



Projeto de máquinas usando o Inventor

Daniel Prudencio – SKYNET Com. Repr. de Inform.
Eric Augusto – SKYNET Com. Repr. de Inform.

DESCREVE A UTILIZAÇÃO DO INVENTOR NO DESENVOLVIMENTO DE MÁQUINAS, EM ESPECIAL OS ACELERADORES DE PROJETOS.

Objetivo de aprendizado

Ao final desta palestra você terá condições de:

- UTILIZAR O INVENTOR PARA O PROJETO DE MÁQUINAS;
- VISÃO GERAL DOS ACELERADORES DE PROJETO;
- INTEGRAÇÃO COM O AUTOCAD ELETRICAL.

Sobre o Palestrante:

Projetista com mais de 25 anos de experiência nas áreas de projetos de máquinas, ferramentas e moldes de injeção. Professor de CAD/CAM em escolas técnicas, instrutor certificado de produtos Autodesk (Inventor e AutoCAD). Kursou Desenho Industrial (FADIM) e Tecnologia Mecânica (USF), Técnico mecânico (SENAI , ETI), vários cursos em programas de CAD e CAM (AutoCAD, AutoCAD Mechanical, Mechanical Desktop, SolidWorks, CATIA V4 e V5, Power Shape, PowerMill e MasterCAM). Das empresas que atuou pode-se destacar: Fundação Salvador Arena (Colégio Termomecânica), Termomecânica São Paulo, Embraer, Alston, Brastemp. Trabalha há mais de 8 anos em vendas Autodesk. Atualmente trabalha na revenda Skynet, na função de Técnico Especialista.

Contato:

daniel.prudencio@e-skynet.com.br

Sobre o Co-palestrante:

Bacharel em Engenharia de Produção pela PUC-SP possui cursos de extensão em Análise de Elementos Finitos Linear, Dinâmica, Não Linear e Fadiga pela NCE (Núcleo de Cálculos Especiais). Profissional certificado em produtos Autodesk (Inventor e AutoCAD) tem sete anos de experiência em projetos de máquinas e há quatro é Instrutor nos módulos de: Sheet Metal, Frame Generator, Design Accelerator, Dynamic Simulation e FEA (Finite Element Analysis). Atualmente ocupa o cargo de Técnico Especialista em produtos Autodesk CAD/CAE/PDM na revenda Skynet.

Contato:

eric.augusto.@e-skynet.com.br

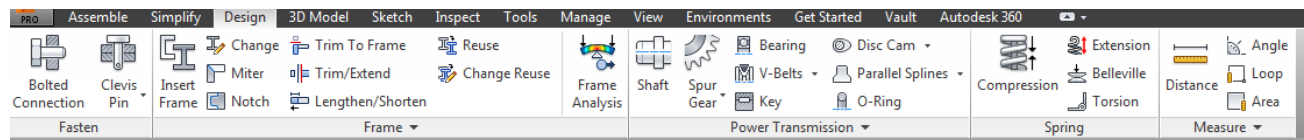


Introdução:

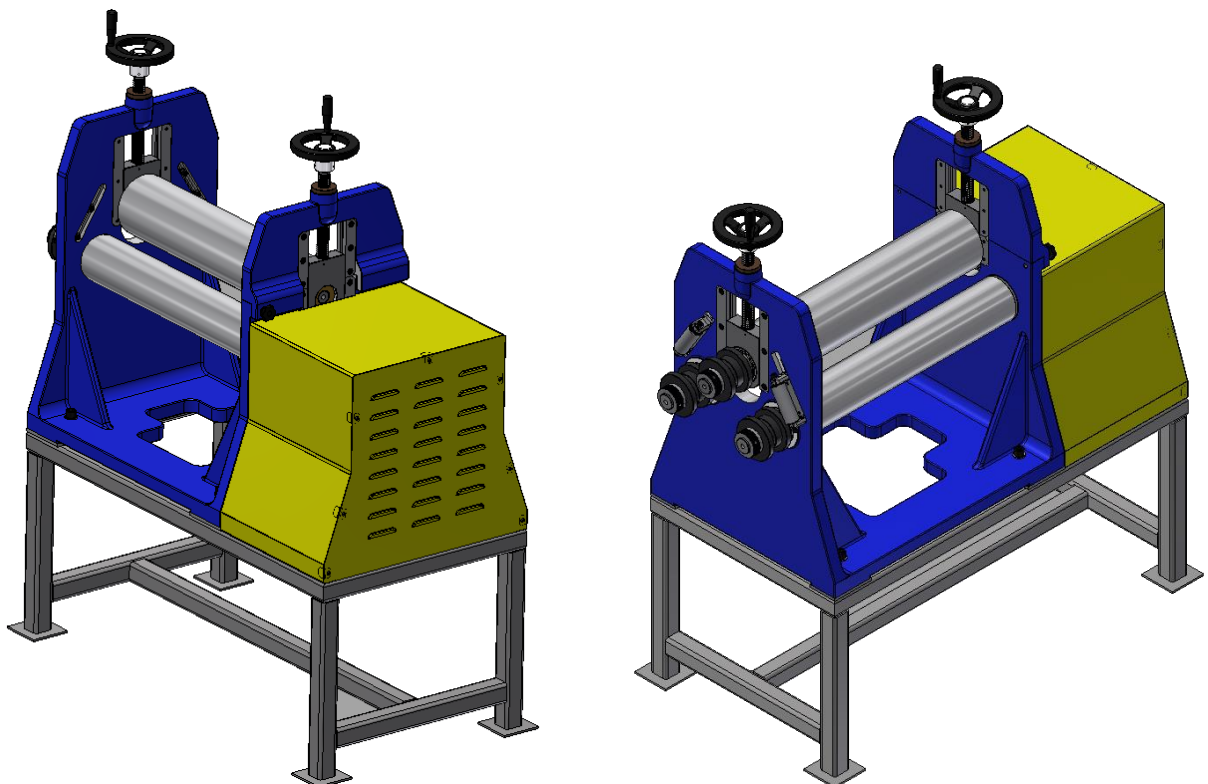
Muitas empresas usam a tecnologia 3D para desenvolver seus projetos. A maioria limita-se a simplesmente modelar os componentes e criar as montagens, em seguida gerando os desenhos de fabricação em 2D. Neste cenário a aplicação da tecnologia, embora já apresente ganhos com relação ao processo anterior de projeto, ainda não é utilizada com todo seu potencial.

O **Autodesk Inventor** possui inúmeras ferramentas que não são usadas pelos projetistas. Nosso objetivo é apresentar algumas destas ferramentas e incentivar o seu uso. Essas ferramentas são os aceleradores de projetos.

Os aceleradores de projetos é um conjunto de ferramentas voltadas não somente ao modelamento de elementos de máquinas, mas sim e principalmente ao seu dimensionamento.

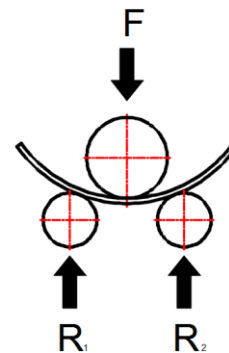


Para demonstrarmos as vantagens de usar as ferramentas do **Design Accelerator**, ou **DA**, escolhemos estudar um case. Este case é o projeto de uma Calandra para Chapas, Perfis e Tubos. Durante o desenvolver da máquina, algumas ferramentas serão utilizadas e poderemos ver o ganho da sua aplicação.

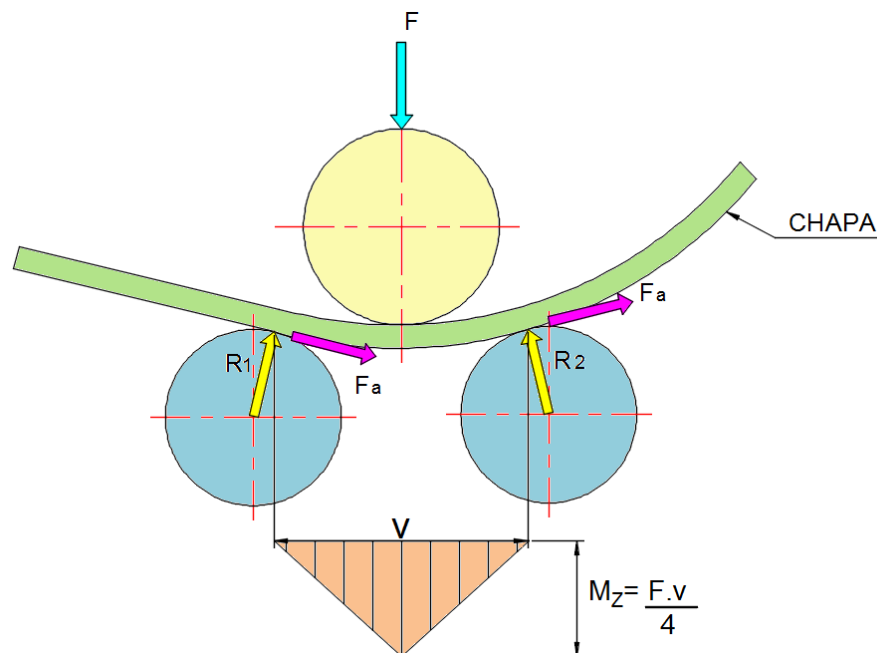


Considerações sobre o processo de Calandragem

A operação de calandragem permite a conformação de chapas, perfis e tubos em diversas formas geométricas, em geral peças cilíndricas. As máquinas que realizam este processo são chamadas de calandras. Existem vários modelos de calandras, o mais comum é a de 3 rolos, dispostos simetricamente, conhecidas como Piramidal.

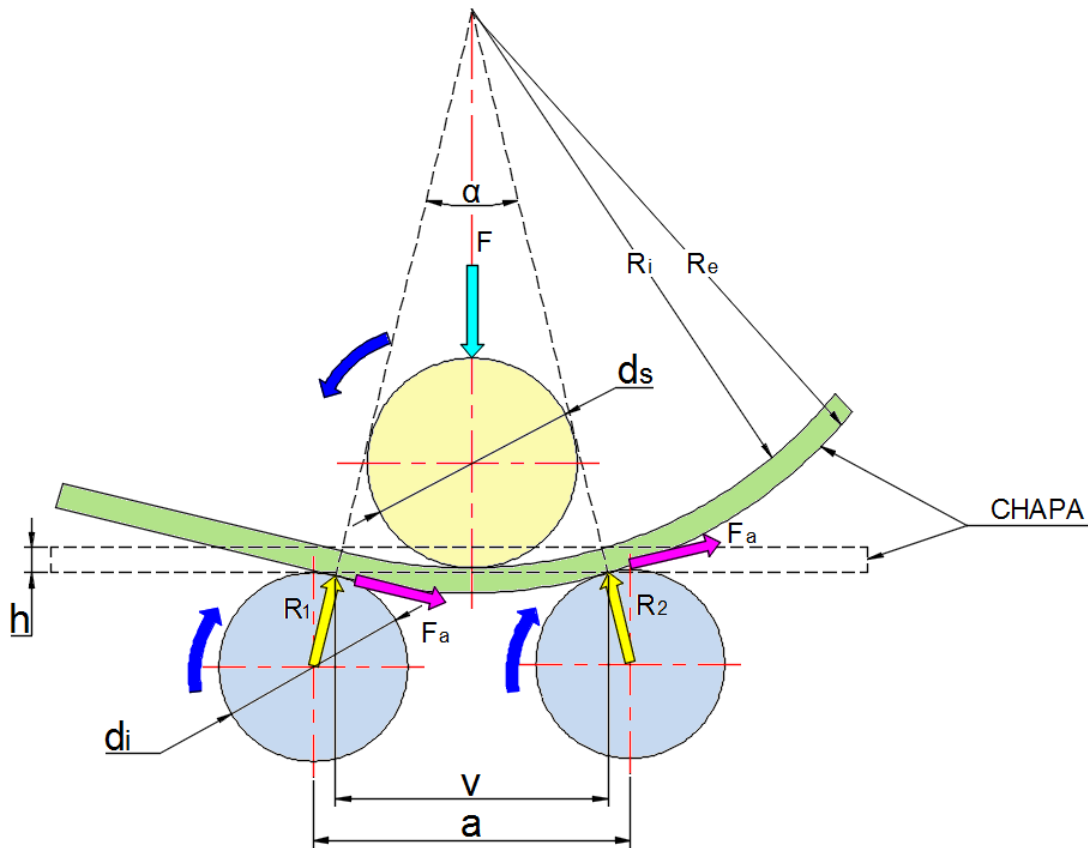


O processo consiste em fazer passar a matéria-prima entre os rolos inferiores (que são motores), e o rolo superior (sem motorização, geralmente chamado de rolo louco), a conformação da chapa é fruto da força de atrito (F_a), derivada das reações R_1 e R_2 .



Para efetuar o projeto da calandra, devemos estudar as forças que atuam no processo, e com base nesses dados dimensionar os componentes.

Na figura abaixo, podemos ver os parâmetros envolvidos no processo:



Como nosso escopo não é o processo de calandragem e sim, apenas determinar os esforços que vão atuar nos elementos que compõem a máquina, trataremos apenas destes e de suas resultantes. Sendo assim iremos calcular a **Força** e a **Potência de Calandragem**.

Para o cálculo da **Força de Calandragem** temos duas abordagens:

- O raio externo (R_e) é maior que 100 vezes a espessura da chapa (h)

$$F = \frac{\sigma_e b h^2}{v} - \frac{4}{3v} - \frac{R_e^2}{E^2} b \sigma_e^3$$

- O raio externo (R_e) é menor que 100 vezes a espessura da chapa (h).

$$F = \frac{\sigma_e b h^2}{v}$$

Para determinar a **Potência de Calandragem**, podemos utilizar a seguinte formula:

$$P = 2F_a V_R = \mu F V_R$$

Agora vamos verificar o pedido de projeto do nosso case:

Projetar uma calandra piramidal com as seguintes especificações:

- Largura max. = 650 mm;
- Espessura max. = 8 mm;
- Raio max. = 600 mm.

Com esses dados podemos começar calcular nosso projeto. Para isso vamos definir alguns parâmetros:

- Diâmetro do rolo superior (d_s) = 150 mm;
- Diâmetro dos rolos inferiores (d_i) = 115 mm;
- Distância entre os centros dos rolos inferiores (a) = 250 mm;
- Velocidade periférica dos rolos inferiores (V_R) = entre 3 e 7 m/s;
- Material a ser calandrado = Aço 1010.

Inicialmente vamos calcular o distância v , usando a seguinte formula:

$$v = \frac{R_e}{R_e + d_1 / 2} a$$

Sendo assim $v = 228 \text{ mm}$

Em seguida vamos calcular a Força de Calandragem, como a relação entre o raio externo (R_e) e a espessura da chapa é menor que 100, vamos usar a equação abaixo:

$$F = \frac{\sigma_e b h^2}{v}$$

Assim sendo $F = 37,44 \text{ kN}$

Finalmente calcularemos a potência de calandragem usando a seguinte formula:

$$P = \mu F V_R$$

Obs.: Adotamos a velocidade dos rolos inferiores (V_R) como 4 m/s.

Precisaremos ter $P = 0,424 \text{ kW}$ para realizarmos a calandragem.

Nota: Não estamos considerando o encruamento do material. Se fossemos levar em conta, devemos substituir nas fórmulas o limite de elasticidade, σ_e , pela tensão de ruptura do material.

O próximo passo será dimensionar a cinemática da calandra. Sabemos que nossos rolos inferiores (d_i), podem trabalhar com a velocidade periférica entre 3 e 7 metros por minuto. No nosso projeto adotamos **4 m/min**. Nosso motor gira a **1150 rpm**. Sendo assim:

Dia. Rolos Inferiores = **115 mm**;

Velocidade periférica = **4 m/min**;

Isso resulta que o rolo deve girar a aproximadamente **11,5 rpm**.

Usando a formula para **potência de calandragem**, vamos calcular o torque necessário nos rolos inferiores:

$$P = 2F_a V_R$$

Sendo assim a força de atrito F_a é **3,18 kN**.

Esta força gera um torque no rolo inferior de **182 Nm**.

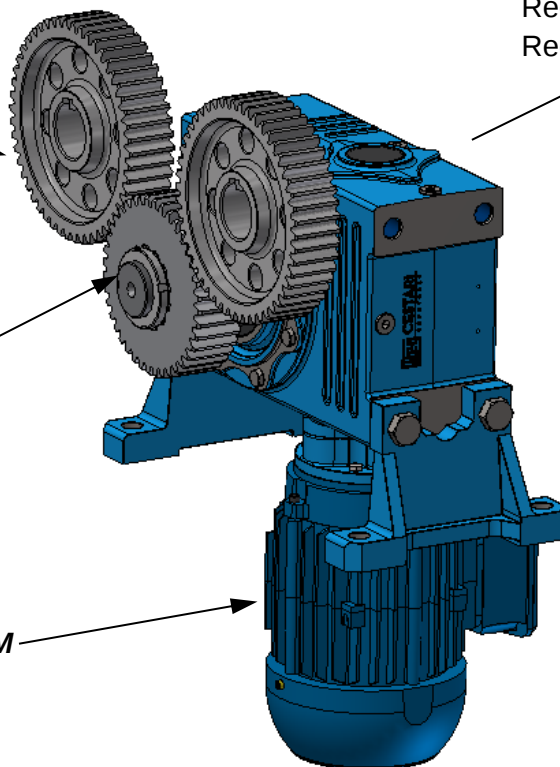
Portanto precisamos dimensionar um conjunto de engrenagens que atenda ao torque e a velocidade periférica dos rolos inferiores. O esquema da cinemática está representado na figura abaixo:

Engrenagens de acionamento
dos rolos inferiores = **11,5 RPM**
Torque no rolo inferior = **182 Nm**

Engrenagem central = ? RPM
Torque = ????? Nm

Motor = **WEG - 1150 RPM**
Potência = ?????

Redutor: **WEG Cestari**
Redução: ???????



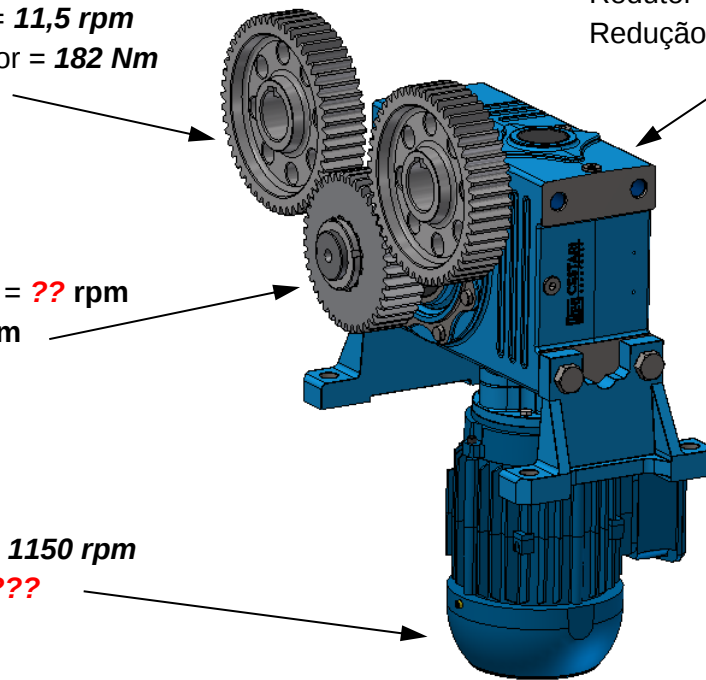
Para possibilitar os cálculos da cinemática, adotamos como **rpm** do motor **1150**. Assim sendo iremos que desenvolver uma redução total de **1:100**, para os rolos trabalharem a **11,5 rpm**. Como selecionamos um redutor com redução simples, o máximo temos disponível é a redução de **1:80**. Então teremos que utilizar uma redução de **1:0,8** entre a engrenagem motora e as engrenagens movidas. Veja a figura abaixo:

Engrenagens de acionamento dos rolos inferiores = **11,5 rpm**
Torque no rolo inferior = **182 Nm**

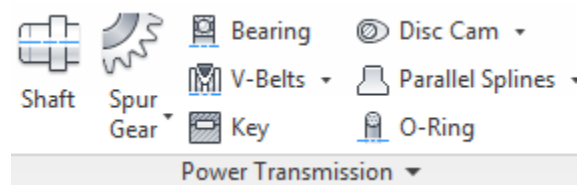
Engrenagem central = **?? rpm**
Torque = **?????? Nm**

Motor = **WEG - 1150 rpm**
Potência = **?????**

Redutor = **WEG Cestari**
Redução = **1:80** - $\mu = 0,48$



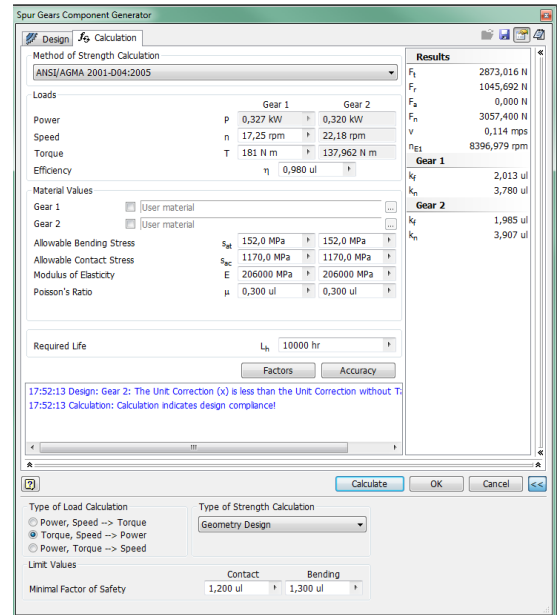
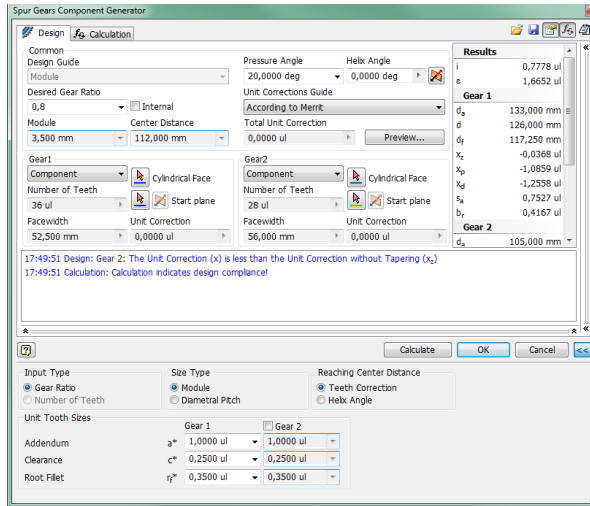
Com esses dados, vamos alimentar o Autodesk Inventor, e dimensionar as engrenagens. A ferramenta que utilizaremos para isso é a **Spur Gears Component Generator**.



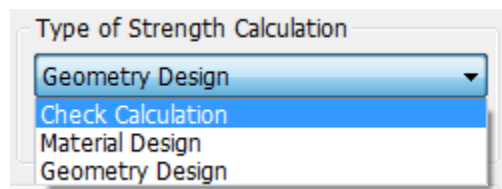
Esta ferramenta permite criar os modelos de engrenagens de dentes retos, helicoidais, engrenagem e rosca sem fim e também engrenagens cônicas. Neste caso usaremos engrenagens de dentes retos. Lembrando que além de criar os modelos podemos também dimensionar, selecionar o material, entre outras funções.



Ao acessar o modelo de engrenagem desejado, abre-se o quadro de dialogo:

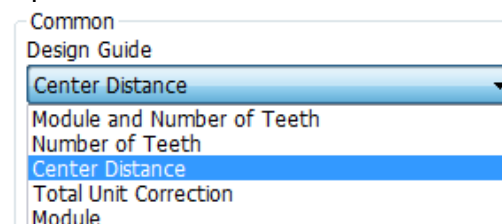


Configuramos o quadro conforme as imagens. Veja que o modulo calculado foi 3,5. O tamanho Das engrenagens não atende a geometria do nosso projeto. Sendo assim vamos alterar alguns valores e verificar o que acontece. Inicialmente vamos alterar a forma do calculo.

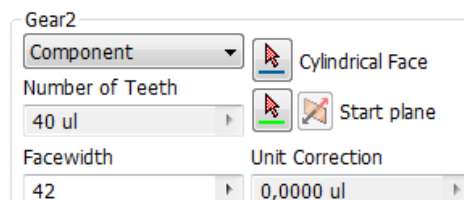
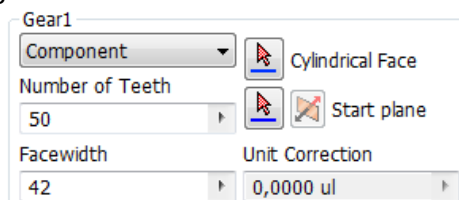


Vamos escolher o tipo: **Check Calculation**. Desta forma, podemos alterar os parâmetros e solicitar ao programa que faça a checagem.

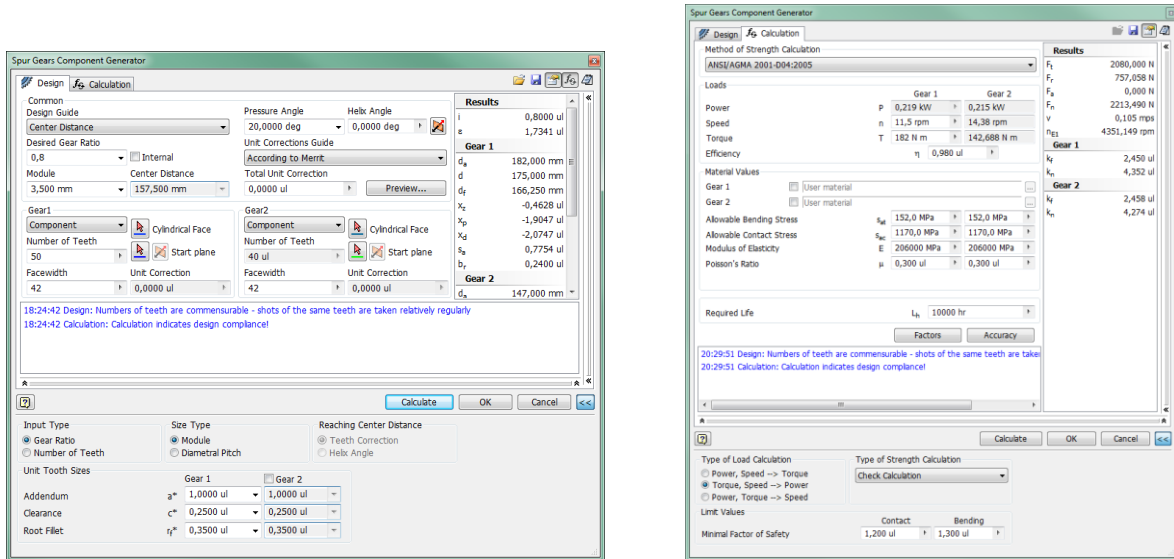
Na lista **Design Guide**, mude para **Center Distance**.



No campo Gear1, mude o Number of Teeth (numero de dentes), para 50 e a Facewidth (espessura da engrenagem) para 42. No campo Gear2, altere a espessura a mesma da engrenagem 1.



Clique no botão Calculate, para realizar os calculo com os novos paramentros.
Veja que no campo de mensagens aparece a indicação que os valores são aceitaveis.
Clique na aba **Calculation** para verificar os novos valores.



Esses valores atendem a geometria do nosso projeto. No campo **Loads**, verificamos que a Gear 2 tem os seguintes valores:

Loads		Gear 1	Gear 2
Power	P	0,219 kW	0,215 kW
Speed	n	11,5 rpm	14,38 rpm
Torque	T	182 N m	142,688 N m
Efficiency	η	0,980 ul	

Os valores Speed, **21,56 rpm** e o Torque **142,688 Nm**, são os que nos interessam no momento, pois estes serão usados para dimensionar o redutor e o motor.
Como adotamos um redutor **Weg-Cestari** com redução de 1:80, consultando a tabela do fabricante, encontramos o tamanho **8** que atende os requisitos do projeto.

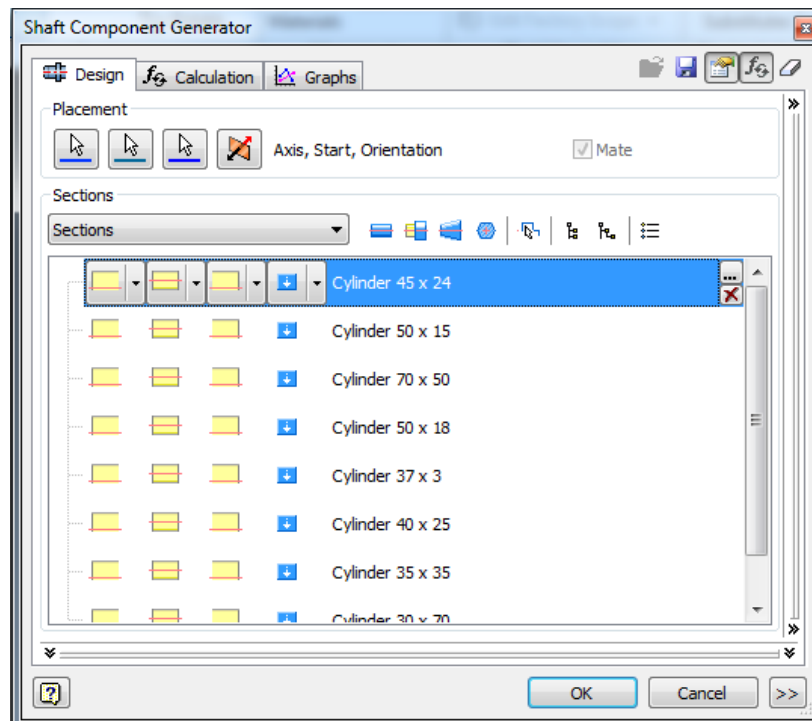
Redução	Tamanho	Potência entrada		Potência saída		Momento torçor	Carga radial	Rendimento	Redução efetiva
		KW	CV	KW	CV	Nm	N	η	
1:80	4	0,19	0,26	0,07	0,09	45	2.942	0,36	80
	5	0,35	0,48	0,14	0,19	90	3.923	0,39	80
	6	0,51	0,69	0,21	0,29	142	5.394	0,42	80
	7	0,75	1,02	0,34	0,46	224	6.865	0,45	80
	8	1,10	1,5	0,51	0,7	344	8.826	0,47	80
	10	1,60	2,18	0,80	1,09	533	10.297	0,5	80
	12	2,35	3,2	1,25	1,7	830	12.749	0,53	80

22 **WEG CESTARI** REDUTORES Magma - Redutores e Motorredutores de Coroa e Rosca Sem Fim

Shaft:

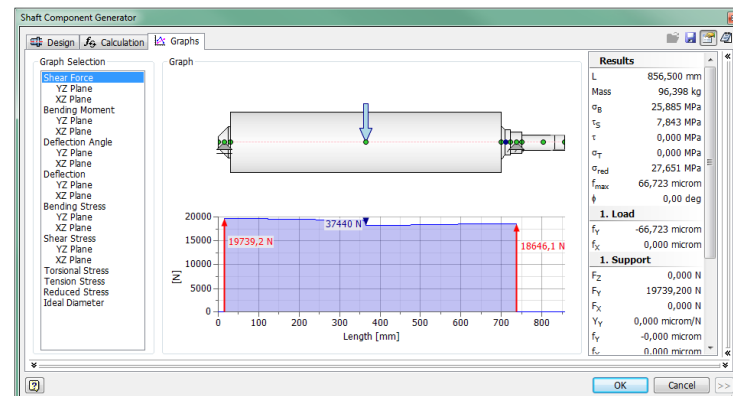
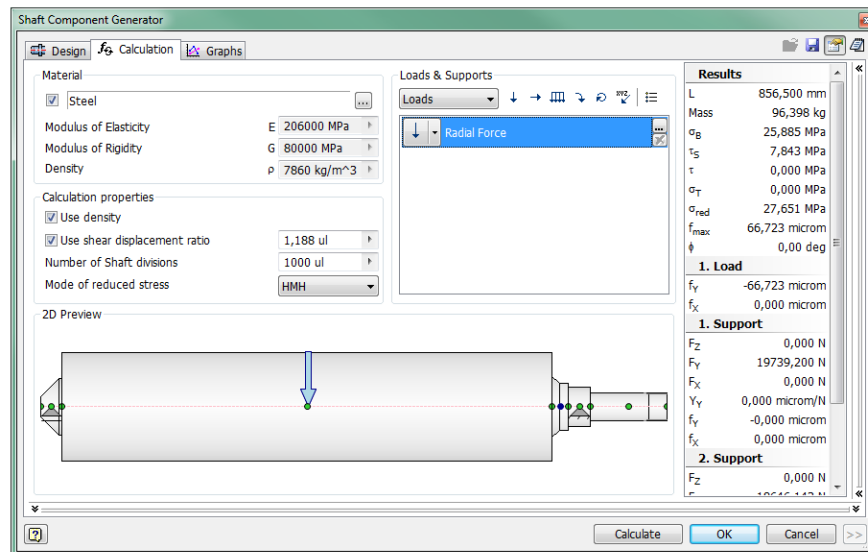
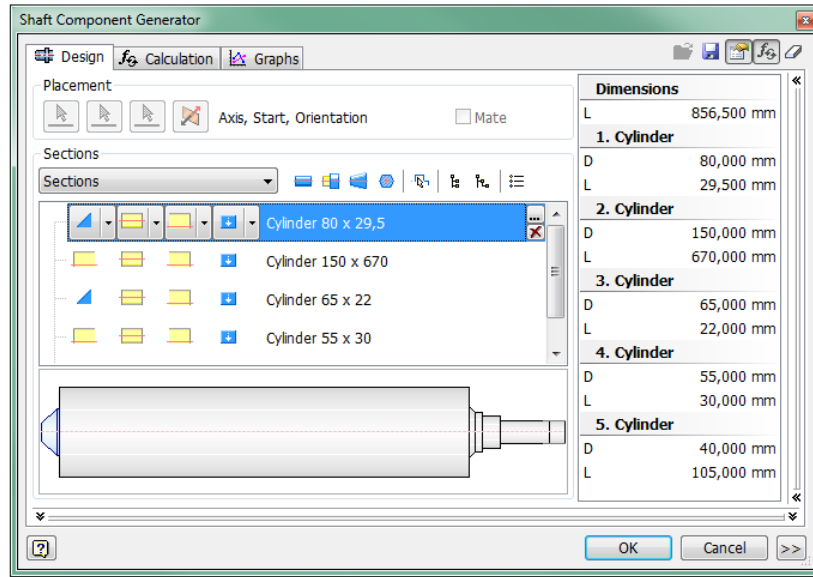
Esta ferramenta é encontrada na divisão de **Power Transmission**, permite gerar e calcular eixos. Os eixos podem ser modelados já na sua posição de trabalho ou em qualquer lugar no espaço para ser posteriormente montado.

Ativando a ferramenta, surge o quadro de configuração e cálculo do eixo.



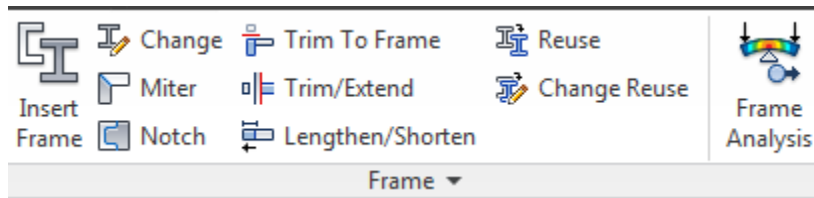
Como podemos ver na figura do quadro Shaft Component Generator, ele é dividido em 3 guias:

- Design: Permite configurar as dimensões do eixo;
- Calculation: Possibilita localizar os apoios e as cargas que atuam no eixo também definir o material;
- Graphs: Apresenta os resultados dos cálculos em forma de gráficos.



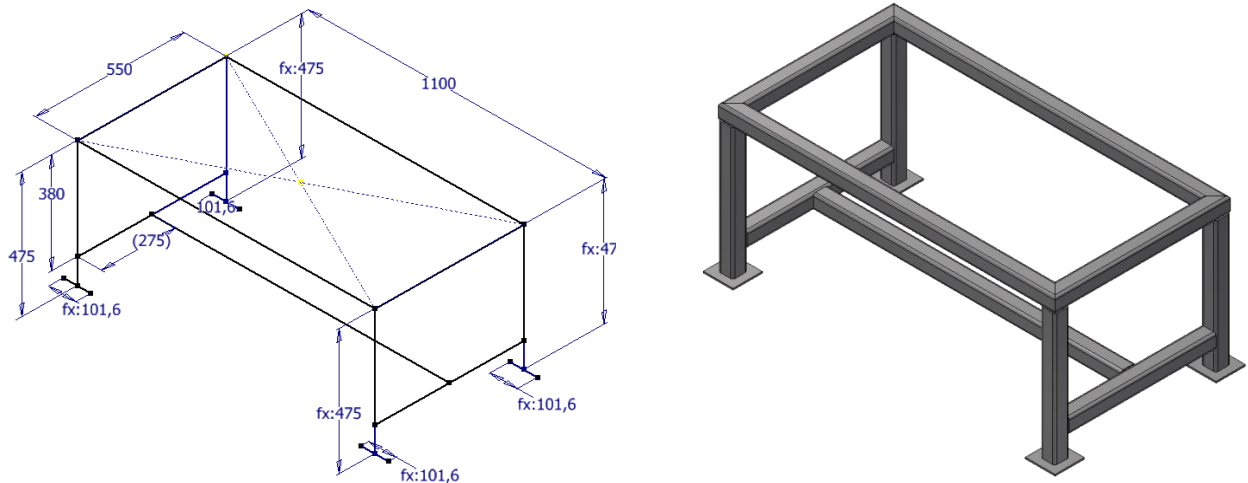
A próxima ferramenta que vamos tratar é o Frame Generator.

Frame Generator:

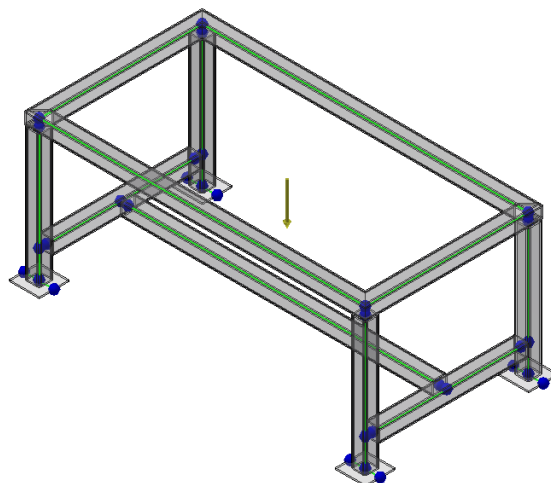


A ferramenta Frame Generator cria estruturas formadas por tubos, perfis, etc., tendo como base um **sketch 3D**, normalmente chamado de **Skeleton**.

Um skeleton pode ser “amarado” a uma planilha. Além de facilitar a criação da montagem da estrutura, já que não vamos precisar de restrições de montagem, por exemplo.



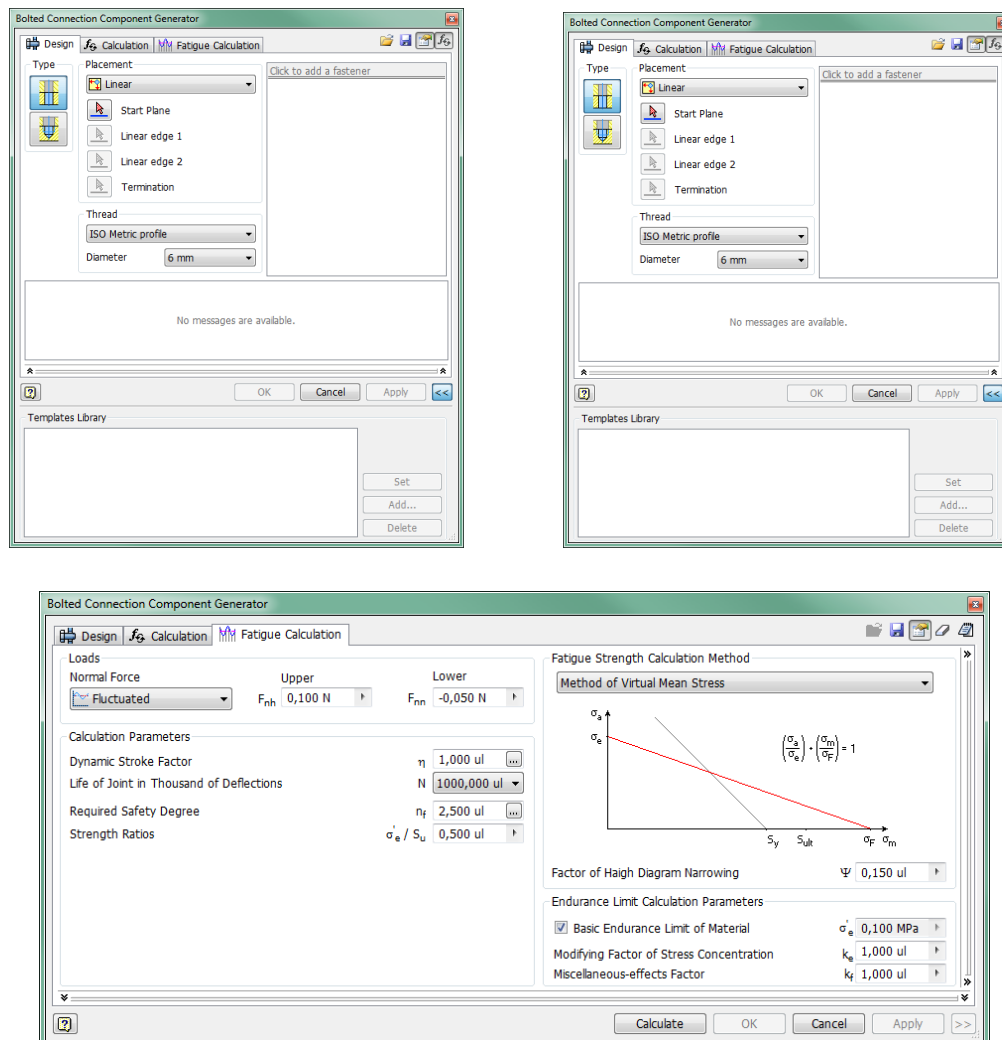
No ambiente de frame, contamos ainda com a ferramenta Frame Analysis, que propicia executar a análise da estrutura pelo método de análise de vigas.

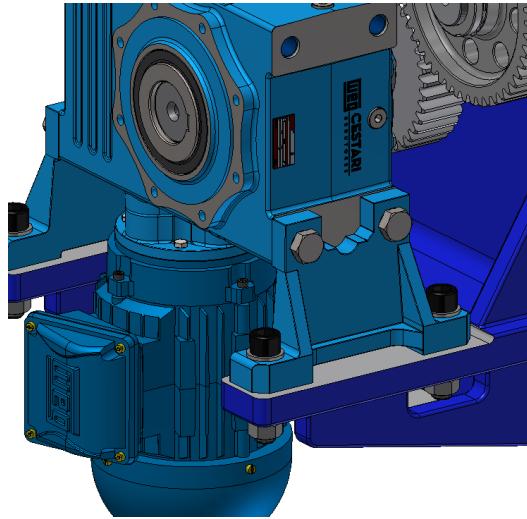


O Bolted Connection

Esta ferramenta permite criar fixações por intermédio de parafusos, porcas e arruelas. Assim como as outras ferramentas que já tratamos, ela permite ter os modelos que compõem a fixação e executar o calculo para verificar se o projeto atende as especificações. Ao usar o Bolted teremos acesso a 3 guias:

- Design: Permite configurar as dimensões dos elementos de fixação;
- Calculation: Possibilita a entrada dos esforços a que a junta será submetida;
- Fatigue Calculation: Nesta guia verificamos o comportamento da viga com relação a fadiga.

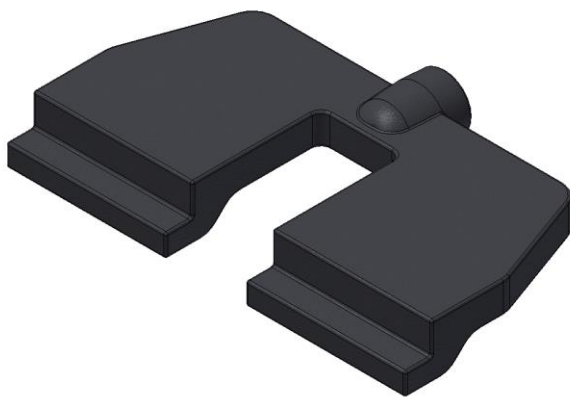




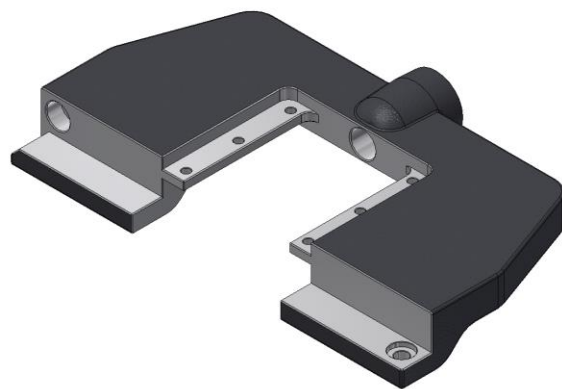
Exemplo de aplicação do Bolted Connection

Trabalhando com peças fundidas

Grande parte dos componentes de máquinas podem ser obtidos pelo processo de fundição. Como sabemos neste processo necessitamos de um modelo da peça a ser fundida, modelo este que pode ser de madeira, isopor, etc. Quando a peça fundida irá sofrer usinagem posterior, é preciso prever sobremetal. Assim é comum criar-se um modelo 3D da peça bruta e um modelo para peça acabada. Em geral esses modelos não tem ligação entre eles. Se houver alguma alteração na fundição, o modelo da peça acabada não refletirá esta alteração automaticamente. Para evitar este inconveniente, usamos o processo de derivação. Assim se o modelo da peça fundida for alterado, o modelo da peça acabada será alterada também.



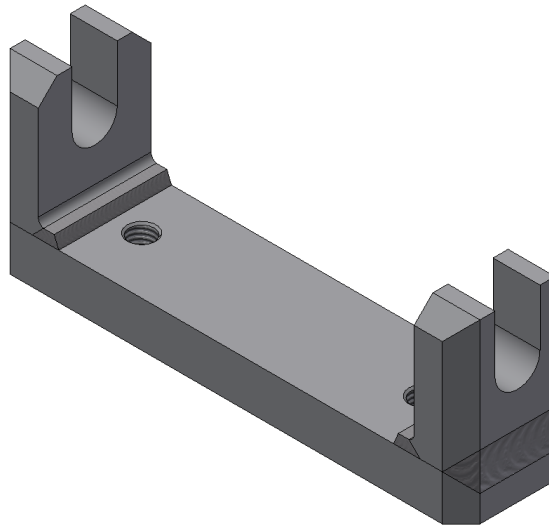
Peça fundida



Peça usinada

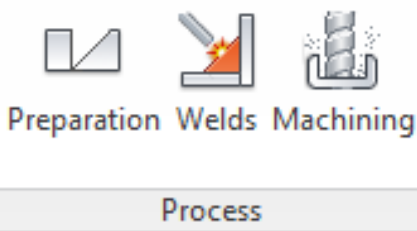
Trabalhando com conjuntos soldados

Na obtenção de elementos de máquinas a soldagem de componentes é um processo largamente empregado. O Autodesk Inventor possui um ambiente apropriado para solda. Este ambiente contempla todas as fases da obtenção de um elemento soldado e que necessita de posterior usinagem. Para estudar este ambiente, selecionamos a peça abaixo:



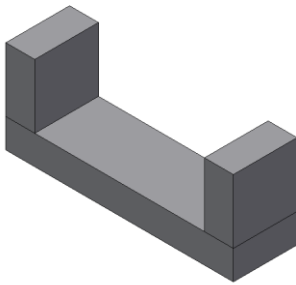
Conjunto soldado Suporte do Rolete

No processo de obtenção de um conjunto soldado, temos 3 fases. O Autodesk Inventor abrange todas:

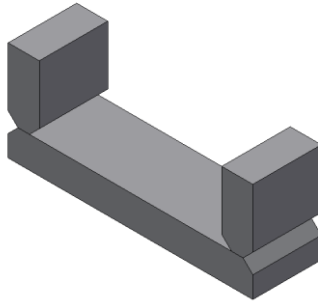


- Preparation: Neste ambiente são criados os chanfros, canais, etc. para posterior soldagem;
- Welds: Este possui ferramentas para criação dos cordões de solda;
- Machining: Caso o conjunto soldado necessite de usinagem, ela é feita neste ambiente.

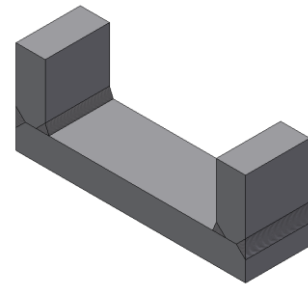
Descrição do processo:



Peças em bruto



Peças com a Preparação definida

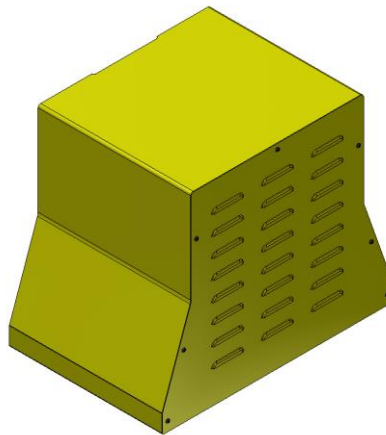


Conjunto soldado

Um outro aspecto deste ambiente é que é possível documentar (criar desenhos 2D), todas as fases do processo.

Trabalhando com peças de chapa dobradas – Sheet metal

Peças confeccionadas de chapas são comuns em todos os segmentos da indústria. Logicamente podemos usar as ferramentas “comuns” de modelamento para criar peças em chapa, porém o Autodesk Inventor possui um ambiente com ferramentas especializadas em criar peças de chapa, este ambiente é o Sheet metal. Com ele modelamos os componentes de forma rápida e prática, sendo que uma vez o definido a geometria da peça, podemos tê-la na forma planificada (blank). Como exemplo da utilização, usaremos a Carenagem.

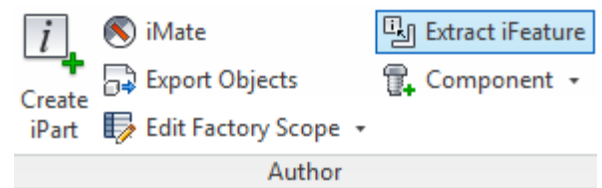
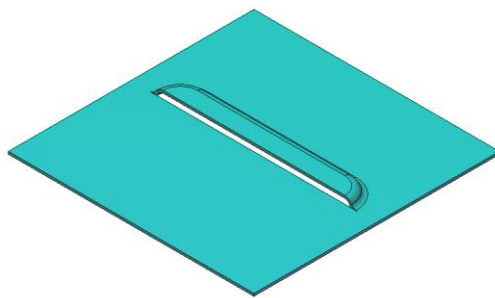


Sub-conjunto Carenagem

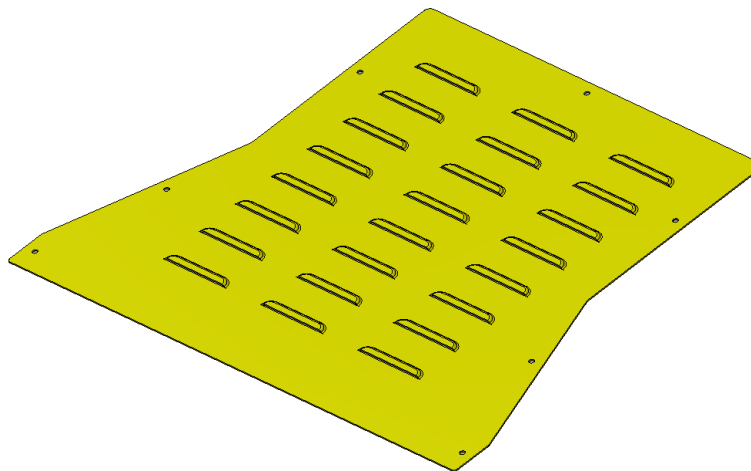
Para o modelamento da tampa da carenagem usamos uma ferramenta pouco utilizada do ambiente de sheet metal, a Punch Tool. Esta ferramenta permite que “armazenemos” features prontas para uso, como neste exemplo a conformação da chapa para criar a passagem de ar.



Neste caso, temos que modelar a forma que desejamos em um arquivo ipt e em seguida extrair a iFeature:

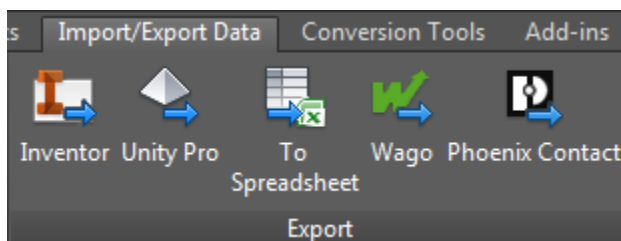
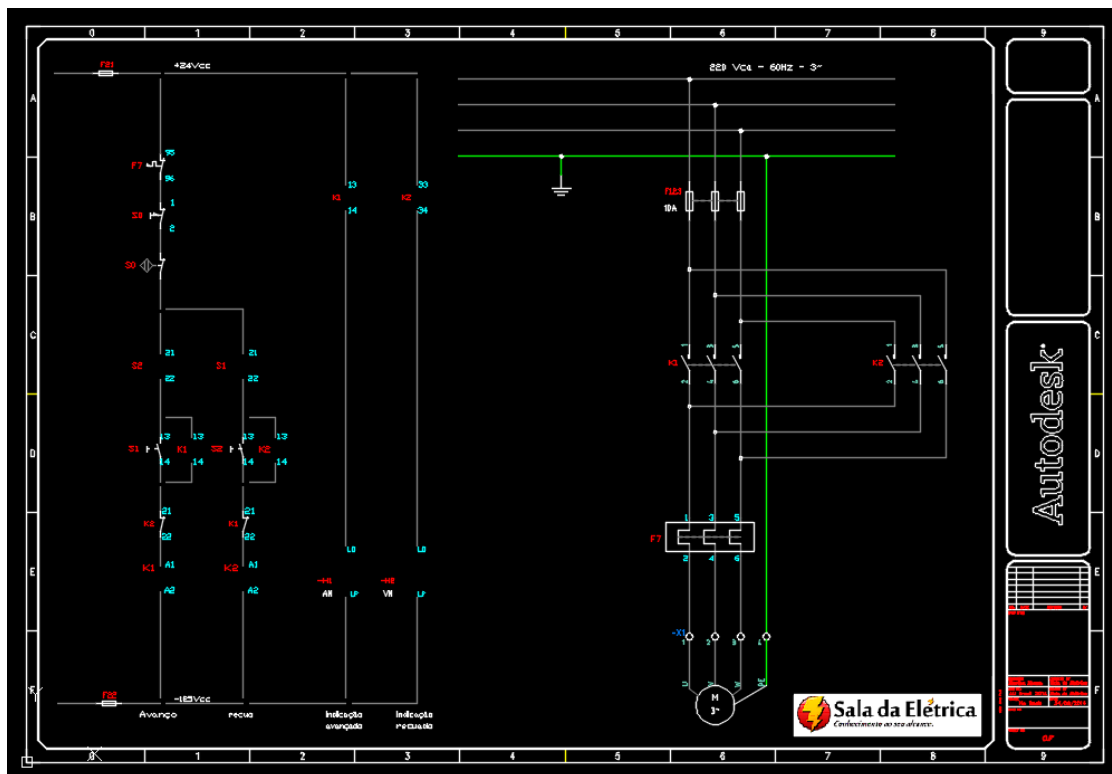


Uma vez com a iFeature pronta, podemos aplica-la em outras peças, usando o comando Punch Tool.



Interface Autodesk Inventor e o AutoCAD Electrical

O projeto de máquinas e equipamentos em geral envolve também o projeto de acionamentos e circuitos eletroeletrônicos. O Autodesk Inventor possui interface com o AutoCAD Electrical. Através desta podemos importar os dados de um esquema elétrico para dentro do ambiente de cabeamento do Inventor e neste ambiente rotear os cabos.



Usando esta opção cria-se um arquivo XML que contem todas as informações do circuito elétrico. Desta forma ao importar para o Autodesk Inventor usa essas informações para fazer as ligações entre os componentes.

