



# Desenho Técnico Mecânico



# **Desenho Técnico Mecânico**

Ana Carolina Gigli Shiguemoto  
Cleudiane Soares Santos

© 2018 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.  
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

**Presidente**

Rodrigo Galindo

**Vice-Presidente Acadêmico de Graduação e de Educação Básica**

Mário Ghio Júnior

**Conselho Acadêmico**

Ana Lucia Jankovic Barduchi

Camila Cardoso Rotella

Danielly Nunes Andrade Noé

Grasiele Aparecida Lourenço

Isabel Cristina Chagas Barbin

Lidiane Cristina Vivaldini Olo

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

**Revisão Técnica**

Eduardo Costa Estambasse

Pedro Donizeti Bolanho

**Editorial**

Camila Cardoso Rotella (Diretora)

Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)

Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)

Leticia Bento Pieroni (Coordenadora)

Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

---

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

S555d Shiguemoto, Ana Carolina Gigli  
Desenho técnico mecânico / Ana Carolina Gigli  
Shiguemoto, Cleudiane Soares Santos. – Londrina : Editora e  
Distribuidora Educacional S.A., 2018.  
304 p.

ISBN 978-85-522-0667-5

1. Desenho (Projetos). I. Shiguemoto, Ana Carolina Gigli.  
II. Santos, Cleudiane Soares. III. Título.

CDD 620

---

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2018  
Editora e Distribuidora Educacional S.A.  
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza  
CEP: 86041-100 – Londrina – PR  
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br  
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

# Sumário

<b>Unidade 1   Desenho de componentes mecânicos (2D e 3D)</b> _____	<b>7</b>
Seção 1.1 - Importância do CAD/CAE/CAM _____	9
Seção 1.2 - Desenho assistido por computador: Comandos 2D _____	25
Seção 1.3 - Desenho assistido por computador: Comandos 3D _____	52
<b>Unidade 2   Simulação e análise do comportamento dos componentes de um projeto</b> _____	<b>87</b>
Seção 2.1 - Montagem de componentes _____	89
Seção 2.2 - Vista explodida e renderização _____	117
Seção 2.3 - Análises de Engenharia Auxiliada por Computador (CAE) _____	143
<b>Unidade 3   Desenho técnico com representação de tolerâncias, juntas soldadas e peças em chapas</b> _____	<b>169</b>
Seção 3.1 - Acabamento superficial, tolerância dimensional e ajustes _____	171
Seção 3.2 - Símbolos geométricos e tolerância geométrica _____	190
Seção 3.3 - Chapas e simbologia de soldagem _____	207
<b>Unidade 4   Desenho técnico de elementos de máquinas</b> _____	<b>231</b>
Seção 4.1 - Elementos de máquinas: elementos elásticos e elementos de apoio _____	233
Seção 4.2 - Elementos de máquinas: elementos de transmissão _____	255
Seção 4.3 - Elementos de máquinas: elementos de fixação _____	276



# Palavras do autor

Caro aluno, o desenho técnico mecânico é uma das ferramentas mais utilizadas no dia a dia da engenharia. Através dele é possível projetar um equipamento, orientar sua produção, e até mesmo efetuar vendas; portanto, é uma competência exigida no dia a dia dos profissionais que trabalham nas diversas áreas da engenharia. Este livro tem o objetivo de deixá-lo mais preparado para atender ao mercado profissional, utilizando ferramentas computacionais para projetos, documentação e simulação de produtos. Iremos conhecer e aplicar os conceitos relacionados à tolerância dimensional e à tolerância geométrica. Também aprenderemos como representar juntas soldadas e peças conformadas em chapa e faremos projetos com os principais elementos de máquinas.

A estrutura de seu livro didático contempla 4 (quatro) unidades de ensino. Conheça melhor o seu livro:

A Unidade 1 apresenta a importância das ferramentas de desenho, engenharia e manufatura CAD/CAE/CAM. Mostra os softwares CAD com aplicação na engenharia disponíveis no mercado e as principais compatibilidades entre eles e, além disso, apresenta uma introdução ao Autodesk Inventor® com demonstração de comandos em 2D e 3D para o desenvolvimento de projetos.

A Unidade 2 mostra os comandos para a montagem de componentes. Fala sobre a renderização, processo utilizado para a obtenção de imagens fotorrealistas, necessário a uma imagem que vai ser apresentada em um catálogo, por exemplo. Trata, ainda, sobre vista explodida, que são recursos utilizados para verificar o número de componentes em uma montagem, de forma a facilitar o estudo de seu interior. O último tópico aborda a análise de tensões utilizando o CAE, para a melhoria e para a otimização de projetos.

A Unidade 3 é responsável por demonstrar a representação de estados de superfície, tolerância dimensional, tolerância geométrica (forma, posição e orientação) e ajustes, utilizando o software, através da imersão em situações reais do cotidiano do engenheiro. Apresenta o corte e a dobra de chapas, além de como representar as chapas planificadas, para levar à manufatura todas as informações corretas baseadas nas informações de chapas metálicas. Por fim, demonstra a representação de soldagem e a simbologia técnica.

A Unidade 4 trata sobre o desenho técnico de elementos de máquina, ou seja, elementos elásticos, de acoplamento, de transmissão e de fixação. Além disso, essa unidade solicita que você demonstre os conhecimentos adquiridos em todo o livro didático.

Para que seus objetivos sejam alcançados, é necessário que você realize todas as etapas e atividades sugeridas no processo de autoestudo. Participe ativamente! Então, vamos lá? Bons estudos e seja bem-vindo ao Desenho Técnico Mecânico!

## Desenho de componentes mecânicos (2D e 3D)

### Convite ao estudo

O estudo do desenho técnico mecânico é de grande importância para diversas áreas da engenharia por propor soluções práticas para diversos problemas, por isso, é necessário que o engenheiro de projetos esteja fundamentado nessa competência para evitar erros que poderiam prejudicar desde o ajuste de um componente até o comprometimento de nível estrutural de uma montagem. Além disso, com o projeto virtual é possível efetuar a venda de um produto sem ter realizado a sua construção.

O desenho computacional cria análises para validar os produtos, reduzindo o número de protótipos de testes, sendo uma maneira de validar economicamente ideias de projetos e de acelerar o desenvolvimento de produtos mais competitivos. Além disso, é um meio conciso, exato e inequívoco para comunicar a forma dos objetos, ou seja, segue normas técnicas que os padronizam. Todas as normas aprendidas no desenho técnico são consideradas neste estudo, entretanto, o computador já está ajustado para executar os comandos de acordo com as normas definidas pelo projetista/desenhista. Desta forma, essa modalidade difere do desenho técnico desenvolvido manualmente apenas quanto à maneira de execução, sendo idênticos os seus princípios fundamentais.

Nesta unidade de ensino, iremos enfatizar a importância da integração CAD/CAE/CAM, mostrando a razão pela qual essa tendência tem sido seguida pelas empresas. Mostraremos os softwares comerciais disponíveis no mercado para a engenharia e a compatibilidade entre eles. Por fim, apresentaremos comandos no programa para o desenvolvimento de modelos bidimensionais (2D) e, finalmente, os comandos para desenvolvimento de modelos tridimensionais (3D).

Para auxiliar no desenvolvimento da competência acima e atender aos objetivos específicos do tema em questão, a seguir é apresentada uma situação hipotética que visa aproximar os conteúdos teóricos da prática. Vamos lá!

Uma empresa do ramo automotivo está diante de um desafio inovador, a construção de peças a partir da utilização de novos materiais e novos processos de fabricação. Em contato com os fornecedores, eles solicitam um tempo de 40 a 60 dias para desenvolver esses novos processos, porém, a entrega deve ser de no máximo 20 dias, gerando muitos problemas logísticos quanto ao transporte de suas peças para as montadoras. Imagine que você é o engenheiro responsável pela equipe de projetos dessa montadora e resolveu propor uma solução imediata para minimizar o problema de entrega aos seus clientes. Sua proposta é que a montadora terceirize o serviço de fabricação das engrenagens, já que essa peça é um grande gargalo para a empresa. Para que isso ocorra, é necessário que você defenda sua ideia para a matriz e faça o desenho projetivo para a fabricação, que será enviado, posteriormente, à empresa terceirizada. O desenho deve contar com projeção ortogonal e perspectiva do modelo. Parabéns pela sua atitude em trazer agilidade para o serviço, isso mostra comprometimento com o cliente e com a empresa!

Então, vamos começar?

# Seção 1.1

## Importância do CAD/CAE/CAM

### Diálogo aberto

Olá, sejam bem-vindos!

Estudar Desenho Técnico Mecânico é entender que um projeto não é só o desenho, mas sim todas as etapas ligadas a ele, desde a geração da necessidade/ideia até sua fabricação, e tudo deve ser pensado pelo engenheiro quando o projeta. Por exemplo, durante o processo, ele deve estar atento a como o projeto deve ser fabricado para ter menos material e menor custo, sem comprometer a qualidade. Esta disciplina auxiliará você a ser um profissional diferenciado no mercado com o desenvolvimento de soluções inovadoras para os mais diversos segmentos. Aproveite a oportunidade para se destacar e bons estudos!

Vamos voltar à situação hipotética apresentada no Convite ao estudo?

Uma empresa do ramo automotivo está diante de um desafio inovador, a construção de peças utilizando novos materiais e novos processos de fabricação. Contudo, é necessário reduzir o tempo de espera das peças e, por isso, decidiu contratar uma terceirizada para executar esse serviço.

Nesta unidade, a empresa deve apresentar as peças, e como você é o engenheiro responsável por esse departamento, você deve discutir com sua equipe como vão apresentar o projeto das peças. Sabe-se que a empresa adquiriu recentemente uma licença de um para modelagem em 3D. Surge uma dúvida: devemos apresentar o projeto por meios convencionais, desenhando à mão livre, ou fazer uso dessa nova ferramenta utilizando o computador para criar os modelos? Na conversa com a equipe de projetos, ainda surgiu a ideia de apresentar as vantagens da utilização dos computadores e softwares para desenho, bem como suas desvantagens e também a ideia de criação de um fluxograma de utilização do programa que passe pelo CAD/CAE/CAM, explicando a vantagem da utilização de cada uma das ferramentas e a importância da integração entre elas.

## Não pode faltar

Desde suas origens o homem se comunica através do desenho, entretanto, ao longo da história, a comunicação evoluiu com o desenvolvimento do homem e da sociedade. Hoje o CAD (Projeto Assistido por Computador), em inglês *Computer Aided Design*, tem sido disseminado e amplamente utilizado, ou seja, o desenho tradicional elaborado através de técnicas manuais tem sido substituído por programas computacionais que representam os desenhos técnicos, grande motivação para o estudo do CAD na engenharia. Porém, é importante destacar que essa substituição tem acontecido pelas vantagens que oferece na resolução de problemas e no desenvolvimento de produtos, pois permite criar montagens, análises e testes, com otimização, validação, dentre outros, gerando maior controle sobre projetos e auxiliando na gestão de detalhes essenciais para o projetista, tornando-o um grande aliado do engenheiro de projetos (ANACLETO, 1991).



Refleta

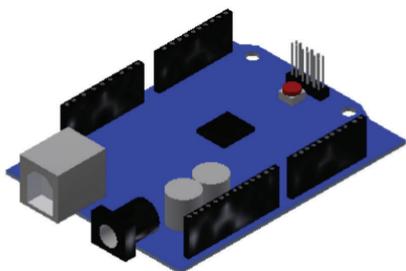
Todo engenheiro precisa ser especialista em desenho técnico?

Além disso, o desenho com auxílio do computador apresenta inúmeras vantagens quando comparado ao desenho técnico tradicional, como: facilidade na correção de desenhos; construção com maior precisão; melhor visualização de desenhos, inclusive com cores e animações; facilidade e velocidade de envio e recebimento de projetos; simulação e testes; dentre outras (ZANQUETTA, 2003). O uso dessa ferramenta revolucionou a indústria de projetos, aumentando a produtividade dos profissionais e reduzindo drasticamente as chances de erro. Contudo, é bem verdade, que apesar de todas as suas vantagens, é fundamental a importância do conhecimento prévio de desenho técnico do projetista, pois possuir um plano não sinaliza um bom projeto (PELICIA, 2003).

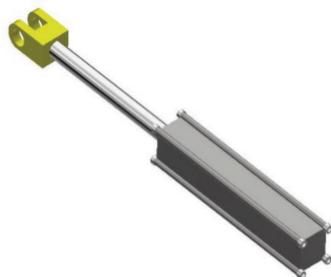
Existem diversos programas disponíveis no mercado para a engenharia com essa mesma funcionalidade, como: Inventor®, SolidWorks®, Pro\_Engineer®, Catia®, AutoCAD®, Solid Edge®, ANSYS®, Rhinoceros®, dentre outros, e as aplicações em CAD estão sendo

realizadas nas mais diversas áreas, conforme mostra a Figura 1.1. Alguns softwares são dedicados a aplicações específicas, como, o ANSYS®, que é utilizado para simulações através do método dos elementos finitos.

Figura 1.1 | Aplicações de CAD: (a) Elétrica/Eletrônica; (b) Mecânica



(a)



(b)

Fonte: elaborada pela autora.



**Pesquise mais**

Veja a seguir o vídeo demonstrativo de projetos de móveis utilizando o Autodesk Inventor®:

Autodesk Inventor® para móveis. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=250loqybqCI>>. Acesso em: 20 out. 2017.



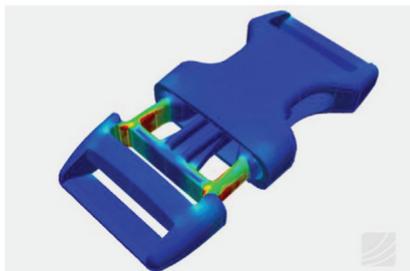
**Assimile**

Apesar de existirem diversos CAD, não existe um que poderíamos dizer ser o melhor, todos são desenvolvidos para cobrir a necessidade de grande parte dos usuários. Também a maioria deles tem a capacidade de transferir modelos projetados, fazendo a exportação, por exemplo, de um programa para outro. Em alguns casos essa transferência de desenho de um para outro requer ferramentas específicas ou procedimentos de salvamento dos arquivos específicos.

Além disso, a Engenharia Assistida por Computador (CAE), em inglês *Computer Aided Engineering*, é a aplicação na engenharia para analisar a robustez e o desempenho de componentes e conjuntos, que engloba

a simulação, a validação e a otimização de produtos e ferramentas industriais. Em outras palavras, um sistema CAE tem a capacidade de simular um projeto sob uma variedade de condições, para verificar se, depois de pronto, ele efetivamente suportará determinada carga ou ciclo de vida. A Figura 1.2 apresenta uma análise de comportamento entre dois componentes desenvolvida no software.

Figura 1.2 | Análise por CAE



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AContact\\_analysis\\_of\\_a\\_consumer\\_snap\\_fit\\_mechanism.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AContact_analysis_of_a_consumer_snap_fit_mechanism.jpg)>. Acesso em: 20 out. 2017.

A tecnologia CAE mudou radicalmente a forma como os projetistas avaliam o comportamento de seus produtos, uma vez que praticamente eliminou a necessidade da construção de protótipos, que consomem tempo e dinheiro. Com um CAE diferentes tipos de análises podem ser realizadas, como: estruturais, térmicas, dinâmicas e de fluidos. Para fazer a simulação, são definidas características ao modelo como: materiais, interações com elementos externos, forças aplicadas, fixações, dentre outras. A malha é então criada, apresentando as informações que o utiliza para o cálculo ou modelo matemático, que serve para avaliar o comportamento do objeto verificando se este pode ser aprovado ou se há a necessidade de alterações no projeto. Através dessas análises, uma grande quantidade de cálculos (análise de elementos finitos e de elementos analíticos) é alcançada em tempo reduzido, obtendo dados de: tensão, deformação, velocidade, força, entre outros.



**Refleta**

Estudos constataram que a maioria dos problemas causados na fábrica e que interferem na qualidade estavam na área de projetos e não na

fabricação ou em outro fator qualquer, o que justifica a utilização do CAE para a análise dos modelos (MARTINS; LAUGENI, 2002, p. 65).



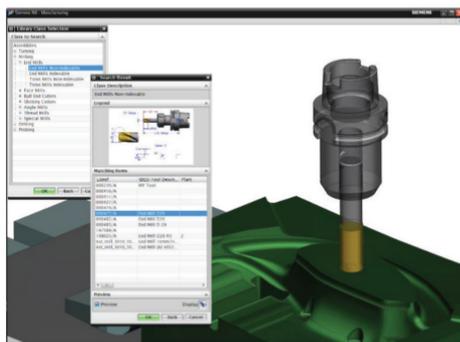
**Dica**

Uma boa sugestão é você baixar grátis os aplicativos de CAD nas lojas *Apple Store* ou *Google Play* para apresentar suas ideias, projetos e produtos diretamente do seu celular/tablet.



Um sistema CAM (Fabricação Assistida por Computador), em inglês *Computer Aided Manufacturing*, consiste no uso de um software para controlar ferramentas de máquinas e equipamentos relacionados ao processo de fabricação. São aplicações diretas, nas quais o computador é usado para monitorar ou para controlar as operações de manufatura e permite que máquinas executem operações seguindo comandos a partir de um computador, desenvolvendo atividades de geração, transmissão e controle de execução (STRANIERE, 2008). O sistema CAM é uma ferramenta de interface entre um desenho de uma peça e sua confecção, utilizando um CNC (Comando Numérico Computadorizado), conforme mostra a Figura 1.3.

Figura 1.3 | Sistema de usinagem utilizando o CAM



Fonte: <<https://www.flickr.com/photos/31274959@N08/10144171264/>>. Acesso em: 20 out. 2017.

Essas máquinas são controladas numericamente (CNC – Comando Numérico Computadorizado – *Computer Numeric Control*) com informações pré-programadas ou codificadas. Os sistemas de alguns fabricantes de sistemas CAD/CAM oferecem a possibilidade de uma transferência direta de dados geométricos entre os dois módulos, entretanto, o processista necessita recorrer ao desenho da peça para verificar as tolerâncias definidas pelo projetista e preparar um programa CNC, que permita obter as cotas dimensionais especificadas (THALMANN; THALMANN, 1993).



## Assimile

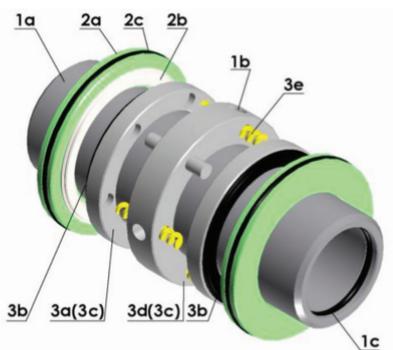
- **CAD:** Projeto Assistido por Computador ou Desenho com Auxílio do Computador. Ex.: uso de software para desenho de modelos em 2D ou 3D.
- **CAE:** Engenharia Assistida por Computador. Ex.: uso de software para auxiliar na análise de engenharia (tensão, deformação etc).
- **CAM:** Fabricação Assistida por Computador. Ex.: uso de software para controle de máquinas-ferramentas e produtos relacionados à fabricação de peças de trabalho.



## Exemplificando

Mostre que você entendeu o assunto. A Figura 1.4 representa um desenho em CAD, CAE ou CAM? Justifique.

Figura 1.4 | Modelo mecânico



Fonte: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Manufacturing\\_engineering#/media/File:Mech\\_2\\_3D.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Manufacturing_engineering#/media/File:Mech_2_3D.png)>. Acesso em: 20 out. 2017.

Nesta disciplina estaremos utilizando como software principal o Autodesk Inventor® versão 2018, por ser consagrado entre os profissionais, professores e escolas. Porém, também iremos fazer uso de outros softwares no decorrer do curso com o propósito de que haja o perfeito esclarecimento quanto à compatibilidade entre os softwares, inclusive a partir da demonstração de comandos similares em softwares distintos para que o aluno perceba a proximidade da execução dos comandos. Siga os passos para baixar o programa:

**1º Passo:** Acesse o site da Autodesk® e faça seu cadastramento para instalação no seu computador pessoal.

• AUTODESK, Educação. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/inventor/overview>>. Acesso em: 20 out. 2017.



**Dica**

Alunos podem ter softwares gratuitos por até 3 anos, mas é importante observar que o desenvolvedor disponibiliza o software gratuitamente somente para fins educacionais, então, essa versão de estudante não pode ser usada para outros trabalhos profissionais. Veja os termos da licença:

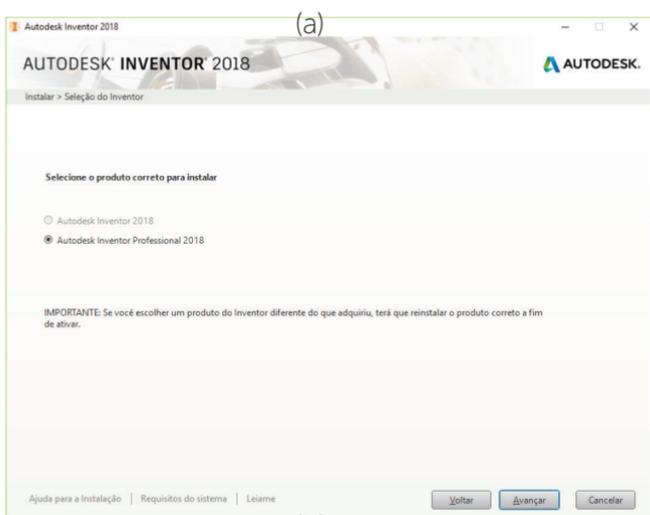
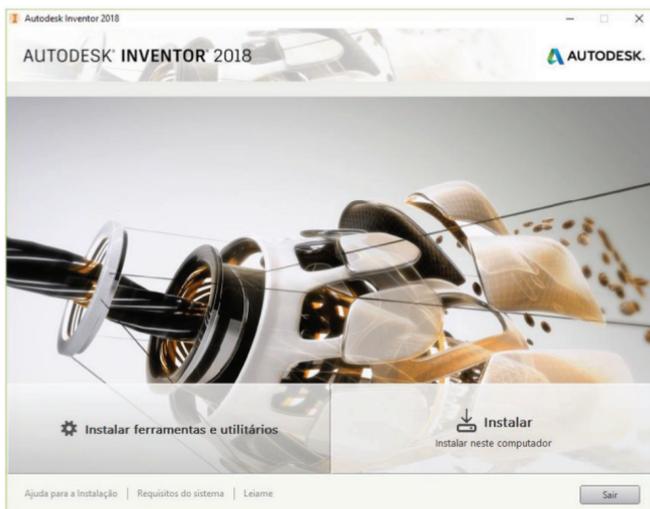
Qualquer software fornecido pelo portal *Academic Resource Center* (Inglês) pode ser utilizado somente para fins diretamente relacionados ao aprendizado, ensino, treinamento, pesquisa e desenvolvimento que fazem parte das funções de instrução realizadas por uma instituição educacional qualificada e não pode ser usado para fins comerciais, profissionais ou outros fins lucrativos.

**Disponível em:** <<http://www.autodesk.com.br/education>>. Acesso em: 20 out. 2017.

Como o software desempenha uma atividade intimamente ligada à tecnologia é importante que o aluno acompanhe as constantes atualizações e evoluções dos programas para não ficar de fora das novidades do mercado de trabalho.

**2º Passo:** O programa vai abrir um executável e uma tela de instalação. Ao solicitar a instalação do programa (Figura 1.5a), selecione o produto Autodesk Inventor Profissional® 2018 (Figura 1.5b).

Figura 1.5 | Telas de instalação do Autodesk Inventor®



(b)

Fonte: autodesk (2017).

**3º Passo:** Pronto! Agora que o programa instalou clique no ícone de trabalho (*shortcut*) localizado na área de trabalho para abri-lo, conforme mostra a Figura 1.6. Toda vez que for iniciar o programa, ele abrirá a tela de abertura (Figura 1.7) e a interface gráfica para início dos projetos (Figura 1.8).

Figura 1.6 | Ícone de trabalho



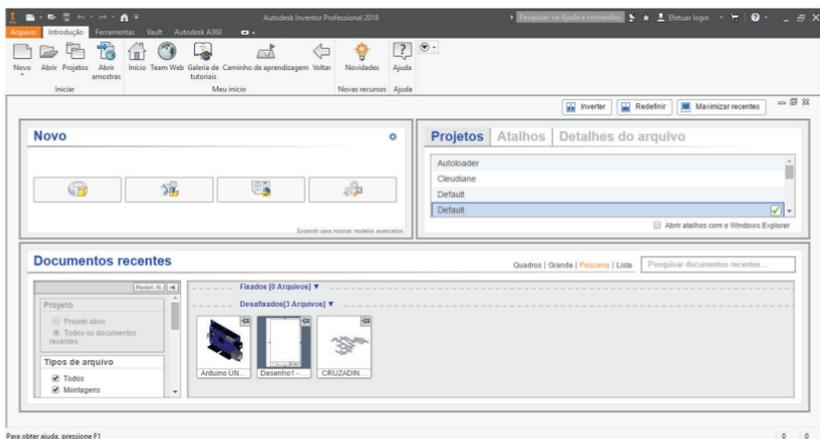
Fonte: autodesk (2017).

Figura 1.7 | Tela de abertura



Fonte: autodesk (2017).

Figura 1.8 | Tela inicial do Inventor versão 2018



Fonte: autodesk (2017).



## Dica

- Caso a instalação não tenha funcionado corretamente, não hesite em pedir ajuda ao seu professor.
- A disciplina exige alta concentração por parte do aluno. Como em toda disciplina em laboratório é necessário que o estudante esteja atento para observar os comandos que serão passados pelo professor, de forma que possa executá-los corretamente; caso isso não ocorra, o aluno atrapalha o andamento e o rendimento da aula quando solicita que o professor reexplique o comando. Fique atento!



## Pesquise mais

O que os usuários/clientes do Autodesk Inventor® estão falando sobre o software? Acesse o site oficial do software, indicado a seguir, na área Estudos de Caso, e conheça diversos estudos que podem auxiliá-lo. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/inventor/case-studies>>. Acesso em: 20 out. 2017.

## Sem medo de errar

Agora é a hora de resolver a situação-problema (SP) da seção!

A empresa deve apresentar as peças, e como você é o engenheiro responsável por esse departamento, deve discutir com sua equipe como vão apresentar o projeto das peças. Sabe-se que a empresa adquiriu recentemente uma licença de um software para modelagem em 3D. Então, surge uma dúvida, devemos apresentar o projeto por meios convencionais, desenhando à mão livre, ou fazer uso dessa nova ferramenta utilizando o computador para criar os modelos?

Na conversa com a equipe de projetos ainda surgiu a ideia de apresentar as vantagens da utilização dos computadores e softwares para desenho, bem como suas desvantagens e também a ideia de criação de um fluxograma de utilização do programa que passe pelo CAD/CAE/CAM, explicando a vantagem de utilização de cada uma das ferramentas e a importância da integração entre elas.

O desenho manual é de grande importância para o projeto, inclusive pré-requisito para o desenho técnico mecânico. Porém, para

apresentar o desenho a um cliente, sem sombra de dúvidas o software tem mais aceitação, pois o cliente pode ver a peça em cores, girar o modelo em 3D, observar todas as suas faces, solicitar zoom nas partes em que deseja mais detalhamento etc. É claro que existe a viabilidade do investimento, ou seja, o custo de aquisição da licença, bem como as fases de implementação e adaptação dessa tecnologia na empresa que acabou de adquirir o software. Contudo, resultados finais mostram que o uso de softwares de modelamento 3D impulsionam a produção, facilitam o trabalho e tornam o lugar de trabalho mais seguro e produtivo, reduzindo prejuízos de tempo e horas de fabricação. Com isso, pode-se concluir que a implementação de um software de modelamento 3D, em qualquer empresa, é compensador, seja qual for o valor do investimento, pois, na atualidade, o prazo e qualidade são fundamentais para se manter em um mercado cada vez mais competitivo e abrangente.

**Atenção:** No texto acima já foram comentadas vantagens e desvantagens do CAD em relação ao desenho técnico mecânico. No item anterior “Não pode faltar”, várias informações valiosas que podem lhe ajudar neste entendimento também foram abordadas. Essa atividade servirá como um importante exercício de reflexão, e vai ajudá-lo a entender a importância do estudo do Desenho Técnico Mecânico. Vamos pensar?

O fluxograma de um processo de criação utilizando as ferramentas CAD/CAE/CAM sempre se inicia no CAD, no qual o projetista consegue demonstrar o desenho do produto (2D e 3D) e toda a sua documentação. Para o CAE o arquivo em CAD é utilizado para determinar a rede nodal (malha) integrada a ser usada para a análise. Para o CAM o programa CAD também é necessário para determinar as rotas das máquinas e os cortes. Pode-se concluir que o CAD é a espinha dorsal de qualquer CAM ou CAE, e é necessário para que eles funcionem corretamente. CAM é um processo assistido por computador subsequente ao CAD e, por vezes, posterior à engenharia assistida por computador (CAE). Assim, um modelo é gerado em CAD e verificado em CAE para gerar a entrada para o software CAM, que controla a máquina-ferramenta.

Vantagens do CAD:

- Aumento da produtividade;
- Aumento da qualidade dos serviços;
- Melhoria na comunicação através das documentações;
- Criação de bancos de dados para a manufatura etc.

Vantagens do CAE:

- Análise para resolução de problemas;
- Simulação e cálculos de engenharia para análise;
- Análise de segurança;
- Otimização no desenvolvimento de produtos etc.

Vantagens do CAM:

- Integração do computador com máquinas CNC;
- Software inteligente para desenvolver código de programação para acionamento de máquina;
- Visualização da simulação final do produto etc.

Vantagens da integração CAD/CAE/CAM:

- Proporcionam o melhor custo-benefício para quem os utiliza;
- Reduz a quantidade de protótipos físicos de testes;
- Diminui o tempo da concepção do produto até sua fabricação etc.

## Avançando na prática

### Integração CAD/CAE/CAM

#### Descrição da situação-problema

O projeto de um novo produto se inicia, a princípio, com a proposta do cliente ou quando surge de uma necessidade. Há casos em que o cliente tem apenas uma ideia do que deseja, já, em outros, tem um esboço do projeto, que serve de *start* para a análise de viabilidade, para transformar a ideia em realidade. A empresa que você trabalha vai desenvolver um novo produto (peça mecânica) para um cliente,

que tem um croqui do que deseja. Especifique o processo atual da engenharia ao atender o cliente, utilizando a integração das ferramentas CAD/CAE/CAM. Essa apresentação servirá de base para que o cliente saiba de que forma será desenvolvido o seu produto.

### **Resolução da situação-problema**

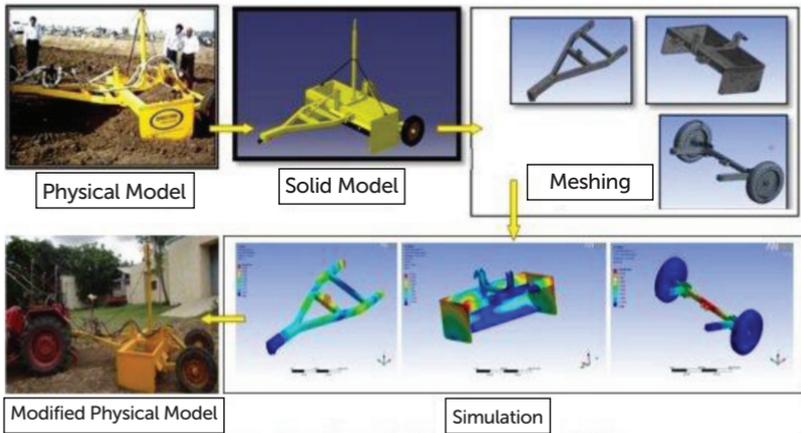
CAD: o primeiro passo para o desenvolvimento do projeto é a apresentação realizada pela engenharia de um conceito inicial, um protótipo virtual, ou seja, uma imagem em 3D, que é gerada pelo software de trabalho, na qual será exposta de maneira real a forma e o design do produto. Após aprovado pelo cliente, os projetistas elaboram um cronograma para estabelecer as etapas do projeto.

CAE: os primeiros passos do projeto são os cálculos, nos quais os projetistas analisam as estruturas, as cargas suportadas e a matéria-prima a serem utilizadas no projeto, entre outras questões. Simulam e analisam todas as variáveis que podem comprometer os resultados do projeto. Os cálculos são remetidos ao cliente e também verificam se haverá alguma alteração no projeto antes da liberação para a fabricação.

CAM: o produto é liberado para a fabricação, em uma condição única de confiabilidade sobre os programas CNC e com as informações finais de projeto predefinidas. A solução dessa proposta incorpora, de forma automática, todo o trabalho de gestão de atualização dos projetos, minimizando o tempo dessa atividade e assegurando a integridade das informações, como também eliminando a possibilidade de erro humano no controle de processo. O programador de CAM não mais terá que refazer programas, pois a integração obtida pela solução permite a alteração dos trajetos de forma imediata, bastando ao programador executar pequenos ajustes, caso necessário, reduzindo tempo e custos (STRANIERI, 2008).

De forma bem semelhante, acontece o processo para a melhoria de um projeto. A Figura 1.9 apresenta de forma simplificada os passos para a modificação de um projeto.

Figura 1.9 | Etapas para melhoria de um projeto

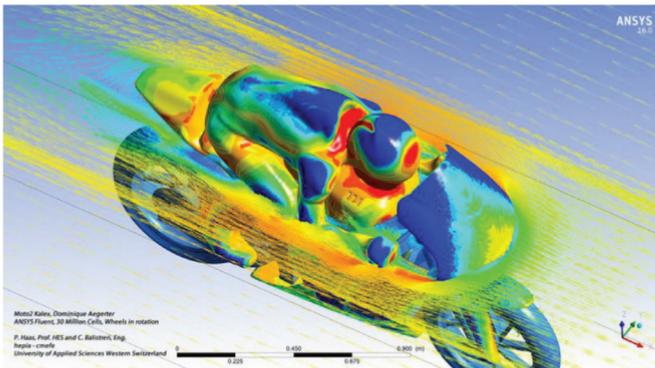


Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACAE\\_optimization\\_Cycle\\_for\\_ALLL\\_developed\\_by\\_Gopal\\_U\\_Shinde\\_%2CCAET%2CMKV%2CPARBHANI.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACAE_optimization_Cycle_for_ALLL_developed_by_Gopal_U_Shinde_%2CCAET%2CMKV%2CPARBHANI.jpg)>. Acesso em: 20 out. 2017.

## Faça valer a pena

**1.** Um projeto foi desenvolvido por uma empresa de grande porte do setor de engenharia. Para o desenvolvimento do modelo, foi utilizado o software ANSYS®, que é utilizado para projetos e simulações, conforme mostra a Figura 1.10:

Figura 1.10 | Projeto desenvolvido em software 3D



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AMoto2\\_CFD\\_hepia-cmefe\\_1.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AMoto2_CFD_hepia-cmefe_1.png)>. Acesso em: 20 out. 2017.

Agora, assinale a resposta correta. O modelo 3D desenvolvido representa um:

- a) CIM – Manufatura Integrada ao Computador.
- b) CAB – Projeto Assistido por Computador.
- c) CAE – Engenharia Assistida por Computador.
- d) CAM – Fabricação Assistida por Computador.
- e) PCP – Planejamento e Controle da Produção.

**2.** A utilização de sistemas computacionais nas diferentes áreas da engenharia é uma exigência do atual mercado globalizado, altamente competitivo, o que indica, de alguma forma, que as empresas podem produzir cada vez mais, com melhorias e custos reduzidos. Avalie as informações quanto às vantagens competitivas do CAD em relação ao desenho técnico tradicional e marque V para verdadeiro e F para falso:

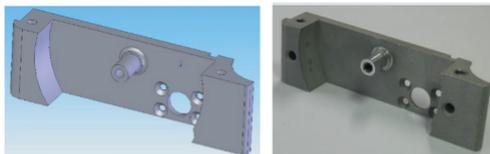
- ( ) Com a evolução dos projetos, desenhos manuais e impressos foram substituídos por softwares, uma vez que agilizam as alterações nos projetos.
- ( ) Os softwares CAD disponíveis no mercado permitem um maior controle sobre projetos.
- ( ) Para o desenvolvimento de modelos no software não é necessário o conhecimento das normas técnicas.
- ( ) Os modelos virtuais têm mesma precisão que os modelos manuais.

Assinale a alternativa que contempla a resposta correta da sequência de verdadeiro ou falso de cima para baixo:

- a) F – V – F – V.
- b) F – F – V – V.
- c) V – F – V – F.
- d) V – V – F – F.
- e) V – V – V – V.

**3.** Uma empresa de médio porte atua no setor de projetos mecânicos e desenvolve projetos integrados CAD/CAE/CAM. A Figura 1.11 apresenta uma peça modelada (protótipo virtual) e fabricada (protótipo físico) pela empresa para um de seus clientes.

Figura 1.11 | Peça mecânica



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACAD\\_model\\_Land\\_CNC\\_machined\\_part.PNG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACAD_model_Land_CNC_machined_part.PNG)>. Acesso em: 20 out. 2017.

Avalie as afirmações a seguir:

- I – O projeto sempre segue a sequência CAD/CAE/CAM para ser executado.
- II – O tempo calculado na elaboração de um projeto leva em conta a habilidade e o domínio do projetista sobre o software utilizado.
- III – O projeto realizado no software não tem probabilidade de erro.
- IV – No protótipo virtual, é possível verificar possíveis interferências no projeto, por meio de diversas ferramentas integradas aos programas.

É CORRETO o que se afirma apenas em:

- a) I, somente.
- b) II, somente.
- c) I e II, somente.
- d) III e IV, somente.
- e) I, II e IV, somente.

# Seção 1.2

## Desenho assistido por computador: Comandos 2D

### Diálogo aberto

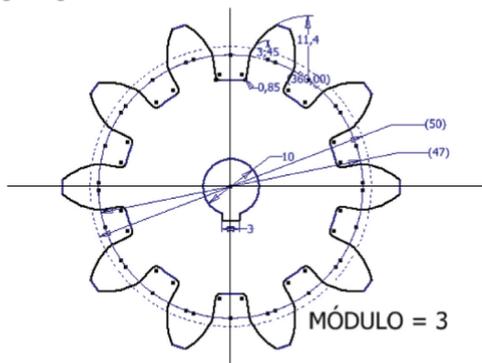
Olá, querido estudante!

Projetos são a essência da engenharia. Por isso, essa competência deve ser muito bem desenvolvida na academia e é o propósito desta disciplina. Na Seção 1.1 você aprendeu sobre a importância das ferramentas CAD/CAE/CAM e como a integração dessas ferramentas auxiliam os projetistas. Também viu alguns dos softwares disponíveis no mercado e baixou para o seu computador pessoal o programa para treinar os exercícios que serão propostos no decorrer do livro didático.

Nesta seção, você vai estudar sobre os comandos para desenvolvimento de peças 2D (bidimensionais), vai entender e se familiarizar com a interface do software, aplicar algumas funcionalidades básicas, como iniciar, abrir, modificar e salvar modelos, criar e editar geometria de esboço 2D, e verificar como a padronização do desenho segue as normas técnicas. No Brasil, a entidade responsável pelas normas é a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

Vamos voltar à situação apresentada no convite ao estudo? Você, como engenheiro responsável pela equipe de projetos de uma montadora, resolveu propor que a empresa terceirize o serviço de fabricação das engrenagens, já que essa peça é um grande gargalo para a empresa, visando a melhoria da logística e o melhor atendimento aos clientes. Para a decisão final, é necessário que você defenda essa ideia para a matriz e faça o desenho projetivo para a fabricação, que será enviado, posteriormente, à terceirizada, com projeção ortogonal e perspectiva do modelo. A Figura 1.12 mostra o esboço da engrenagem e a Tabela 1.1 algumas de suas especificações técnicas.

Figura 1.12 | Engrenagem 2D



Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 1.1 | Especificações técnicas da engrenagem

DADOS TÉCNICOS	
Número de dentes (Z)	10
Módulo (m)	3
Diâmetro externo (de)	60 mm
Diâmetro primitivo (dp)	50 mm
Diâmetro de base (db)	47 mm
Diâmetro interno (di)	38,3 mm
Passo (P)	15,7 mm
Raio para traçado do perfil (R)	11,4 mm
Raio para traçado do perfil (r)	3,45 mm
Arredondamento	0,85 mm

Fonte: elaborado pela autora. (2017)

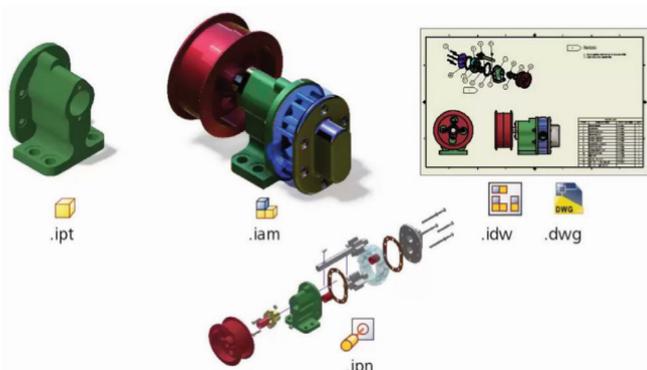
Desde já, parabéns pela sua iniciativa em trazer agilidade para o serviço. Empresas valorizam esse tipo de atitude!

## Não pode faltar

Autodesk Inventor® é um software de projeto de fácil aprendizado, de modelagem de sólidos, usado para criar modelos 3D precisos, desde 1985. O Inventor® é utilizado para produzir quatro tipos principais de arquivos: peça (componentes), montagem (conjuntos), desenho (*projeção ortogonal*) e apresentação (*projeções explodidas* e

animações). A Figura 1.13 apresenta suas representações e extensões. Contudo, existem outros tipos e extensões de arquivos.

Figura 1.13 | Tipos de arquivos

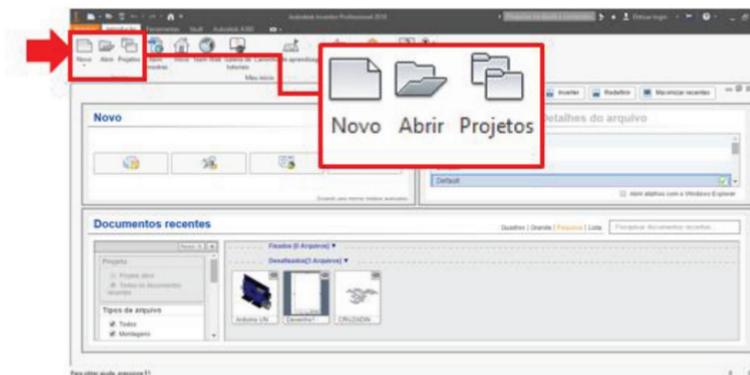


Fonte: Autodesk (2017).

A tela inicial de trabalho (Figura 1.14) apresenta na faixa de opções, comandos para:

1. **Novo** (  ): abrir novo documento (peça, montagem, desenho ou apresentação).
2. **Abrir** (  ): abrir documento salvo.
3. **Projeto** (  ): definição de local para que os documentos sejam salvos.

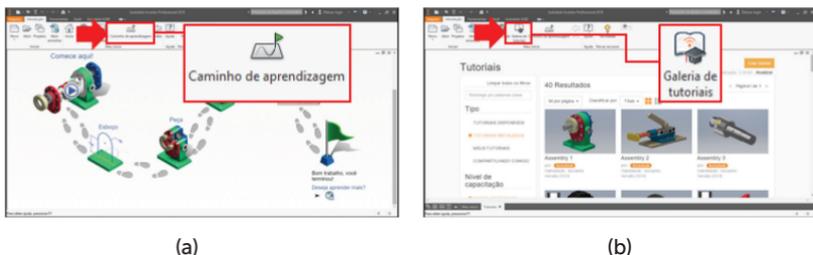
Figura 1.14 | Tela de trabalho



Fonte: Autodesk (2017).

Ainda na faixa de opções, o software exibe o ícone **caminho de aprendizagem** (Figura 1.15a), que mostra uma visão inicial do software e é recomendado assisti-la antes de iniciar a **galeria dos tutoriais** (Figura 1.15b), que apresenta vários tutoriais em vídeo com níveis de capacitação: iniciante, intermediário e avançado. Você também pode compartilhar um tutorial de maneira pública ou privada.

Figura 1.15 | Tela de trabalho: (a) Caminho de aprendizagem; (b) Galeria dos tutoriais



Fonte: Autodesk (2017).

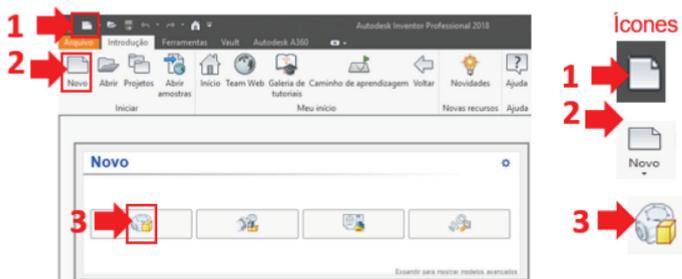


### Dica

Assista aos vídeos e explore toda a página para que você esteja bem familiarizado com tudo o que o software disponibiliza. Isso com certeza vai ajudar você no desenvolvimento de projetos!

Para abrir uma nova peça você tem três opções na tela, conforme demonstra a Figura 1.16.

Figura 1.16 | Nova peça



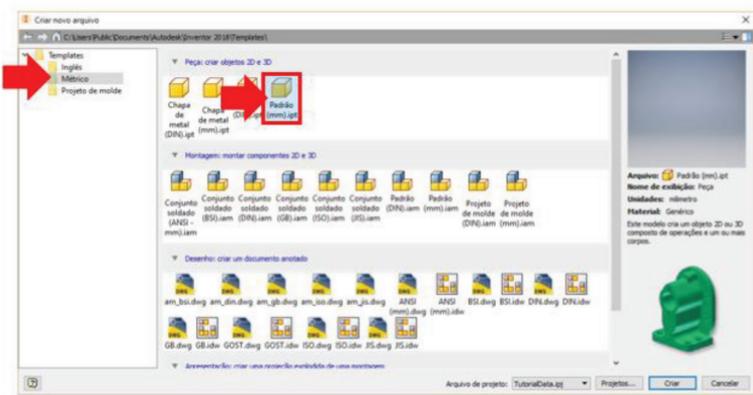
Fonte: Autodesk (2017).



Você também pode utilizar as teclas de atalho do teclado para agilizar os comandos. Exemplo: Novo (Ctrl+N). Pesquise mais sobre este assunto!

Caso selecione as duas primeiras opções, uma nova janela irá se abrir para que você escolha o tipo de extensão e a unidade de medida que vai trabalhar. A Figura 1.17 apresenta os passos para abrir uma peça (.ipt) utilizando o sistema métrico (mm).

Figura 1.17 | Definindo unidade para nova peça



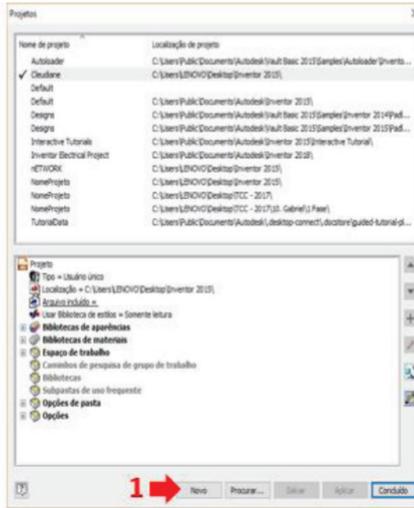
Fonte: Autodesk (2017).

 **Projeto (Projeto):** Um projeto define os locais de todos os arquivos associados com o projeto, incluindo quando os dados são editados. As informações do arquivo de projetos são usadas para localizar os arquivos referenciados, ou seja, quando configurado, todas as vezes em que o arquivo for salvo vai automaticamente para a pasta definida.

Para acessar o assistente de configuração de projetos, clique no ícone de projetos e siga os passos:

- Novo: Clique no botão Novo (1) para criar um novo projeto, conforme Figura 1.18.

Figura 1.18 | Novo

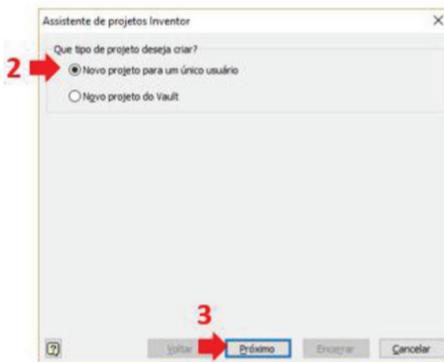


Fonte: Autodesk (2017).

- Tipos de projetos, existem dois tipos:
  - o Novo projeto para único usuário: projeto usado para gerenciamento simples de um projeto.
  - o Novo projeto do Vault: projeto usado por usuários do Autodesk Vault®.

Selecione o tipo de projeto mais apropriado (2) e depois clique em próximo (3), conforme Figura 1.19.

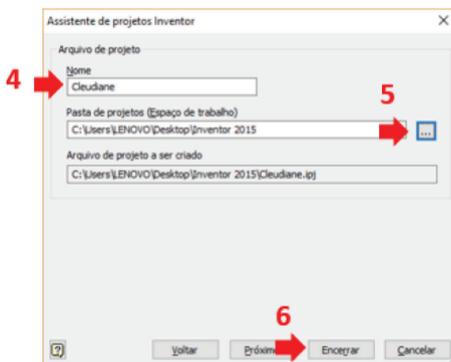
Figura 1.19 | Tipos de projeto



Fonte: Autodesk (2017).

- Altere o nome do projeto (4) para um nome de seu interesse, como mostra a Figura 1.20.
- Selecione o espaço de trabalho (5), ou seja, pasta em que os arquivos serão salvos e clique em encerrar (6), conforme mostra a Figura 1.20.

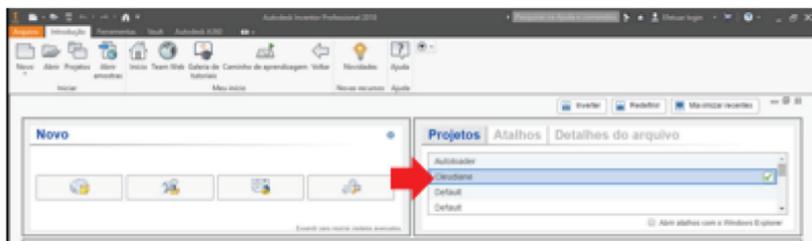
Figura 1.20 | Projeto definido



Fonte: Autodesk (2017).

Para confirmar se os comandos foram executados corretamente, verifique se o nome do projeto está selecionado na tela inicial de trabalho (Figura 1.21).

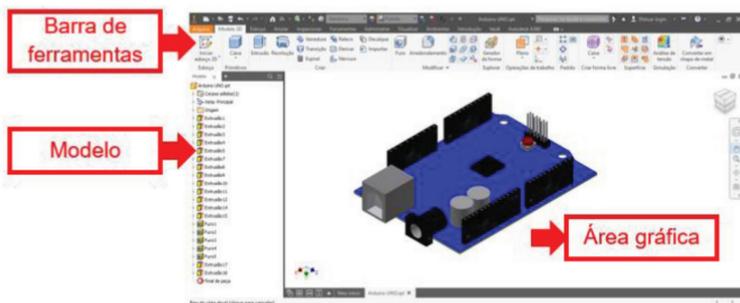
Figura 1.21 | Projeto definido



Fonte: Autodesk (2017).

A interface de usuário (Figura 1.22) oferece acesso aos comandos da barra de ferramentas (ícones de trabalho para), do modelo (árvore de histórico) e da área gráfica (área de desenho), que serão descritos detalhadamente a seguir.

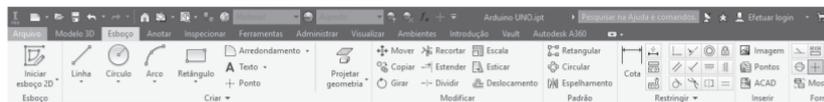
Figura 1.22 | Tela de trabalho



Fonte: elaborada pela autora.

Barra de ferramentas: é uma barra composta por uma série de ferramentas, representadas por ícones, que são organizadas em guias marcadas pelas tarefas, como mostra a Figura 1.23.

Figura 1.23 | Barra de ferramentas do comando esboço



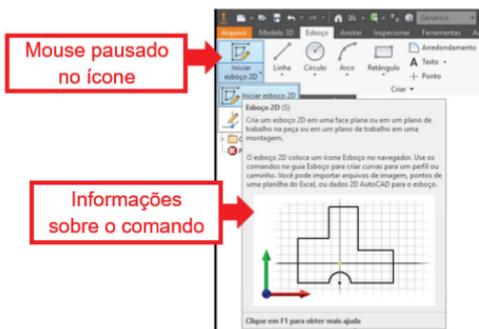
Fonte: Autodesk (2017).



## Dica

Ao deixar o mouse durante dois segundos em cima da ferramenta, são exibidas informações com explicações sobre os comandos e um link direto para o comando de ajuda. A Figura 1.24 apresenta informações sobre o comando esboço

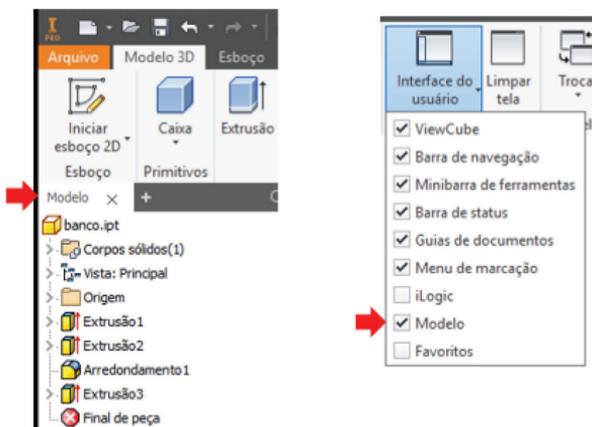
Figura 1.24 | Informações dos comandos



Fonte: Autodesk (2017).

Modelo: exibe o histórico com os registros dos comandos de desenvolvimento de peças, montagens, desenhos e apresentações (Figura 1.25a). Caso a barra seja fechada é necessário ir na barra de ferramentas em Visualizar>Interface do usuário>modelo para reabri-la, conforme Figura 1.25b.

Figura 1.25 | Acessar histórico de construção



Fonte: Autodesk (2017).



Assimile

A criação de um projeto sempre se inicia com a construção do modelo em 2D, com todas as cotas dimensionadas, somente após esse procedimento pode-se criar o modelo em 3D. Sugere-se sempre salvar o documento depois do esboço.

Menu flutuante: fornece uma lista de funções (Figura 1.26). Quando acessado com o botão direito do mouse, ajuda a identificar as novas opções e reduz os movimentos do mouse.

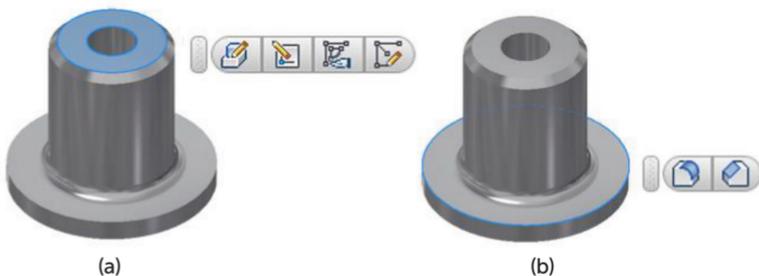
Figura 1.26 | Menu flutuante



Fonte: Autodesk (2017).

Minibarras de ferramentas: localizam-se próximas de um objeto selecionado, quando você clica com o botão esquerdo do mouse sobre uma face selecionada, como mostra a Figura 1.27a. As minibarras fornecem acesso a comandos utilizados com frequência. Também apresenta algumas opções de comandos, como chanfro e arredondamento quando a aresta é selecionada, conforme apresenta a Figura 1.27b.

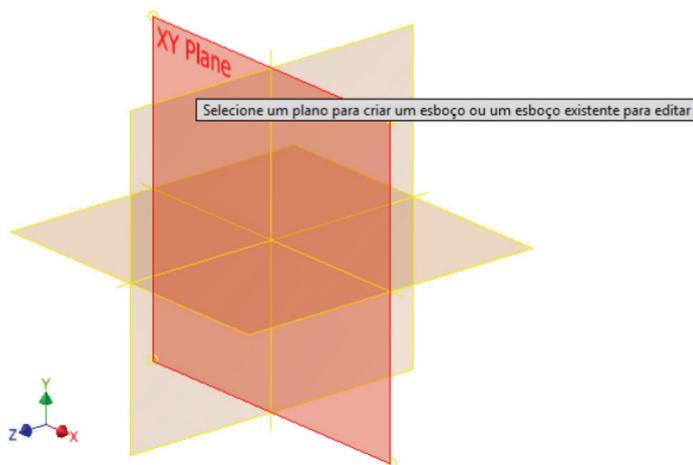
Figura 1.27 | Menu flutuante



Fonte: elaborada pela autora.

Esboço 2D (SKETCH): na maioria dos casos uma peça é iniciada por um esboço 2D. A partir desse esboço inicial, é definido o formato base da peça. Ao iniciar um esboço é necessário definir o plano de desenho (Figura 1.28), sendo: plano XY (vista frontal), YZ (vista lateral direita) e XZ (vista superior). Na escolha do plano é de grande importância que o projetista faça a análise do desenho mecânico para que possa desenhar a vista correta.

Figura 1.28 | Plano de projeção



Fonte: Autodesk (2017).



#### Dica

Para usar qualquer comando é necessário clicar no ícone, depois em um ponto da área gráfica com o botão esquerdo do mouse para executar o comando.

- Para encerrar o comando aperte: ESC ou ENTER no teclado ou dois cliques com o botão esquerdo do mouse.
- Para apagar use: DELETE.
- Para desfazer a última alteração: CTRL+Z.

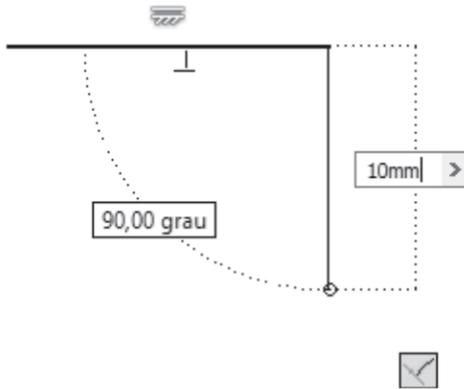


#### Assimile

Para facilitar a execução de um comando observe o ícone que já traz clareza de como proceder ou, ainda, exiba as informações do ícone, pausando o mouse sobre o comando. Por fim, se ainda estiver com dúvidas, clique em F1, para obter mais ajuda, que direciona para o HELP do software.

LINHA (  ): cria uma ou mais linhas contínuas por definição de pontos (Figura 1.29).

Figura 1.29 | Comando Linha



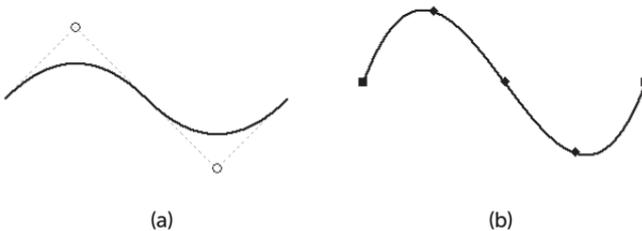
Fonte: elaborada pela autora.

CURVA (  ): cria curvas 2D de quatro formas diferentes:

 : cria uma curva de *spline* por vértices de controle especificados (Figura 1.30a).

 : cria uma curva de *spline* por definição de pontos (Figura 1.30b).

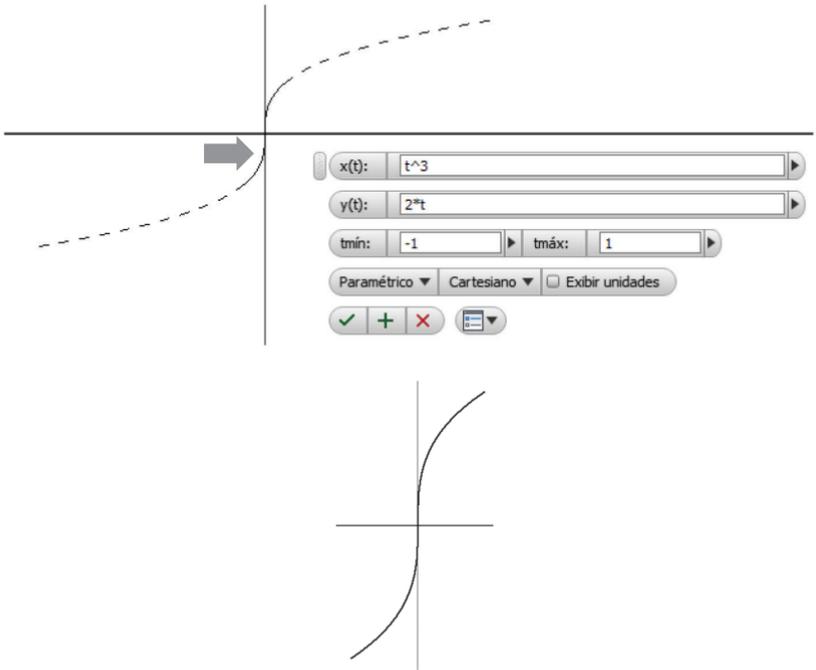
Figura 1.30 | Comando *Spline*



Fonte: elaborada pela autora.

 : cria uma curva a partir de equação especificada pelo usuário, conforme Figura 1.31.

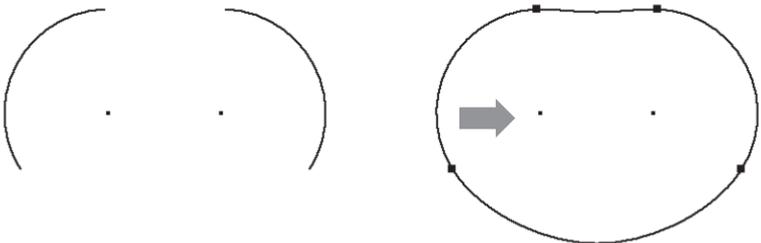
Figura 1.31 | Comando Curva da Equação



Fonte: elaborada pela autora.

 : cria uma curva com continuidade uniforme entre duas curvas selecionadas. Essas duas curvas podem ser: linhas, *splines*, arcos ou uma curva projetada. A Figura 1.32 apresenta dois arcos que foram ligados na parte superior e inferior a partir da utilização do comando.

Figura 1.32 | Comando Curva de Ponte



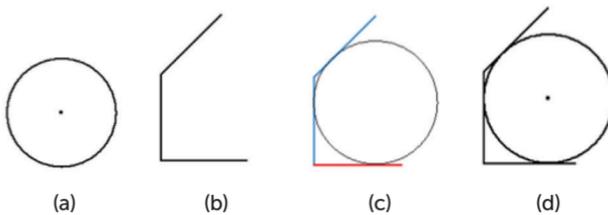
Fonte: elaborada pela autora.

**CÍRCULO** (  ): cria círculos de duas maneiras diferentes:

 : o primeiro clique do mouse define o ponto central e o segundo define o raio da circunferência (Figura 1.33a).

 : cria um círculo tangenciando três linhas. Após fazer as três linhas (Figura 1.33b), o primeiro e segundo clique determinam a tangência entre o círculo e a linha, respectivamente, representados em azul pela Figura 1.33b e o terceiro clique determina, além da tangência, o diâmetro da circunferência (Figura 1.33c).

Figura 1.33 | Comando Círculo (centro e tangente)



Fonte: elaborada pela autora.

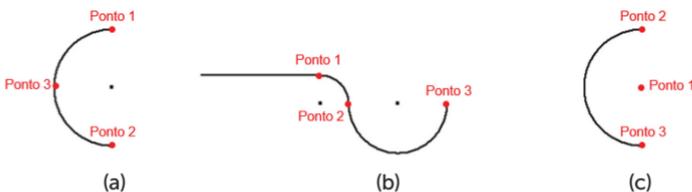
**ARCO** (  ): cria arcos de três maneiras diferentes:

 : cria o arco a partir de três pontos. O primeiro e o segundo clique geram os extremos dos arcos e o terceiro clique o raio da circunferência (Figura 1.34a).

 : cria um arco tangente à outra forma. Clique na extremidade da forma para iniciar o arco. A Figura 1.34b apresenta o comando em duplicidade a partir de uma linha reta.

 : cria um arco definido por seu ponto central e dois pontos finais, como mostra a Figura 1.34c.

Figura 1.34 | Comando Arco



Fonte: elaborada pela autora.

RETÂNGULO (  ): cria retângulos de quatro formas diferentes:

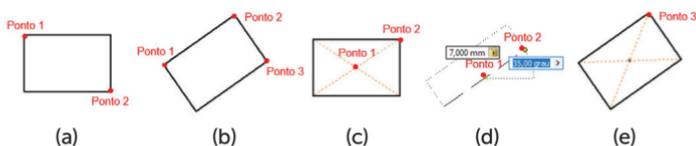
 : a partir de dois pontos das extremidades do retângulo (Figura 1.35a).

 : a partir de três pontos, sendo que o primeiro e segundo cliques determinam o comprimento e o posicionamento/ângulo, e o terceiro clique a altura da figura (Figura 1.35b).

 : a partir do centro e um ponto. No primeiro clique determina o centro e no segundo clique uma das extremidades (Figura 1.35c).

 : a partir do centro e dois pontos. No primeiro clique determina o centro, no segundo o posicionamento/ângulo (Figura 1.35d) e no terceiro clique uma das extremidades (Figura 1.35e).

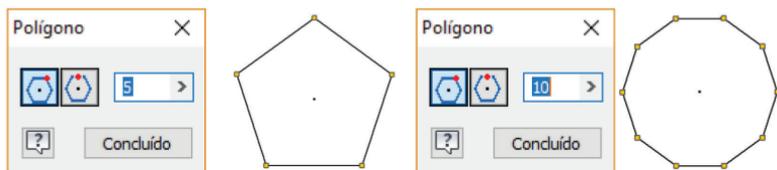
Figura 1.35 | Comando Retângulo



Fonte: elaborada pela autora.

POLÍGONO (  ): cria figuras geométricas a partir da definição do número de lados. A Figura 1.36 mostra a construção de um pentágono (5 lados) e o decágono (10 lados).

Figura 1.36 | Comando Polígono



Fonte: elaborada pela autora.

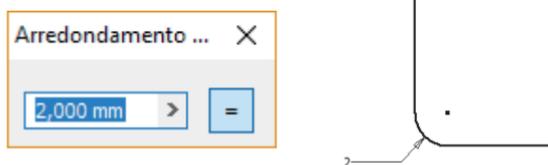


Refleta

Com o comando retângulo, pode-se fazer quadrados? E com o comando polígono? Refleta sobre isso.

ARREDONDAMENTO (  ): este comando executa o arredondamento no vértice ou na intersecção de duas linhas, inserindo um arco com raio, conforme Figura 1.37.

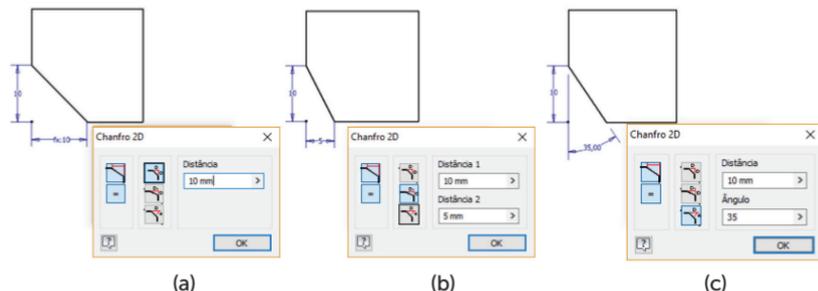
Figura 1.37 | Comando Arredondamento



Fonte: elaborada pela autora.

CHANFRO (  ): este comando executa a criação de chanfros na intersecção de duas linhas não paralelas. O chanfro pode ser especificado com distâncias iguais, distâncias diferentes ou uma distância e um ângulo, conforme mostra a Figura 1.38.

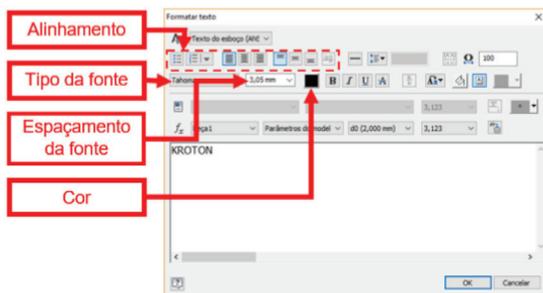
Figura 1.38 | Comando Chanfro



Fonte: elaborada pela autora.

TEXTO (  ): para adicionar textos em um esboço, é necessário seleccionar o ícone e depois clicar na área gráfica. Uma janela é aberta (Figura 1.39), na qual é possível configurar: tipo e tamanho de fonte, espaçamento, alinhamento, cor, dentre outros.

Figura 1.39 | Comando Texto



Fonte: Autodesk (2017).



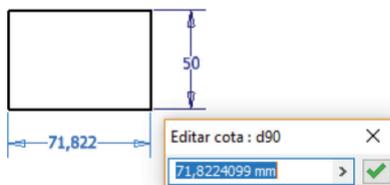
Pesquise mais

Veja como formatar textos:

- Horizontais: <<https://www.youtube.com/watch?v=gicBITzTC48>>. Acesso em: 27 out. 2017.
- Em geometria: <<https://www.youtube.com/watch?v=QvEwLwWuuZI>>. Acesso em: 27 out. 2017.

COTA (  ): para acrescentar medidas no esboço, acione o ícone e clique na aresta ou em dois pontos. Para editar uma cota, dê dois cliques com o botão direito do mouse, conforme apresenta a Figura 1.40.

Figura 1.40 | Comando Cota



Fonte: elaborada pela autora.

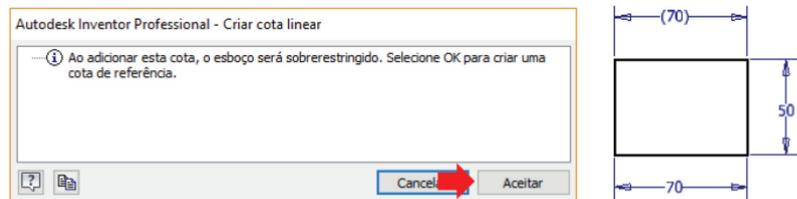


Refleta

Caso exista a necessidade de correção de uma cota, apenas dê dois cliques sobre ela com o botão direito do mouse. Aparecerá uma caixa de título editar cota, conforme a Figura 1.38, na qual você poderá fazer a correção.

Ao adicionar uma cota repetida/desnecessária no esboço, uma janela se abre e pergunta se aceita criar uma cota de referência. Caso aceite, a cota aparece entre parênteses e não permite edição, conforme mostra a Figura 1.41.

Figura 1.41 | Cota de referência

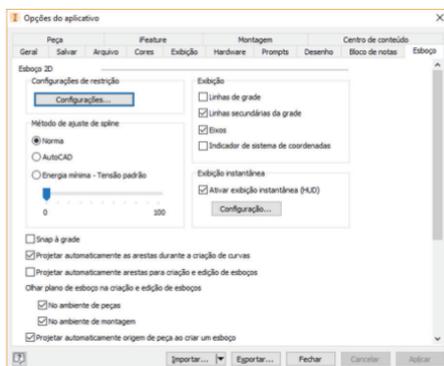
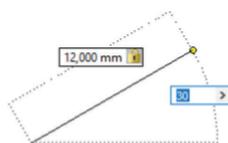


Fonte: elaborada pela autora.



HUD (*Heads-Up Display*) é uma aplicação de medidas e ângulos diretamente nas caixas de entradas, ou seja, evita que você use o comando cota. Ex.: usando o comando linha você digita o valor da medida e do ângulo e depois enter ou botão esquerdo do mouse, conforme Figura 1.42a. Caso o comando esteja desabilitado, vá em Ferramentas>Opções do usuário>Esboço>Ativar exibição instantânea (HUD), conforme Figura 1.42b.

Figura 1.42 | Comando HUD



Fonte: Autodesk (2017).



## Pesquise mais

Não continue a leitura do LD sem antes assistir a todos esses vídeos, pois você irá precisar:

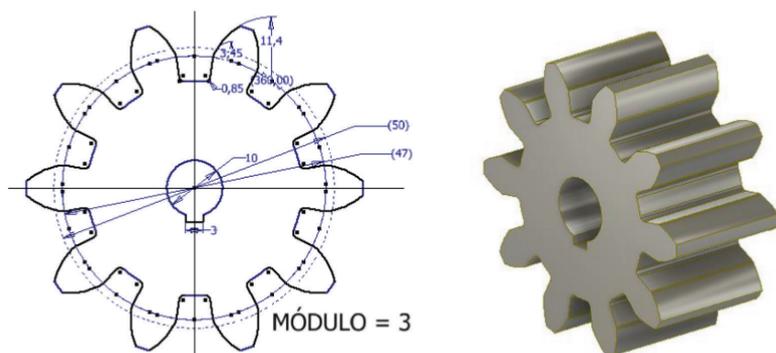
- Restrições:
  - o Horizontal, vertical e simétrico. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dVhNz9t4fec>>. Acesso: 27 out. 2017.
  - o Colinear, perpendicular e concêntrica. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Tj6ZUnDte8Y>>. Acesso: 27 out. 2017.
- Padrão:
  - o Padrão circular e espelhamento. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=K9I9\\_yZ80Ko](https://www.youtube.com/watch?v=K9I9_yZ80Ko)>. Acesso: 27 out. 2017.
  - o Padrão retangular. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=fVReoGS0VPw>>. Acesso: 27 out. 2017.
- Modificar:
  - o Mover, copiar, girar, recortar e estender. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=t\\_FqS4m3Ank](https://www.youtube.com/watch?v=t_FqS4m3Ank)>. Acesso: 27 out. 2017.

**ATENÇÃO:** Não fique preso somente a esses materiais. Pesquise mais!

## Sem medo de errar

Agora que você já sabe como desenhar esboços no software, vai ser fácil chegar à resolução da situação-problema. Você, como engenheiro responsável pela equipe de projetos da montadora, resolveu propor uma solução para minimizar o problema de entrega aos seus clientes. A ideia já foi aprovada, porém é necessário criar o desenho da engrenagem de dente reto em esboço 2D para que seja fabricada. Entregue o desenho com todos os dados técnicos da engrenagem. Entre eles: número de dentes, módulo e diâmetros (primitivo e de base), entre outros dados que achar necessário, como mostra o esboço finalizado da Figura 1.43. Algumas especificações técnicas estão disponíveis para serem consultadas, conforme Tabela 1.2.

Figura 1.43 | Engrenagem 2D (esboço) e 3D (perspectiva isométrica)



Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 1.2 | Especificações técnicas da engrenagem

DADOS TÉCNICOS	
Número de dentes (Z)	10
Módulo (m)	3
Diâmetro externo (de)	60 mm
Diâmetro primitivo (dp)	50 mm
Diâmetro de base (db)	47 mm
Diâmetro interno (di)	38,3 mm
Passo (P)	15,7 mm
Raio para traçado do perfil (R)	11,4 mm
Raio para traçado do perfil (r)	3,45 mm
Arredondamento	0,85 mm

Fonte: elaborada pela autora.

Um passo a passo foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar a construção do esboço, porém não é necessário segui-lo ao pé da letra, pois cada projetista tem sua forma de trabalho. Além disso, você pode utilizar qualquer software CAD, como: Inventor®, SolidWorks®, AutoCAD®, dentre outros. Para a atividade ser considerada válida, o esboço final precisa conter: número de dentes, módulo e diâmetros (primitivo e de base), entre outros dados que julgar necessário.

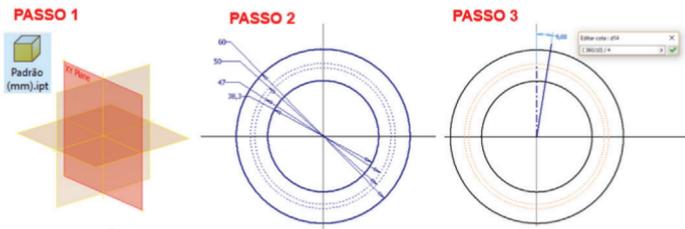
Descrição detalhada de cada passo, desenvolvida no Autodesk Inventor®:

**Passo 1:** criar uma nova peça padrão mm (.ipt), iniciar um esboço 2D (  ) e selecionar o plano frontal (XY), conforme Figura 1.45a

**Passo 2:** desenhar os círculos com as medidas de diâmetros ( $d_e$ ,  $d_p$ ,  $d_b$  e  $d_i$ ). Quanto aos diâmetros internos, trocar o tipo de geometria, usando o ícone construção (  ) que altera a geometria de esboço para uma geometria de construção, ou seja, de linha contínua para linha tracejada, como mostra a Figura 1.45b.

**Passo 3:** construir uma linha vertical saindo da origem até o diâmetro primitivo com representação de linha de centro (  ) e outra linha também saindo da origem com ângulo de  $9^\circ$  para a direita. Esse ângulo de  $9^\circ$  se refere à metade de um dente, conforme Figura 1.45c.

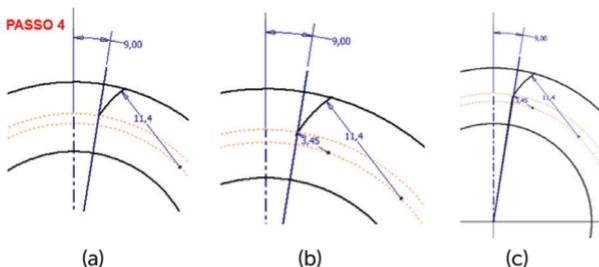
Figura 1.44 | Passos a passo para construção da engrenagem



Fonte: elaborada pela autora.

**Passo 4:** criar um arco por centro e ponto (  ) que liga um ponto à direita na linha do diâmetro de base ao ponto em que a linha coincide com o diâmetro externo e cotar o raio para traçado do perfil ( $R = 11,4$  mm). Repetir o procedimento ligando um ponto à direita na linha do diâmetro de base ao ponto definido anteriormente, descendo o arco até coincidir com a linha do diâmetro base, cotar o raio para traçado do perfil ( $r = 3,45$  mm). Essas medidas são fixas e encontradas em tabelas de engrenagens de dentes reto. Por fim, criar uma linha do ponto definido ao centro da circunferência. A Figura 1.45 apresenta o passo a passo o que deve ser seguido.

Figura 1.45 | Criação dos arcos da engrenagem



Fonte: elaborada pela autora.

**Passo 5:** apagar (  Recortar ) todas as linhas que foram utilizadas para a criação de arcos e fazer um arredondamento (  Arredondamento ) de 0,85 mm, como mostra a Figura 1.46a.

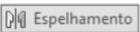
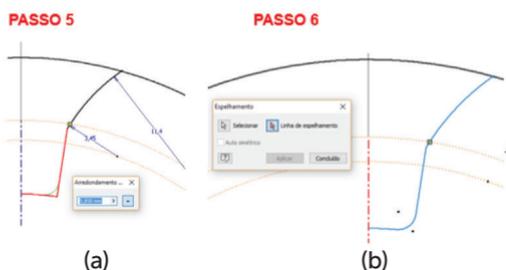
**Passo 6:** espelhar esboço através de um eixo (  Espelhamento ), selecionar o esboço que está em azul e linha de espelhamento que representa o eixo em vermelho, conforme Figura 1.46b.

Figura 1.46 | Arredondamento e espelhamento

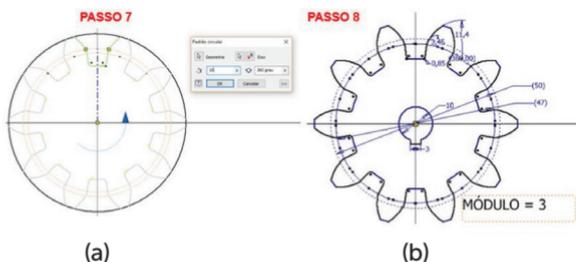


Fonte: elaborada pela autora.

**Passo 7:** usar padrão circular (  Circular ), selecionar toda a geometria que será duplicada e quanto ao eixo clicar no ponto central da circunferência. Especificar também o valor de cópias, ou seja, 20, pois equivale ao número de dentes da engrenagem, e o ângulo no qual se encaixarão que é de  $360^\circ$ , conforme apresenta a Figura 1.47a.

**Passo 8:** para finalizar, acrescentar informações obrigatórias solicitadas no desenho, como: número de dentes, módulo e diâmetros (primitivo e de base). Para o módulo, escrever com a ferramenta texto (  Texto ) o valor do módulo, como mostra a Figura 1.47b. A tarefa também permite adicionar dados que julgar necessário, logo, o esboço apresenta medidas do furo para fixação da engrenagem.

Figura 1.47 | Padrão circular e texto



Fonte: elaborada pela autora.



**Pesquise mais**

Caso tenha ainda alguma dúvida, acesse o link que explica como criar o esboço de uma engrenagem utilizando o SolidWorks. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=oodk24mwOME&t=21s>>. Acesso em: 27 out. 2017.



**Dica**

A tarefa não tem o propósito de desenvolver os cálculos de engrenagem, contudo esse é um bom momento para se aprofundar no assunto!

## Avançando na prática

### Projeto de *Hand Spinner*

#### Descrição da situação-problema

Um aluno do curso de Engenharia resolveu desenvolver o projeto de um *Hand Spinner* no Autodesk Inventor®, pois achou que poderia ser divertido e, ao mesmo tempo, uma forma de treinar os comandos que está aprendendo em uma das disciplinas que está cursando no semestre. A Figura 1.48 apresenta um modelo existente no mercado, que servirá de base para a resolução da atividade. Faça o esboço de um *hand spinner* com todas as cotas em medida real, use para as circunferências externas diâmetro de 32 mm, para as internas 22 mm e para os arcos tangentes 20 mm.

Figura 1.48 | *Hand Spinner* comercial



Fonte: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=59361838>>. Acesso em: 27 out. 2017.

## Resolução da situação-problema

A Figura 1.49 apresenta um passo a passo que deve ser executado pelo projetista:

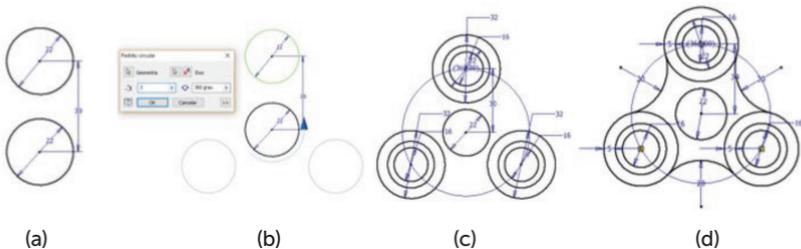
**Passo 1:** criação de duas circunferências de 22 mm com distância de 30 mm entre centros. Verificar se estão no mesmo eixo utilizando restrição vertical (Figura 1.49a).

**Passo 2:** para criar as outras duas circunferências usar padrão circular. Geometria: circunferência externa e eixo: circunferência interna (Figura 1.49b).

**Passo 3:** criar dois círculos concêntricos nas circunferências externas de 32 mm e 16 mm (Figura 1.49c).

**Passo 4:** ligar cada duas circunferências por arcos e executar restrição tangencial. Após ajustar o raio dos arcos para 20 mm (Figura 1.49d).

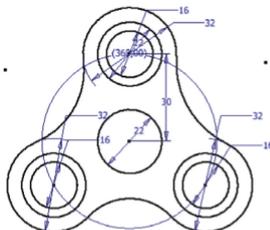
Figura 1.49 | Passo a passo para construção do Hand Spinner



Fonte: elaborada pela autora.

Após finalizado o esboço excluir linhas de apoio usando o comando recortar, conforme mostra a solução da situação-problema apresentada na Figura 1.50.

Figura 1.50 | Resolução da situação-problema



Fonte: elaborada pela autora.

## Faça valer a pena

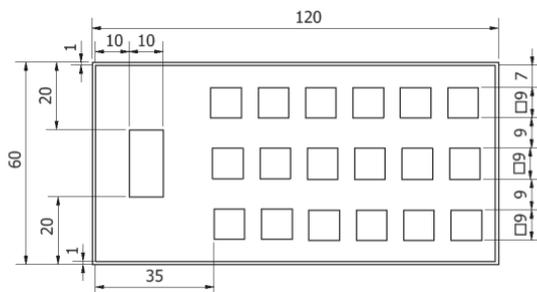
**1.** Uma empresa de grande porte, durante a fase de recrutamento de estagiários na área de projetos, aplica situações rotineiras do dia a dia do seu time para a avaliação dos candidatos. No recrutamento, foi desenvolvida uma dinâmica, que solicitava que os candidatos respondessem o que fariam caso fossem solicitados pela chefia imediata para construir um esboço em software CAD em menor tempo possível.

Assinale abaixo a alternativa que representa a resposta CORRETA:

- a) Usar o Autodesk Inventor®.
- b) Utilizar teclas de atalho.
- c) Desenvolver o comando de espelhamento.
- d) Fazer a correta interpretação do desenho para evitar retrabalho.
- e) Usar extensão .ipt.

**2.** Um professor solicitou a seus alunos que desenvolvessem um layout para a sala de aula, de forma que favoreça as aulas práticas do curso. Após a entrega da atividade, o professor fez uma devolutiva aos alunos com o objetivo de apontar os pontos positivos e os pontos a melhorar das atividades. No final da aula, o desenho aprovado pelo professor em conjunto com a turma, mediante observações e questionamentos em sala de aula, está representado na Figura 1.51.

Figura 1.51| Sala de aula



Fonte: elaborada pela autora.

Para a construção desse desenho em software CAD vários comandos diferentes podem ser usados de acordo com a forma de trabalho do cadista/projetista. Analise as informações e verifique os comandos necessários para a construção do esboço de forma que fique representado idêntico à figura. Analise as afirmativas abaixo colocando um "V" quando for verdadeiro e um "F" quando for falso:

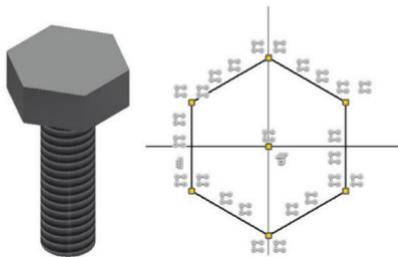
- ( ) Polígono e cota.
- ( ) Padrão retangular e cota.
- ( ) Quadrado, retângulo e cota.
- ( ) Retângulo, padrão retangular e cota.
- ( ) Retângulo, espelhamento e cota.

Assinale abaixo a alternativa que apresenta a sequência correta do verdadeiro ou falso de cima para baixo:

- a) V – V – F – V – V.
- b) F – V – V – F – V.
- c) V – F – F – V – V.
- d) F – V – V – V – V.
- e) V – F – V – V – V.

**3.** Um parafuso de cabeça sextavada foi projetado por uma empresa, conforme mostra a Figura 1.52.

Figura 1.52 | Parafuso sextavado



Fonte: elaborada pela autora.

Com base nas informações cedidas pela empresa e apresentadas na Figura 1.52, pode-se afirmar que:

- I) O parafuso foi desenvolvido com técnicas manuais e depois projetado no computador.
- II) O projeto pode ser visualizado, editado e compartilhado de forma virtual.
- III) Para desenvolvimento do esboço, foi realizada restrição: horizontal, vertical, perpendicular, tangencial e fixa.
- IV) O esboço apresentado pode ser feito usando o comando polígono.

Assinale abaixo a alternativa que apresenta a resposta CORRETA:

- a) Apenas I e III estão corretas.

- b) Apenas II e III estão corretas.
- c) Apenas II e IV estão corretas.
- d) Apenas I e IV estão corretas.
- e) Apenas I, III e IV estão corretas.

## Seção 1.3

### Desenho assistido por computador: Comandos 3D

#### Diálogo aberto

Prezado aluno,

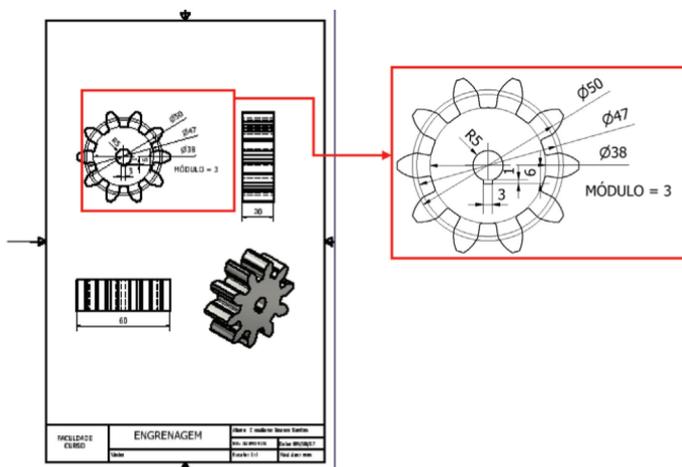
O desenho técnico mecânico é um dos mais importantes ramos de estudos da escola da engenharia, pois é a base de todos os projetos e subsequentes fabricações. Todos os projetos e instruções para fabricações são desenvolvidos nos desenhos projetivos, ou seja, perspectiva e projeção ortogonal do modelo, e nesta seção abordaremos esses assuntos. Por isso, fique atento!

Na seção anterior, você aprendeu sobre os comandos 2D, estudou sobre o Autodesk Inventor® e suas funcionalidades básicas, como: iniciar, abrir, modificar e salvar modelos, além de criar e editar geometria e, por fim, fez alguns projetos bidimensionais. Nesta seção, você vai desenvolver projetos tridimensionais, portanto, vai estudar os comandos 3D disponibilizados pelo software para desenvolver modelos em perspectiva, também vai aprender a como criar margem, legenda e posicionar as vistas da peça na folha, ou seja, como criar a projeção ortogonal da peça. Todos esses assuntos são de grande importância para o projetista, uma vez que o desenho projetivo é a representação das projeções de um objeto, simulando suas formas e o dimensionamento o mais próximo da realidade. Além disso, sempre se lembre: o Inventor® é similar a outros softwares existentes no mercado, por isso, siga confiante com o conhecimento obtido.

Vamos voltar à situação apresentada no convite ao estudo? Uma empresa do ramo automotivo está diante de um desafio inovador: a construção de peças utilizando novos materiais e novos processos de fabricação. Em contato com os fornecedores eles solicitam um tempo de 40 a 60 dias para desenvolver esses novos processos, porém a entrega deve ser de no máximo 20 dias, gerando muitos problemas logísticos quanto ao transporte de suas peças para as montadoras. Imagine que você é o engenheiro responsável pela equipe de projetos dessa montadora e resolveu propor uma solução imediata para

minimizar o problema de entrega aos seus clientes. Sua proposta é que a montadora terceirize o serviço de fabricação das engrenagens, já que essa peça é um grande gargalo para a empresa. Nesta fase você está sendo solicitado pela empresa terceirizada para apresentar o desenho projetivo (projeção ortogonal e perspectiva do modelo) para a fabricação. A empresa terceirizada está solicitando um desenho mais completo da engrenagem com projeção ortogonal (1° diedro) e perspectiva na folha formatada em papel A4, conforme mostra a Figura 1.53. Como dados adicionais solicita que o projeto esteja normalizado conforme ABNT, e que as cotas apresentem os dados técnicos da engrenagem conforme Tabela 1.3. As cotas de diâmetro do furo e do rasgo de chaveta estão representadas no desenho.

Figura 1.53 | Desenho projetivo da engrenagem



Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 1.3 | Especificações técnicas da engrenagem

DADOS TÉCNICOS	
Número de dentes (Z)	10
Módulo (m)	3
Diâmetro externo (de)	60 mm
Diâmetro primitivo (dp)	50 mm
Diâmetro de base (db)	47 mm
Diâmetro interno (di)	38,3 mm

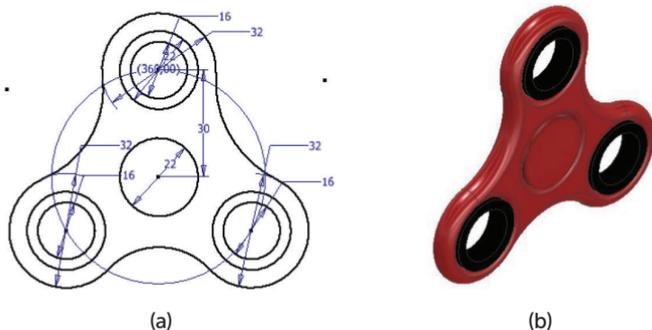
Fonte: elaborada pela autora.

Lembre-se que este projeto vai ser fabricado, então faça com bastante capricho, para evitar retrabalho, além de outros inconvenientes!

## Não pode faltar

Para criar um modelo em 3D, em desenho técnico chamado de perspectiva, sempre existe a necessidade de se fazer um esboço (2D) primeiro. A Figura 1.54 apresenta o esboço do *Hand Spinner*, criado na seção anterior, e sua perspectiva, desenvolvida a partir dele.

Figura 1.54 | Hand Spinner: (a) Esboço (2D); (b) Perspectiva (3D)



Fonte: elaborada pela autora.

Na construção de perspectivas/sólidos geométricos é necessário utilizar a aba de modelos 3D, representada na Figura 1.55.

Figura 1.55 | Hand Spinner: (a) Esboço (2D); (b) Perspectiva (3D)



Fonte: Autodesk (2017).

COMANDOS PRIMITIVOS: é um campo que permite obter sólidos em poucos cliques com o mouse, pois é gerado o esboço 2D e o modelo 3D de forma subsequente. Permite gerar: caixa, cilindro, esfera e toroide, conforme mostra a Figura 1.56.

Figura 1.56 | Comandos primitivos



Fonte: autodesk (2017).

Para a construção do sólido geométrico utilizando:



: você define as cotas do retângulo ou quadrado e depois a medida de largura (Figura 1.57).



: você define o diâmetro da circunferência e depois a medida de altura (Figura 1.57).

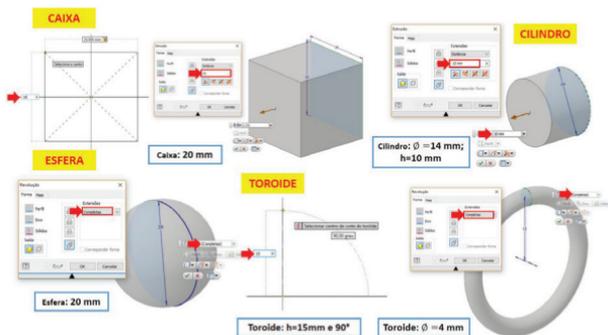


: você define o diâmetro da circunferência e depois a medida de ângulo que pode ser 360°, quando se deseja uma volta completa (Figura 1.57).



: você define o ponto central e o ponto equivalente à altura do Toroide, e depois a medida de diâmetro do sólido (Figura 1.57).

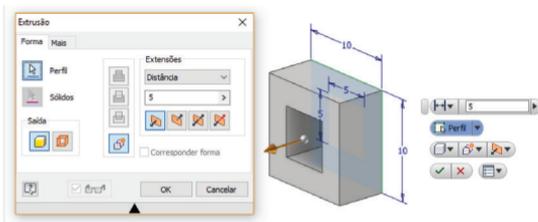
Figura 1.57 | Comandos primitivos



Fonte: elaborada pela autora.

EXTRUSÃO (  ): adiciona profundidade a um perfil (esboço) criando sólidos ou superfícies. A forma geométrica é definida a partir dos parâmetros do esboço, ou seja, a única cota que é dada é da profundidade, conforme mostra a Figura 1.58.

Figura 1.58 | Comando: extrusão



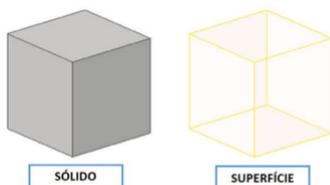
Fonte: elaborada pela autora.

Explicando a janela de extrusão representada na Figura 1.58:

Forma: se existirem múltiplos perfis e nenhum estiver selecionado, clique no botão perfil (  ) para selecionar. Se existir mais de um sólido, pode-se adicionar esses sólidos já existentes utilizando o botão sólidos (  ).

Saída: determina se a entidade criada será um sólido (  ) ou uma superfície (  ). Um perfil fechado pode criar as duas formas, porém o perfil aberto cria somente superfícies (Figura 1.59).

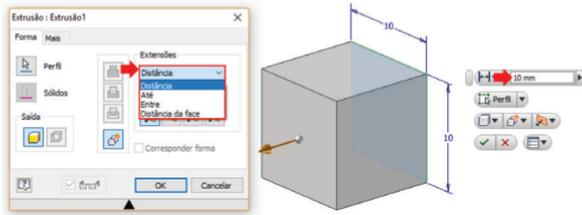
Figura 1.59 | Extrusão: saída



Fonte: elaborada pela autora.

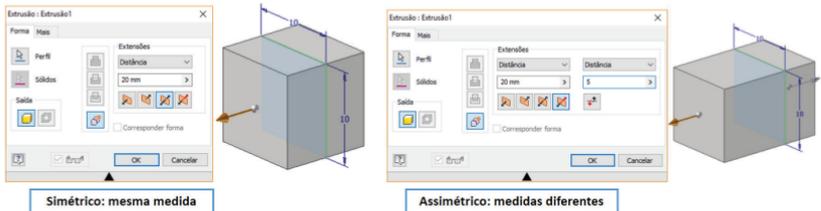
Extensões: determina uma distância para a extrusão, que é a *default* do programa, porém podem ser usadas outras extensões, como: até, entre e distância da face, conforme Figura 1.60. Para determinar a direção usa-se: para a esquerda (  ), para a direita (  ), para ambas as direções de forma simétrica (  ) e de forma assimétrica (  ). A Figura 1.61 apresenta a forma simétrica com distâncias iguais a partir do plano e de forma assimétrica com distâncias diferentes.

Figura 1.60 | Extrusão: extensões



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.61 | Extrusão: direções

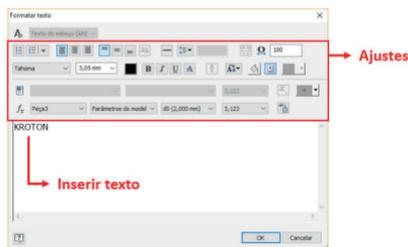


Fonte: elaborada pela autora.



Para utilizar o comando texto ( **A Texto** ) é necessário um esboço ativo. Para usar o comando, inicie um esboço e selecione o ícone de texto. Com o botão esquerdo do mouse clique na área gráfica. Uma janela é aberta (Figura 1.62), na qual é possível adicionar o texto e configurar: tipo e tamanho de fonte, espaçamento, alinhamento, cor, dentre outros. Caso necessite alterar algo, clique duas vezes em cima do texto e a caixa (Figura 1.62) novamente será aberta, permitindo ajustes.

Figura 1.62 | Texto: Formatar



Fonte: elaborada pela autora.

A extrusão pode ser aplicada também em textos, conforme mostra a Figura 1.63.

Figura 1.63 | Esboço e extrusão em texto



Fonte: elaborada pela autora.



Pesquise mais

Os textos também podem ser criados com base em geometria.

Para mais informações, assista ao vídeo a seguir:

24 AUTODESK INVENTOR FERRAMENTA TEXTO BASEADO EM GEOMETRIA OU TEXT TOOL BASED ON GEOMETRY. Francisco A de A. **Youtube**. 15 maio 2016. 3m34s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=QvEWLwWuuZIL>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

Operações: determina se a operação é junção: adiciona volume ao sólido (  ), subtração: remove volume do sólido (  ) ou intersecção: cria um novo sólido com o volume em comum entre o modelo existente e a extrusão do perfil criado (  ), conforme mostra a Figura 1.64. Novo sólido (  ): permite criar vários sólidos dentro do mesmo arquivo (.ipt), podendo partilhar operações entre eles.

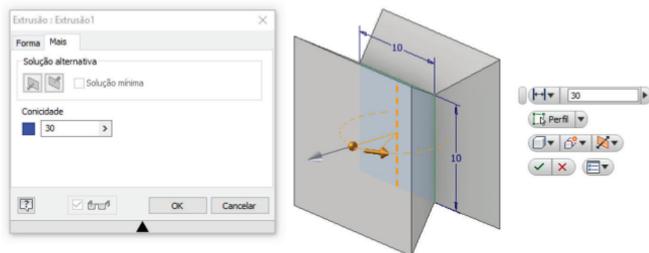
Figura 1.64 | Extrusão: operações



Fonte: elaborada pela autora.

Mais: esta aba apresenta o campo de solução alternativa, que quando habilitada permite a escolha da terminação para o comando extrusão e o campo de conicidade: que permite adicionar um ângulo de saída para o perfil, conforme mostra a Figura 1.65.

Figura 1.65 | Janela do comando de extrusão: mais

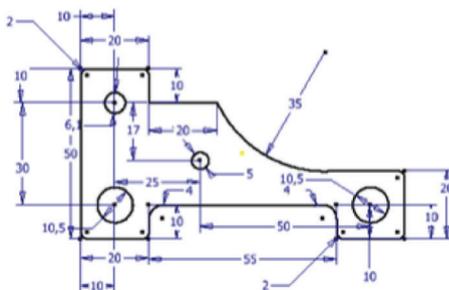


Fonte: elaborada pela autora.

## Exemplificando

Observe o exemplo de extrusão que segue e mostre que você entendeu, criando a perspectiva do esboço em milímetros, representado na Figura 1.66. A medida da largura da peça é de 10 mm.

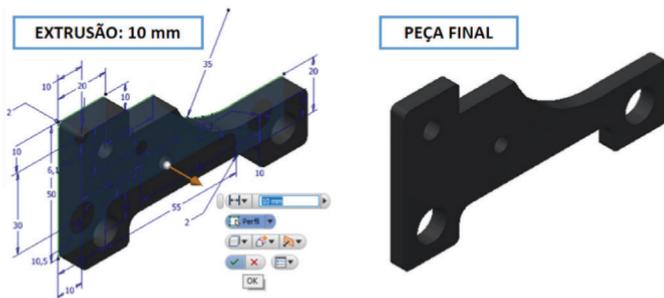
Figura 1.66 | Esboço de peça mecânica



Fonte: elaborada pela autora.

Solução: A resolução está representada na Figura 1.67.

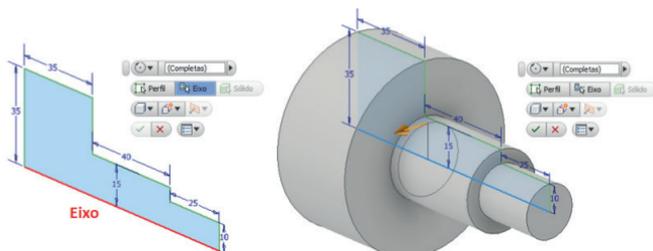
Figura 1.67 | Desenvolvimento da perspectiva



Fonte: elaborada pela autora.

**REVOLUÇÃO** (  ): é utilizado para criar um sólido de revolução a partir de um perfil ao redor de um eixo. Para utilizar, desenhe um perfil fechado e um eixo no mesmo plano, conforme mostra a Figura 1.68. Se houver mais de um sólido dentro do seu arquivo (.ipt), clique na opção (  ) para juntar uma nova revolução do perfil a um dos sólidos já existentes.

Figura 1.68 | Jogo de eixos



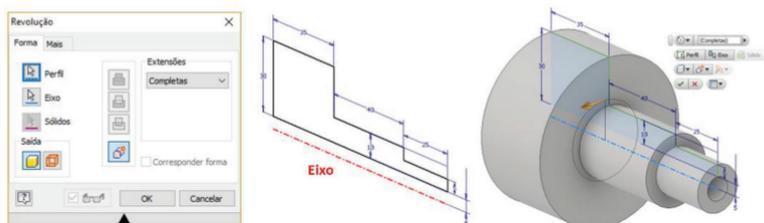
Fonte: elaborada pela autora.



**Assimile**

O comando de revolução é utilizado sempre que o desenho mecânico tenha formato circular em alguma de suas vistas. Ele também pode ser utilizado para criar peças com furos. Na criação do esboço, cria-se o eixo representado por uma linha de centro com distância igual ao raio da peça. A Figura 1.69 mostra a criação do jogo de eixos com furo passante de 10 mm.

Figura 1.69 | Jogo de eixos com furo passante



Fonte: elaborada pela autora.

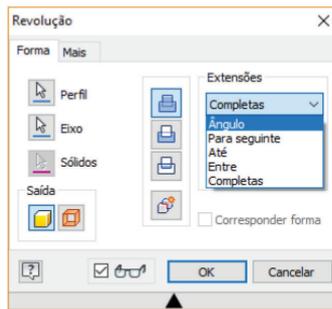
**ATENÇÃO:** neste caso, as cotas na vertical foram reduzidas com medida igual ao raio do furo, ou seja, 5 mm. Caso isso não seja feito, na revolução as medidas de diâmetro dos eixos ficarão maiores, porque as cotas duplicam na revolução.

Saída: assim como em extrusão, você pode criar um sólido (  ) ou uma superfície (  ).

Operações: indicam como serão realizadas as revoluções, podendo ser junção (  ), subtração (  ) ou intersecção (  ). Novo sólido (  ): permite criar vários sólidos dentro do mesmo arquivo .ipt, podendo partilhar operações entre eles.

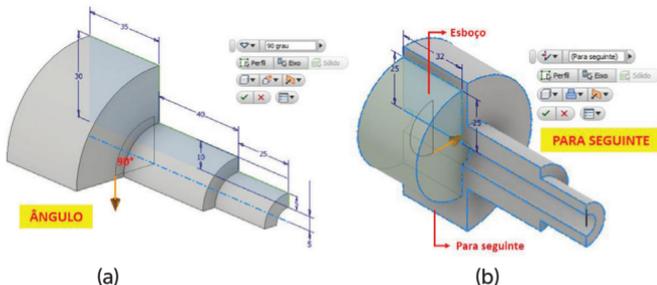
Extensões: as extensões podem ser completas, de ângulo, para seguinte, até ou entre, como mostra a Figura 1.70. As extensões completas: são as *default* (padrão) do programa, criam a revolução com uma volta completa, ou seja, com ângulo de  $360^\circ$  (Figura 1.69); de ângulo: permite definir um ângulo para a revolução (Figura 1.71a), para seguinte: permite realizar a revolução até o próximo sólido (Figura 1.71b), até: permite realizar a revolução até um sólido, superfície ou plano de trabalho (Figura 1.71c), ou entre: permite a escolha do início e fim da revolução, onde não necessariamente o início precisa ser no começo da geometria (Figura 1.71d).

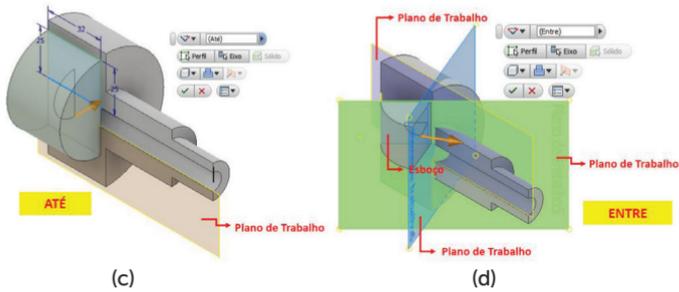
Figura 1.70 | Revolução: extensões



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.71 | Revolução: classificação das extensões





Fonte: elaborada pela autora.

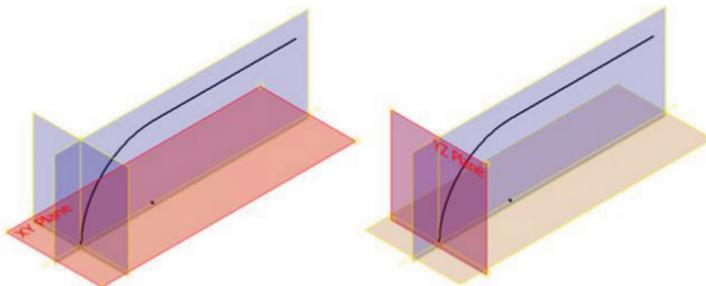
VARREDURA (  Varredura ): varre um ou mais perfis de esboço em um caminho, ou seja, o sólido é gerado a partir do deslocamento do perfil ao longo do caminho, como mostra a Figura 1.72. Para fazer uma varredura no mínimo dois esboços precisam ser criados, um para o perfil e outro para o caminho e os planos contendo os esboços precisam ser perpendiculares entre si. De acordo com a Figura 1.73, para o modelo de exemplo, dois planos poderiam ser usados, por serem perpendiculares ao primeiro esboço.

Figura 1.72 | Varredura: perfil e caminho



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.73 | Varredura: planos perpendiculares

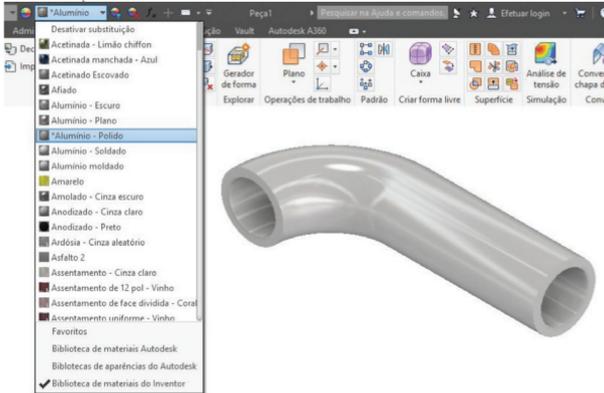


Fonte: elaborada pela autora.



Para alterar o material do seu modelo, clique na barra de ferramentas na caixa na qual está escrito padrão e selecione o material de acordo com as especificações de projeto. A peça 1.74 mostra a peça em alumínio polido.

Figura 1.74 | Revolução: classificação das extensões

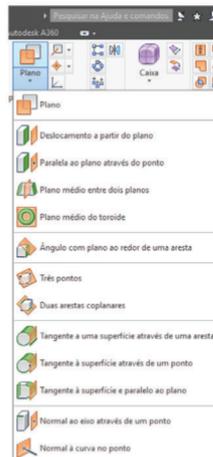


Fonte: elaborada pela autora.



PLANO (  ): utiliza vértices, arestas, pontos ou faces para o seu desenvolvimento. Os planos podem ser:

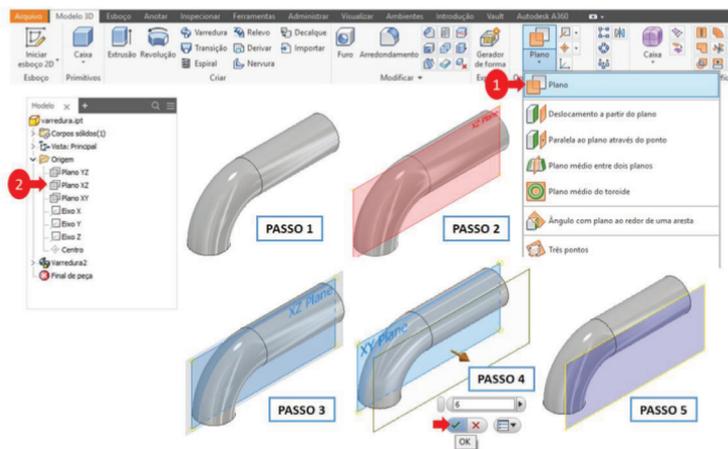
Figura 1.75 | Plano de trabalho: comandos



Fonte: elaborada pela autora.

A Figura 1.76 mostra como utilizar o comando plano, selecione o comando na barra de ferramentas, depois clique em uma face, aresta, ou vértice, uma outra forma é ir na pasta origem dentro do histórico do modelo para selecionar um plano (YZ, XZ ou XY), com o botão esquerdo do mouse arraste o plano, gerando uma cota da distância entre os dois planos. Por fim, clique comando, selecione o perfil, que é o próprio texto, indique a direção e a profundidade.

Figura 1.76 | Plano: passos para o seu desenvolvimento



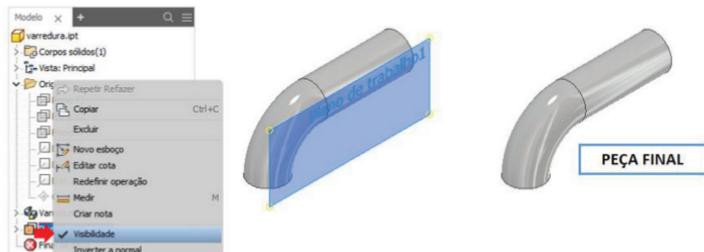
Fonte: elaborada pela autora.



## Exemplificando

Para deixar o plano invisível, clique com o botão direito do mouse no histórico do modelo.

Figura 1.77 | Plano: Visibilidade



Fonte: elaborada pela autora.

RELEVO (  ): a ferramenta permite criar ressaltos tanto em alto relevo como em baixo relevo, também de uma forma mista. A Figura 1.78 explica o funcionamento dos botões.

Figura 1.78 | Relevo: definição



Fonte: elaborada pela autora.

Para utilizar, crie o texto em um plano paralelo no qual vai aplicar o relevo, ao clicar no comando selecione o perfil, que é o próprio texto, indique a direção e a profundidade. A Figura 1.79 apresenta o modelo com texto em alto e baixo relevo.

Figura 1.79 | Relevo: alto e baixo relevo



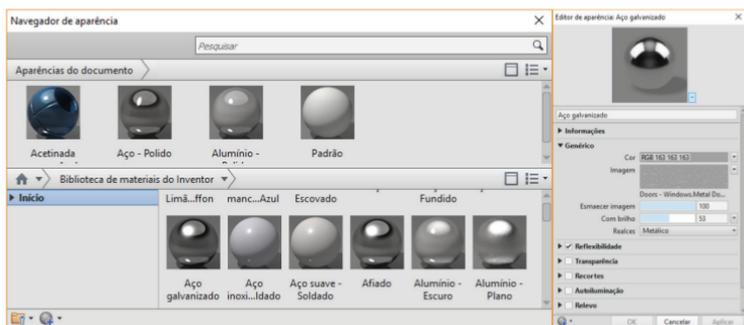
Fonte: elaborada pela autora.



## Assimile

Para trocar a cor de uma peça em 3D, usa-se o botão aparência (  ) na barra de ferramentas ao lado de materiais. Ao clicar no ícone, uma caixa é aberta para a seleção das cores, conforme mostra a Figura 1.80a. Para usar uma cor clique duas vezes na aparência mostrada na biblioteca, que abre outra caixa permitindo ajustes de cor, como mostra a Figura 1.80b. Após a cor aparecer na primeira linha, pode ser utilizada.

Figura 1.80 | Navegador de aparência



(c)

(d)

Fonte: elaborada pela autora.

Para alterar a cor da peça: uma primeira opção é ir selecionando a face e a cor, uma segunda opção é selecionar o histórico da peça no modelo 3D (ex.: extrusão, revolução, varredura, dentre outros) e clicar na cor ou você pode clicar com o botão direito no histórico da peça no modelo 3D e selecionar propriedades, permitindo trocar a aparência da operação, conforme Figura 1.81.

Figura 1.81 | Aparência da operação

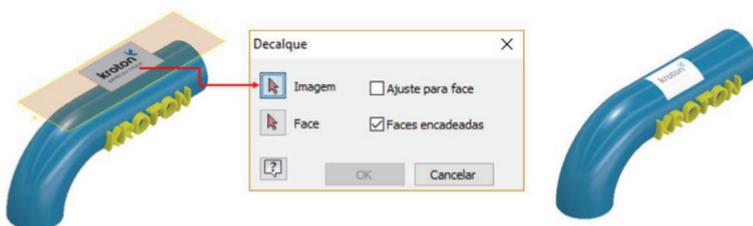


Fonte: elaborada pela autora.

DECALQUE (  Decalque ): comando utilizado para inserção de imagens em uma face, representando exigências industriais, como logotipos, rótulos, marcas, dentre outros. Para utilizar, crie um plano paralelo no qual vai aplicar a imagem, depois inicie um novo esboço no plano de trabalho e clique em imagem (  Imagem ). Uma janela vai abrir para você procurar a imagem que será inserida. Para ajustar a imagem é só clicar em uma das extremidades com o mouse; desta forma, você

pode reduzir/aumentar e girar a imagem para posicionar na forma que será aplicada. Para movimentar, apenas clique com o botão direito do mouse e arraste. Depois, clique no ícone, selecione a imagem e a face, como mostra a Figura 1.82.

Figura 1.82 | Relevo: alto e baixo relevo



Fonte: elaborada pela autora.



## Pesquise mais

Faça a leitura dos Tópicos de ajuda do Inventor 2018. AUTODESK. Help. Sobre as operações de esboço: Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Inventor-Help/files/GUID-5A2D77F1-1A36-4E6C-A1C4-4F111CBE7650-htm.html>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

ATENÇÃO: O final do material apresenta links sobre transição (  ), espiral (  ) e nervura (  ). Procure também vídeos para a demonstração do funcionamento dos comandos.



FURO (  ): ferramenta utilizada para criação de furos simples, roscados, escareado, rebaxados e cônicos, como mostra a Figura 1.83.

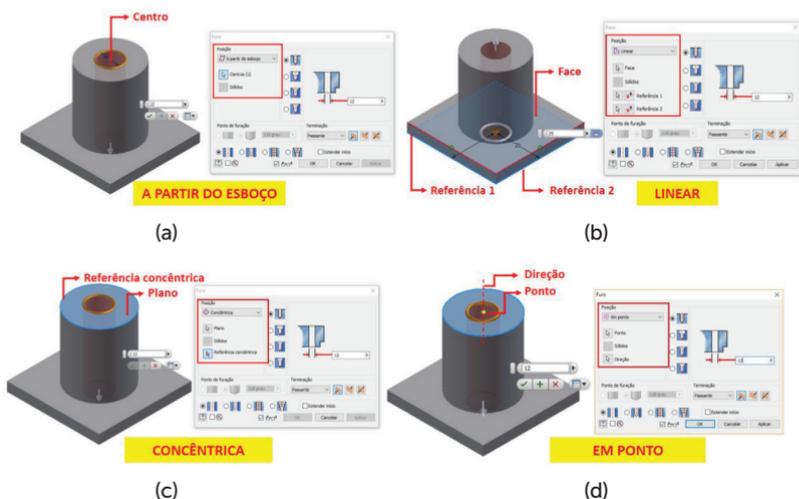
Figura 1.83 | Furo: características



Fonte: elaborada pela autora.

Posição: o furo pode ser a partir do esboço: representado por ponto ou centro de um círculo de uma geometria existente (Figura 1.84a), linear: selecione a face em que o furo será realizado e depois duas arestas, para acrescentar as cotas do centro do furo para a aresta (Figura 1.84b); concêntrica: selecione a face/plano em que o furo será realizado e depois uma circunferência e o furo faz o ajuste automático ao centro da circunferência (Figura 1.84c) ou em ponto: selecione o ponto de trabalho e a direção (Figura 1.84d).

Figura 1.84 | Furo: eixo de fixação



Fonte: elaborada pela autora.



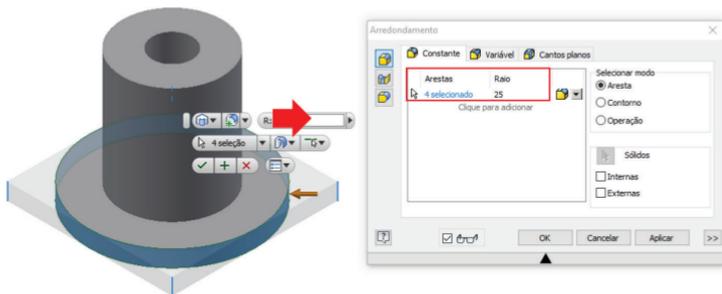
Pesquise mais

Os furos criados no Inventor® 2018 podem ser simples, rebaxados, escareados, roscados ou roscados cônicos. Veja mais em: AUTODESK. Help. Para criar furos. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Inventor-Help/files/GUID-94EB6947-0347-4888-870D-4BA22DB144D8-htm.html>>. Acesso em: 17 nov. 2017.



ARREDONDAMENTO (  ): permite criar um ou mais raios de concordância nas arestas. A Figura 1.85 mostra quatro arestas selecionadas com raio de 25 mm.

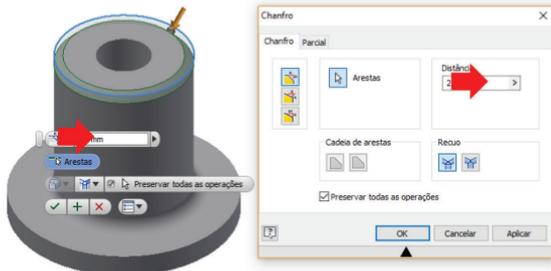
Figura 1.85 | Arredondamento



Fonte: elaborada pela autora.

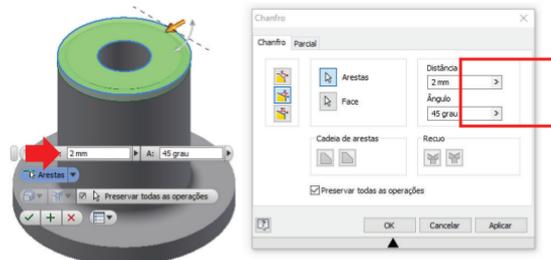
CHANFRO (  ): adiciona chanfro em uma ou mais arestas selecionadas. Pode ser criado a partir de uma distância: mesma distância em ambas as faces (Figura 1.86), distância e ângulo: a distância e o ângulo são medidos em relação à face selecionada (Figura 1.87) ou duas distâncias: permite duas distâncias diferentes para a mesma aresta (Figura 1.88).

Figura 1.86 | Chanfro a partir de uma mesma distância



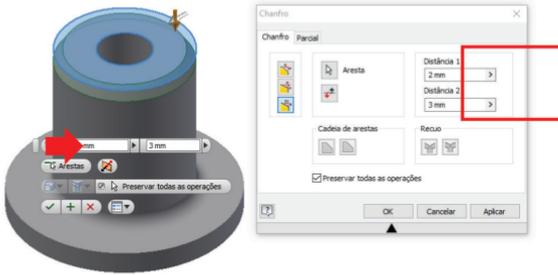
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.87 | Chanfro a partir de uma distância e ângulo



Fonte: elaborada pela autora.

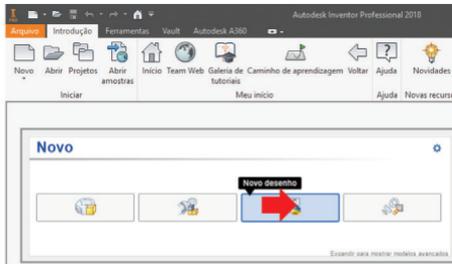
Figura 1.88 | Chanfro a partir de duas distâncias



Fonte: elaborada pela autora.

FOLHA FORMATADA: para criar uma folha com margem e legenda, você deve abrir um novo desenho (.dwg), como mostra a Figura 1.89.

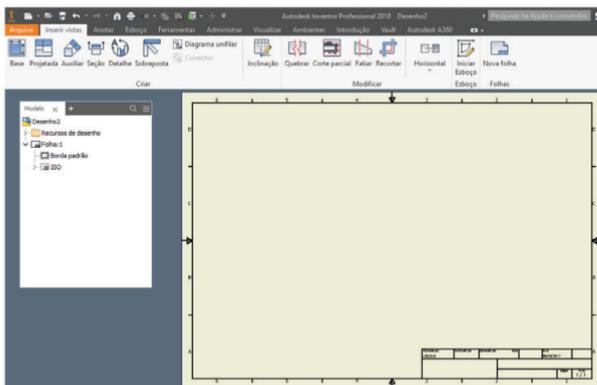
Figura 1.89 | Chanfro a partir de duas distâncias



Fonte: elaborada pela autora.

A tela de abertura é representada por uma folha de papel A3 e abre com uma legenda padrão do programa, como apresenta a Figura 1.90.

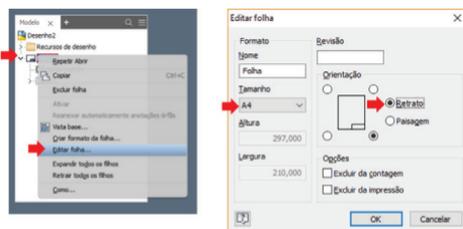
Figura 1.90 | Desenho: padrão



Fonte: elaborada pela autora.

Para trocar o formato da folha clique com o botão direito do mouse em Folha: 1 e selecione a opção editar folha. Uma janela se abre para ajuste do formato de papel e orientação da folha, na maioria das atividades vamos usar em tamanho o formato A4 e orientação retrato (Figura 1.91).

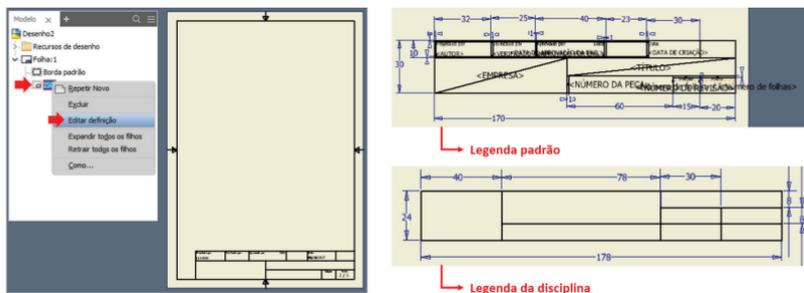
Figura 1.91 | Desenho: editar folha



Fonte: elaborada pela autora.

Legenda: clique em ISO com o botão direito do mouse no histórico do modelo e em editar definição para ajustar a legenda, como mostra a Figura 1.92. Delete as linhas que não vão ser utilizadas e com os comandos de esboço crie o formato de legenda da disciplina com suas devidas cotas. Em seguida, clique em texto e complete a legenda, como mostra a Figura 1.93. Quando encerrar o esboço, peça para salvar edições em ISO, conforme Figura 1.94.

Figura 1.92 | Desenho: editar legenda



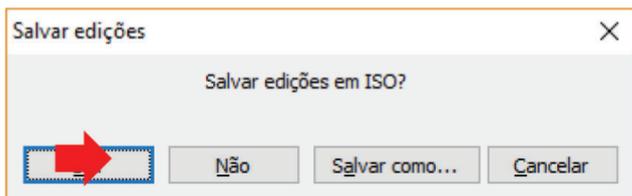
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.93 | Desenho: legenda da disciplina

FACULDADE CURSO	TÍTULO DO DESENHO	Alunx:	
		RA:	Data:
Visto:		Escala:	Medidas:

Fonte: elaborada pela autora.

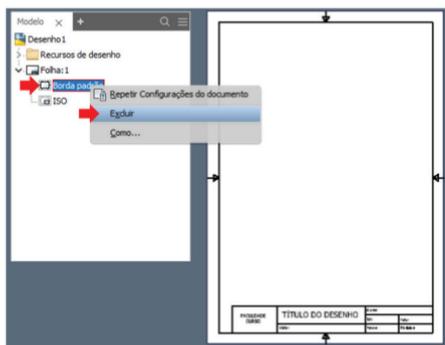
Figura 1.94 | Desenho: salvar edições da legenda



Fonte: elaborada pela autora.

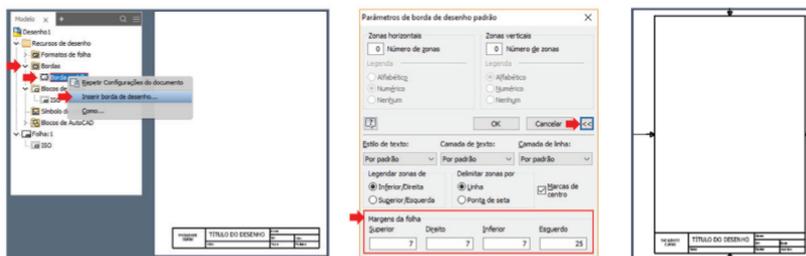
Margem: clique em borda padrão com o botão direito do mouse no histórico do modelo e em excluir, como mostra a Figura 1.95. Depois vá na pasta recursos de desenhos > bordas > bordas padrão > inserir borda de desenho, como ilustra a Figura 1.96, e clique nos símbolos matemáticos (>>) que permitem alterar os valores das margens conforme norma ABNT. Por fim, com a folha formatada clique em OK e salve o documento.

Figura 1.95 | Desenho: excluir margem



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.96 | Desenho: inserir margem

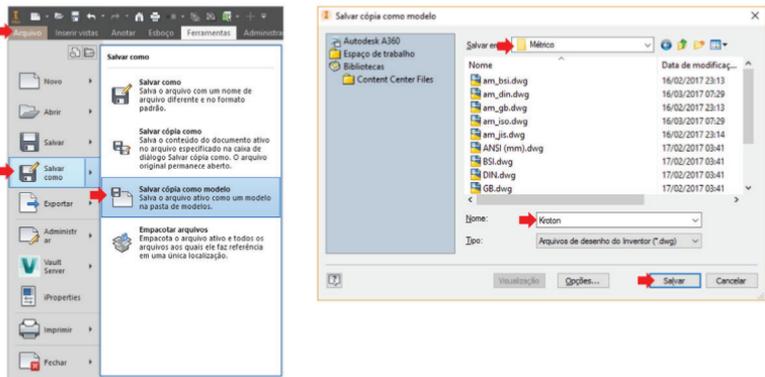


Fonte: elaborada pela autora.



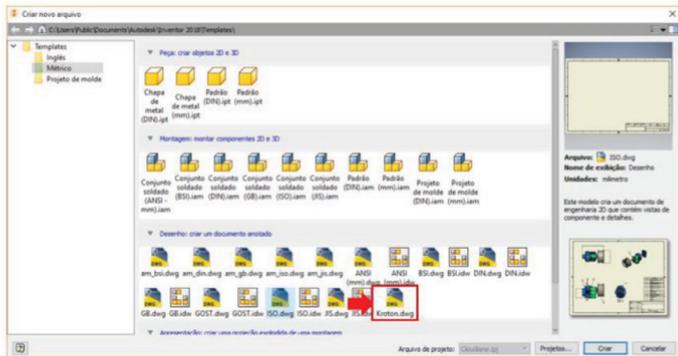
Você pode salvar a folha formatada com margem e legenda no template do programa. Para isso, clique em arquivo > salvar como > salvar cópia como modelo, uma janela se abre para que você escolha onde quer salvar, como mostra Figura 1.97. Sugerimos que salve no sistema métrico. Para checar se realmente foi salvo, solicite um novo documento. A Figura 1.98 mostra o documento salvo.

Figura 1.97 | Desenho: salvar cópia como modelo



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.98 | Desenho: checar documento salvo no *template*



Fonte: elaborada pela autora.

**ATENÇÃO:** quando se tem vários clientes é importante criar legendas personalizadas. Além disso, salvando no *template*, você não corre o risco de perder o documento.

Projeção ortogonal: para adicionar as vistas da peça, na aba

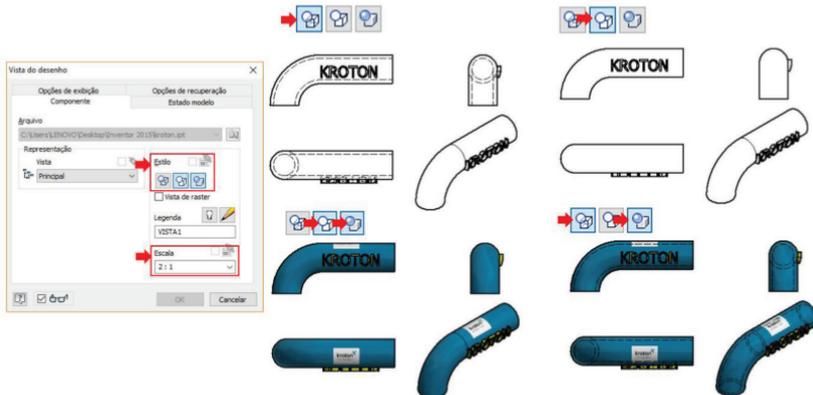
inserir vistas clique em base (  ). Uma caixa vai se abrir para você selecionar o arquivo, que depois de escolhido abre a vista frontal da peça automaticamente e, ao posicionar o mouse dos seus lados, ele faz a construção das vistas inclusive da perspectiva, como mostra a Figura 1.99. Para alterar as vistas, clicar no cubo posicionado acima das vistas, a indicação que fizer no cubo aparece na vista. Na aba componente, pode ser alterada a escala: real, redução ou ampliação, e os estilos de exibição: com linhas ocultas, sem linhas ocultas ou com hachura, como mostra a Figura 1.100. Para inserir cotas clique na aba anotar e depois em cota, desenvolvendo o mesmo procedimento para a cotaagem de esboços (Figura 1.101).

Figura 1.99 | Desenho: projeção ortogonal



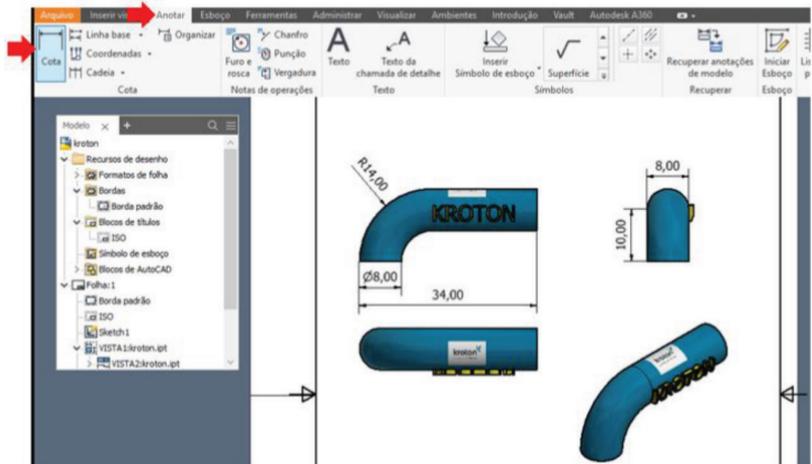
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.100 | Desenho: estilos de exibição



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.101 | Desenho: cotas



Fonte: elaborada pela autora.



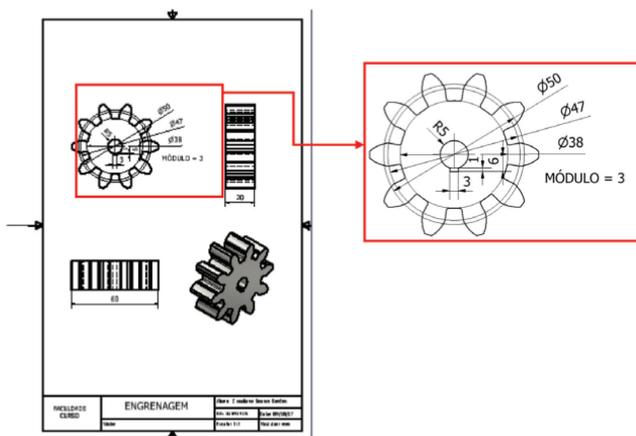
Refleta

Apesar do trabalho de um projetista parecer individual, ou seja, só ele e o computador, existem muitas pessoas e equipes para o desenvolvimento de um projeto, desde a sua concepção até a sua fabricação. Você já refletiu sobre qual o verdadeiro papel de um projetista que atua dentro de um determinado projeto e qual a importância dessa atividade? Pense nisso!

## Sem medo de erro

Vamos voltar à situação apresentada no convite ao estudo? Nesta fase você está sendo solicitado pela empresa terceirizada para apresentar um desenho mais completo da engrenagem com projeção ortogonal (1° diedro) e perspectiva na folha formatada em papel A4, conforme mostra a Figura 1.102. Como dados adicionais solicita que o projeto esteja normalizado com a ABNT, e que as cotas apresentem os dados técnicos da engrenagem conforme Tabela 1.4. As cotas de diâmetro do furo e do rasgo de chaveta estão representadas no desenho.

Figura 1.102 | Desenho projetivo da engrenagem



Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 1.4 | Especificações técnicas da engrenagem

DADOS TÉCNICOS	
Número de dentes (Z)	10
Módulo (m)	3
Diâmetro externo (de)	60 mm
Diâmetro primitivo (dp)	50 mm
Diâmetro de base (db)	47 mm
Diâmetro interno (di)	38,3 mm

Fonte: elaborada pela autora.

Um passo a passo foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar a construção do desenho projetivo no Autodesk Inventor®:

**Passo 1:** abrir a folha formatada salva no template e editar a legenda clicando em ISO com o botão direito do mouse no histórico do modelo, como mostra a Figura 1.103. O único item que não deve ser preenchido é o visto, que é de responsabilidade do seu professor.

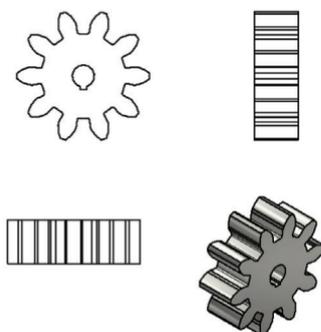
Figura 1.103 | Legenda preenchida

FACULDADE CURSO	ENGRENAGEM	Aluno: Cleudiane Soares Santos	
		RA: 32893915	Data: 09/10/17
	Visto:	Escala: 1:1	Medidas: mm

Fonte: elaborada pela autora.

**Passo 2:** adicionar as vistas da peça (1º diedro) e a perspectiva, como mostra a Figura 1.104. Defina o estilo de visualização.

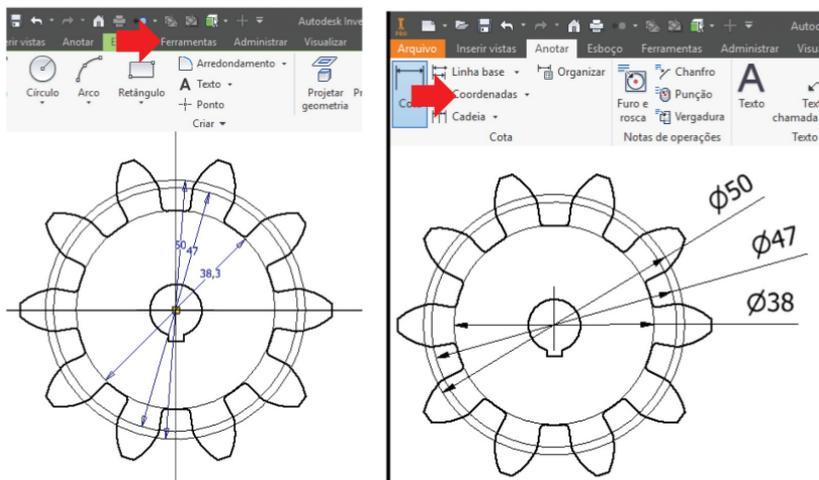
Figura 1.104 | Projeção em 1º diedro



Fonte: elaborada pela autora.

**Passo 3:** para adicionar as cotas do diâmetro primitivo, de base e interno, sugerimos ir na aba esboço e inserir circunferências a partir do centro do furo na vista frontal (Figura 105a), depois clique na aba anotar para inserir as cotas (Figura 1.105b).

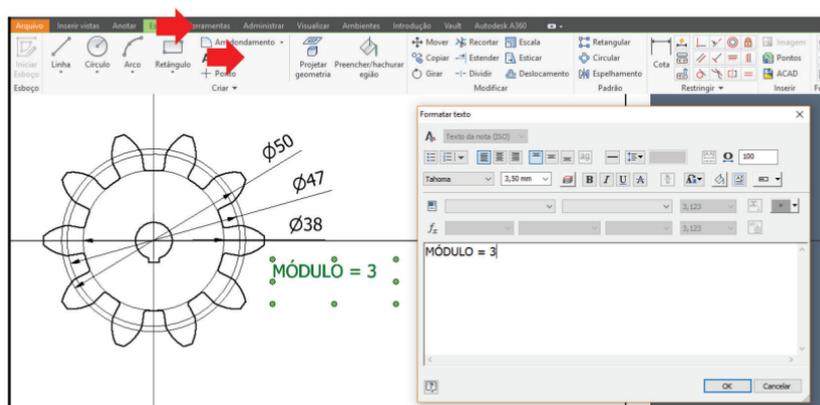
Figura 1.105 | Inserir circunferências e cotas



Fonte: elaborada pela autora.

**Passo 4:** para a medida de módulo acrescentar um texto na área de desenho, como na Figura 1.106.

Figura 1.106 | Inserir texto



Fonte: elaborada pela autora.

## Avançando na prática

### Projeto 3D

#### Descrição da situação-problema

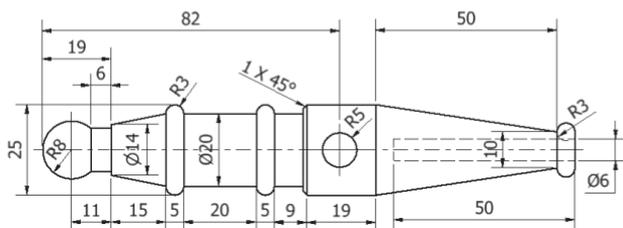
Um professor do curso de Engenharia solicitou que seus alunos desenvolvessem no Autodesk Inventor® um modelo 3D para nota. Construa a peça representada na Figura 1.107 em aço polido com aplicação de imagem do logotipo da sua faculdade. As cotas estão representadas na Figura 1.108.

Figura 1.107 | Modelo 3D



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.108 | Esboço 2D



Fonte: elaborada pela autora.

## Resolução da situação-problema

Um passo a passo foi desenvolvido para auxiliar na execução da tarefa:

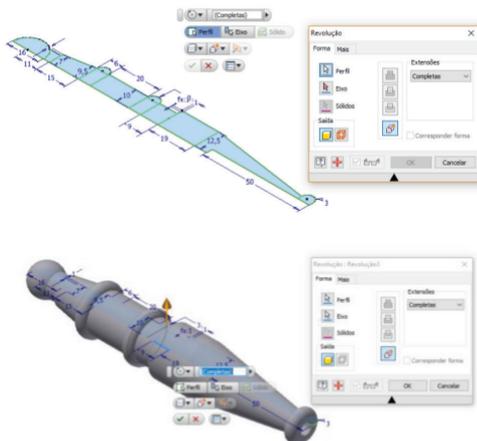
**Passo 1:** o modelo 3D pode ser criado utilizando o comando revolução, como mostra a Figura 1.109. Porém, o projetista pode desenhar com outros comandos e tem liberdade para isso.

**Passo 2:** criação de um esboço no plano com cotas de localização do furo (Figura 1.110).

**Passo 3:** definição de parâmetros do furo (Figura 1.111a) e troca de material (Figura 1.111b).

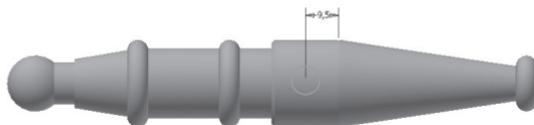
**Passo 4:** criar um novo esboço em um plano paralelo à peça e adicionar imagem com a ferramenta decalque, como mostra a Figura 1.112.

Figura 1.109 | Esboço 2D



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.110 | Localização do furo



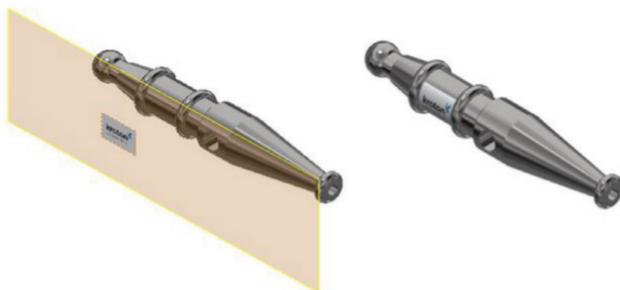
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.111 | Criação do furo



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 1.112 | Peça finalizada

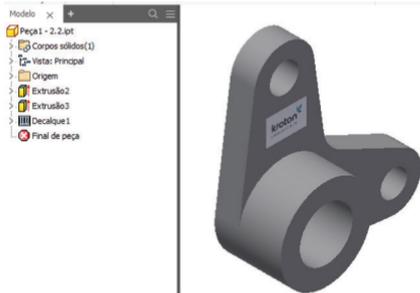


Fonte: elaborada pela autora.

## Faça valer a pena

**1.** Uma empresa de engenharia mecânica desenvolve projetos para seus clientes utilizando softwares de desenho CAD 3D, com o objetivo de garantir a confiabilidade no desenvolvimento de produtos. Analise a peça mecânica desenvolvida pela empresa (Figura 1.113).

Figura 1.113 | Peça mecânica



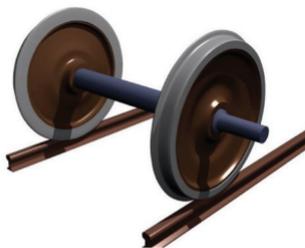
Fonte: elaborada pela autora.

Assinale abaixo a alternativa que representa a resposta correta:

- a) A peça pode ser desenvolvida usando o comando de revolução.
- b) Foi utilizado o comando relevo para aplicar a imagem na peça.
- c) Pode-se afirmar que o comando furo foi utilizado para a criação da peça.
- d) O comando de esboço foi utilizado para a construção da peça.
- e) Foi utilizado o comando de texto para a escrita do texto aplicado no modelo.

**2.** Projetistas de uma empresa que atua na área ferroviária criaram um projeto em CAD (Figura 1.114), simulando o movimento das rodas em um trilho com o objetivo de estudo do desgaste das rodas.

Figura 1.114 | Estudo de desgaste de rodas ferroviárias



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ARollingstock\\_axle.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ARollingstock_axle.jpg)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

Analise as afirmativas abaixo colocando um "V" quando for verdadeiro e um "F" quando for falso.

- ( ) O trilho pode ser criado utilizando somente o comando de varredura.
- ( ) O trilho pode ser criado utilizando somente o comando de extrusão.
- ( ) A roda pode ser criada utilizando somente o comando de relevo.

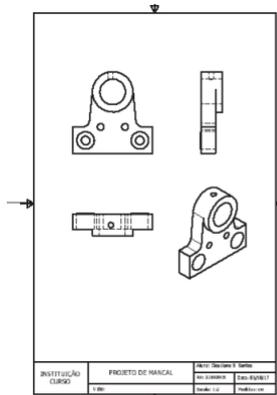
( ) A roda e o eixo podem ser criados utilizando somente o comando de revolução.

Assinale abaixo a alternativa que apresenta a sequência correta do verdadeiro ou falso de cima para baixo:

- a) V – V – V – V.
- b) F – V – F – V.
- c) V – F – V – V.
- d) F – V – V – V.
- e) V – V – F – V.

**3.** A Figura 1.115 apresenta o desenho de um elemento de apoio, com representação da sua projeção ortogonal e perspectiva.

Figura 1.115 | Projeto de Mancal



Fonte: elaborada pela autora.

Avalie as asserções, com base na leitura e na interpretação do desenho:

- I) A representação está no 1º diedro e o desenho é não projetivo.
- II) Ao desenho falta dados, pois a localização dos furos é obrigatória em um desenho projetivo.
- III) O projetista pode editar a margem e a legenda quantas vezes for necessário.
- IV) Para ir para a fabricação o desenho precisa ser revisado.

Assinale abaixo a alternativa que apresenta a resposta correta:

- a) Apenas I, II e III estão corretas.
- b) Apenas I, II e IV estão corretas.
- c) Apenas I, III e IV estão corretas.

- d) Apenas II, III e IV estão corretas.
- e) Apenas I, II, III e IV estão corretas.

# Referências

24 AUTODESK INVENTOR FERRAMENTA TEXTO BASEADO EM GEOMETRIA OU TEXT TOOL BASED ON GEOMETRY. Francisco A de A. **Youtube**. 15 maio de 2017. 3m34s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=QvEWLwWuuZII>>. Acesso: 7 out. 2017.

ANACLETO, R. C. **Aumento da produtividade dos sistemas CAD através da utilização de parametrizados**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. (Disponível na biblioteca da EESC - USP), p.73-74, 1991.

AUTODESK. Help. Sobre as operações de esboço. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Inventor-Help/files/GUID-5A2D77F1-1A36-4E6C-A1C4-4F111CBE7650-htm.html>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

\_\_\_\_\_. Para criar furos. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/Inventor-Help/files/GUID-94EB6947-0347-4888-870D-4BA22DB144D-8-htm.html>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

CRUZ, Michele David. **Autodesk Inventor Professional 2016**: Desenhos, Projetos e Simulações. São Paulo: Editora Érica, 2015. 392 p.

CRUZ, Michele David. **Autodesk Inventor Professional 2016**: Desenhos, Projetos e Simulações. São Paulo: Editora Érica, 2015, 392 p.

DR. GOPAL U. SHINDE (Own work) [CC BY-SA 3.0], via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACAE\\_optimization\\_Cycle\\_for\\_ALLL\\_developed\\_by\\_Gopal\\_U\\_Shinde\\_%2CCAET%2CMKV%2CPARBHANI.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACAE_optimization_Cycle_for_ALLL_developed_by_Gopal_U_Shinde_%2CCAET%2CMKV%2CPARBHANI.jpg)>. Acesso em: 20 out. 2017.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2002.

MIKE1024 (Mike1024) [Public domain], via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACAD\\_model\\_and\\_CNC\\_machined\\_part.PNG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ACAD_model_and_CNC_machined_part.PNG)>. Acesso em: 20 out. 2017.

PATRICKHAAS (Own work) [CC BY-SA 4.0], via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AMoto2\\_CFD\\_hepia-cmefe\\_1.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AMoto2_CFD_hepia-cmefe_1.png)>. Acesso em: 20 out. 2017.

PELICIA, R. **Métodos de projeto CAD**. São Paulo: Cad Design

RIBEIRO, Antônio Clélio; PERES, Mauro Pedro; IZIDORO, Nacir. **Curso de Desenho Técnico e Autocad**. 1. ed., São Paulo: Pearson, 2013. 382 p.

RollingStock Axle. By No machine-readable author provided. Pantoine assumed (based on copyright claims), via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ARollingstock\\_axle.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ARollingstock_axle.jpg)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

RUBEN CASTELNUOVO. Own work, CC BY-SA 3.0, Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Manufacturing\\_engineering#/media/File:Mech\\_2\\_3D.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Manufacturing_engineering#/media/File:Mech_2_3D.png)>. Acesso em: 20 out. 2017.

SANTOS, Cleudiane Soares. **Apostila de Desenho Técnico com Auxílio do Computador**. Centro Federal de Educação, Ciência e Tecnologia São Paulo – Campus Hortolândia, 2014.

SIEMENS PLM SOFTWARE. Disponível em: <<https://flic.kr/p/gspwGy>>. Acesso em: 30 ago. 2017.

SIMSCALE GMBH (SimScale GmbH) [CC BY-SA 4.0], via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AContact\\_analysis\\_of\\_a\\_consumer\\_snap\\_fit\\_mechanism.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AContact_analysis_of_a_consumer_snap_fit_mechanism.jpg)>. Acesso em: 20 out. 2017.

SOUZA, Adriano Fagali.; ULBRICH, Cristiane Brasil Lima. Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD/CAM/CNC - Princípios E Aplicações. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2013. 358 p.

STRANIERI, J.V. 2008. **Seleção de uma Plataforma CAD para Desenvolvimento de Novos Produtos**. Universidade São Francisco. Engenharia Mecânica Automação e Sistemas (Monografia). Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1513.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2017.

THALMANN, N. M.; THALMANN, D. **Mundos virtuais e multimídia**. Rio de Janeiro: Editora LTC, pp. 141-148, 1993.

WIKIMEDIA COMMONS. **Fidget spinner red, cropped**. By Árni Dagur (Own work) [CC0]. Disponível em: <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=59361838>>. Acesso em: 27 out. 2017.

ZANQUETTA, J. **Vantagens do CAD**. São Paulo: Cad Design, nº 65, 2003.



# Simulação e análise do comportamento dos componentes de um projeto

### Convite ao estudo

Os projetos, de maneira geral, devem impressionar os clientes na sua apresentação e uma das maneiras de atrair o cliente é mostrar a qualidade do serviço logo na apresentação. Utilizar *softwares* 3D na concepção e, conseqüentemente, na apresentação, é uma opção que está sendo muito utilizada hoje em dia, porque alguns clientes têm sérias dificuldades em compreender um projeto 2D. Porém, é fundamental que você saiba utilizar corretamente o software, de forma a extrair o máximo que ele tem a oferecer para aumentar as suas chances de sucesso nas apresentações.

Nesta unidade de ensino, faremos o estudo e o desenvolvimento de projetos com montagem, vista explodida, renderização e análises de engenharia. Vamos tratar sobre montagem de projetos utilizando *software* 3D, que é uma realidade nos projetos de engenharia. Apresentaremos o processo para o desenvolvimento de uma vista explodida, também chamada de perspectiva explodida, que tem a finalidade de mostrar a seqüência em que foi realizada a montagem, elaborando animações de montagem e desmontagem dos componentes para o cliente. Mostraremos, ainda, como renderizar um componente ou uma montagem, ou seja, como criar imagens fotorrealistas, também chamadas de imagem de catálogo com o objetivo de impactar uma apresentação de projetos. E, finalmente, analisaremos alguns resultados (tensão, deformação, deslocamento, dentre outros) mostrando a importância da integração CAD/CAE.

Como situação hipotética para resolução da situação-problema, imagine que a empresa para a qual você trabalha vai

participar da feira da mecânica de um grande evento do setor industrial que ocorre anualmente. O evento reúne tecnologia, produtos e serviços, oportunidade para atualização técnica e realização de negócios entre executivos. Nesta oportunidade, a empresa estará em um *stand* demonstrando os seus projetos e aplicações. Você foi selecionado para representar a empresa no evento, pois ela reconheceu que você tem um grande potencial. Para preparar a apresentação, você precisará escolher um dos projetos desenvolvidos pela empresa para detalhar, desenvolver imagens renderizadas do projeto, animações em vista explodida e a demonstração das análises de engenharia que foram realizadas. Você acha que essas competências vão ajudá-lo a efetuar a montagem de qualquer projeto de engenharia? Como ferramentas apropriadas para demonstrar montagem, vista explodida, renderização e análises de engenharia podem ajudá-lo na apresentação dos projetos e em suas aplicações?

Em cada uma das seções seguintes você será convidado a desenvolver alguma atribuição, identificar as melhores soluções e a tomar decisões de forma a garantir cada vez mais uma carreira de sucesso. Fique atento, pois essa é uma ótima oportunidade de demonstrar seus conhecimentos.

# Seção 2.1

## Montagem de componentes

### Diálogo aberto

Querido aluno, é de seu conhecimento que muitos projetos apresentam montagem de componentes no seu desenvolvimento (exemplo: fogão, geladeira, automóvel, dentre outros), ou seja, a união de vários componentes formando um conjunto, por isso, está familiarizado com o ambiente de montagem, que é de grande importância para os projetos de engenharia.

Na seção anterior, você trabalhou com perspectiva e projeção ortogonal da peça e agora já consegue construir qualquer modelo tridimensional e construir as suas vistas conforme as normas da ABNT, utilizando margem e legenda.

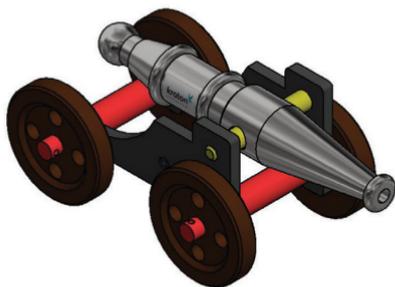
Nesta seção, você irá utilizar todo o conhecimento adquirido com os comandos 2D e 3D, para a construção de componentes e para a realização de suas montagens.

Vamos voltar à situação apresentada no Convite ao estudo? Em um de seus projetos como engenheiro, a empresa para a qual você trabalha vai participar da feira da mecânica de um grande evento do setor industrial que ocorre anualmente. Você foi selecionado para representar a empresa no evento, pois ela reconheceu que você tem um grande potencial, por isso ficará responsável pelo *stand*. Para preparar a apresentação, você precisará escolher um dos projetos desenvolvidos pela empresa para detalhar, e a empresa solicitou que o projeto a ser apresentado no *stand* seja de sua escolha. Contudo, lembre-se: isso pode garantir melhores posições dentro da empresa ou o contrário. Fique muito atento!

Para a apresentação dos projetos no *stand* do evento você deve escolher um projeto que atenda ao requisito de um número mínimo de cinco componentes para que a montagem possa ser apresentada.

O projeto desenvolvido como exemplo é de montagem de um canhão com 6 itens (Figura 2.1).

Figura 2.1 | Montagem do canhão



LISTA DE PEÇAS		
ITEM	QTD	NÚM. DE PEÇA
1	1	Peça 1 - canhão
2	2	Peça 2 - lateral
3	2	Peça 3 - eixo 1
4	1	Peça 4 - eixo 2
5	1	Peça 5 - pino
6	4	Peça 6 - roda

Fonte: elaborada pela autora.

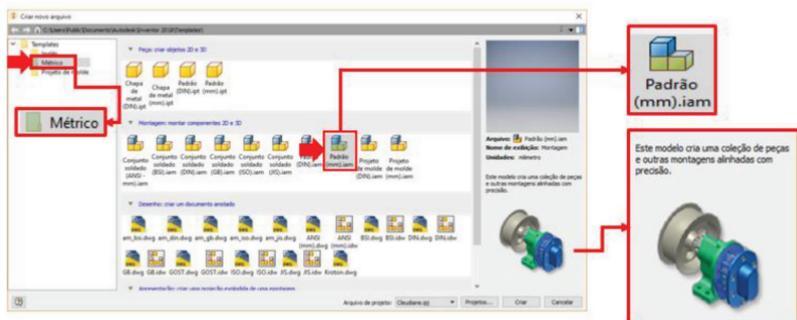
ATENÇÃO: Projetos inovadores e com apelo à sustentabilidade têm sido bastante aceitos. Fica a dica!

## Não pode faltar

Grande parte dos projetos de engenharia no ambiente industrial, em especial os mais complexos, apresentam montagem de componentes no seu desenvolvimento. No ambiente de montagem do Autodesk Inventor® é possível criar conjuntos montados e conjuntos soldados, que são ferramentas importantes para o desenvolvimento de projetos mecânicos.

Para abrir uma montagem é necessário clicar em novo na tela inicial de trabalho e depois selecionar o tipo de conjunto que deseja criar. Para a criação de conjuntos montados utilizando o sistema métrico se usa o padrão (mm), como mostra a Figura 2.2. Porém a escolha depende do seu tipo de aplicação.

Figura 2.2 | Criar uma nova montagem



Fonte: elaborada pela autora.



Refleta sobre a implantação de todos os equipamentos para a produção de ferramentas, imagine que tudo isso é possível por meio da simulação da montagem das peças construídas em 3D, a partir da qual é possível ver todas as necessidades de modificações antes mesmo da produção das peças. É possível simular, ainda, a resistência desses componentes.

A barra de ferramentas para montagem de conjuntos é apresentada na Figura 2.3.

Figura 2.3 | Aba: montagem



Fonte: AUTODESK (2017).

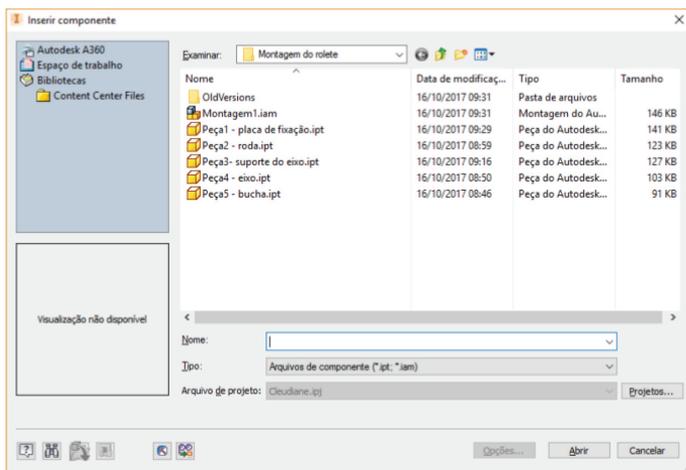


Para não ter erros de montagem, salve todos os componentes em uma mesma pasta. Contudo, é importante criar códigos para as peças. Imagine uma montagem com muitos componentes, você pode ficar perdido salvando as peças todas em uma única pasta, e na hora da montagem ter dificuldades para buscar o item. Importante mencionar que um mesmo componente pode ser inserido mais de uma vez no ambiente de montagem, ou seja, não precisa ser redesenhado.



**INSERIR (  )**: comando utilizado para inserção de componentes (.ipt) e subconjuntos\* (.iam) no ambiente de montagem. Ao clicar no comando uma caixa de diálogo é aberta (Figura 2.4), na qual você deve selecionar o arquivo a ser inserido na montagem. Sendo que a cada clique do mouse na área gráfica um componente ou submontagem é inserido, para finalizar a inserção clique no ESC do teclado ou no menu flutuante clique em OK. O menu flutuante também permite a rotação do componente antes da inserção na área de trabalho.

Figura 2.4 | Comando: inserir componente



Fonte: elaborada pela autora.



Subconjunto\* é um conjunto que está contido em outro. Desta forma, os dois arquivos têm mesma extensão (.iam).

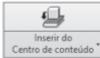
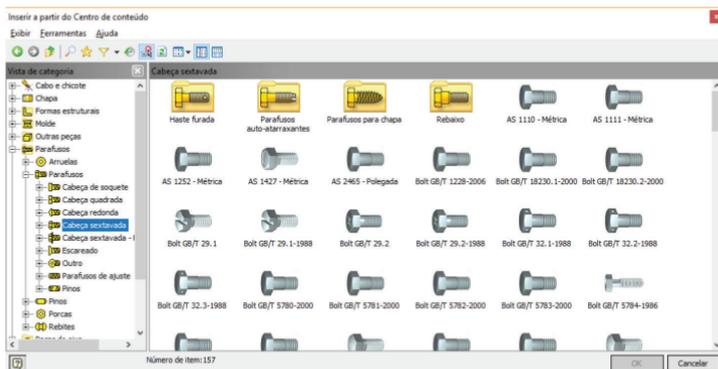
INSERIR DO CENTRO DO CONTEÚDO (  ): abre o centro de conteúdo (Figura 2.5), ou seja, uma biblioteca interna do Inventor®, permitindo a inserção de componentes normalizados, conforme norma: ANSI, BSI, GB, GOST, ISO, JIS, DIN e Parker.

Figura 2.5 | Comando: inserir do centro de conteúdo



Fonte: AUTODESK (2017).

A Figura 2.6 é um zoom da barra de ferramentas da Figura 2.5, em que:

Figura 2.6 | Comando: zoom do inserir do centro de conteúdo

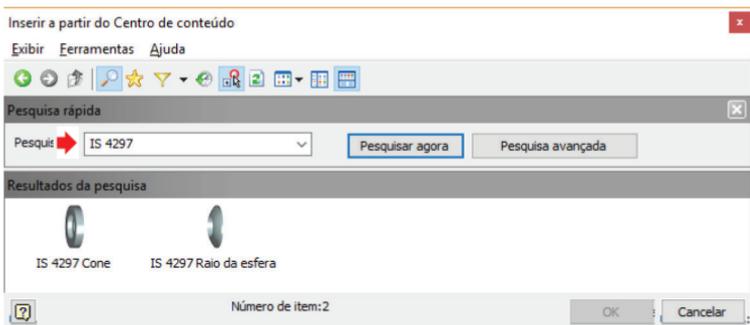


Fonte: AUTODESK (2017).

1. **VOLTAR, PRÓXIMO E SUBIR PASTA:** permite explorar as pastas de trabalho: voltar, avançar e subir pastas.

2. **PESQUISAR:** permite pesquisar itens na biblioteca, conforme mostra a caixa de diálogos da Figura 2.7. A pesquisa pode ser realizada por nome, pelo código ou outra referência do ícone que deseja encontrar. Além disso, existe o campo de pesquisa avançada, para refinar ainda mais a pesquisa.

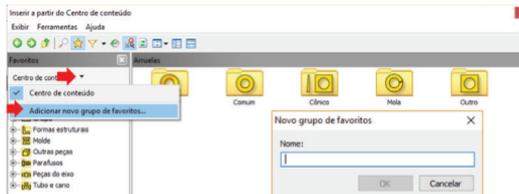
Figura 2.7 | Comando: zoom do inserir do centro de conteúdo



Fonte: AUTODESK (2017).

3. **FAVORITOS:** comando utilizado para a criação de pastas e para a inserção de componentes pelo usuário (Figura 2.8), de forma a trazer mais agilidade na busca por componentes de uso regular.

Figura 2.7 | Comando: zoom do inserir do centro de conteúdo

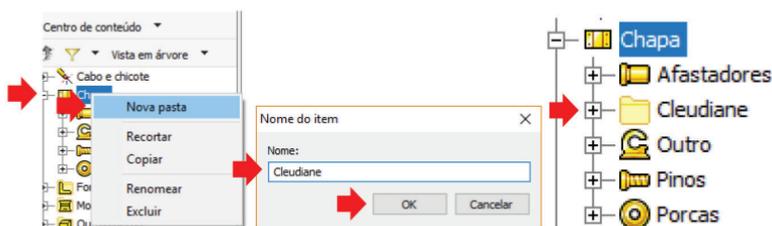


Fonte: elaborada pela autora.



Se você quiser criar uma pasta em chapa (qualquer peça plana, mais ou menos espessa, feita de material rígido ou resistente, como: metal, madeira, vidro, dentre outros). Selecione o nome chapa com o botão direito do mouse e clique em nova pasta, uma caixa se abrirá, na qual você deverá inserir o nome da pasta. Por fim, clique em OK e a pasta criada aparecerá dentro de chapas em ordem alfabética junto das já existentes, como mostra a Figura 2.9.

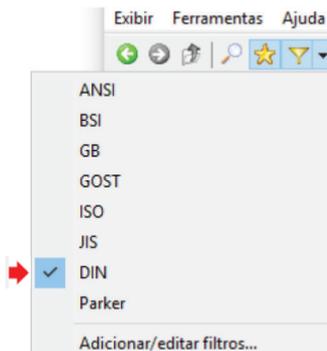
Figura 2.9 | Passos para criar uma pasta



Fonte: elaborada pela autora.

4. **FILTROS:** filtra o componente conforme norma: ANSI, BSI, GB, GOST, ISO, JIS, DIN e Parker. Além disso, existe a possibilidade de criar filtros combinando duas ou mais normas, utilizando Adicionar/Editar filtros, como mostra a Figura 2.10.

Figura 2.10 | Comando: filtros



Fonte: AUTODESK (2017).

5. **HISTÓRICO**: o comando mostra os últimos componentes utilizados, ou seja, um histórico de utilização.

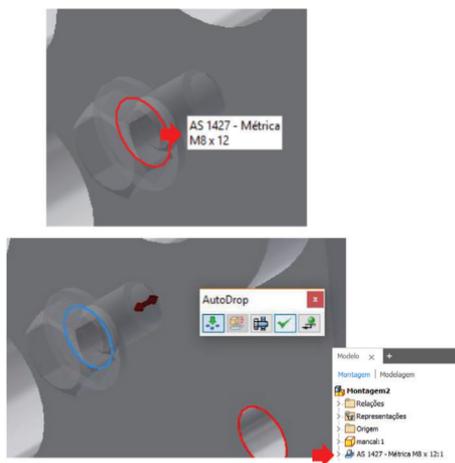
6. **AUTODROP**: comando utilizado quando se deseja que as dimensões sejam definidas por componentes da montagem presentes na área gráfica.



## Exemplificando

A Figura 2.11 apresenta um exemplo para inserção de parafusos em uma montagem. Com a opção do *AutoDrop* ativa, selecione o parafuso que automaticamente aparece na área gráfica pedindo uma geometria de destino (ex: aresta, face etc). Ao clicar com o mouse no diâmetro do furo, o *software* busca as dimensões corretas para ajuste e ao final no histórico do modelo aparece o código e as medidas utilizadas.

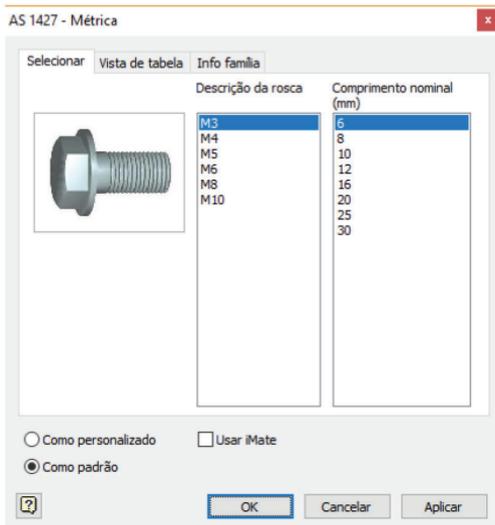
Figura 2.11 | Passos para criar uma pasta



Fonte: elaborada pela autora.

Se a opção do *AutoDrop* estiver desabilitada, uma caixa de diálogo (Figura 2.12) é aberta para que sejam selecionadas manualmente as dimensões de cada componente.

Figura 2.12 | Dados do parafuso de cabeça sextavada com flange



Fonte: AUTODESK (2017).

7. **ATUALIZAR**: o comando atualiza a biblioteca, caso alguma alteração tenha sido executada.

8. **VISUALIZAÇÃO E LAYOUT**: mostram a forma como a biblioteca será apresentada, podendo ser como: miniatura, lista ou lista de detalhes com vista em árvore ou com vista em tabela.

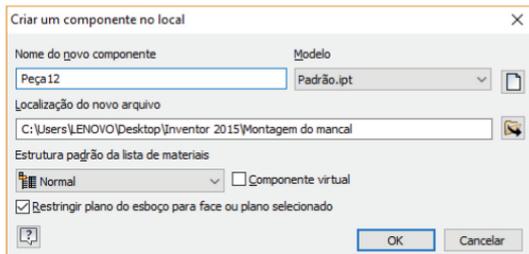
### Atenção

Quanto mais informações você habilitar para que sejam mostradas, mais lento é o processo para carregar a biblioteca.



**CRIAR** (criar): cria uma montagem ou componente em um ambiente de montagem. Ao selecionar o comando, uma caixa de diálogo solicita informações sobre sua criação, como: nome do novo componente (você define o nome da peça ou subconjunto); modelo (define qual padrão vai ser utilizado, por exemplo: padrão (.ipt), chapa de metal (.ipt), padrão (.iam) e conjunto soldado (.iam)); localização do novo arquivo (define o local onde o componente ou a submontagem serão salvos), dentre outras, como mostra a Figura 2.13.

Figura 2.13 | Comando: criar um componente no ambiente de montagem



Fonte: AUTODESK (2017).



### Dica

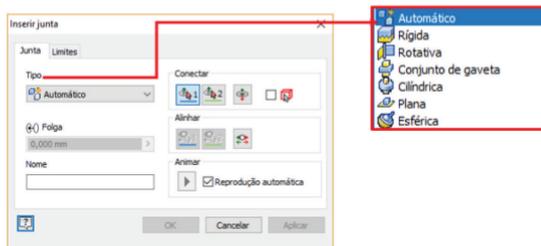
- **Modelo:** para escolher um novo modelo, selecionar no ícone (  ) para buscar todos os templates disponíveis para criação.
- **Localização do novo arquivo:** para alterar a localização do novo arquivo, clique no ícone (  ) para definir um novo caminho.

A montagem pode acontecer de duas formas, utilizando o comando junta e/ou restringir:



JUNTA (  ): comando utilizado para realizar a junção de componentes com o objetivo de gerar os graus de liberdade para que os componentes se comportem como um conjunto físico real. Pode-se inserir juntas de forma: automática, rígida, rotativa, conjunto de gaveta, cilíndrica, plana e esférica, como mostra a Figura 2.14.

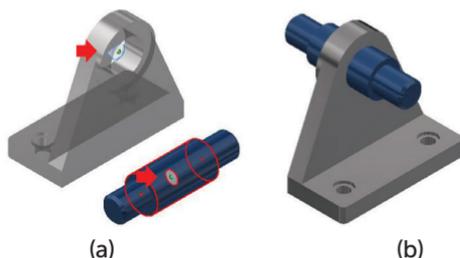
Figura 2.14 | Tipos de junta



Fonte: elaborada pela autora.

A conexão dos componentes é realizada por pontos de conexão representados por esferas verdes (Figura 2.15a). A conexão é então realizada pelos pontos escolhidos (Figura 2.15b).

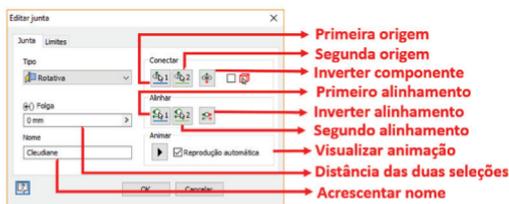
Figura 2.15 | Montagem utilizando junta



Fonte: elaborada pela autora.

Para qualquer tipo de junta, os comandos da caixa de diálogo são os mesmos, como mostra a Figura 2.16.

Figura 2.16 | Comando: junta



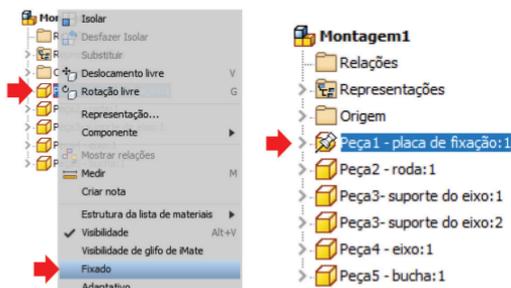
Fonte: elaborada pela autora



Assimile

Para fixar uma peça, ou seja, não permitir que ela se movimente na área gráfica, clique com o botão direito do mouse no componente e selecione a opção fixado (Figura 2.17a). Depois disso, verifique na barra de histórico se aparece um alfinete no nome do componente indicando que está fixo (Figura 2.17b).

Figura 2.17 | Fixando um componente

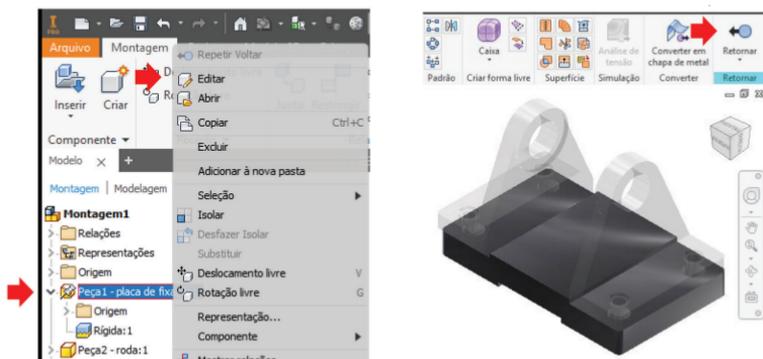


Fonte: elaborada pela autora.

**ATENÇÃO:** a ordem que aparece no histórico do modelo é a ordem de como foram inseridas as peças no ambiente de montagem, o número depois do nome é a quantidade de componentes iguais e caso deseje repetir um componente que está no ambiente de montagem, pode selecioná-lo, copiar e colar.

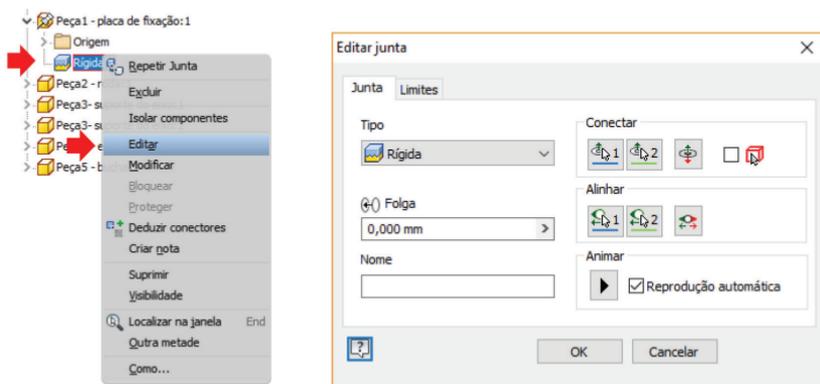
Ao lado de cada componente no histórico aparece qual tipo de junta foi utilizada para a montagem, ou qual tipo de restrição. Para editar um componente (Figura 2.18), clique com o botão direito do mouse no histórico do modelo no nome do componente e selecione editar, a aba de esboço 2D será aberta, permitindo alterar a peça. Depois, selecione em retornar para voltar ao ambiente de montagem. Para editar a montagem (Figura 2.19), a única diferença é que você deverá clicar no nome da junta ou da restrição e selecionar editar; assim, a caixa de diálogo reabrirá, permitindo ajustes. Ao finalizar clique em OK para voltar ao ambiente de montagem.

Figura 2.18 | Editando o componente



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.19 | Editando a montagem



Fonte: elaborada pela autora.

## Pesquise mais

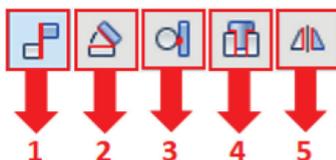
Para saber mais, assista ao vídeo:

INVENTOR 2017 [COMANDO JUNTA MATERIAIS E APARÊNCIA]. Ateliê da Computação Gráfica. Youtube. 26 abr. 2017. 4m42s. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=g2\\_dG8-2J-8&t=124s](https://www.youtube.com/watch?v=g2_dG8-2J-8&t=124s)>. Acesso em: 5 dez. 2017.



RESTRINGIR (  ): comando utilizado para aplicar restrições de montagem entre os componentes. Os tipos de restrição são: coincidência (1), ângulo (2), tangente (3), inserir (4) e simetria (5), como mostra a Figura 2.20.

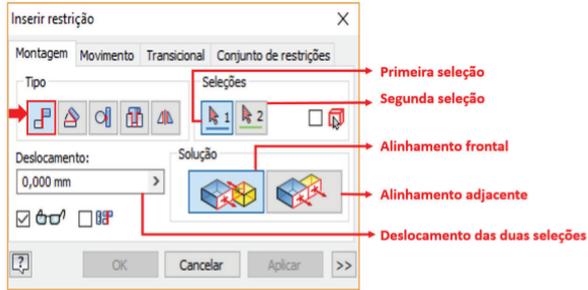
Figura 2.20 | Tipos de restrição



Fonte: AUTODESK (2017).

**1. COINCIDÊNCIA:** posiciona os componentes face a face, ou um adjacente à face do outro, por meio dos comandos apresentados na Figura 2.21.

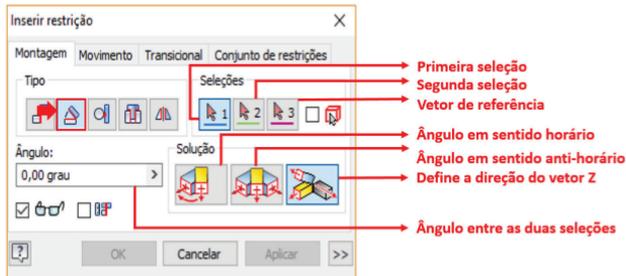
Figura 2.21 | Comando: coincidência



Fonte: AUTODESK (2017).

**2. ÂNGULO:** posiciona os componentes em ângulo em relação a uma aresta ou uma face, por meio dos comandos mostrados na Figura 2.22.

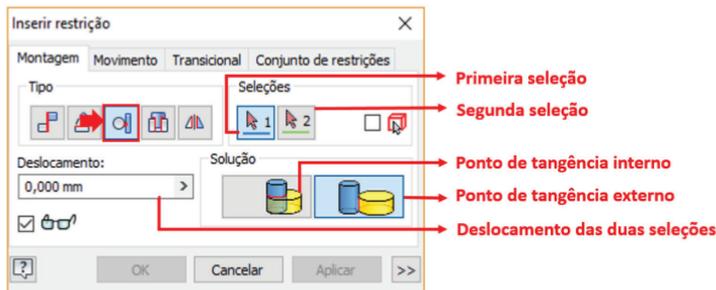
Figura 2.22 | Comando: Ângulo



Fonte: AUTODESK (2017).

**3. TANGENTE:** posiciona os componentes com restrição de tangência entre faces, planos, esferas, cilindros e ângulos, por meio dos comandos apresentados na Figura 2.23.

Figura 2.23 | Comando: tangente



Fonte: AUTODESK (2017).

4. **INSERIR**: posiciona um componente dentro de outro, por meio dos comandos apresentados na Figura 2.24.

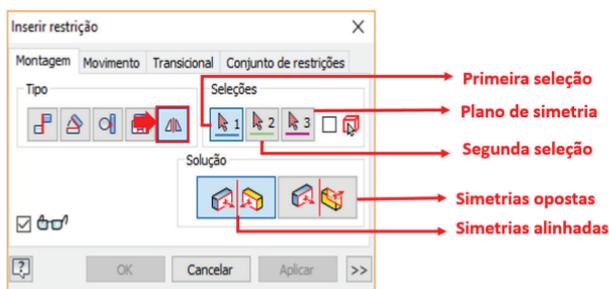
Figura 2.24 | Comando: Inserir



Fonte: AUTODESK (2017).

5. **SIMETRIA**: posiciona os componentes face a face, ou um adjacente à face do outro, por meio dos comandos apresentados na Figura 2.25.

Figura 2.25 | Comando: Simetria



Fonte: AUTODESK (2017).



Um vídeo mostrando a montagem utilizando o método da restrição:

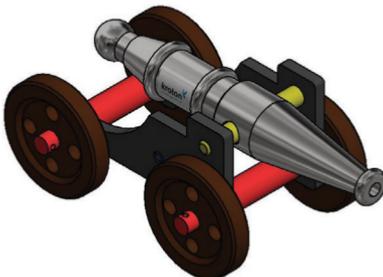
AUTODESK INVENTOR – MONTAGEM – AULA 01: MÉTODO DAS RESTRIÇÕES. Emerson Junqueira. **Youtube**. 30 set. 2016. 15m39s. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=R\\_qBxb9srKg](https://www.youtube.com/watch?v=R_qBxb9srKg)>. Acesso em: 5 dez. 2017.

## Sem medo de errar

A empresa para a qual você trabalha vai participar da feira da mecânica de um grande evento do setor industrial que ocorre anualmente. Nesta oportunidade, a empresa estará em um *stand* demonstrando os seus projetos e aplicações. Você foi selecionado para representar a empresa no evento por sua chefia, pois ela reconheceu que você tem um grande potencial. Para preparar a apresentação, você precisará escolher um dos projetos desenvolvidos pela empresa para fazer um detalhamento. Porém, deve cumprir alguns requisitos, como número de cinco componentes no mínimo para que possa ser construída uma montagem. Contudo, lembre-se: esse desafio pode garantir melhores posições dentro da empresa, pois, certamente, você terá grande destaque e, diante disso, fique atento à escolha dos produtos. Além disso, lembre-se que projetos inovadores e com apelo à sustentabilidade estão sendo cada vez mais aceitos no mercado. Então, fica a dica!

O projeto desenvolvido como exemplo é da montagem de um canhão com 6 itens (Figura 2.26).

Figura 2.26 | Montagem do canhão

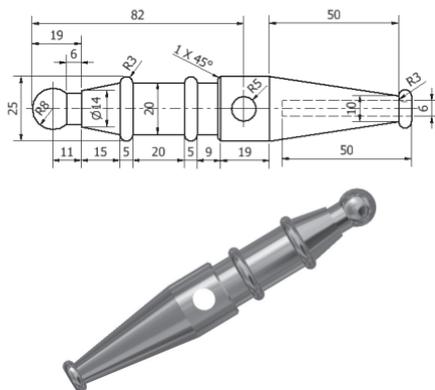


LISTA DE PEÇAS		
ITEM	QTD	NÚM. DE PEÇA
1	1	Peça 1 - canhão
2	2	Peça 2 - lateral
3	2	Peça 3 - eixo 1
4	1	Peça 4 - eixo 2
5	1	Peça 5 - pino
6	4	Peça 6 - roda

Fonte: adaptada de <<https://www.youtube.com/watch?v=Q5q0rjSebqc&t=60s>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

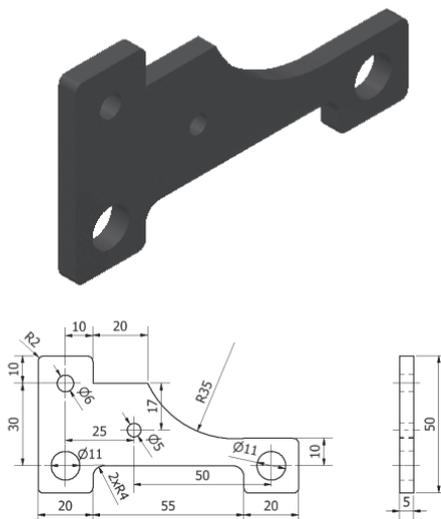
As figuras de 2.27 a 2.32 apresentam as vistas e perspectivas de cada peça a ser desenhada:

Figura 2.27 | Peça 1: Canhão



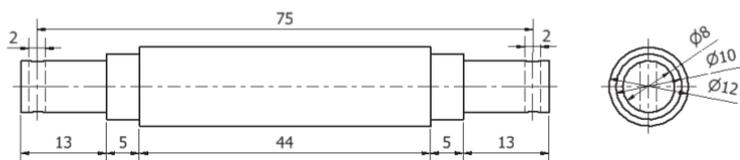
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.28 | Peça 2: Lateral



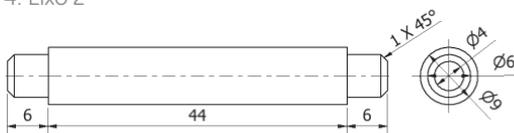
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.29 | Peça 3: Eixo 1



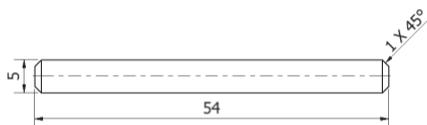
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.30 | Peça 4: Eixo 2



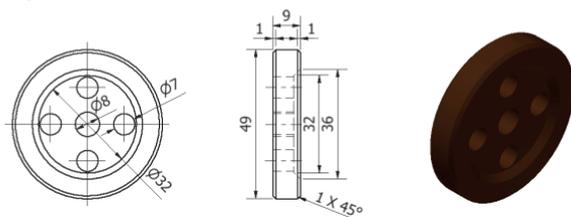
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.31 | Peça 5: Pino



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.32 | Peça 6: Roda



Fonte: elaborada pela autora.

## Pesquise mais

Caso tenha alguma dúvida de como desenhar as peças, acesse os links a seguir:

### 1. Canhão:

INVENTOR 2016 [AULA-03 PARTE-01]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube.** 20 jun. 2016. 6m06s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=kQaE2njUhKQ>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

### 2. Lateral:

INVENTOR 2017. [AULA-3 PARTE-06]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube.** 22 ago. 2016. 7m09s. Lateral. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=l1kKcnKNNKA>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

### 3. Eixo 1:

INVENTOR 2017 [AULA-03 PARTE-02]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube.** 4 jul. 2016. 8m36s. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=fdWv\\_X60DRs](https://www.youtube.com/watch?v=fdWv_X60DRs)>. Acesso em: 6 dez. 2017.

### 4. Eixo 2:

INVENTOR 2017 [AULA-03 PARTE-04]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube.** 19 jul. 2016. 3m48s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PdFind9JZpE>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

### 5. Pino:

INVENTOR 2017 [AULA-03 PARTE-03]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube.** 15 jul. 2016. 3m18s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=MTEO1jameMY>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

### 6. Roda:

INVENTOR 2017 [AULA-03 PARTE-05]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube.** 9 ago. 2016. 7m40s. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=zEkwhMRIm\\_s&t=39s](https://www.youtube.com/watch?v=zEkwhMRIm_s&t=39s)>. Acesso em: 6 dez. 2017.

Veja também o canhão desenhado em outros softwares, é possível fazer

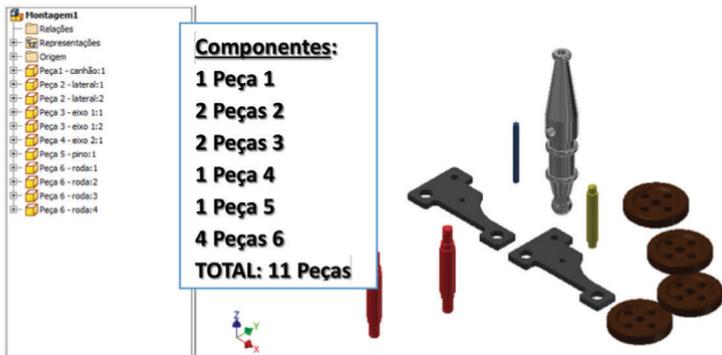
as mesmas coisas, utilizando as mesmas ferramentas:

TUTORIAL SOLIDWORKS – MINI CANHÃO PARTE 1. Draw N Play. Youtube. 30 jun. 2016. 6m09s.

Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PM6nrcjO4XM>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

Abra o ambiente de montagem (.iam) e insira todos os componentes na área gráfica (Figura 2.33).

Figura 2.33 | Componentes no ambiente de montagem



Fonte: elaborada pela autora.

Por fim, faça a montagem utilizando junta e/ou restringir, essa decisão fica por conta do projetista. Como sugestão, você pode seguir o passo a passo:

Passo 1: A Figura 2.34 apresenta o comando junta sendo utilizado para montagem da peça 1 (canhão) com a peça 4 (eixo 2).

Figura 2.34 | Uso do comando junta: automático

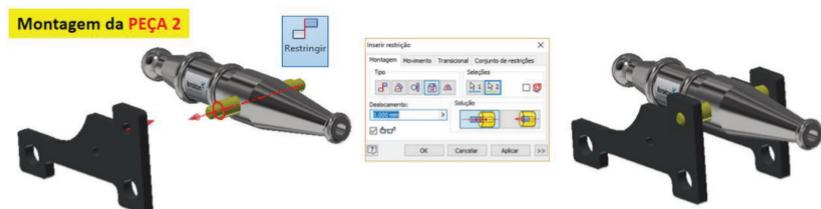




Fonte: elaborada pela autora.

Passo 2: A Figura 2.35 mostra o comando restringir sendo utilizado para montagem da peça 2 (lateral).

Figura 2.35 | Uso do comando restringir: inserir



Fonte: elaborada pela autora.

Passo 3: A Figura 2.36 apresenta o comando junta sendo utilizado para montagem da peça 5 (pino).

Figura 2.36 | Uso do comando junta: automático



Fonte: elaborada pela autora.

Passo 4: A Figura 2.37 mostra o comando restrição sendo utilizado para montagem da peça 3 (eixo 1).

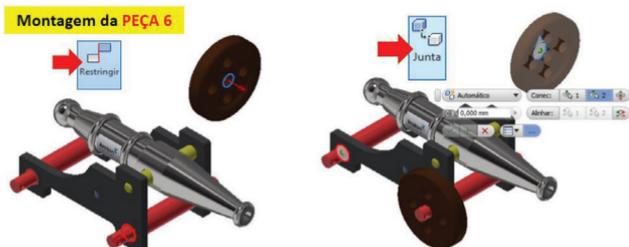
Figura 2.37 | Uso do comando restringir: inserir



Fonte: elaborada pela autora.

Passo 5: A Figura 2.38 apresenta a montagem da peça 6 (roda) utilizando o comando restringir e o comando junta.

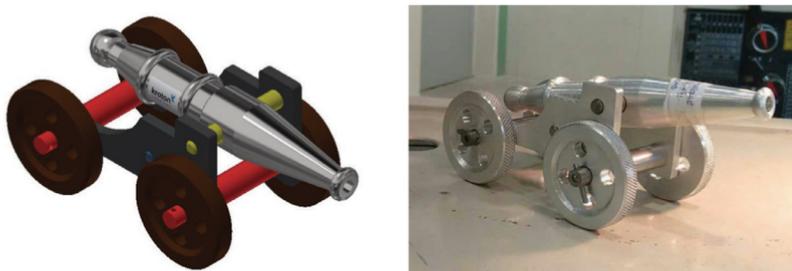
Figura 2.38 | Uso do comando restringir: inserir e junta: automático



Fonte: elaborada pela autora.

A resolução final da SP de montagem do canhão está representada na Figura 2.39. Além disso, uma demonstração do canhão fabricado.

Figura 2.39 | Montagem e fabricação do canhão



Fonte: elaborada pela autora.

ATENÇÃO: Gostaria de incentivar você a postar vídeos explicativos das peças e montagens na biblioteca do Inventor® e nas redes sociais.



Caso tenha alguma dúvida de como fazer a montagem do canhão, acesse os links:

Montagem do canhão. Parte 1:

INVENTOR 2017 [AULA 03 MONTAGEM]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube**. 21 set. 2016. 6m14s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=pOuTDcWaSI0>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

Montagem do canhão. Parte 2:

INVENTOR 2017 EM PORTUGUÊS [AULA 03-MONTAGEM-PARTE-02]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube**. 29 set. 2016. 4m42s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=t2EyRUoVMYI>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

Montagem do canhão no SolidWorks:

AUTODESK INVENTOR – PROJETO CANHÃO – MONTAGEM. Emerson Junqueira. **Youtube**. 6 out. 2016. 7m04s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=bKGQxZu0-gw>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

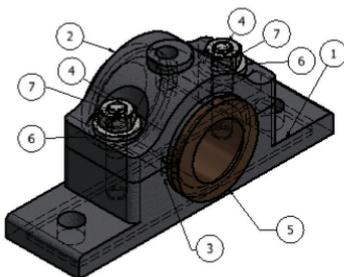
## Avançando na prática

### Montagem de um mancal

#### Descrição da situação-problema

Faça um projeto de montagem de um mancal com 7 itens, sendo 2 inseridos do centro de conteúdo, como mostra a Figura 2.40.

Figura 2.40 | Montagem do mancal

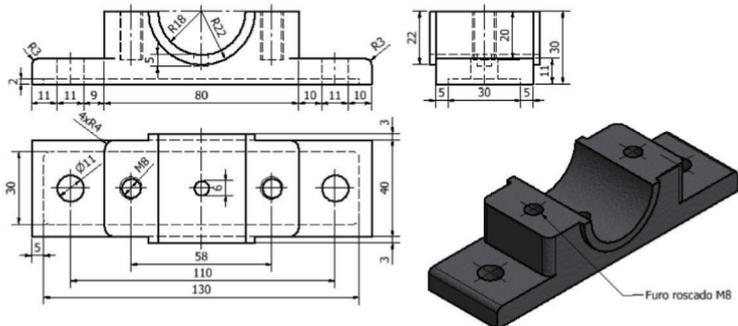


LISTA DE PEÇAS			
ITEM	QTD	NÚM. DE PEÇA	DESCRIÇÃO
1	1	Peça 1 - Base	
2	1	Peça 2 - Tampa	
3	1	Peça 3 - Pino de trava	
4	2	Peça 4 - Prisioneiro	
5	1	Peça 5 - Semibucha	
6	2	ANSI B18.22M - 8 N	Arruelas lisas métricas
7	2	AS 1112 - M8 Tipo 5	Porcas sextavadas métricas ISO, incluindo porcas finas, porcas castelo

Fonte: elaborada pela autora.

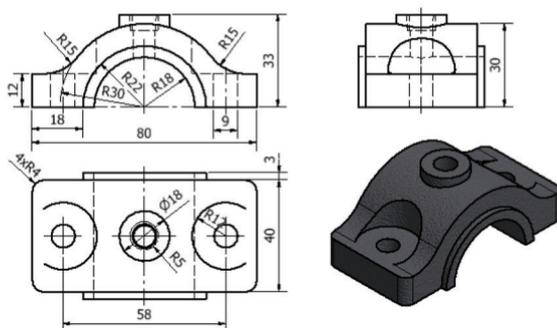
As figuras de 41 a 45 apresentam a projeção ortogonal e a perspectiva de cada peça a ser desenhada:

Figura 2.41 | Peça 1: Base de ferro fundido



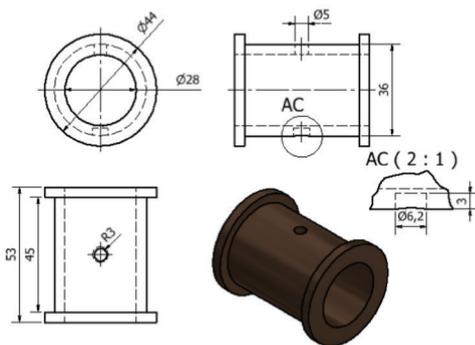
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.42 | Peça 2: Tampa de ferro fundido



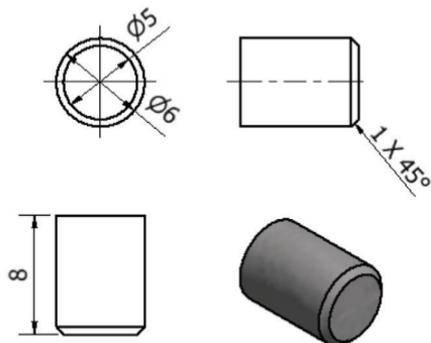
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.43 | Peça 3: Semibucha



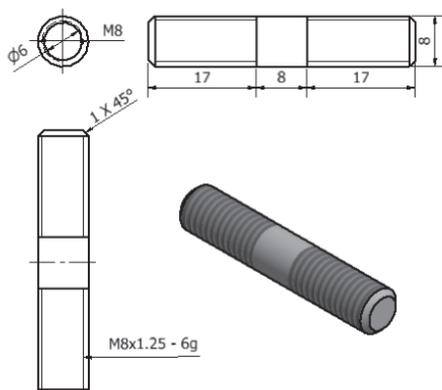
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.44 | Peça 4: Pino de trava



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.45 | Peça 5: Prisioneiro

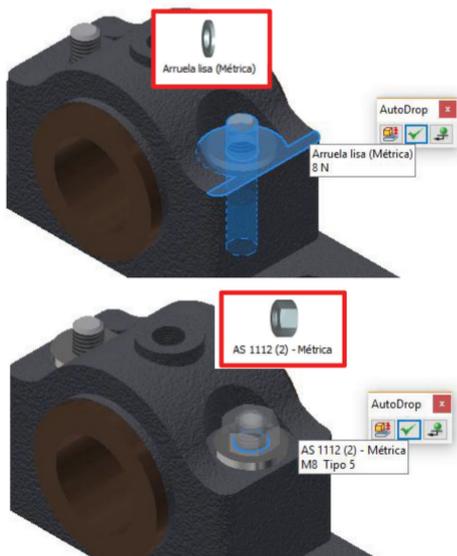


Fonte: elaborada pela autora.

## Resolução da situação-problema

Insira todos os componentes na área gráfica e depois faça a montagem utilizando junta ou restrição. Depois, insira os componentes do centro de conteúdo, sendo: 2 arruelas comuns lisas (métrica) com designação 8N e 2 porcas sextavadas código AS 1112 (2) métrica M8 tipo 5, como mostra a Figura 2.46.

Figura 2.46 | Inserção do centro de conteúdo



Fonte: elaborada pela autora.

A resolução final da SP de montagem do mancal está representada na Figura 2.47.

Figura 2.47 | Resolução da SP



Fonte: elaborada pela autora.

## Faça valer a pena

**1.** O primeiro passo para desenvolver uma montagem é inserir os componentes, contudo existem várias formas de inserir componentes em uma montagem.

Complete as lacunas de forma correta:

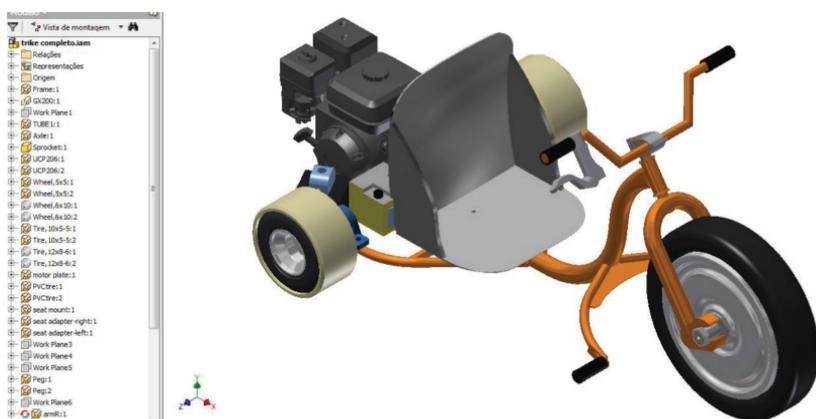
Ao inserir os componentes do \_\_\_\_\_, uma biblioteca fica disponível para o usuário, com uma pasta de componentes normalizados. A criação de uma pasta no comando \_\_\_\_\_ evita a pesquisa de componentes, facilitando e agilizando a busca de componentes de uso \_\_\_\_\_.

Marque a alternativa CORRETA:

- a) centro de montagem - ferramentas - comum.
- b) centro de conteúdo - favoritos - regular.
- c) centro de peças - inserir - frequente.
- d) componentes do iLogic - atualizar - constante.
- e) *catalog browser* - filtro - irregular.

**2.** A Figura 2.48 apresenta um dispositivo mecânico que está sendo modelado antes de fabricado para atuar em um esporte radical destinado a manobras de derrapagem. O *trike* é uma solução híbrida entre carrinhos de rolimã e bicicleta.

Figura 2.48 | Projeto virtual do Trike



Fonte: elaborada pela autora.

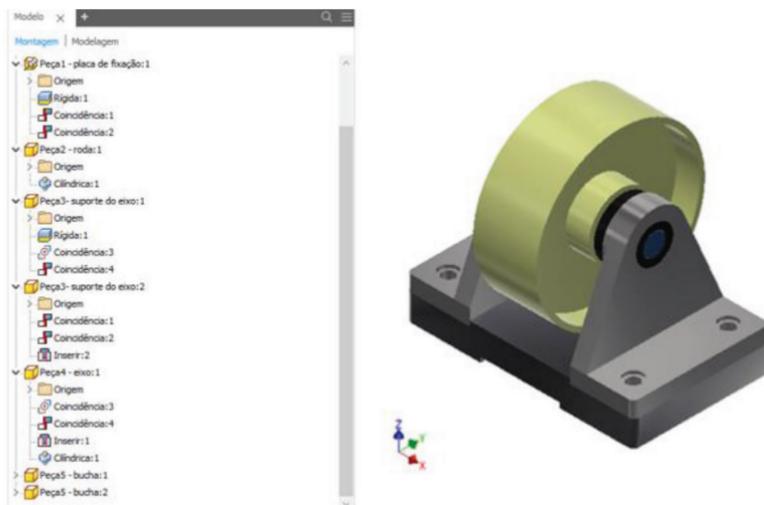
- Analise a imagem e marque V para verdadeiro e F para falso:
- ( ) Pode-se afirmar que o modelo representa uma montagem.
  - ( ) A montagem apresenta pelo menos dez componentes.
  - ( ) É necessária a utilização do comando junta e/ou restrição.
  - ( ) Um subconjunto foi utilizado na montagem.

Marque a sequência CORRETA do verdadeiro ou falso de cima para baixo:

- a) F – F – V – F.
- b) V – V – F – V.
- c) F – F – F – F.
- d) V – V – V – F.
- e) V – F – F – V.

**3.** Um aluno do curso de engenharia realizou a montagem de um rolete no Autodesk Inventor® conforme solicitação do professor da disciplina de Desenho Técnico Mecânico, como mostra a Figura 2.49.

Figura 2.49 | Montagem de um rolete



Fonte: elaborada pela autora.

Faça uma comparação dos dados apresentados na tela do *software* (Figura 2.48) e analise as afirmações:

- I. Para a montagem do rolete foi necessário desenhar 5 itens.
- II. Pela análise do histórico de modelos é possível afirmar que a montagem possui mais de um componente fixo.
- III. A montagem utilizou componentes da biblioteca do Autodesk Inventor®.

IV. A montagem do rolete pode ser usada como subconjunto para outra montagem.

Agora assinale a alternativa que apresenta a resposta CORRETA:

- a) I, apenas.
- b) II, apenas.
- c) I e IV, apenas.
- d) II e III, apenas.
- e) II, III e IV, apenas

## Seção 2.2

### Vista explodida e renderização

#### Diálogo aberto

Querido aluno, um projetista deve primar ao máximo pela apresentação do seu projeto ao cliente. Dessa forma, criar imagens fotorrealistas, ou seja, com alto padrão de qualidade, e mostrar a vista explodida da montagem ao cliente trazem clareza e segurança para ambas as partes na aprovação de um projeto, uma vez que, sem sombra de dúvidas, exibir imagens realistas e animações, antes de criar protótipos físicos, ajuda a entender melhor o funcionamento do produto.

Na seção anterior, você aprendeu sobre montagem de projetos e esse conteúdo vai ser muito útil para esta seção, pois iremos criar imagens realistas de conjuntos e somente é possível criar vista explodida de montagens. Nesta seção, iremos mostrar como conseguir excelentes resoluções para imagens, ou seja, como fazer a renderização de um componente ou de uma montagem. Essas imagens são utilizadas para a criação de: catálogos, pôsteres/*banners*, *folders*, entre outras formas de divulgação gráfica. Trataremos ainda sobre a criação de vista explodida, ferramenta importante para demonstrar a sequência de montagem dos componentes inseridos no projeto, facilitando a verificação do número de componentes usados na montagem e, ainda, o estudo de seu interior. Além disso, veremos que a vista explodida do projeto pode ser animada e salva em formato de vídeo para apresentações futuras.

Vamos voltar à situação apresentada no Convite ao estudo? A empresa para a qual você trabalha vai participar da feira da mecânica de um grande evento do setor industrial que ocorre anualmente. O evento reúne tecnologia, produtos e serviços, oportunidade para atualização técnica e realização de negócios entre executivos. Nesta oportunidade, a empresa estará em um *stand* demonstrando os seus projetos e aplicações. Você foi selecionado para representar a empresa no evento, pois ela reconheceu que você tem um grande potencial. O que você acha que é importante estar nessa

apresentação? Bem, para preparar a apresentação, você precisará escolher um dos projetos desenvolvidos pela empresa para detalhar, desenvolver imagens renderizadas do projeto, animações em vista explodida e a demonstração das análises de engenharia que foram realizadas. Nesta seção, você deve criar a vista explodida para melhor apresentação dos componentes e a renderização de forma a criar imagens de alta qualidade. Na apresentação acrescentar também um vídeo com a gravação da animação para causar mais impacto.

Explore bem essas ferramentas, para que possa impressionar e conquistar mais facilmente o seu cliente!

## Não pode faltar

**RENDERIZAÇÃO:** a imagem renderizada se assemelha a uma imagem realista, como mostra a Figura 2.49, cujo principal objetivo é trazer realismo ao projeto em sua forma de apresentação virtual.

Figura 2.49 | Renderização de rolamento industrial



Fonte: Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/pad-tilt-rolamento-industrial-2260762/>>. Acesso em: 7 dez. 2017.



## Vocabulário

Renderizar é o processo pelo qual se obtém o produto final de um processamento digital em formato de imagem ou vídeo.

Para criar uma imagem renderizada, antes mesmo de entrar no ambiente de renderização, é necessário abrir um componente (.ipt)

ou uma montagem (.iam). Em seguida, selecione a aba ambientes e, por fim, clique no ícone Inventor Studio (Figura 2.50). Assim, a aba renderizar será carregada, como mostra a Figura 2.51.

Figura 2.50 | Aba: Ambientes



Fonte: AUTODESK (2017).

Figura 2.51 | Aba: Renderizar



Fonte: elaborada pela autora.



## Refleta

Os passos utilizados para renderizar um componente ou uma montagem são os mesmos?

Os passos para renderizar um componente ou uma montagem são os mesmos, porém, a única coisa que altera é o tempo de execução: a montagem demanda mais tempo que um componente. Contudo, antes de começar a renderização, é necessário estar atento a duas recomendações:

1º: Configure o acabamento da peça, pois para a renderização o acabamento faz toda a diferença.

2º: Escolha a visão que você quer ter da imagem, ou seja, se você quer renderizar uma vista ou uma perspectiva.



## Exemplificando

Verifique se você entendeu as recomendações:

- Acabamento: a Figura 2.52(a) apresenta a renderização de uma peça em aço polido e a Figura 2.52(b) apresenta o mesmo componente

renderizado em aço fundido utilizando os mesmos parâmetros. Pode-se perceber que o acabamento polido traz mais brilho à peça.

Figura 2.52 | Componente renderizado com acabamentos diferentes



Fonte: elaborada pela autora.

- Visão: a renderização é como uma foto que você bate da tela; logo, você deve enquadrar a imagem. A Figura 2.53 apresenta a renderização da peça utilizando a vista frontal.

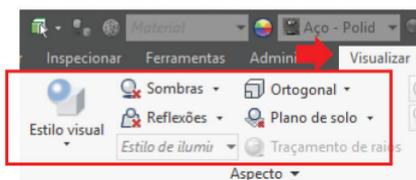
2.53 | Componente renderizado em vista frontal



Fonte: elaborada pela autora.

Além de gerar imagens com efeito realista, você também pode gerar imagens com efeito ilustrativo, isso depende da sua aplicação. Na aba visualizar (Figura 2.54) é possível gerar aspectos como: estilo visual, sombra, reflexões, plano de solo, vista ortogonal ou perspectiva. Como exemplo, a Figura 2.55 (a) apresenta uma peça em perspectiva utilizando estilo (realista), sombras (projetadas, de objeto e de ambiente), reflexões e planos de solo e sua renderização.

Figura 2.54 | Componente renderizado em vista frontal



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.55 | Componente renderizado na vista frontal



Fonte: elaborada pela autora.

Quanto ao estilo visual, vários formatos estão disponíveis (Figura 2.56), e são importados na renderização, ou seja, você pode criar uma renderização de uma ilustração, por exemplo.

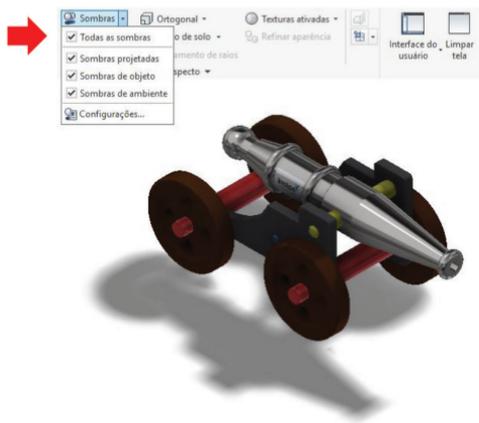
Figura 2.56 | Aspecto: Estilo visual



Fonte: elaborada pela autora.

As sombras proporcionam o efeito visual mais aprimorado e o tornam mais consistente ao estilo virtual realista. A Figura 2.57 apresenta uma montagem utilizando todos os efeitos de sombra.

Figura 2.57 | Aspecto: Sombras



Fonte: elaborada pela autora.



### Pesquise mais

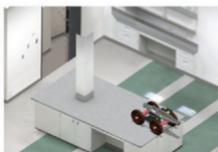
Acesse o *link* que mostra como configurar os estilos: AUTODESK INVENTOR 2016 – CAD RENDERING AND VISUALISATION TOOLS. Cadpointdirect. **Youtube**. 1 maio 2013. 1m24s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=S9CoeLan1ro>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

Ainda na aba visualizar aspecto é possível carregar o ambiente de iluminação baseado em imagens, ou seja, as imagens escolhidas em estilo de iluminação (  ) aparecem em segundo plano, como mostra a Figura 2.58.

Figura 2.58 | Aspecto: Estilo de iluminação



Estrada campestre



Laboratório vazio



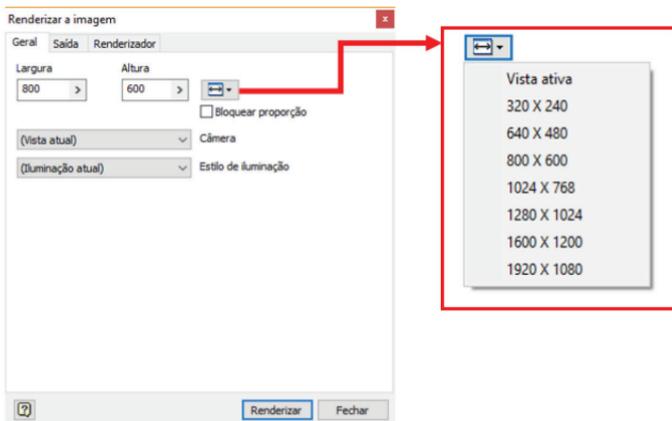
Pátio de Stuttgart

Fonte: elaborada pela autora.

Voltando ao ambiente de renderização (ambientes>Inventor Studio), ao clicar no ícone renderizar imagem (  ), uma janela é aberta, na qual é possível configurar o tamanho da imagem que será

gerada como mostra a Figura 2.59. Além disso, é possível configurar a câmera e os estilos de iluminação ou deixar os padrões do programa. Clicando no botão renderizar, uma janela denominada saída é aberta, na qual você pode acompanhar o tempo de renderização (Figura 2.60).

Figura 2.59 | Renderizar imagem



Fonte: elaborada pela autora.

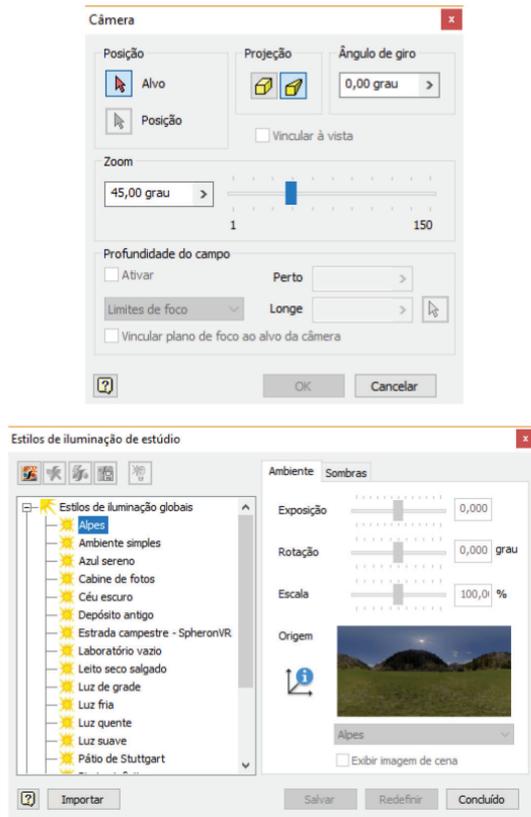
Figura 2.60 | Imagem sendo renderizada



Fonte: elaborada pela autora.

Existe a possibilidade de configurar a câmera (  Câmera ): posicionar novas câmeras (Figura 2.61a) e os estilos de iluminação (  Estilos de iluminação de estúdio ): simula que você está fotografando em um estúdio, possibilitando criar efeitos nas imagens (Figura 2.61b).

Figura 2.61 | Configurar: (a) câmera; (b) estilo de iluminação de estúdio



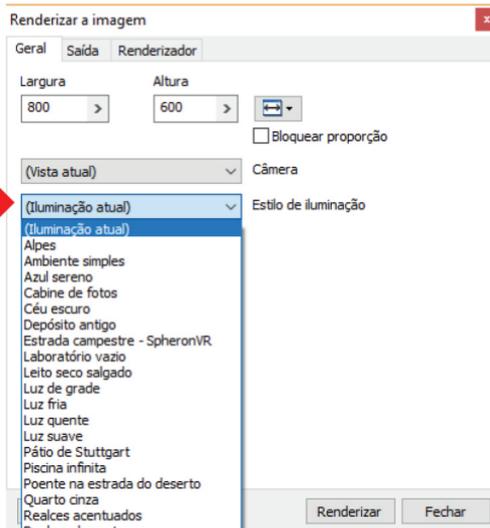
Fonte: AUTODESK (2017).



## Assimile

- Não é possível falar em fotografia sem falar em luz. Podemos fazer uma comparação de uma fotografia com uma imagem renderizada. Você pode usar os tipos de iluminação disponíveis, ou até mesmo fazer ajuste de ambientes e sombra, como mostra a Figura 2.61(b). Quando você for renderizar a imagem, é possível escolher um dos padrões disponíveis do programa ou salvo por você, conforme Figura 2.62.

Figura 2.62 | Configurar estilo de iluminação na renderização

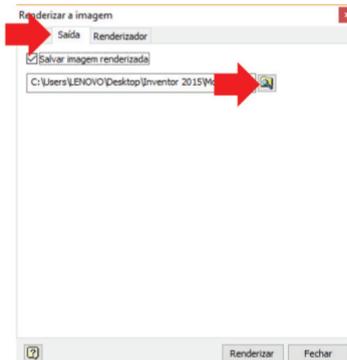


Fonte: AUTODESK (2017).

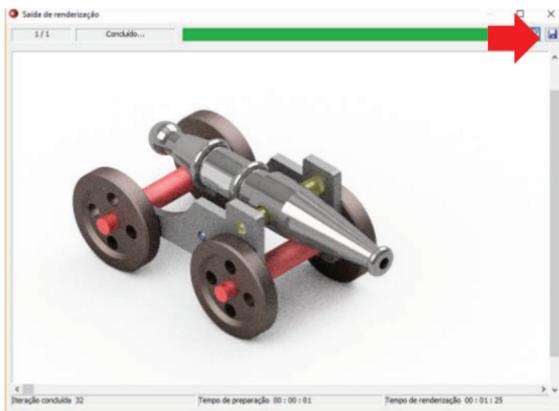


- Ao clicar no ícone Visualizar última (  ), o programa exibe a última imagem renderizada na sessão atual.
- Para salvar uma imagem renderizada, existem duas formas, ou você já designa na saída em qual pasta quer que a imagem seja salva, selecionando o seu destino (Figura 2.63a), ou, assim que a imagem estiver renderizada, clica no ícone no canto superior direito (Figura 2.63b).

Figura 2.63 | Configurar saída



(a)

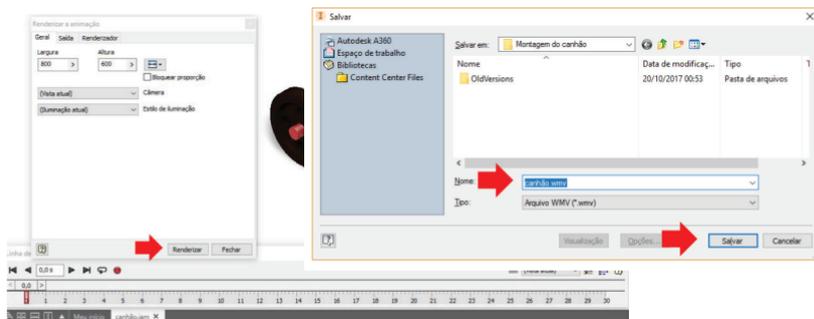


Fonte: elaborada pela autora.



Ao clicar em Renderizar animação (  ) a área gráfica apresenta um ambiente que permite gravar um vídeo (.wvm) do componente ou montagem sendo renderizada. Contudo, você deve escolher o local da gravação, como ilustra a Figura 2.64.

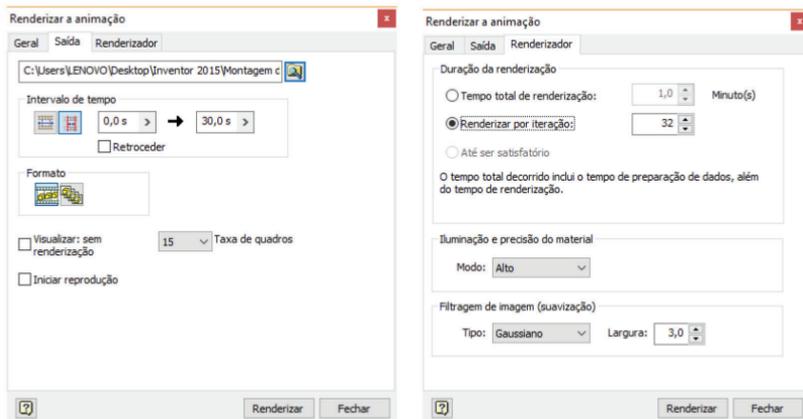
Figura 2.64 | Renderizar animação



Fonte: Elaborada pela autora.

Você também pode configurar em qual pasta o vídeo vai ser salvo, o intervalo de tempo e o formato de vídeo, na aba saída (Figura 2.65a). Também pode definir a duração de tempo de renderização em minutos ou de iterações, iluminação e filtragem de imagem na aba renderizador (Figura 2.65b).

Figura 2.65 | Configurar: Renderizar animação



(a)

(b)

Fonte: elaborada pela autora.



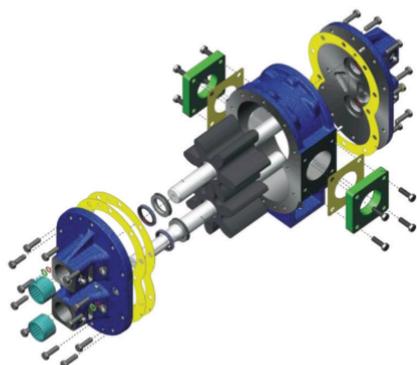
Pesquise mais

Acesse o link que mostra como fazer a renderização de uma peça:

287 AUTODESK INVENTOR RENDER. Francisco A. de A. **Youtube**. 19 set. 2016. 6m19s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=1pFTI2629T4>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

VISTA EXPLODIDA: é um desenho técnico que mostra uma sequência de montagem ou desmontagem de diversas peças de um conjunto. A composição do objeto se apresenta de forma como se tivesse ocorrido uma pequena “explosão” e as suas partes estejam separadas por uma distância de seus locais originais, como mostra a Figura 2.66. O principal objetivo deste tipo de vista explodida é de que o usuário consiga ver todos os componentes, inclusive os montados internamente, além de mostrar como eles se encaixam. Como norma, os componentes representados deverão ser dispostos segundo a ordem de montagem. Usualmente, a projeção de uma vista explodida é apresentada de cima e ligeiramente na diagonal, partindo do lado esquerdo ou direito do desenho.

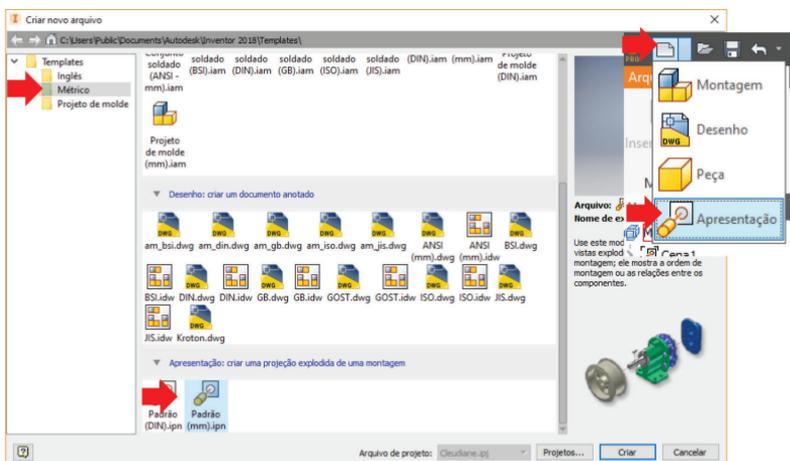
Figura 2.66 | Explosão de componentes



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ANapco\\_Rotary\\_Gear\\_Pump.gif](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ANapco_Rotary_Gear_Pump.gif)>. Acesso em: 30 out. 2017.

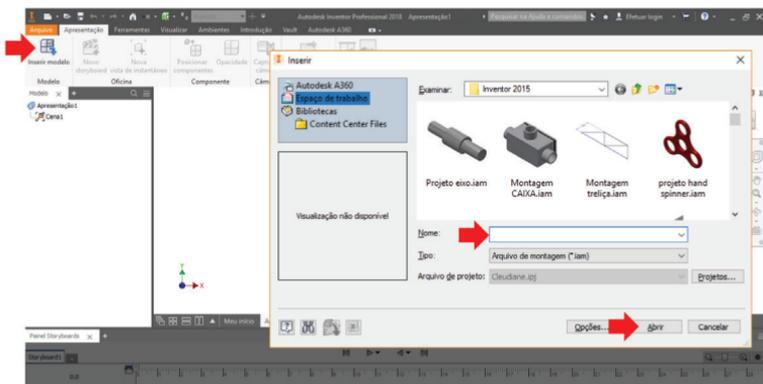
Depois da montagem pronta no ambiente de montagem (.iam) é necessário criar uma nova apresentação usando o padrão mm (.ipn), como mostra a Figura 2.67. A aba de apresentação é então carregada. Clique em inserir modelo e uma janela será aberta para você chamar a montagem, selecionando o arquivo e mandando abrir (Figura 2.68). Assim, a aba de apresentação será carregada, com a montagem do arquivo a partir do qual você deseja desenvolver a vista explodida (Figura 2.69).

Figura 2.67 | Nova apresentação



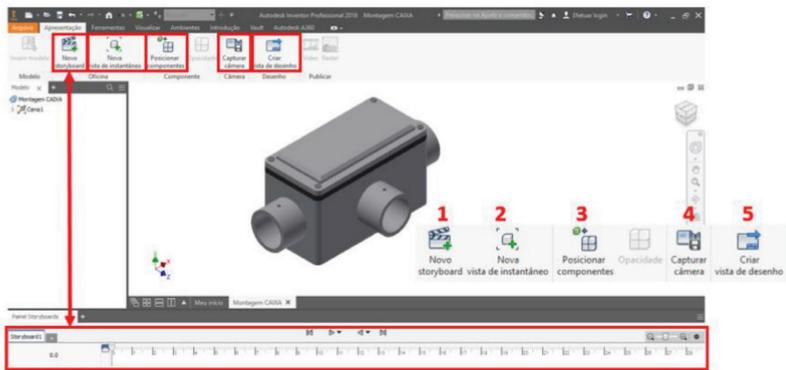
Fonte: AUTODESK (2017).

Figura 2.68 | Inserir montagem



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.69 | Aba: Apresentação



Fonte: elaborada pela autora.

Explicando as numerações da aba de apresentação (Figura 2.69):

**1 – Novo *Storyboard*:** apresenta histórico de animação. Caso clique em novo, você pode limpar para reiniciar ou começar a partir do fim do anterior herdando posições de componentes.

**2 – Nova vista de instantâneo:** salva o estado atual do modelo e da câmera como um modelo instantâneo, permitindo criar uma vista de instantâneo para um *storyboard* ou independente.

**3 – Posicionar componentes:** move ou rotaciona os componentes selecionados.

**4 – Capturar câmera:** captura posições para a animação, ou seja, permite salvar a posição atual da câmera.

**5 – Criar vista de desenho:** criar a folha de desenho com base em uma vista de instantâneo armazenada.

O posicionamento dos componentes (  ) é realizado de forma manual, para isso você deve seguir uma ordem (Figura 2.70), sendo:

1° PASSO: selecionar componente, ou seja, clicar no componente que fica em azul. Para selecionar mais de um componente, mantenha a tecla Ctrl ativada;

2° PASSO: selecionar o sentido a partir dos eixos (X,Y,Z) de deslocamento. Quando selecionado fica em laranja e escreve valor referente à distância. Se a direção for contrária à do movimento, digitar menos antes do número para que inverta a direção;

Figura 2.70 | Passos para criar vista explodida



Fonte: elaborada pela autora.

3° PASSO: clicar em OK no menu flutuante ou ENTER para finalizar o deslocamento, conforme Figura 2.71.

Figura 2.71 | Passos para finalizar a criação da vista explodida



Fonte: elaborada pela autora.



O menu flutuante permite algumas configurações importantes. Você pode mover (translação) ou girar (rotação), pode escolher um componente ou uma peça, definir a duração de tempo em segundos para a animação, acrescentar ou retirar rastro, ou seja, linha da peça ao deslocamento, dentre outros, como mostra a Figura 2.72.

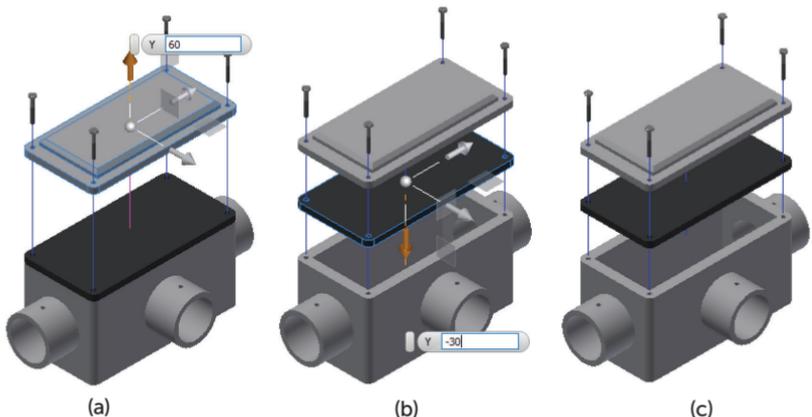
Figura 2.72 | Menu flutuante



Fonte: elaborada pela autora.

Os outros componentes seguem os mesmos três passos, neste caso: a tampa foi deslocada com 60 mm (Figura 2.73a), a borracha foi deslocada com 30 mm (Figura 2.73b) e a caixa ficou posicionada na origem (Figura 2.73c).

Figura 2.73 | Posicionar componente: (a) tampa; (b) borracha; (c) caixa

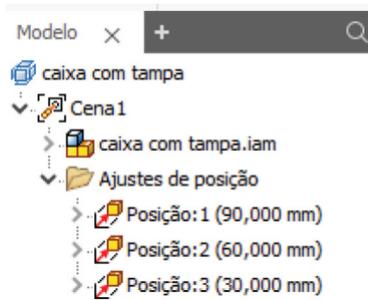


Fonte: elaborada pela autora.



Você pode editar a posição de qualquer um dos componentes clicando com o botão direito do mouse no histórico do modelo em editar posição (Figura 2.74).

Figura 2.74 | Editar posição

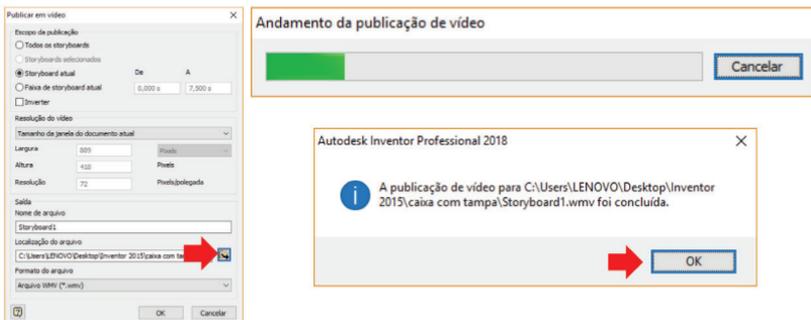


Fonte: elaborada pela autora.



Para gravar uma animação, clique no ícone Vídeo (  ) e selecione a pasta em que deseja que o vídeo (.wvm) seja salvo (Figura 2.75), é possível também configurar tamanho da tela, tempo, dentre outros. Ao clicar em OK, uma caixa de diálogo aparece demonstrando o andamento de publicação do vídeo e, ao finalizar, uma nova caixa informa o local em que foi concluído o salvamento.

Figura 2.75 | Passos para finalizar a criação da vista explodida



Fonte: elaborada pela autora.



Para assistir um vídeo explicativo de como criar uma apresentação, acesse o *link*. INVENTOR 2018 – BOMBA LÓBULOS – AULA 12. EzequielD CAD-INVENTOR. **Youtube**. 29 set. 2017. 22m20s. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=5jQSuvU\\_gLk](https://www.youtube.com/watch?v=5jQSuvU_gLk)>. Acesso em: 10 dez. 2017.

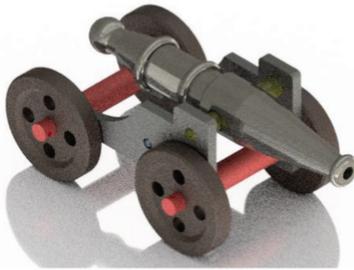
## Sem medo de errar

A empresa para a qual você trabalha vai participar da feira da mecânica de um grande evento do setor industrial que ocorre anualmente. Para preparar a apresentação, você precisará escolher um dos projetos desenvolvidos pela empresa para detalhar, desenvolver imagens renderizadas do projeto, animações em vista explodida e a demonstração das análises de engenharia que foram realizadas. Faça a vista explodida para melhor apresentação dos componentes e a renderização de forma a criar imagens de alta qualidade. Na apresentação acrescente também um vídeo com a gravação da animação para causar mais impacto. Explore bem essas ferramentas, para que possa impressionar e conquistar mais facilmente o seu cliente.

A partir da montagem realizada no Sem medo de errar da unidade anterior (Seção 2.1), faça a imagem renderizada do projeto e a vista explodida, pois a tarefa é uma continuação.

- Para a renderização do canhão, apresentada na Figura 2.76, foi configurado na aba visualizar (estilo: realista; sombras: todos os tipos e reflexões: todos os tipos) e na aba ambientes, no Inventor Studio, usou-se, para renderizar imagens, todos os dados *default* do programa. Após renderizada, a imagem (.jpeg) e um vídeo (.wmv) foram salvos para utilização posterior na feira de mecânica.

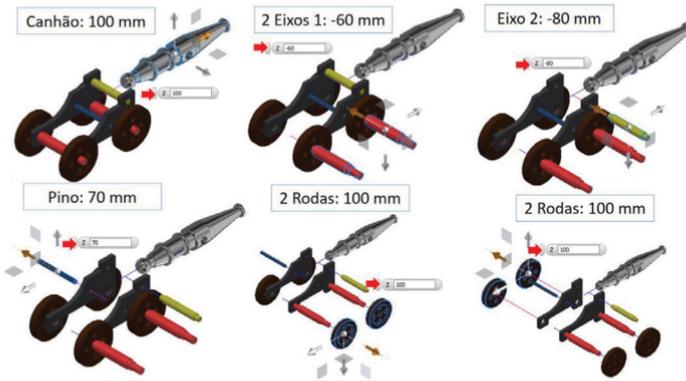
Figura 2.76 | Imagem renderizada do canhão



Fonte: elaborada pela autora.

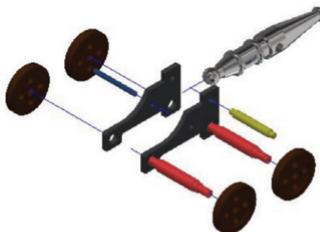
- Para a vista explodida do canhão, um passo a passo foi desenvolvido (Figura 2.77), e a Figura 2.78 mostra a vista explodida obtida ao final.

Figura 2.77 | Vista explodida do canhão



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.78 | Vista explodida final



Fonte: elaborada pela autora.



Os posicionamentos podem ser positivos ou negativos, dependendo da direção do eixo que foi solicitada. Por isso, você, como projetista, deve fazer o posicionamento com os valores mais apropriados.

Para finalizar, não esqueça de salvar a imagem (.ipn) e o vídeo (.wmv) como foi solicitado, para utilização posterior na feira de mecânica!

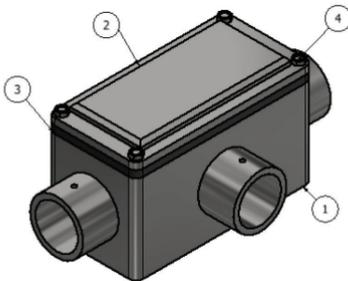
## Avançando na prática

### Projeto caixa com vedação

#### Descrição da situação-problema

Desenvolver a montagem de uma caixa e criar sua imagem renderizada e sua vista explodida, de forma a verificar todos os componentes. A caixa possui 7 componentes, conforme mostra a Figura 2.79, sendo que os parafusos sextavados (AS 1427 – M3 x 16) devem ser inseridos do centro de conteúdo do Inventor.

Figura 2.79 | Montagem da caixa com vedação

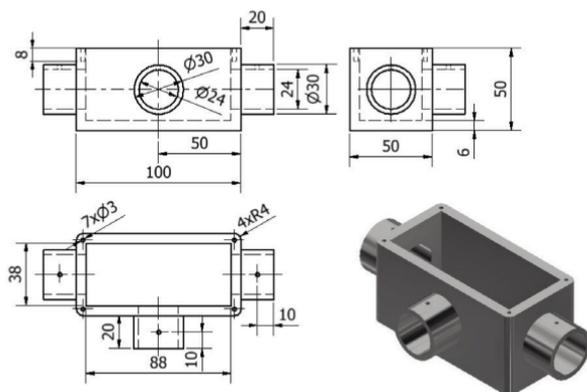


LISTA DE PEÇAS			
ITEM	QTD	NÚM. DE PEÇA	DESCRIÇÃO
1	1		Corpo
2	1		Tampa
3	1		Vedação
4	4	AS 1427 - M3 x 16	Parafuso de máquina métricos ISO

Fonte: elaborada pela autora.

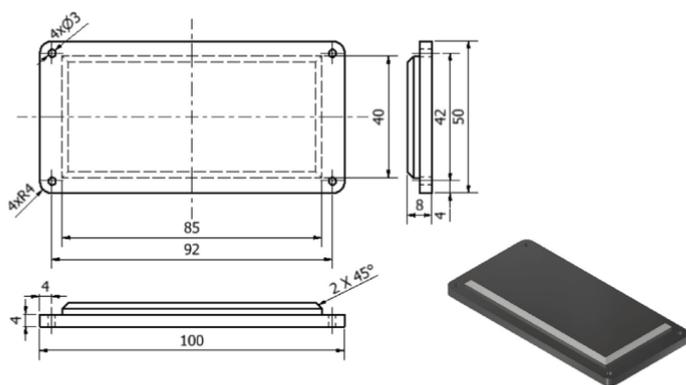
As figuras de 2.80 a 2.82 apresentam vistas e perspectivas de cada peça a ser desenhada:

Figura 2.80 | Peça 1: Corpo



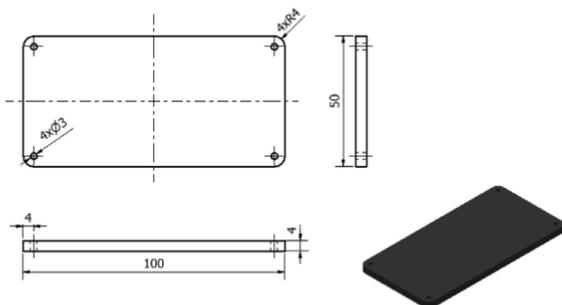
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.81 | Peça 2: Tampa



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.82 | Peça 3: Vedação

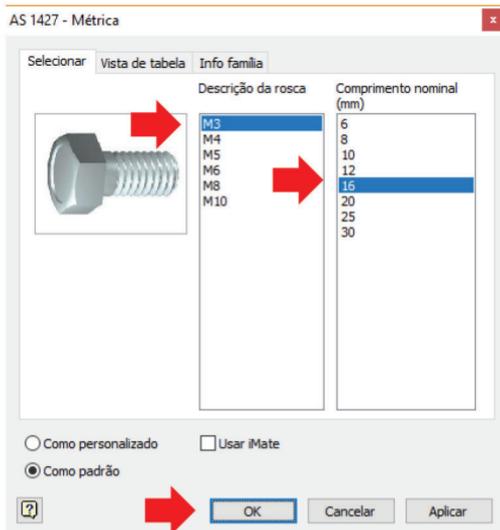
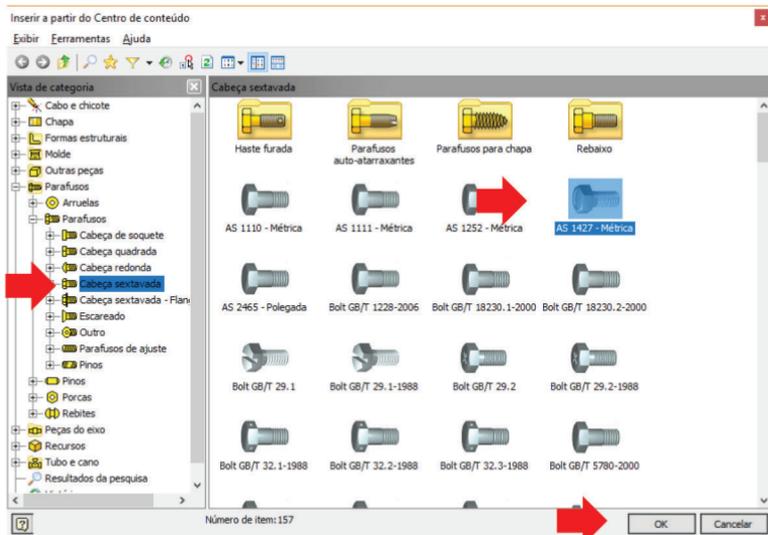


Fonte: elaborada pela autora.

## Resolução da situação-problema

Para a inserção dos parafusos do centro de conteúdo foi utilizado parafuso de cabeça sextavada (AS 1427) com rosca M3 e comprimento nominal de 16, como mostra a Figura 2.83.

Figura 2.83 | Inserção dos parafusos da biblioteca



Fonte: elaborada pela autora.

Para a renderização da caixa com vedação (Figura 2.84), foram alterados os materiais: caixa e tampa em aço polido e vedação em borracha, foi configurado também na aba visualizar (estilo: sombreado; sombras: sombras do ambiente e reflexões: todos os tipos) e na aba ambientes, em Inventor Studio, usou-se, para renderizar imagem, os dados *default* do programa.

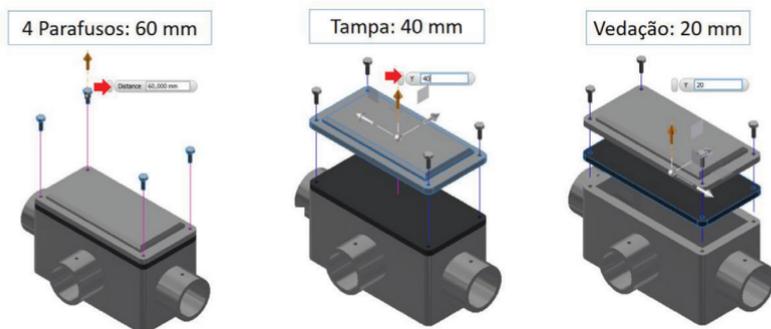
Figura 2.84 | Imagem renderizada da caixa de vedação



Fonte: elaborada pela autora.

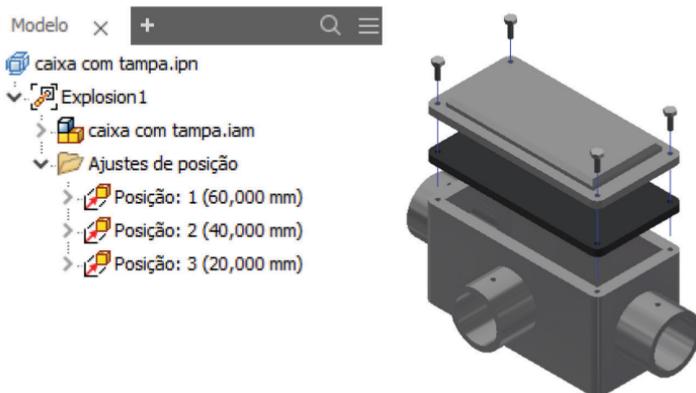
Para a vista explodida da caixa com vedação, os componentes foram posicionados a uma distância equidistante de 20 mm, conforme apresenta a Figura 2.85. Além disso, na Figura 2.86 é demonstrada a vista explodida final com o histórico do modelo.

Figura 2.85 | Vista explodida da caixa de vedação



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.86 | Vista explodida final

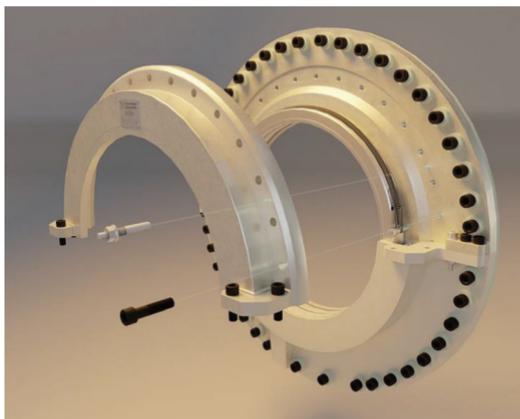


Fonte: elaborada pela autora.

## Faça valer a pena

**1.** Para apresentação do projeto ao cliente, uma empresa de desenvolvimento de projetos mecânicos realiza o processo de renderização e vista explodida em todos os seus produtos. Contudo, a equipe de projetos foi questionada, por não apresentar de forma adequada o projeto de vista explodida da montagem mecânica apresentada na Figura 2.87. Analise o projeto desenvolvido pela empresa e a causa do questionamento.

Figura 2.87 | Montagem mecânica



Fonte: <<https://pixabay.com/pt/hidro%C3%AAnio-selo-mec%C3%A2nico-industrial-2261067/>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

Marque a resposta que apresenta a causa do questionamento, completando a lacuna: "A equipe de projetos foi questionada quanto à vista explodida, pois o projeto não \_\_\_\_\_."

- a) mostra o rastro de todos os componentes.
- b) mostra todos os componentes em vista explodida.
- c) mostra a distância equidistante dos componentes.
- d) mostra uma imagem mais realista da montagem.
- e) mostra a explosão dos componentes.

**2.** Uma empresa que atua no mercado nacional é fabricante de juntas e componentes de vedação hidráulica. Os longos anos de atuação da empresa no mercado nacional trouxeram várias alterações no seu processo, hoje criam suas peças em *softwares* CAD antes do envio ao setor de manufatura para a sua fabricação. A Figura 2.88 apresenta a imagem de uma junta hidráulica patenteada pela empresa, desenvolvida e renderizada no SolidWorks®.

Figura 2.88 | Junta hidráulica



Fonte: <[https://www.flickr.com/photos/rob\\_stiff/5564040235/in/photostream/](https://www.flickr.com/photos/rob_stiff/5564040235/in/photostream/)>. Acesso em: 10 dez. 2017.

Marque V para verdadeiro e F para falso:

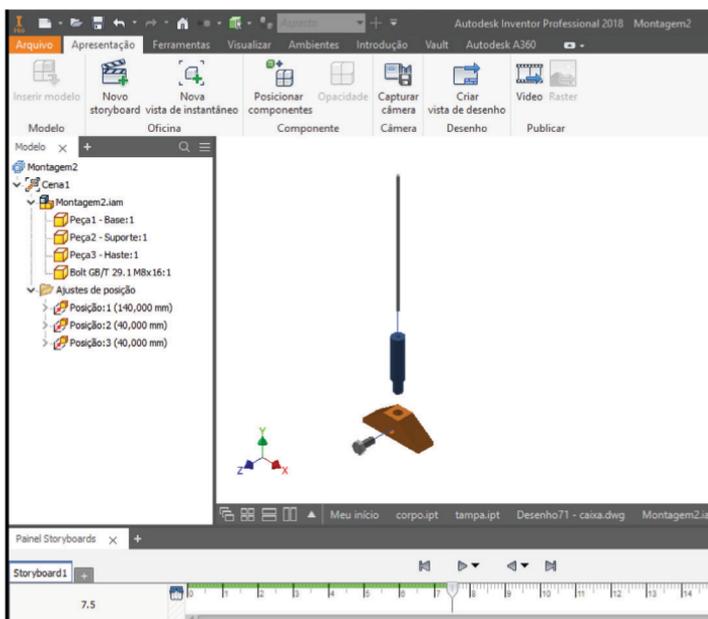
- ( ) A renderização é bastante utilizada para demonstração do produto de forma mais realista.
- ( ) A renderização é uma ferramenta focada somente no cliente.
- ( ) A renderização é um processo que só pode ser utilizado em ambiente virtual.
- ( ) A renderização é somente aplicada em projetos de engenharia.

Marque a sequência CORRETA do verdadeiro ou falso de cima para baixo.

- a) V – V – V – F.
- b) F – V – F – V.
- c) V – F – V – F.
- d) F – V – V – F.
- e) V – F – F – V.

**3.** A Figura 2.89 apresenta a vista explodida de uma montagem desenvolvida no Autodesk Inventor®.

Figura 2.89 | Vista explodida



Fonte: elaborada pela autora.

Analise as informações apresentadas na imagem:

- I. A apresentação (.iam) apresenta 4 componentes.
- II. A vista explodida utilizou componentes do centro de conteúdo do Autodesk Inventor®.
- III. A vista explodida apresenta distância equidistante entre os componentes.
- IV. A vista explodida contém uma sequência de animação.

Agora assinale a alternativa que apresenta a resposta CORRETA:

- a) I e II, apenas.
- b) II e III, apenas.
- c) I e IV, apenas.
- d) I e III, apenas.
- e) II e IV, apenas.

## Seção 2.3

### Análises de Engenharia Auxiliada por Computador (CAE)

#### Diálogo aberto

Prezado aluno, um engenheiro deve sempre validar o seu projeto, ou seja, verificar se realmente atende aos requisitos. No Desenho Técnico Mecânico a utilização do CAE (Engenharia Assistida por Computador) é uma ferramenta indispensável para esse fim, pois, antes da fabricação, os projetos passam por uma simulação de condições reais, para verificar se, depois de prontos, efetivamente suportam a carga determinada ou o ciclo de vida. Além disso, evitam, em muitos casos, a criação de protótipos que necessitariam de muitos componentes e elementos de máquinas.

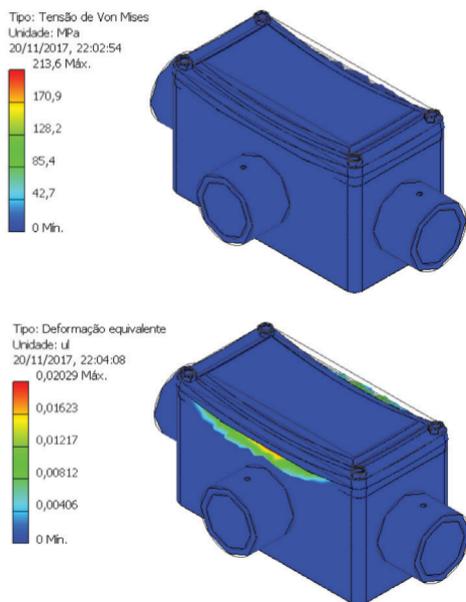
Na seção anterior, você aprendeu como renderizar componentes ou montagens, ou seja, criar imagens realistas com excelentes resoluções. Também aprendeu como salvar vídeos mostrando a imagem sendo renderizada. Estudou, ainda, como criar a vista explodida de uma montagem e como salvar a animação do passo a passo da vista explodida, demonstrando a sequência de montagem/desmontagem dos componentes inseridos no projeto.

Nesta seção, vamos estudar sobre projetos analisados utilizando Engenharia Assistida por Computador (CAE). Criar simulação para a análise de tensões através do CAE, atribuir material ao componente/montagem, atribuir restrições e cargas e, por fim, como criar melhorias e otimização de produtos utilizando as análises realizadas no CAE.

Vamos voltar à situação apresentada no Convite ao estudo? A empresa em que você trabalha vai participar da feira da mecânica de um grande evento do setor industrial que ocorre anualmente. Nesta oportunidade, a empresa estará em um *stand* demonstrando os seus projetos e aplicações. Você foi selecionado para representar a empresa no evento, pois ela reconheceu que você tem um grande potencial. Na apresentação, é importante demonstrar as análises de engenharia que foram realizadas antes de sua fabricação. Nesta fase,

é possível fazer uma análise estática de elementos finitos (CAE), para análise de tensão máxima – Von Mises (Figura 2.90a) e deformação (Figura 2.90b) utilizando o *software*? Você pode apresentar um relatório (formato Word), como mostra a Figura 2.91, com resultados e imagens, para que possam ser analisadas e discutidas melhorias para a otimização do projeto?

Figura 2.90 | Análise CAE: (a) tensão máxima; (b) deformação



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 2.91 | Relatório emitido pelo Autodesk Inventor®

### Relatório de análise de tensão



Arquivo analisado:	caixa com tampa.lam
Versão do Autodesk Inventor:	2015 (Build 190159006, 159)
Data de criação:	16/08/2017, 19:10
Autor da simulação:	LENOVO
Resumo:	Projeto desenvolvido na disciplina de Desenho Técnico Mecânico.

#### Informações de projeto (iProperties)

##### Resumo

Autor | LENOVO

##### Projeto

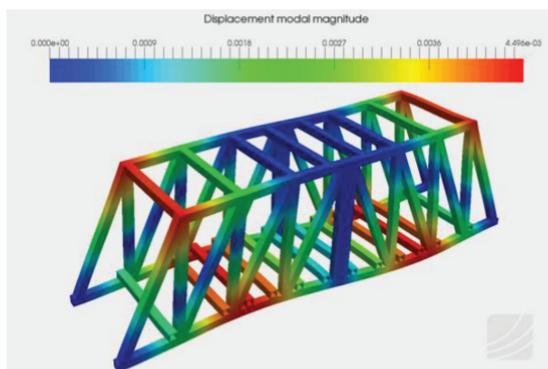
Nº da peça	caixa com tampa
Projeto	Projeto CAE
Projetista	LENOVO
Engenheiro	Claudiane Soares Santos
Custo	180,00 €

Fonte: elaborada pela autora.

## Não pode faltar

A Engenharia Assistida por Computador (CAE), em inglês *Computer Aided Engineering*, é a aplicação de *software* para analisar a robustez e o desempenho de componentes ou montagens antes de o produto ser liberado para a fabricação, ou até mesmo antes de o primeiro protótipo ser construído. No CAE, uma simulação é realizada com parâmetros reais, para validação do produto e otimização de projetos, ou seja, um sistema CAE tem a capacidade de simular um projeto sob uma variedade de condições, para verificar se, depois de pronto, cumpre com os requisitos de projeto por meio da análise de elementos finitos (FEA), dinâmica computacional de fluidos (CFD), dinâmica de multicorpos (MDB) e otimização. A Figura 2.92 apresenta a análise de um projeto de treliça para verificar os deslocamentos sofridos pela estrutura. Esses deslocamentos são associados ao tipo de restrição/fixação definido para a análise.

Figura 2.92 | Análise estrutural



Fonte: <[https://en.wikipedia.org/wiki/SimScale#/media/File:Eigenfrequency\\_Analysis\\_of\\_a\\_Truss\\_Bridge.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/SimScale#/media/File:Eigenfrequency_Analysis_of_a_Truss_Bridge.jpg)>. Acesso em: 20 dez. 2017.

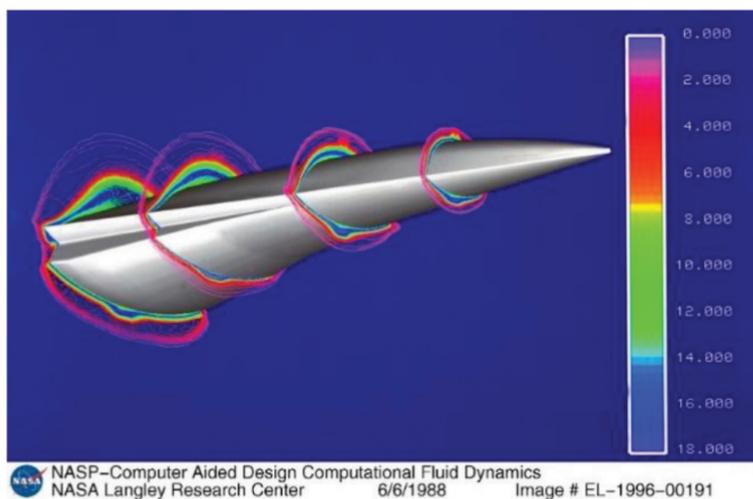


Assimile

Dentre as vantagens do CAE, destacam-se que as análises: auxiliam na resolução de problemas; apresentam cálculos de engenharia; aumentam a confiabilidade do produto; criam otimização no desenvolvimento de projetos; reduzem o número de protótipos físicos; economizam tempo e dinheiro etc.

Com um *software* CAE, diferentes tipos de análises podem ser realizadas, como: estruturais, térmicas, dinâmicas e de fluidos. A Figura 2.93 apresenta uma análise da dinâmica de fluidos, na qual, na imagem, as linhas de contorno indicam a temperatura em torno do modelo. Devido à alta pressão e à fricção da pele, a temperatura é mais alta na superfície do modelo. A cor azul vívida indica temperatura 18 vezes mais quente do que a atmosfera, requerendo refrigeração ativa dentro da aeronave para controlar a temperatura na superfície dos planos. A cor rosa nos anéis externos é muito mais fria do que o azul perto do corpo, mas ainda é 2 vezes mais quente que o ambiente em que o avião voa (UWE, 2017).

Figura 2.93 | Análise por CAE para dinâmica de fluidos



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AX-30\\_NASP-Computer\\_Aided\\_Design\\_Computational\\_Fluid\\_Dynamics.jpeg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AX-30_NASP-Computer_Aided_Design_Computational_Fluid_Dynamics.jpeg)>. Acesso em: 20 dez. 2017.

## Pesquise mais

Assista ao vídeo que apresenta como fazer análise de elementos finitos com o Inventor®:

COMO FAZER ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS COM O INVENTOR 2010. Render Cursos. **Youtube**. 5 jan. 2010. 4m53s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=VYOOJuCjGNo>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Para fazer a simulação, são definidas características para o modelo, como: materiais, interações com elementos externos, forças aplicadas, fixações, dentre outras. A malha é então criada apresentando as informações que o *software* utiliza para o cálculo ou para o modelo matemático, que serve para avaliar o comportamento do objeto verificando se este pode ser aprovado ou se há a necessidade de alterações no projeto. Por meio dessas análises, uma grande quantidade de cálculos (análise de elementos finitos e de elementos analíticos) é alcançada em tempo reduzido, obtendo dados de: tensão, deformação, velocidade, força, entre outros.

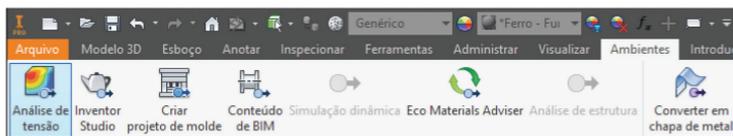


## Refleta

É possível reduzir o espaço de tempo na criação de um produto com a utilização de um *software* CAE para a análise dos modelos, com diminuição no prazo para lançamento dos produtos no mercado? Justifique.

Para fazer a análise CAE, é necessário abrir um componente (.ipt) ou uma montagem (.iam). Em seguida, selecione a aba ambientes e, por fim, clique no ícone análise de tensão (Figura 2.94). Assim, a aba análise é carregada, como mostra a Figura 2.95.

Figura 2.94 | Aba: Ambientes



Fonte: AUTODESK (2017).

Figura 2.95 | Aba: Análises



Fonte: AUTODESK (2017).



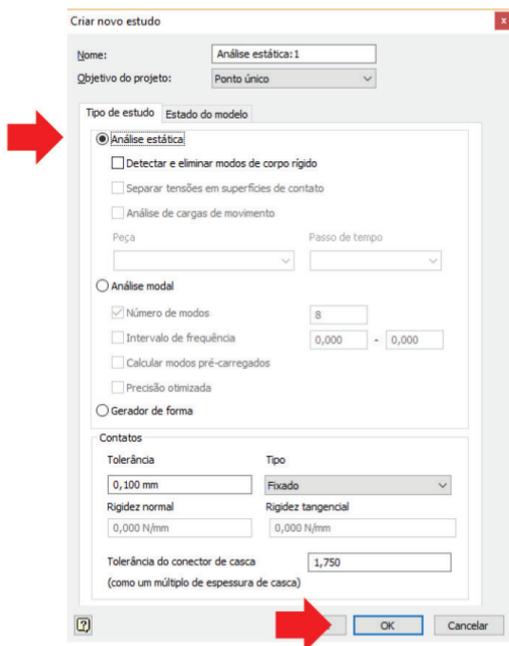
## Assimile

Você pode desenvolver análises CAE tanto para componente (.ipt) como para montagem (.iam), o que muda é somente o tempo para análise, ou seja, na montagem a simulação é mais demorada.

Para desenvolver uma análise CAE, você deve seguir uma ordem, sendo:

**1° PASSO:** selecionar o ícone criar estudo (  ), uma caixa é aberta (Figura 2.96), mostrando os tipos de estudo que podem ser desenvolvidos: análise estática (para conhecer o comportamento de uma peça mediante a aplicação de forças e carregamentos) e análise nodal (cálculo das frequências naturais e modo de vibração do elemento analisado).

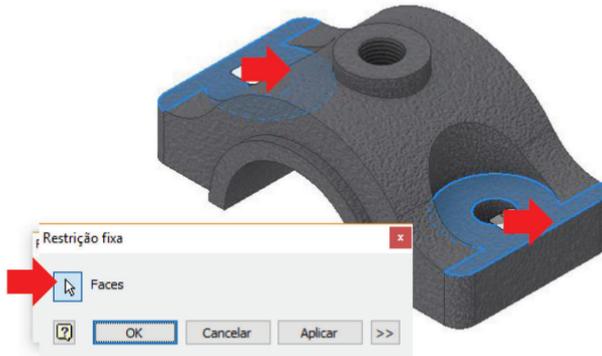
Figura 2.96 | Criar novo estudo



Fonte: AUTODESK (2017).

**2° PASSO:** acrescentar as restrições (  ), ou seja, restringir os movimentos em todas as direções da geometria, as quais podem ser fixa, móvel ou engastada. A seleção pode ser em face, arestas ou vértices. A Figura 2.97 mostra a aplicação da restrição fixa no modelo.

Figura 2.97 | Criar novo estudo



Fonte: AUTODESK (2017).

**3º PASSO:** inserir carga: força ou pressão. As cargas estruturais são forças aplicadas a uma peça ou montagem durante a operação para simulação e causam tensões, deformações e deslocamentos em componentes.

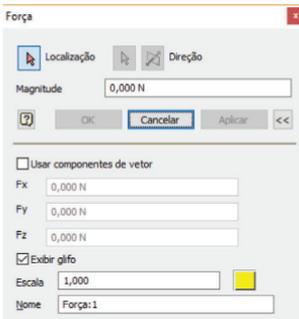


a) Definir a força (  ), ou seja, aplicar uma carga de força externa para a geometria selecionada (face, aresta ou vértice), como mostra a Figura 2.98a.

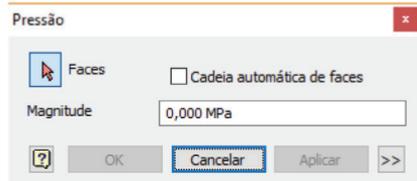


b) Definir a pressão (  ), ou seja, aplicar pressão uniforme na face selecionada, conforme Figura 2.98b.

2.98 | Carga: (a) força; (b) pressão



(a)



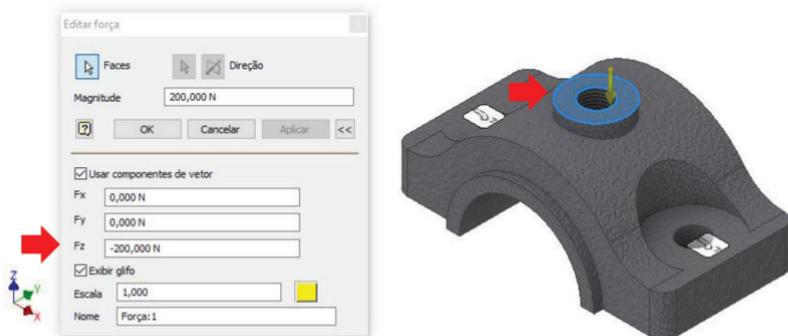
(b)

Fonte: AUTODESK (2017).

A Figura 2.99 apresenta um exemplo de força sendo aplicada ao modelo no eixo z, conforme indicação do plano tridimensional. O valor

lançado em Fz é negativo pois é contrário à direção definida no plano.

Figura 2.99 | Aplicação de força no modelo



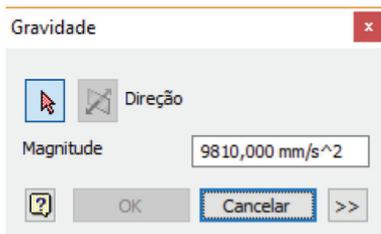
Fonte: elaborada pela autora.



## Exemplificando

Pode-se atribuir também uma carga de gravidade (  ) ao modelo, como mostra a Figura 2.100. Para isso, basta selecionar uma face ou aresta da peça para especificar a direção e magnitude.

Figura 2.100 | Gravidade

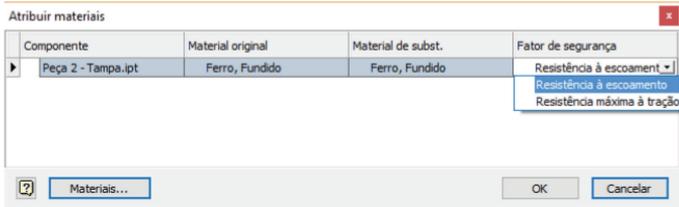


Fonte: AUTODESK (2017).



**4º PASSO:** atribuir material (  ) e também fator de segurança para cada simulação: A Figura 2.101 mostra os quatro campos definidos para atribuição do material. Os dois primeiros, componente e material original, foram definidos na construção da peça, os dois últimos, material de substituição e fator de segurança, devem ser definidos para que a análise possa ser realizada. Nos dois casos, clique na seta quando o campo estiver ativo para fazer a seleção.

Figura 2.101 | Atribuir material



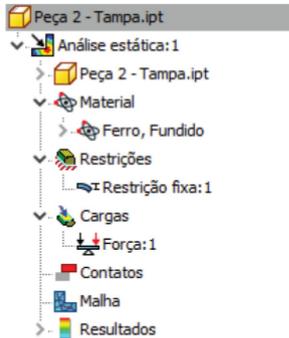
Fonte: AUTODESK (2017).



Assimile

O histórico do modelo apresenta tudo o que foi desenvolvido, como mostra a Figura 2.102. Qualquer alteração pode ser realizada clicando com o botão direito do mouse e pedindo para editar ou dando dois cliques com o botão esquerdo do mouse em cima do item que deseja alterar para fazer o ajuste.

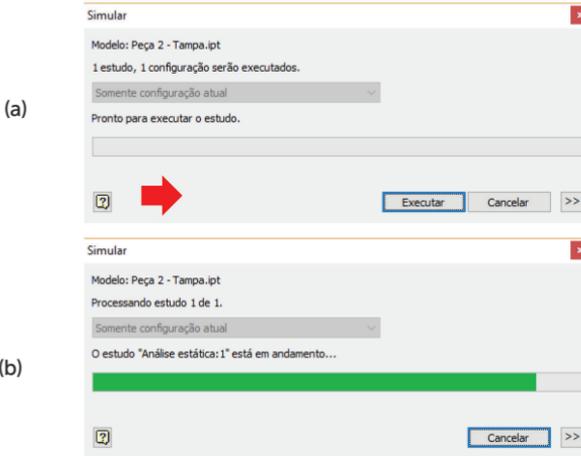
Figura 2.102 | Histórico do modelo



Fonte: elaborada pela autora.

**5º PASSO:** Para desenvolver a análise, clique no ícone simular (  ), uma caixa é aberta com informações sobre a análise, clique no botão executar (Figura 2.103a), e aguarde os resultados serem carregados (Figura 2.103b).

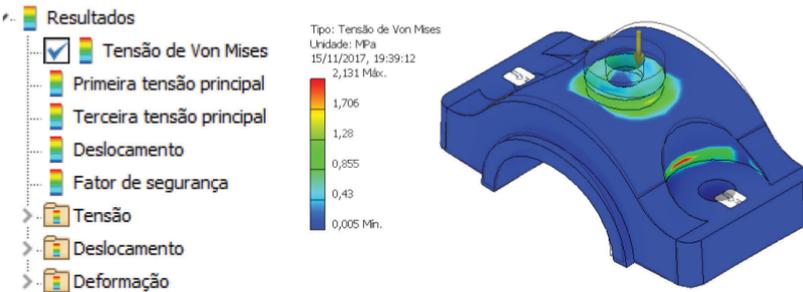
Figura 2.103 | Comando: Simular



Fonte: AUTODESK (2017).

Na árvore de modelo é possível verificar todos os resultados gerados, como mostra a Figura 2.104, porém, o resultado que primeiro abre é da tensão de Von Mises, também conhecida como teoria da energia de cisalhamento ou teoria da energia de distorção máxima. Essa teoria afirma que um material dúctil começa a escoar em local onde a tensão de Von Mises se torna igual ao limite de tensão, assim é possível observar a segurança do projeto.

Figura 2.104 | Resultados da análise

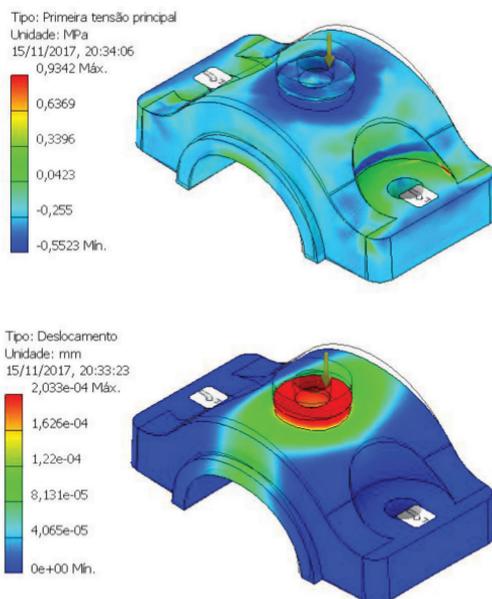


Fonte: elaborada pela autora.

**6° PASSO:** na interpretação dos resultados gerados (tensão, deslocamento e deformação) na simulação, uma paleta de cores

aparece na esquerda representada na Figura 2.105.

Figura 2.105 | Resultados da simulação



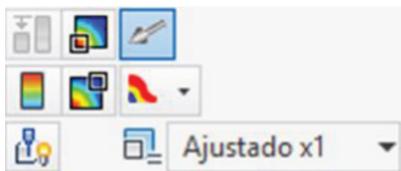
Fonte: elaborada pela autora.



Dica

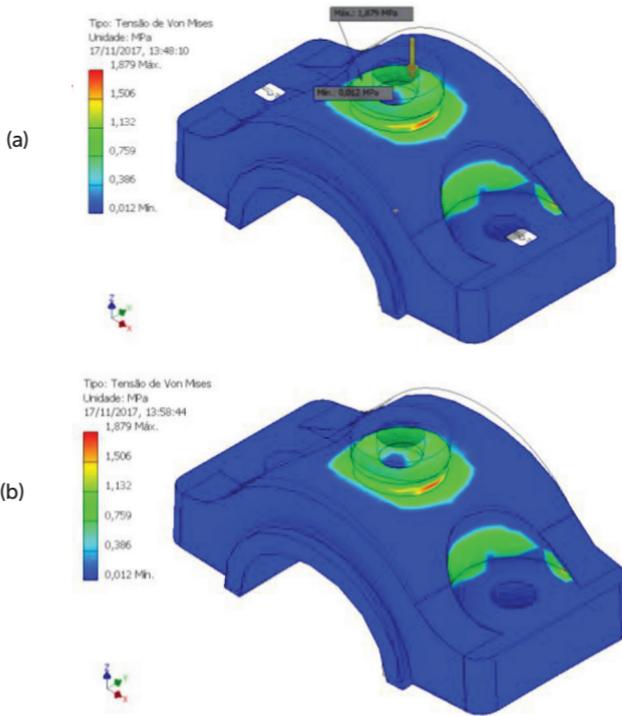
- Para alterar a análise dê duplo clique no histórico do modelo na análise que quer exibir;
- Existem alguns ajustes que alteram o modo de exibição (Figura 2.106). Por exemplo, pode-se acrescentar no resultado o valor máximo (  ) e o valor mínimo (  ) na Figura 2.107a, ativar ou desativar os glifos (  ), ou seja, restrição e carga, como mostra a Figura 2.107b, alterar a configuração da barra de cores (  ), entre outros.

Figura 2.106 | Comando: exibir



Fonte: AUTODESK (2017).

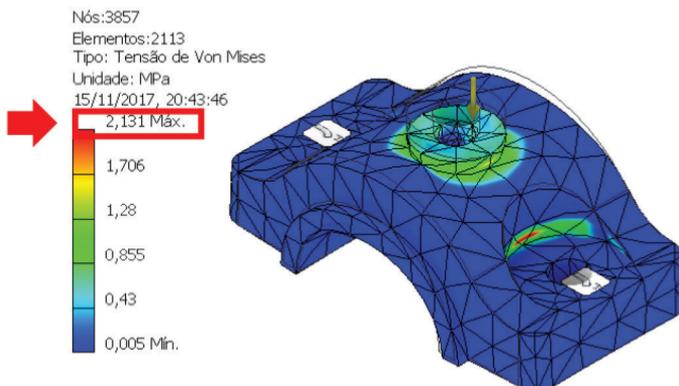
Figura 2.107 | Opções: (a) Valor máximo e mínimo; (b) desativar glifos



Fonte: elaborada pela autora.

Para visualizar a malha, conjunto de elementos finitos e pontos nodais, utilizada na análise, clique no ícone vista de malha (  ) e a imagem mostrará a quantidade de nós e elementos utilizados e a representação no modelo (Figura 2.108).

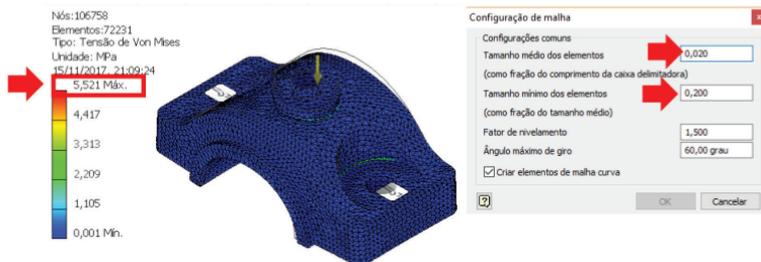
Figura 2.108 | Vista de malha



Fonte: elaborada pela autora.

A precisão do Método dos Elementos Finitos depende da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos tipos de elementos da malha. Ou seja, quanto menor for o tamanho e maior for o número deles em uma determinada malha, maior a precisão nos resultados da análise. Existe a possibilidade de alterar o tamanho dos elementos de malha, clicando no ícone configuração de malha (  ). Após alterar o tamanho dos elementos (Figura 2.109) é necessário executar novamente a simulação para obter um novo resultado. Este procedimento altera a análise dos resultados e também a quantidade de nós e elementos, conforme comparação da Figura 2.108 com a Figura 2.109.

Figura 2.109 | Configuração de malha



Fonte: elaborada pela autora.



Para gerar um relatório dos resultados clique no ícone (  ), uma caixa será aberta, como mostra a Figura 2.110a, na qual você configurará o tipo de relatório, título, autor, formato, dentre outras informações. Após clique em OK e aguarde o relatório ficar pronto, depois é só abrir no Word. Para isso, selecione a aba formato e defina na saída texto para executar as suas análises, como mostra a Figura 2.110b. O relatório também pode ser salvo para análises futuras.

Figura 2.110 | Relatório dos resultados

Relatório

Completo  
 Personalizado

Geral Propriedades Estudos Formato

Título do relatório: Relatório de análise de tensão

Autor do relatório: Cleudiane

Logotipo  
 Resumo

Tamanho das imagens: 640 x 480

Localização do relatório  
Nome de arquivo: Peça 2 - Tampa.ipt Relatório de análise de tensão 17\_11\_2017

Caminho: <Caminho atual do arquivo \*.ipt>

OK Cancelar

### Relatório de análise de tensão



Arquivo analisado:	Peça 2 - Tampa.ipt
Versão do Autodesk Inventor:	2018 (Build 2001.12000, 1.12)
Data de criação:	17/11/2017, 14:09
Autor do estudo:	Cleudiane
Resumo:	

#### Informações de projeto (Properties)

##### Resumo

Autor: LENOVO

##### Projeto

Nº da peça:	Peça 2 - Tampa
Propriedade:	LENOVO
Custo:	0,00 €
Data de criação:	16/10/2017

##### Status

Status do desenho: Trabalho em Curso

##### Física

Material:	Ferro, Fundido
Densidade:	7,15 g/cm <sup>3</sup>
Massa:	0,316209 kg
Área:	12987,3 mm <sup>2</sup>
Volume:	44236,2 mm <sup>3</sup>
Centro de gravidade:	x=0,000264403 mm y=13,7357 mm z=13,7357 mm

Nota: os valores físicos podem ser diferentes dos valores físicos utilizados por FEA indicados

Fonte: AUTODESK (2017).



## Pesquise mais

Assista ao vídeo que apresenta a análise de tensão de uma placa no Inventor®, contudo demonstra os cálculos teóricos (analítico) em MATLAB, para uma comparação de resultados. A intenção do vídeo é mostrar a influência do fator de concentração de um furo central em uma placa. Foram realizadas 3 simulações com diferentes tamanhos de elementos de malha para verificar a influência do tamanho dos elementos na precisão dos resultados e, para verificar essa característica, foi realizado também o cálculo teórico (analítico) em MATLAB e, assim, pode-se comparar os resultados com o cálculo do erro entre as análises. Veja:

ANALISE TENSÃO INVENTOR PLACA. Andre Pissolatti. [Youtube](#).

17 jan. 2017. 14m21s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=mCLRPys27qw>> Acesso em: 20 dez. 2017.

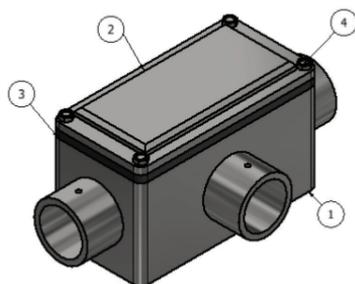
## Sem medo de errar

Vamos voltar à situação apresentada no Convite ao estudo? A empresa para a qual você trabalha vai participar de uma feira da mecânica, demonstrando em um *stand* os seus projetos e aplicações. Você estará representando a empresa no evento, por isso, deve levar para a apresentação as análises de engenharia que foram desenvolvidas antes de o produto ser enviado para fabricação. Nesta fase, é possível fazer uma análise estática de elementos finitos (CAE), para análise de tensão e deformação utilizando o *software*, além disso, apresente um relatório (formato Word), com resultados e imagens, para que possam ser analisadas e discutidas melhorias para otimização do projeto. Faça o seu melhor, mostrando para a empresa que escolheu a pessoa certa para representá-la!

A partir da montagem realizada no Avançando na prática da unidade anterior (Seção 2.2), faça a análise CAE de tensão máxima (Von Mises) e deformação e apresente o relatório dos resultados (formato Word), por fim, otimize o projeto.

- Para a análise da caixa com vedação, apresentada na Figura 2.111, configure na aba ambientes (força: 1000N; restrição: nas faces circulares e material: aço inoxidável e borracha de silicone para a vedação). Após o relatório, os resultados foram salvos em formato Word (.docx) para utilização posterior na feira de mecânica!

Figura 2.111 | Caixa de vedação



LISTA DE PEÇAS			
ITEM	QTD	NÚM. DE PEÇA	DESCRIÇÃO
1	1	Corpo	
2	1	Tampa	
3	1	Vedação	
4	4	AS 1427 - M3 x 16	Parafuso de máquina métricos ISO

Fonte: elaborada pela autora.

Para desenvolver a análise CAE um passo a passo foi desenvolvido:

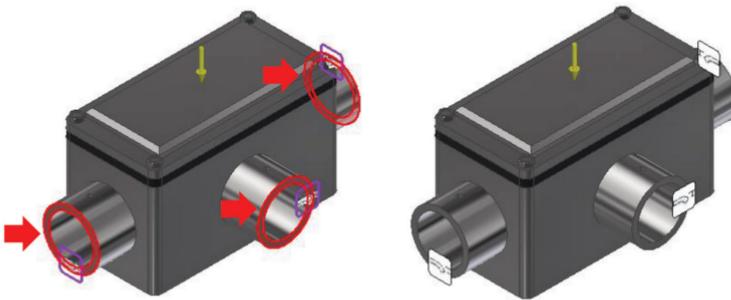
**PASSO 1:** abra a montagem da caixa e entre no ambiente de análise de tensão, após isso, insira os recursos de preparação de um modelo para a análise, sendo: força de 1000N (Figura 2.112), restrição: nas faces circulares (Figura 2.113) e material: aço inoxidável no corpo, na tampa e nos parafusos e borracha de silicone para a vedação (Figura 2.114). Acrescente, por fim, a gravidade.

Figura 2.112 | Inserir força



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 2.113 | Inserir restrição



Fonte: elaborada pela autora.

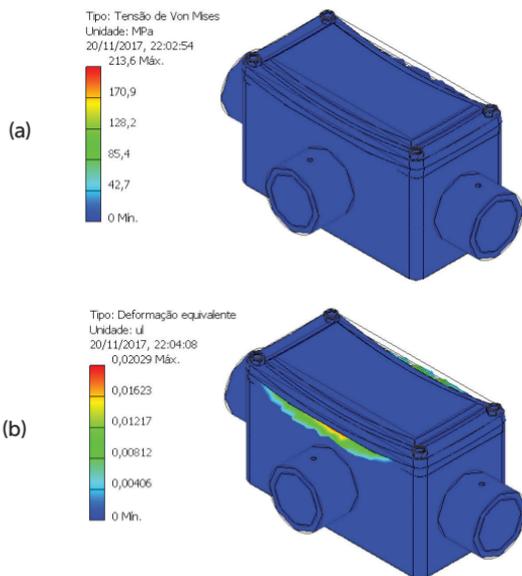
Figura 2.114 | Atribuir material

Componente	Material original	Material de subst.	Fator de segurança
caixa com tampa.iam			
corpo: 1	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Resistência à escoamento
tampa: 1	Aço inoxidável	Aço inoxidável	Resistência à escoamento
Vedação - borracha: 1	Borracha, Silicone	Borracha, Silicone	Resistência à escoamento
AS 1427 - Métrica M3 x 16:1	Aço, suave	Aço inoxidável	Resistência à escoamento
AS 1427 - Métrica M3 x 16:2	Aço, suave	Aço inoxidável	Resistência à escoamento
AS 1427 - Métrica M3 x 16:3	Aço, suave	Aço inoxidável	Resistência à escoamento
AS 1427 - Métrica M3 x 16:4	Aço, suave	Aço inoxidável	Resistência à escoamento

Fonte: elaborada pela autora.

**PASSO 2:** faça uma análise estática de elementos finitos (CAE), para análise de tensão máxima (Von Mises) e deformação, utilizando o *software*, como mostra a Figura 2.115.

Figura 2.115 | Análise CAE: (a) tensão máxima; (b) deformação



Fonte: elaborada pela autora.

**PASSO 3:** crie um relatório (formato Word) e salve, com resultados e imagens, para que possa ser analisado. Não esqueça de acrescentar o título do projeto: Projeto CAE, seu nome como engenheiro do projeto e o custo. Para isso, clique na barra propriedades e selecione o que deseja incluir no relatório. Também não esqueça de exibir o relatório em forma de um documento do Word, por isso, configure o formato da saída em texto. A Figura 2.116 apresenta as primeiras páginas geradas, contudo, o relatório final apresenta 10 páginas e isso pode variar dependendo dos dados que adicionou ao relatório.

Projeto CAE



Arquivo analisado:	caixa com tampa.iam
Versão do Autodesk Inventor:	2018 (Build 2201.12000, 112)
Data de criação:	21/11/2017, 01:12
Autor do estudo:	Claudiane
Resumo:	Projeto Desenvolvido na Disciplina de Desenho Técnico Mecânico.

Informações de projeto (iProperties)

Projeto

Engenheiro:	Claudiane Soares Santos
Custo:	100,00 €

Físico

Volumetria (62618 mm<sup>3</sup>)

Nota: os valores físicos podem ser diferentes dos valores físicos utilizados por FEA indicados a seguir.

Simulação:1

Objetivo geral e configurações:

Objetivo do projeto	Ponto Único
Tipo de estudo	Análise estática
Data da última modificação	21/11/2017, 00:11
Defletir e alinhar malha de corpo rígido	Não
Sensar tensões em superfícies de contato	Não
Análise de cargas de movimento	Não

Configurações de malha:

Tamanho médio dos elementos (fração do diâmetro do modelo)	0,1
Tamanho mínimo dos elementos (fração do tamanho médio)	0,2
Fator de nivelamento	1,5
Ângulo máximo de giro	60 graus
Criar elementos de malha curva	Não
Usar medida baseada em peça para a malha de montagem	Sim

Materiais

Nome	Aço Inoxidável	
Geral	Densidade de massa	8 g/cm <sup>3</sup>
	Resistência à escoamento	250 MPa
	Resistência máxima à tração	510 MPa
Tensão	Módulo de Young	193 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 s.m
	Módulo cortante	74,2308 GPa
Nome(s) de peça	corpo.ipt	
	tampa.ipt	
	AS 1-027 - Métrica M3 x 16	
	AS 1-027 - Métrica M3 x 16	
Nome	Borracha, Silicone	
	Densidade de massa	1,25 g/cm <sup>3</sup>
	Resistência à escoamento	10,34 MPa
Geral	Resistência máxima à tração	6,5 MPa
	Módulo de Young	0,003 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,09 s.m
Tensão	Módulo cortante	0,00100671 GPa
	Nome(s) de peça	Vedação - borracha.ipt

Condições de funcionamento

Força:1

Tipo de carga	Força
Magnitude	1000,000 N
Vetor X	-0,000 N
Vetor Y	-1000,000 N
Vetor Z	0,000 N

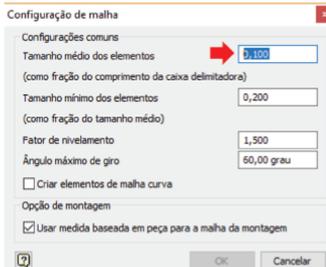
Facas selecionadas

Fonte: elaborada pela autora.

PASSO 4: Discuta melhorias para otimização do projeto.

- Como otimização, reduza a massa do modelo, de forma que não fique superdimensionado, reduzindo o custo final do produto, ou seja, analise diferentes geometrias.
- Também faça uma nova análise trocando a configuração da malha e a vista de malha, alterando o tamanho médio do elemento de 0,1 mm (Figura 2.117) para 0,5 mm e verifique os resultados, ou seja, analise os diferentes tamanhos dos elementos.

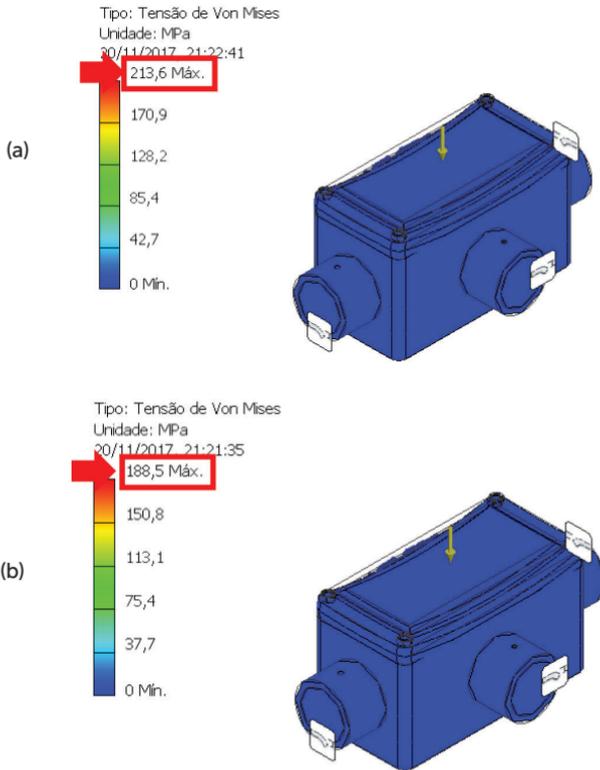
Figura 2.117 | Tamanho médio do elemento



Fonte: elaborada pela autora.

- c) Troque também o material de aço inoxidável para alumínio e analise novamente os resultados, ou seja, analise diferentes materiais, como mostra a Figura 2.118.

Figura 2.118 | Análise CAE: (a) aço inoxidável; (b) alumínio



Fonte: elaborada pela autora.

## Avançando na prática

### Processo de aprovação de produtos com CAE

#### Descrição da situação-problema

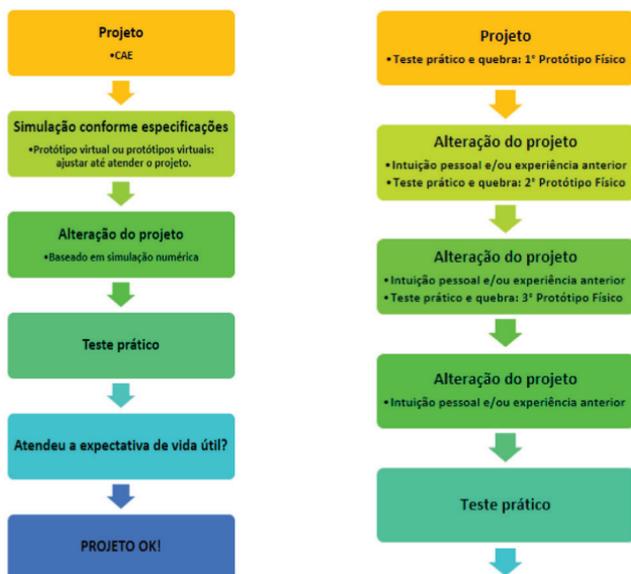
Uma empresa no mercado brasileiro apresenta soluções em engenharia. Segundo Resistenge (2017) a utilização da tecnologia CAE contribui diretamente na diminuição dos prazos para lançamento de novos produtos no mercado. Além disso, os custos com protótipos

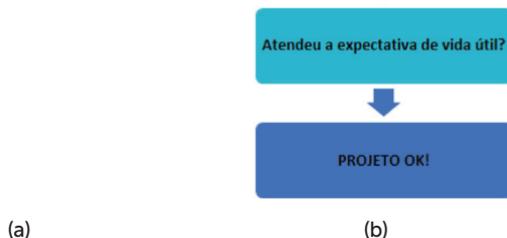
até a obtenção da confiabilidade esperada serão muito menores, isso porque os protótipos são “testados virtualmente”. Pois ao iniciar um novo projeto, muitas dúvidas surgem e, conseqüentemente, muitas decisões precisam ser tomadas. Em geral, nas empresas que não utilizam a tecnologia CAE essas decisões são tomadas pelos engenheiros/projetistas com embasamento em alguns fatores como: experiência pessoal, um projeto já existente no mercado e ou até mesmo pela intuição pessoal sem o uso de conceito técnico. Após as decisões tomadas no desenvolvimento do projeto, o primeiro protótipo é então fabricado e se iniciam os testes funcionais, é aí que surgem os problemas. Crie dois fluxogramas para adequação dos projetos em uma empresa de engenharia: 1º) Fluxograma para aprovação de um projeto em uma empresa sem CAE e 2º) Fluxograma de um projeto no qual o uso da tecnologia CAE está incluso no desenvolvimento do projeto. Finalize, explicando suas conclusões.

### Resolução da situação-problema

Uma sugestão para a resolução da situação-problema é apresentada na Figura 2.119 que mostra os dois fluxogramas solicitados na questão.

Figura 2.119 | Fluxogramas: (a) sem CAE; (b) com CAE





Fonte: adaptada de Resistenge (2017).

**CONCLUSÕES:** o fluxograma com o uso do CAE apresenta menos modificações, conseqüentemente, menor prazo para o lançamento do produto. Além disso, há redução do número de protótipo físicos. O projeto é otimizado, competitivo e confiável, pois com a simulação numérica é possível dimensionar o componente conforme serão seus esforços externos. O fluxograma sem o uso do CAE apresenta o método de tentativa e erro, gerando custos maiores em seus produtos que acabam não ficando tão competitivos no mercado.

## Faça valer a pena

**1.** Analise as informações apresentadas a partir do conhecimento sobre as ferramentas de Engenharia Auxiliada por Computador (CAE), colocando um "V" quando for verdadeira e um "F" quando for falsa:

( ) A tecnologia CAE mudou radicalmente a forma como os projetistas avaliam o comportamento de seus produtos, uma vez que praticamente eliminou a necessidade da construção de protótipos, que consomem tempo e dinheiro.

( ) A análise CAE é uma importante ferramenta industrial, amplamente utilizada em diversas aplicações, incluindo as indústrias automotiva, de construção naval e aeroespacial, na arquitetura, em projetos de próteses e em outras tantas.

( ) Os projetistas que utilizam CAE em seus projetos analisam as estruturas, as cargas suportadas e a matéria-prima a serem utilizadas no projeto, com o uso do *software*.

( ) É possível analisar a malha de elementos finitos do modelo por meio da análise CAE.

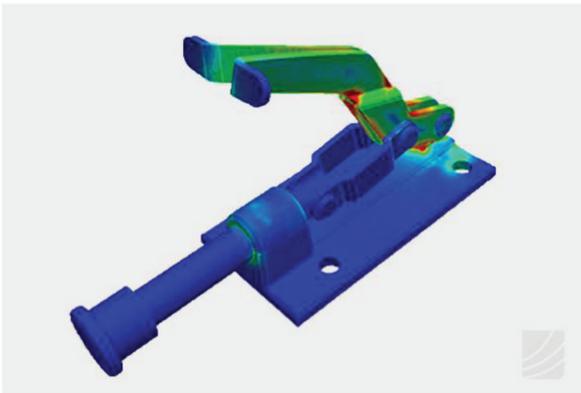
( ) O CAE gera a entrada para o *software*, que controla a máquina-ferramenta.

Assinale abaixo a alternativa que apresenta a sequência correta do verdadeiro ou falso de cima para baixo:

- a) V – V – F – V – V.
- b) F – V – V – F – F.
- c) V – F – F – V – V.
- d) V – V – V – V – F.
- e) V – F – V – V – V.

**2.** Uma empresa nacional presta serviço em análise de multicorpos por meio do *software* SimScale, como mostra a Figura 2.120.

Figura 2.120 | Projeto de análise dinâmica linear de sistemas multicorpos



Fonte: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AMultibody\\_dynamics.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AMultibody_dynamics.jpg)>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Um componente vai ser analisado utilizando o *software* CAE, desde a sua concepção até a sua manufatura. Marque como deve ser a sequência correta para o desenvolvimento do projeto dentro da empresa:

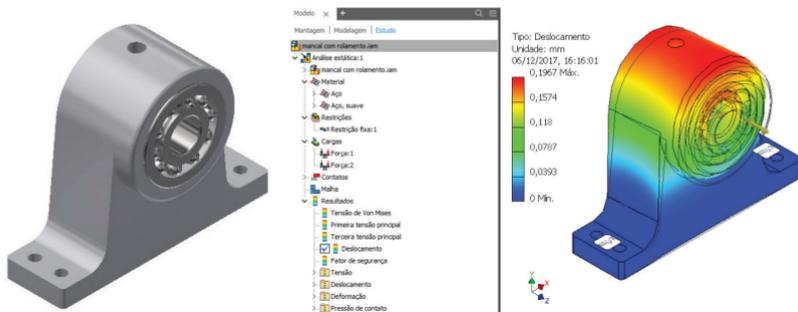
1. Liberação para a fabricação.
2. Simular e analisar todas as variáveis que podem comprometer os resultados do projeto.
3. Alteração do projeto com otimização do produto.
4. Criar o modelo usando software CAD.
5. Os cálculos são remetidos ao cliente e também é verificado se haverá alguma alteração no projeto antes da liberação para a fabricação.

Marque a sequência correta do fluxograma para o processo de aprovação de um produto com CAE:

- a) 1 – 2 – 3 – 4 – 5.
- b) 4 – 2 – 5 – 1 – 3.
- c) 5 – 1 – 2 – 4 – 3.
- d) 4 – 2 – 5 – 3 – 1.
- e) 5 – 2 – 3 – 4 – 1.

**3.** O objetivo fundamental de uma análise de elementos finitos (FEA) é verificar o comportamento do modelo quando as solicitações são aplicadas e otimizá-lo, ou seja, variar um ou mais parâmetros para atingir um objetivo, normalmente a redução em algum parâmetro geométrico. Com as ferramentas CAE (Engenharia Auxiliada por Computador) é possível observar os defeitos antes da confecção do produto, reduzindo custos desnecessários com reparo e tempo. A Figura 2.121 apresenta à esquerda a montagem de um mancal com rolamento e à direita a análise CAE realizada no Autodesk Inventor®.

Figura 2.121 | Análise CAE



Fonte: elaborada pela autora.

Com base nas informações da análise, pode-se afirmar que:

- I) O deslocamento máximo que o modelo sofre é 0,1967 cm.
- II) Foram atribuídos dois materiais para a montagem.
- III) Foram inseridas duas cargas de força no modelo.
- IV) Foram utilizadas duas forças e uma restrição.

Assinale abaixo a alternativa que apresenta a resposta CORRETA:

- a) Apenas I e III estão corretas.
- b) Apenas II e III estão corretas.
- c) Apenas II e IV estão corretas.
- d) Apenas I e IV estão corretas.
- e) Apenas I, III e IV estão corretas.

# Referências

ANÁLISE TENSÃO INVENTOR PLACA. Andre Pissolatti. **Youtube**. 17 jan. 2017. 14m21s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=mCLRPyS27qw>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

ATELIÊ DA COMPUTAÇÃO GRÁFICA. **Youtube**. 11 nov. 2016. 3m50s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Q5q0rjSebqc&t=60s>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

AUTODESK INVENTOR 2018. **Para inserir peças utilizando o AutoDrop**. Disponível em: <<http://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2018/PTB/?guid=GUID-0018159B-2D2D-4816-9BC0-3973DE755AE1>>. Acesso em: 18 out. 2017.

AUTODESK INVENTOR – MONTAGEM – AULA 01: MÉTODO DAS RESTRIÇÕES. Emerson Junqueira. **Youtube**. 30 set. 2016. 15m39s. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=R\\_qBxb9srKg](https://www.youtube.com/watch?v=R_qBxb9srKg)>. Acesso em: 5 dez. 2017.

COMO FAZER ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS COM O INVENTOR 2010. Render Cursos. **Youtube**. 5 jan. 2010. 4m53s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=VYOOJuCjGNo>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

CRUZ, Michele David. **Autodesk Inventor Professional 2016**: Desenhos, Projetos e Simulações. São Paulo: Editora Érica, 2015, 392 p.

Eigenfrequency Analysis of a Truss Bridge. By SimScale GmbH (SimScale GmbH) [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>)], via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/SimScale#/media/File:Eigenfrequency\\_Analysis\\_of\\_a\\_Truss\\_Bridge.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/SimScale#/media/File:Eigenfrequency_Analysis_of_a_Truss_Bridge.jpg)>. Acesso em: 20 dez. 2017.

EzequielD CAD-INVENTOR. **Inventor 2018 - Bomba lóbulos - Aula 12**. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=5jQSuvU\\_gLk](https://www.youtube.com/watch?v=5jQSuvU_gLk)>. Acesso em: 10 dez. 2017.

INVENTOR 2016 [AULA-03 PARTE-01]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube**. 20 jun. 2016. 6m06s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=kQaE2njUhKQ>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

INVENTOR 2017 [AULA 03 MONTAGEM]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube**. 21 set. 2016. 6m14s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=pOuTDcWaSI0>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

INVENTOR 2017 [AULA-03 PARTE-02]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube**. 4 jul. 2016. 8m36s. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=fdWv\\_X60DRs](https://www.youtube.com/watch?v=fdWv_X60DRs)>. Acesso em: 6 dez. 2017.

INVENTOR 2017 [AULA-03 PARTE-03]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube**. 15 jul. 2016. 3m18s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=MTEO1jameMY>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

INVENTOR 2017 [AULA-03 PARTE-04]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube**. 19 jul. 2016. 3m48s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PdFind9JZpE>>. Acesso em: 6 dez. 2017.

INVENTOR 2017 [AULA-03 PARTE-05]. Ateliê da Computação Gráfica. **Youtube**. 9 ago. 2016. 7m40s. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=zEkwhMRLm\\_s&t=39s](https://www.youtube.com/watch?v=zEkwhMRLm_s&t=39s)>. Acesso em: 6 dez. 2017.

MULTIBODY DINAMICS. By SimScale GmbH (SimScale GmbH) [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)], via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AMultibody\\_dynamics.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AMultibody_dynamics.jpg)>. Acesso em: 20 dez. 2017.

RESISTENGE. Simulação Virtual (CAE). Disponível em: <<http://www.resistenge.com.br/servico/simulacao-virtual-cae/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

SANTOS, Cleudiane Soares. **Apostila de Desenho Técnico com Auxílio do Computador**. Centro Federal de Educação, Ciência e Tecnologia São Paulo – Campus Hortolândia, 2014.

Simmer65. CCO Creative Commons. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/hidro%C3%AAnio-selo-mec%C3%A2nico-industrial-2261067/>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

STIFF, Rob. **Bottle trap Solidworks model**. Disponível em: <[https://www.flickr.com/photos/rob\\_stiff/5564040235/in/photostream/](https://www.flickr.com/photos/rob_stiff/5564040235/in/photostream/)>. Acesso em: 10 dez. 2017.

TUTORIAL SOLIDWORKS – MINI CANHÃO PARTE 1. Draw N Play. **Youtube**. 30 jun. 2016. 6m09s. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=PM6nrcjO4XM>>. Acesso em: 7 dez. 2017.

WARNICK, Reed T., via Wikimedia Commons. **Napco Rotary Gear Pump**. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ANapco\\_Rotary\\_Gear\\_Pump.gif](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ANapco_Rotary_Gear_Pump.gif)>. Acesso em: 10 dez. 2017.

X-30 NASP-Computer Aided Design Computational Fluid Dynamics. See page for author [Public domain], via Wikimedia Commons. Disponível em: <[https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AX-30\\_NASP-Computer\\_Aided\\_Design\\_Computational\\_Fluid\\_Dynamics.jpeg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AX-30_NASP-Computer_Aided_Design_Computational_Fluid_Dynamics.jpeg)>. Acesso em: 20 dez. 2017.



# Desenho técnico com representação de tolerâncias, juntas soldadas e peças em chapas

## Convite ao estudo

Para conseguirem destaque e confiabilidade no mercado, empresas do segmento da indústria metal-mecânica devem se esforçar para oferecer produtos de qualidade, ou seja, que atendam aos requisitos e às expectativas de seus clientes. Desta forma, muitos engenheiros trabalham no sentido de aperfeiçoar o projeto por meio do desenvolvimento de equipamentos e peças que irão trabalhar em condições de cargas mais elevadas, maiores velocidades e tolerâncias cada vez menores, uma vez que, do ponto de fabricação de peças, nestes projetos são reduzidas as folgas e atritos.

Nesse sentido, a manufatura precisa desenvolver processos de fabricação em que seja possível atender aos requisitos de tolerância e acabamento superficial previstos em projeto. Para tal, as tolerâncias e acabamentos devem estar rigorosamente especificados pela engenharia de desenvolvimento. A tolerância indicada no desenho pelos engenheiros é complementar às cotas e fornece informações relacionadas à forma, dimensão e posição dos componentes. O principal objetivo de introduzir essas informações no desenho é reduzir os erros de fabricação das peças, padronizando os processos, atuando nas tolerâncias especificadas no projeto. A intercambialidade é a possibilidade de retirar uma peça e repor outra com as mesmas características, sem que afete o produto final. Você, futuro engenheiro, precisa dominar esse conhecimento! É importante conhecer a simbologia para indicá-la adequadamente no desenho que será enviado para fabricação.

Nesta unidade, iremos aplicar esse conhecimento no estudo de caso de uma empresa brasileira que atua no ramo de usinagem de precisão e caldeiraria e, primordialmente, fornece peças para clientes das indústrias aeronáutica e automobilística. As peças são fornecidas sob medida, de acordo com a necessidade do cliente. Imagine que você é o engenheiro desta empresa e, após reunião com o cliente, em que obteve todas as informações sobre o projeto, irá desenvolver – por meio do software Autodesk Inventor – os modelos 3D e 2D das peças solicitadas e enviar ao setor de manufatura os desenhos das peças com todas as informações de tolerância e acabamento superficial, de forma que não ocorram erros de fabricação dos componentes, o que pode causar falhas na montagem dos conjuntos.

Esse é o momento de colocar em prática todo o conhecimento de desenho técnico, assegurando que o produto final atenda as exigências do cliente. Já imaginou a responsabilidade que você está assumindo ao liberar todos os desenhos necessários para fabricação? Além disso, você consegue identificar e indicar as especificações de tolerância dimensional e geométrica, acabamento superficial, indicação de juntas soldadas conforme a normativa vigente? Trabalhe como o que já conhece e vamos, juntos, adquirir mais conhecimento sobre o assunto!

Além disso, iremos também trabalhar no projeto de peças conformadas a frio, que sofreram o processo de corte e dobra, cujo detalhamento requer indicação tanto das vistas da peça conformada quanto da vista planificada (desenvolvida).

Temos muito trabalho a fazer! O cliente é exigente e precisamos que os desenhos contenham as informações suficientes e corretas para evitar retrabalho e, conseqüentemente, atraso na entrega do projeto! Mãos à obra!

## Seção 3.1

### Acabamento superficial, tolerância dimensional e ajustes

#### Diálogo aberto

Caro aluno, você deve saber que fabricar uma peça com a dimensão exata pode tornar o processo de fabricação inviável economicamente, uma vez que, este deve ser extremamente preciso e exato. Desse modo, pode não ser interessante para a companhia, pois o custo é extremamente elevado e talvez o cliente não perceba o valor do que foi fornecido além das especificações requeridas. Nesse sentido, pequenas variações decorrentes do processo de fabricação são admitidas e devem estar especificadas no projeto. A tolerância dimensional indica a amplitude máxima de variação permitida para determinada cota, com o principal objetivo limitar os erros de fabricação das peças. Além disso, é necessária a adoção de ajustes e desvios que possibilitem a montagem correta dos componentes. Outro fator que pode influenciar na montagem é a qualidade da peça, ou seja, analisar qual o processo de acabamento superficial deve ser realizado no processo de fabricação para que a superfície apresente a rugosidade requerida no projeto. São várias as considerações a serem feitas e, portanto, temos que fazer a indicação correta da simbologia no projeto, conforme a NBR preconiza.

Além da questão de tolerâncias dimensionais, ajustes e estados de superfície, outra simbologia importante que veremos nesta seção é a de solda. A soldagem é o processo de união permanente de componentes, envolvendo fusão local das peças a serem unidas, bastante utilizado na indústria. Veremos na prática como trabalhar com componentes soldados e como indicar o tipo de solda utilizando o nosso software de trabalho.

Imagine agora que você é o engenheiro de uma empresa que fornece peças para as indústrias aeronáutica e automobilística, e um dos produtos que precisa ser entregue em um projeto importante da companhia, envolve o setor de usinagem. Será necessário fabricar um conjunto de montagem de um rolamento em um eixo de 40 mm de diâmetro. Você deverá desenvolver o projeto utilizando o software

Autodesk Inventor e fornecer os modelos 3D e 2D dos componentes com todas informações de tolerância e acabamento superficial de forma que não ocorram erros de fabricação dos componentes.

Vamos responder algumas perguntas importantes para este projeto que deverão constar na documentação: você consegue avaliar qual o tipo mais adequado de ajuste (com folga, com aperto ou incerto) correspondente ao acoplamento do eixo? Qual a classe de rugosidade indicada para as superfícies? Como fazer a representação do estado de superfície nos desenhos que irão documentar o projeto? Quais as dimensões nominal, máxima e mínima das peças? Além disso, calcule a tolerância da cota e estabeleça os critérios de aceitação das peças consideradas. Caso necessário, utilize a tabela de tolerância ISO (ABNT).

## Não pode faltar

Antes de iniciarmos, é preciso ter em mente que a tolerância dimensional indica a máxima variação que determinada cota, e pode apresentar para fabricação da peça em conformidade que, na documentação do projeto, ou seja, no desenho da peça em questão é necessário respeitar duas regras básicas para expressar a simbologia relacionada:

1. A tolerância deve estar no mesmo sistema de unidades da cota. Em desenho mecânico, é comum trabalharmos sempre em milímetros (em algumas situações, surgem tolerâncias expressas em  $\mu\text{m}$ ).
2. Quando no desenho houver a indicação de dois desvios, estes devem conter o mesmo número de casas decimais, a não ser que um dos valores seja zero. As indicações das cotas mínima e máxima também devem possuir o mesmo número de casas decimais.



### Assimile

É importante destacar alguns termos que você vai se deparar no seu dia a dia como engenheiro na área de projetos mecânicos:

- 1. Tolerância:** amplitude de variação de uma dimensão específica. Corresponde à diferença entre a cota máxima (dimensão máxima permitida) e a cota mínima (dimensão mínima permitida).

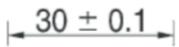
**2. Zona de tolerância:** zona compreendida entre a cota máxima e a cota mínima, que define a magnitude da tolerância e a posição em relação à linha zero.

**3. Classe da tolerância:** termo que determina a combinação de uma tolerância fundamental (classe de qualidade de acordo com a normativa de desvios e ajustes) com um desvio fundamental (posição da zona de tolerância em relação à linha zero). Por exemplo: H7 ou g6.

Para a indicação das tolerâncias lineares, uma possibilidade é a indicação dos limites de tolerância em seguida à cota (Quadro 3.1a). Quando a tolerância é simétrica, apenas um de seus desvios é apresentado, precedido pelo sinal  $\pm$  (Quadro 3.1b). Na indicação de cotas limite, a cota máxima é posicionada acima da cota mínima (Quadro 3.1c). No caso de o elemento possuir limitação, apenas em uma direção, a cota máxima ou mínima é indicada por meio da abreviatura "máx" ou "mín" (Quadro 3.1d).

Outra maneira, preconizada pela ISO e pela NBR 6158/1995 (ABNT, 1995), utilizada para desenhos de conjuntos, é a indicação seguida da letra que indica a posição do campo de tolerância e o número que indica a classe de qualidade. Aqui, vale a pena expor, de forma resumida, as classes de qualidade e os desvios fundamentais. Em relação à qualidade, a norma NBR 6158 (ABNT, 1995) define 20 classes de tolerâncias fundamentais para determinar a qualidade da usinagem, cuja utilização é indicada no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 | Exemplo de indicação de tolerâncias lineares

a	Cota nominal e os desvios	
b	Cota nominal e desvios simétricos	
c	Cotas-limite	
d	Cota-limite em uma direção	

Fonte: elaborado pela autora.

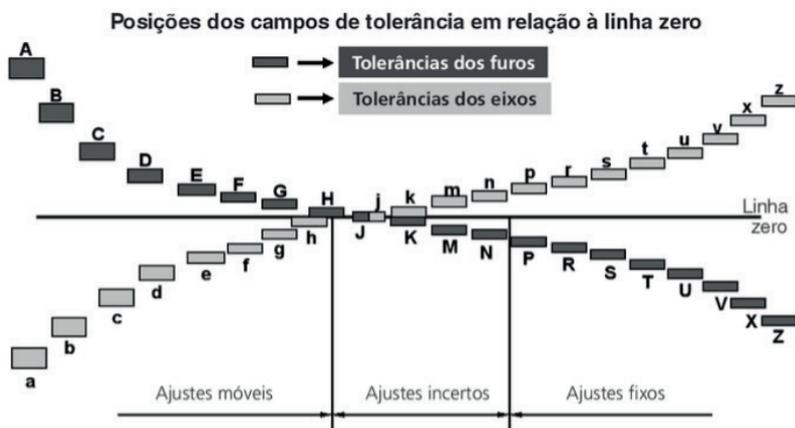
Classe de qualidade	Utilização
1 a 4	Instrumentos de calibração/padrões.
5 e 6	Construção mecânica de grande precisão.
7 e 8	Construção mecânica cuidadosa.
9 a 11	Construção mecânica corrente.
12 a 18	Construção mecânica grosseira.

Fonte: Silva et al. (2012, p. 226).

Além desta informação, é preciso especificar a posição da zona de tolerância. Desta forma, temos que para um mesmo valor de tolerância, a escolha de diferentes posições determina o tipo de ajuste, ou seja, se a peça se irá trabalhar com folga, aperto (com interferência) ou ajuste incerto.

Em relação à posição, a norma determina 28 desvios fundamentais para furos (designados com letra maiúscula) e 28 desvios fundamentais para eixos (designados com letra minúscula), conforme apresentado na Figura 3.1.

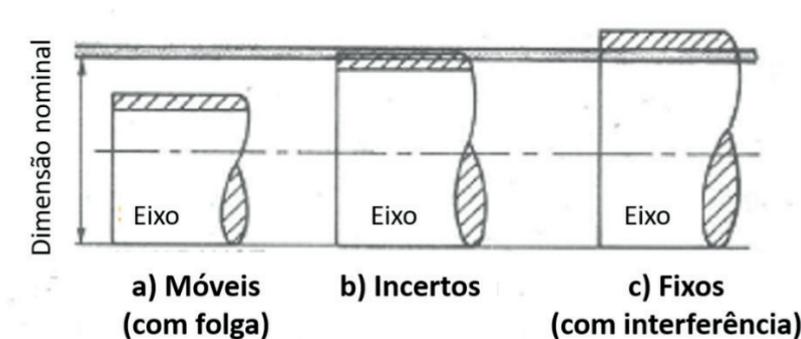
Figura 3.1 | Posição dos desvios fundamentais para furos e eixos e indicação dos tipos de ajustes



Fonte: Ribeiro et al. (2013, p. 119).

A Figura 3.2 ilustra as classes de ajustes. No caso de ajuste com folga (a), a dimensão real do eixo é menor do que a dimensão real do furo. Essa condição é garantida quando a cota mínima do furo (medida interna) é maior do que a cota máxima do eixo (medida externa). Para ajustes incertos (b), na montagem pode ocorrer folga ou aperto, portanto, é necessário calcular a folga máxima e o aperto máximo na montagem. Em um ajuste com interferência (c), a dimensão real do eixo é maior que a dimensão real do furo; em termos de tolerância, isso significa que a cota máxima do furo é menor do que a cota mínima do eixo.

Figura 3.2 | Tipos de ajustes no sistema furo-base



Fonte: adaptada de Coba Engineering. Disponível em: <<https://goo.gl/AXtTFW>>. Acesso em: 5 dez. 2017.



**Pesquise mais**

Neste momento, é interessante que você acesse a biblioteca virtual e consulte a NBR 6158/1995. Esta norma fixa o conjunto de princípios, regras e tabelas que se aplicam à tecnologia mecânica, a fim de permitir escolha racional de tolerâncias e ajustes, visando a fabricação de peças intercambiáveis. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>. Acesso em: 1 mar. 2018.

A classe de ajuste é definida por meio da combinação de uma classe de tolerâncias para furos e uma classe de tolerância para eixos (por exemplo, H7/h6). No processo de escolha do ajuste, levando-se em consideração as condições funcionais de projeto, um conjunto de classes de tolerância com o mesmo desvio

fundamental e algumas classes de qualidade são selecionados e, então, combinados com as classes de tolerância recomendadas para o eixo. Estas combinações podem ser feitas pelo sistema de furo base (baseado em furo com o desvio fundamental selecionado) ou pelo sistema de eixo base (baseado em eixo com o desvio fundamental selecionado). O primeiro sistema é o mais utilizado.



### Pesquise mais

Tenha em mente que outros fatores relacionados à aplicação, tais como acabamento superficial, lubrificação, tipo de lubrificante e variações de temperatura, também influenciam a classe de ajuste a ser selecionada. A norma faz a recomendação para o sistema de furo base de algumas classes de ajuste com base nas características de projeto. Pesquise e obtenha essa informação. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/10>>. Acesso em: 5 dez. 2017.



### Exemplificando

Uma vez que já sabemos alguns dos conceitos teóricos, iremos praticar a indicação de tolerâncias utilizando o software Autodesk Inventor para um mancal com furo de 35 mm de diâmetro, onde será montado um eixo com o tipo de ajuste deslizante, ou seja, tolerância H7.

Mancais são elementos de máquinas que servem para apoiar o eixo. Existem diversos tipos de mancais. A Figura 3.3 ilustra a aplicação similar a qual iremos trabalhar no exemplo.

Figura 3.3 | Exemplo de aplicação da utilização de mancais



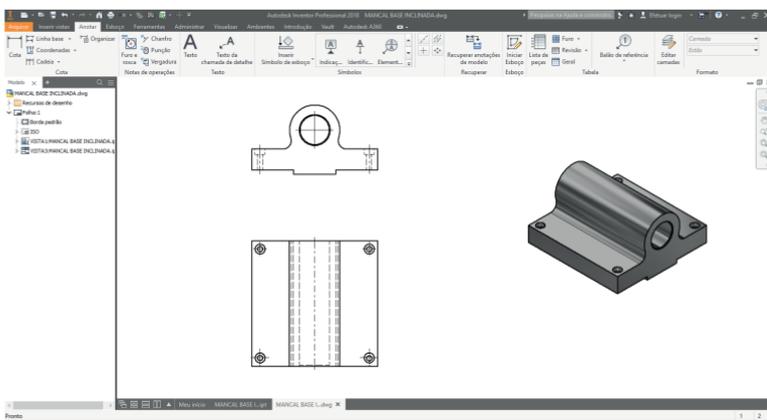
Fonte: <<https://goo.gl/74tM4t>>. Acesso em: 12 dez. de 2017.

Devemos detalhar o mancal, indicando corretamente as tolerâncias para enviar o desenho ao setor de usinagem. Além das dimensões do furo para montagem do eixo, é preciso atender as seguintes necessidades:

1. Para que o mancal consiga ser montado corretamente na base, a distância entre centros de furo não pode ser maior do que 130,2 mm e menor do que 129,8 mm.
2. A largura total do mancal não pode ser maior do que 150,5 mm. Se esta condição não for respeitada, haverá interferência na montagem do conjunto final.

Primeiramente, vamos inserir as vistas em um arquivo .dwg:

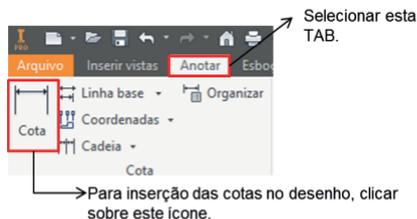
Figura 3.4 | Inserção das vistas do mancal no arquivo .dwg



Fonte: elaborada pela autora.

O próximo passo é inserir as cotas. Isso pode ser feito selecionando a *Tab* "Anotar" e, na sequência, clicar sobre o ícone da "Cota" (Figura 3.5) e, então, na aresta do elemento a ser cotado.

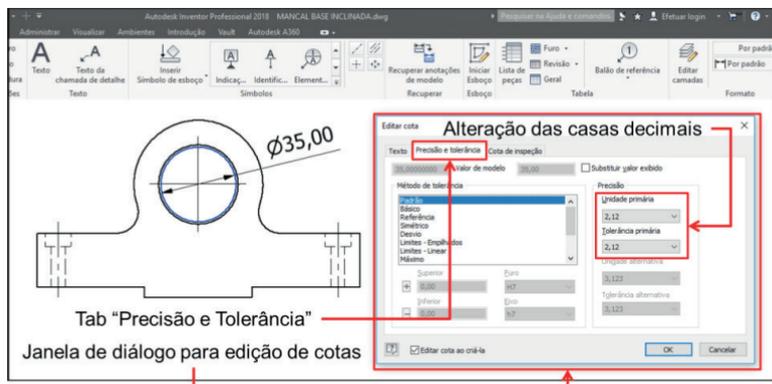
Figura 3.5 | Ícone para inserção de cotas



Fonte: elaborada pela autora.

No momento em que a cota é inserida, o programa abre uma janela "Editar cota", nela, podemos inserir símbolos e texto na cota. Selecionamos então, a TAB "Precisão e Tolerância", conforme indicado na Figura 3.6. É possível verificar que, por padrão, estão definidas duas casas decimais tanto para a unidade primária, quanto para a tolerância.

Figura 3.6 | Janela para edição de cotas



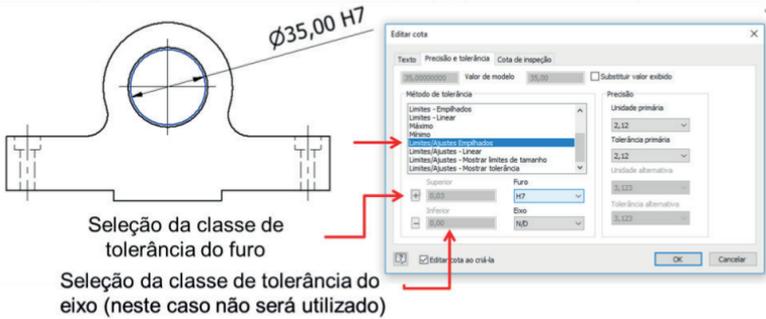
Fonte: elaborada pela autora.

Nesta janela (Figura 3.7), iremos selecionar "Limites/Ajustes Empilhados" e depois a classe de tolerância do projeto. Como não estamos detalhando o conjunto ou o eixo, propriamente dito, para este componente, deixaremos selecionado N/D na classe de tolerância.

Outra condição que requer atenção na fabricação é a distância entre centros de furos de fixação do mancal na base. Neste caso, o desvio é simétrico e igual a  $\pm 0,2$  mm. Para fazer indicação no desenho, devemos inserir a cota e editá-la, conforme indicado na Figura 3.8.

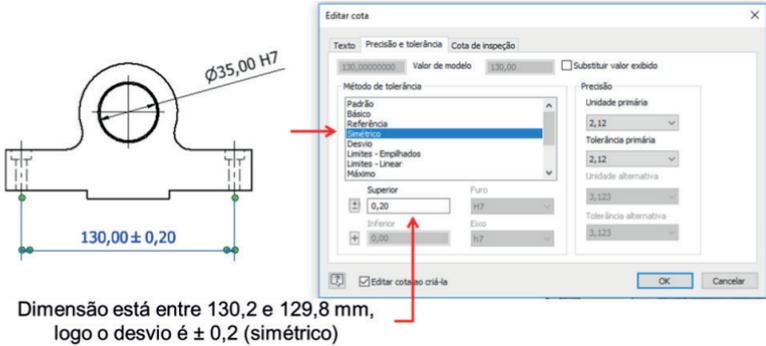
Por fim, atendendo a última condição de tolerância para este caso, temos que a largura do mancal não deve ser superior a 150,5 mm. A Figura 3.9 ilustra como deve ser feita a inserção da cota com os desvios.

Figura 3.7 | Seleção da classe de tolerância para o furo



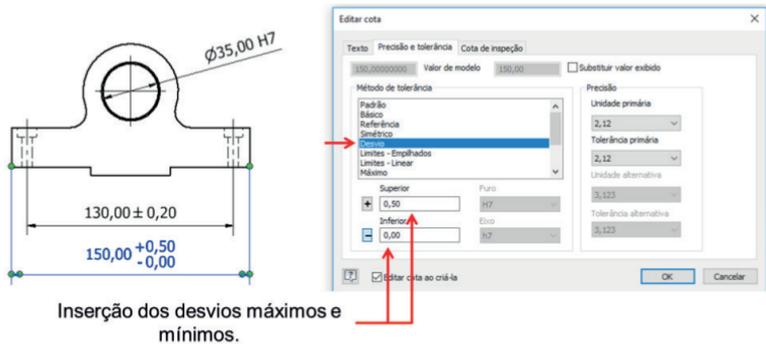
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 3.8 | Indicação de tolerância linear - desvio simétrico



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 3.9 | Inserção de cota com desvios



Fonte: elaborada pela autora.



## Refleta

Agora que você sabe indicar as tolerâncias no desenho de um componente, como é feita a indicação das tolerâncias em desenho de conjunto?

Como uma sugestão de prática, faça uma montagem de um eixo no mancal com o qual trabalhamos no exemplo anterior e indique a forma correta para especificar as tolerâncias! Você verá que é bastante simples.

Os estados de superfície estão relacionados ao grau de qualidade de acabamento exigido e está relacionado ao desgaste dos componentes, às características de contato, à lubrificação, ao escorregamento, resistência à corrosão, dentre outros.

Um aspecto importante dos estados de superfície é a sua relação com as tolerâncias uma vez que, quando o engenheiro especifica valores baixos de tolerâncias, isso implica que durante o processo fabricação seja realizado acabamento superficial adequado.



## Assimile

É importante destacar alguns termos importantes relacionados ao estado de superfície:

1. Rugosidade: medida de irregularidades da superfície.
2. Grau de acabamento: determinado em função do valor da rugosidade.
3. Estrias: sulcos com orientações bem definidas, decorrente do processo de fabricação. Podem ser especificados nos desenhos.
4. Perfil da superfície: resultado da interseção de um plano determinado perpendicular com a superfície real da peça.



## Pesquise mais

A norma que estabelece o padrão para indicação dos acabamentos superficiais é a ABNT NBR 8404:1984 (Indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos – Procedimento). Consulte a biblioteca virtual sobre os símbolos utilizados em função das especificações. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com/uk>>.

Essa informação é mandatória para que você trabalhe com o software.

A Figura 3.10 indica, no software, os ícones para inserção de símbolos de superfície e de solda nos desenhos. Ao selecionar estes ícones, aparecerá uma janela para que você indique o tipo de superfície, bem como requisitos adicionais, conforme indicado na Figura 3.11.

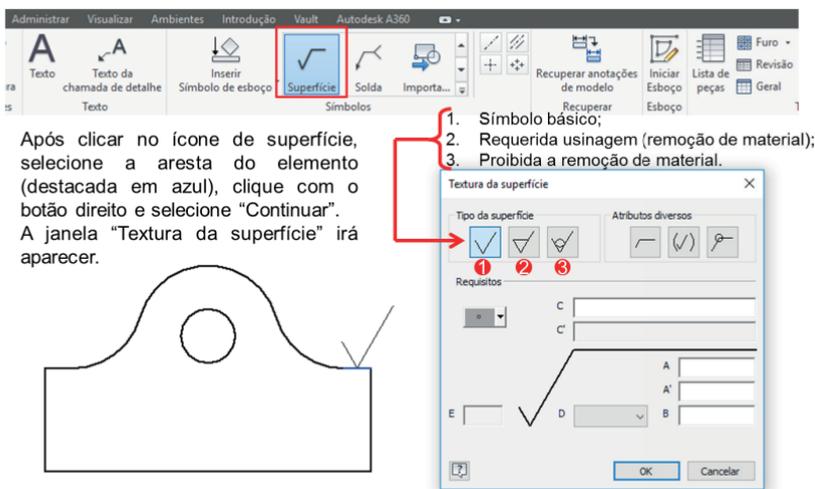
A Figura 3.12 indica os campos a serem preenchidos para que seja indicada, no desenho, a especificação completa do estado de superfície e de acabamentos superficiais.

Figura 3.10 | Símbolos de superfície e solda no Autodesk Inventor 2018



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 3.11 | Inserção da simbologia de estados de superfície



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 3.12 | Preenchimento dos campos relativos ao estado de superfície

The diagram shows a mechanical part with a circular hole and a curved top edge. Surface texture symbols are applied to the curved surface, with labels: 'Ra' (top), 'Ra min' (middle), and 'e' (bottom). A legend defines the symbols: B: Método de Produção; C: Comprimento de base; F: Outros parâmetros para rugosidade. Below the part, a legend defines: E: Tolerância de usinagem; D: Orientação das estrias.

**Importante:** No editor de estilos e normas, selecionar a referência da norma conforme quadro abaixo

The software dialog box 'Textura da superfície' is shown with the following fields: Tipo da superfície (checked), Atributos diversos (checked), Requisitos (dropdown), B: Método de Produção, B', A': Ra, A: Ra min, E, C: Comprimento de base, F: Outros parâmetros para rugosidade. A dropdown menu is open over the 'D' field, showing options: —, —, —, —, X, M.

Fonte: elaborada pela autora.

## Sem medo de errar

Agora que você conhece a teoria relacionada à tolerância dimensional e aos estados de superfície, chegou a hora de trabalharmos com a nossa situação-problema. Imagine agora que você é o engenheiro de uma empresa que fornece peças para a indústria aeronáutica e automobilística, e um dos produtos que precisa ser entregue em um projeto importante da companhia, envolve o setor de usinagem. Será necessário fabricar um conjunto de montagem de um rolamento em um eixo de 40 mm de diâmetro. Você deverá desenvolver o projeto utilizando o software *Autodesk Inventor* e fornecer os modelos 3D e 2D dos componentes com todas informações de tolerância e acabamento superficial de forma que não ocorram erros de fabricação dos componentes.

Para este projeto, algumas perguntas importantes devem ser respondidas e documentadas de forma apropriada: você consegue avaliar qual o tipo mais adequado de ajuste (com folga, com aperto ou incerto) correspondente ao acoplamento do eixo? Qual a classe de rugosidade indicada para as superfícies? Como fazer a representação do estado de superfície nos desenhos que irão

documentar o projeto? Quais as dimensões nominal, máxima e mínima das peças? Além disso, calcule a tolerância da cota e estabeleça os critérios de aceitação das peças consideradas. Caso necessário utilize a tabela de tolerância ISO (ABNT).

O fabricante de rolamento já informa em catálogos as recomendações para ajuste e folgas de rolamento. A Figura 3.13 mostra a recomendação que iremos adotar para o projeto. Ao abrir o site acesse a Tabela 1 - Rolamentos radiais de esferas.

Supondo que a aplicação é para rolamento principal de motores, em função do diâmetro de projeto, a classe de tolerância do eixo é k5 (ajuste incerto).

Figura 3.13 | Tolerâncias para eixos de aço maciços – assentos para rolamentos radiais de esferas

Condições	Diâmetro do eixo	Classe de tolerância dimensional <sup>(2)</sup>	Classe de tolerância de desvio radial total <sup>(3)</sup>	Classe de tolerância de desvio axial total <sup>(3)</sup>	Ra
	mm	–	–	–	µm
<b>Carga do anel interno rotativo ou direção da carga indeterminada</b>					
<b>Cargas leves (<math>P \leq 0,05 C</math>)</b>					
	$\leq 17$	js5	IT4/2	IT4	0,4
	$> 17$ a 100	j6	IT5/2	IT5	0,8
	$> 100$ a 140	k6	IT5/2	IT5	1,6
<b>Cargas normais a pesadas (<math>0,05 C &lt; P \leq 0,1 C</math>)</b>					
	$\leq 10$	js5	IT4/2	IT4	0,4
	$> 10$ a 17	j5	IT4/2	IT4	0,4
	$> 17$ a 100	k5	IT4/2	IT4	0,8
	$> 100$ a 140	m5	IT4/2	IT4	0,8
	$> 140$ a 200	m6	IT5/2	IT5	1,6
	$> 200$ a 500	n6	IT5/2	IT5	1,6
	$> 500$	p7	IT6/2	IT6	3,2

Fonte: <<http://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/principles/bearing-selection-process/bearing-interfaces/tolerances-for-standard-conditions/index.html>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

A Figura 3.14 apresenta o modelo 3D do eixo com o qual estamos trabalhando e a Figura 3.15 apresenta o detalhamento específico da ponta do eixo, com a indicação da tolerância e da rugosidade requerida, bem como acabamento superficial. Estude e discuta com seu professor outras possibilidades para detalhamento do desenho respeitando as premissas da norma.

A classe de qualidade do projeto do eixo é IT5. Para esta classe a tolerância é de 0,011 mm. O desvio inferior é 0,002 mm. Estes valores são retirados da tabela da norma. Desta forma, tem-se que:

$$T = ES - EI \quad (\text{Eq. 3.1})$$

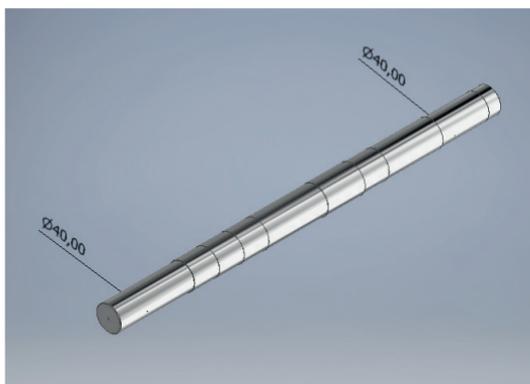
Onde  $T$  é tolerância,  $ES$  é o desvio superior e  $EI$  é o desvio inferior. Para o caso da solução-problema, fica:

$$ES = T + EI$$

$$ES = 0,011 + 0,002 \text{ (Eq. 3.2)}$$

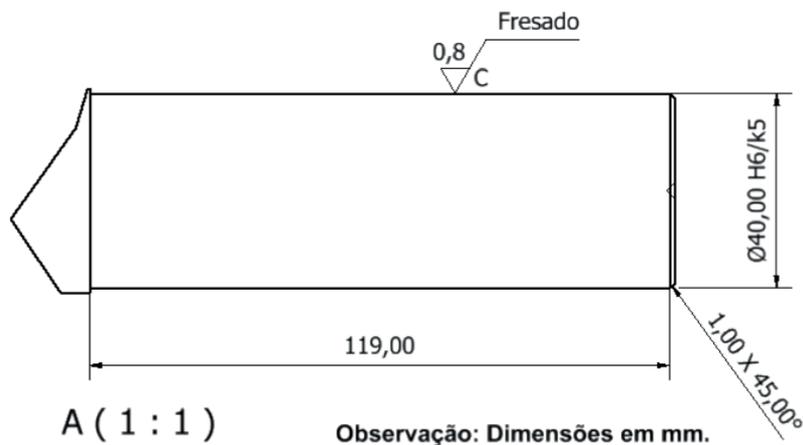
$$ES = 0,013 \text{ mm}$$

Figura 3.14 | Modelo 3D do eixo



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 3.15 | Detalhamento da ponta do eixo (de interesse para montagem do conjunto)



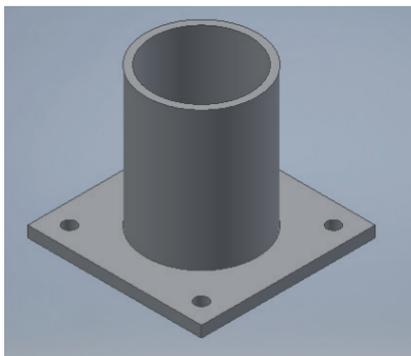
Fonte: elaborada pela autora.

### Inserindo símbolos de soldagem

#### Descrição da situação-problema

O supervisor do setor de solda comunica o setor de engenharia que a fábrica está com uma solicitação para fabricação de um suporte que consiste em um tubo soldado em uma sapata quadrada (Figura 3.16), com furos para fixação na base do conjunto. Este item, no entanto, não possui desenho especificando como deverá ser feita a solda. A solda em ângulo será realizada na fábrica, com todo o controle de qualidade, e deverá ser feita em todo o contorno do tubo na sapata e o cordão de solda deverá possuir garganta de 5 mm. Você consegue projetar as vistas da peça com a correta especificação de solda para que o problema na fábrica seja resolvido? Quais os comandos do Autodesk Inventor deverão ser utilizados para a realização da tarefa? Precisamos ser ágeis, pois a peça precisa ser entregue hoje para a empresa terceira responsável pelo tratamento superficial. Se houver atraso, impactará na entrega final do cliente.

Figura 3.16 | Modelo 3D do item soldado

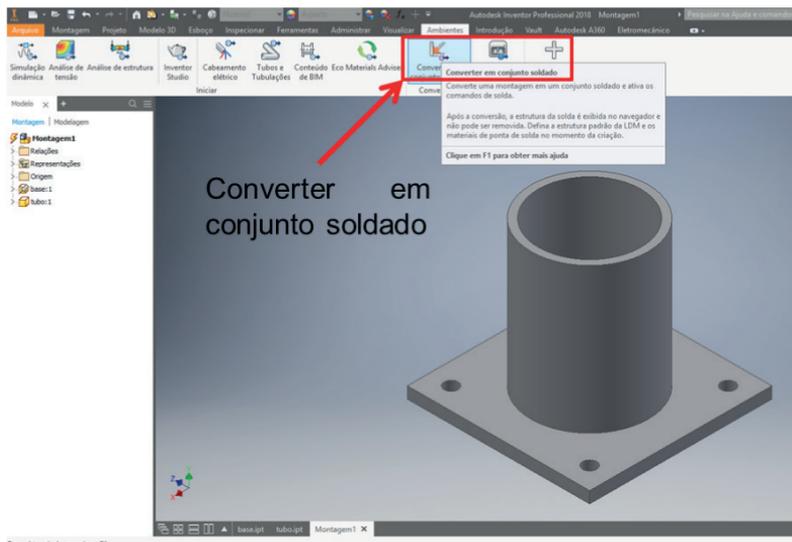


Fonte: elaborada pela autora.

#### Resolução da situação-problema

Iniciando o trabalho, primeiramente, precisamos converter a montagem em conjunto soldado. Feito isso, irão aparecer as opções conforme Figura 3.17.

Figura 3.17 | Convertendo a montagem em um conjunto soldado



Após realizar a conversão, de acordo com a ISO, irão aparecer as seguintes opções:



Fonte: elaborada pela autora.

Selecionando o ícone “Arredondamento”, irá aparecer uma caixa de diálogo conforme a Figura 3.18. Neste caso, iremos tomar a base como a Face 1, o tubo como a Face 2 e a garganta da solda considerada igual a 5 mm. Após inserir os parâmetros, devemos clicar em “OK” e depois em “Retornar”, para voltarmos ao modelo 3D. A Figura 3.19 indica como fazer a indicação da solda no desenho que irá documentar o projeto.

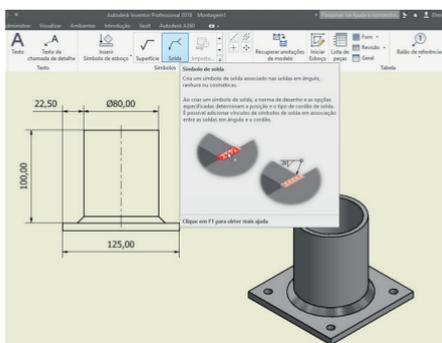
Figura 3.18 | Inserção dos dados na caixa de diálogo



Especificação da dimensão da garganta da solda

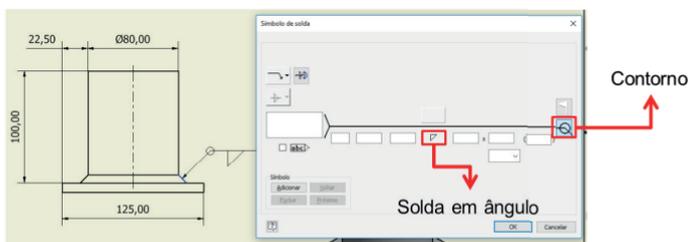
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 3.19 | Inserção do símbolo de solda no desenho



Ao selecionar "Solda", selecionamos o elemento a ser especificado e irá aparecer a caixa de diálogo "Símbolo de Solda".

Nessa janela, selecionamos a solda em ângulo (inferior), indicando que é o mesmo lado e, também que a solda será em todo o contorno da peça.



Fonte: elaborada pela autora.

## Faça valer a pena

**1.** A tolerância dimensional indica a amplitude máxima de variação permitida para determinada cota, com o principal objetivo limitar os erros de fabricação das peças e também na montagem dos conjuntos, em que é preciso fazer a avaliação da combinação da classe de tolerância para furo com a classe de tolerância para o eixo. Em relação às classes de ajustes, foram feitas as seguintes afirmações:

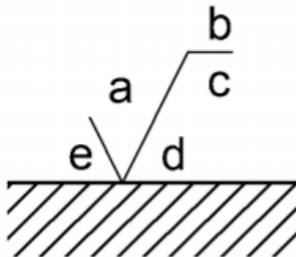
- I. Ajuste com folga é onde a dimensão real do eixo é maior do que a dimensão real do furo.
- II. No ajuste com interferência, a dimensão real do eixo é menor do que a dimensão real do furo.
- III. Para ajustes incertos, na montagem pode ocorrer tanto folga quanto aperto.
- IV. As combinações para definição da classe do ajuste são feitas, preferencialmente, no sistema furo-base.

É CORRETO o que se afirma em:

- a) Apenas I.
- b) Apenas I, II e III.
- c) Apenas III e IV.
- d) Apenas II.
- e) Apenas IV.

**2.** Os estados de superfície estão relacionados ao grau de qualidade de acabamento exigido ao projeto. A norma que estabelece o padrão para indicação dos acabamentos superficiais nos desenhos é a ABNT NBR 8404:1984. A Figura 3.21 indica a especificação de estados de superfície.

Figura 3.20 | Especificação de estados de superfície



Fonte: Fortulan (2017, p. 12).

Analisando a figura, é correto afirmar que a letra "a", destacada no símbolo indicativo de qualidade superficial, corresponde a:

- a) Comprimento de base.
- b) Direção das estrias.
- c) Método de fabricação ou tratamento superficial.
- d) Valor da rugosidade ou classe da rugosidade.
- e) Sobremetal para usinagem.

**3.** Um projetista deve informar no desenho as cotas limites do furo de determinada peça. O furo em questão possui 120 mm de diâmetro e classe de tolerância N4. O engenheiro de processos pediu que sejam indicadas no desenho a cota máxima e a cota mínima, ao invés da simbologia preconizada pela norma, que indica somente a classe de tolerância.

As cotas-limites (cota máxima e cota mínima) para este furo em questão, considerando classe de tolerância N4 são:

- a)  $C_{máx} = 120mm$  e  $C_{min} = 119,988mm$ .
- b)  $C_{máx} = 120,006mm$  e  $C_{min} = 119,994mm$ .
- c)  $C_{máx} = 119,989mm$  e  $C_{min} = 119,977mm$ .
- d)  $C_{máx} = 120,012mm$  e  $C_{min} = 120mm$ .
- e)  $C_{máx} = 119,994mm$  e  $C_{min} = 119,977mm$ .

## Seção 3.2

### Símbolos geométricos e tolerância geométrica

#### Diálogo aberto

Caro aluno, na Seção 3.1 estudamos a questão da tolerância dimensional, que tem como principal objetivo limitar os erros de fabricação ao impor limites aceitáveis de variação de dimensão aos quesitos de qualidade e de funcionamento do item, quando este for adicionado ao seu conjunto final de montagem. No entanto, será que somente a designação de limites de variação dimensional é suficiente para fabricação de determinado componente mecânico?

Além das tolerâncias dimensionais é preciso que a peça a ser fabricada também atenda aos requisitos relacionados à geometria. Desta forma, conforme veremos nesta seção, a tolerância geométrica tem a importante função de limitar os erros geométricos cometidos na fabricação das peças, impondo variações aceitáveis na forma e/ou posicionamento dos elementos. Isso é de fundamental importância para a manufatura, que consegue estabelecer o processo de fabricação mais adequado para determinado elemento, bem como para o setor responsável pela qualidade, que consegue realizar as verificações de forma bem definida.

Neste sentido, imagine que na empresa onde você é o engenheiro, o departamento de usinagem adquiriu uma máquina de usinagem CNC e precisa de algumas informações para alimentar o software CAM. Quais são as informações relacionadas à tolerância geométrica de forma, orientação e posição para o eixo cuja tolerância dimensional já foi determinada anteriormente? Como fazemos para inserir essas informações no desenho que será utilizado para a fabricação pelo setor de manufatura? Se somente inserirmos todas as informações de forma correta, daremos condição ao operador do CNC para que ele não cometa falhas e a peça saia conforme o projeto? Você, que deseja se tornar um profissional de sucesso, deve conhecer e aprofundar neste e em outros assuntos. Ao adquirir este conceito, certamente pode contribuir como o processo de fabricação.

Ótimo estudo e bom trabalho!

## Não pode faltar

A Norma ABNT NBR 6409/1997 (ABNT, 1997) estabelece toda a simbologia que deve ser utilizada para representação de tolerâncias geométricas. O Quadro 3.3 apresenta a simbologia utilizada na tolerância geométrica.

Quadro 3.3 | Simbologia utilizada em tolerância geométrica

CARACTERÍSTICAS		SÍMBOLO
FORMA PARA ELEMENTOS ISOLADOS	Retilidade	
	Planicidade (planeza)	
	Circularidade	
	Cilindricidade	
	Forma de uma linha qualquer	
	Forma de uma superfície qualquer	
ORIENTAÇÃO PARA ELEMENTOS ASSOCIADOS	Paralelismo	
	Perpendicularidade	
	Inclinação	
POSIÇÃO PARA ELEMENTOS ASSOCIADOS	Localização de um elemento	
	Concentricidade e Coaxialidade	
	Simetria	
BATIMENTO	Superfície indicada	
	Total	

Fonte: adaptado de André (2017).



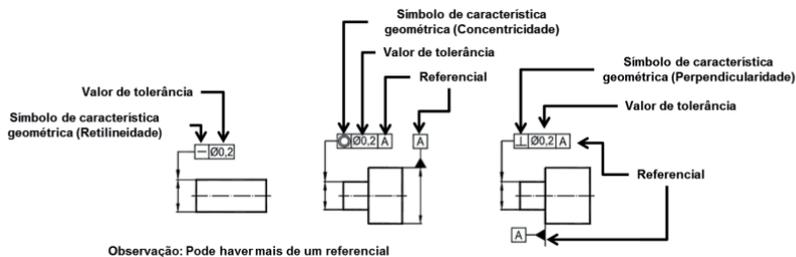
Pesquise mais

É importante que você conheça as definições relacionadas à tolerância geométrica de forma a padronizar e facilitar o entendimento de princípios e conceitos. Para isso, utilize sua Biblioteca Virtual e acesse a Norma ABNT NBR 6409/1997 - Tolerâncias geométricas - Tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - Generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho.

As tolerâncias de forma e posição devem ser inscritas nos desenhos em quadros retangulares, divididos em duas ou mais partes (Figura 3.21). Nas divisões, são inscritos da esquerda para a direita, na ordem como segue:

1. Símbolo da característica geométrica a ser tolerada (Figura 3.21);
2. Valor da tolerância em milímetros (modificadores podem estar indicados aqui);
3. Indicação dos referenciais (elementos de referência). Neste caso, os modificadores também podem estar indicados.

Figura 3.21 | Indicação de tolerância geométrica nos desenhos



Fonte: elaborada pela autora.



**Assimile**

O símbolo de "Modificador" é um símbolo especial que significa a aplicação de um princípio ou condição à tolerância. São geralmente representados por letras maiúsculas colocadas no interior de um círculo.

Além disso, a tolerância geométrica aplicada a determinado elemento pode estar relacionada a outro elemento; estes são os elementos "Referenciais". Um exemplo são as relações de paralelismo ou de perpendicularidade que são definidas para um elemento em relação a outro. Isso torna necessária a colocação de um referencial no segundo elemento.

O quadro de tolerância geométrica é ligado ao elemento com tolerância por uma linha de cota, podendo ocorrer as seguintes situações:

1. Quando o elemento é uma aresta ou superfície, a seta aponta diretamente para o elemento em questão.
2. Quando o elemento com tolerância é um eixo ou plano médio, a linha de cota da tolerância é posicionada no prolongamento da cota.
3. Outra forma para indicar elemento com tolerância em eixos é posicionar a seta indicativa da tolerância sobre a linha de centro do mesmo.



Você sabe em quais situações é necessário aplicar as tolerâncias geométricas nos desenhos e na fabricação de peças e produtos? Existe alguma relação entre tolerância dimensional e tolerância geométrica que deve ser considerada em suas aplicações? Reflita sobre estes importantes pontos e torne-se mais preparado para o uso desses elementos.

Vamos agora acompanhar o passo a passo para inserção da simbologia no nosso software de trabalho, o Autodesk Inventor 2018:

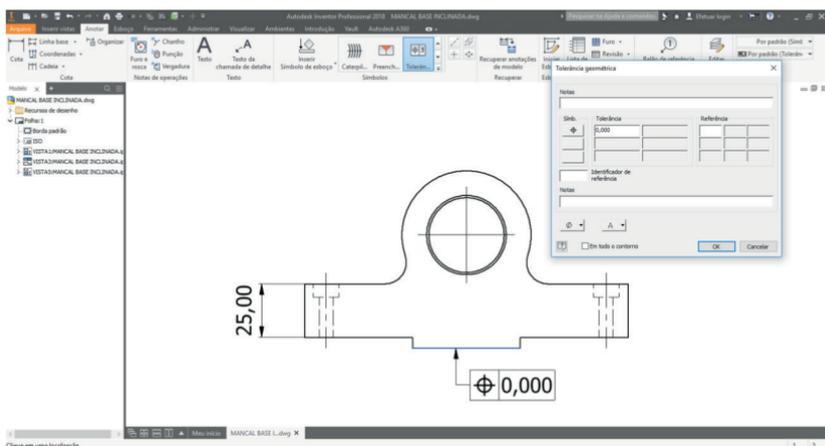
1. Na aba "Anotar", expanda a lista de "Símbolos".
2. O ícone para inserção de tolerâncias está destacado na Figura 3.22.
3. Clicando no ícone, a aresta do elemento onde a tolerância geométrica será indicada deve ser selecionada e então, clicando com o botão direito do mouse, surgirá a caixa de diálogo conforme apresentado na Figura 3.23. A Figura 3.24 apresenta os detalhes para preenchimento da caixa de diálogo, conforme estabelece a norma.

Figura 3.22 | Inserindo a simbologia de tolerância geométrica no desenho



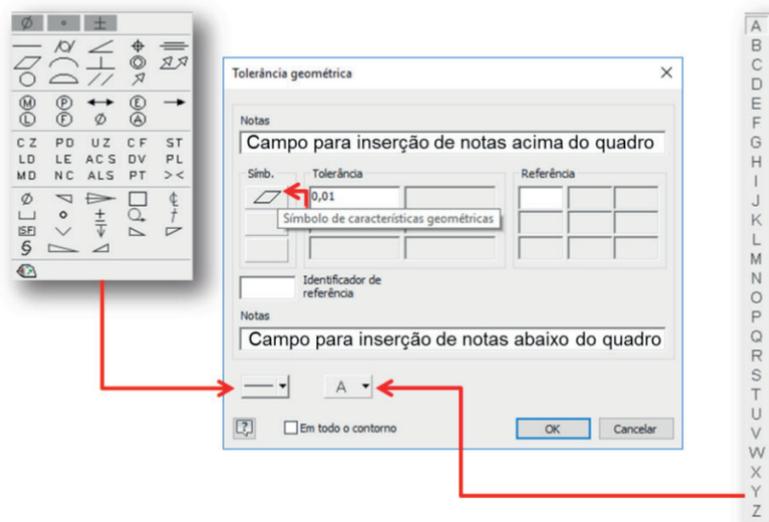
Fonte: elaborada pela autora.

Figura 3.23 | Abertura da caixa de diálogo para inserção da simbologia de tolerância geométrica



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 3.24 | Preenchimento dos campos para inserção de tolerância geométrica

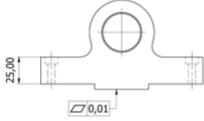
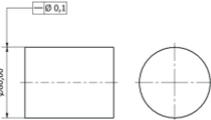
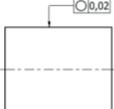


Fonte: elaborada pela autora.



Como já sabemos inserir os símbolos de tolerância geométrica no software Autodesk Inventor, agora nós vamos estudar alguns casos de aplicação de tolerâncias geométricas de forma e as respectivas interpretações, conforme apresentado na Figura 3.25:

Figura 3.25 | Aplicação e interpretação de tolerâncias geométricas de forma para elementos isolados

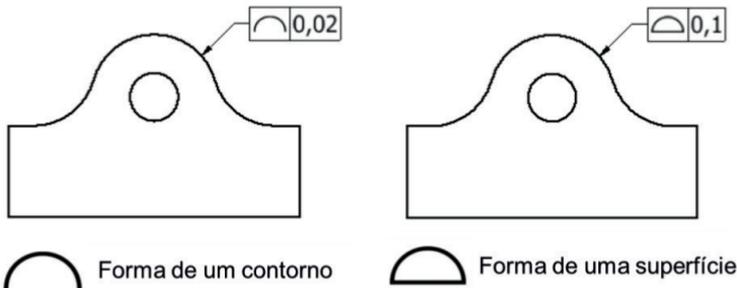
SÍMBOLO	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	INTERPRETAÇÃO
 (Planeza)		A <b>superfície inferior do mancal</b> deve estar contida entre dois planos paralelos distantes 0,01 mm entre si.
 (Retilidade)		O <b>eixo do cilindro</b> deve estar contido em zona de tolerância cilíndrica com 0,1 mm de diâmetro
 (Circularidade)		A <b>seção perpendicular do eixo</b> , para qualquer plano perpendicular, deverá estar contida entre dois círculos concêntricos, afastados entre si em 0,02 mm.
 (Cilindricidade)		A <b>superfície exterior do cilindro</b> deve estar contida entre cilindros concêntricos afastados entre si em 0,1 mm.

Fonte: elaborada pela autora.



Existem outros dois símbolos de tolerância geométrica de forma que não foram exemplificados no quadro anterior. Consulte a norma e bibliografias complementares e interprete as tolerâncias geométricas expostas na Figura 3.26. Não hesite em consultar seu professor também!

Figura 3.26 | Simbologia para tolerância geométrica de forma de contorno e de forma de uma superfície



Fonte: elaborada pela autora.

Uma outra classe de tolerância geométrica é a de posição. A Figura 3.27 apresenta as aplicações e os símbolos utilizados, cuja inserção se dá da mesma forma como foi visto anteriormente.

Figura 3.27 | Aplicação e interpretação de tolerâncias geométricas de posição para elementos associados

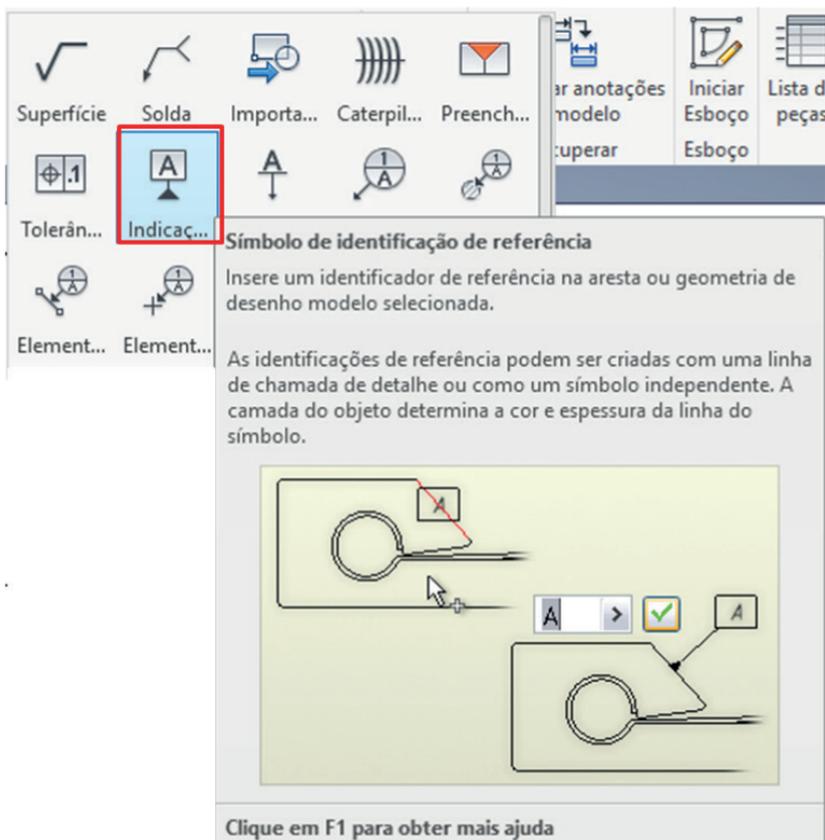
SÍMBOLO	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	INTERPRETAÇÃO
<p>(Posição)</p>		<p>O <b>eixo do furo</b> deve estar localizado dentro da zona de tolerância circular de diâmetro igual a 0,1 mm. O eixo do furo está determinado pelas cotas teoricamente exatas.</p>
<p>(Concentricidade ou coaxialidade)</p>		<p>O <b>eixo do cilindro</b> deverá estar contido em uma zona de tolerância cilíndrica de diâmetro 0,05, coaxial com o eixo referencial.</p>
<p>(Simetria)</p>		<p>O <b>eixo do furo</b> deverá estar contido entre duas linhas paralelas distantes 0,05 mm entre si e posicionadas simetricamente em relação ao plano de referência.</p>

Fonte: elaborada pela autora.

Tolerâncias geométricas de orientação, tais como paralelismo, perpendicularidade e inclinação são sempre expressas em relação a um referencial. A classe de tolerância vista anteriormente, nos casos de concentricidade e simetria também utilizam um eixo ou um plano de referência.

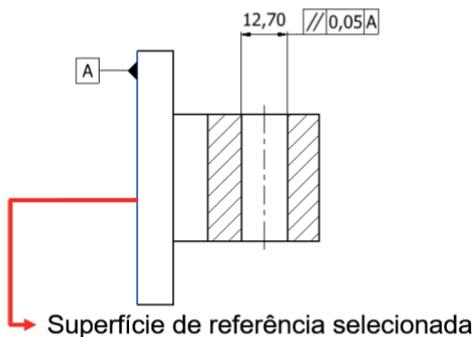
O referencial pode ser indicado diretamente ou por intermédio de letras. Para inserção do símbolo de referencial utilizando nosso software de trabalho, devemos clicar sobre o ícone destacado na Figura 3.28, localizado na lista de "Símbolos" e, então clicar sobre a superfície de referência da peça, conforme indicado na Figura 3.29.

Figura 3.28 | Inserção do símbolo de referencial



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 3.29 | Seleção da superfície de referência



Fonte: elaborada pela autora.

O caso destacado ilustra um exemplo de tolerância geométrica de orientação onde o eixo do furo deverá estar contido entre duas linhas paralelas em relação à superfície A, nosso referencial, e, essas linhas devem estar distantes entre si de 0,05 mm. A indicação do referencial quando se trabalha com peças onde precisamos indicar a tolerância geométrica de orientação é mandatória.

Veremos na Figura 3.30 outros casos de tolerância geométrica de orientação e suas interpretações.

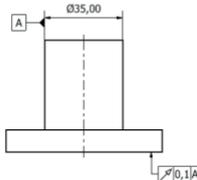
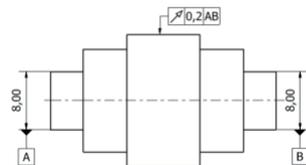
Figura 3.30 | Aplicação e interpretação de tolerâncias geométricas de orientação para elementos associados

SÍMBOLO	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	INTERPRETAÇÃO
<p>(Perpendicularidade)</p>		<p>O <b>eixo do cilindro</b> deve estar contido em zona de tolerância cilíndrica de 0,1 mm de diâmetro perpendicular ao referencial A.</p>
<p>(Inclinação)</p>		<p>A <b>superfície inclinada</b> deverá estar contida entre dois planos, afastados entre si em 0,05 mm e que fazem um ângulo de 25° com a superfície de referência A.</p>

Fonte: elaborada pela autora.

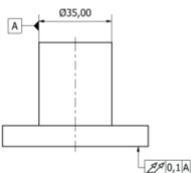
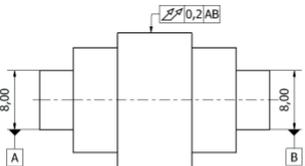
Por fim, estudaremos as tolerâncias de batimento, que são aplicados a peças/componentes que irão rotacionar. Esta classe de tolerância é medida de forma dinâmica e controla, simultaneamente, a forma e localização dos elementos em relação ao referencial. No caso de batimento circular (Figura 3.31), o batimento é verificado independentemente para cada uma das superfícies, enquanto que no batimento total, o batimento deve ser verificado simultaneamente para todas as superfícies da peça (Figura 3.32).

Figura 3.31 | Aplicação de tolerâncias de batimento circular

SÍMBOLO	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	INTERPRETAÇÃO
 (Batimento Circular Axial)		Em uma revolução em torno do <b>eixo de referência</b> , o batimento da superfície tolerada precisa estar contido entre duas linhas paralelas, distantes entre si de 0,1 mm e perpendiculares ao eixo.
 (Batimento Circular Radial)		Em uma revolução completa em torno do <b>eixo de referência definido por A e B</b> , a oscilação não pode ser superior a 0,2 mm.

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 3.32 | Aplicação de tolerâncias de batimento total

SÍMBOLO	EXEMPLO DE APLICAÇÃO	INTERPRETAÇÃO
 (Batimento Total Axial)		Em uma revolução em torno do <b>eixo de referência</b> , o batimento da superfície tolerada precisa estar contido entre duas linhas paralelas, distantes entre si de 0,1 mm e perpendiculares ao eixo.
 (Batimento Total Radial)		A superfície deve estar na zona de tolerância compreendida entre dois cilindros coaxiais, com diferença de raio de 0,2 mm e o eixo coincidente com o eixo de referência A-B.

Fonte: elaborada pela autora.



Aqui vimos, para cada classe de tolerância geométrica, uma aplicação correspondente, no entanto, em sua vida profissional você certamente irá se deparar com outras aplicações. Busque outros casos de aplicação de tolerâncias geométricas. Uma sugestão interessante para você aprofundar seus conhecimentos é assistir o vídeo:

Detalhamento de Projetos Mecânicos com Padrão ABNT – Aula 3. Render. 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=-6gThrFTYxY>>. Acesso em: 15 dez. 2017. Bons estudos!

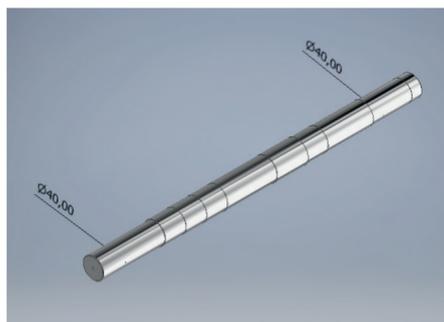
## Sem medo de errar

Imagine que você é o engenheiro de uma empresa que atua no ramo de usinagem e caldeiraria, mais precisamente, do setor de usinagem e, após reunião com o cliente, onde obteve todas as informações sobre o projeto, irá desenvolver, utilizando o software Autodesk Inventor, os modelos 3D das peças solicitadas e enviar ao setor de manufatura os desenhos das peças.

O seu departamento adquiriu uma máquina de usinagem CNC e precisa de algumas informações para alimentar o software CAM.

Vamos voltar ao eixo com o qual trabalhamos na seção anterior (Figura 3.34). Quais são as informações relacionadas à tolerância geométrica de forma, orientação e posição? Como fazemos para inserir essas informações no desenho que será utilizado para a fabricação pelo setor de manufatura? Vamos apresentar ao chefe da engenharia o desenho do eixo em uma folha com o projeto detalhado, com legenda personalizada da empresa.

Figura 3.33 | Modelo 3D do eixo (Autodesk Inventor 2018)

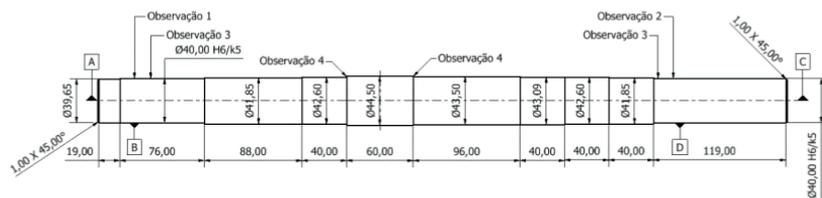


Fonte: elaborada pela autora.

O supervisor de engenharia fez um esboço do eixo apontando os requisitos e tolerâncias geométricas para o projeto. As observações feitas por ele estão listadas abaixo e o esboço apresentado na (Figura 3.34).

1. Observação 1: A seção circular apontada deve estar contida entre dois círculos concêntricos que distam 0,2 mm entre si, além disso a aresta apontada deverá estar contida entre duas linhas paralelas, e paralelas em relação ao referencial B, distantes 0,05 mm entre si.
2. Observação 2: A seção circular apontada deve estar contida entre dois círculos concêntricos que distam 0,2 mm entre si, além disso a aresta apontada deverá estar contida entre duas linhas paralelas, e paralelas em relação ao referencial D, distantes 0,05 mm entre si.
3. Observação 3: Ambos os cilindros indicados deverão estar contidos em dois cilindros coaxiais distantes entre si de 0,2 mm. Os eixos destes cilindros devem ser coincidentes com o eixo de referência AC.
4. Observação 4: Em uma revolução em torno do eixo de referência AC, o batimento da superfície deve estar contido entre duas linhas paralelas e distantes entre si de 0,1 mm e perpendiculares ao referencial (eixo).

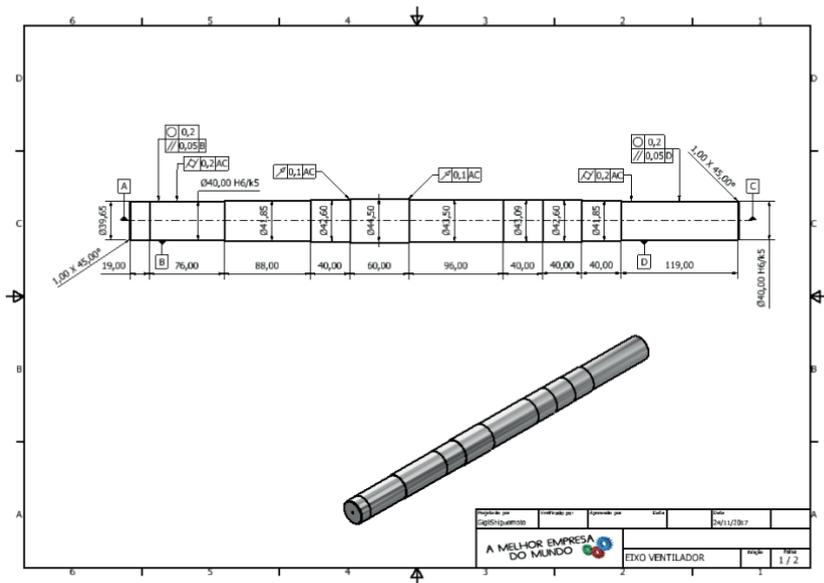
Figura 3.34 | Esboço do eixo



Fonte: elaborada pela autora.

Analisando as observações feitas pelo supervisor, temos que a Observação 1 e a Observação 2 estão relacionadas à tolerância de circularidade, quando o supervisor faz referência à seção circular precisar estar contida entre círculos concêntricos distantes 0,02 mm entre si, e paralelismo, fazendo referência às superfícies referenciais B e D, quanto à orientação. A terceira observação faz referência à cilindricidade do eixo, já a quarta observação se refere o batimento circular axial. Agora é só fazer o detalhamento do eixo como foi solicitado! A Figura 3.35 apresenta o nosso projeto final. Pratique e faça você também o projeto utilizando o software Autodesk Inventor 2018!

Figura 3.35 | Apresentação final do projeto



Fonte: elaborada pela autora.

## Avançando na prática

### Modificadores

#### Descrição da situação-problema

Como mencionamos anteriormente, podemos incluir nos quadros de tolerância indicados no desenho símbolos complementares, os modificadores. Os modificadores podem ser aplicados ao valor da tolerância, referencial ou a ambos e são posicionados ao lado do valor numérico de tolerância. O Quadro 3.2 apresenta os símbolos modificadores.

A condição de máximo material indica a condição de um elemento de forma que as dimensões locais se encontram no limite onde o material do elemento é máximo. Como por exemplo, o menor diâmetro de um furo ou o maior diâmetro de um eixo. Por outro lado, a condição de mínimo material indica a condição de um elemento em que as dimensões locais se encontram no limite mínimo de material. Como é o caso do menor diâmetro do eixo ou maior diâmetro de furo.

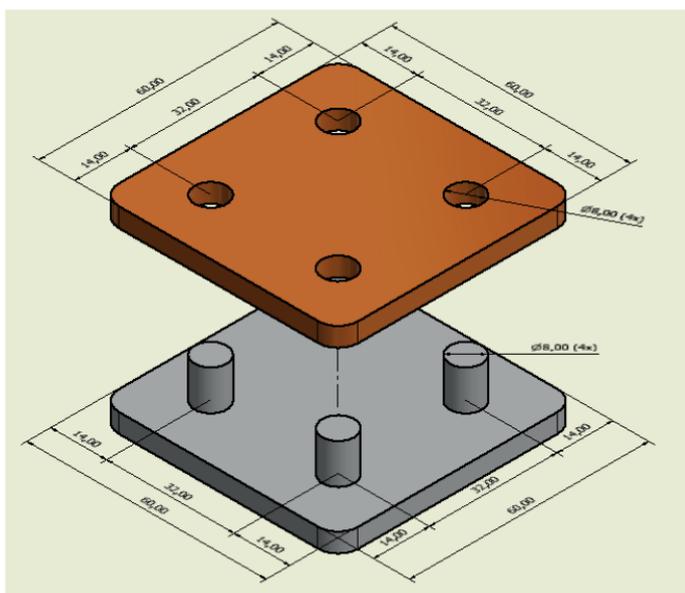
Quadro 3.4 | Modificadores utilizados na tolerância geométrica

Terminologia	Símbolo
Condição de Máximo Material	(M)
Condição de Mínimo Material	(L)
Plano Tangente	(T)
Campo de Tolerância Projetado	(P)

Fonte: adaptado de Silva et al. (2012, p. 260).

Com isso em mente vamos considerar uma situação em que temos duas peças, que serão montadas uma sobre a outra e precisamos minimizar os custos de fabricação sem prejudicar a montagem. A cota de furos e pinos são iguais a 8 mm e temos uma zona de tolerância de posição no centro de cada furo de 0,1 m de diâmetro. Uma vista explodida da montagem e as cotas são apresentadas na Figura 3.37. Como faremos para indicar no desenho dos componentes essas condições para garantir que não haverá falha na montagem decorrente de erros de fabricação?

Figura 3.36 | Vista explodida da montagem

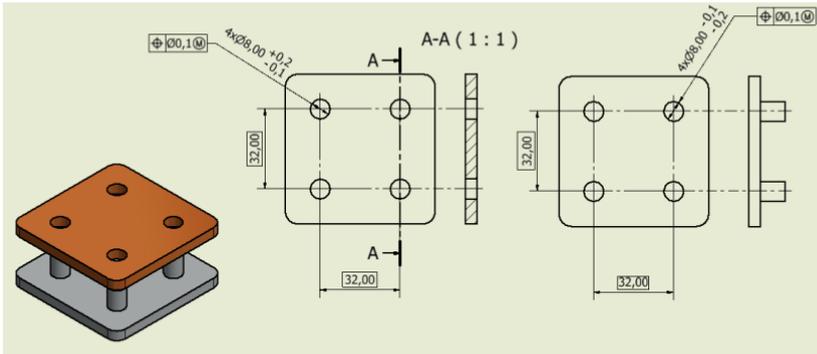


Fonte: elaborada pela autora.

## Resolução da situação-problema

Neste caso, deveremos aplicar aos elementos o modificador de máximo de material para garantir a folga, garantindo a montagem, mesmo se houver erros de fabricação. Isso implica que, na condição de máximo material, a cota mínima do furo é 8,1 mm e a cota máxima do pino é 7,9 mm. Veja como fica a indicação do desenho nesse caso:

Figura 3.37 | Detalhamento de peças com o uso de modificadores

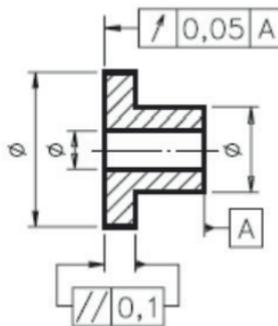


Fonte: adaptada de Silva et al. (2012, p. 260).

## Faça valer a pena

**1.** A Norma ABNT NBR 6409/1997 estabelece toda a simbologia que deve ser utilizada para representação de tolerâncias geométricas, existem classes de tolerâncias relacionadas à forma, orientação, localização e batimento. A Figura 3.38, abaixo, apresenta uma vista de um desenho com as tolerâncias geométricas indicadas.

Figura 3.38 | Representação da vista de uma peça com indicação de tolerâncias geométricas



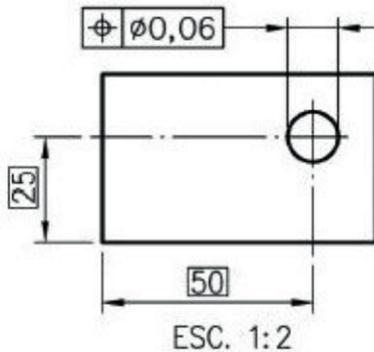
Fonte: <<https://goo.gl/SxfC9Y>>. Acesso em: 23 nov. 2017.

Analisando o desenho, podemos indicar a qual tipo de tolerância geométrica se refere a simbologia? Assinale abaixo a alternativa correta:

- a) Forma de uma superfície e inclinação.
- b) Batimento circular e paralelismo.
- c) Planeza e posição.
- d) Paralelismo e perpendicularidade.
- e) Inclinação e batimento circular.

**2.** Sobre o desenho apresentado na Figura 3.39, são feitas as seguintes afirmações:

Figura 3.39 | Ilustração da questão



Fonte: <<https://goo.gl/2aNqbV>>. Acesso em: 23 nov. 2017.

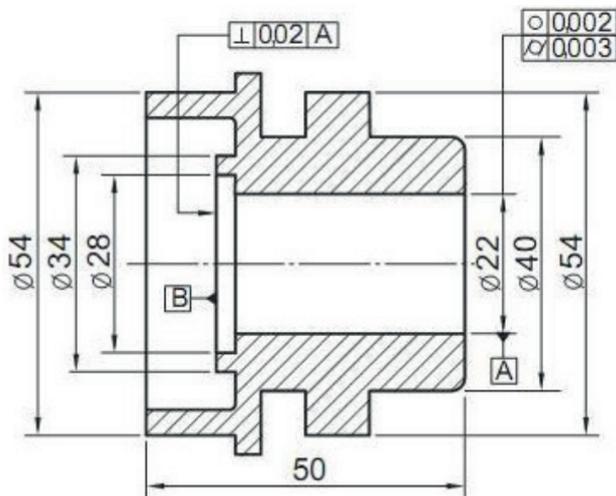
- I. O elemento tolerado é o furo.
- II. O símbolo do quadro indica tolerância de circularidade de 0,06 mm.
- III. As cotas de referência para localização do furo são as cotas de 25 e 50 mm. Por ser se tratarem de cotas teoricamente exatas, não apresentam tolerâncias e são inscritas em retângulos.

É CORRETO o que se afirma em:

- a) Apenas as afirmações I e III estão corretas.
- b) Apenas as afirmações I e II estão corretas.
- c) Apenas as afirmações II e III estão corretas.
- d) Todas as afirmações estão corretas.
- e) Nenhuma das afirmações é correta.

**3.** A NBR 6409/1997 estabelece as tolerâncias geométricas - tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento - generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho. O desenho da Figura 3.40 apresenta uma vista que foi detalhada em conformidade com a norma.

Figura 3.40 | Ilustração da questão



Fonte: <<https://goo.gl/k2F55W>>. Acesso em: 23 nov. 2017.

Após análise cuidadosa, é correto afirmar que os símbolos no desenho representam:

- Tolerância de forma para a superfície A: zona de tolerância de cilindricidade é de 0,002 mm.
- Existe especificação de tolerância de localização da superfície B em relação à superfície A (de referência).
- Tolerância de forma para a superfície A: onde a zona de tolerância de circularidade é de 0,003 mm.
- A superfície B deve manter 0,02 mm de perpendicularidade em relação à superfície A (de referência).
- Existe especificação de tolerância de forma para a superfície B em relação à superfície A (de referência).

## Seção 3.3

### Chapas e simbologia de soldagem

#### Diálogo aberto

Caro aluno, uma das principais preocupações de um projetista é o fornecimento de um desenho detalhado com a descrição de forma e tamanho, que forneça as operações de processo, quando necessário, de forma a possibilitar a fabricação da peça conforme projeto.

O desenho de qualquer componente mecânico deve considerar o processo industrial que será empregado na fabricação. Um dos métodos de fabricação bastante comum na indústria metal-mecânica é a moldagem de componentes a partir da matéria-prima em chapa. O método consiste em cortar a chapa nas dimensões da vista desenvolvida ou planificada da peça, fazer recortes específicos de projeto, quando for o caso, e, então, realizar as dobras para obtermos o produto final. É importante que, quando trabalhamos com peças produzidas a partir de chapas metálicas, a espessura desta seja especificada e que o raio de dobra não tenha fraturas do material quando realizada a dobra.

Quando o metal é submetido à dobra, a superfície externa está submetida à tração, enquanto que a interna está submetida à compressão. Quanto menor o raio de dobramento, maior é a tração na superfície externa do componente e, dessa forma, uma tração excessiva pode romper as fibras externas da chapa dobrada. Para evitar esse problema, é definido um valor mínimo de raio interno admissível, que é função do alongamento do material e da espessura da chapa, como apresenta a Equação 3.3 ou, de forma mais prática, é permitido adotar valores o raio mínimo de dobra multiplicando-se a espessura da chapa pela variação em relação ao encruamento do aço; no caso do aço essa variação vai de 1 a 3.

$$R_{min} = \frac{50e}{Al} \times \frac{e}{2} \quad (\text{Eq. 3.3})$$

Onde:

$R_{\min}$  = raio mínimo de dobra.

Al = alongamento % da chapa.

e = espessura da chapa.

Muitas das vezes, o componente resultante do processo de corte e dobra de chapa fará parte de um conjunto soldado que, após etapa de solda, deverá receber algum tipo de acabamento superficial como, por exemplo, pintura ou galvanização. Mais do que dominar a utilização do software, você deve ser capaz de representar estas características de projeto de forma correta, pois estas informações serão fundamentais para a manufatura das peças e devemos evitar ao máximo as falhas.

Com isso em mente, vamos trabalhar em um projeto que engloba esse tema. Você é o projetista contratado por uma empresa de cálculo estrutural para elaborar o projeto de um pilar de sustentação especial, uma vez que, neste caso, os engenheiros optaram por utilizar um perfil sob medida, em detrimento dos perfis laminados e soldados disponíveis no mercado.

O pilar será composto por uma alma, componente correspondente à altura do perfil, a qual serão soldadas as mesas com abas, enrijecendo as mesmas. Na base, será soldada uma chapa com furação apropriada para os chumbadores. No topo do pilar, será soldada uma chapa para fixação da estrutura que será montada sobre o perfil na obra. Neste projeto, portanto, teremos três componentes que serão cortados – alma, base e chapa superior – e dois componentes que serão cortados e dobrados – mesas do perfil. Os cinco componentes, juntos, formarão o desenho de conjunto final onde deverá estar especificada a solda, bem como o acabamento superficial do conjunto, após soldagem.

Você é capaz de apresentar um projeto com todas as vistas necessárias, incluindo a vista desenvolvida? Como indicar as cotas, posições, linhas de dobra e raio de dobra das chapas no desenho dos componentes? No desenho de conjunto, utilize um pouco do conhecimento que já vimos anteriormente, para especificar a solda e não se esqueça de indicar a pintura como acabamento superficial do conjunto! O modelo 3D deve ser fiel ao projeto e as informações

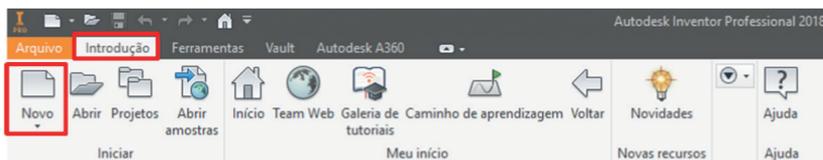
devem estar bem documentadas, para que não tenhamos falha no processo de fabricação do pilar. O prazo não deve atrasar por falhas de projeto, e o cliente não admite erros. Desta forma, você precisa trabalhar de forma rápida e precisa!

## Não pode faltar

Esta seção será dedicada ao estudo de componentes fabricados a partir de matéria prima em chapa metálica de espessura uniforme. O software Autodesk Inventor, assim como outros disponíveis no mercado, possui uma funcionalidade específica para criação, edição e documentação de componentes de chapa. Desta forma, assim que abrimos o software e iniciamos os trabalhos, precisamos selecionar o tipo de arquivo com o qual iremos trabalhar. A Figura 3.41 indica o ícone que devemos selecionar para criar um novo arquivo, seja ele sólido, chapa, montagem, vista explodida (apresentação) ou documento.

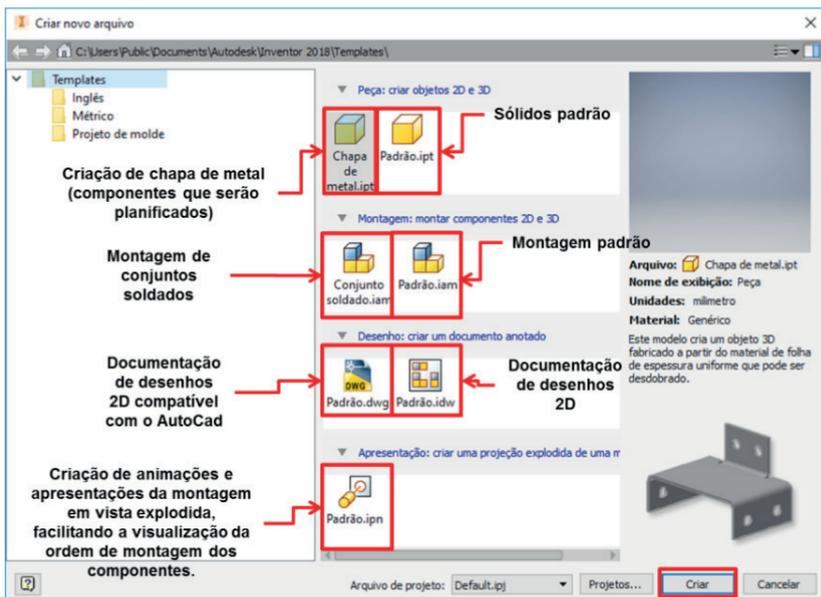
Ao fazer esta seleção, uma nova janela irá se abrir e, então, teremos a opção de selecionar um dos diversos tipos de arquivo que o software permite criar. Neste caso, iremos selecionar “Chapa de metal.ipt” e, em seguida, em “Criar” (Figura 3.42).

Figura 3.41 | Seleção para abertura de novo arquivo no Autodesk Inventor 2018



Fonte: adaptada de Autodesk Inventor 2018.

Figura 3.42 | Seleção de arquivo no Autodesk Inventor 2018



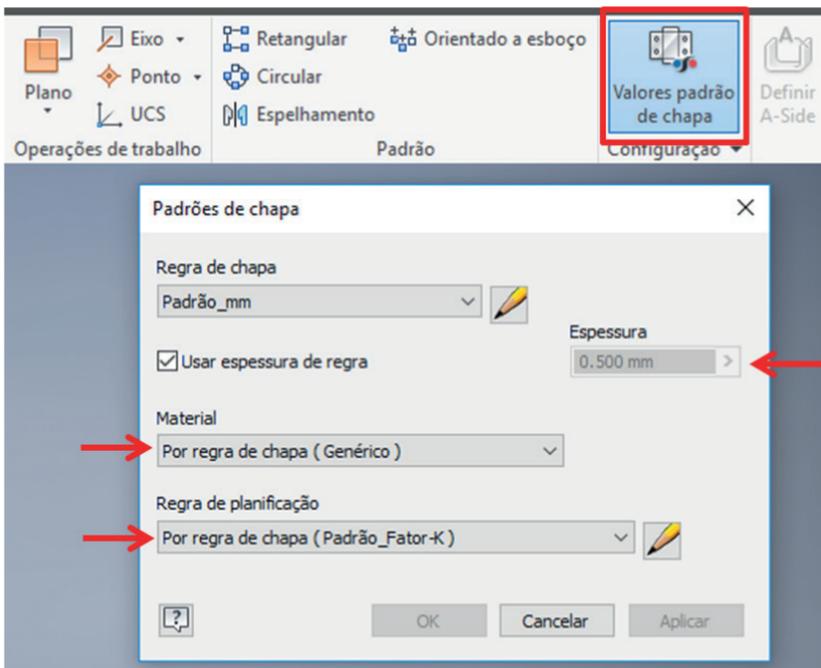
Fonte: adaptada de Autodesk Inventor 2018.

É importante lembrar que os arquivos de modelos de chapa possuem regras que podem ser determinadas pelo usuário. Dentre elas, podemos destacar:

1. Tipo e espessura do material.
2. Regra de planificação.
3. Folgas, alívios, valores de chanfro.

Para selecionar as regras, devemos clicar sobre o ícone “Valores padrão da chapa” e, então, fazer as seleções de regra de chapa cujos valores-padrão são apresentados na Figura 3.43. Esses valores podem ser editados ou criados novos padrões. Isso se faz necessário pois, como padrão, a biblioteca do software apresenta somente chapas de 0,5 mm de espessura, independentemente do tipo de material.

Figura 3.43 | Seleção de padrões de chapa



Fonte: adaptada de Autodesk Inventor 2018.



## Refleta

No dia a dia da indústria, trabalhamos com uma gama de espessuras de chapa que vão de 0,3 mm (chapas finas) a chapas extra grossas que superam 8" (203,2 mm). Não podemos ficar limitados a trabalhar somente com uma espessura. Quais são as formas e ferramentas disponibilizadas para deixar o trabalho automatizado e inserir ou alterar os padrões de chapa fornecidos, de forma que os novos padrões já fiquem disponibilizados na biblioteca do software?



## Assimile

A chapa dobrada corresponde ao produto final acabado; no entanto, para que se saiba qual a dimensão inicial da chapa a ser utilizada pela manufatura, precisamos que o componente seja planificado. O software possui uma ferramenta que planifica automaticamente componentes dobrados criados ou convertidos para o módulo de chapas.

Em relação às regras de planificação, o modelo planificado da peça que estamos projetando poderá ser gerado por três métodos distintos, de acordo com a regra de planificação selecionada:

1. Aproximação linear usando um Fator K (relação entre a distância da linha neutra e a espessura da chapa) adotado pelo software como valor padrão igual a 0,44. Tanto o *Autodesk Inventor* quanto outros softwares CAE possuem este fator e é possível que o usuário o altere. É interessante que sejam adotados os valores de K conforme relação raio de dobramento e espessura da chapa apresentados no Quadro 3.5:

Quadro 3.5 | Valores do Fator K recomendados

r/e	≥ 0,5	≥ 0,65	≥ 1	≥ 1,5	≥ 2,4	≥ 4
K	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

Fonte: Junior e Caversan (2012, p. 6).

2. Valores tabelados de dobra, em que é especificada a tolerância de dobra para determinada espessura de material em raios e ângulos de dobra específicos. Se determinado ângulo ou raio de dobra não estiver na tabela, o software faz a interpolação para determinar o valor. O Quadro 3.6 apresenta um exemplo de tabela fornecida pelo nosso software de trabalho:

Quadro 3.6 | Valores do Fator K recomendados

;	raios da dobra				
/R		0.500000	1.000.000	1.500.000	2.000.000
;	ângulo de abertura	----- valor de correção x -----			
/A	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
/A	5.000.000	0.029508	0.026252	0.024359	0.023024
/A	10.000.000	0.059349	0.053004	0.049384	0.046881
/A	15.000.000	0.089863	0.080765	0.075755	0.072419
/A	20.000.000	0.121398	0.110057	0.104168	0.100510
/A	25.000.000	0.154319	0.141429	0.135353	0.132067
/A	30.000.000	0.189014	0.175462	0.170086	0.168059
/A	35.000.000	0.225899	0.212779	0.209200	0.209526
/A	40.000.000	0.265428	0.254063	0.253600	0.257602
/A	45.000.000	0.308101	0.300062	0.304289	0.313537

/A	50.000.000	0.354475	0.351613	0.362380	0.378726
/A	55.000.000	0.405180	0.409660	0.429132	0.454742
/A	60.000.000	0.460932	0.475279	0.505980	0.543377

Fonte: <<https://goo.gl/3aVoQB>>. Acesso em: 17 jan. 2018.

3. Equações de dobramento personalizadas. As tabelas de dobra levam em conta comportamentos não-lineares dos equipamentos, portanto, podem ser as que irão fornecer modelos mais aproximados ao real. No entanto, para os nossos exemplos, deixaremos a Fator K como sendo o padrão de regra de criação de raios de dobra e de planificação.

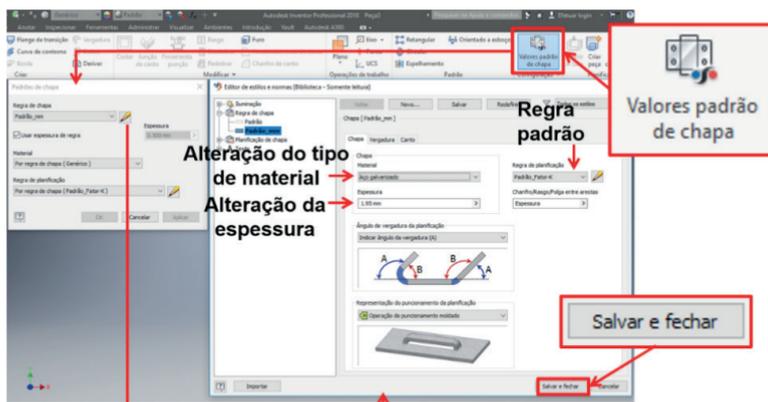
Para exemplificar a utilização do módulo de chapas e as ferramentas disponíveis no software, iremos juntos projetar uma caixa de proteção de componentes eletrônicos. Antes de qualquer coisa, precisamos selecionar a matéria-prima que será utilizada no projeto, definindo o tipo de material, espessura e regra de planificação. Vamos ver no exemplo a seguir como isso é feito!



## Exemplificando

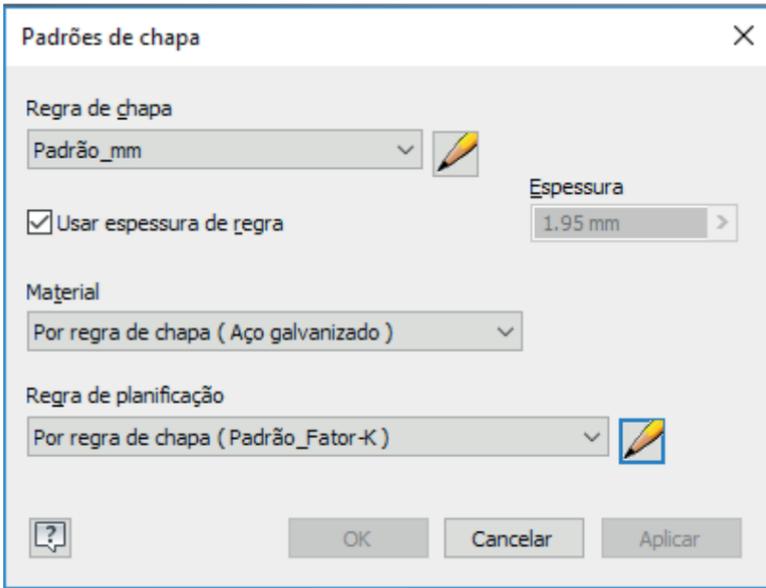
Conforme indicado na Figura 3.44, selecionamos o material aço galvanizado com 1,95 mm de espessura (chapa #14) e a regra padrão de planificação, que irá criar automaticamente o raio de dobra em função do ângulo de dobra e da espessura da chapa. O padrão de chapa, após a modificação, ficará conforme a Figura 3.45.

Figura 3.44 | Edição dos padrões de chapa



Fonte: elaborada pela autora.

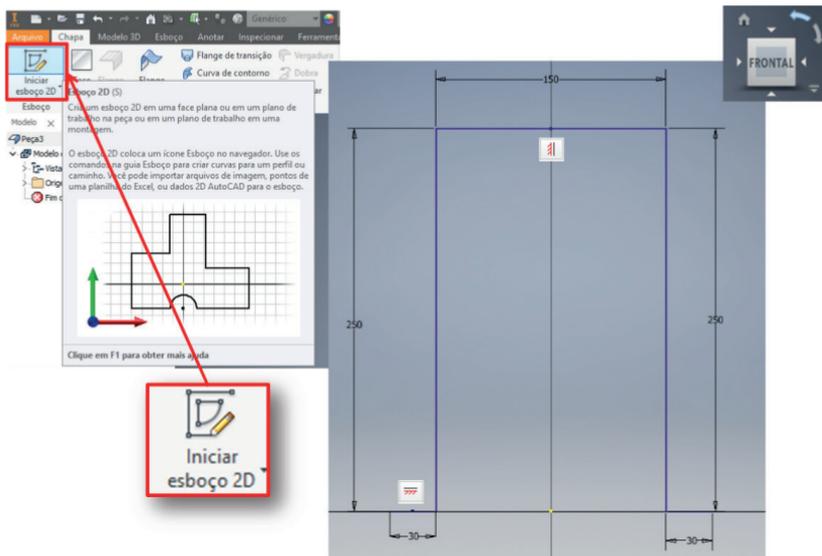
Figura 3.45 | Janela de Padrões de chapa após a alteração realizada



Fonte: adaptada de Autodesk Inventor 2018.

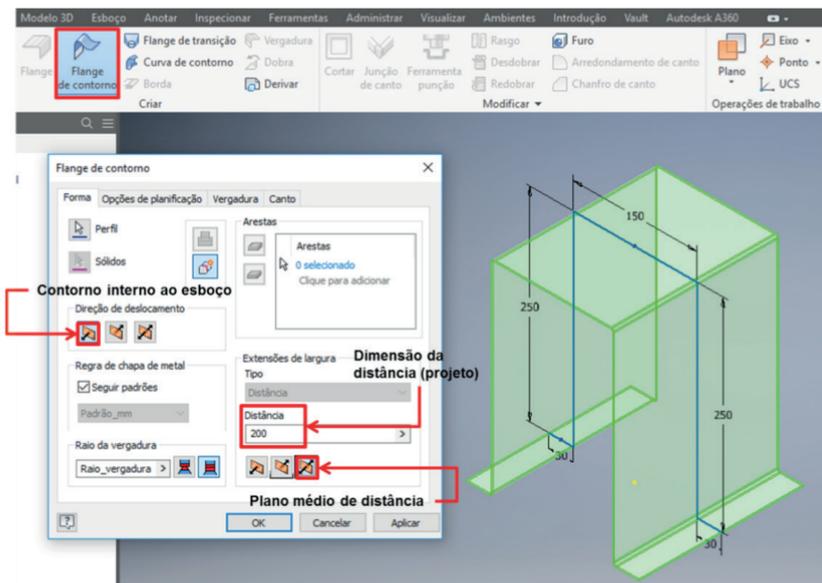
Com estas definições, fazemos o esboço da caixa, com as dimensões da seção transversal, como apresentado na Figura 3.46. Além das dimensões da largura das abas, altura e largura da caixa (dimensões externas), precisamos indicar as restrições para que os planos fiquem posicionados corretamente. Após a finalização do esboço, deveremos selecionar o ícone “Flange de contorno”, para estabelecer qual o comprimento da peça, bem como as características das dimensões: se o esboço desenhado anteriormente define as dimensões externas, internas ou médias do componente sendo projetado (Figura 3.47).

Figura 3.46 | Esboço da caixa de proteção



Fonte: elaborada pela autora.

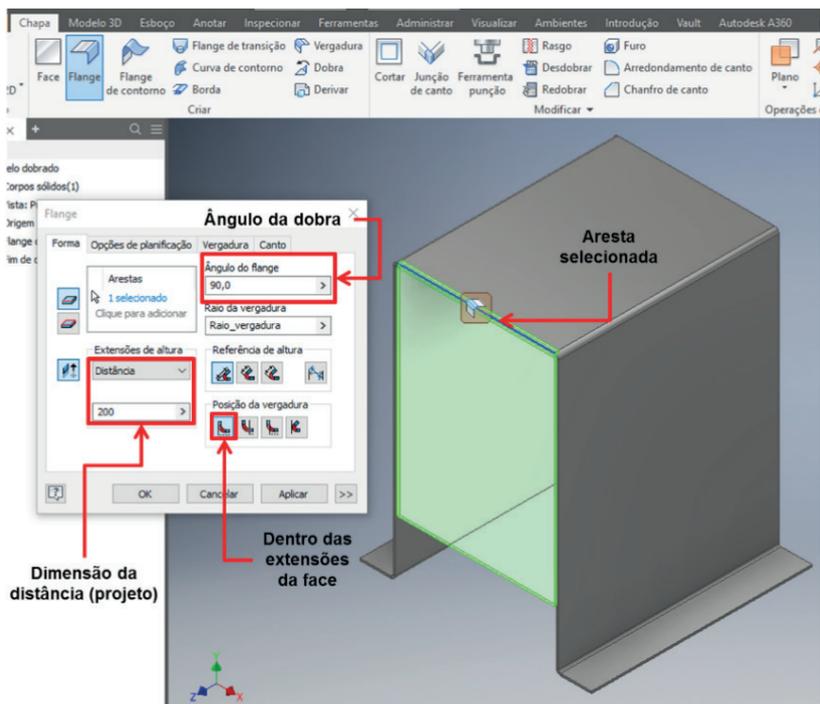
Figura 3.47 | Flange de contorno



Fonte: elaborada pela autora.

Para finalizar a cobertura da caixa, iremos adicionar duas abas às laterais que ficaram abertas utilizando o recurso “Flange”, como indicado na Figura 3.48. Ambas as laterais deverão possuir esta aba para fechamento com dimensão de 200 mm para o projeto.

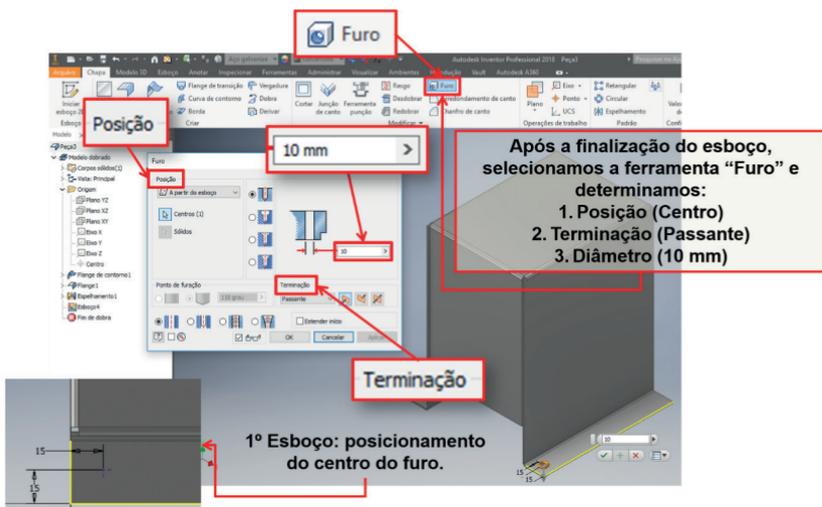
Figura 3.48 | Adição das dobras laterais



Fonte: elaborada pela autora.

Para finalizar o projeto, vamos inserir a furação de fixação na base da caixa. Para isso, selecionamos o ícone “Iniciar esboço 2D” e selecionamos uma das abas da caixa. Com a ferramenta “Ponto”, posicionamos um ponto a 15 mm de distância de ambas as bordas. Após finalização do esboço, selecionamos a ferramenta “Furo” para, a partir do centro determinado, construir um furo passante com 10 mm de diâmetro (Figura 3.49). Este procedimento deve ser repetido nas outras três extremidades.

Figura 3.49 | Adição da furação nas abas de fixação



Fonte: elaborada pela autora.

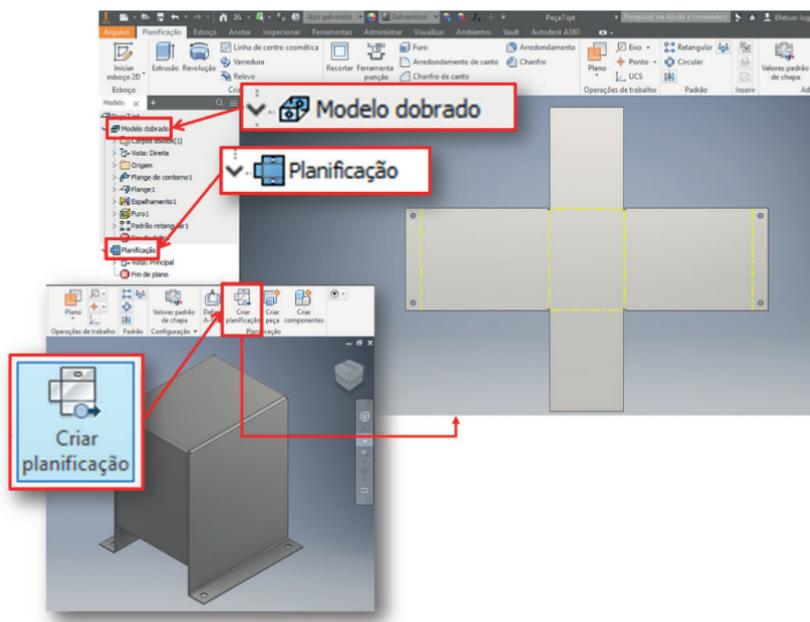


Refleta

No caso em que estamos trabalhando, foi sugerido que os furos fossem feitos um a um para fixação da caixa de proteção na base. Esta é uma tarefa repetitiva e pode levar a uma perda de tempo desnecessária. Quais outras ferramentas que o software oferece para automação de furos e demais elementos que possuem determinado padrão? Vamos implementar assim que você descobrir! Otimizar o tempo é excelente, pois tempo é dinheiro!

Para a documentação do projeto, precisamos projetar as vistas principais e, também, a vista desenvolvida, apresentando a planificação da peça. Para tal, devemos clicar sobre o ícone "Criar planificação" e o software automaticamente criará a peça desenvolvida, conforme observamos na Figura 3.50. A partir do modelo em chapa dobrada e do modelo planificado, podemos abrir um novo documento. dwg ou .idw para inserir as vistas necessárias para fabricação do componente. Não podemos esquecer-nos de cotar todas as dimensões importantes, tal como as linhas de dobra (destacadas em amarelo) bem como indicar as tolerâncias admissíveis no projeto, conforme vimos nas seções anteriores!

Figura 3.50 | Criação da planificação



Fonte: elaborada pela autora.

## Pesquise mais

Pode ser que durante a realização de algum projeto ou tarefa surjam algumas dúvidas, como o caso de inserção de restrições no esboço. A Autodesk fornece uma ferramenta de auxílio que pode ser acessada, para a versão 2018, pelo link abaixo:

<<http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/PTB/>>. Acesso em: 6 dez. 2017. Explore o site e conheça mais ferramentas deste poderoso software.

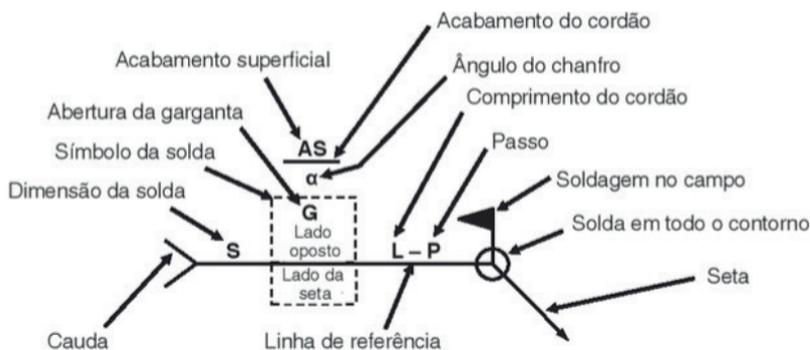
Para finalizar o conteúdo desta seção, iremos retomar um pouco do que vimos na Seção 3.1, onde aprendemos a inserir o símbolo de solda nos desenhos utilizando o software de trabalho. Agora, iremos trabalhar os conceitos e as simbologias associadas ao processo de soldagem.

A soldagem é um processo de ligação permanente de peças, bastante utilizado na indústria, e pode ser realizado de diversas formas. No Brasil, a simbologia mais utilizada para representação das

uniões soldadas em desenhos técnicos é a normatizada pela AWS (*American Welding Society*) A2.4, cujas posições são apresentadas na Figura 3.51. Exemplos de aplicação da simbologia podem ser conferidos na Figura 3.52.

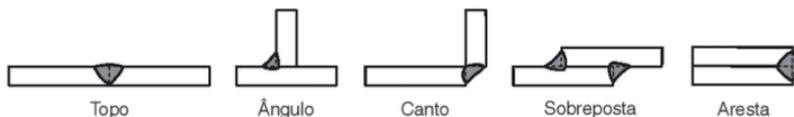
A posição das peças que serão soldadas irá caracterizar a geometria da solda aplicada. Os tipos mais usuais de posicionamento e geometria de soldas é apresentado na Figura 3.52. A aplicação da simbologia de solda é apresentada na Figura 3.53, em que é exemplificado solda em ângulo com a solda realizada do mesmo lado e do lado oposto do símbolo de solda. Ainda, são exemplificadas geometrias unidas com solda de filete. A Figura 3.54 apresenta outros tipos de representações de simbologia de solda, utilizados na documentação de projetos de componentes mecânicos.

Figura 3.51 | Simbologia de soldagem preconizada pela AWS



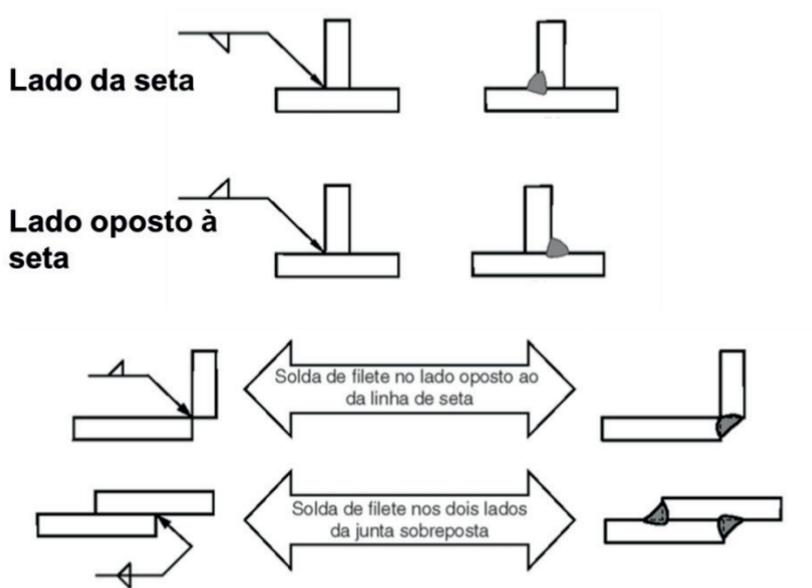
Fonte: Ribeiro; Peres; Izidoro (2013, p. 153).

Figura 3.52 | Posicionamento e geometria de soldas



Fonte: Ribeiro; Peres; Izidoro (2013, p. 149).

Figura 3.53 | Exemplos de aplicação de solda



Fonte: adaptada de Ribeiro; Peres; Izidoro (2013, p. 150).

Figura 3.54 | Outros exemplos de representação de solda

### Abreviaturas:

**s** – seção transversal do cordão

**a** – garganta da solda

**z** – base da solda

**l** – comprimento do cordão

**e** – espaçamento de cordões

**cordões**

**n** – quantidade de cordões

Designação	Ilustração	Inscrição
1 Junta de bordas		$\nabla$
		$s \parallel$
		$s \nabla$
2 Junta de bordas retas		$s \parallel$
3 Juntas em ângulo contínuas		$a$ $z$
4 Junta em ângulo descontínua		$a \nabla n \times l(e)$ $z \nabla n \times l(e)$
5 Junta em ângulo intermitente desfasada		$\frac{a}{a} \nabla n \times l(e) \left[ \begin{matrix} (e) \\ (e) \end{matrix} \right]$ $\frac{z}{z} \nabla n \times l(e) \left[ \begin{matrix} (e) \\ (e) \end{matrix} \right]$

Fonte: Silva et al. (2012, p. 303).



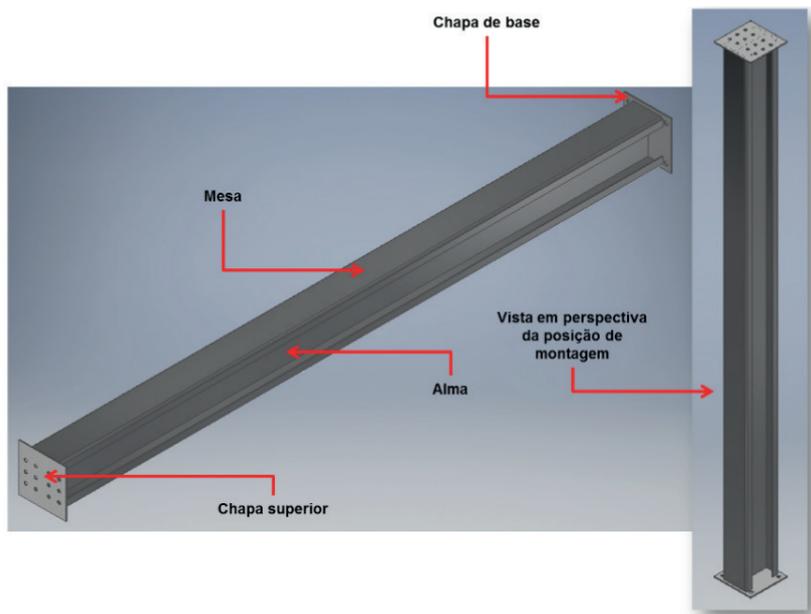
Aprofunde seus conhecimentos sobre solda consultando o livro *Soldagem Processos e Metalurgia*, organizado por Emilio Wainer, Fábio Décourt Homem de Mello e Sergio Duarte Brandi.

Além disso, um quadro-resumo bastante útil para ser consultado durante a realização dos seus projetos de conjuntos soldados pode ser encontrado em: <<http://www.infosolda.com.br/images/Downloads/Dicas/SIMBOLOGIA%20QUADRO.PDF>>. Acesso em: 6 de dez. 2017.

## Sem medo de errar

Agora vamos trabalhar! Imagine que você foi contratado por uma empresa de cálculo estrutural para elaborar o projeto de um pilar de sustentação especial. Este pilar, a ser fabricado com aço ASTM A36, será composto por uma alma com as dimensões de 3000 x 200 mm, com 3/16" de espessura. Na alma, serão soldadas as mesas com abas, enrijecendo as mesmas. As dimensões da mesa desenvolvida são 3000 x 215 x 3/16" e as linhas de dobra estão posicionadas a 36 mm da borda de maior comprimento. Na base, será soldada uma chapa (235 x 235 x 1/4") com furação de 20 mm de diâmetro apropriada para os chumbadores. No topo do pilar, será soldada uma chapa para fixação da estrutura que será montada sobre o perfil na obra. As dimensões da chapa de fixação superior são as mesmas da chapa de base, porém, com a espessura de 3/16". Os cinco componentes, juntos, formarão o desenho de conjunto final conforme apresentado na Figura 3.55.

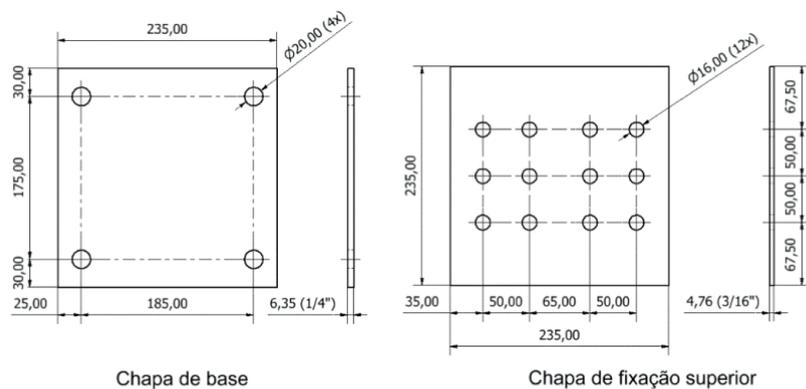
Figura 3.55 | Montagem do conjunto – pilar



Fonte: elaborada pela autora.

A Figura 3.56 apresenta o posicionamento e diâmetro dos furos nas chapas de base e superior.

Figura 3.56 | Dimensões da chapa de base e da chapa de fixação superior

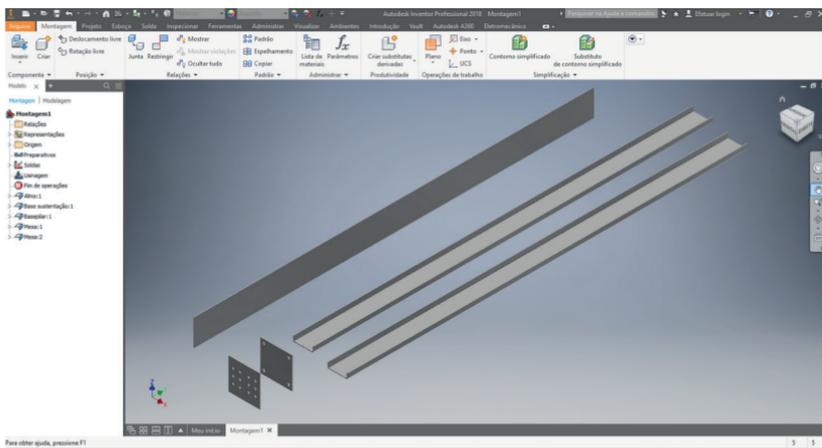


Fonte: elaborada pela autora.

Com todas essas dimensões fornecidas, você é capaz de criar os componentes utilizando o software de trabalho e fazer a documentação dos desenhos com todas as vistas? No desenho da mesa, quais as vistas que serão necessárias para enviar o item para fabricação? Desenhe os três componentes que serão cortados e/ou perfurados. E os dois componentes de que sofrerão os processos de corte e dobra: as mesas do perfil. Quais as dimensões importantes que deverão ser cotadas? Essa responsabilidade é exclusivamente sua!

Agora, vamos trabalhar com os conjuntos, nesse caso, retornando à Figura 3.43, iremos abrir um novo arquivo no formato .iam. A Figura 3.57 ilustra a tela do software com todos os componentes que compõem o pilar.

Figura 3.57 | Componentes do pilar



Fonte: elaborada pela autora.

Vamos fazer a montagem inserindo as restrições (Figura 3.58). Primeiro vamos fazer as restrições da alma em relação à mesa:

1. O plano YZ da alma deve estar coincidente com o plano YZ da mesa como apresentado na Figura 3.59.
2. A face inferior da alma deve estar coincidente com a face superior da mesa.
3. As bordas da base da alma e da mesa devem estar alinhadas.

Figura 3.58 | Menu de seleção para inserção das restrições na montagem



Fonte: adaptada de Autodesk Inventor 2018.

Figura 3.59 | Exemplo de inserção de restrição dos planos centrais da alma e da mesa do perfil

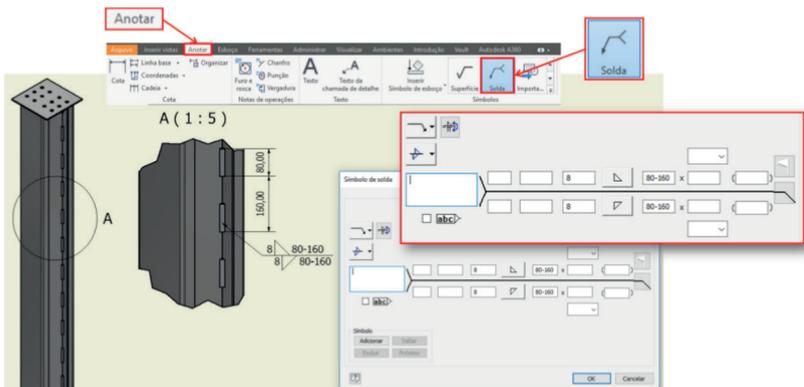


Fonte: elaborada pela autora.

Esse procedimento deve ser adotado para todos os componentes até que a montagem esteja completa (Figura 3.56). Após a montagem, vamos trabalhar com a inserção de cordões de solda como fizemos na Seção 1 desta unidade. Reveja os conceitos e aplique:

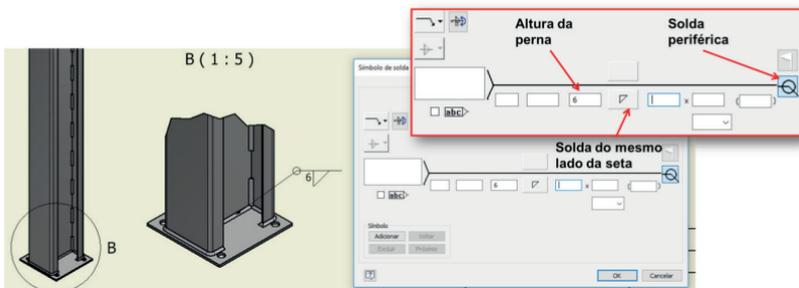
1. A alma será soldada em ambas as mesas por meio de uma solda descontínua e intercalada. Dimensão da perna da solda é igual a 8 mm, comprimento do cordão de solda 100 mm e espaçamento entre cordões de 80 mm (distância entre centros dos cordões). Verifique como é feita a inserção de solda no desenho na Figura 3.60.
2. A alma e a mesa serão soldadas na base em todo o contorno das peças. A Figura 3.61 apresenta a caixa para inserção de simbologia de solda no desenho.

Figura 3.60 | Inserção de simbologia de solda descontinua e intercalada



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 3.61 | Inserção de simbologia de solda contínua, em todo o contorno dos componentes



Fonte: elaborada pela autora.

Documente todo o projeto e não se esqueça de indicar uma nota de pintura como acabamento superficial do conjunto! Bom trabalho!

## Avançando na prática

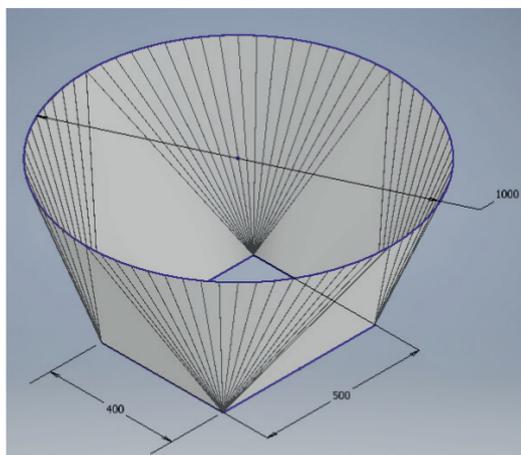
### Desenvolvimento de um tronco de cone

#### Descrição da situação-problema

Foi solicitado ao setor de engenharia o desenvolvimento de uma transição em chapa galvanizada com espessura de 0,8 mm. Trata-se de uma transição de um bocal circular com  $\varnothing 1$  m de diâmetro para um bocal retangular de 500 x 400 mm. A altura da transição é de

500 mm. Teremos que produzir essa transição em duas partes para que, no final do processo, as metades sejam soldadas (solda reta contínua). A Figura 3.62 apresenta as dimensões do componente. É necessário que você apresente a documentação do detalhamento da meia transição e o conjunto soldado para fabricação.

Figura 3.62 | Transição de  $\varnothing 1000$  mm para  $500 \times 400$  mm em chapa galvanizada #0,8 mm

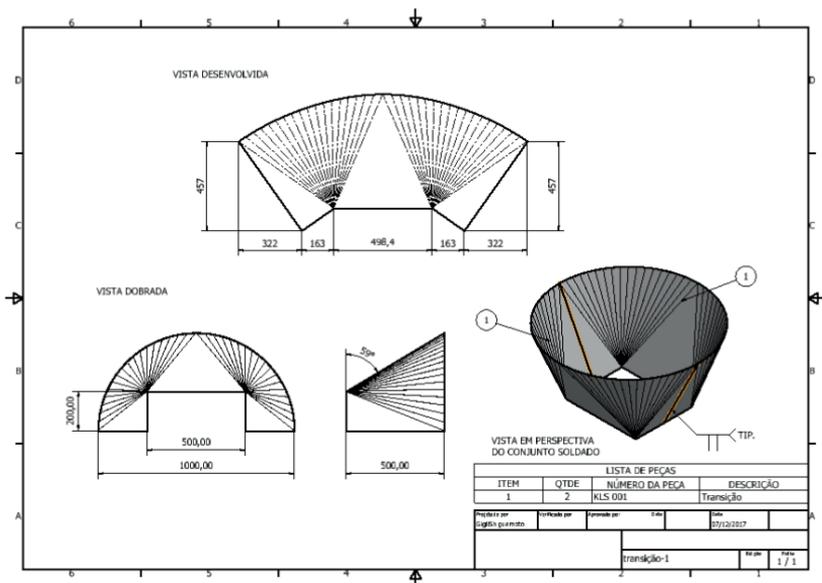


Fonte: elaborada pela autora.

### Resolução da situação-problema

Com as informações sobre o software, certamente você será capaz de desenhar os componentes e o conjunto final. A Figura 3.63 apresenta uma sugestão de resultado. Aqui são apresentadas tanto a meia transição quanto o conjunto final em um único documento. O que é recomendado e praticado nas empresas de engenharia são desenhos documentados em folhas diferentes, pois cada um possuirá um código específico de produto. Além dessa, quais outras observações na documentação você sugere? Vamos implementar a documentação em folhas diferentes? Você, como engenheiro, deve implementar as melhorias no projeto!

Figura 3.63 | Documentação da meia transição



Fonte: elaborada pela autora.

## Faça valer a pena

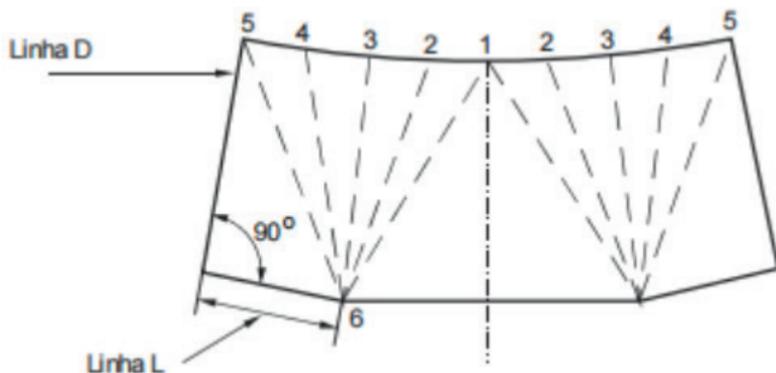
1. Um dos processos de fabricação usuais na indústria é a moldagem de componentes a partir da matéria-prima em chapa, que consiste no corte e conformação (dobra) dos perfis ou peças. Esses componentes, para serem fabricados, precisam estar documentados e especificados com base na vista desenvolvida ou planificada da peça. É necessário, portanto, trabalhar com um tipo de arquivo que permita gerar a vista desenvolvida para posterior documentação.

Dentre os ícones dos arquivos apresentados abaixo assinale a alternativa correta:

- a)  Padrão.ipn
- b)  Padrão.iam
- c)  Padrão.idw
- d)  Chapa de metal.ipt
- e)  Padrão.dwg

**2.** Uma superfície aberta sobre o plano recebe o nome de desenvolvimento de superfície. O desenvolvimento da superfície de um cilindro é um retângulo cuja largura é a altura do cilindro e o comprimento é a circunferência retificada ou o comprimento da circunferência. No caso de um cone de revolução, a superfície desenvolvida é um setor circular. A Figura 3.64 apresenta a planificação de uma peça de transição de quadrado para bocal circular, ambas com as mesmas dimensões.

Figura 3.64 | Transição planificada



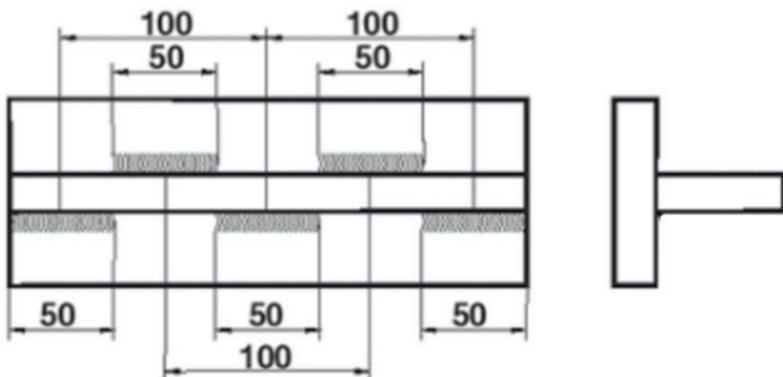
Fonte: <<https://www.questao certa.com.br/questiones/instituicao/sabesp/47>>. Acesso em: 7 de dez. 2017.

Analisando a figura apresentada, qual é a dimensão que corresponde à altura da peça?

- Linha 6-5.
- Linha L.
- Linha 6-3.
- Linha D.
- Segmento 5-1.

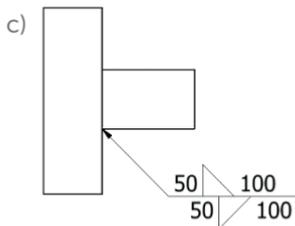
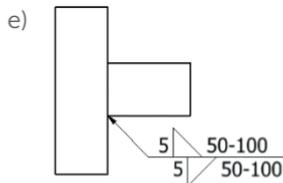
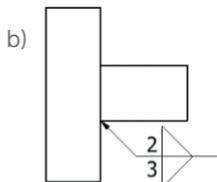
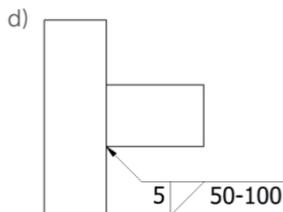
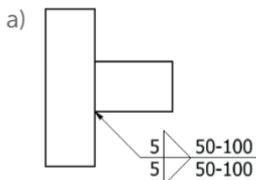
**3.** A soldagem é um processo de união permanente dos materiais, que tem por objetivo a fixação ou recuperação de peças através da fusão. Outro aspecto interessante da soldagem é a capacidade de produzir peças mais leves, mais resistentes e de menor custo quando comparados a processos de fundição e forjamento. A Figura 3.65 apresenta uma junta soldada, onde a solda foi aplicada em ambos os lados da peça de forma descontínua e com 5 mm de perna.

Figura 3.65 | Peça com solda descontinua, intercalada e em ângulo



Fonte: Ribeiro; Peres; Izidoro (2013, p. 153).

Identifique, das alternativas abaixo, a opção correta de simbologia de solda para o exemplo ilustrado.



# Referências

ANDRÉ, L. Tolerância geométrica no Autocad. 2017. Disponível em: <<http://qualificad.com.br/tolerancia-geometrica-no-autocad/>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6409**: tolerâncias geométricas: tolerâncias de forma, orientação, posição e batimento: generalidades, símbolos, definições e indicações em desenho. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 6158**. Sistema de tolerâncias e ajustes. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 8404**: indicação do estado de superfícies em desenhos técnicos: procedimento. Rio de Janeiro, 1984.

AUTODESK. Autodesk Inventor 2018: ajuda do inventor. 2018. Disponível em: <<http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2018/PTB/>>. Acesso em: 8 de dez. 2017.

CATAPAN, M. F. **Apostila de desenho mecânico 1**: III parte. Curitiba: UFPR, 2013. Disponível em: <[http://www.exatas.ufpr.br/portal/degaf\\_marcio/wp-content/uploads/sites/13/2014/10/Apostila-Desenho-Mecanico-1-III-Parte-Copy.pdf](http://www.exatas.ufpr.br/portal/degaf_marcio/wp-content/uploads/sites/13/2014/10/Apostila-Desenho-Mecanico-1-III-Parte-Copy.pdf)>. Acesso em: 23 de nov. 2017.

DRAKE, Jr. P. J. **Dimensioning and Tolerancing Handbook**. New York: McGraw-Hill, 1999. Disponível em: <<http://cnqzu.com/library/Anarchy%20Folder/Workshop/Dimensioning%20%20Tolerancing%20Handbook.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

FORTULAN, C. A. Notas de aula. São Carlos: USP, 2017. <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3277254/mod\\_resource/content/0/DTMI\\_aula06\\_tolerancia.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3277254/mod_resource/content/0/DTMI_aula06_tolerancia.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2017.

FRENCH, T. E.; VIERCK, C. J. **Desenho técnico e tecnologia gráfica**. 8. ed. São Paulo: Globo, 2005.

JUNIOR, J. I.; CAVERSAN, E. G. **Tecnologia de estampagem 2**: dobra e repuxo. Sorocaba: Fatec, 2012.

RIBEIRO, A. C.; PERES, M. P.; IZIDORO, N. **Curso de desenho técnico e AutoCad**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

SILVA et al. **Desenho técnico moderno**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. Disponível em: <<https://biblioteca-virtual.com/uk>>. Acesso em: 5 de dez. 2017.

WAINER, E.; MELLO, F. D. H. de; BRANDI, S. D. **Soldagem processos e metalurgia**. São Paulo: Blucher, 1992.

# Desenho técnico de elementos de máquinas

## Convite ao estudo

O projeto de engenharia mecânica exige que o engenheiro formule um plano que atenda determinada demanda ou que resolva algum problema, muitas vezes com poucas informações em mãos para a tomada de decisão. O resultado deste trabalho deverá ser inovador, funcional, seguro, confiável e competitivo no que diz respeito ao design do produto e também aos processos envolvidos em sua fabricação.

Ao projetarmos uma máquina, temos uma interconexão de elementos de máquinas individuais (eixos, engrenagens, mancais, etc.), que formam subgrupos. Estes devem permitir o funcionamento adequado da máquina, sem que se tenha sobreposição dos componentes, desta forma facilitando a desmontagem, manutenção e reparo. O processo criativo durante o trabalho de engenharia é repetitivo, no qual em cada etapa o engenheiro refina o projeto para que se alcance um projeto final satisfatório em termos de funcionalidade e custo e, também, que seja capaz de atender as solicitações do cliente. Neste sentido, o principal objetivo ao final desta unidade é que você seja capaz de representar projetos mecânicos envolvendo elementos de máquinas, compreendendo a representação destes elementos e, também, que seja capaz de projetar e representar estes componentes utilizando o nosso software de trabalho, focando principalmente na aplicação. Critérios de seleção e dimensionamento serão abordados nas disciplinas específicas do seu curso.

A presente unidade tem como objetivo apresentar os diversos elementos de máquinas: elementos elásticos (molas), de apoio – como mancais de rolamento –, de transmissão – como engrenagens – e finalmente de fixação – dentre os quais

podemos destacar parafusos, porcas e arruelas. Para cada um destes elementos iremos abordar uma especificidade de projeto, aplicação e representação em desenho técnico, tomando como base o estudo de um projeto que representa a sua mais nova conquista profissional!

Você, engenheiro responsável pelo departamento de pesquisa e desenvolvimento de uma grande empresa produtora de equipamentos para o agronegócio, deverá desenvolver um redutor de velocidade para o transportador de correntes, que é utilizado para movimentação de grãos em unidades de armazenagem. O projeto final, com todo o dimensionamento e os desenhos de detalhamento do projeto, deverá ser apresentado para a diretoria da empresa e para o cliente, pois se trata de um projeto especial. Quais foram os elementos de máquinas que irão fazer parte da composição final do redutor? Além dessa aplicação, quais são as demais aplicações desses elementos e como estes são representados na documentação de projeto de engenharia? Você e sua equipe conseguem modelar esses elementos no software Autodesk Inventor 2018? Precisamos finalizar o projeto, pois o tempo está correndo e a documentação deve estar completa e com padrão de qualidade elevado para a apresentação final!

# Seção 4.1

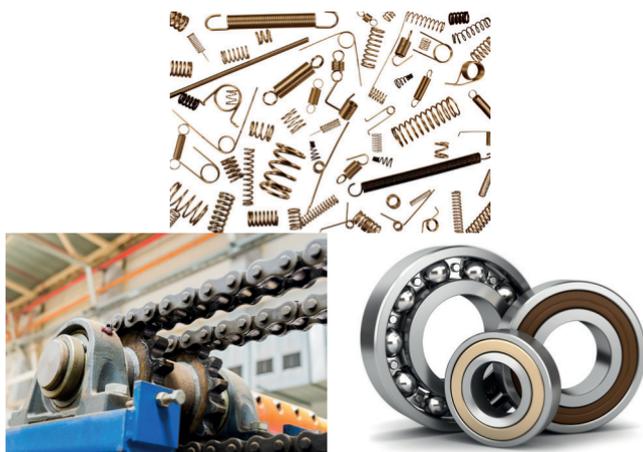
## Elementos de máquinas: elementos elásticos e elementos de apoio

### Diálogo aberto

Olá, aluno!

Chegamos à Seção 4.1, na qual trataremos dos elementos de máquina elásticos e de apoio. Em um primeiro momento, abordaremos as molas, os tipos existentes no mercado e suas diferentes aplicações. Na sequência, você irá estudar os elementos de apoio: guias, mancais de deslizamento e elemento associado a este – bucha – e, também, mancais de rolamento, estudando os diversos tipos de rolamento existentes no mercado (Figura 4.1). Em seções anteriores do livro, tivemos a oportunidade de trabalhar com algumas aplicações de mancais de deslizamento e de rolamentos em atividades bastante práticas. Quais serão as outras formas de se trabalhar com estes elementos utilizando o nosso software de trabalho?

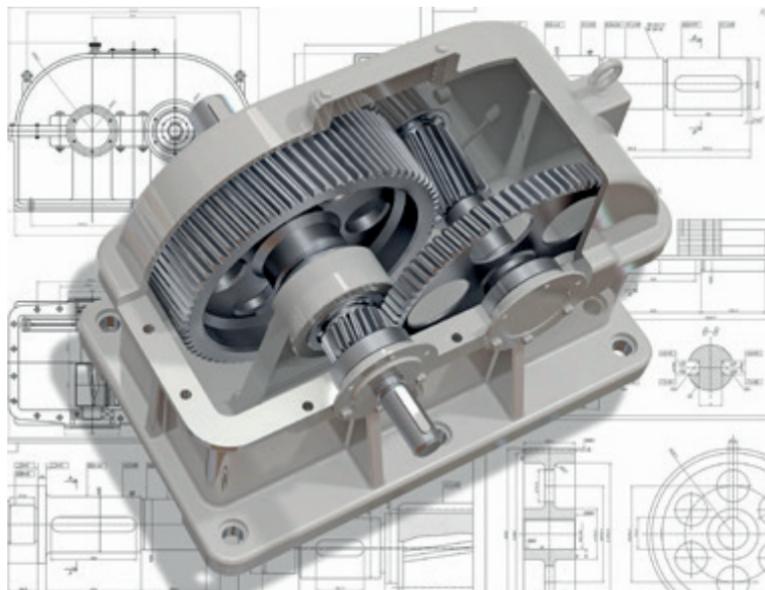
Figura 4.1 | Elementos de máquinas e elementos de apoio



Fonte: <<https://www.istockphoto.com/br/foto/pattern-of-metal-springs-and-coils-isolated-on-white-background-gm621910966-108747395>>; <<https://www.istockphoto.com/br/foto/o-mecanismo-da-transmiss%C3%A3o-da-cadeia-rolamento-eixo-de-acionamento-lubrifica%C3%A7%C3%A3o-de-gm851046532-139943633>>; <<https://www.istockphoto.com/br/foto/grupo-de-rolamentos-isolado-gm521246585-50203380>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

Importante falar sobre o software Autodesk Inventor 2018, uma vez que ele será a nossa ferramenta para o desenvolvimento do projeto de um redutor de velocidade (Figura 4.2) de 900 para 300 rpm (revoluções por minuto), mais recente trabalho de sua equipe.

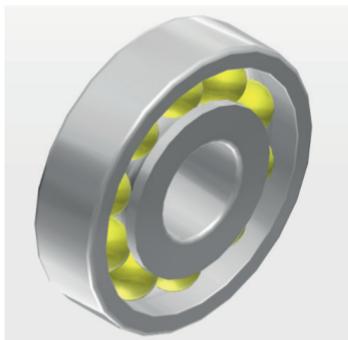
Figura 4.2 | Representação do redutor de velocidade



Fonte: <<http://www.rtc.net.br/wp-content/uploads/2015/10/motoredutor-redutores-de-velocidade.jpg>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

A fase do projeto com a qual você deverá se concentrar neste momento é o desenvolvimento dos mancais de rolamento que fará parte do conjunto final. Os mancais que serão objetos de nosso estudo são os de apoio do eixo submetido à rotação de 900 rpm. O engenheiro de cálculo do seu time fez o dimensionamento e determinou que, neste caso, deve ser utilizado o rolamento de esferas de contato angular simples (Figura 4.3), sendo que o mancal de entrada do eixo do redutor deve possuir diâmetro interno de 30 mm, diâmetro externo de 62 mm e largura de 16 mm, e o mancal de rolamento oposto deve ter diâmetro interno de 30 mm, diâmetro externo de 72 mm e largura de 19 mm.

Figura 4.3 | Modelo 3D do rolamento



Fonte: <[http://skf-preview-e.partcommunity.com/3d-cad-models/sso/?varset=%7BPRODUCTID%3D1210050406%7D&email=support%40skf.com&info=skf%2Fbearings\\_units\\_and\\_housings%2Fball\\_bearings%2Fangular\\_contact\\_ball\\_bearings%2Fba1\\_001\\_101.prj](http://skf-preview-e.partcommunity.com/3d-cad-models/sso/?varset=%7BPRODUCTID%3D1210050406%7D&email=support%40skf.com&info=skf%2Fbearings_units_and_housings%2Fball_bearings%2Fangular_contact_ball_bearings%2Fba1_001_101.prj)>. Acesso em: 12 abr. 2018.

Veremos que existem diversos tipos de mancais e de rolamentos disponíveis. Do seu conhecimento prévio, com estas definições, como fazer os desenhos e a documentação deste projeto? Quais são as ferramentas disponíveis para o desenho técnico destes elementos? Temos muito trabalho a fazer. O projeto de engenharia é um processo iterativo, no qual é possível que redefinições no meio do caminho sejam necessárias, neste sentido o desenho utilizando o software trouxe um benefício significativo quando comparado ao desenho técnico à mão no que se trata de alterações: o processo tornou-se muito mais rápido e eficiente.

No entanto, precisamos ter foco para tratar desse assunto. Comece dominando a teoria, e então partiremos para a parte prática. Com certeza, o projeto atingirá o sucesso e o reconhecimento esperados!

## Não pode faltar

Vamos começar a seção tratando de elementos elásticos, conhecidos como molas. As molas são elementos que apresentam deformação elástica quando submetidas a determinado carregamento e, após a remoção da carga, voltam a sua forma original. Normalmente, tratam-se de dispositivos configurados para exercer forças, promover flexibilidade ou armazenar energia potencial a ser liberada posteriormente. As principais aplicações

da utilização de molas são amortecimento de cargas, limitação de vibrações e manutenção da posição de peças, controlando o movimento delas.



### Pesquise mais

Ao longo da história as molas sempre foram utilizadas. No século III a.C., o engenheiro de Alexandria, Ctesibius, tentou utilizar estes dispositivos em catapultas, porém sem muito sucesso. Além destes, outras aplicações foram desenvolvidas para estes dispositivos, que começaram a ser produzidos em larga escala com a Revolução Industrial, no século XVIII.

Atualmente, estes elementos são utilizados desde componentes eletrônicos até grandes construções, visando absorver abalos sísmicos. Acesse o site da empresa Stock Industrial Molas, disponível em: <<http://www.stockmolas.com.br/mola-historia-definicao>> (Acesso em: 12 abr. 2018), para mais informações sobre a história, tipos e aplicações de molas.

Em termos de matéria-prima para fabricação de molas, devem ser utilizados materiais com elevados limites de resistência, resiliência elevada e, dependendo da aplicação, resistência à corrosão e a condições de elevada temperatura. Neste sentido, de acordo com Collins, Busby e Staab (2006), alguns dos materiais que satisfazem os critérios exigidos e podem ser conformados por processos de conformação a quente e a frio são: aço-carbono, aço-liga e aço inox.

Existem várias configurações disponíveis comercialmente e outras que se tratam de projetos especiais de molas, fabricadas de acordo com a solicitação de projeto. Dentre os tipos de mola mais utilizados em projetos mecânicos, podemos destacar as molas helicoidais, que podem trabalhar suportando cargas de compressão, tração ou torção. Podem, ainda, ser enroladas no formato cilíndrico ou cônico.

As molas cônicas são projetadas para trabalhar sob compressão, com a função de amortecimento de choques. As molas prato, também conhecidas como arruelas Bellevilles, são utilizadas para suportar cargas axiais, podendo substituir as molas helicoidais, quando houver pouco espaço. A montagem dessas molas pode ser feita em série, em paralelo ou de forma mista. Outro tipo de mola bastante utilizado em relógios e brinquedos de corda são as molas em espiral.

Outra configuração são os feixes de mola, formados por uma série de lâminas sobrepostas, empregadas com frequência em

sistemas de suspensão. A Figura 4.4 apresenta os tipos de mola que discutimos na seção, a vista em corte e os símbolos que as representam. Importante destacar que estes símbolos são utilizados em esquemas, desenhos de conjunto ou desenhos em escala muito pequena, onde não é possível representação das espiras.

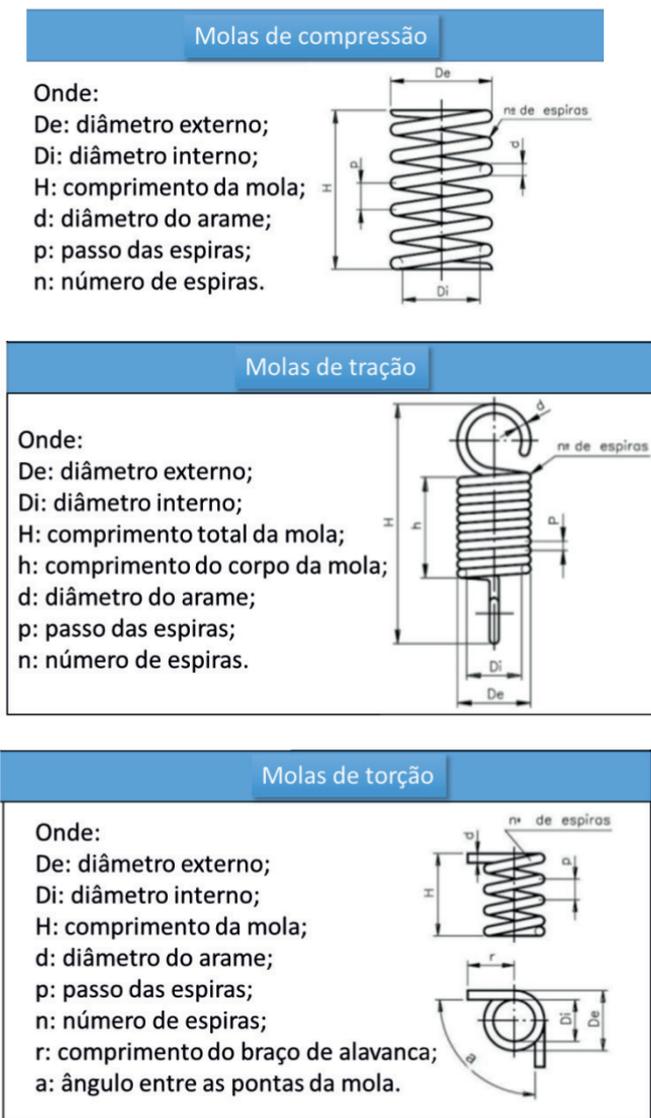
Figura 4.4 | Tipos de molas e representação em desenhos

DESIGNAÇÃO		REPRESENTAÇÃO		SÍMBOLO
		VISTA	CORTE	
HELICOIDAIS	CILINDRICAS			
	CÔNICAS			
	TRAÇÃO			
	TORÇÃO			
CÔNICA				
ELÁSTICAS				
EM ESPIRAL	SIMPLES			
	COM TAMBOR			
FEIXE DE MOLAS COM OLHAL E BRAÇADEIRA				

Fonte: Silva et al. (2006, p. 327).

Alguns exemplos de representação de mola em desenho técnico e sua cotação são apresentados na Figura 4.5, através de molas helicoidais.

Figura 4.5 | Representação e dimensionamento de molas helicoidais



Fonte: adaptada de SENAI ([s.d.], p. 143, 144 e 146).



Com tantos tipos de molas disponíveis, é importante que você explore o site de alguns fabricantes e conheça mais sobre os tipos existentes, dimensionais e aplicação nos projetos. Seria um bom começo visitar o site do fornecedor de molas Omega Fix, disponível em: <<http://www.omegafix.com.br/>> (Acesso em: 12 abr. 2018). Não pare por aí e busque mais informações! Boa leitura!

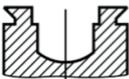
Na sequência desta unidade, trataremos dos elementos de apoio: buchas, guias, mancais e rolamentos. Pelo fato de buchas e mancais serem, na prática, utilizados em conjunto nos projetos mecânicos, iniciaremos nossa discussão pelas guias, que são elementos de máquinas que direcionam o movimento de componentes mecânicos, por exemplo, exercendo a mesma função de um trilho.

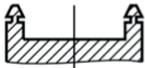
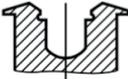
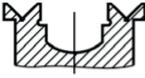
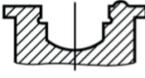
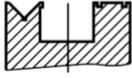
As guias são classificadas em guias de deslizamento, quando compostas por peças que deslizam uma sobre a outra, direcionando o movimento retilíneo. A combinação de várias guias de deslizamento em uma máquina forma um barramento. As guias também podem ser classificadas em guias de rolamento que também promovem o deslizamento de peças, porém possuem esferas que diminuem o atrito entre os componentes móveis.



A Figura 4.6 apresenta diversos perfis de guias de deslizamento e sua aplicação. Podemos também observar na Figura 4.7 exemplos de aplicação de guias de rolamento, que são amplamente utilizadas em máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado).

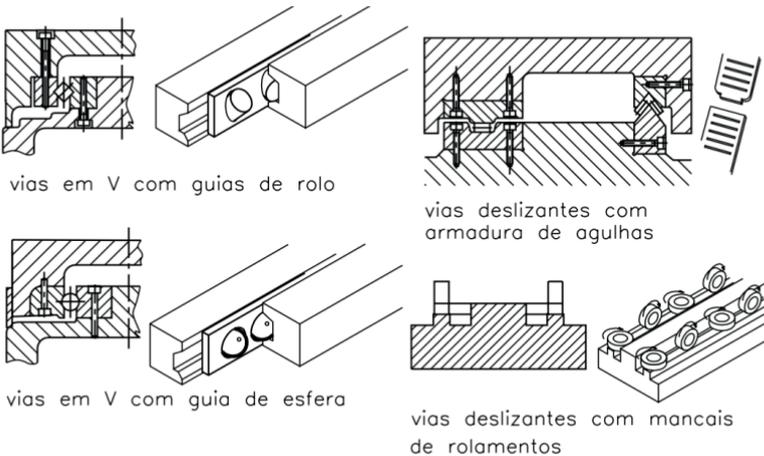
Figura 4.6 | Combinação de guias de deslizamento e aplicação

DENOMINAÇÃO	APLICAÇÃO	FORMA
Rabo de andorinha	Carro porta-ferramenta	
Via plana	Torno-revólver	

Via prismática dupla	Carro longitudinal	
Via em forma de telhado	Guia de mesa	
Via dupla em v	Guia de mesa	
Vias prismáticas e planas	Tornos mecânicos	
Vias plana e em V	Guia de mesa	

Fonte: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/09/guias.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

Figura 4.7 | Exemplos de aplicação de guias de rolamento



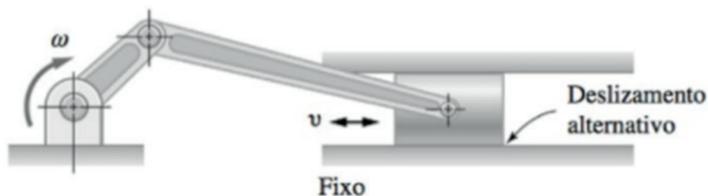
Fonte: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/09/guias.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018. p. 6.

Os mancais são elementos de máquinas que servem de apoio para os eixos e podem ser classificados como mancais de deslizamento ou mancais de rolamento. Importante ressaltar aqui que os mancais de deslizamento são aplicados em máquinas pesadas nas quais a rotação é baixa. Esta prática visa evitar o aquecimento dos componentes devido ao atrito, aliado a uma boa lubrificação.

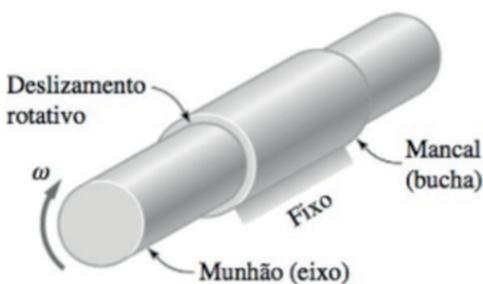
No caso em que a máquina exija rotações maiores, vamos fazer a opção de se trabalhar com mancais de rolamento.

De forma geral, o projeto de um mancal contempla dois componentes que deslizam entre si como, por exemplo uma camisa ao redor de um eixo. A complexidade de projeto pode variar bastante: no caso de um mancal de deslizamento, podemos ter um mancal bipartido, no qual será montado um eixo ou, também, este pode ser uma peça cilíndrica vazada, mais conhecida como bucha. A Figura 4.8 apresenta alguns conceitos de aplicação de mancais de deslizamento.

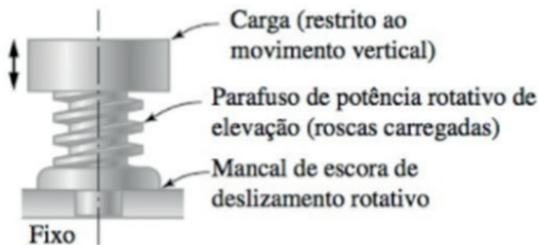
Figura 4.8 | Exemplos de aplicação de mancais de deslizamento



**Mancal de escorregamento alternativo**



**Mancal rotativo**

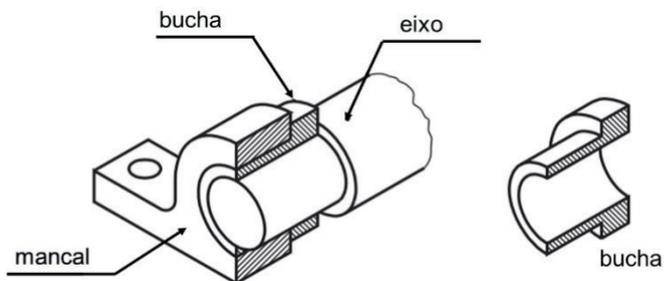


**Mancal de escora**

Fonte: Collins, Busby e Staab (2006, p. 340).

As buchas são elementos comumente utilizados em mancais de deslizamento (Figura 4.9). Para evitar o desgaste deste, são fabricadas de material menos duro do que o do eixo e são classificadas de acordo com a sollicitação a qual está submetida.

Figura 4.9 | Montagem da bucha em mancal de deslizamento



Fonte: adaptado de SENAI ([s.d.], p. 113).

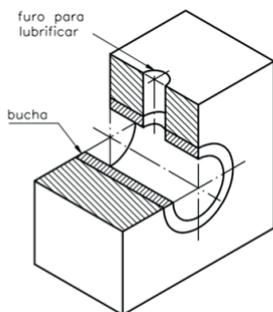


**Assimile**

De forma resumida, para você conhecer melhor, a Figura 4.10 apresenta os tipos de bucha existentes e aplicação.

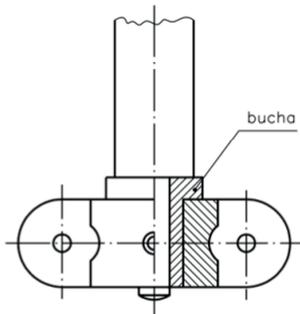
Figura 4.10 | Tipos de buchas e aplicações

### **Buchas de fricção radial**



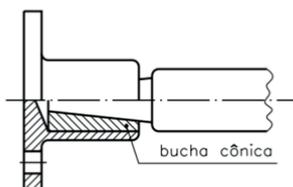
Usada em peças submetidas a cargas radiais pequenas e em locais de fácil manutenção.

### **Bucha de fricção axial**



Usada para suportar o esforço de um eixo em posição vertical.

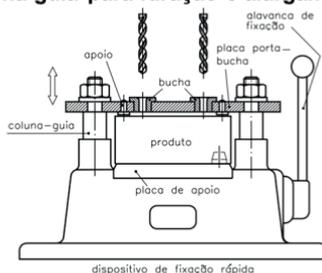
### Bucha cônica



Usada para apoiar eixos submetidos a esforços radiais e axiais. São pouco utilizadas em projetos.

Fonte: adaptado de SENAI ([s.d.], p. 99-100).

### Bucha-guia para furação e alargamento



Feitas em aço duro, com superfícies bem lisas, são utilizadas na orientação e posicionamento de ferramentas.

Os rolamentos, empregados em mancais de rolamento, são utilizados quando há necessidade de velocidades maiores e redução do atrito de deslizamento. De forma geral, as principais vantagens na utilização de rolamentos são: menor atrito (principalmente na partida), temperaturas mais baixas de funcionamento, maior durabilidade devido a menor desgaste e consumo de lubrificante reduzido.

Existem diversos tipos de rolamentos no mercado. Cada fabricante disponibiliza um catálogo com todas as informações para que o engenheiro ou projetista faça a seleção de acordo com a aplicação.



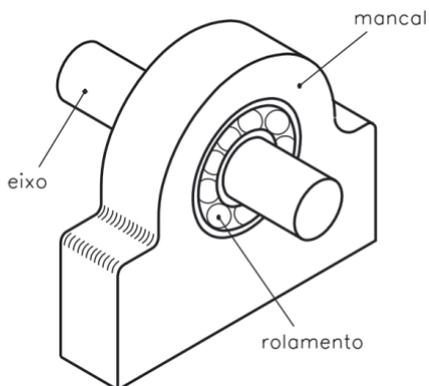
### Refleta

Pensando que você é o projetista e precisa especificar um rolamento para determinada aplicação, qual tipo de rolamento você optaria por usar? Como você faria a especificação do rolamento para o setor de compras fazer a cotação junto aos fornecedores homologados? Quais as condições de ajuste do rolamento e das peças envolvidas? É certo que os catálogos de fabricantes poderão auxiliá-lo a definir algumas respostas.

A classificação dos rolamentos é função dos elementos de revolução: esferas, rolos cilindros, agulhas ou rolos cônicos (tronco de cone). O anel externo do rolamento é montado no mancal, enquanto o anel interno é fixo diretamente no eixo, como mostra o exemplo

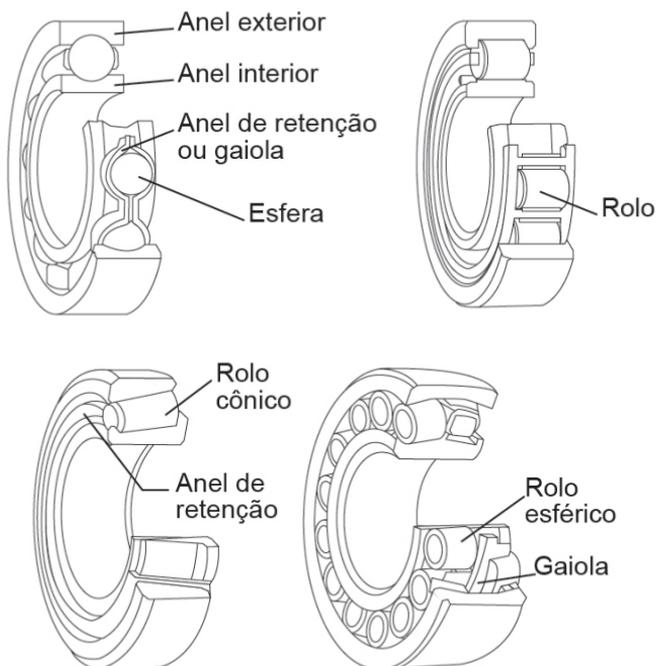
simplificado na Figura 4.11. A Figura 4.12 apresenta os exemplos de rolamentos e gaiolas, enquanto que os tipos de rolamento e suas representações nos desenhos são apresentados na Figura 4.13.

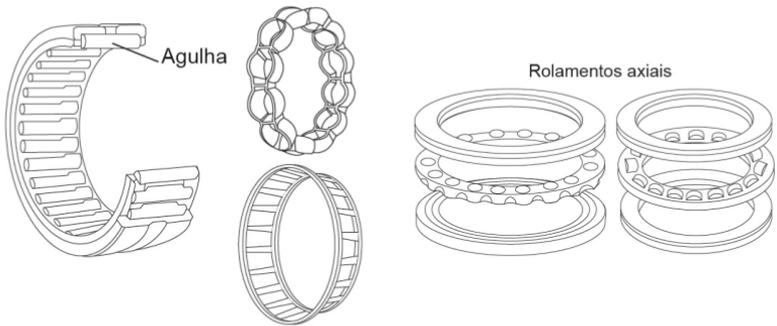
Figura 4.11 | Mancal de rolamento



Fonte: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/09/mancais-e-rolamentos.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018. p. 115.

Figura 4.12 | Exemplos de rolamento





Fonte: adaptado de Silva et al. (2006, p. 336).

Figura 4.13 | Representação dos diferentes tipos de rolamento

ROLAMENTOS DE ESFERAS								
		RÍGIDO SIMPLES	RÍGIDO DUPLO	AUTOCOMPENSADOR	CONTATO ANGULAR SIMPLES	CONTATO ANGULAR DUPLO	AXIAL SIMPLES	AXIAL DUPLO
REPRESENTAÇÃO	EM CORTE							
	SIMPLIFICADA							

ROLAMENTOS DE ROLOS							
		CILÍNDRICO DE FLANGE INTERNA	CILÍNDRICO DE FLANGE INTERNA	DE AGULHAS SIMPLES	AUTOCOMPENSADOR DE ROLOS SIMPLES	AUTOCOMPENSADOR DE ROLOS DUPLO	CÔNICOS SIMPLES
REPRESENTAÇÃO	EM CORTE						
	SIMPLIFICADA						

Fonte: Silva et al. (2006, p. 337).

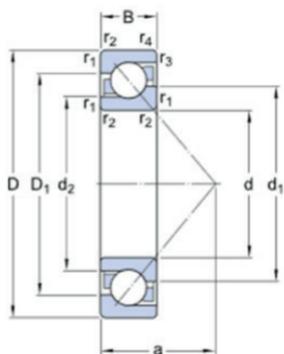
## Sem medo de errar

Agora que você domina a teoria, chegou o momento de colocarmos seus conhecimentos em prática. Você, engenheiro responsável pelo departamento de pesquisa e desenvolvimento de uma grande empresa do setor do agronegócio, e sua equipe estão desenvolvendo um redutor de velocidade para um transportador de grãos especial. Nesta etapa do projeto, você deve, utilizando o software Autodesk Inventor 2018, desenvolver os mancais de rolamento do eixo do redutor, apresentando toda a documentação de projeto, para então podermos iniciar uma nova etapa.

Pelas definições apresentadas previamente pelo engenheiro de cálculo, deverão ser utilizados rolamentos de esferas de contato angular simples, sendo que o primeiro mancal deve ter diâmetro interno de 30 mm, diâmetro externo de 62 mm e largura de 16 mm, e o mancal de rolamento oposto deve ter diâmetro interno de 30 mm, diâmetro externo de 72 mm e largura de 19 mm. A Figura 4.14 apresenta os dados dos rolamentos de acordo com o catálogo do fabricante.

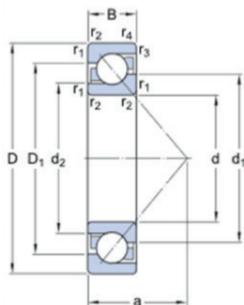
Figura 4.14 | Especificação dos rolamentos do projeto

### Dimensões Rolamento 7206 BEP (SKF)



$d$	30	mm
$D$	62	mm
$B$	16	mm
$d_1$	≈ 42.65	mm
$d_2$	≈ 36.13	mm
$D_1$	≈ 50.1	mm
$a$	27.3	mm
$r_{1,2}$	min. 1	mm
$r_{3,4}$	min. 0.6	mm

## Dimensões Rolamento 7306 BEP (SKF)



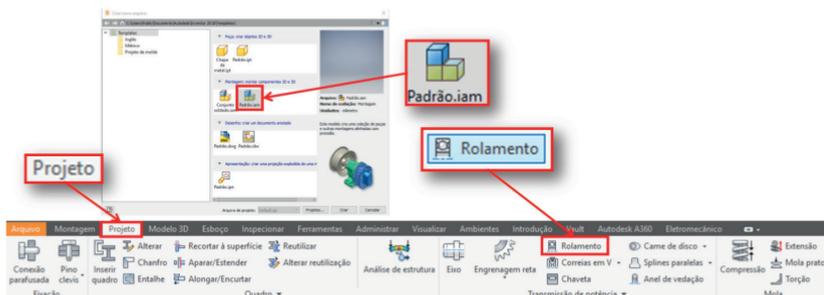
d	30	mm
D	72	mm
B	19	mm
d <sub>1</sub>	≈ 46.5	mm
d <sub>2</sub>	≈ 37.9	mm
D <sub>1</sub>	≈ 56.6	mm
a	31	mm
r <sub>1,2</sub>	min. 1.1	mm
r <sub>3,4</sub>	min. 0.6	mm

Fonte: <<http://www.skf.com/br/products/bearings-units-housings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row-angular-contact-ball-bearings/single-row/index.html>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

Aqui, temos algumas diferentes formas de fazer a modelagem 3D do rolamento. A primeira forma seria modelar de acordo com as dimensões fornecidas, conforme já fizemos anteriormente em nosso curso. Outra forma, a mais fácil, seria fazer o download do arquivo do próprio site do fabricante, no entanto às vezes não é possível por não haver arquivo disponível ou por haver incompatibilidade de arquivos, o que obriga o projetista a fazer a modelagem.

Neste momento vamos abordar mais uma possibilidade, a de modelar usando os próprios recursos do software Autodesk Inventor. O primeiro passo é abrir um novo arquivo do tipo “Padrão.iam” e entrar no ambiente de “Projeto”, onde iremos selecionar o ícone de “Rolamento” (Figura 4.15). Quando você fizer esta seleção, vai ser solicitado para que você imediatamente salve a montagem.

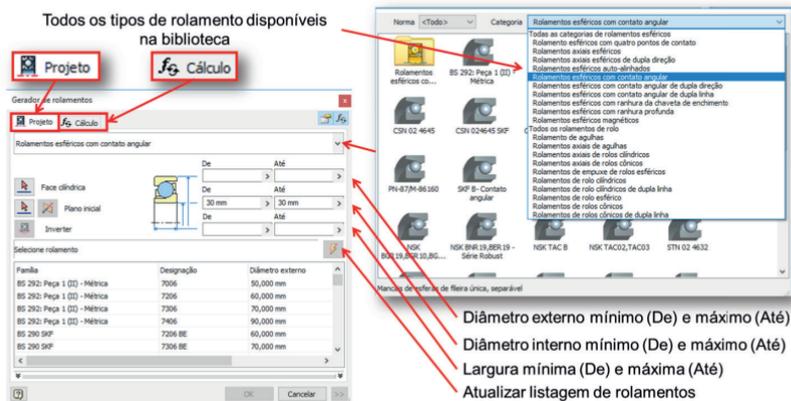
Figura 4.15 | Projeto de rolamentos – Autodesk Inventor 2018



Fonte: elaborada pela autora.

Após você salvar a montagem, irá aparecer uma janela denominada "Gerador de Rolamentos" (Figura 4.16). Nesse ambiente é possível você selecionar o rolamento de acordo com a geometria (o software possui uma biblioteca de rolamentos de diversos fabricantes) ou então fazer o cálculo/verificação do rolamento. Esta última etapa deverá ser explorada depois que você cursar a disciplina de elementos de máquinas que dará a você todo o conceito dos parâmetros de cálculo envolvidos no dimensionamento de um rolamento.

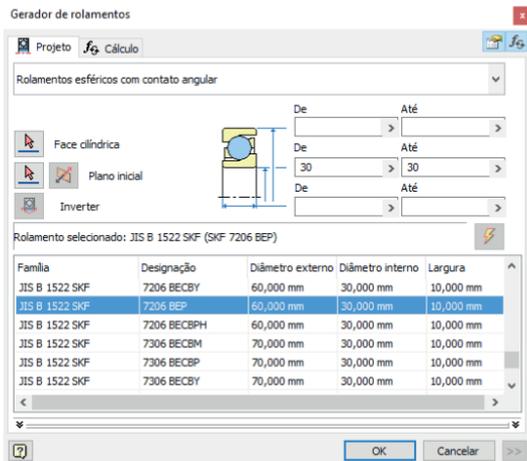
Figura 4.16 | Gerador de rolamentos



Fonte: elaborada pela autora.

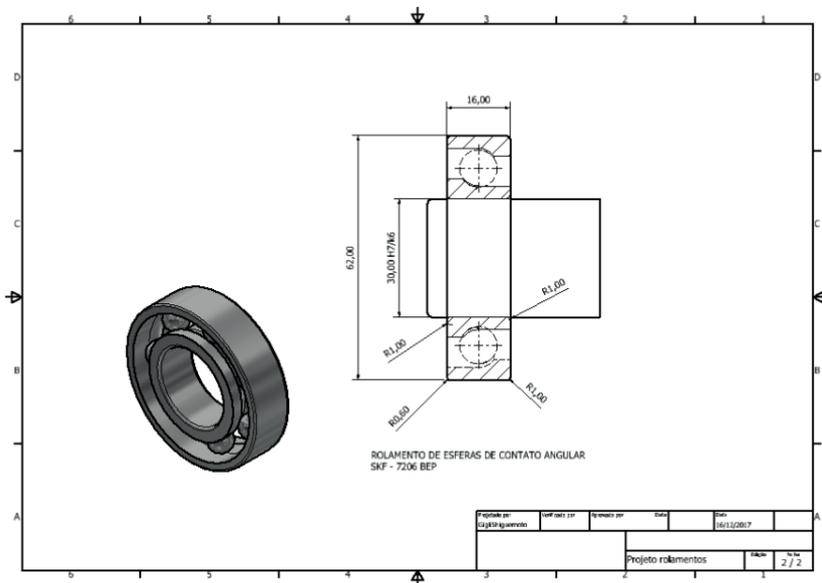
No caso, como sabemos as dimensões, na janela de "Gerador de Rolamentos", inserimos as dimensões necessárias no projeto e atualizamos a listagem de rolamentos disponíveis, para que sejam apresentados somente rolamentos com as características desejadas (Figura 4.17). Após a seleção, conforme indicado, o software automaticamente gera o elemento, conforme mostra a Figura 4.18. Faça este exercício com o outro rolamento especificado! Pratique e utilize a ferramenta disponível!

Figura 4.17 | Especificações geométricas do rolamento



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 4.18 | Modelo 3D do rolamento SKF 7206 BEP e sua documentação



Fonte: elaborada pela autora.

O resultado de nosso trabalho foi utilizando o módulo de projeto do software Autodesk Inventor 2018, no entanto é possível que sejam utilizados outros softwares para modelagem de elementos de máquinas, cuja construção pode ser realizada utilizando-se, inclusive, outras ferramentas. Verifique como é feita a modelagem de um rolamento utilizando o Solidworks®, disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ihEeUXEXRrg>> (Acesso em: 12 abr. 2018). Você vai perceber que se trata de uma modelagem bastante similar ao modo com o qual já trabalhamos rolamentos em uma de nossas aulas práticas.

## Avançando na prática

### Modelagem 3D de molas

#### Descrição da situação-problema

O gerente de engenharia da empresa que você trabalha está desenvolvendo um projeto de uma máquina específica e necessita do modelo 3D de uma mola de compressão com diâmetro interno de 19 mm, arame de 3 mm de diâmetro, com 14 voltas para direita, e comprimento livre de 89 mm. Como fazer para modelar esse elemento elástico no nosso software de trabalho, de forma rápida e precisa?

#### Resolução da situação-problema

Da mesma forma que fizemos com o rolamento anteriormente, iremos abrir uma nova montagem “Padrão.iam” e, desta vez, iremos selecionar o ícone compressão (Figura 4.19). Veja que também é possível modelar outros tipos de mola, conforme estudamos ao longo desta seção.

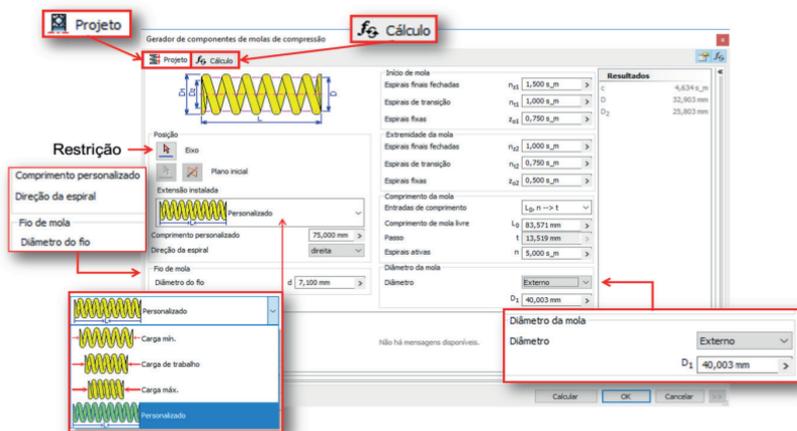
Figura 4.19 | Ambiente de modelagem 3D de molas



Fonte: elaborada pela autora.

Após fazer a seleção, surgirá a janela de "Gerador de componentes de molas de compressão" (Figura 4.20). Nesta janela, iremos inserir as dimensões da mola conforme projeto (Figura 4.21). O resultado da modelagem 3D e a vista da mola, em corte, são apresentados na Figura 4.22.

Figura 4.20 | Gerador de molas de compressão



Fonte: elaborada pela autora.

Figura 4.21 | Inserção dos dados de projeto

**Extensão instalada**

 Personalizado

Comprim. personalizado

Direção da espiral

**Fio de mola**

Diâmetro do fio

---

**Comprimento da mola**

Entradas de comprimento

Comprimento de mola livre

Passo

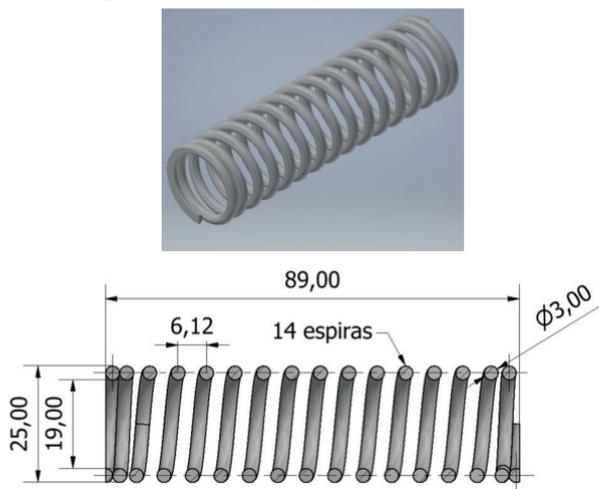
Espirais ativas

**Diâmetro da mola**

Diâmetro

Fonte: elaborada pela autora.

Figura 4.22 | Modelagem 3D e representação da mola

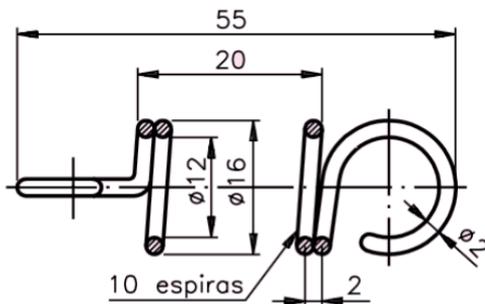


Fonte: elaborada pela autora.

## Faça valer a pena

1. A seguir é apresentado o desenho técnico de uma mola helicoidal:

Figura 4.23 | Representação da mola



Fonte: SENAI ([s.d.], p. 148).

Sobre o desenho apresentado são feitas as seguintes proposições:

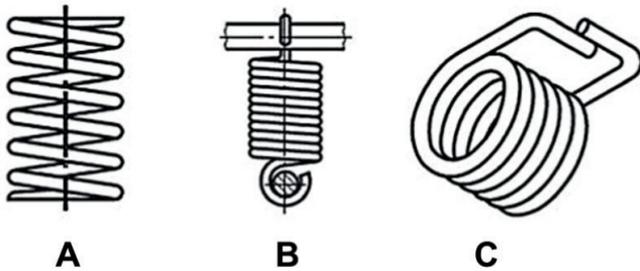
- I. Trata-se de uma mola de tração cujo comprimento total é 55 mm, com passo de 2 mm.
- II. O diâmetro interno da mola é 12 mm, o diâmetro externo é 16 mm e o passo da mola é de 20 mm.
- III. A mola possui 10 espiras e o diâmetro do arame é de 2 mm.

É CORRETO o que se afirma em:

- a) Apenas as afirmações I e III estão corretas.
- b) Apenas as afirmações I e II estão corretas.
- c) Apenas as afirmações II e III estão corretas.
- d) Todas as afirmações estão corretas.
- e) Nenhuma das afirmações é correta.

**2.** Diversas configurações de mola estão disponíveis comercialmente. As molas helicoidais são as molas mais utilizadas em projetos mecânicos e são classificadas de acordo com o tipo de esforço atuante (torção, compressão ou tração). Avalie o desenho de três tipos de molas helicoidais que é apresentado na Figura 4.24.

Figura 4.24 | Configuração de molas helicoidais



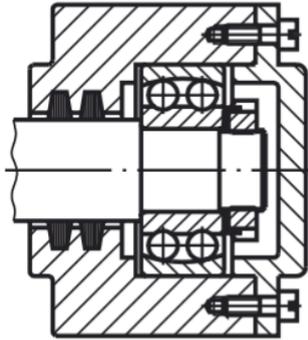
Fonte: <<https://www.aprovaconcursos.com.br/questoes-de-concurso/questoes/busca/molas/pagina/2/quantidade-por-pagina/15>>. Acesso em> 12 abr. 2018.

As molas A, B e C são projetadas para atuarem devido a esforços, respectivamente, de:

- a) Compressão, torção e tração.
- b) Compressão, tração e torção.
- c) Tração, compressão e torção.
- d) Tração, torção e compressão.
- e) Torção, tração e compressão.

**3.** No projeto de uma máquina, o engenheiro ou projetista precisa fazer a seleção do rolamento de acordo com os diversos tipos de rolamentos existentes no mercado, classificados em função dos elementos de revolução, que estão associados ao sentido da solicitação a qual o eixo está submetido. A Figura 4.25 nos mostra a representação de um desenho técnico de uma máquina, cujo mancal é um mancal de rolamento.

Figura 4.25 | Desenho técnico de uma máquina



Fonte: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/09/rolamentos-ii.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018. p. 6.

Sobre o desenho apresentado é CORRETO afirmar que se trata de:

- a) Rolamento rígido duplo, representação simplificada.
- b) Rolamento de contato angular duplo, representação em corte.
- c) Rolamento autocompensador de esferas, representação em corte.
- d) Rolamento axial duplo, representação simplificada.
- e) Rolamento autocompensador de esferas, representação simplificada.

## Seção 4.2

### Elementos de máquinas: elementos de transmissão

#### Diálogo aberto

Olá, aluno!

Você como futuro engenheiro mecânico, certamente, irá trabalhar em projetos que envolvam transmissão de potência e movimento a partir de um motor, seja ele de combustão interna ou elétrico. Nesse contexto, até retomando um pouco dos conceitos que vimos na seção anterior, o sistema mais eficiente de transmissão de potência é via movimentação de um eixo apoiado em mancais. No caso de necessidade de alteração do torque e da velocidade que será desenvolvida pela máquina, o engenheiro deve incorporar no projeto polias de correia, rodas dentadas de correntes e engrenagens. Acredito que, neste momento, você deve estar se lembrando de algum projeto em que a alteração de velocidade é requerida.

Vamos continuar o desenvolvimento do projeto em que você está trabalhando como gestor do departamento de pesquisa e desenvolvimento de uma empresa automotiva: o projeto do redutor de velocidade com um estágio. Os mancais de rolamento e os eixos já foram dimensionados. Nesta etapa do projeto você deverá modelar as engrenagens cilíndricas helicoidais conforme especificado pelo engenheiro de cálculo (Figura 4.26).

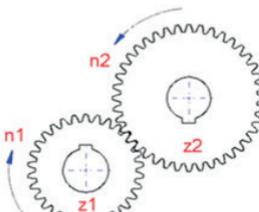
Figura 4.26 | Especificação das engrenagens cilíndricas helicoidais



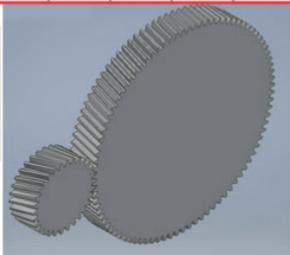
**SH**  
**Steel Helical Gears**

Especificações	
Grau de precisão	JIS N8 (JIS B1702: 1998); JIS 4 (JIS B1702: 1998)
Seção de referência da engrenagem	Plano normal
Dentes da engrenagem	Profundidade completa padrão
Ângulo de pressão transversal	20°
Ângulo de hélice	15°
Material	S45C
Tratamento térmico	—
Dureza dos dentes	menor que 194HB

Número	Módulo	Nº de dentes	Direção da hélice	Forma	Diâm. furo (A <sub>17</sub> )	Diâm. cubo (B)	Diâm. passo (C)	Diâm. ext. (D)	Largura da face (E)	Largura do cubo (F)	Largura total (G)
SH2-20R SH2-20L		20	R L	S1	12	32	41.41	45.41	25	10	35
SH2-30R SH2-30L		30	R L	S1	12	50	62.12	66.12	25	10	35
SH2-40R SH2-40L	M2	40	R L	S1	18	60	82.82	86.82	25	10	35
SH2-60R SH2-60L		60	R L	S1	18	70	124.23	128.23	25	10	35
SH2-90R SH2-90L		90	R L	S1	18	120	186.35	190.35	25	10	35



Dados de entrada	
Nº dentes - z1	30
Nº dentes - z2	90
Ângulo de pressão	20,00 °
Rotação - n1	900,00 rpm
Resultados	
Relação de transmissão - i	3,0000
Tipo de transmissão	Redução
Rotação - n2	300,00 rpm



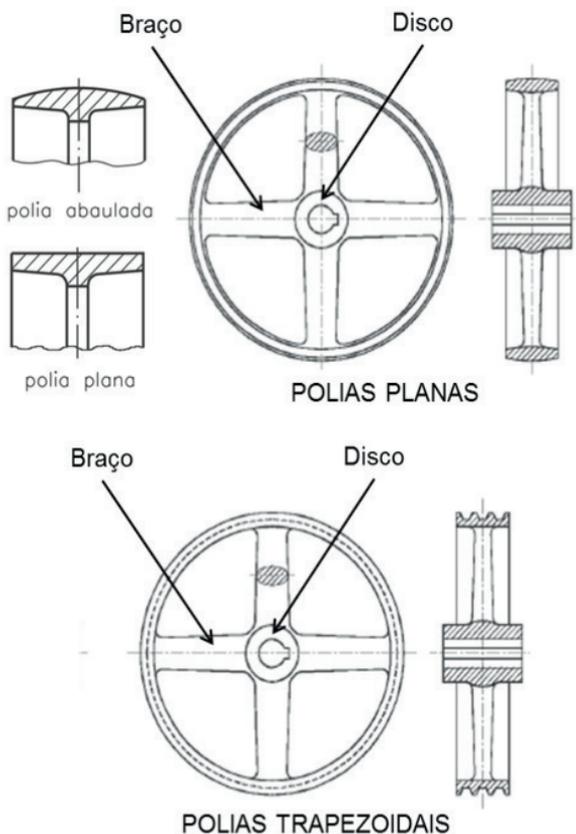
Fonte: adaptada de <<http://khkgears.net/pdf/sh.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

Como você imagina que essa modelagem 3D é feita utilizando-se o software Autodesk Inventor? Quais são os parâmetros importantes de projeto que deverão ser levados em consideração? Algum parâmetro de projeto que foi determinado anteriormente vai precisar ser alterado? Vamos, primeiro, estudar juntos os elementos de transmissão, cada um com suas especificidades. Com esse conhecimento, utilizar o software vai ser fácil!

## Não pode faltar

Uma das formas de se transmitir movimento quando os eixos estão distantes entre si, podendo estar paralelos ou não, é por meio da utilização de polias, que são peças cilíndricas, fabricadas de ferro fundido, aço, ligas leves ou materiais sintéticos e são movidas pela rotação do eixo e das correias. Podem ser classificadas em polias planas que, além do formato plano de sua superfície, podem ter o formato abaulado, ou polias trapezoidais (Figura 4.27). As polias de superfície abaulada possuem melhor desempenho quando comparadas às de superfície plana, uma vez que o formato auxilia a manutenção do posicionamento da correia.

Figura 4.27 | Tipos de polias utilizadas na transmissão por correias

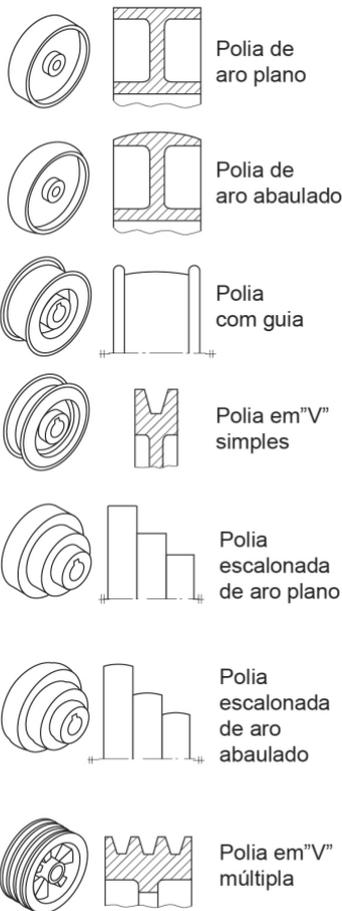


Fonte: adaptado de Silva et al. (2012, p. 334).



No mercado, podemos encontrar diversos tipos de polia, conforme apresenta a Figura 4.28.

Figura 4.28 | Variações de tipos de polias

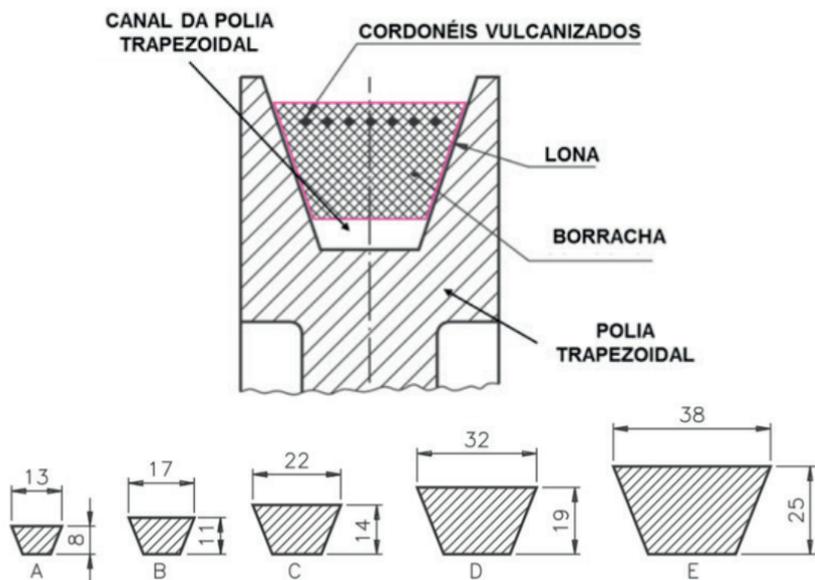


Fonte: adaptado de SENAI ([s.d.], p. 206).

As correias em "V", que são amplamente utilizadas na indústria, possuem a seção transversal em formato de trapézio que são assentadas nos canais trapezoidais das polias. Os canais das polias são dimensionados de acordo com o perfil padrão das correias, que

são cinco tipos, designados com as letras A, B, C, D e E (Figura 4.29). Com o aumento do tamanho do perfil é possível a transmissão de potências mais elevadas.

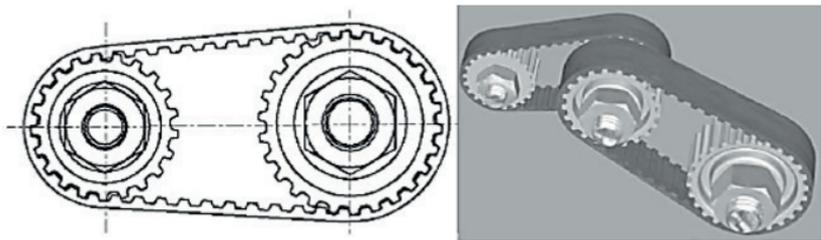
Figura 4.29 | Seção transversal de correia trapezoidal e padrões



Fonte: adaptado de SENAI ([s.d.], p. 207).

Outro tipo de correia bastante utilizado em projetos mecânicos é a correia dentada (Figura 4.30), aplicada em casos em que a transmissão de movimento precisa ser sincronizada, como o movimento do girabrequim e o eixo de comando de válvulas em um motor de combustão interna.

Figura 4.30 | Correia dentada

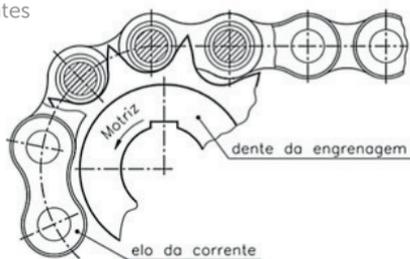


Fonte: Silva et al. (2012, p. 335).

Além da transmissão por polias e correias, a transmissão com correntes, elementos análogos às correias, é bastante utilizada na mecânica, principalmente em casos em que os eixos estejam distantes. Outra característica é que os elos das correntes geralmente são metálicos e, por isso, suportam cargas superiores às suportadas pelas correias. Correntes podem ser utilizadas em paralelo, formando correntes múltiplas. Neste tipo de mecanismo, o movimento é transmitido graças ao engrenamento dos elos das correntes com os dentes das engrenagens – roda dentada – análoga à polia (Figura 4.31) –, o que promove transmissão de movimentos de potência maior, sem deslizamento.

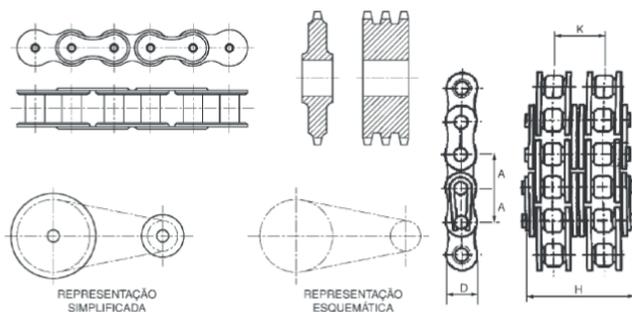
A representação em desenhos técnicos de uma transmissão por correntes na forma simplificada e na forma esquemática, elos de corrente articulada e polias dentadas são apresentadas na (Figura 4.32). A especificação das correntes se dá pelo passo (distância entre centros das emendas dos elos). As rodas dentadas são específicas para cada tipo de corrente, sendo padronizada pelo diâmetro, que está associado ao passo da corrente.

Figura 4.31 | Correntes



Fonte: adaptado de SENAI ([s.d.], p. 213).

Figura 4.32 | Representação de correntes em desenhos



Fonte: Silva et al. (2012, p. 334).



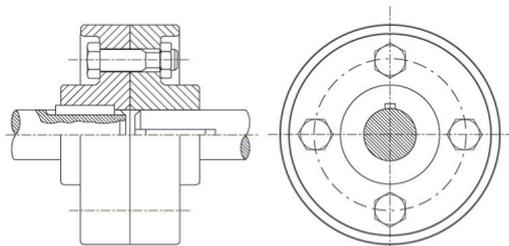
Existem diversos tipos de correntes disponíveis no mercado. Acesse o arquivo elaborado pelo SENAI em parceria com a Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) sobre Noções Básicas de Elementos de Máquinas (1996), disponível em: <<http://www.abraman.org.br/arquivos/72/72.pdf>> (Acesso em: 21 dez. 2017), e verifique na página 48 os tipos existentes. Existem casos em que as correntes podem ser utilizadas até como transportadores, conhecidos comercialmente como transportadores de correntes, de arrasto ou, também, como redlers. Veja a aplicação neste vídeo de um transportador de correntes, disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ztgqWgodqKs>> (Acesso em: 21 dez. 2017).

Os acoplamentos são conjuntos mecânicos que servem para ligar dois eixos entre si, transmitindo, desta forma, movimento e potência. De acordo com as características desta união, podemos classificar os acoplamentos em fixos, móveis, elásticos e comutáveis, sendo que as fixos são as mais comuns e conservam os eixos girando em torno do mesmo eixo geométrico, como se fosse uma única peça. As uniões móveis permitem mudança de posição de eixo, como ocorre em eixos cardã. As elásticas, que contêm elementos elásticos, como molas, por exemplo, permitem que os deslocamentos entre eixos sejam muito pequenos. As uniões comutáveis permitem que se una ou separe os eixos de acordo com a necessidade: é o que acontece com a embreagem dos carros, que você já conhece bem.

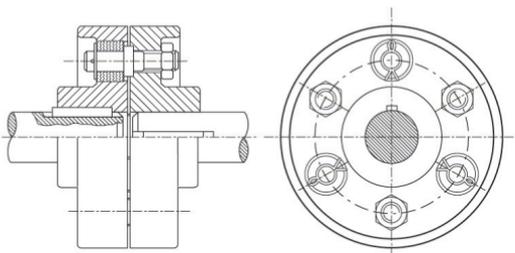


A Figura 4.33 apresenta exemplos de utilização e, também, representação dos tipos de acoplamento em desenhos técnicos.

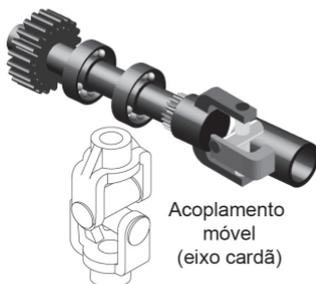
Figura 4.33 | Tipos de acoplamentos e representação em desenhos



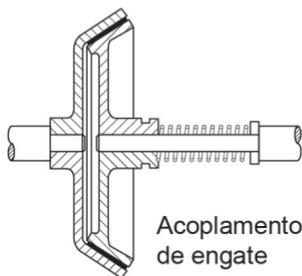
Acoplamento fixo



Acoplamento elástico



Acoplamento móvel  
(eixo cardã)



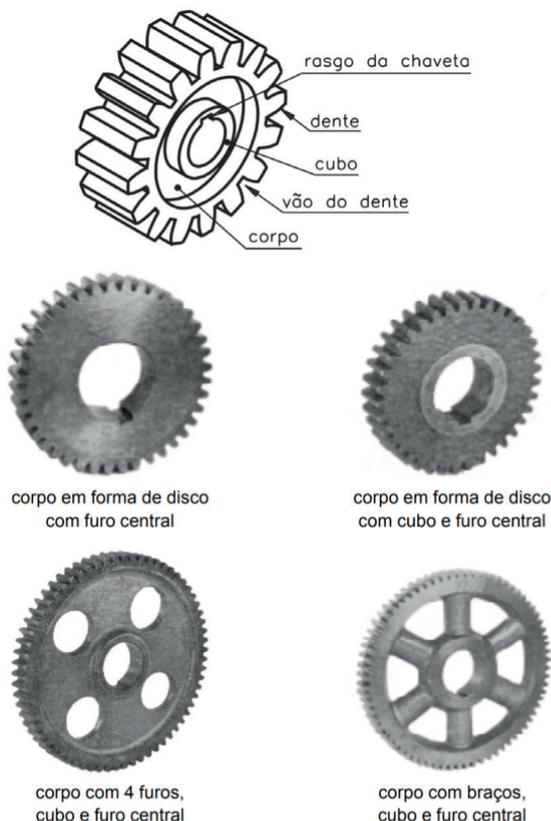
Acoplamento de engate

Fonte: adaptado de Silva et al. (2012, p. 328).

O acoplamento fixo mostrado no exemplo é aplicado quando o projeto exige transmissão de grande potência sob baixa velocidade. O cardã é um tipo de acoplamento móvel utilizado para transmissão de máquinas em que haverá movimentos de torção, como exemplo podemos citar um implemento agrícola acoplado a um trator, que necessita de constante movimentação. Os acoplamentos elásticos possuem elementos que permitem a compensação do deslocamento axial. O acoplamento de engate é um tipo de acoplamento comutável que opera devido ao atrito e que transmite potência e movimento quando acionado.

Nos casos em que os eixos não se prolongam, há necessidade do emprego de um sistema de transmissão de movimento similar aos que vimos anteriormente, envolvendo polias, correias e correntes. Neste sistema, existe um eixo que está acoplado ao motor e, por isso, é chamado de eixo motor, e um eixo movido, que se movimenta devido à transmissão de movimento que foi efetuada via correntes ou correias. Outra forma de se transmitir movimento neste sistema é por meio de engrenagens, cujo mecanismo é constituído por uma roda com dente padronizado que se arrasta pela outra. Além de transmitirem o movimento, as engrenagens permitem alteração do número de rotações e da direção do movimento. As principais partes das engrenagens e dos tipos de corpo de engrenagens são apresentadas na Figura 4.34.

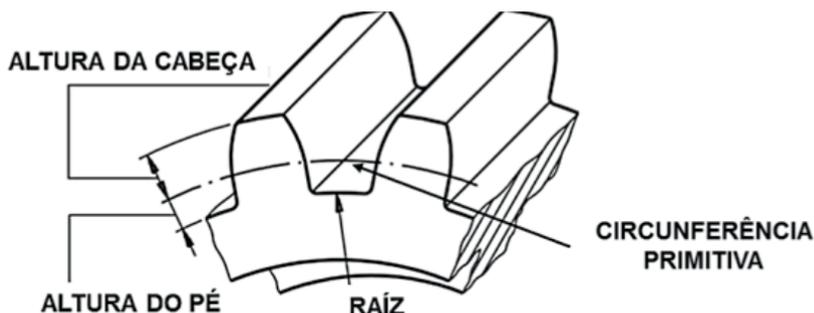
Figura 4.34 | Partes de uma engrenagem e tipos de corpo



Fonte: adaptado de SENAI ([s.d.], p. 235).

Os dentes das engrenagens são os elementos que permitem que uma engrenagem se encaixe sobre a outra de forma a possibilitar a transmissão de movimento (Figura 4.35). No desenho, a representação da circunferência da cabeça (contorno da roda) é feita com linha contínua; a circunferência do pé é representada com linha tracejada e o diâmetro primitivo é representado pelas linhas formadas de traço e ponto.

Figura 4.35 | Dentes da engrenagem



Fonte: adaptada de SENAI (s.d.), p. 235).

No chamado par de engrenagens, quando houver diferença de tamanho entre as engrenagens, a engrenagem maior denomina-se coroa, enquanto que a engrenagem menor é o pinhão. Os tipos de engrenagens podem ser verificados na Figura 4.36.

Figura 4.36 | Tipos de engrenagens



ENGRENAGENS CILÍNDRICAS DE DENTES RETOS



ENGRENAGENS CILÍNDRICAS HELICOIDAIS



ENGRENAGENS CILÍNDRICAS  
HELICOIDAIS DUPLAS



ENGRENAGENS PINHÃO-  
CREMALHEIRA



ENGRENAGENS SEM-FIM



ENGRENAGENS HELICOIDAIS  
CÔNICAS



ENGRENAGENS HELICOIDAIS DE  
DENTES RETOS

Fonte: <<http://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/metais-e-artefatos/engrenagens-pozelli/produtos/acessorios/>>. Acesso em: 22 dez. 2017.

As engrenagens cilíndricas são aplicadas nos casos em que os eixos estão dispostos paralelamente entre si. Dentro deste grupo, existem as engrenagens cilíndricas de dentes retos, que são as mais usuais, e as de dentes helicoidais, que transmitem mais suavemente o movimento, e por este motivo as máquinas projetadas com estes elementos são mais silenciosas. As engrenagens cilíndricas helicoidais também permitem transmissão de rotação entre eixos não paralelos (eixos reversos). No caso de uma das engrenagens possuir diâmetro infinito, fala-se no sistema de engrenagens pinhão-cremalheira, bastante utilizado na transformação de um movimento de rotação em movimento de translação. Engrenagens cônicas são aplicadas na transmissão de movimento entre eixos dispostos a  $90^\circ$  entre si, permitindo a alteração da direção do movimento.

A representação das engrenagens, da forma convencional e da forma simplificada, nos desenhos é feita conforme apresentado na Figura 4.37.

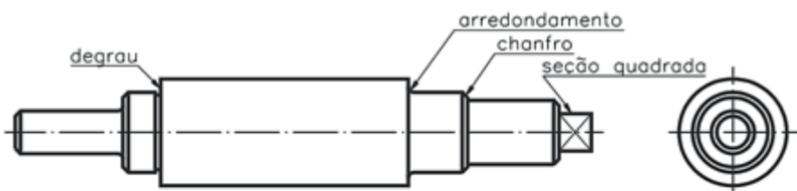
Figura 4.37 | Representação de engrenagens em desenhos técnicos

	EM CORTE	EM ESQUEMA		EM CORTE	EM ESQUEMA
DENTES RETOS			RODA-CREMALHEIRA		
DENTES RETOS			EIXOS ORTOGONAIS COM DENTES HELICOIDAIS		
PARAFUSO SEM-FIM COROIA			CÔNICAS DE DENTES RETOS		

Fonte: Silva et al. (2012, p. 335).

Terminamos esta seção estudando um elemento com o qual já trabalhamos em diversas situações, os eixos! Estes elementos podem ser fixos ou giratórios e sobre eles são montados rolamentos, polias, engrenagens, etc. O tipo mais comum em projetos mecânicos é o eixo maciço (Figura 4.38), com seção transversal circular, bem como degraus ou apoios para ajustes dos demais elementos de máquinas que serão montados sobre ele. Para que se evitem rebarbas, as extremidades dos eixos são chanfradas e as arestas possuem raio de arredondamento para evitar concentração de esforços e, conseqüentemente, ruptura neste ponto.

Figura 4.38 | Representação de eixos maciços



Fonte: adaptado de SENAI ([s.d.], p. 198).



Refleta

Vimos que existem disponíveis no mercado diversos tipos dos elementos de máquina que estudamos na seção. Em termos dos eixos, você deve imaginar que também deva existir uma gama de tipos de eixos e, realmente, existe: eixos vazados, cônicos e estriados são alguns dos que podemos destacar. Mas, qual seria a função destes diferentes tipos de eixos? Qual seria a aplicação de cada um? Discuta com seu professor e seus colegas sobre as possibilidades e os diferentes projetos!

Antes de seguirmos com os exemplos práticos, veja na Figura 4.39 a tela inicial do software Autodesk Inventor 2018, com as ferramentas para projeto dos elementos de máquinas, disponíveis em arquivos de montagem (.iam) vistos nesta seção: eixos, engrenagens e correias.

Figura 4.39 | Tela inicial para projetos de eixos, engrenagens e correias – Autodesk Inventor 2018



Fonte: elaborada pela autora.

## Sem medo de errar

Agora é a hora de concentrar os esforços para o projeto do redutor de velocidade que você e sua equipe estão desenvolvendo. Os mancais de rolamento e os eixos já foram dimensionados. E o engenheiro de cálculo já determinou os parâmetros de projeto relacionados às engrenagens cônicas helicoidais (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 | Parâmetros de projeto das engrenagens

Dados de projeto		
Rotação de entrada [rpm]	900	
Rotação de saída [rpm]	300	
Relação de transmissão	3	
Ângulo de pressão [°]	20	
Ângulo de hélice [°]	15	
	Coroa	Pinhão
Módulo	M2	M2
Número de dentes (Z)	90	30
Diâmetro furo [mm]	18	12
Diâmetro do cubo [mm]	120	50
Diâmetro primitivo [mm]	186,35	62,12
Diâmetro externo [mm]	190,35	66,12
Largura da face [mm]	25	
Largura do cubo [mm]	10	
Largura total [mm]	35	

Fonte: elaborada pela autora.

Com estes dados, vamos modelar o par de engrenagens no software Autodesk Inventor, no módulo de projeto (Figura 4. 40). Você se lembra de que para trabalhar neste ambiente precisamos abrir um novo arquivo "Padrão.iam", correto?

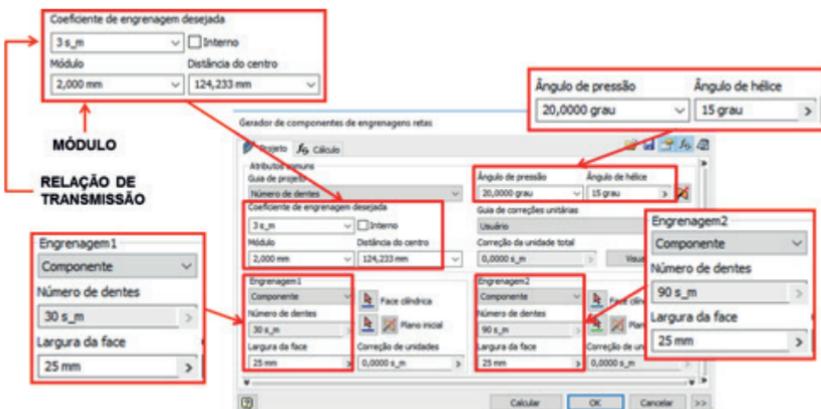
Figura 4.40 | Projeto de engrenagens – Autodesk Inventor 2018



Fonte: adaptada de Autodesk Inventor 2018.

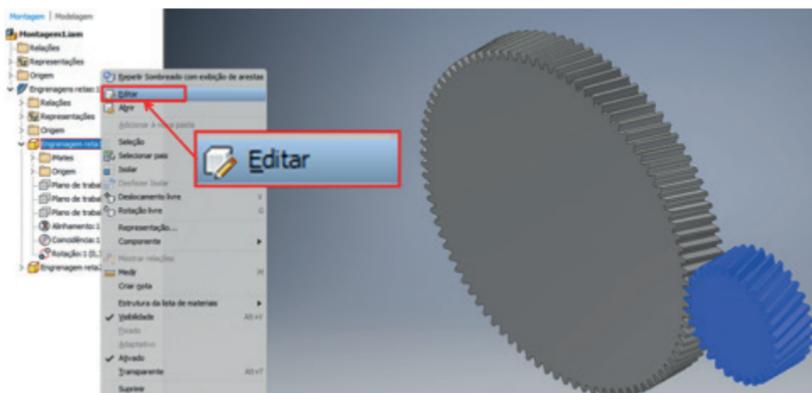
Selecionamos trabalho com engrenagem reta, onde é possível projetar tanto engrenagens cilíndricas de dentes retos quanto engrenagens cilíndricas helicoidais, nosso objetivo. Ao fazermos a seleção, a janela do “Gerador de componentes de engrenagens retas” irá surgir e, então, iremos inserir nos campos todos os parâmetros definidos pela engenharia (Figura 4.41). Observando o modelo 3D gerado do par de engrenagens, podemos perceber que o cubo não foi modelado e precisamos editar o modelo. Para tal, na árvore da montagem, selecionamos cada engrenagem isoladamente e fazemos as edições necessárias (Figura 4.42), como você já bem conhece, respeitando-se as dimensões de projeto. Realizadas as devidas edições, o projeto deve ser documentado de forma apropriada. Verifique o resultado final na Figura 4.43, onde as dimensões são indicadas em milímetros.

Figura 4.41 | Inserção dos dados no gerador de componentes de engrenagens retas



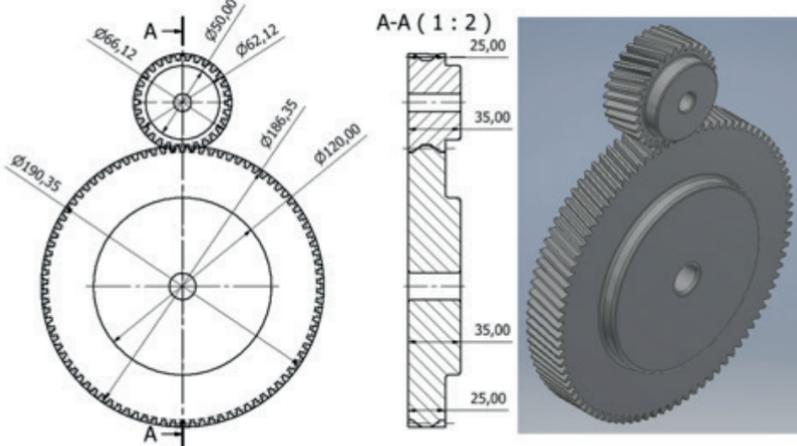
Fonte: adaptada de Autodesk Inventor 2018.

Figura 4.42 | Edição do modelo de engrenagens cilíndricas helicoidais



Fonte: adaptada de Autodesk Inventor 2018.

Figura 4.43 | Documentação de projeto



Fonte: elaborada pela autora.

## Avançando na prática

### Modelagem 3D de um eixo

#### Descrição da situação-problema

Imagine a situação em que você, projetista, trabalha em um escritório de projetos de máquinas e seu gerente requisitou a

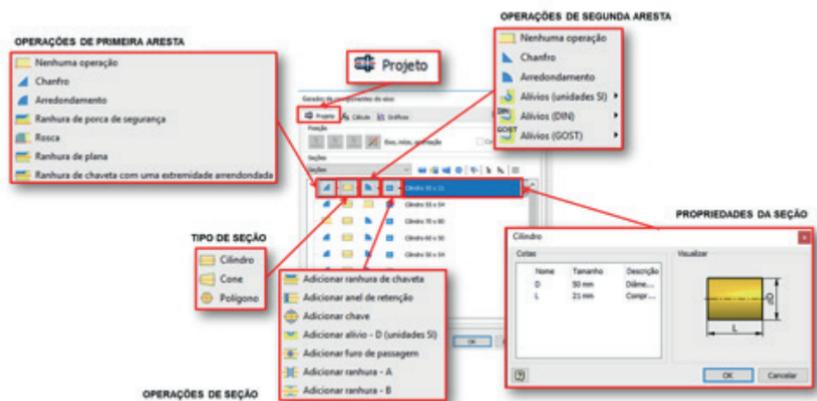


## Resolução da situação-problema

Devemos abrir uma nova montagem “Padrão.iam” e, desta vez, iremos selecionar o ícone “Eixo”, que irá abrir o “Gerador de componentes do eixo”. Com base no desenho fornecido, iremos inserir as seções cilíndricas, informando diâmetro (D) e comprimento (L). É possível, também, inserir elementos como rasgos de chaveta, anéis de retenção e furos passantes (Figura 4.45).

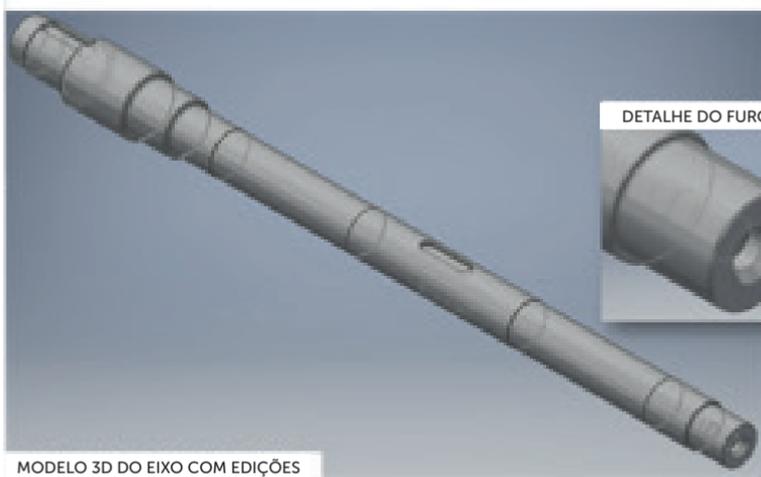
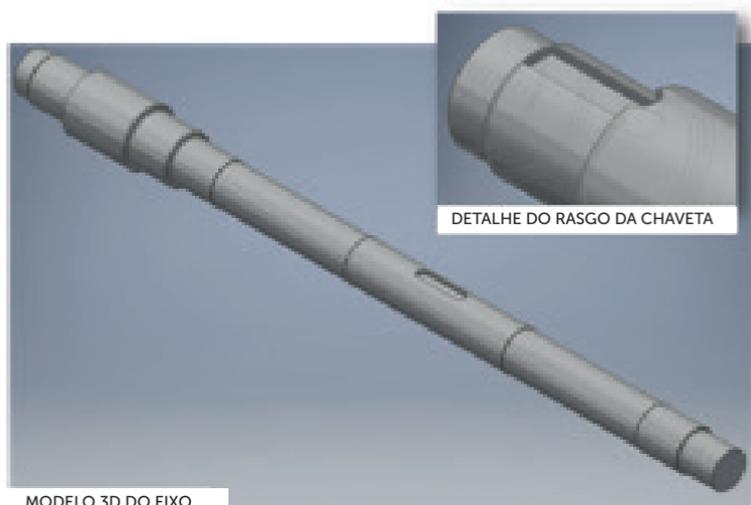
Esta ferramenta não permite adicionar alguns elementos fora do padrão do software, por isso deverão ser modelados no próprio eixo por você, como é o caso do rasgo de chaveta da seção com diâmetro de 55 mm e o furo na ponta do eixo, que possui muitos detalhes e a ferramenta permite somente a modelagem de furos mais simples. O modelo 3D gerado automaticamente pelo software e o modelo com as edições referentes ao furo e ao rasgo da chaveta são apresentados na (Figura 4.46).

Figura 4.45 | Gerador de componentes do eixo



Fonte: adaptado de Autodesk Inventor 2018.

Figura 4.46 | Modelo 3D do eixo



Fonte: elaborada pela autora.

## Faça valer a pena

**1.** Um dos sistemas mais antigos de transmissão de movimento é o conjunto de polia e correia, que possui ampla aplicação em projetos de máquinas. A transmissão de potência, neste caso, se dá devido ao atrito e pode ser projetada de forma simples ou múltipla, quando existem polias intermediárias com diâmetros diferentes. Analise a figura a seguir e, na sequência, responda:

Figura 4.47 | Representação de elemento de máquina em desenho



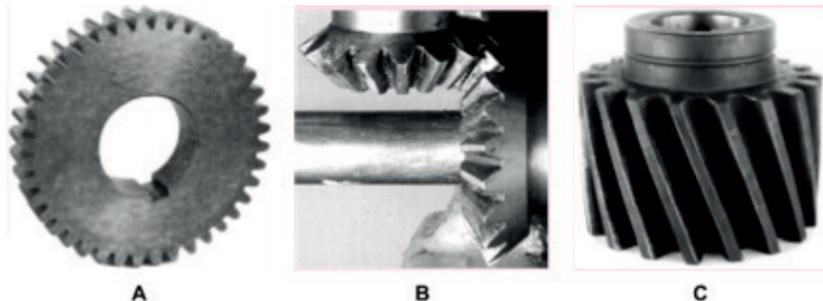
Fonte: adaptado de SENAI ([s.d.], p. 211).

O elemento de transmissão que o desenho representa é:

- a) Polia com guia.
- b) Polia de aço abaulado.
- c) Polia em "V".
- d) Polia para correia redonda.
- e) Polia escalonada de aço plano.

**2.** As engrenagens são peças importantes no funcionamento de diversas máquinas. O mecanismo consiste no trabalho de pares de engrenagens, cujos dentes são encaixados no momento da operação. De acordo com a aplicação, o engenheiro deve optar pelo uso de determinado tipo de engrenagem em seu projeto.

Figura 4.48 | Alguns tipos de engrenagens



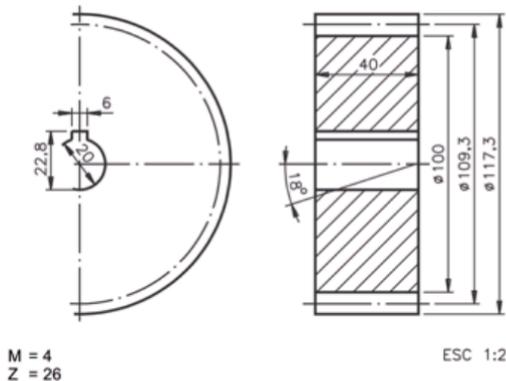
Fonte: adaptada de SENAI ([s.d.], p. 235, 237 e 238).

Identifique os tipos de engrenagens (A – B – C) representados na figura.

- a) Cilíndrica de dentes internos – pinhão-cremalheira – sem fim.
- b) Cilíndrica de dentes helicoidais – cônica – cilíndrica de dentes retos.
- c) Cilíndrica de dentes retos – cônica – cilíndrica de dentes helicoidais.
- d) Sem fim – pinhão-cremalheira – cilíndrica de dentes côncavos.
- e) Cilíndrica de dentes retos – sem fim – cônica.

**3.** A engrenagem cilíndrica helicoidal usualmente é utilizada em projetos de máquinas com rotações elevadas quando os eixos estão paralelos ou, também, quando os eixos formam entre si ângulos de  $60^\circ$  ou  $90^\circ$ . Na representação do desenho, além das características geométricas indicadas conforme demais tipos de engrenagens cilíndricas, é necessária a representação do ângulo de hélice. Analise o desenho a seguir e as afirmações que se fazem acerca dele.

Figura 4.49 | Representação 2D de engrenagem cilíndrica helicoidal



Fonte: adaptada de SENAI ([s.d.], p. 257).

- I. O diâmetro externo possui 117,3 mm, o diâmetro primitivo possui 100 mm e o diâmetro interno possui 20 mm.
- II. O ângulo de inclinação da hélice é de  $20^\circ$ .
- III. A largura da engrenagem é de 6 mm.

É CORRETO o que se afirma em:

- a) Apenas as afirmações I e III estão corretas.
- b) Apenas as afirmações I e II estão corretas.
- c) Apenas as afirmações II e III estão corretas.
- d) Todas as afirmações estão corretas.
- e) Nenhuma das afirmações é correta.

## Seção 4.3

### Elementos de máquinas: elementos de fixação

#### Diálogo aberto

Olá, aluno!

Chegamos à última seção do curso de Desenho Técnico Mecânico e, como você pôde perceber ao longo do curso, os projetos de máquinas envolvem componentes individuais, que são fabricados a partir de processos fabris específicos, e então estes componentes são unidos aos demais para que se forme o conjunto completo ou, melhor dizendo, a máquina. A união destes componentes pode se dar por dois processos diferentes: o processo de ligação permanente, do qual podemos destacar a soldagem, já estudada em unidades anteriores, e o processo de ligação desmontável, em que as peças podem ser separadas sem que haja destruição dos componentes.

A escolha do tipo de união e o método de fixação a serem utilizados no projeto depende de muitos fatores, tais como carregamento da estrutura, tipo de material, dimensões, espessura dos componentes, precisão de alinhamento requerida, tolerâncias dimensionais, se será necessária a desmontagem do componente para que seja feito, por exemplo, algum tipo de manutenção e, finalmente, o custo, que pode ser um fator determinante para a seleção. Normalmente, após a avaliação realizada pelas pessoas envolvidas no projeto, são selecionadas uma ou duas opções de uniões, muitas das vezes com a combinação destes tipos. Dada a variedade de tipos de união e, também, de elementos de fixação existentes no mercado, você, como futuro engenheiro, deve conhecê-los e saber como representar apropriadamente rebites, pinos e contrapinos, porcas, parafusos, arruelas, cavilhas, chavetas e estrias.

Você deve se lembrar do projeto do redutor de velocidade no qual você está trabalhando com a equipe que você lidera e que deve atender a demanda específica de um cliente. Nas etapas passadas do projeto, você determinou e documentou os mancais de rolamento que suportarão um eixo de 30 mm de diâmetro e

também as engrenagens para que a redução de velocidade de 900 rpm para 300 rpm seja efetivada. No modelo de engrenagens, a coroa é fornecida com um pré-furo de 18 mm e o pinhão é fornecido com pré-furo de 12 mm. Como no projeto o eixo possui diâmetro maior, precisamos enviar um desenho ao setor de usinagem para que o diâmetro do furo seja adequado para a montagem no eixo e, ainda, que possua o rasgo para a chaveta que manterá o eixo unido à engrenagem. Além da engrenagem, é preciso que o eixo também possua o rasgo para a chaveta. Você consegue fazer essas alterações nas engrenagens e no eixo? Consegue ainda inserir a chaveta padronizada utilizando ferramenta específica do software? No final da modelagem e documentação, consegue executar uma vista explodida de todos os conjuntos que foram dimensionados nesta unidade? Aprofunde seus conhecimentos sobre elementos de fixação e trabalhe com o software. Assim, com certeza, conseguirá terminar o projeto e obterá muito sucesso em sua apresentação final! Mãos à obra!

## Não pode faltar

**Rebites** são elementos de fixação utilizados em ligações permanentes, ou seja, são destruídos caso precise haver intervenção na ligação (SILVA et al., 2006). São geralmente utilizados nas uniões de chapas ou perfis laminados. Possuem um corpo cilíndrico com uma cabeça em uma das extremidades. Para que em seus projetos você faça a correta especificação dos rebites a serem utilizados, é preciso que você especifique o material, tipo de cabeça, diâmetro de corpo e comprimento útil e a forma de fixação, que pode ser realizada a quente ou a frio.



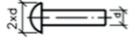
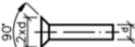
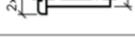
### Pesquise mais

Você já imaginou como é feita a colocação de um rebite? Assista ao vídeo *Como as coisas funcionam – Rebite* (2016) e fique sabendo como é feita a fixação a frio. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=j-a\\_Qbq0F\\_g](https://www.youtube.com/watch?v=j-a_Qbq0F_g)>. Acesso em: 27 dez. 2017.

A Figura 4.50 apresenta a classificação dos rebites em função do formato de sua cabeça, utilização e dimensões padronizadas. A representação da aplicação da utilização de rebites em união de

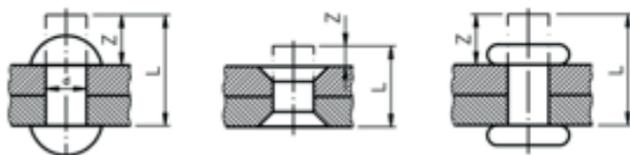
chapas, excesso de material (Z) necessário para formar a segunda cabeça do rebite, são apresentadas na Figura 4.51.

Figura 4.50 | Tipos de rebites, dimensões padronizadas em emprego

TIPO	FORMATO DA CABEÇA	EMPREGO
	Cabeça redonda larga	Largamente utilizados devido à resistência que oferecem.
	Cabeça redonda estreita	
	Cabeça escareada chata larga	Empregados em uniões que não admitem saliências.
	Cabeça escareada chata estreita	
	Cabeça escareada com calota	Empregados em uniões que admitem pequenas saliências.
	Cabeça tipo panela	
	Cabeça cilíndrica	Usados nas uniões de chapas com espessura máx. de 7 mm.

Fonte: adaptada de SENAI (s.d.), p. 12).

Figura 4.51 | Representação de união por rebites

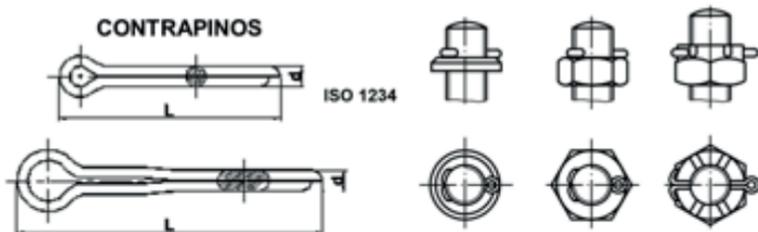


**d = diâmetro do rebite.**  
**L = comprimento útil.**  
**Z = excesso de material.**

Fonte: adaptada de SENAI (s.d.), p. 15).

**Cupilhas** ou **contrapinos** são arames de seção semicircular dobrado que forma um corpo cilíndrico e uma cabeça, com a principal função de travar outros elementos de máquinas, por exemplo porcas (Figura 4.52). A norma DIN 94 / ISO 1234, referenciada na Figura 4.52, é a norma que possui como objetivo estabelecer as dimensões-padrão de contrapinos.

Figura 4.52 | Contrapinos e exemplos de aplicação

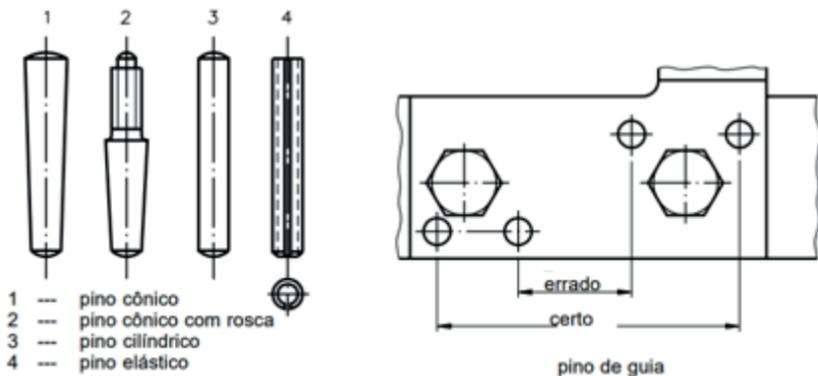


Fonte: adaptada de Silva et al. (2012, p. 324).

Os **pinos** possuem a função de alinhar elementos de máquinas, permitindo a união de dois ou mais componentes, estabelecendo conexão entre eles, principalmente quando existe vibração. A representação dos tipos e descrição da função de pinos são apresentados na (Figura 4.53).

Figura 4.53 | Representação de diferentes tipos de pinos e função

TIPO	FUNÇÃO
1. Pino cônico	Ação de centragem.
2. Pino cônico com haste rosçada	A ação de retirada do pino de furos cegos é facilitada por um simples aperto da porca.
3. Pino cilíndrico	Requer um furo de tolerâncias rigorosas e é utilizado quando são aplicadas as forças cortantes.
4. Pino elástico ou pino tubular partido	Apresenta elevada resistência ao corte e pode ser assentado em furos, com variação de diâmetro considerável.
5. Pino de guia	Serve para alinhar elementos de máquinas. A distância entre os pinos deve ser bem calculada para evitar o risco de ruptura.



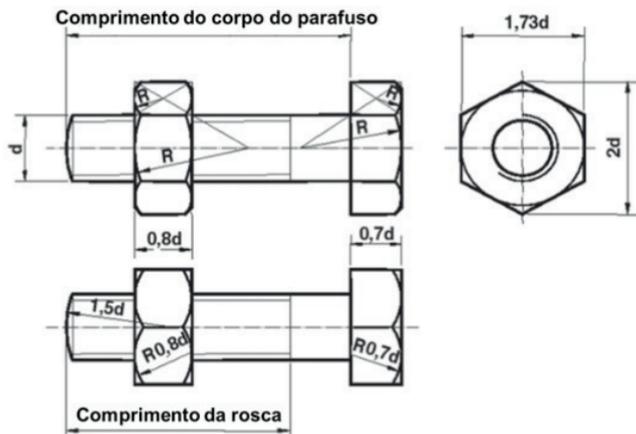
Fonte: adaptada de SENAI ([s.d.], p. 34).

De uso bastante disseminado em projetos, de forma geral, parafusos, porcas e arruelas são peças que podem ser metálicas ou não e são utilizadas para ligação não permanente de componentes de máquinas e equipamentos. Representam uma alternativa simples e econômica para projetos nos quais são necessárias montagem e, posterior, desmontagem para que seja feito algum tipo de manutenção, por exemplo. Os diversos tipos que existem no mercado são padronizados internacionalmente, e suas dimensões são determinadas em função do diâmetro nominal da rosca. A padronização dos parafusos garante que possam ser obtidas peças uniformes, permutáveis, que podem ser solicitadas com especificações simplificadas e a um custo baixo, o que vai ao encontro das necessidades do projeto, sendo recomendado seu uso sempre que possível.

De forma geral, os **parafusos** possuem uma cabeça cujo formato varia de acordo com função e aplicação. O corpo cilíndrico pode possuir rosca inteira (em toda a sua extensão) ou parcial, no caso de parafusos longos. Quando utilizada, a porca geralmente possui o mesmo formato da cabeça do parafuso. No entanto, em casos específicos, podem ser utilizados tipos especiais de porcas, como a porca cega, porca borboleta, castelo ou contraporca.

Em termos de dimensional, exceto o comprimento do corpo e da rosca, todas as outras dimensões estão relacionadas com o diâmetro nominal ( $d$ ) do parafuso (Figura 4.54).

Figura 4.54 | Dimensões de um parafuso

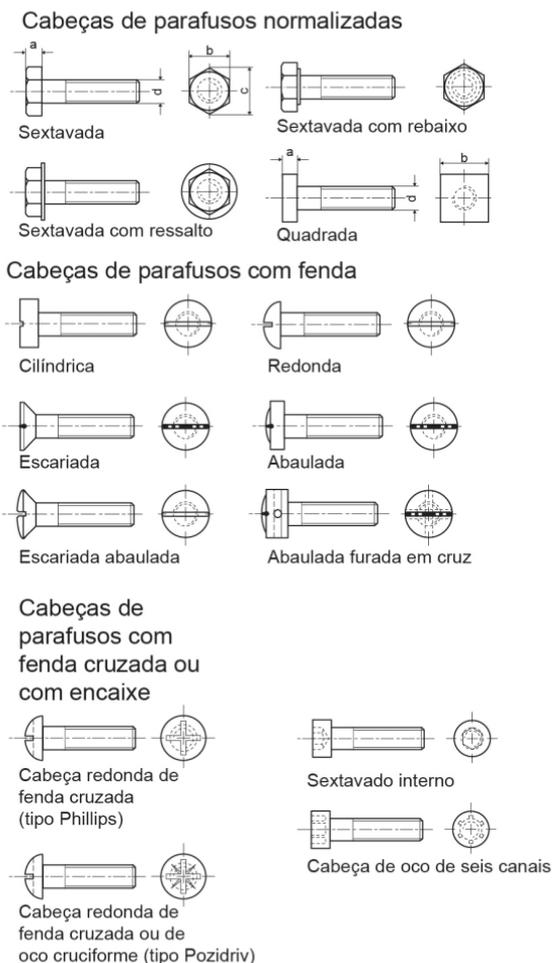


Fonte: Ribeiro; Peres; Izidoro (2013, p. 224).

Quando o espaço for reduzido, você pode avaliar em seu projeto a substituição da rosca por um furo com rosca em uma das peças. Desta forma, em uma das peças, o parafuso passa por um furo liso e se acopla na segunda peça ao furo roscado. Este furo pode ser passante ou não.

Em relação à cabeça do parafuso, pode haver diversas formas, que são destacadas na Figura 4.55. A cabeça pode, ainda, conter informação sobre a classe de resistência do parafuso.

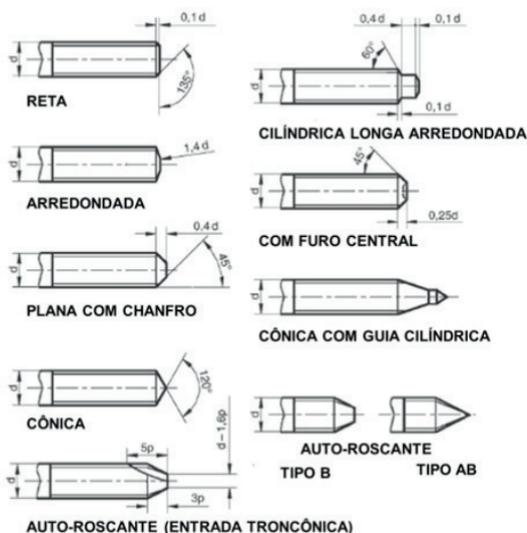
Figura 4.55 | Tipos de cabeça de parafuso



Fonte: adaptado de Silva et al. (2012, p. 317).

Ao especificar um parafuso para seu projeto, você deverá indicar as informações da seguinte maneira: tipo de parafuso – norma – rosca x comprimento – classe de resistência. No campo “Rosca”, você pode especificar tipo, diâmetro, passo e sentido. A ponta do parafuso também pode apresentar diversos formatos normalizados por norma (Figura 4.56).

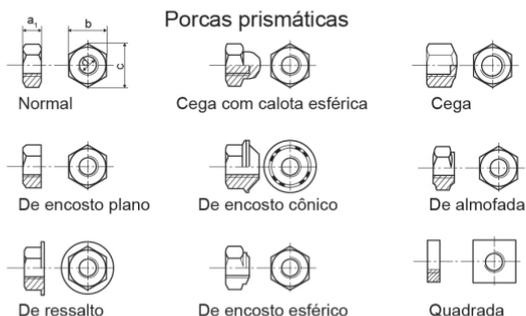
Figura 4.56 | Tipos de ponta de parafuso



Fonte: adaptada de Silva et al. (2012, p. 219).

A **porca** é a peça que mantém a união de uma ligação parafusada e, geralmente, possui a mesma forma da cabeça do parafuso. Vários modelos de porcas estão disponíveis no mercado (Figura 4.57).

Figura 4.57 | Tipos de porcas



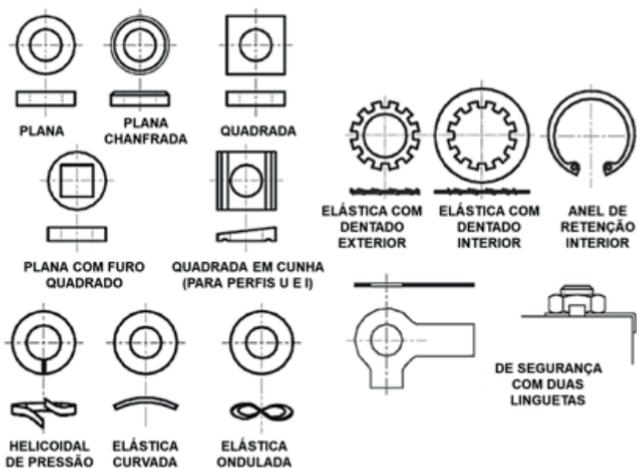


Fonte: adaptada de Silva et al. (2012, p. 220).

Dentre estas, as sextavadas normais são as mais utilizadas em projetos da área de engenharia mecânica e civil. As porcas de aperto manual são utilizadas quando a desmontagem é frequentemente necessária. As porcas cegas são utilizadas quando se busca um acabamento bonito na peça. As porcas com travas possuem rasgos na parte superior que permitem o alojamento da cupilha, que passa por um furo presente no corpo do parafuso, promovendo o travamento do conjunto.

Em uma ligação parafusada, além do parafuso em si e da porca, existe outro elemento que deve ser usado para distribuir igualmente a força de aperto entre os elementos de fixação e as peças a serem unidas: são as **arruelas**. Os tipos de arruelas existentes no mercado podem ser verificados na Figura 4.58.

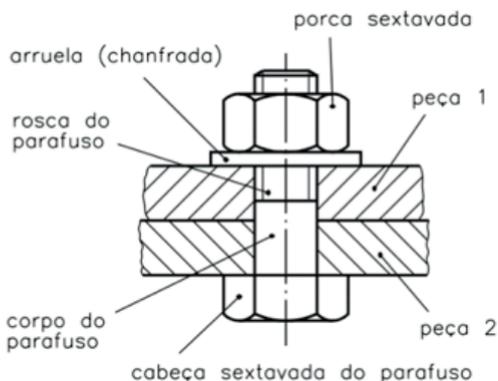
Figura 4.58 | Tipos de arruelas



Fonte: adaptada de Silva et al. (2012, p. 322).

Outra vantagem da utilização de arruelas é a facilidade de aperto da porca quando se trabalha em superfícies ásperas, sendo também uma proteção mecânica contra marcas de aperto na peça. A Figura 4.59 ilustra uma típica ligação parafuso – porca – arruela.

Figura 4.59 | Representação ligação parafusada



Fonte: SENAI (s.d.), p. 38).



## Assimile

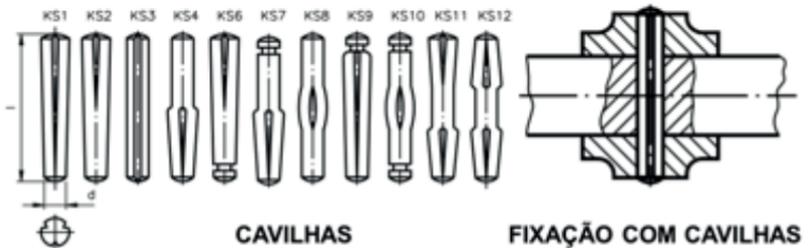
As definições importantes relacionadas a parafusos são listadas a seguir:

- **Diâmetro nominal:** diâmetro básico maior da rosca.
- **Largura da base – W:** distância que separa os lados paralelos de uma cabeça ou porca hexagonal. Corresponde ao tamanho nominal da chave.
- **Faces superiores das cabeças de parafusos e porcas:** são planas e com chanfro para remoção de cantos vivos. Para cabeça quadrada, o ângulo é de 25°, para cabeça hexagonal é de 30°. Em desenho, ambas são representadas com 30°.
- **Comprimento do parafuso:** distância da parte inferior da cabeça à extremidade oposta. Nos casos de parafusos com cabeça plana ou parafusos sem cabeça, corresponde ao comprimento total.
- **Arruela:** Ressalto moldado na superfície de apoio da cabeça do parafuso. Possui espessura de 1/64 polegada para todos os parafusos. Parafusos com este componente possuem a cabeça com ressalto ou flangeada, como é conhecido comercialmente.
- **Porca alta:** com as mesmas dimensões das porcas normais, exceto a altura.

Faça um levantamento dos tipos de arruela existentes no mercado e indique qual é o tipo de trabalho ideal para cada uma. Acesse o site do fabricante Ciser Parafusos e Porcas – Aplicações Diversas. Disponível em: <<http://www.ciser.com.br/produtos/linha/aplicacoes-diversas>> (Acesso em: 27 dez. 2017) e conheça um pouco mais do que há disponível.

Cavilhas são peças cilíndricas cuja superfície possui ressaltos formados por entalhes. O comprimento e a forma dos entalhes determinam o tipo de cavilha. A Figura 4.60 apresenta diferentes tipos de cavilhas, aplicação e representação de fixação utilizando tal elemento de máquina.

Figura 4.60 | Representação de diferentes tipos de cavilhas e aplicação



TIPO	NORMA	UTILIZAÇÃO
KS 1	DIN 1471	Fixação e junção.
KS 2	DIN 1472	Ajustagem e articulação.
KS 3	DIN 1473	Fixação e junção em casos de aplicação de forças variáveis e simétricas, bordas de peças de ferro fundido.
KS 4	DIN 1474	Encosto e ajustagem.
KS 6 e 7	–	Ajustagem e fixação de molas e correntes.
KS 9	–	Utilizado nos casos em que se tem necessidade de puxar a cavilha do furo.
KS 10	–	Fixação bilateral de molas de tração ou de eixos de roletes.
KS 8	DIN 1475	Articulação de peças.
KS 11 e 12	–	Fixação de eixos de roletes e manivelas.
KN 4	DIN 1476	Fixação de blindagens, chapas e dobradiças sobre metal
KN 5	DIN 1477	
KN 7	–	Eixo de articulação de barras de estruturas, tramelas, ganchos, roletes e polias.

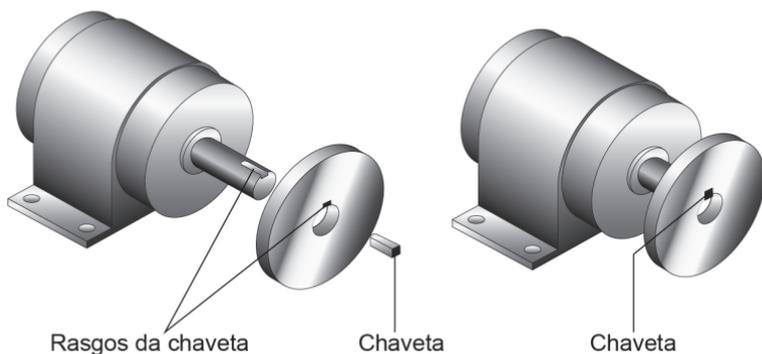
Fonte: adaptada de SENAI ([s.d.], p. 35).



Você deve ter percebido, ao longo desta seção, que cavilhas e pinos são bastante similares entre si. Tanto são que as cavilhas também são chamadas de pinos estriados, entalhados ou ranhurados. Sendo assim, o que os diferenciam? Qual seria a principal função dos entalhes das cavilhas? Além da diferença entre forma e utilização, podemos distinguir mais algumas diferenças?

As chavetas são elementos utilizados para unir elementos de transmissão como polias, engrenagens, etc. ao respectivo eixo, formando um subconjunto da transmissão (Figura 4.61). Aplicam-se em casos nos quais as peças precisam ser montadas e desmontadas rapidamente e, também, em casos em que as peças adquiram folga devido ao desgaste e precisem ser ajustadas sem serem desmontadas. Aplicações e os principais tipos de chavetas são apresentados na Figura 4.62. A designação das chavetas é feita pela indicação do tipo, largura, altura e comprimento (se a chaveta for paralela).

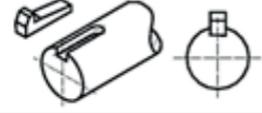
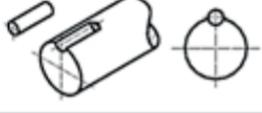
Figura 4.61 | União de elemento de transmissão ao eixo por meio de enchavetamento



Fonte: Ribeiro; Peres; Izidoro (2013, p. 225).

Figura 4.62 | União de elemento de transmissão ao eixo por meio de enchavetamento

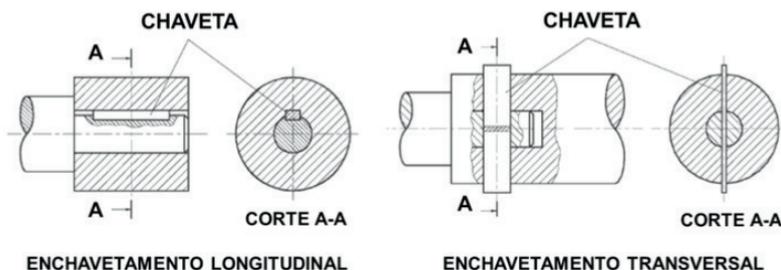
TIPOS DE CHAVETAS		
<p><b>Chaveta embutida</b> (utilizada em rotações elevadas)</p>	<p>As faces da chaveta são paralelas e o rasgo, para seu alojamento no eixo, tem comprimento igual ao da chaveta. A montagem é feita com ajustes nas laterais.</p>	

<p><b>Chaveta de cunha</b> (utilizada na transmissão de pequenos esforços)</p>	<p>A face superior da chaveta tem uma inclinação de 1:100. Isso resulta em montagem com pressão.</p>	
<p><b>Chaveta de cabeça</b> (utilizada em polias, engrenagens etc.)</p>	<p>Semelhante à chaveta de cunha, porém possui cabeça para facilitar a montagem e a desmontagem do elemento de transmissão.</p>	
<p><b>Chaveta redonda</b> (utilizada na transmissão de pequenos esforços)</p>	<p>Também conhecida como chaveta de pino, a chaveta redonda é utilizada na transmissão de pequenos esforços.</p>	
<p><b>Chaveta meia lua – tipo woodruff</b> (utilizada em eixos com pequenos diâmetros)</p>	<p>Possui forma circular e, devido à facilidade de alinhamento, é preferida nos acoplamentos com eixos cônicos.</p>	

Fonte: adaptada de Ribeiro; Peres; Izidoro (2013, p. 225).

As ligações com chavetas podem ser longitudinais ou transversais (Figura 4.63). Os rasgos das chavetas, que são as cavidades onde as chavetas ficam alojadas, tanto no eixo, quanto no furo, são executados com profundidade menor do que a altura total da chaveta e, após a montagem, a chaveta estará inserida tanto no eixo, quanto no furo.

Figura 4.63 | Enchavetamento longitudinal e transversal

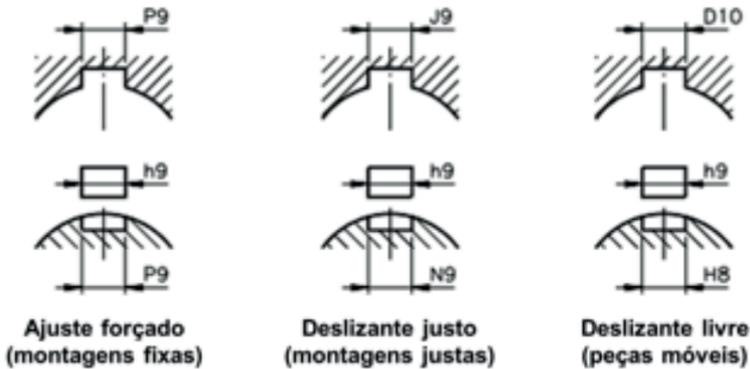


Fonte: Silva et al. (2012, p. 322-323).



O ajuste da chaveta deve ter relação com as características de funcionamento desejado do elemento na máquina. Veja alguns exemplos de tipos de ajustes e tolerâncias mais comuns para chavetas e rasgos que são apresentados na Figura 4.64.

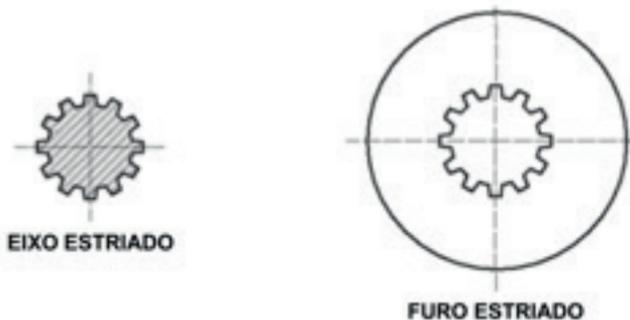
Figura 4.64 | Tipos de ajustes e tolerâncias – rasgos e chavetas



Fonte: adaptada de SENAI (s.d.), p. 91).

As estrias são rasgos distribuídos radialmente na superfície externa do eixo e, também, na superfície do furo (Figura 4.65). São elementos utilizados em conjuntos nos quais se faz necessária a transmissão de grandes esforços, de forma que não se tenha deslizamento.

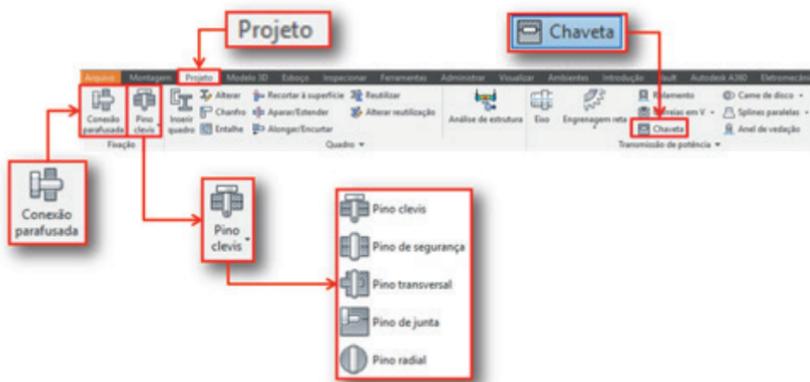
Figura 4.65 | Estrias



Fonte: adaptada de Ribeiro; Peres; Izidoro (2013, p. 322).

Com todos os elementos teóricos da representação dos elementos de fixação, devemos, utilizando o nosso software de trabalho, modelar tais elementos para depois fazermos a documentação do projeto. A tela inicial do software, em ambiente de montagem (arquivo.iam), Autodesk Inventor 2018, com as ferramentas para projeto de parafusos, pinos e chavetas, é apresentada na Figura 4.66.

Figura 4.66 | Tela inicial para projetos de elementos de fixação – Autodesk Inventor 2018

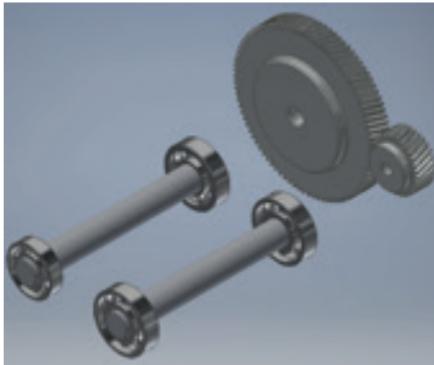


Fonte: adaptada de Autodesk Inventor 2018.

## Sem medo de errar

Neste momento, iremos finalizar o projeto do redutor de velocidade coordenado por você, engenheiro responsável pelo time de pesquisa e desenvolvimento de uma empresa do setor automotivo. As fases do projeto para especificação e modelagem do mancal de rolamento e da engrenagem foram concluídas (Figura 4.67). Agora, você deve inserir no modelo 3D a chaveta, e, para tal, alterações no modelo do eixo e das engrenagens deverão ser feitas: a coroa da engrenagem é fornecida com um pré-furo de 18 mm e o pinhão é fornecido com pré-furo de 12 mm. Precisamos de desenho de engrenagem com o furo adequado para montagem e que também possua o rasgo para a chaveta. Nesse sentido, também precisamos modelar o rasgo de chaveta nos eixos.

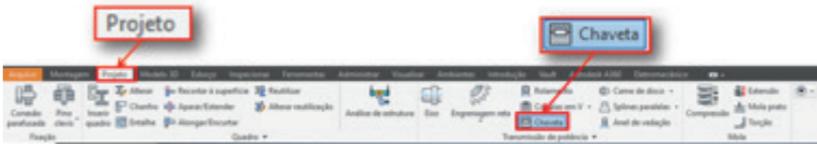
Figura 4.67 | Elementos de máquinas: redutor de velocidade



Fonte: elaborada pela autora.

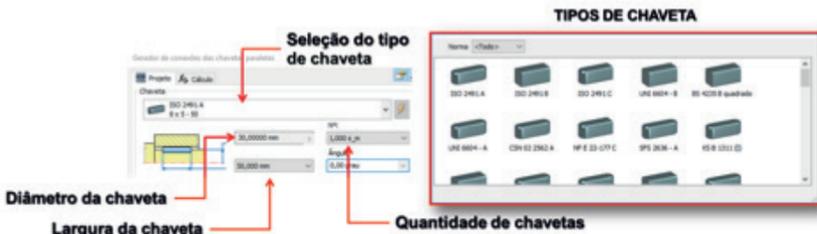
Para modelar a chaveta e os rasgos no cubo e no eixo, montamos o par de engrenagens nos eixos a 25 mm do centro do eixo e então na aba "Projeto" do nosso arquivo de montagem (.iam) selecionamos "Chaveta" (Figura 4.68). Ao selecionar este modo de projeto, abrirá a janela "Gerador de conexões das chavetas paralelas". A Figura 4.69 apresenta esta janela com ênfase na escolha do tipo e dimensões da chaveta.

Figura 4.68 | Seleção de projetos de chavetas



Fonte: adaptado de Autodesk Inventor 2018, 2017.

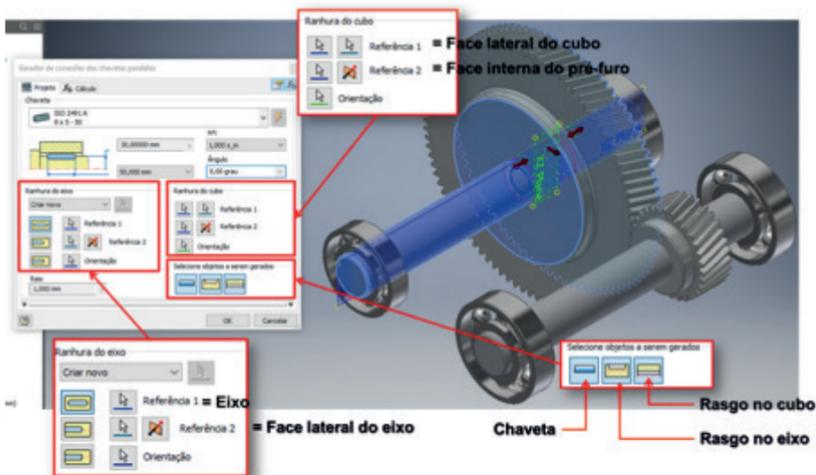
Figura 4.69 | Gerador de conexões das chavetas paralelas



Fonte: adaptada de Autodesk Inventor 2018.

Devem também ser selecionadas as referências para criação dos elementos (Figura 4.70). Na área “ranhura do eixo”, selecione como “Referência 1” o eixo e a face lateral deste, como “Referência 2”. Na área de “ranhura do cubo”, selecione a face do cubo como “Referência 1” e a superfície interna do pré-furo como “Referência 2”. Note que, ao selecionar o eixo como referência, o diâmetro do eixo é automaticamente atualizado. O comprimento da chaveta será de 50 mm. Deixe selecionado todos os objetos a serem gerados: chaveta, rasgo no cubo e rasgo no eixo.

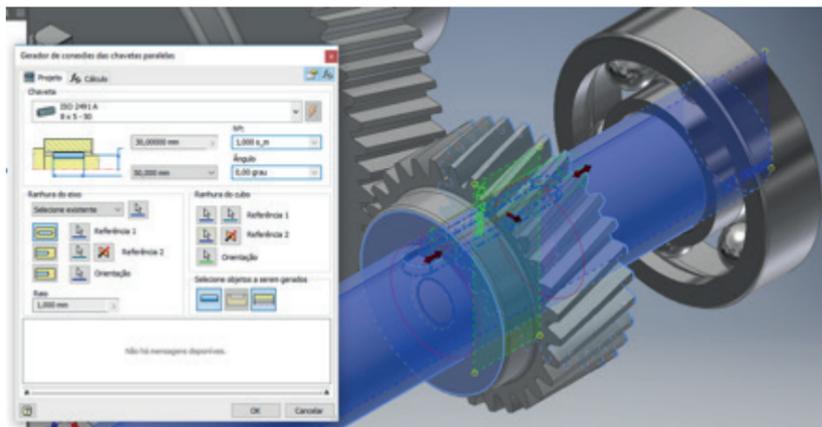
Figura 4.70 | Seleção de referenciais para criação de chaveta e rasgos de chaveta



Fonte: elaborada pela autora.

Após a finalização desta operação, devemos repetir o mesmo procedimento para a criação dos rasgos e da chaveta que unirão o pinhão ao eixo. Para isso, deverão ser selecionados os mesmos referenciais conforme foi feito com a coroa (Figura 4.71).

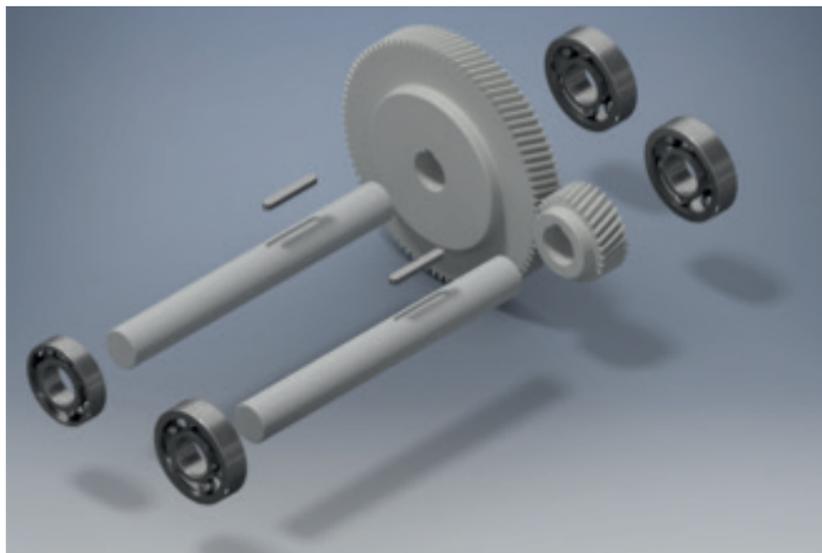
Figura 4.71 | Seleção de referenciais para criação de chaveta e rasgos de chaveta - pinhão



Fonte: elaborada pela autora.

Na etapa final de seu projeto, com o conhecimento adquirido no curso, você deverá documentar todos os componentes, e, em seus desenhos, as tolerâncias deverão estar designadas. Além disso, uma vista explodida (Figura 4.72) dos componentes do redutor fará com que sua apresentação seja diferenciada!

Figura 4.72 | Apresentação do projeto final: vista explodida renderizada



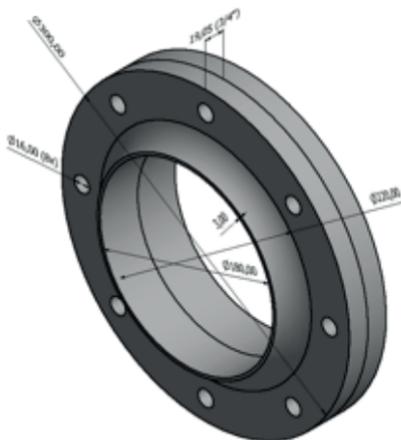
Fonte: elaborada pela autora.

### Representação de ligação parafusada sem e com travamento

#### Descrição da situação-problema

O gerente responsável pelo projeto de conexões solicitou que se faça a representação da ligação parafusada que manterá unidos dois flanges, conforme desenho da Figura 4.73, para o manual de documentação do produto. Como o produto é oferecido em diferentes configurações, o desenho deve atender duas situações específicas: utilizando-se porca hexagonal normal e, no caso do conjunto travado, com porca castelo e contrapino.

Figura 4.73 | Flanges

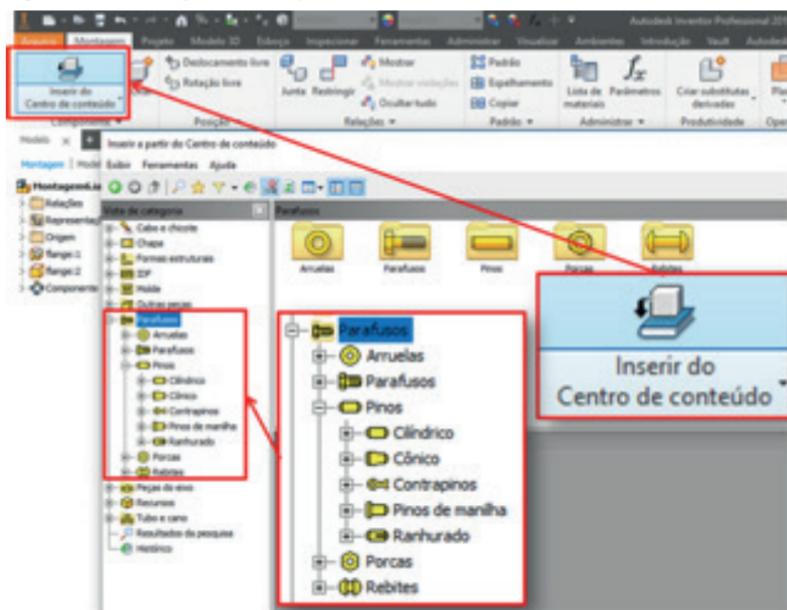


Fonte: elaborada pela autora.

#### Resolução da situação-problema

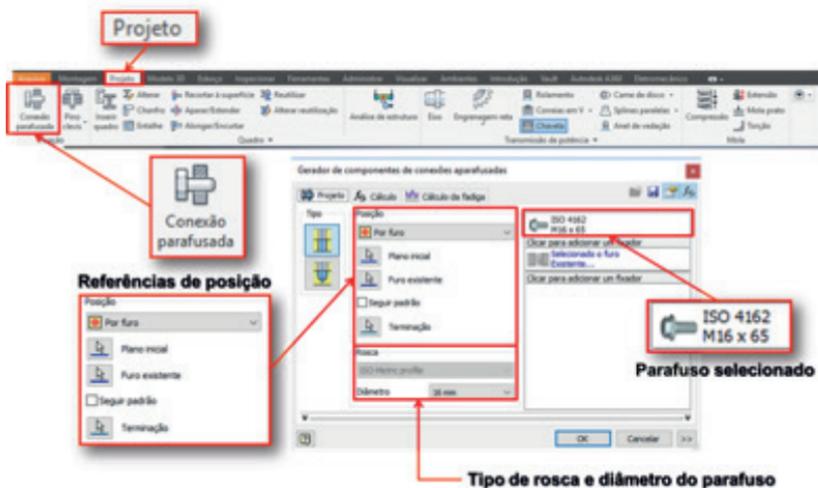
A partir da montagem, temos pelo menos duas opções para inserção dos elementos de fixação: a inserção via componentes da própria biblioteca do software (Figura 4.74) ou inserção do elemento via módulo de projeto, que, conforme plano de início e de término, permite a seleção automática do comprimento de parafuso mais adequado para a aplicação (Figura 4.75). É importante que você saiba que no módulo de “Projeto” somente o parafuso é inserido; a porca, a arruela e o contrapino devem ser adicionados pelo “Centro de Conteúdo”.

Figura 4.74 | Inserção de componentes via “Centro de Conteúdo”



Fonte: adaptado de Autodesk Inventor 2018.

Figura 4.75 | Inserção de componentes via “Projeto”



Fonte: adaptado de Autodesk Inventor 2018.

Após a seleção dos componentes, a documentação de ambos os projetos é apresentada na Figura 4.76.

Figura 4.76 | Documentação de projeto de ligação parafusada

The figure shows two technical drawings of a bolted flange connection, labeled C and D. Each drawing includes an isometric view at the top, a cross-sectional view in the middle, and an orthographic view at the bottom. Callouts 1 through 4 identify the components: 1 (flange), 2 (bolt), 3 (washer), and 4 (nut). The orthographic views show dimensions:  $\phi 100,00$  for view C and  $\phi 100,00$  for view D.

**View C (1:2):**

- Isometric view showing flange (1), bolt (2), washer (3), and nut (4).
- Cross-sectional view showing the assembly.
- Orthographic view showing a diameter of  $\phi 100,00$ .

**View D (1:2):**

- Isometric view showing flange (1), bolt (2), washer (3), and nut (4).
- Cross-sectional view showing the assembly.
- Orthographic view showing a diameter of  $\phi 100,00$ .

**LISTA DE PEÇAS (View C):**

ITEM	QTD	NÚMERO DA PEÇA	DESCRIÇÃO
1	2	Flange	
2	8	ISO 4162 - M16 x 65	Parafusos sextavado com flange - Série pequena
3	8	ANSI B18.22M - 16 H	Porcas cunho sextavadas
4	8	ISO B 1181 - PN - Classe 1 - Acabado - M16	Arruelas Bois roladas

**LISTA DE PEÇAS (View D):**

ITEM	QTD	NÚMERO DA PEÇA	DESCRIÇÃO
1	2	Flange	
2	8	ISO 4162 - M16 x 65	Parafusos sextavado com flange - Série pequena
3	8	ISO 935-1 - M16	Porcas cunho sextavadas
4	8	ANSI B18.22M - 16 H	Arruelas Bois roladas
5	8	EN ISO 1234 - 1,2x24	Parafusos

**Metadata:**

Projeto de	Projeto de	Projeto de	Projeto de
Desenvolvido por	Desenvolvido por	Desenvolvido por	Desenvolvido por
Revisão	Revisão	Revisão	Revisão
1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1

Fonte: elaborada pela autora.

U4 – Desenho técnico de elementos de máquinas 295

## Faça valer a pena

**1.** Os elementos de máquinas são componentes utilizados para montagem, fixação, transmissão, estética e proteção dos equipamentos. Um veículo de cargas, por exemplo, é dotado de muitos elementos de máquinas, e nas rodas são utilizados parafusos prisioneiros, porcas e arruelas. No sistema de transmissão podemos encontrar engrenagens, rolamentos, cupilhas e travas. Na carroceria muitas chapas são fixadas por soldas, considerada uma fixação permanente.

Sobre elementos de transmissão são feitas as seguintes afirmações:

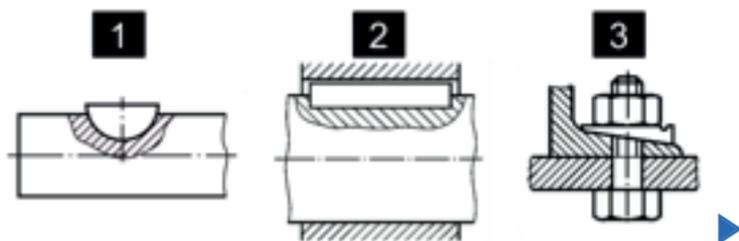
- I. Uma união permanente pode ser feita por meio da utilização de solda ou chaveta.
- II. Para alinhamento ou fixação de elementos de máquinas em projetos, utiliza-se o pino.
- III. Uma característica do parafuso é que ele apresenta, no corpo, rosca, que pode ser inteira ou parcial.

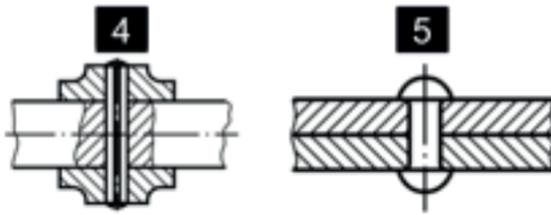
É CORRETO o que se afirma em:

- a) Apenas as afirmações I e III estão corretas.
- b) Apenas as afirmações I e II estão corretas.
- c) Apenas as afirmações II e III estão corretas.
- d) Todas as afirmações estão corretas.
- e) Nenhuma das afirmações é correta.

**2.** A chaveta tem como finalidade ligar elementos mecânicos, se interpondo na cavidade de um eixo e de uma peça, que, por exemplo, pode ser uma polia e possuir diversos formatos, conforme aplicação necessária. A Figura 4.77 apresenta as cinco representações de desenho técnico de elementos de fixação.

Figura 4.77 | Representação de ligações em desenho técnico





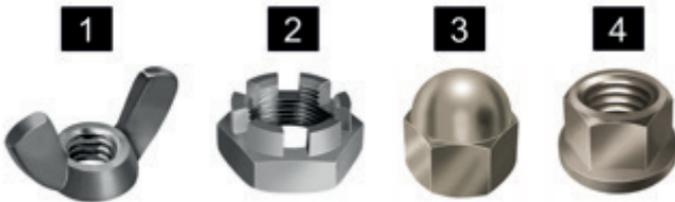
Fonte: adaptado de SENAI ([s.d.], p. 17, 34, 77, 90 e 92).

O número do desenho que representa corretamente a ligação de um eixo com uma chave meia lua é:

- a) 1.                      c) 3.                      e) 5.  
 b) 2.                      d) 4.

**3.** Porcas são componentes que, em projetos mecânicos, podem trabalhar tanto como elemento de fixação quanto de transmissão. É uma peça prismática ou cilíndrica, geralmente de metal, com um furo roscado para encaixe de parafuso ou barra roscada, e é amplamente utilizada para manter uma ligação parafusada. Possui, ainda, diversos formatos para serem utilizados em diferentes aplicações, como mostra a Figura 4.78.

Figura 4.78 | Alguns tipos de porcas



Fonte: <www.ciser.com.br>. Acesso em: 29 dez. 2017.

Identifique os tipos de porcas (1 – 2 – 3 – 4) representados na Figura 4.78.

- a) 1 – de manípulo; 2 – castelo; 3 – de encosto esférico; 4 – normal.  
 b) 1 – borboleta; 2 – de furos laterais; 3 – de encosto esférico; 4 – de almofada.  
 c) 1 – recartilhada; 2 – castelo; 3 – recartilhada; 4 – flangeada.  
 d) 1 – borboleta; 2 – castelo; 3 – cega; 4 – flangeada.  
 e) 1 – de haste; 2 – de furos laterais; 3 – cega; 4 – normal.

# Referências

COLLINS, J. A.; BUSBY, H. R.; STAAB, G. H. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas**. São Paulo: Editora LTC, 2006.

FRENCH, T. E.; VIERCK, C. J. **Desenho Técnico e Tecnologia Gráfica**. 8. ed. São Paulo: Editora Globo, 2005.

GUIAS. Disponível em: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/09/guias.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

MANCAIS. Disponível em: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/09/mancais-e-rolamentos.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas**. 10.ed. São Paulo: Editora Érica, 2012.

\_\_\_\_\_. **Fundamentos de Elementos de Máquinas: Transmissões, Fixações e Amortecimento**. 1. ed. São Paulo: Érica, 06/2015.

RIBEIRO, A. C.; PERES, M. P.; IZIDORO, N. **Curso de Desenho Técnico e AutoCad**. 1. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

ROLAMENTOS II. Disponível em: <<https://fabioferrazdr.files.wordpress.com/2008/09/rolamentos-ii.pdf>>. Acesso em: 16 dez. 2017.

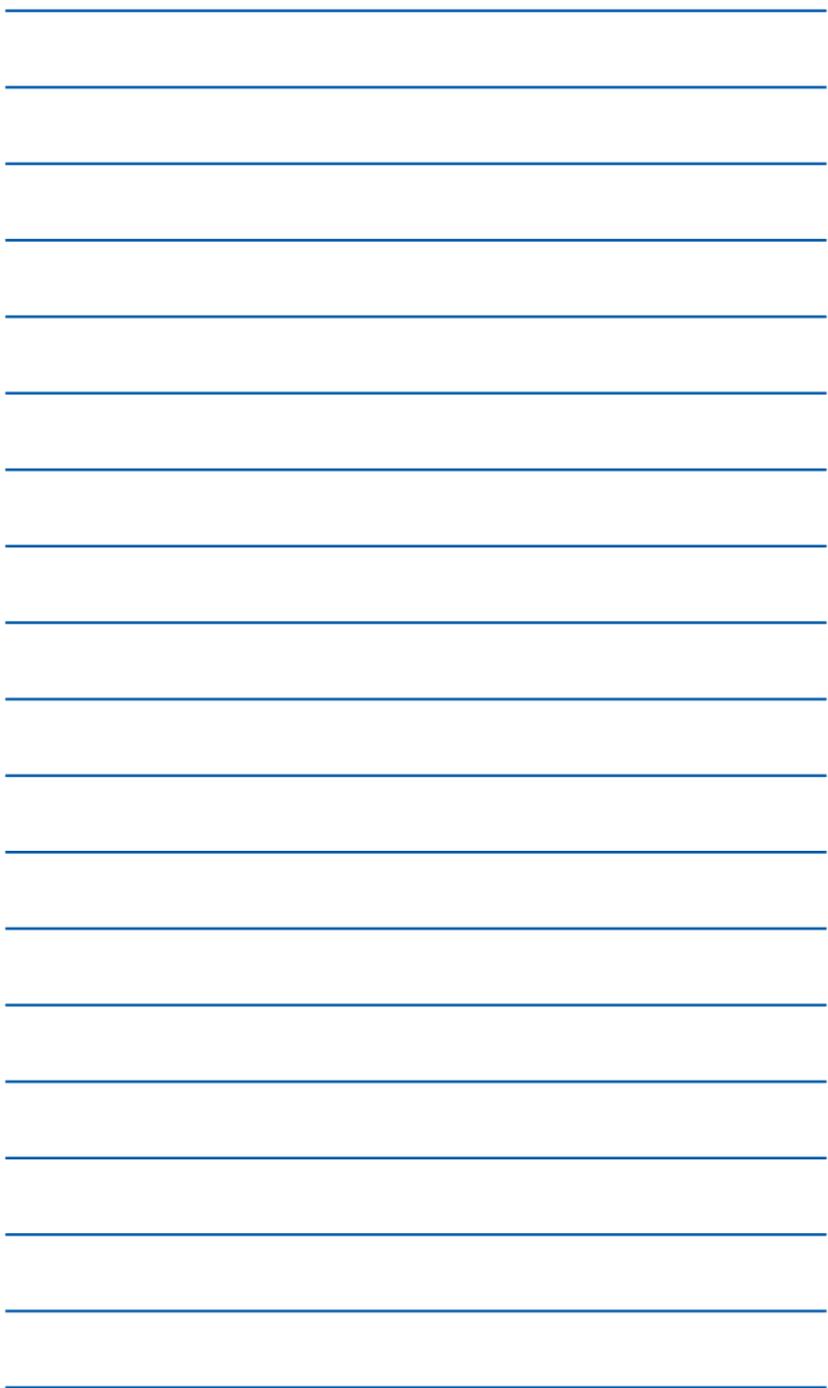
FRENCH, T. E.; VIERCK, C. J. **Desenho Técnico e Tecnologia Gráfica**. 8. ed. São Paulo: Editora Globo, 2005.

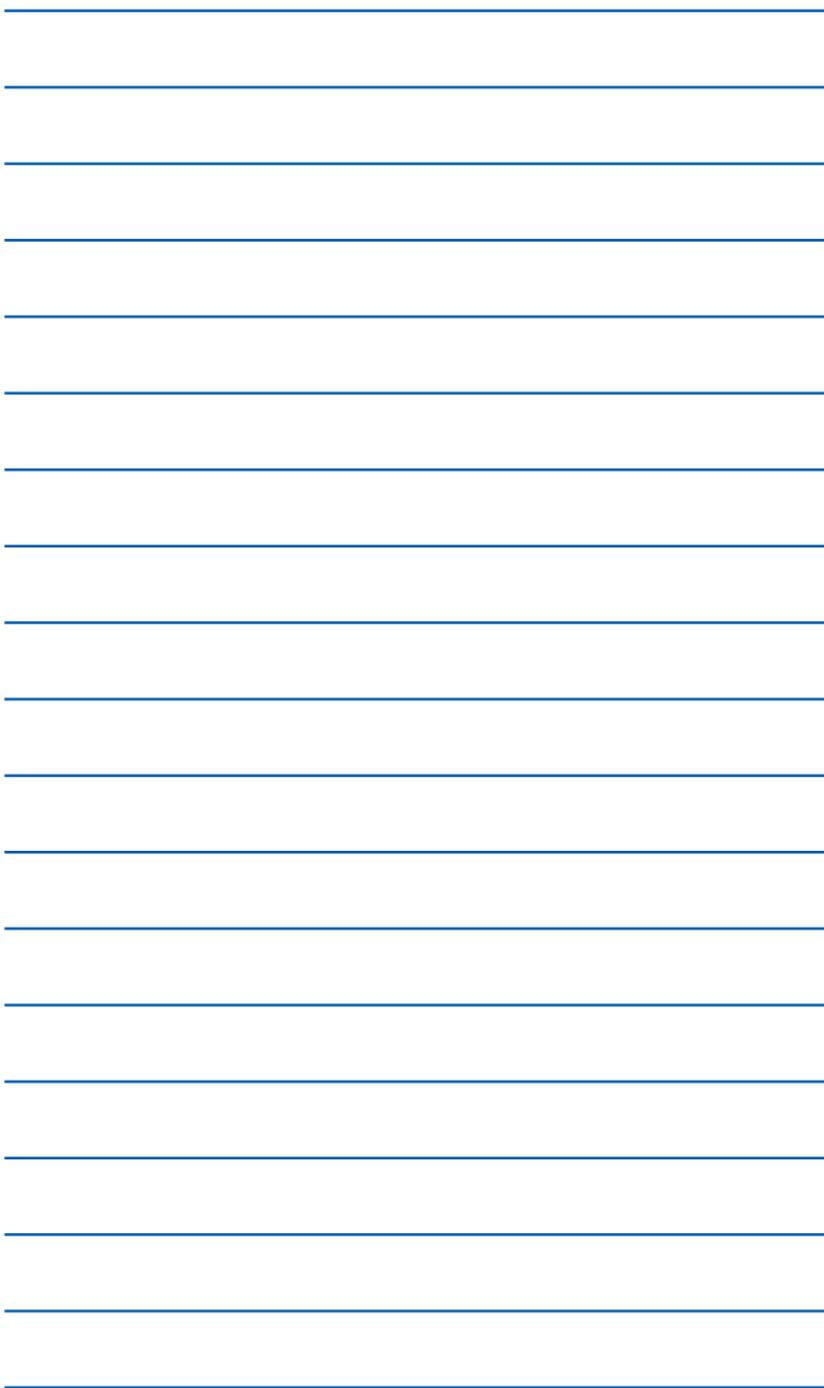
RIBEIRO, A. C.; PERES, M. P.; IZIDORO, N. **Curso de Desenho Técnico e AutoCad**. 1. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

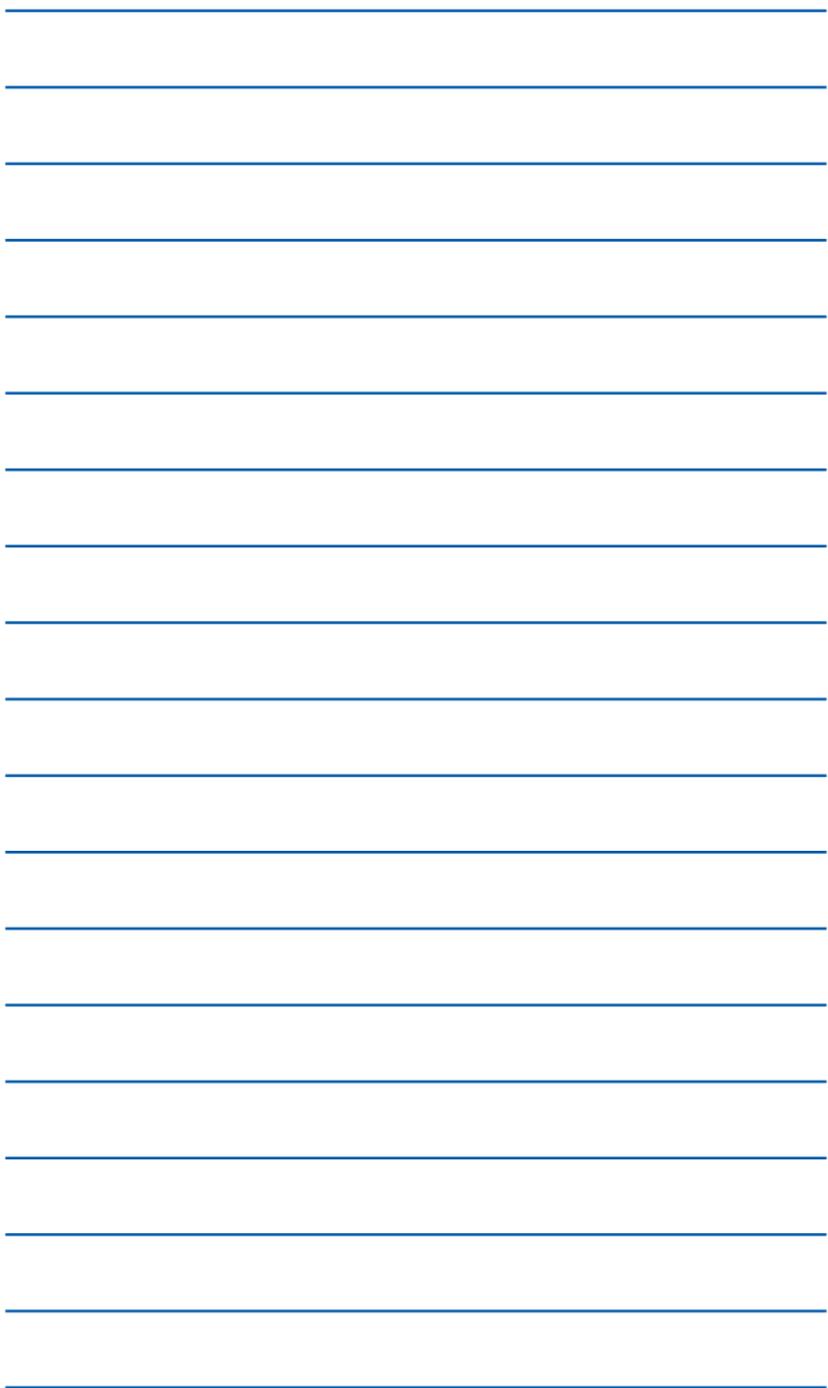
SENAI. Elementos de Máquinas I. Disponível em: <<http://professor.luzerna.ifc.edu.br/charles-assuncao/wp-content/uploads/sites/33/2016/07/Apostila-Elementos-de-M%C3%A1quina-SENAI.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2017.

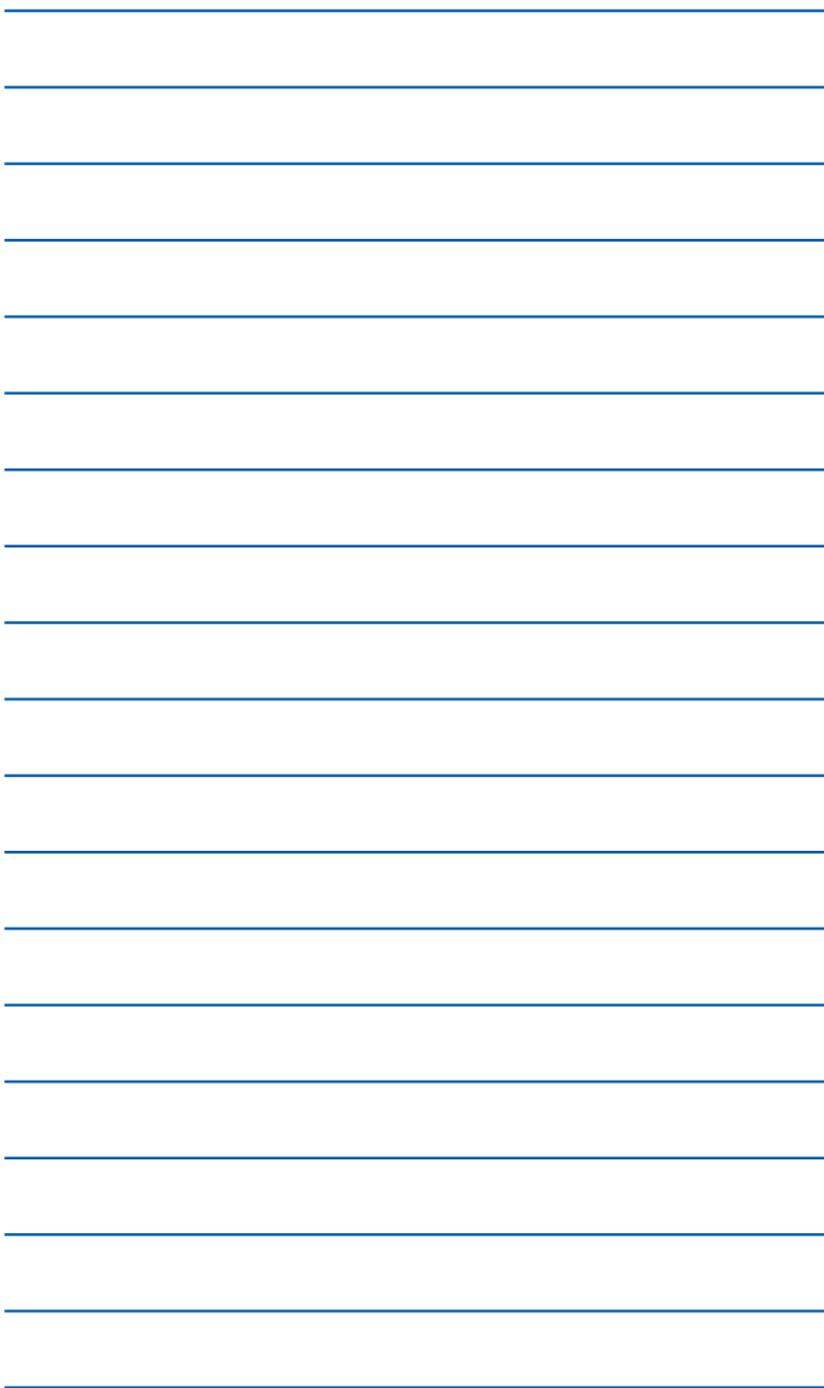
SILVA, A. et al. **Desenho Técnico Moderno**. 4. ed. São Paulo: Editora LTC, 2006.

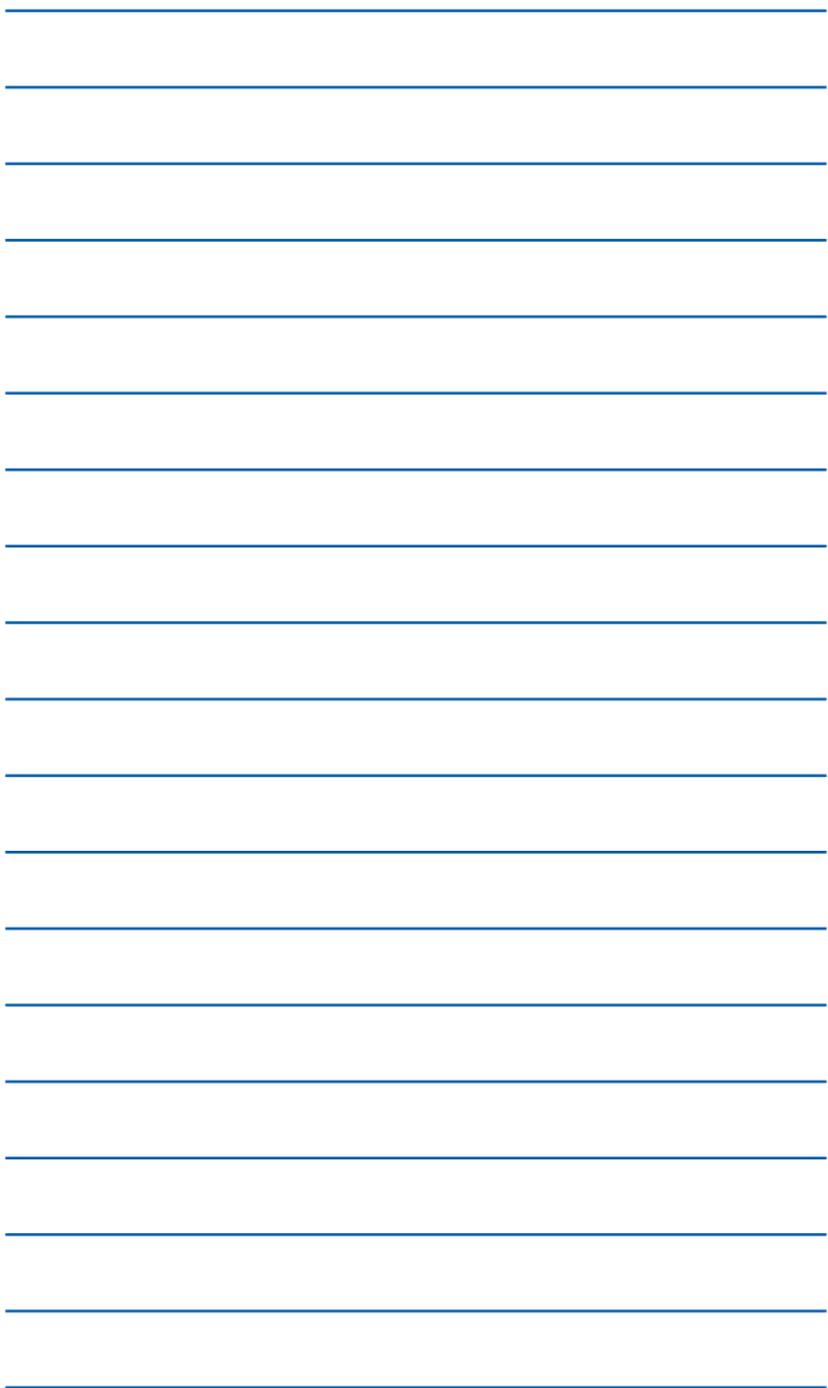














ISBN 978-85-522-0667-5



9 788552 206675 >