredo. **ALGORITMOS** . 28ª Edição. Editora Érica. São Paulo. 2016.

MILETTO, Evandro Manara. BERTANGNOLLI, Silvia de Castro. **DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE II – INTRODUÇÃO AO DESENVOLVIMENTO WEB COM HTML, CSS, JAVASCRIPT E PHP**. Bookman Companhia Editora, Porto Alegre, 2014

MYER, Kutz. **Mechanical Engineers' Handbook**, Second Edition, EUA: Myer Kutz Associates, Inc., 1998

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas: Uma Abordagem**. Quarta edição, Brasil: Bookman Editora, 2011.

PILKEY, Walter D. **Peterson's Stress Concentration Factors**, 2nd ed. EUA: JOHN WILEY & SONS, INC., 1997.

PILKEY, Walter D.; Deborah F. **Peterson's Stress Concentration Factors**. Third Edition. JOHN WILEY & SONS, INC. EUA, 2008

PLUVINAGE, Guy, **Fracture and Fatigue Emanating from Stress Concentrators**. New York, 2004.

PORTELA, Artur; SILVA, Arlindo. **Mecânica dos Materiais**. Editora Plátano. Portugal, Lisboa, 1996.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de Software – Uma Abordagem Profissional**. 3ª Edição, Pearson Education do Brasil, Porto Alegre, 1995.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de Software – Uma Abordagem Profissional**. 7ª. Ed. Mc Graw Hill, Porto Alegre, 2011.

REZENDE, Denis Alcides. **Engenharia de Software e Sistemas de Informação**. 3ª. Edição, BRASPORT Livros e Multimídia Ltda, Rio de Janeiro, 2005

RICHARDS, Keith L. **Design Engineer's Handbook**. Ed. CRC Press, New York, 2013.

ROSA, Edison, **Análise de Resistência Mecânica de Peças e Componentes Estruturais**. Brasil: UFSC, 2002.

SAUOMA, Victor E. **FRACTURE MECHANICS**. EUA: University of Colorado, 2000.

SEARS, F. W.; ZEMANSKY, M. W. **FÍSICA**. Vol.2, 1ª Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., RJ, 1976

SILVA, Maurício Samy. **JavaScript GUIA DO PROGRAMADOR**. Novatec Editora, São Paulo, 2010.

SHIGLEY, Joseph Edward; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de engenharia mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

SOMMERVILLE, Ian. **Engenharia de software**. 8ª edição, Pearson Addison Wesley, São Paulo, 2007

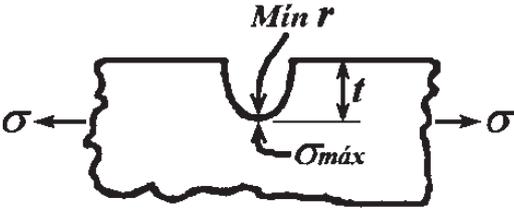
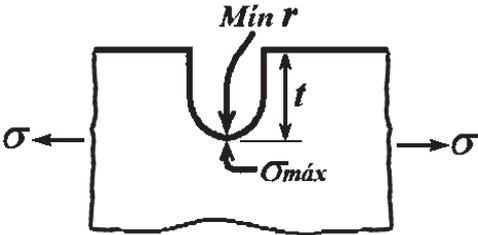
STEPHENS, Ralph I.; FATEMI, Ali; STEPHENS, Robert R.; FUCHS, Henry O. **Metal Fatigue In Engineering**. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc. USA, 2001

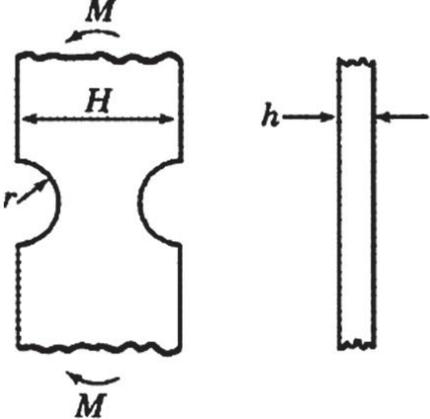
Tiobe -The Software Quality Company. Disponível em:
<http://www.tiobe.com/tiobe_index?page=index>. Acesso em: 29 jul. 2016.

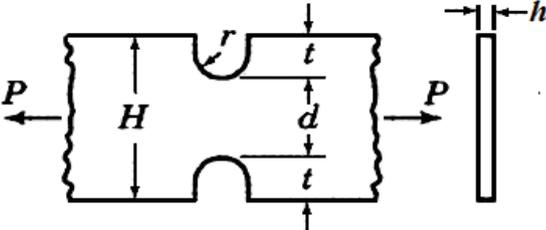
WIKIPEDIA. Disponível em:
< https://pt.wikipedia.org/wiki/Linguagem_de_programa%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em 29 jul 2016.

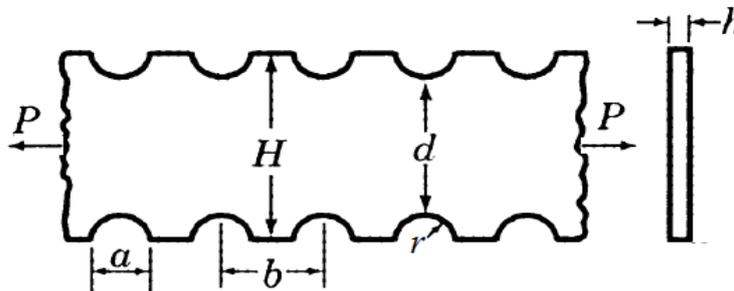
YOUNG, Warren C.; BUDYNAS. Richard G. **Roark's Formulas**. Seventh Edition, New York: McGraw-Hill, 2002

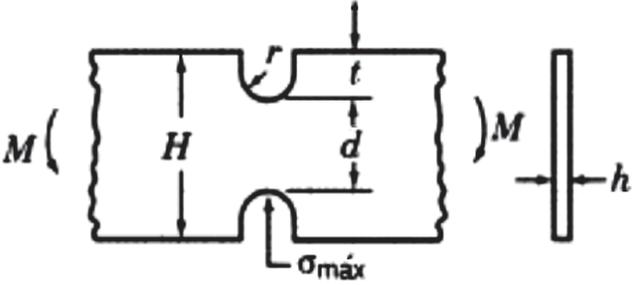
ANEXO 1 – ALGUMAS DESCONTINUIDADES E SUAS EQUAÇÕES DE FCT

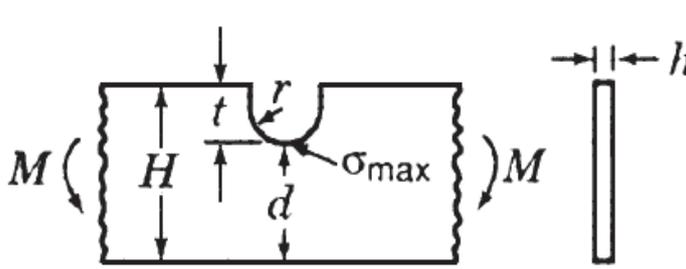
TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
ENTALHE SIMPLES ELÍPTICO	PLACA SEMI INFINITA	TRAÇÃO
 <p>Onde:</p> <p>K_{tg} = fator de concentração de tensão teórico líquido</p> <p>t - profundidade do entalhe</p> <p>r - raio do fundo do entalhe</p>		$K_{tg} = 0,855 + 2,21 \cdot \sqrt{t/r}$
ENTALHE SIMPLES EM U	PLACA SEMI INFINITA	TRAÇÃO
 <p>Onde:</p> <p>K_{tg} - fator de concentração de tensão teórico líquido</p> <p>$\sigma_{máx}$ - tensão normal máxima</p> <p>σ - tensão normal de referência</p> <p>t - profundidade do entalhe</p> <p>r - raio do fundo do entalhe</p>		$K_{tg} = 1 + 2 \cdot \sqrt{t/r}$ $K_{tg} = \sigma_{máx} / \sigma$
	ELEMENTO	ESFORÇO

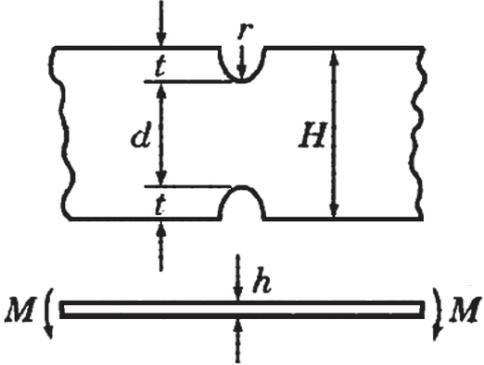
TIPO/ FORMA		
ENTALHE DUPLO OPOSTO SEMICIRCULAR	BARRA FINA	TRAÇÃO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{6M}{(H - 2r)^2 h}$
$K_{tn} = 3,065 - 6,637 \cdot \left(\frac{2r}{H}\right) + 8,229 \cdot \left(\frac{2r}{H}\right)^2 - 3,636 \cdot \left(\frac{2r}{H}\right)^3$		
<p>Onde:</p> <p>$\sigma_{m\acute{a}x}$-tensão normal máxima</p> <p>σ_{nom} –tensão normal nominal</p> <p>K_{tn} – FCT com base na área líquida</p> <p>r - raio de curvatura do entalhe.</p> <p>H-largura do elemento</p> <p>h-espessura do elemento</p> <p>M-momento flexor atuante</p>		

TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
ENTALHE DUPLO OPOSTO EM U	BARRA FINA	TRAÇÃO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{P}{hd}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^3$		
Para $0,1 \leq t/r \leq 2,0$: $C_1 = 0,955 + 2,169 \cdot \sqrt{t/r} - 0,081 \cdot \frac{t}{r}$ $C_2 = -1,557 - 4,046 \cdot \sqrt{t/r} + 1,032 \cdot \frac{t}{r}$ $C_3 = 4,013 + 0,424 \cdot \sqrt{t/r} - 0,748 \cdot \frac{t}{r}$ $C_4 = -2,461 + 1,538 \cdot \sqrt{t/r} - 0,236 \cdot \frac{t}{r}$	Para $2,0 \leq t/r \leq 50,0$: $C_1 = 1,037 + 1,991 \cdot \sqrt{t/r} + 0,002 \cdot \frac{t}{r}$ $C_2 = -1,886 - 2,181 \cdot \sqrt{t/r} - 0,048 \cdot \frac{t}{r}$ $C_3 = 0,649 + 1,086 \cdot \sqrt{t/r} - 0,142 \cdot \frac{t}{r}$ $C_4 = 1,218 - 0,922 \cdot \sqrt{t/r} - 0,086 \cdot \frac{t}{r}$	
Para entalhe circular ($t/r=1$) recai no caso 1.3: $K_t = 3,065 - 3,472 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right) + 1,009 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^2 + 0,405 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^3$		
$\sigma_{m\acute{a}x}$ - tensão normal máxima σ_{nom} - tensão normal nominal σ - tensão normal de referência K_{tg} - FCT com base na área bruta	K_{tn} - FCT com base na área líquida H - largura do elemento h - espessura do elemento C_1, C_2, C_3 e C_4 - coeficientes	

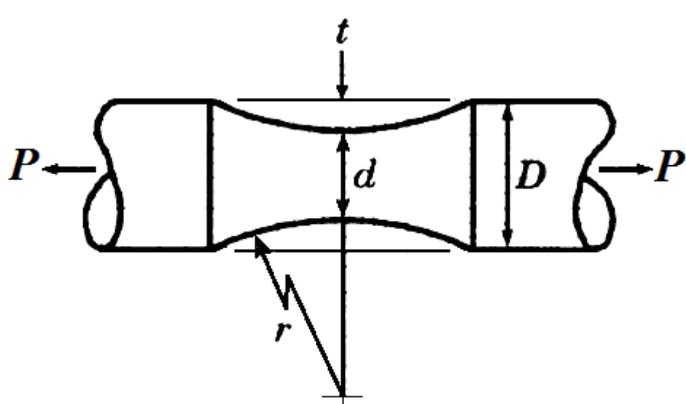
TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
ENTALHES MÚLTIPLOS OPOSTOS SEMICIRCULARES	BARRA FINA	FLEXÃO NO PLANO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{P}{hd}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{a}{b}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^3$		
<p>Para $a/H \leq 0,4$ e $0 \leq a/b \leq 1,0$:</p> $C_1 = 3,1055 - 3,4287 \left(\frac{a}{H}\right) + 0,8522 \left(\frac{a}{H}\right)^2$ $C_2 = -1,4270 + 10,5053 \left(\frac{a}{H}\right) - 8,7547 \left(\frac{a}{H}\right)^2 - 19,6273 \left(\frac{a}{H}\right)^3$ $C_3 = -1,6753 - 14,0851 \left(\frac{a}{H}\right) + 43,6575 \left(\frac{a}{H}\right)^2$ $C_4 = 1,7207 + 5,7974 \left(\frac{a}{H}\right) - 27,7463 \left(\frac{a}{H}\right)^2 + 6,0444 \left(\frac{a}{H}\right)^3$		
<p>Onde:</p> <p>K_{tn} – FCT com base na área líquida</p> <p>$\sigma_{m\acute{a}x}$ – tensão normal máxima</p> <p>σ_{nom} – tensão normal nominal</p> <p>P – esforço de tração</p> <p>H – largura do elemento</p> <p>h – espessura do elemento</p>	<p>r – raio de curvatura do entalhe</p> <p>a – largura do entalhe</p> <p>b – distância entre dois entalhes opostos</p> <p>d – distância entre o fundo de dois entalhes sucessivos</p> <p>C_1, C_2, C_3 e C_4 – coeficientes</p>	

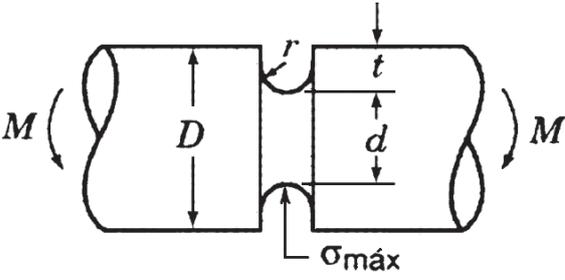
TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
ENTALHE DUPLO OPOSTO EM U	BARRA FINA	FLEXÃO NO PLANO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{6M}{hd^2}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^3$		
Para $0,1 \leq t/r \leq 2,0$:	Para $2,0 \leq t/r \leq 50,0$:	
$C_1 = 1,024 + 2,092 \cdot \sqrt{t/r} - 0,051 \cdot \frac{t}{r}$	$C_1 = 1,113 + 1,957 \cdot \sqrt{t/r}$	
$C_2 = -0,630 - 7,194 \cdot \sqrt{t/r} + 1,288 \cdot \frac{t}{r}$	$C_2 = -2,579 - 4,017 \cdot \sqrt{t/r} - 0,013 \cdot \frac{t}{r}$	
$C_3 = 2,117 + 8,574 \cdot \sqrt{t/r} - 2,160 \cdot \frac{t}{r}$	$C_3 = 4,100 + 3,922 \cdot \sqrt{t/r} + 0,083 \cdot \frac{t}{r}$	
$C_4 = -1,420 - 3,494 \cdot \sqrt{t/r} + 0,932 \cdot \frac{t}{r}$	$C_4 = -1,528 - 1,893 \cdot \sqrt{t/r} - 0,066 \cdot \frac{t}{r}$	
Para entalhe circular ($t/r=1$) recai no caso 1.3:		
$K_t = 3,065 - 6,637 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right) + 8,229 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^2 - 3,636 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^3$		
Onde:		
$\sigma_{m\acute{a}x}$ -tensão normal máxima	H - largura do elemento	
σ_{nom} – tensão normal nominal	h -espessura do elemento	
σ – tensão normal de referência	r -raio de curvatura do entalhe	
M -momento flexor aplicado	t -profundidade do entalhe	
K_{tg} – FCT com base na área bruta	d -distância entre o fundo dos entalhes	
K_{tn} – FCT com base na área líquida	C_1, C_2, C_3 e C_4 – coeficiente	

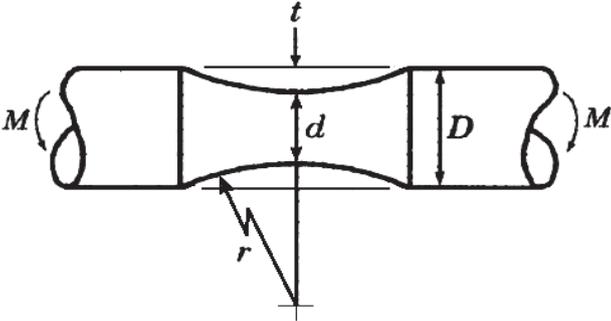
TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
ENTALHE SIMPLES EM U	BARRA FINA	FLEXÃO NO PLANO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{6M}{hd^2}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{t}{H}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{t}{H}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{t}{H}\right)^3$		
Para $0,1 \leq t/r \leq 2,0$	Para $2,0 \leq t/r \leq 20,0$:	
$C_1 = 1,795 + 1,481 \cdot \frac{t}{r} - 0,211 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^2$	$C_1 = 2,966 + 0,502 \cdot \frac{t}{r} - 0,009 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^2$	
$C_2 = -3,544 - 3,677 \cdot \frac{t}{r} + 0,578 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^2$	$C_2 = -6,475 - 1,126 \cdot \frac{t}{r} + 0,019 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^2$	
$C_3 = 5,549 + 3,691 \cdot \frac{t}{r} - 0,565 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^2$	$C_3 = 8,023 + 1,253 \cdot \frac{t}{r} - 0,020 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^2$	
$C_4 = -2,678 - 1,531 \cdot \frac{t}{r} + 0,205 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^2$	$C_4 = -3,572 - 0,634 \cdot \frac{t}{r} + 0,010 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)^2$	
Para entalhe circular ($t/r=1$) recai no caso 1.3:		
$K_t = 3,065 - 6,643 \cdot \left(\frac{t}{H}\right) + 0,205 \cdot \left(\frac{t}{H}\right)^2 - 4,004 \cdot \left(\frac{t}{H}\right)^3$		
Onde:		
σ_{\max} -tensão normal máxima	h -espessura do elemento	
σ_{nom} - tensão normal nominal	r -raio de curvatura do entalhe	
K_{tn} - FCT com base na área líquida	t -profundidade do entalhe	
M - momento flexor no plano do entalhe	d -distância entre o fundo do e o lado oposto do elemento	
H - largura do elemento	C_1, C_2, C_3 e C_4 - coeficientes	

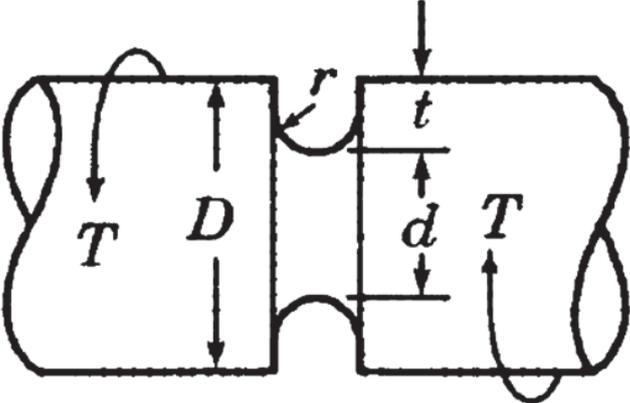
TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
ENTALHE DUPLO OPOSTO EM U	BARRA FINA	FLEXÃO PERPENDICULAR AO PLANO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{6M}{hd^2}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^3$		
<p>Para $0,1 \leq t/r \leq 5,0$:</p> $C_1 = 1,041 + 0,839 \cdot \sqrt{t/r} + 0,014 \cdot (t/r)$ $C_2 = -1,239 - 1,663 \cdot \sqrt{t/r} + 0,118 \cdot (t/r)$ $C_3 = 3,370 - 0,758 \cdot \sqrt{t/r} + 0,434 \cdot (t/r)$ $C_4 = -2,162 + 1,582 \cdot \sqrt{t/r} - 0,606 \cdot (t/r)$		
<p>Para entalhe semicircular ($t/r=1$):</p> $K_{tn} = 1,894 - 2,784 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right) + 3,046 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^2 - 1,186 \cdot \left(\frac{2t}{H}\right)^3$		
<p>Onde:</p> <p>$\sigma_{m\acute{a}x}$ – tensão normal máxima</p> <p>σ_{nom} – tensão normal nominal</p> <p>σ – tensão normal de referência</p> <p>K_{tg} – FCT com base na área bruta</p> <p>K_{tn} – FCT com base na área líquida</p>	<p>M – momento flexor perpendicular ao plano do entalhe</p> <p>H – largura do elemento</p> <p>h – espessura do elemento</p> <p>r – raio de curvatura dos entalhes</p> <p>t – profundidade dos entalhes</p>	

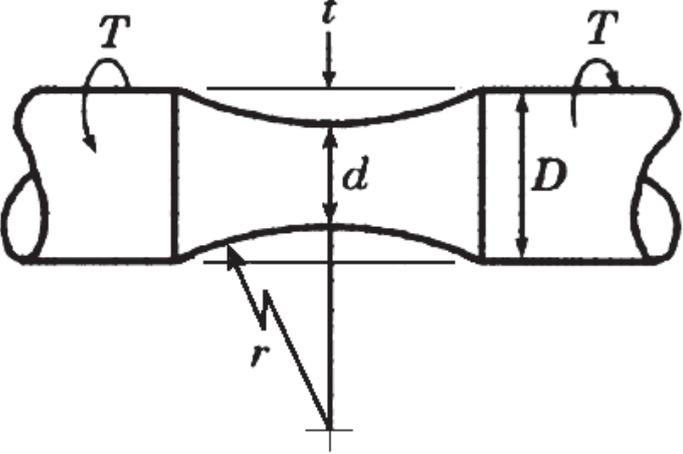
	d – distância entre os fundos dos entalhes
--	--

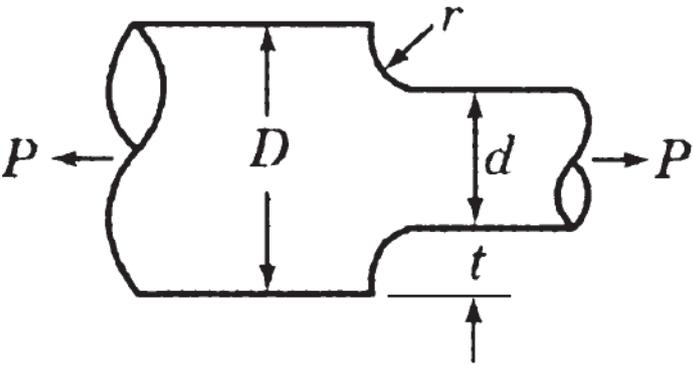
TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
RANHURA CIRCUNFERENCIAL EM U	SEÇÃO CILÍNDRICA	TRAÇÃO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{4P}{\pi d^2}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{r}{d}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{r}{d}\right)^2$		
Para $0,3 \leq r/d \leq 1,0$ e $1,005 \leq D/d \leq 1,10$:		
$C_1 = -81,39 + 153,10 \cdot \left(\frac{D}{d}\right) - 70,49 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2$		
$C_2 = 119,64 - 221,81 \cdot \left(\frac{D}{d}\right) + 101,93 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2$		
$C_3 = -57,88 + 107,33 \cdot \left(\frac{D}{d}\right) - 49,34 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2$		

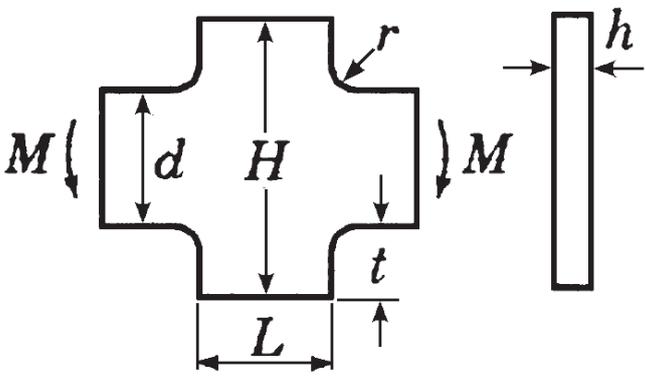
TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
RANHURA CIRCUNFERENCIAL EM U	SEÇÃO CILÍNDRICA	FLEXÃO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{32M}{\pi d^3}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^3$		
<p>Para $0,25 \leq t/r \leq 2,0$:</p> $C_1 = 0,594 + 2,958 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,520 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_2 = 0,422 - 10,545 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 2,692 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_3 = 0,501 + 14,375 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 4,486 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_4 = -0,613 - 6,573 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 2,177 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$	<p>Para $2,0 \leq t/r \leq 50,0$:</p> $C_1 = 0,965 + 1,926 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}}$ $C_2 = -2,773 - 4,414 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,017 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_3 = 4,785 + 4,681 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,096 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_4 = -1,995 - 2,241 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,074 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$	
<p>Para ranhura semicircular ($t/r=1$):</p> $K_{tn} = 3,032 - 7,431 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^3$		

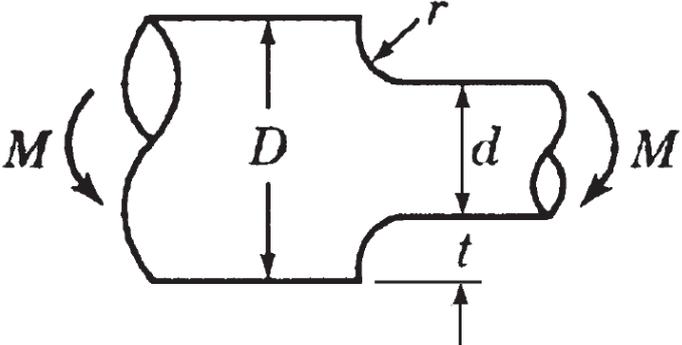
TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
RANHURA CIRCUNFERENCIAL EM U	SEÇÃO CILÍNDRICA	FLEXÃO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{32M}{\pi d^3}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{r}{d}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{r}{d}\right)^2$		
<p>Para $0,3 \leq r/d \leq 1,0$ e $1,005 \leq D/d < 1,10$:</p> $C_1 = -39,58 + 73,22 \cdot (D/d) - 32,46 \cdot (D/d)^2$ $C_2 = -9,477 + 29,41 \cdot (D/d) - 20,13 \cdot (D/d)^2$ $C_3 = 82,46 - 166,93 \cdot (D/d) + 84,58 \cdot (D/d)^2$		

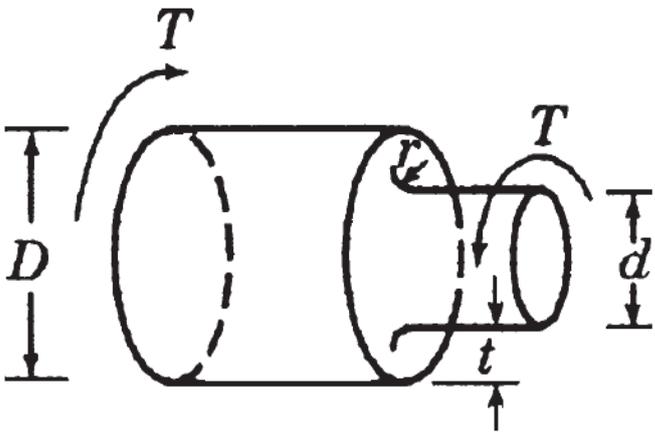
TIPO/ FORMA RANHURA CIRCUNFERENCIAL EM U	ELEMENTO SEÇÃO CILÍNDRICA	ESFORÇO TORÇÃO
		$K_{ts} = \frac{\tau_{\text{máx}}}{\tau_{\text{nom}}}$ $\tau_{\text{nom}} = \frac{16T}{\pi d^3}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^3$		
<p>Para $0,25 \leq t/r \leq 2,0$:</p> $C_1 = 0,966 + 1,056 \cdot \sqrt{t/r} - 0,022 \cdot \frac{t}{r}$ $C_2 = -0,192 - 4,037 \cdot \sqrt{t/r} + 0,674 \cdot \frac{t}{r}$ $C_3 = 0,808 + 5,321 \cdot \sqrt{t/r} - 1,231 \cdot \frac{t}{r}$ $C_4 = -0,567 - 2,364 \cdot \sqrt{t/r} + 0,566 \cdot \frac{t}{r}$	<p>Para $2,0 \leq t/r \leq 50,0$:</p> $C_1 = 1,089 + 0,924 \cdot \sqrt{t/r}$ $C_2 = -1,504 - 2,141 \cdot \sqrt{t/r} - 0,047 \cdot \frac{t}{r}$ $C_3 = 2,486 + 2,289 \cdot \sqrt{t/r} + 0,091 \cdot \frac{t}{r}$ $C_4 = -1,056 - 1,104 \cdot \sqrt{t/r} - 0,059 \cdot \frac{t}{r}$	
<p>Para uma ranhura semicircular ($t/r=1$):</p> $K_{tn} = 2,000 + 3,555 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right) + 4,898 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^2 + 2,365 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^3$		

TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
RANHURA CIRCUNFERENCIAL EM U	SEÇÃO CILÍNDRICA	TORÇÃO
		$K_{ts} = \frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{nom}}$ $\tau_{nom} = \frac{16T}{\pi d^3}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{r}{d}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{r}{d}\right)^2$		
<p>Para $0,3 \leq r/d \leq 1,0$ e $1,005 \leq D/d < 1,10$</p> $C_1 = -35,16 + 67,57 \cdot \left(\frac{D}{d}\right) - 31,28 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2$ $C_2 = 79,13 - 148,37 \cdot \left(\frac{D}{d}\right) + 69,09 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2$ $C_3 = -50,34 + 94,67 \cdot \left(\frac{D}{d}\right) - 44,26 \cdot \left(\frac{D}{d}\right)^2$		

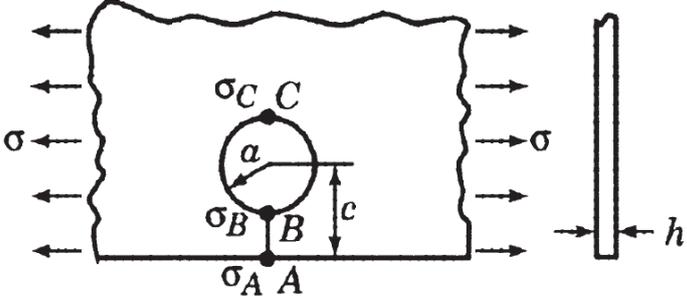
TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
OMBRO CIRCUNFERENCIAL	CILÍNDRICO	TRAÇÃO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{4P}{\pi d^2}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^3$		
<p>Para $0,1 \leq t/r \leq 2,0$</p> $C_1 = 0,926 + 1,157 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,099 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_2 = 0,012 - 3,036 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,961 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_3 = -0,302 + 3,977 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 1,744 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_4 = -0,365 - 2,098 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,878 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$	<p>Para $2,0 \leq t/r \leq 20,0$</p> $C_1 = 1,200 + 0,860 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,022 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_2 = -1,805 - 0,346 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,038 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_3 = 2,198 - 0,486 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,165 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_4 = -0,593 - 1,028 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,106 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$	

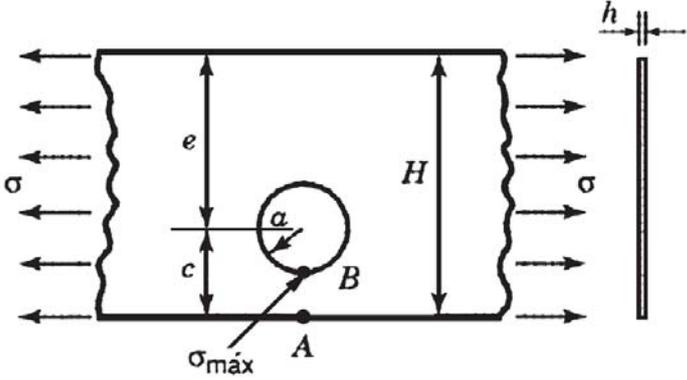
TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
OMBROS OPOSTOS	CHAPA FINA	FLEXÃO NO PLANO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{4P}{\pi d^2}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^3$ <p>Onde:</p> $\frac{L}{H} \geq 2,05 \left(\frac{r}{d} - 0,025\right) + 2,0$		
<p>Para $0,1 \leq t/r \leq 2,0$</p> $C_1 = 1,006 + 0,967 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,013 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_2 = -0,270 - 2,372 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,708 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_3 = 0,662 + 1,157 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,908 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_4 = -0,405 + 0,249 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,200 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$	<p>Para $2,0 \leq t/r \leq 20,0$</p> $C_1 = 1,058 + 1,002 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,038 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_2 = -3,652 + 1,639 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,436 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_3 = 6,170 - 5,687 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 1,175 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_4 = -2,558 + 3,046 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,701 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$	

TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
OMBRO CIRCUNFERENCIAL	CILÍNDRICO	FLEXÃO
		$K_{tn} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{nom}}$ $\sigma_{nom} = \frac{32M}{\pi d^3}$
$K_t = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^3$		
Para $0,1 \leq t/r \leq 2,0$ $C_1 = 0,947 + 1,206 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,131 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_2 = 0,022 - 3,405 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,915 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_3 = 0,869 + 1,777 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,555 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_4 = -0,810 + 0,422 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,260 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$		Para $2,0 \leq t/r \leq 20,0$ $C_1 = 1,232 + 0,832 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,008 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_2 = -3,813 + 0,968 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,260 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_3 = 7,423 - 4,868 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,869 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_4 = -3,839 + 3,070 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,600 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$

TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
OMBRO CIRCUNFERENCIAL	CILÍNDRICO	TORÇÃO
		$K_{ts} = \frac{\tau_{\max}}{\tau_{nom}}$ $\tau_{nom} = \frac{16T}{\pi d^3}$
$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{2t}{D}\right)^3$		
<p>Para $0,25 \leq t/r \leq 4,0$:</p> $C_1 = 0,905 + 0,783 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,075 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_2 = -0,437 - 1,969 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,553 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_3 = 1,557 + 1,073 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} - 0,578 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$ $C_4 = -1,061 + 0,171 \cdot \sqrt{\frac{t}{r}} + 0,086 \cdot \left(\frac{t}{r}\right)$		

TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
FURO CIRCULAR CENTRAL	PLACA FINA FINITA	TRAÇÃO
		$K_{tg} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma}$ $\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_A$ $K_{tn} = K_{tg} \left(1 - \frac{d}{H}\right)$
$K_{tg} = 0,284 + \frac{2}{\left(1 - d/H\right)} - 0,600 \cdot \left(1 - d/H\right) + 1,32 \cdot \left(1 - d/H\right)^2$		
$K_{tn} = 2 + 0,284 \cdot \left(1 - d/H\right) - 0,600 \cdot \left(1 - d/H\right)^2 + 1,32 \cdot \left(1 - d/H\right)^3$		
Para grandes valores de H (painel infinito):		
$\sigma_{m\acute{a}x} = K_t \cdot \sigma_1 \quad \sigma_A = 3 \cdot \sigma_1 \quad K_t = 3 \quad \sigma_B = -\sigma_1 \quad K_t = -1$		

TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
FURO CIRCULAR PRÓXIMO À LATERAL	PLACA FINA SEMI-INFINITA	TRAÇÃO
		$K_{tgA} = \frac{\sigma_A}{\sigma}$ $K_{tgB} = \frac{\sigma_B}{\sigma}$ $K_{tgC} = \frac{\sigma_C}{\sigma}$
$K_{tgA} = 0,99619 - 0,43879 \cdot (a/c) - 0,0613028 \cdot (a/c)^2 - 0,48941 \cdot (a/c)^3$		
$K_{tgB} = 3,0004 + 0,083503 \cdot (a/c) + 7,3417 \cdot (a/c)^2 - 38,046 \cdot (a/c)^3 + 106,037 \cdot (a/c)^4 - 130,133 \cdot (a/c)^5 + 65,065 \cdot (a/c)^6$		
$K_{tgC} = 2,9943 + 0,54971 \cdot (a/c) - 2,32876 \cdot (a/c)^2 + 8,9718 \cdot (a/c)^3 - 13,344 \cdot (a/c)^4 + 7,1452 \cdot (a/c)^5$		
<p>K_{tn} com base na seção A – B com carga = $\sigma_C \cdot h \cdot \sqrt{1 - (a/c)^2}$:</p> $K_{tn} = \frac{\sigma_B}{\sigma_{liqA-B}} = \frac{\sigma_B \cdot (1 - a/c)}{\sigma \cdot \sqrt{1 - (a/c)^2}}$		

TIPO/ FORMA	ELEMENTO	ESFORÇO
FURO CIRCULAR PRÓXIMO À LATERAL	PLACA FINA FINITA	TRAÇÃO
		$K_{tg} = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma}$ $\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_B = K_{tn} \cdot \sigma_{nom}$
$\sigma_{nom} = \frac{\sigma \cdot \sqrt{1 - (a/c)^2}}{1 - a/c} \cdot \frac{1 - (c/H)}{1 - (c/H)[2 - \sqrt{1 - (a/c)^2}]}$		
$K_{tg} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{a}{c}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{a}{c}\right)^2 + C_4 \cdot \left(\frac{a}{c}\right)^3$		$K_{tn} = C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{a}{c}\right) + C_3 \cdot \left(\frac{a}{c}\right)^2$
$C_1 = 2,9969 - 0,0090 \left(\frac{c}{e}\right) + 0,01338 \left(\frac{c}{e}\right)^2$ $C_2 = 0,1217 + 0,5180 \left(\frac{c}{e}\right) - 0,5297 \left(\frac{c}{e}\right)^2$ $C_3 = 0,5565 + 0,7215 \left(\frac{c}{e}\right) + 0,6153 \left(\frac{c}{e}\right)^2$ $C_4 = 4,082 + 6,0146 \left(\frac{c}{e}\right) - 3,9815 \left(\frac{c}{e}\right)^2$		$C_1 = 2,989 - 0,0064 \left(\frac{c}{e}\right)$ $C_2 = -2,872 + 0,095 \left(\frac{c}{e}\right)$ $C_3 = 2,348 + 0,196 \left(\frac{c}{e}\right)$
Para $e/c = \infty$ usar as equações para placa semi-infinita (caso anterior)		

ANEXO 2 – CÓDIGO FONTE DO PROGRAMA

```

<?php
session_start();
if($_POST['updateSession']) {
    $_SESSION['sess'] = $_POST['updateSession'];
    die();
}
/**
 * Descrever o código
 */
include_once '../services/common/dao.php';
include_once '../services/common/layout.php';
include_once '../services/common/waterspark.php';

$layout = new Layout();
$dao = new Dao();
$dao->connect();
$dao->setEncode("utf8");
if($_POST['ajax']) {
    $equacaoId = $_POST['equacao_id'];
    $result = $dao->select("imagem, equacao", "equacoes", "equacao_id='{$equacaoId}'");
    $lin = mysqli_fetch_assoc($result);
    echo "{\"imagem\":\"{$lin['imagem']}\",\"equacao\":\"{$lin['equacao']}\"}";
    die();
}

if($_POST['btnsubmit'] || $_POST['update']) {
    $uploaddir = getcwd().DIRECTORY_SEPARATOR.'imagens_desc/';
    $uploadfile = $uploaddir . basename($_FILES['imagemBD']['name']);
    $uploadfile = str_replace("\\", DIRECTORY_SEPARATOR, $uploadfile);
    $arquivo = $_FILES['imagemBD']['tmp_name'];
    $arquivo = str_replace("\\", DIRECTORY_SEPARATOR, $arquivo);
    $arquivo2 = $_FILES['imagemBD_eq_'. $_POST['equacao_id_edit']]['tmp_name'];
    $arquivo2 = str_replace("\\", DIRECTORY_SEPARATOR, $arquivo2);
    /*echo "<pre>
    ".$uploadfile;
    print_r($_POST);
    print_r($_FILES);
    echo $arquivo."
    </pre>";*/
    if (move_uploaded_file($arquivo, $uploadfile)
        || move_uploaded_file($arquivo2, $uploadfile)) {
        if($_POST['grupo_id_eq'] || $_POST['grupo_id']) {
            if($_POST['update']) { //update com nova imagem selecionada
                $response = $dao->update("equacoes", "grupo_id = '{$_POST['grupo_id_eq']}',
                equacao='{$_POST['equacao']}',
                imagem='{$_FILES['imagemBD_eq_'. $_POST['equacao_id_edit']]['name']}'",
                equacao_id = '{$_POST['equacao_id_edit']}'");
                $sid = $_POST['equacao_id_edit'];
            }
        }
    }
}

```

```

    } else {
        $response = $dao->insert("equacoes", "grupo_id, equacao, imagem",
        ""{$_POST['grupo_id_eq']}','{$_POST['equacao']}','{$_FILES['imagemBD']['name']}");
        $id = $dao->last_id();
    }
}
if($response) {
    $ERRmsg = "$('#tr_'+{$id}).css({'background-color': '#33AA33'}).animate({'
background-color': '#FFFFFF' }, 5000)";
} else {
    $ERRmsg = "$('#tr_'+{$id}).css({'background-color': '#AA3333'}).animate({'
background-color': '#FFFFFF' }, 5000)";
}
} else {
    if($_POST['update']) { //update sem imagem selecionada
        if($_POST['grupo_id_eq']) {
            $response = $dao->update("equacoes", "grupo_id = '{$_POST['grupo_id_eq']}',
equacao='{$_POST['equacao']}'", " equacao_id = '{$_POST['equacao_id_edit']}'");
        }
        if($response) {
            $ERRmsg = "$('#tr_'+{$_POST['equacao_id_edit']}).css({'background-
color': '#33AA33'}).animate({' background-color': '#FFFFFF' }, 5000)";
        } else {
            $ERRmsg = "$('#tr_'+{$_POST['equacao_id_edit']}).css({'background-
color': '#AA3333'}).animate({' background-color': '#FFFFFF' }, 5000)";
        }
    } else {
        echo "Possível ataque de upload de arquivo!\n";
    }
}
}

if($_POST['deletar']) {
    $response = $dao->delete($_POST['tabela'], $_POST['deletar']);
    if($response) {
        // echo "OK";
    } else {
        echo "ERRO";
    }
}

if($_POST['btnsubmit2']) {
    $response = $dao->insert("grupo", "grupo_id_pai, grupo_nome, grupo_elemento,
grupo_esforco",
    ""{$_POST['grupo_id_pai']}','{$_POST['grupo_nome']}','{$_POST['grupo_elemento']}','{$_
_POST['grupo_esforco']}");
    if($response) {
        echo "OK";
    } else {
        echo "ERRO";
    }
}

```

```

    }
}

if($_POST['updateGroups']) {
    $response = $dao->update("grupo",
        "grupo_id_pai='{$_POST['grupo_id_pai']}', grupo_nome='{$_POST['grupo_nome']}',
        grupo_elemento='{$_POST['grupo_elemento']}',
        grupo_esforco='{$_POST['grupo_esforco']}'",
        "grupo_id='{$_POST['grupo_id']}'");
    if($response) {
        $resSelect = $dao->select("grupo_nome", "grupo", "grupo_id_pai IS NULL AND
        grupo_id = '{$_POST['grupo_id_pai']}'");
        $lin = mysqli_fetch_assoc($resSelect);
        $return = array('retorno' => 'OK',
            'grupo_nome' => $lin['grupo_nome'],
            'nome' => $_POST['grupo_nome'],
            'grupo_elemento' => $_POST['grupo_elemento'],
            'grupo_esforco' => $_POST['grupo_esforco'],
            'id' => $_POST['grupo_id']);
        echo json_encode($return);
    } else {
        echo '{"retorno":"ERRO"}';
    }
}
die();
}

?>
<html>
<head>
    <!-- Latest compiled and minified CSS -->
    <link rel="stylesheet" href="css/bootstrap.min.css">

    <!-- Optional theme -->
    <link rel="stylesheet" href="css/bootstrap-theme.min.css">
    <link rel="stylesheet" href="css/bootstrap-select.min.css">

    <!-- Latest compiled and minified JavaScript -->
    <script src="js/jquery.min.js"></script>

    <!-- Latest compiled and minified JavaScript -->
    <script src="js/bootstrap.min.js"></script>
    <script src="js/bootstrap-select.min.js"></script>
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="js/DataTables/datatables.min.css"/>
    <script type="text/javascript" src="js/DataTables/datatables.min.js"></script>
    <style>
        .bordered {
            border: 1px solid #ddd;
            border-top: none;
            padding: 15px;
        }
    }

```

```

#main {
  background-color:#FFF;
  width:50em;
  font-family:sans-serif;
}

.code {
  padding-left:2em;
  font-family:monospace;
}

.formulaeditorinput {
  margin-right: 2em;
}

#divEquacao {
  font-size: 25px;
  font-weight: bold;
}

#resultado {
  font-size: 25px;
  font-weight: bold;
}
</style>
<script>
function montaCalculo(id) {
  $.ajax({
    url: "index.php",
    type: "post",
    data: "ajax=1&equacao_id=" + id,
    dataType: 'json',
    async: false
  }).done(function (retorno) {
    var a = retorno.equacao.split("{}");
    //console.log(a);
    var b = [];
    var c = [];
    var b = [];
    var j = 0;
    for(var i in a) {
      b = a[i].split("{}");
      if(b.length > 1) {
        for(var i in b) {
          if(b[i].search(":::") < 0) {
            b.pop();
          } else {
            c[j++] = b[i];
          }
        }
      }
    }
  });
}
</script>

```

```

    }
  } else if(b) {
    if(b[0].search(":::") < 0) {
      b.pop();
    } else {
      c[j++] = b[0];
    }
  }
}
}
var uniqueNames = [];
$.each(c, function(i, el){
  if($.inArray(el, uniqueNames) === -1) uniqueNames.push(el);
});
$("#variaveis").empty();
$("#vars").val(c);
$("#equation").val(retorno.equacao);
var equacaoImprime = retorno.equacao
for (var i in c) {
  var tmp = c[i].split(":::");
  equacaoImprime = equacaoImprime.replace("{ "+c[i]+" }",tmp[0]);
}
for (var i in uniqueNames) {
  var tmp = uniqueNames[i].split(":::");
  var tr = $("<tr />");
  $("<td
                                                                    class='tittle'>" +tmp[0]+"
<sub>(" +tmp[1]+")</sub></td>").appendTo(tr);
  var td = $("<td />");
  $("<input type='text' name='"+tmp[0]+" id='"+tmp[0]+" />").appendTo(td);
  td.appendTo(tr);
  if(i==0) {
    $("<td id='resultado' rowspan='"+uniqueNames.length+" />").appendTo(tr);
  }
  tr.appendTo("#variaveis");
}
$("#imagem").attr({"src":"imagens_desc/"+retorno.imagem});
$("#divEquacao").html(retorno.equacao);
$("#divEquacao").html(equacaoImprime);
$("#calcular").css({"display":""});
});
}

function calcular(){
  var vars = $("#vars").val().split(",");
  var equation = $("#equation").val();
  for(var i in vars) {
    var var_ = vars[i].split(":::");
    var valor = $("#"+var_[0]).val();
    equation = equation.replace("{ "+vars[i]+" }",valor);
  }
  var eq = equation.split("=");

```

```

var result = parseFloat(eval(eq[1]));
$("#resultado").html(eq[0]+" = "+result.toFixed(6));
}

function editar(id) {
  if($(".editing_"+id).css("display") == "none") {
    $(".values_"+id).hide();
    $(".editing_"+id).show();
  } else {
    $(".values_"+id).show();
    $(".editing_"+id).hide();
  }
}

function updateGroups(id) {
  var id_pai = $("#grupo_id_pai_"+id).val();
  var nome = $("#nome_"+id).val();
  var grupo_elemento = $("#grupo_elemento_"+id).val();
  var grupo_esforco = $("#grupo_esforco_"+id).val();
  $.ajax({
    url: "index.php",
    type: "post",
    data: "updateGroups=1&grupo_id="+id + "id
+&grupo_id_pai="+id_pai+"&grupo_nome="+nome+"&grupo_elemento="+grupo_elemento+
&grupo_esforco="+grupo_esforco,
    async: false,
    dataType: 'json'
  }).done(function (retorno) {
    $("#grupo_nome_val_"+retorno.id).html(retorno.grupo_nome);
    $("#nome_val_"+retorno.id).html(retorno.nome);
    $("#grupo_elemento_val_"+retorno.id).html(retorno.grupo_elemento);
    $("#grupo_esforco_val_"+retorno.id).html(retorno.grupo_esforco);
    $("#tr_gr_"+id).css({'background-color': '#33AA33'}).animate({'backgroundColor'
: '#FFFFFF' }, 5000)
    editar(retorno.id);
  });
}

function editarEquacao(id) {
  if($(".editing_eq_"+id).css("display") == "none") {
    $(".values_eq_"+id).hide();
    $(".editing_eq_"+id).show();
  } else {
    $(".values_eq_"+id).show();
    $(".editing_eq_"+id).hide();
  }
}

function updateEquacao(id) {
  $("#grupo_id_eq").val($("#grupo_id_eq_"+id).val());
}

```

```

    $("#equacao").val($("#equacao_eq_"+id).val());
    $("#imagemBD_eq_"+id).appendTo("#form");
    $("#equacao_id_edit").val(id);
    $("<input type='hidden' name='update' value='"+id+"'>").appendTo("#form");
    $("#form").submit();
}

function updateSession(sess) {
    $.ajax({
        url: "index.php",
        type: "post",
        data: "updateSession="+sess,
        async: false
    });
}
</script>
</head>
<body>
    <div class="col-md-12">
        <ul id="menu" class="nav nav-tabs">
            <li role="presentation" class="active"><a id="graficoLink" href="#grafico"
onclick="updateSession('graficoLink')"
onkeyup="updateSession('graficoLink')">Cálculos</a></li>
            <li
role="presentation"><a id="cadastroEquacoesLink" href="#cadastroEquacoes"
onclick="updateSession('cadastroEquacoesLink')"
onkeyup="updateSession(2)">Equações</a></li>
            <li role="presentation"><a id="cadastroGruposLink" href="#cadastroGrupos"
onclick="updateSession('cadastroGruposLink')"
onkeyup="updateSession('cadastroGruposLink')">Grupos</a></li>
            <li
role="presentation"><a id="fctLink" href="#fct"
onclick="updateSession('fctLink')"
onkeyup="updateSession('fctLink')">Redução
FCT</a></li>
            <li
role="presentation"><a id="ajudaLink" href="#ajuda"
onclick="updateSession('ajudaLink')"
onkeyup="updateSession('ajudaLink')">Ajuda</a></li>
        </ul>
        <div id="conteudo" class="tab-content bordered">
            <div id="grafico" class="tab-pane fade in active" style="min-height:
600px;">
                <select type="text" name="equacao_id" id="equacao_id" class="selectpicker"
data-live-search="true" data-width="auto" onchange="montaCalculo(this.value)">
                    <option value="">Selecione</option>
                <?php
                $res = $dao->select("*, "equacoes JOIN grupo USING(grupo_id)", "");
                while($lin = mysqli_fetch_assoc($res)) {
                    echo "
                    <option value='{ $lin['equacao_id']}'
                    data-
subtext='{ $lin['grupo_elemento']}'
                    { $lin['grupo_esforco']}'>{ $lin['grupo_nome']}</option>";
                }
                ?>
            </div>
        </div>
    </div>

```

```

</select>
<div id='calcular' class="col-md-12" style='display: none;*>
  <br />
  <div id="divImagem" class="cols-md-6">
    
  </div>
  <br />
  <div id="divEquacao" style="display: none;" class="cols-md-6">
  </div>
  <form name='formCalcula' id='formCalcula'>
    <input type='hidden' name='varsc' id='vars'>
    <input type='hidden' name='equation' id='equation'>
    <table class="col-md-6 table-bordered table-condensed table-striped">
      <thead>
        <tr>
          <th>Variável</th>
          <th>Valor</th>
          <th><input type="button" name="calc" id="calc" value="Calcular"
onclick="calcular()"></th>
        </tr>
      </thead>
      <tbody id="variaveis">
      </tbody>
    </table>
  </form>
</div>
</div>
<div id="cadastroEquacoes" class="tab-pane fade">
  <?php
  $result = $dao->select("a.*, b.*, c.grupo_nome AS 'nome_pai'", "equacoes a JOIN
grupo b USING(grupo_id) JOIN grupo c ON(b.grupo_id_pai = c.grupo_id)");
  if($result) {
  ?>
  <form name="form" id="form" method="POST" enctype="multipart/form-data">
    <input type='hidden' name='tabela' id='tabela' value='equacoes' />
    <table id="tabelaEquacoes" class="tabelaOrdena table-bordered table-
condensed table-striped" width="100%">
      <thead>
        <tr>
          <th width="10%">Gráfico</th>
          <th width="20%">Tipo</th>
          <th width="20%">Equação</th>
          <th width="10%">&nbsp;</th>
        </tr>
      </thead>
      <tbody>
        <tr>
          <td>
            <label for="imagemBD">Imagem Desc. <sub>(600x350
pixels)</sub></label>

```

```

        <input type="file" name="imagemBD" id="imagemBD" />
        <input type="hidden" name="equacao_id_edit" id="equacao_id_edit" />
    </td>
    <td>
        <select type="text" name="grupo_id_eq" id="grupo_id_eq" class="col-
md-12 selectpicker">
            <option value="">Selecione</option>
            <?php
                $resSelect = $dao->select("DISTINCT g1.grupo_id, g2.grupo_nome,
g1.grupo_nome AS 'nome', g1.grupo_esforco", "grupo g1 JOIN grupo g2
ON(g1.grupo_id_pai = g2.grupo_id)", "g1.grupo_id_pai IS NOT NULL");
                while($linSelect = mysqli_fetch_assoc($resSelect)) {
                    echo
value='{ $linSelect['grupo_id']}'>{ $linSelect['grupo_nome']}           { $linSelect['nome']}
{ $linSelect['grupo_esforco']}</option>";
                }
            ?>
        </select>
    </td>
    <td><textarea    name="equacao"    id="equacao"    class="col-md-
12"></textarea></td>
    <td><input    type="submit"    name="btnsubmit"    id="btnsubmit"
value="salvar"/></td>
</tr>
<?php
while ($linEQ = mysqli_fetch_assoc($result)) {
    $linEQ['equacao_id'] = intval($linEQ['equacao_id']);
    ?>
    <tr id="tr_<?=$linEQ['equacao_id']?>">
        <td>
            <img    class="values_eq_<?=    $linEQ['equacao_id']    ?>"
src="imagens_desc/<?= $linEQ['imagem'] ?>" width="100" />
            <span class="editing_eq_<?= $linEQ['equacao_id'] ?>" style="display:
none;">
                <label    for="imagemBD">Imagem    Desc.    <sub>(600x350
pixels)</sub></label>
                <input type="file" name="imagemBD_eq_<?= $linEQ['equacao_id']
?>" id="imagemBD_eq_<?= $linEQ['equacao_id'] ?>" value="<?= $linEQ['imagem'] ?>"/>
                </span>
            </td>
            <td>
                <span class="values_eq_<?= $linEQ['equacao_id'] ?>">
                    <?= $linEQ['nome_pai'] ?> <?= $linEQ['grupo_nome'] ?> <?=
$linEQ['grupo_esforco'] ?>
                </span>
                <span class="editing_eq_<?= $linEQ['equacao_id'] ?>" style="display:
none;">
                    <select type="text" name="grupo_id_eq_<?= $linEQ['equacao_id']
?>" id="grupo_id_eq_<?= $linEQ['equacao_id'] ?>" class="col-md-12 selectpicker">
                        <option value="">Selecione</option>

```

```

        <?php
            $resSelect = $dao->select("DISTINCT g1.grupo_id,
g2.grupo_nome, g1.grupo_nome AS 'nome', g1.grupo_esforco", "grupo g1 JOIN grupo g2
ON(g1.grupo_id_pai = g2.grupo_id)", "g1.grupo_id_pai IS NOT NULL");
            while($linSelect = mysqli_fetch_assoc($resSelect)) {
                $selected = "";
                if($linSelect['grupo_id'] == $linEQ['grupo_id']) {
                    $selected = "selected";
                }
                echo " <option value='{ $linSelect['grupo_id']}'
{ $selected}>{ $linSelect['grupo_nome']}
{ $linSelect['grupo_esforco']}</option>";
            }
        ?>
    </select>
</span>
</td>
<td>
    <span class="values_eq_<?=$linEQ['equacao_id'] ?>">
        <?=$linEQ['equacao'] ?>
    </span>
    <textarea class="editing_eq_<?=$linEQ['equacao_id'] ?>"
style="display: none; width: 100%;" name="equacao_eq_<?=$linEQ['equacao_id'] ?>"
id="equacao_eq_<?=$linEQ['equacao_id'] ?>" ><?=$linEQ['equacao'] ?></textarea>
</td>
<td>
    <span class="values_eq_<?=$linEQ['equacao_id']?>">
        <button type="submit" class="btn btn-default btn-lg" name="deletar"
value="equacao_id=<?=$linEQ['equacao_id']?>">
            <span class=" glyphicon glyphicon-remove-circle" aria-
hidden="true"></span>
        </button>
        <button type="button" class="btn btn-default btn-lg" name="edit"
onclick="editarEquacao(<?=$linEQ['equacao_id']?>)"
onkeyup="editarEquacao(<?=$linEQ['equacao_id']?>)">
            <span class=" glyphicon glyphicon-pencil" aria-
hidden="true"></span>
        </button>
    </span>
    <span class="editing_eq_<?=$linEQ['equacao_id']?>" style="display:
none;">
        <button type="button" class="btn btn-default btn-lg" name="update"
onclick="updateEquacao(<?=$linEQ['equacao_id']?>)"
onkeyup="updateEquacao(<?=$linEQ['equacao_id']?>)">
            <span class=" glyphicon glyphicon-save" aria-
hidden="true"></span>
        </button>
        <button type="button" class="btn btn-default btn-lg" name="cancel"
onclick="editarEquacao(<?=$linEQ['equacao_id']?>)"
onkeyup="editarEquacao(<?=$linEQ['equacao_id']?>)">

```

```

        <span class="glyphicon glyphicon-ban-circle" aria-
hidden="true"></span>
        </button>
        </span>
    </td>
</tr>
<?php
    }
?>
</tbody>
</table>
</form>
<?php
    }
?>
</div>
<div id="cadastroGrupos" class="tab-pane fade">
<?php
    $resultPais = $dao->select("*", "grupo", "grupo_id_pai IS NULL");
    $gruposResult = NULL;
    while ($linPais = mysqli_fetch_assoc($resultPais)) {
        $resultFilhos = $dao->select("*", "grupo", "grupo_id_pai =
'{$linPais['grupo_id']}'");
        $gruposResult[$linPais['grupo_id']]['nome'] = $linPais['grupo_nome'];
        while ($linFilhos = mysqli_fetch_assoc($resultFilhos)) {
            $gruposResult[$linPais['grupo_id']]['filhos'][] = $linFilhos;
        }
    }
    if($gruposResult) {
?>
        <form name='form_grupos' id='form_grupos' action="" method="POST"
enctype="multipart/form-data">
            <input type='hidden' name='tabela' id='tabela' value='grupo'/>
            <table id="tabelaGrupos" class="tabelaOrdena tabela-bordered table-condensed
table-striped" width="100%">
                <thead>
                    <tr>
                        <th>Grupo</th>
                        <th>Tipo</th>
                        <th>Elemento</th>
                        <th>Esforço</th>
                    </tr>
                </thead>
                <tbody>
                    <tr>
                        <td>
                            &nbsp;
                        </td>
                    </tr>
                </tbody>
            </table>
        </form>
    }
?>

```

```

        <select type="text" name="grupo_id_pai" id="grupo_id_pai" class="col-
md-12 selectpicker">
            <option value="">Selecione</option>
            <?php
                $resSelect = $dao->select("DISTINCT grupo_id, grupo_nome",
"grupo", "grupo_id_pai IS NULL");
                while($linSelect = mysqli_fetch_assoc($resSelect)) {
                    echo
value='{ $linSelect['grupo_id']}'>{ $linSelect['grupo_nome']}
{ $linSelect['grupo_esforco']}</option>";
                }
            ?>
        </select>
    </td>
    <td>
        <input type='text' name='grupo_nome' id='grupo_nome' value=""
style="width: 100%" />
    </td>
    <td>
        <select type="text" name="grupo_elemento" id="grupo_elemento"
class="col-md-12 selectpicker">
            <option value="">Selecione</option>
            <?php
                $resSelect = $dao->select("DISTINCT grupo_elemento", "grupo",
"grupo_id_pai IS NOT NULL");
                while($linSelect = mysqli_fetch_assoc($resSelect)) {
                    echo
value='{ $linSelect['grupo_elemento']}'>{ $linSelect['grupo_elemento']}</option>";
                }
            ?>
        </select>
    </td>
    <td>
        <select type="text" name="grupo_esforco" id="grupo_esforco"
class="col-md-12 selectpicker">
            <option value="">Selecione</option>
            <?php
                $resSelect = $dao->select("DISTINCT grupo_esforco", "grupo",
"grupo_id_pai IS NOT NULL");
                while($linSelect = mysqli_fetch_assoc($resSelect)) {
                    echo
value='{ $linSelect['grupo_esforco']}'>{ $linSelect['grupo_esforco']}</option>";
                }
            ?>
        </select>
    </td>
    <td><input type="submit" name="btnsubmit2" id="btnsubmit2"
value="salvar" /></td>
</tr>
<?php

```

```

foreach ($gruposResult as $k => $v) {
    if($v['filhos']) {
        foreach ($v['filhos'] as $sval) {
            ?>
            <tr id="tr_gr_<?=$sval['grupo_id']?>">
                <td>
                    <span
                        class="values_<?=$sval['grupo_id']?>"
id="grupo_nome_val_<?=$sval['grupo_id']?>"><?=$v['nome'] ?></span>
                    <span class="editing_<?=$sval['grupo_id']?>" style="display: none;">
                        <select type="text" name="grupo_id_pai_<?=$sval['grupo_id']?>"
id="grupo_id_pai_<?=$sval['grupo_id']?>" class="col-md-12 selectpicker">
                            <option value="">Selecione</option>
                            <?php
                                $resSelect = $dao->select("DISTINCT grupo_id, grupo_nome",
                                "grupo", "grupo_id_pai IS NULL");
                                while($linSelect = mysqli_fetch_assoc($resSelect)) {
                                    $selected = "";
                                    if($linSelect['grupo_nome'] == $v['nome']) {
                                        $selected = "selected";
                                    }
                                    echo
                                " <option
                                value='{ $linSelect['grupo_id']}'
                                { $selected}>{ $linSelect['grupo_nome']}</option>";
                                }
                            ?>
                        </select>
                    </span>
                </td>
                <td>
                    <span
                        class="values_<?=$sval['grupo_id']?>"
id="nome_val_<?=$sval['grupo_id']?>"><?=$sval['grupo_nome'] ?></span>
                    <span class="editing_<?=$sval['grupo_id']?>" style="display: none;">
                        <input
                            type="text"
                            name="nome_<?=$sval['grupo_id']?>"
id="nome_<?=$sval['grupo_id']?>"
                            placeholder="<?=$sval['grupo_nome']?>"
                            value="<?=$sval['grupo_nome']?>" style="width: 100%">
                    </span>
                </td>
                <td>
                    <span
                        class="values_<?=$sval['grupo_id']?>"
id="grupo_elemento_val_<?=$sval['grupo_id']?>"><?=$sval['grupo_elemento'] ?></span>
                    <span class="editing_<?=$sval['grupo_id']?>" style="display: none;">
                        <select type="text" name="grupo_elemento_<?=$sval['grupo_id']?>"
id="grupo_elemento_<?=$sval['grupo_id']?>" class="col-md-12 selectpicker">
                            <option value="">Selecione</option>
                            <?php
                                $resSelect = $dao->select("DISTINCT grupo_elemento", "grupo",
                                "grupo_id_pai IS NOT NULL");
                                while($linSelect = mysqli_fetch_assoc($resSelect)) {
                                    $selected = "";
                                    if($linSelect['grupo_elemento'] == $sval['grupo_elemento']) {
                                        $selected = "selected";
                                    }
                                }
                            ?>
                    </span>
                </td>
            </tr>
        }
    }
}

```

```

    }
    echo      "<option      value='{ $linSelect['grupo_elemento']}'
{$selected}>{$ $linSelect['grupo_elemento']}'</option>";
    }
    ?>
</select>
</span>
</td>
<td>
    <span
        class="values_<?=$val['grupo_id']?>"
id="grupo_esforco_val_<?=$val['grupo_id']?>"><?=$val['grupo_esforco'] ?></span>
    <span class="editing_<?=$val['grupo_id']?>" style="display: none;">
    <select type="text" name="grupo_esforco_<?=$val['grupo_id']?>"
id="grupo_esforco_<?=$val['grupo_id']?>" class="col-md-12 selectpicker">
    <option value="">Selecione</option>
    <?php
    $resSelect = $dao->select("DISTINCT grupo_esforco", "grupo",
"grupo_id_pai IS NOT NULL");
    while($linSelect = mysqli_fetch_assoc($resSelect)) {
    $selected = "";
    if($linSelect['grupo_esforco'] == $val['grupo_esforco']) {
    $selected = "selected";
    }
    echo      "<option      value='{ $linSelect['grupo_esforco']}'
{$selected}>{$ $linSelect['grupo_esforco']}'</option>";
    }
    ?>
</select>
</span>
</td>
<td>
    <span class="values_<?=$val['grupo_id']?>">
    <button type="submit" class="btn btn-default btn-lg" name="deletar"
value="grupo_id=<?=$val['grupo_id']?>">
    <span class=" glyphicon glyphicon-remove-circle" aria-
hidden="true"></span>
    </button>
    <button type="button" class="btn btn-default btn-lg" name="edit"
onclick="editar(<?=$val['grupo_id']?>)" onkeyup="editar(<?=$val['grupo_id']?>)">
    <span class=" glyphicon glyphicon-pencil" aria-
hidden="true"></span>
    </button>
    </span>
    <span class="editing_<?=$val['grupo_id']?>" style="display: none;">
    <button type="button" class="btn btn-default btn-lg" name="update"
onclick="updateGroups(<?=$val['grupo_id']?>)"
onkeyup="updateGroups(<?=$val['grupo_id']?>)">
    <span class=" glyphicon glyphicon-save" aria-
hidden="true"></span>
    </button>

```

```

        <button type="button" class="btn btn-default btn-lg" name="cancel"
onclick="editar(<?=$val['grupo_id']?>)" onkeyup="editar(<?=$val['grupo_id']?>)">
        <span class="glyphicon glyphicon-ban-circle" aria-
hidden="true"></span>
        </button>
    </span>
</td>
</tr>
<?php
}
}
}
?>
</tbody>
</table>
</form>
<?php
}
?>
</div>
<div id="fct" class="tab-pane fade">
    <!-- COLOCAR TEXTO REDUÇÃO FCT AQUI !-->
</div class=WordSection1>

```

```

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><span
style='color:black;mso-themecolor:text1'><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>

```

```

<p class=MsoNormal style='text-align:justify'><b style='mso-bidi-font-weight:
normal'><span style='color:black;mso-themecolor:text1'>2</span></b><span
style='color:black;mso-themecolor:text1'>.5 Redução das concentrações de
tensões<o:p></o:p></span></p>

```

```

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><span
style='color:black;mso-themecolor:text1'><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>

```

```

<p class=MsoNormal style='text-align:justify'><span style='color:black;
mso-themecolor:text1'><span style='mso-tab-count:1'> </span>Segundo
Norton (2013), os efeitos das concentrações de tensões se manifestam com maior
intensidade nas posições onde as peças apresentam variações abruptas em suas
formas ou dimensões. Assim constata-se por exemplo, que para barras providas de
ombros (degraus), tal como a representada na figura 13, há um crescimento nos
valores dos fature de concentração à medida que aumentam os valores da relação </span><!--
-[if gte msEquation 12]><m:oMath><i
style='mso-bidi-font-style:normal'><span style='font-family:"Cambria Math",serif;
color:black;mso-themecolor:text1'><m:r>D</m:r></span></i><span
style='font-family:"Cambria
Math",serif;color:black;mso-
themecolor:text1'><m:r><m:rPr><m:scr
m:val="roman"/><m:sty m:val="p"/></m:rPr></m:r><m:r><i style='mso-bidi-font-
style:
normal'>d</i></m:r></span></m:oMath><![endif]--><![if !msEquation]><span

```

style='font-size:12.0pt;font-family:"Times New Roman",serif;mso-fareast-font-family:"Times New Roman";position:relative;top:3.0pt;mso-text-raise:-3.0pt;mso-ansi-language:PT-BR;mso-fareast-language:PT-BR;mso-bidi-language:AR-SA'><!--[if gte vml 1]><v:shapetype id="_x0000_t75" coordsize="21600,21600" o:spt="75" o:preferrelative="t" path="m@4@5l@4@11@9@11@9@5xe" filled="f" stroked="f"><v:stroke jointstyle="miter"/><v:formulas><v:f eqn="if lineDrawn pixelLineWidth 0"/><v:f eqn="sum @0 1 0"/><v:f eqn="sum 0 0 @1"/><v:f eqn="prod @2 1 2"/><v:f eqn="prod @3 21600 pixelWidth"/><v:f eqn="prod @3 21600 pixelHeight"/><v:f eqn="sum @0 0 1"/><v:f eqn="prod @6 1 2"/><v:f eqn="prod @7 21600 pixelWidth"/><v:f eqn="sum @8 21600 0"/><v:f eqn="prod @7 21600 pixelHeight"/><v:f eqn="sum @10 21600 0"/></v:formulas><v:path o:extrusionok="f" gradientshapeok="t" o:connecttype="rect"/><o:lock v:ext="edit" aspectratio="t"/></v:shapetype><v:shape id="_x0000_i1025" type="#_x0000_t75" style='width:21.75pt; height:14.25pt'><v:imagedata src="Redução%20dos%20FCT_arquivos/image001.png" o:title="" chromakey="white"/></v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]><![endif]>e/ou diminuem os da relação <!--[if gte msEquation 12]><m:oMath><i style='mso-bidi-font-style:normal'><m:r>r</m:r></i><m:r><m:rPr><m:scr m:val="roman"/><m:sty m:val="p"/></m:rPr></m:r><m:r><i style='mso-bidi-font-style:normal'>d</i></m:r></m:oMath><![endif]--><![if !msEquation]><!--[if gte vml 1]><v:shape id="_x0000_i1025" type="#_x0000_t75" style='width:19.5pt;height:14.25pt'><v:imagedata src="Redução%20dos%20FCT_arquivos/image003.png" o:title="" chromakey="white"/></v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]><![endif]><span

da borda do anel interno destes, normalmente é bastante reduzido. Assim, devem ser buscadas soluções alternativas tais como as que estão representadas na figura 15.

<p class=MsoNormal style='text-align:justify'><o:p> </o:p></p>

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'>Figura 15 – Exemplos de medidas para redução das concentrações de tensões</p>

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><o:p> </o:p></p>

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem_x0020_82" o:spid="_x0000_i1038" type="#_x0000_t75" style='width:424.5pt;height:132.75pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square'><v:imagedata src="Redução%20dos%20FCT_arquivos/image013.png" o:title="" gain="109227f" blacklevel="-6554f"/></v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]> <o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'>Fonte: NORTON (2013) modificada. <o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><o:p> </o:p></p>

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'> Observe-se que as soluções (b) e (c) da figura 15, foram obtidas através da retirada de material e a solução demonstrada em (d) conseguiu-se através do aumento do raio de curvatura e da utilização de uma arruela especial que serve de encosto para o rolamento. Nota-se pela distribuição das linhas de força, que em todos os casos os efeitos da concentração de tensões foram minimizados. <o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'> Nas tabelas <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>XXXX,temos outros exemplos de situações onde as geometrias determinadas pelo projeto, ocasionam a geração

de tensões concentradas com as respectivas alternativas para atenuação dos seus efeitos sempre levando-se em consideração a possibilidade ou não de alteração do projeto inicialmente proposto.<o:p></o:p></p>

```
<table class=MsoTableGrid border=1 cellpadding=0 cellspacing=0 align=left
style='border-collapse:collapse;border:none;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;
mso-yfti-tbllook:1184;mso-table-lspace:7.05pt;margin-left:4.8pt;mso-table-rspace:
7.05pt;margin-right:4.8pt;mso-table-anchor-vertical:paragraph;mso-table-anchor-
horizontal:
margin;mso-table-left:left;mso-table-top:15.25pt;mso-padding-alt:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<tr style='mso-yfti-irow:0;mso-yfti-firstrow:yes'>
<td width=283 style='width:211.9pt;border:solid windowtext 1.0pt;mso-border-alt:
solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='color:black;
mso-themecolor:text1'>PROJETO INICIAL<o:p></o:p></span></p>
</td>
<td width=282 style='width:211.75pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-left:
none;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;
padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='color:black;
mso-themecolor:text1'>SUGESTÕES PROPOSTAS<o:p></o:p></span></p>
</td>
</tr>
<tr style='mso-yfti-irow:1;mso-yfti-lastrow:yes'>
<td width=283 style='width:211.9pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-top:
none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;
padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:8.0pt;
line-height:150%'><!--[if gte vml 1]><v:shape id="_x0000_i1025" type="#_x0000_t75"
style='width:201pt;height:70.5pt' o:ole="">
<v:imagedata src="Redução%20dos%20FCT_arquivos/image015.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
<o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1025"
DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768330">
</o:OLEObject>
</xml><![endif]--><span
style='color:black;mso-
themecolor:text1'><o:p></o:p></span></span></p>
</td>
<td width=282 style='width:211.75pt;border-top:none;border-left:none;
```

border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;
mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;
mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:8.0pt;
line-height:150%'><o:p> </o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:8.0pt;
line-height:150%'><!--[if gte vml 1]><v:shape id="_x0000_i1026" type="#_x0000_t75"
style='width:162.75pt;height:75.75pt' o:ole="">
<v:imagedata src="Reduo%20dos%20FCT_arquivos/image017.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]><!--[if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
<o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1026"
DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768331">
</o:OLEObject>
</xml><![endif]><o:p></o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:8.0pt;
line-height:150%'><o:p> </o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:8.0pt;
line-height:150%'><!--[if gte vml 1]><v:shape id="_x0000_i1027" type="#_x0000_t75"
style='width:166.5pt;height:77.25pt' o:ole="">
<v:imagedata src="Reduo%20dos%20FCT_arquivos/image019.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]><!--[if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
<o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1027"
DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768332">
</o:OLEObject>
</xml><![endif]><o:p></o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:8.0pt;
line-height:150%'><o:p> </o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:8.0pt;

```

line-height:150%'\><!--[if gte vml 1]><v:shape id="_x0000_i1028" type="#_x0000_t75"
style='width:162pt;height:69.75pt' o:ole="">
<v:imagedata src="Reduo%20dos%20FCT_arquivos/image021.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
<o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1028"
DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768333">
</o:OLEObject>
</xml><![endif]--><o:p></o:p></span></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'\><span style='font-size:8.0pt;
line-height:150%'\><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'\><span style='font-size:8.0pt;
line-height:150%'\><!--[if gte vml 1]><v:shape id="_x0000_i1029" type="#_x0000_t75"
style='width:157.5pt;height:69.75pt' o:ole="">
<v:imagedata src="Reduo%20dos%20FCT_arquivos/image023.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
<o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1029"
DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768334">
</o:OLEObject>
</xml><![endif]--><o:p></o:p></span></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'\><span style='font-size:8.0pt;
line-height:150%'\><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'\><span style='font-size:8.0pt;
line-height:150%'\><!--[if gte vml 1]><v:shape id="_x0000_i1030" type="#_x0000_t75"
style='width:168.75pt;height:77.25pt' o:ole="">
<v:imagedata src="Reduo%20dos%20FCT_arquivos/image025.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
<o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1030"
DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768335">
</o:OLEObject>
</xml><![endif]--><o:p></o:p></span></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;

```

```

mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:8.0pt;
line-height:150%'><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>
</td>
</tr>
</table>

```

```

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><span
style='color:black;mso-themecolor:text1'><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>

```

```

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><span
style='color:black;mso-themecolor:text1'><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>

```

```

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><span
style='color:black;mso-themecolor:text1'>FONTE:                YOUNG                (2002)
modificada<o:p></o:p></span></p>

```

```

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><span
style='color:black;mso-themecolor:text1'><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>

```

```

<table class=MsoTableGrid border=1 cellspacing=0 cellpadding=0 align=left
style='border-collapse:collapse;border:none;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;
mso-yfti-tbllook:1184;mso-table-lspace:7.05pt;margin-left:4.8pt;mso-table-rspace:
7.05pt;margin-right:4.8pt;mso-table-anchor-vertical:paragraph;mso-table-anchor-
horizontal:
margin;mso-table-left:left;mso-table-top:15.25pt;mso-padding-alt:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<tr style='mso-yfti-irow:0;mso-yfti-firstrow:yes'>
<td width=283 style='width:211.9pt;border:solid windowtext 1.0pt;mso-border-alt:
solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='color:black;
mso-themecolor:text1'>PROJETO INICIAL<o:p></o:p></span></p>
</td>
<td width=282 style='width:211.75pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-left:
none;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;
padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='color:black;
mso-themecolor:text1'>SUGESTÕES PROPOSTAS<o:p></o:p></span></p>
</td>
</tr>
<tr style='mso-yfti-irow:1'>
<td width=283 style='width:211.9pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-top:
none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;
padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;

```

```

mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><!--[if gte vml 1]><v:shape
id="_x0000_i1031" type="#_x0000_t75" style='width:182.25pt;height:66.75pt'
o:ole="">
<v:imagedata src="Redução%20dos%20FCT_arquivos/image027.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
<o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1031"
DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768336">
</o:OLEObject>
</xml><![endif]--><span style='color:black;mso-
themecolor:text1'><o:p></o:p></span></p>
</td>
<td width=282 style='width:211.75pt;border-top:none;border-left:none;
border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;
mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;
mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:9.0pt;
line-height:150%'><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:9.0pt;
line-height:150%'><!--[if gte vml 1]><v:shape id="_x0000_i1032" type="#_x0000_t75"
style='width:157.5pt;height:72.75pt' o:ole="">
<v:imagedata src="Redução%20dos%20FCT_arquivos/image029.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
<o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1032"
DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768337">
</o:OLEObject>
</xml><![endif]--><o:p></o:p></span></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:9.0pt;
line-height:150%'><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:9.0pt;
line-height:150%'><!--[if gte vml 1]><v:shape id="_x0000_i1033" type="#_x0000_t75"
style='width:160.5pt;height:75pt' o:ole="">
<v:imagedata src="Redução%20dos%20FCT_arquivos/image031.png" o:title=""/>

```

```

</v:shape><![endif]><![if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
  <o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1033"
  DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768338">
  </o:OLEObject>
</xml><![endif]></o:p></o:p></span></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:9.0pt;
line-height:150%'><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>
</td>
</tr>
<tr style='mso-yfti-irow:2'>
<td width=283 style='width:211.9pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-top:
none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;
padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><o:p>&nbsp;</o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><!--[if gte vml 1]><v:shape
id="_x0000_i1034" type="#_x0000_t75" style='width:98.25pt;height:96pt'
o:ole="">
<v:imagedata src="Redução%20dos%20FCT_arquivos/image033.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]><![if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
  <o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1034"
  DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768339">
  </o:OLEObject>
</xml><![endif]></o:p></o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><o:p>&nbsp;</o:p></p>
</td>
<td width=282 style='width:211.75pt;border-top:none;border-left:none;
border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;
mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;
mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:9.0pt;
line-height:150%'><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>

```

```

<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><!--[if gte vml 1]><v:shape
id="_x0000_i1035" type="#_x0000_t75" style='width:105pt;height:102.75pt'
o:ole="">
<v:imagedata src="Redução%20dos%20FCT_arquivos/image035.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
<o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1035"
DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768340">
</o:OLEObject>
</xml><![endif]--><o:p></o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:9.0pt;
line-height:150%'><o:p>&nbsp;</o:p></span></p>
</td>
</tr>
<tr style='mso-yfti-irow:3;mso-yfti-lastrow:yes'>
<td width=283 style='width:211.9pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-top:
none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;
padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><o:p>&nbsp;</o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><!--[if gte vml 1]><v:shape
id="_x0000_i1036" type="#_x0000_t75" style='width:192.75pt;height:84.75pt'
o:ole="">
<v:imagedata src="Redução%20dos%20FCT_arquivos/image037.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
<o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1036"
DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768341">
</o:OLEObject>
</xml><![endif]--><o:p></o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><o:p>&nbsp;</o:p></p>
</td>
<td width=282 style='width:211.75pt;border-top:none;border-left:none;
border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;

```

mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;
mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><o:p> </o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><!--[if gte vml 1]><v:shape
id="_x0000_i1037" type="#_x0000_t75" style='width:195pt;height:87pt' o:ole="">
<v:imagedata src="Reduo%20dos%20FCT_arquivos/image039.png" o:title="">
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]><!--[if gte mso 9]><xml>
<o:OLEObject Type="Embed" ProgID="PBrush" ShapeID="_x0000_i1037"
DrawAspect="Content" ObjectID="_1539768342">
</o:OLEObject>
</xml><![endif]--><o:p></o:p></p>
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center;line-height:150%;
mso-element:frame;mso-element-frame-hspace:7.05pt;mso-element-wrap:around;
mso-element-anchor-vertical:paragraph;mso-element-anchor-horizontal:margin;
mso-element-top:15.25pt;mso-height-rule:exactly'><span style='font-size:9.0pt;
line-height:150%'><o:p> </o:p></p>
</td>
</tr>
</table>

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><span
style='color:black;mso-themecolor:text1'><o:p> </o:p></p>

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><span
style='color:black;mso-themecolor:text1'><o:p> </o:p></p>

<p class=MsoNormal style='text-align:justify;line-height:150%'><span
style='color:black;mso-themecolor:text1'>FONTE: YOUNG (2002)
modificada<o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal><o:p> </o:p></p>

</div>

</div>
<div id="ajuda" class="tab-pane fade">
<!-- COLOCAR TEXTO DA AJUDA AQUI !-->
<div class=WordSection1>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'>AJUDA<span
style='mso-tab-count:1'> <o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'>1-CALCULAR O VALOR DO FCTPARA UMA DESCONTINUIDADE<o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal>Na aba “Cálculos”<b style='mso-bidi-font-weight:normal'>clique
em <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“Selecione”:</p>

<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center'><!--[if gte vml 1]><v:shapetype id="_x0000_t75" coordsize="21600,21600" o:spt="75" o:preferrelative="t" path="m@4@51@4@11@9@11@9@5xe" filled="f" stroked="f"><v:stroke jointstyle="miter"/><v:formulas><v:f eqn="if lineDrawn pixelLineWidth 0"/><v:f eqn="sum @0 1 0"/><v:f eqn="sum 0 0 @1"/><v:f eqn="prod @2 1 2"/><v:f eqn="prod @3 21600 pixelWidth"/><v:f eqn="prod @3 21600 pixelHeight"/><v:f eqn="sum @0 0 1"/><v:f eqn="prod @6 1 2"/><v:f eqn="prod @7 21600 pixelWidth"/><v:f eqn="sum @8 21600 0"/><v:f eqn="prod @7 21600 pixelHeight"/><v:f eqn="sum @10 21600 0"/></v:formulas><v:path o:extrusionok="f" gradientshapeok="t" o:connecttype="rect"/><o:lock v:ext="edit" aspectratio="t"/></v:shapetype><v:shape id="Imagem_x0020_1" o:spid="_x0000_i1036" type="#_x0000_t75" style='width:405.75pt;height:81pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square'><v:imagedata src="Ajuda_arquivos/image001.png" o:title=""/></v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]></p>

<p class=MsoNormal>-Selecione uma das opções apresentadas, ou digite uma <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>palavra característica relativa à opção desejada, tal como o <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>tipo <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>e/ou <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>formato da descontinuidade, <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>tipo de elemento, <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>ou <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>tipo de solicitação <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>aplicada.</p>

<p class=MsoNormal style='text-indent:35.25pt'>Ex.: digitando a palavra <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“tração”, ou simplesmente <b

style='mso-bidi-font-weight:normal'>“aç” surgirá a relação de todas as
descontinuidades
submetidas ao esforço de tração!¹ </p>

<p class=MsoNormal style='margin-left:35.25pt;line-height:normal'> ^{1}Caso não surja nenhuma sugestão, verifique a <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>ortografia da palavra. Caso não haja incompatibilidade ortográfica², significa que não há ainda descontinuidades catalogadas com aquela palavra<i style='mso-bidi-font-style:normal'>. </i><o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal style='margin-left:35.25pt;line-height:normal'>^{2}A palavra deverá ser escrita exatamente como foi catalogada, respeitando-se a acentuação, não havendo, entretanto, distinção entre maiúsculas e minúsculas.<o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal align=center style='margin-left:35.25pt;text-align:center; line-height:normal'><!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem_x0020_2" o:spid="_x0000_i1035" type="#_x0000_t75" style='width:418.5pt; height:203.25pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square'><v:imagedata src="Ajuda_arquivos/image002.png" o:title=""/></v:shape><![endif]><![if !vml]><![endif]><o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal> ³Peça com forma básica: chapa, placa, barra chata ou cilíndrica, etc.<o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal><o:p> </o:p></p>

<p class=MsoNormal>-Verifique se a imagem “carregada” corresponde às expectativas no que concerne a todas as <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>características.</p>

<p class=MsoNormal>-Em caso afirmativo, preencha os campos correspondentes e clique em <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“Calcular”<o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal><!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem_x0020_5" o:spid="_x0000_i1034" type="#_x0000_t75" style='width:444pt; height:371.25pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square'><v:imagedata src="Ajuda_arquivos/image003.png" o:title=""/></v:shape><![endif]><![if !vml]><![endif]></p>

<p class=MsoNormal style='tab-stops:90.7pt'><b style='mso-bidi-font-weight: normal'> <o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'>2-ACRESCENTAR, EDITAR OU EXCLUIR UMA DESCONTINUIDADE OU SUA EQUAÇÃO DO BANCO DE DADOS DO PROGRAMA<o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'><o:p> </o:p></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'>2.1- <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>Acrescentar uma nova descontinuidade<o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal>- Na aba seleccione <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“Equações”.</p>

<p class=MsoNormal>- Na coluna <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“Gráfico”, clique em <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“Selecionar arquivo” e localize a <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>imagem da descontinuidade previamente armazenada, preferencialmente na pasta <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“imagens Desc” no formato <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>.jpg, na resolução<b style='mso-bidi-font-weight:normal'> 600x350 “carregue” a figura correspondente à descontinuidade^{4<o:p></o:p>}</p>

<p class=MsoNormal style='margin-left:35.25pt'>⁴O nome da figura, da pasta onde a mesma está armazenada, bem como o caminho das pastas até chegar a ela, não devem conter acentuações gramaticais ou cedilha. </p>

<p class=MsoNormal>- Na coluna <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“Tipo”, clique em <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“Selecione” e escolha o <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>tipo de descontinuidade com o <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>tipo de elemento e <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>solicitação correspondentes à figura escolhida.</p>

<p class=MsoNormal><!-- [if gte vml 1]><v:shape id="Imagem_x0020_6" o:spid="_x0000_i1033" type="#_x0000_t75" style='width:423pt; height:228.75pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square'> <v:imagedata src="Ajuda_arquivos/image004.png" o:title=""> </v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]></p>
```

```
<p class=MsoNormal> Digite a equação
correspondente à descontinuidade escolhida no quadro de edição⁵, seguindo o padrão conforme
estabelecido pela tabela no 4, no final desta ajuda. </p>
```

```
<p class=MsoNormal><span style='font-size:16.0pt;mso-bidi-font-size:11.0pt;
line-height:107%'><span style='mso-tab-
count:1'> ⁵O quadro de edição
de equações pode ser ampliado clicando no seu canto inferior direito e
arrastando.<o:p></o:p></p>
```

```
<p class=MsoNormal><o:p> </o:p></p>
```

```
<p class=MsoNormal>-Clique em <b style='mso-bidi-font-
weight:normal'>"salvar".<o:p></o:p></p>
```

```
<p class=MsoNormal><o:p> </o:p></p>
```

```
<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-
weight:normal'><o:p> </o:p></p>
```

```
<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'>2.2 - Editar uma
descontinuidade já existente<o:p></o:p></p>
```

```
<p class=MsoNormal><o:p> </o:p></p>
```

```
<p class=MsoNormal>-Clique em <span style='mso-fareast-language:PT-BR;
mso-no-proof:yes'><!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem_x0020_8"
o:spid="_x0000_i1032"
type="#_x0000_t75" style='width:38.25pt;height:30.75pt;visibility:visible;
mso-wrap-style:square'>
<v:imagedata src="Ajuda_arquivos/image006.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]>,
altere o(s) campo(s) que assim o desejar, depois salve clicando em <!--[if gte vml 1]><v:shape
id="Imagem_x0020_9" o:spid="_x0000_i1031" type="#_x0000_t75"
style='width:38.25pt;
height:30pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square'>
<v:imagedata src="Ajuda_arquivos/image007.png" o:title=""/>
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]>,
ou descarte a(s) alteração(ões), clicando em,<span style='mso-fareast-language:
PT-BR;mso-no-proof:yes'> <!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem_x0020_10"
o:spid="_x0000_i1030" type="#_x0000_t75" style='width:36.75pt;height:31.5pt;
```

visibility:visible;mso-wrap-style:square'>  
 <v:imagedata src="Ajuda\_arquivos/image008.png" o:title=""/>  
 </v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]>.<sup>6<o:p></o:p></sup></span></p>

<p class=MsoNormal style='text-indent:35.4pt'><sup><span style='mso-fareast-language:PT-BR;mso-no-proof:yes'>6</span></sup><span style='mso-fareast-language:PT-BR;mso-no-proof:yes'> </span><span style='font-size:9.0pt;mso-bidi-font-size:11.0pt;line-height:107%;mso-fareast-language:PT-BR;mso-no-proof:yes'>Ao clicar em <!--[if gte vml 1]><v:shape  
 id="Imagem\_x0020\_13" o:spid="\_x0000\_i1029" type="#\_x0000\_t75" style='width:21pt; height:16.5pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square'>  
 <v:imagedata src="Ajuda\_arquivos/image007.png" o:title=""/>  
 </v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]>para  
 salvar uma ou mais alterações, pode por algum motivo não se obter êxito. Neste  
 caso, toda a faixa horizontal assumirá temporariamente a cor avermelhada para  
 indicar tal situação, e a(s) alteração(ões) será(rão) descartada(s). Caso o  
 salvamento tenha sido exitoso, a faixa assumirá temporariamente a cor  
 verde.<o:p></o:p></span></p>

<p class=MsoNormal style='text-indent:35.4pt'><span style='font-size:9.0pt;mso-bidi-font-size:11.0pt;line-height:107%;mso-fareast-language:PT-BR;mso-no-proof:yes'>Obs.: Caso seja aberta a edição, clicando em </span><span style='mso-fareast-language:PT-BR;mso-no-proof:yes'><!--[if gte vml 1]><v:shape  
 id="Imagem\_x0020\_15" o:spid="\_x0000\_i1028" type="#\_x0000\_t75" style='width:19.5pt; height:15.75pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square'>  
 <v:imagedata src="Ajuda\_arquivos/image006.png" o:title=""/>  
 </v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]></span><span style='font-size:9.0pt;mso-bidi-font-size:11.0pt;line-height:107%;mso-fareast-language:PT-BR;mso-no-proof:yes'>, e nenhuma alteração seja realizada, ao executar a a operação de salvamento, clicando em </span><span style='mso-fareast-language:PT-BR;mso-no-proof:yes'><!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem\_x0020\_16" o:spid="\_x0000\_i1027" type="#\_x0000\_t75" style='width:21pt;height:16.5pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square'>  
 <v:imagedata src="Ajuda\_arquivos/image007.png" o:title=""/>  
 </v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]></span><span style='font-size:9.0pt;mso-bidi-font-size:11.0pt;line-height:107%;mso-fareast-language:PT-BR;mso-no-proof:yes'>, também a faixa horizontal correspondente à descontinuidada em edição assumirá a cor vermelha, para indicar que não houve alterações.<o:p></o:p></span></p>

<p class=MsoNormal><span style='font-size:9.0pt;mso-bidi-font-size:11.0pt;

line-height:107%;mso-fareast-language:PT-BR;mso-no-proof:yes'<o:p>&nbsp;</o:p></span></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'><o:p>&nbsp;</o:p></b></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'><o:p>&nbsp;</o:p></b></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'><o:p>&nbsp;</o:p></b></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'>2.3 - Excluir uma descontinuidade já existente</o:p></b></p>

<p class=MsoNormal><span style='mso-fareast-language:PT-BR;mso-no-proof:yes'>-Para excluir uma descontinuidade já existente no programa, clique em <!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem\_x0020\_7" o:spid="\_x0000\_i1026" type="#\_x0000\_t75" style='width:36.75pt; height:30.75pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square'><v:imagedata src="Ajuda\_arquivos/image011.png" o:title=""/></v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]></span><b style='mso-bidi-font-weight:normal'><o:p></o:p></b></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'><o:p>&nbsp;</o:p></b></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'>3-ACRESCENTAR NOVAS DESCONTINUIDADES, ELEMENTOS E ESFORÇOS NO BANCO DE DADOS DO PROGRAMA</o:p></b></p>

<p class=MsoNormal>-Clique na aba <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“Grupos” e “Selecione” </b>um dos cinco grupos de descontinuidades: <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>ENTALHES, RANHURAS,</b> <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>OMBROS, FUIROS</b> ou <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>DIVERSOS</b>.</p>

<p class=MsoNormal>-No campo <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“Tipo”,</b> digite o nome de um dos cinco “<b style='mso-bidi-font-weight:normal'>Grupos”</b> (<b style='mso-bidi-font-weight:normal'>ENTALHES, RANHURAS,</b> etc.<b style='mso-bidi-font-weight:normal'>.</b>), seguido da forma e do tipo de entalhe (<b style='mso-bidi-font-weight:normal'>SIMPLES EM U, MÚLTIPLOS OPOSTOS SEMICIRCULARES, DUPLO OPOSTO EM U</b>, etc.)</p>

<p class=MsoNormal>-Na coluna “<b style='mso-bidi-font-weight:normal'>Elemento”</b>,</p>

selecione a forma básica da peça na qual está inserido a descontinuidade (<b style='mso-bidi-font-weight:normal'>BARRA FINA, PLACA SEMI INFINITA, SEÇÃO CILÍNDRICA,</b> etc.)</p>

<p class=MsoNormal>-Na coluna <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“Esforço”</b>, selecione o tipo de solicitação atuante (<b style='mso-bidi-font-weight:normal'>TRAÇÃO, FLEXÃO, TORÇÃO, </b>etc.)</p>

<p class=MsoNormal>-Defina ou crie uma figura que irá representar o elemento com a descontinuidade, e o esforço considerados e armazene na pasta<b style='mso-bidi-font-weight:normal'><span style='color:red'> </span><span style='color:black;mso-themecolor:text1'>“Imagens Desc”</span></b>. Como opção, o que é interessante, sugere-se que junto a figura seja acrescentada a equação que permite o cálculo do FCT na sua forma tradicional.</p>

<p class=MsoNormal>Para editar:</p>

```
<p class=MsoNormal><!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem_x0020_21"
o:spid="_x0000_s1029"
type="#_x0000_t75" style='position:absolute;margin-left:54.3pt;margin-top:1.85pt;
width:45.75pt;height:35.25pt;z-index:251663360;visibility:visible;
mso-wrap-style:square;mso-wrap-distance-left:9pt;mso-wrap-distance-top:0;
mso-wrap-distance-right:9pt;mso-wrap-distance-bottom:0;
mso-position-horizontal:absolute;mso-position-horizontal-relative:text;
mso-position-vertical:absolute;mso-position-vertical-relative:text'>
<v:imagedata src="Ajuda_arquivos/image012.png" o:title="" gain="109227f"
blacklevel="-9830f"/>
<w:wrap type="square"/>
</v:shape><![endif]><![if !vml]><![endif]> </p>
```

<p class=MsoNormal>Clique em<span style='mso-spacerun:yes'> </span>em <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>“salvar”</b>.</p>

```
<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'><o:p> </o:p></p>
```

<p class=MsoNormal>Para eliminar:</p>

```
<p class=MsoNormal><!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem_x0020_20"
o:spid="_x0000_s1028"
type="#_x0000_t75" style='position:absolute;margin-left:55.4pt;margin-top:1.05pt;
width:43.5pt;height:36pt;z-index:251661312;visibility:visible;
mso-wrap-style:square;mso-wrap-distance-left:9pt;mso-wrap-distance-top:0;
mso-wrap-distance-right:9pt;mso-wrap-distance-bottom:0;
mso-position-horizontal:absolute;mso-position-horizontal-relative:text;
mso-position-vertical:absolute;mso-position-vertical-relative:text'>
<v:imagedata src="Ajuda_arquivos/image014.png" o:title="" gain="109227f"
blacklevel="-9830f"/>
</v:shape><![endif]><![if !vml]><![endif]> </p>
```

```

blacklevel="-9830f"/>
<w:wrap type="square"/>
</v:shape><![endif]><![if !vml]><![endif]> </p>

```

```

<p class=MsoNormal>Clique em . </p>

```

```

<p class=MsoNormal><o:p> </o:p></p>

```

```

<p class=MsoNormal><!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem_x0020_18"
o:spid="_x0000_s1027"
type="#_x0000_t75" style='position:absolute;margin-left:62.45pt;margin-top:3.35pt;
width:45.75pt;height:35.25pt;z-index:251665408;visibility:visible;
mso-wrap-style:square;mso-wrap-distance-left:9pt;mso-wrap-distance-top:0;
mso-wrap-distance-right:9pt;mso-wrap-distance-bottom:0;
mso-position-horizontal:absolute;mso-position-horizontal-relative:text;
mso-position-vertical:absolute;mso-position-vertical-relative:text'>
<v:imagedata src="Ajuda_arquivos/image012.png" o:title="" gain="109227f"
blacklevel="-9830f"/>
<w:wrap type="square"/>
</v:shape><![endif]><![if !vml]><![endif]><b
style='mso-bidi-font-weight:normal'><o:p></o:p></p>

```

```

<p class=MsoNormal>-Clique em na posição correspondente para editar, e
depois clique em <b style='mso-bidi-font-weight:normal'>"salvar"<o:p></o:p></p>

```

```

<p class=MsoNormal><!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem_x0020_19"
o:spid="_x0000_s1026"
type="#_x0000_t75" style='position:absolute;margin-left:63.2pt;margin-top:20.35pt;
width:43.5pt;height:36pt;z-index:251666432;visibility:visible;
mso-wrap-style:square;mso-wrap-distance-left:9pt;mso-wrap-distance-top:0;
mso-wrap-distance-right:9pt;mso-wrap-distance-bottom:0;
mso-position-horizontal:absolute;mso-position-horizontal-relative:text;
mso-position-vertical:absolute;mso-position-vertical-relative:text'>
<v:imagedata src="Ajuda_arquivos/image014.png" o:title="" gain="109227f"
blacklevel="-9830f"/>
<w:wrap type="square"/>
</v:shape><![endif]><![if !vml]><![endif]></p>

```

<p class=MsoNormal><o:p>&nbsp;</o:p></p>

<p class=MsoNormal>-Clique em <span style='mso-spacerun:yes'> </span>na posição correspondente para eliminar uma descontinuidade. <o:p></o:p></p>

<p class=MsoNormal><o:p>&nbsp;</o:p></p>

<p class=MsoNormal><o:p>&nbsp;</o:p></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'>4- EDITOR DE EQUAÇÕES</b></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'><o:p>&nbsp;</o:p></b></p>

<p class=MsoNormal><b style='mso-bidi-font-weight:normal'><span style='mso-tab-count:1'> </span></b>Para a edição de equações devem ser utilizados os seguintes operadores matemáticos:</p>

<p>&lt;table class=MsoTableGrid border=1 cellpadding=0 cellspacing=0 style='border-collapse:collapse;border:none;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;mso-yfti-tbllook:1184;mso-padding-alt:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <tr> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;tr style='mso-yfti-irow:0;mso-yfti-firstrow:yes'&gt;</p> <tr> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.pow(a, b)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p> </td> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-left:none;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;&lt;span style='mso-spacerun:yes'&gt; &lt;/span&gt;Eleva “a” na potencia “b”&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p> </td> </tr> <tr> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.sqrt(a)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p> </td> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;border-left:none;border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:'&gt;</p> </td> </tr> </td></tr>	<p>&lt;tr style='mso-yfti-irow:0;mso-yfti-firstrow:yes'&gt;</p> <tr> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.pow(a, b)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p> </td> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-left:none;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;&lt;span style='mso-spacerun:yes'&gt; &lt;/span&gt;Eleva “a” na potencia “b”&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p> </td> </tr> <tr> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.sqrt(a)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p> </td> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;border-left:none;border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:'&gt;</p> </td> </tr>	<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.pow(a, b)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p>	<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-left:none;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;&lt;span style='mso-spacerun:yes'&gt; &lt;/span&gt;Eleva “a” na potencia “b”&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p>	<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.sqrt(a)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p>	<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;border-left:none;border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:'&gt;</p>
<p>&lt;tr style='mso-yfti-irow:0;mso-yfti-firstrow:yes'&gt;</p> <tr> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.pow(a, b)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p> </td> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-left:none;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;&lt;span style='mso-spacerun:yes'&gt; &lt;/span&gt;Eleva “a” na potencia “b”&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p> </td> </tr> <tr> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.sqrt(a)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p> </td> <td style="width:283px; vertical-align:top;"> <p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;border-left:none;border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:'&gt;</p> </td> </tr>	<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.pow(a, b)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p>	<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-left:none;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;&lt;span style='mso-spacerun:yes'&gt; &lt;/span&gt;Eleva “a” na potencia “b”&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p>	<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.sqrt(a)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p>	<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;border-left:none;border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:'&gt;</p>	
<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.pow(a, b)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p>	<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;border-left:none;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;&lt;span style='mso-spacerun:yes'&gt; &lt;/span&gt;Eleva “a” na potencia “b”&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p>				
<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:normal'&gt;Math.sqrt(a)&lt;/o:p&gt;&lt;/p&gt;</p>	<p>&lt;td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;border-left:none;border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'&gt;</p> <p>&lt;p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:'&gt;</p>				

```

normal'>Calcula raiz quadrada de “a”<o:p></o:p></p>
</td>
</tr>
<tr style='mso-yfti-irow:2'>
<td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;
border-top:none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid
windowtext .5pt;
padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:
normal'>+<o:p></o:p></p>
</td>
<td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;border-left:
none;border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;
mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;
mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:
normal'>Soma<o:p></o:p></p>
</td>
</tr>
<tr style='mso-yfti-irow:3'>
<td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;
border-top:none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid
windowtext .5pt;
padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:
normal'>-<o:p></o:p></p>
</td>
<td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;border-left:
none;border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;
mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;
mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:
normal'>Diminui<o:p></o:p></p>
</td>
</tr>
<tr style='mso-yfti-irow:4'>
<td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;
border-top:none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid
windowtext .5pt;
padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:
normal'>/<o:p></o:p></p>
</td>
<td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;border-left:
none;border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;
mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;
mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
<p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:
normal'>Divide<o:p></o:p></p>
</td>

```

```

</tr>
<tr style='mso-yfti-irow:5'>
 <td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;
border-top:none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid
windowtext .5pt;
padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
 <p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:
normal'>*<o:p></o:p></p>
 </td>
 <td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;border-left:
none;border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;
mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;
mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
 <p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:
normal'>Multiplica<o:p></o:p></p>
 </td>
</tr>
<tr style='mso-yfti-irow:6;mso-yfti-lastrow:yes'>
 <td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border:solid windowtext 1.0pt;
border-top:none;mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-alt:solid
windowtext .5pt;
padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
 <p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:
normal'>{a::b}<o:p></o:p></p>
 </td>
 <td width=283 valign=top style='width:212.35pt;border-top:none;border-left:
none;border-bottom:solid windowtext 1.0pt;border-right:solid windowtext 1.0pt;
mso-border-top-alt:solid windowtext .5pt;mso-border-left-alt:solid windowtext .5pt;
mso-border-alt:solid windowtext .5pt;padding:0cm 5.4pt 0cm 5.4pt'>
 <p class=MsoNormal style='margin-bottom:0cm;margin-bottom:.0001pt;line-height:
normal'>a = variável que recebera o valor, b = nome descritivo da
variável.<o:p></o:p></p>
 </td>
</tr>
</table>

```

<p class=MsoNormal><o:p>&nbsp;</o:p></p>

<p class=MsoNormal>Ex: Para um elemento fino com dimensão semi-infinita, com entalhe semi elíptico e submetido à tração, cuja figura esta representada abaixo, com sua equação escrita no modo tradicional, quando <span style='mso-spacerun:yes'> </span>e<span style='mso-fareast-font-family:"Times New Roman"; mso-fareast-theme-font:minor-fareast'>scrita no padrão do editor utilizado neste programa,<span style='color:black;mso-themecolor:text1'> assumirá a forma:<o:p></o:p></span></span></p>

<p class=MsoNormal><o:p>&nbsp;</o:p></p>

```
<p class=MsoNormal align=center style='margin-left:35.4pt;text-align:center'>Ktg=0.855+(2.21*Math.sqrt(((t::profundidade)/{r:::raio})))</p></p></p>
```

```
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center'><o:p> </o:p></p>
```

```
<p class=MsoNormal align=center style='text-align:center'><!--[if gte vml 1]><v:shape id="Imagem_x0020_22" o:spid="_x0000_i1025" type="#_x0000_t75" style='width:315pt; height:183.75pt;visibility:visible;mso-wrap-style:square'>
<v:imagedata src="Ajuda_arquivos/image016.jpg" o:title="Entalhe simples semi eliptico elemento fino semi infinito sob tracao"/>
</v:shape><![endif]--><![if !vml]><![endif]></p>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</body>
```

```
<script>
```

```
$('#menu a').click(function (e) {
 e.preventDefault();
 $(this).tab('show');
});
```

```
$(function () {
 $(".tabelaOrdena").DataTable({
 fixedHeader: {
 header: true,
 footer: true
 },
 autoWidth: false,
 info: true,
 lengthChange: true,
 lengthMenu: [[10, 25, 50, 100, -1], [10, 25, 50, 100, "Todos"]],
 ordering: false,
 paging: true,
 searching: true,
 stateSave: true,
 language: {
 emptyTable: "Nenhum registro encontrado",
 info: "Exibindo de _START_ até _END_ de _TOTAL_ registros",
 infoEmpty: "Exibindo de 0 até 0 de 0 registros",
 infoFiltered: "(filtrado de _MAX_ registros)",
 lengthMenu: "Exibir _MENU_ registros por página",
 loadingRecords: "Carregando...",
 }
 });
});
```

```

processing: "Processando...",
search: "Pesquisar",
zeroRecords: "Nenhum registro encontrado",
oPaginate: {
 sFirst: "Primeira",
 sLast: "Última",
 sNext: "Próxima",
 sPrevious: "Anterior",
},
buttons: {
 print: "<i class=\"fa fa-print fa-2x\"></i>",
 copy: "Copiar",
 pdf: "<i class=\"fa fa-file-pdf-o fa-2x\"></i>",
 excel: " <i class=\"fa fa-file-excel-o fa-2x\"></i>",
 csv: "<i class=\"fa fa-file-text-o fa-2x\"></i>"
}
});

$('##<?=$_SESSION['sess']?>').click();
});

(function (d) {
 d.each(["backgroundColor", "borderBottomColor", "borderLeftColor",
"borderRightColor", "borderTopColor", "color", "outlineColor"], function (f, e) {
 d.fx.step[e] = function (g) {
 if (!g.colorInit) {
 g.start = c(g.elem, e);
 g.end = b(g.end);
 g.colorInit = true
 }
 g.elem.style[e] = "rgb(" + [Math.max(Math.min(parseInt((g.pos * (g.end[0] -
g.start[0])) + g.start[0]), 255), 0), Math.max(Math.min(parseInt((g.pos * (g.end[1] -
g.start[1])) + g.start[1]), 255), 0), Math.max(Math.min(parseInt((g.pos * (g.end[2] -
g.start[2])) + g.start[2]), 255), 0)].join(",") + ")"
 }
 });

function b(f) {
 var e;
 if (f && f.constructor == Array && f.length == 3) {
 return f
 }
 if (e = /rgb\(\s*([0-9]{1,3})\s*,\s*([0-9]{1,3})\s*,\s*([0-9]{1,3})\s*\)/.exec(f)) {
 return [parseInt(e[1]), parseInt(e[2]), parseInt(e[3])]
 }
 if (e = /rgb\(\s*([0-9]+(?:\.[0-9]+)?)\s*,\s*([0-9]+(?:\.[0-9]+)?)\s*,\s*([0-9]+(?:\.[0-9]+)?)\s*\)/.exec(f)) {
 return [parseFloat(e[1]) * 2.55, parseFloat(e[2]) * 2.55, parseFloat(e[3]) * 2.55]
 }
}

```

```

if (e = /#[a-fA-F0-9]{2})([a-fA-F0-9]{2})([a-fA-F0-9]{2})/.exec(f)) {
 return [parseInt(e[1], 16), parseInt(e[2], 16), parseInt(e[3], 16)]
}
if (e = /#[a-fA-F0-9])([a-fA-F0-9])([a-fA-F0-9])/.exec(f)) {
 return [parseInt(e[1] + e[1], 16), parseInt(e[2] + e[2], 16), parseInt(e[3] + e[3], 16)]
}
if (e = /rgba\((0, 0, 0, 0)\)/.exec(f)) {
 return a.transparent
}
return a[d.trim(f).toLowerCase()]
}

function c(g, e) {
 var f;
 do {
 f = d.css(g, e);
 if (f != "" && f != "transparent" || d.nodeName(g, "body")) {
 break
 }
 e = "backgroundColor"
 } while (g = g.parentNode);
 return b(f)
}
})(jQuery);
$(function () {
<?php
if($ERRmsg) {
 echo $ERRmsg;
}
?>
});
</script>
</html>

```

