

## UM ESTUDO SOBRE A APLICAÇÃO DE PARAMETRIZAÇÃO NO PROJETO DE PEÇAS MECÂNICAS

### *A STUDY ON THE APPLICATION OF PARAMETRIZATION IN THE PROJECT OF MECHANICAL PARTS*

Danilo Petecof Mattoso<sup>1</sup>

Rovilson Mafalda<sup>2</sup>

#### **Resumo**

Neste artigo apresentamos um estudo sobre a aplicação de recursos de parametrização disponíveis nos sistemas CAD modeladores de sólidos no projeto de peças mecânicas. Primeiro, definimos recursos parametrização com ênfase naqueles disponíveis nas interfaces de sistemas frequentemente utilizados. A seguir, por meio de exemplos, fazemos uma análise do processo de utilização destes recursos. Depois, apresentamos os dados obtidos da aplicação de um questionário de pesquisa a um grupo de projetistas de ferramentaria da empresa General Motors do Brasil. Após a análise dos dados obtidos concluiu-se que estes sugerem que os fatores que mais influenciam o nível de utilização de recursos de parametrização no projeto de peças são na ordem de importância: o nível de conhecimento dos recursos parametrização, a complexidade das peças e o grau de diferenças que podem existir entre elas.

**Palavras-chave:** sistemas CAD; recursos de parametrização; modelagem de peças mecânicas.

#### **Abstract**

In this paper we present a study on the application of parametrization resources available in CAD systems in the mechanical parts modeling. First, we define parametrization resources with emphasis on those available in frequently used system interfaces. In the following, by means of examples, we make an analysis of the process of application of these resources. Then, we present the data obtained from a research questionnaire applied to a group of tooling designers of the company General Motors do Brazil. It was concluded that the obtained data suggest that the most influents factors in the level of use of parametrization resources are in the order of importance: the level of knowledge of the parametrization resources, the complexity of the parts and the degree of differences that may exist between them.

**Keywords:** CAD systems; parametric methods; mechanical parts modeling.

---

<sup>1</sup> Engenheiro de Instrumentação, Automação e Robótica, UFABC, ptmattoso@hotmail.com

<sup>2</sup> Professor Adjunto, Centro de Engenharia e Ciências Sociais Aplicadas - CECS - UFABC, rovilson.mafalda@ufabc.edu.br

## 1. Introdução

O programa *Sketchpad*, desenvolvido nos anos 60 por Ivan Shuterland (SHUTERLAND, 2003), pesquisador do MIT - *Massachusetts Institute of Technology*, no processo de desenvolvimento de sua tese de Doutorado é considerado por vários autores o precursor dos sistemas CAD atuais (SHAH; MÄNTYLA, 1995). A partir deste momento, vários aperfeiçoamentos foram realizados nestes tipos de sistemas até que estes atingiram a comercialização em escala mundial no início dos anos 80 (HORGAN, 2012).

Os sistemas CAD promoveram uma revolução mundial tanto no modo como se ensina disciplinas relacionadas à Expressão Gráfica como na maneira de projetar e documentar o projeto de um determinado produto. Uma das evoluções mais significativas nestes sistemas foi a passagem da modelagem em duas dimensões para a modelagem tridimensional e, posteriormente ao Modelamento Sólido que é hoje uma técnica popular de modelamento em três dimensões (SHAH; MÄNTYLA, 1995). Nesta sequência evolutiva considera-se que a fronteira final seja o desenvolvimento de um sistema "CAD Inteligente" como apontado por vários autores, por exemplo, Hagen; Tomiyama, 1987.

As ideias mais promissoras sobre como tornar os sistemas CAD ferramentas mais efetivas no auxílio ao projeto ou "mais inteligentes", são baseadas na implementação de recursos de parametrização nestes sistemas (AKMAN; HAGEN, 1990). Em geral, preveem-se como benefício imediato do uso intensivo de recursos de parametrização: a eliminação de tarefas repetitivas como, por exemplo, iniciar um modelo sempre do "zero" ou facilidade para alterar o modelo.

Tal como se apresentam ao usuário de um sistema CAD, recursos de parametrização são conjuntos de "ferramentas de software" que permitem estabelecer restrições posicionais, dimensionais e geométricas para um ou mais objetos geométricos em duas ou três dimensões. No caso de restrições posicionais pode-se, por exemplo, fixar um ponto no plano. No caso de restrições dimensionais pode-se, por exemplo, atribuir valores para largura e comprimento de um retângulo. No caso de restrições geométricas pode-se, por exemplo, definir a condição de paralelismo entre dois segmentos de reta.

Hoje em dia, recursos de parametrização estão disponíveis nos sistemas CAD comerciais mais utilizados como NX, Pro-Engineer, Catia e SolidWorks na forma de diferentes "ferramentas de software". A visão corrente é que o uso destes recursos pode aprimorar e acelerar o desenvolvimento virtual de produtos e melhorar o nível de integração com outros sistemas utilizados em manufatura (HORGAN, 2012). Entretanto, o que se nota na prática é o que uso intensivo de recursos de parametrização em projetos de produtos em Engenharia, especificamente em Engenharia Mecânica, ainda é pequeno ou inexistente (PERES; VELASCO, 2007). A consequência disso é que a subutilização destes sistemas representa perda significativa ou a extensão dos períodos de retornos dos investimentos das empresas em licenças de uso de software que custam em torno de Dez mil dólares. Por isso, procurar conhecer os fatores que limitam a utilização destes recursos por parte de usuários destes sistemas é relevante para Engenharia, considerando que há poucos estudos, no âmbito da expressão gráfica, que possam trazer luz a essa questão (PERES; VELASCO, 2007).

Para melhorar a compreensão sobre estes fatores, neste artigo apresentamos os resultados de um estudo sobre a utilização de recursos de parametrização mais comuns encontrados em sistemas CAD e uma pesquisa de opinião feita com um grupo de

projetistas do setor de ferramentaria da empresa General Motors do Brasil localizada no município de São Caetano do Sul.

## 2. A Criação de Representações Paramétricas

Um modelo sólido pode ser criado de três diferentes modos: em primeiro lugar pela instanciação de objetos primitivos como paralelepípedos e cilindros. Em segundo lugar, este pode ser criado por operações de varredura rotacional e translacional. Em terceiro lugar, este pode ser criado por combinações de sólidos criados pelos dois modos anteriores usando-se operações booleanas como união, intersecção e subtração (MÄNTYLÄ, 1988). Por último, eles podem ser criados por operações de *features* que são composições de operações que são realizadas em blocos. Por exemplo, a operação da *feature* **corte** pode ser descrita como a composição da criação de um sólido por varredura com a operação booleana de subtração.

Exceto a instanciação de objetos primitivos, que utiliza formas previamente definidas, a criação de *features* e de sólidos por varredura depende em geral, do desenho prévio de uma forma bidimensional. Essas formas são utilizadas para criação de sólidos por varredura ou como referência para criação de *features*. Para criar estas formas, utiliza-se o recurso chamado *Sketch*, cuja tradução livre pode ser **criador de esboços**. Esboço, neste contexto, é um conjunto de elementos geométricos (pontos, curvas e outros elementos) localizados em um plano virtual.

Figura 1: Ícones indicadores de restrições.

	Vertical
	Horizontal
	Coincidente
	Concêntrico
	Perpendicular
	Paralelo
	Tamanho igual

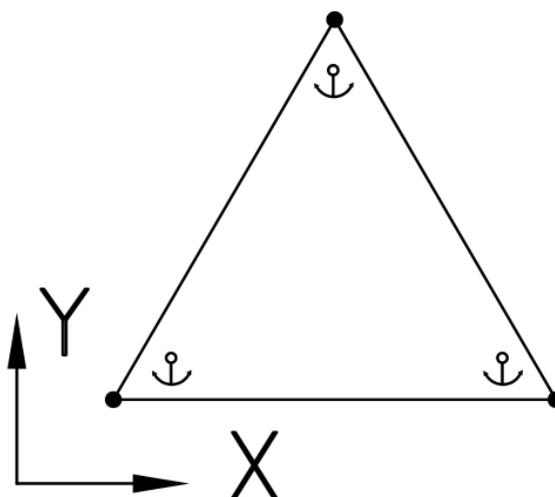
Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao longo do processo de criação de um esboço aplicam-se restrições posicionais, dimensionais e geométricas até que um determinado objetivo seja alcançado. Posteriormente, os esboços são utilizados na criação de partes tridimensionais por operações de varredura ou de *features*. Se o esboço é modificado, as partes tridimensionais a ele associadas são também modificadas. As etapas da criação de um esboço são: definir um plano de trabalho; criar a geometria do esboço e aplicar restrições posicionais, dimensionais e geométricas. Na Figura 1 ilustramos os principais símbolos que denotam no desenho restrições geométricas.

### 2.1. Restrições Posicionais

Restrições posicionais são utilizadas para tornar determinados pontos fixos em relação a um sistema local ou global de coordenadas. Elas são necessárias para que os objetos geométricos não tenham suas posições modificadas pela aplicação de transformações de rotação ou translação. A Figura 2 ilustra exemplos de restrições posicionais aos vértices de um triângulo no plano (X,Y).

Figura 2: Exemplos de restrições posicionais.

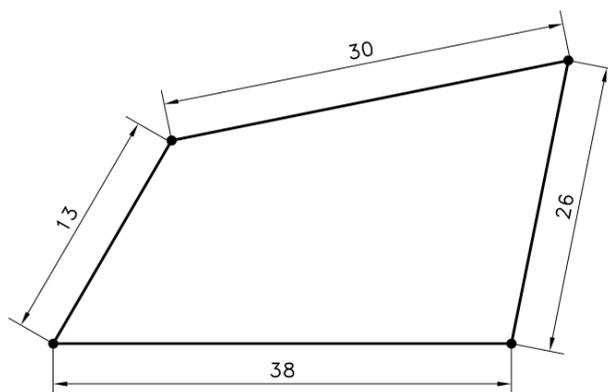


Fonte: Elaborado pelos autores.

### 2.2. Restrições Dimensionais

Restrições dimensionais são utilizadas para definir dimensões. Por exemplo, definir o comprimento de um segmento de reta. São utilizadas também para definir distâncias, por exemplo, a distância entre duas retas paralelas. Este tipo de restrição não modifica a forma de objetos primitivos como linhas e circunferências. Estas Modificam apenas a forma de objetos compostos a partir de suas dimensões como as mostrado na Figura 3.

Figura 3: Exemplos de restrições dimensionais.

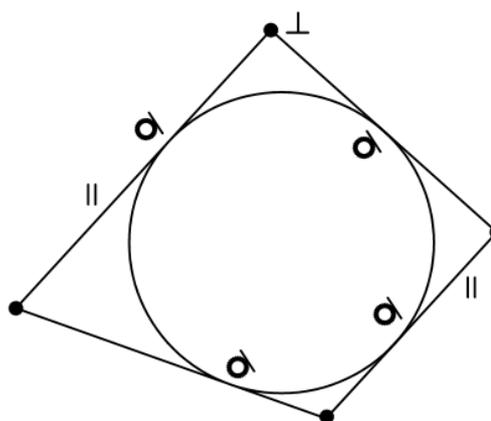


Fonte: Elaborado pelos autores.

### 2.3. Restrições Geométricas

Restrições geométricas são utilizadas para definir relações entre dois ou mais elementos geométricos. Por exemplo, tornar dois segmentos de reta paralelos ou tornar um segmento de reta tangente a uma circunferência. A Figura 4 ilustra exemplos de restrições geométricas: perpendicularismo, tangências e paralelismo.

Figura 4: Exemplos de restrições geométricas.

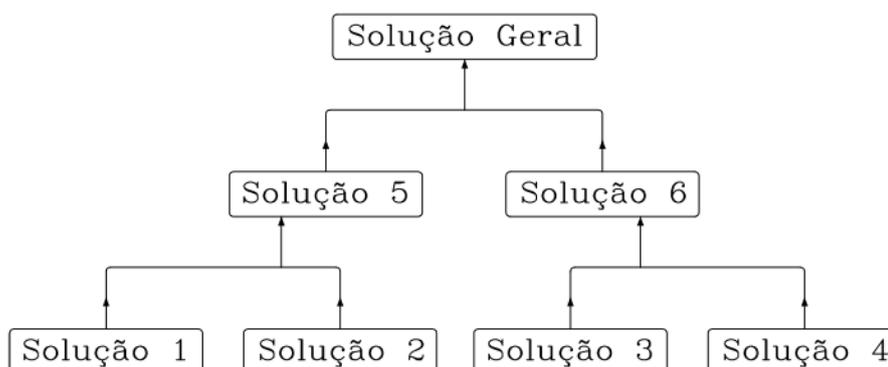


Fonte: Elaborado pelos autores.

### 2.4. Métodos para Criação de Representações Paramétricas

O principal método para construção de um modelo paramétrico nos sistemas CAD é o chamado método **construtivo** (ALDEFELD, 1988). Neste método, o usuário constrói um grupo de elementos geométricos e aplica a eles restrições até que seu objetivo tenha sido atingido. Do ponto de vista do sistema CAD, o modelo geométrico final vai sendo construído e resolvido hierarquicamente a medida que elementos geométricos e restrições vão sendo acrescentados como indica o diagrama na Figura 5.

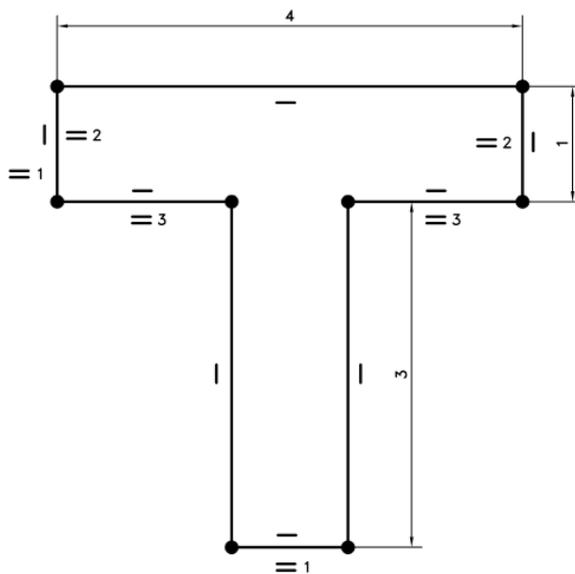
Figura 5: Abordagem construtiva: resolução de restrições.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para cada nova restrição aplicada, o sistema verifica sua compatibilidade em relação a todas as outras já existentes e fornece ao **usuário do sistema** como resultado as seguintes situações: sub-restringido; totalmente restringido e super-restringido.

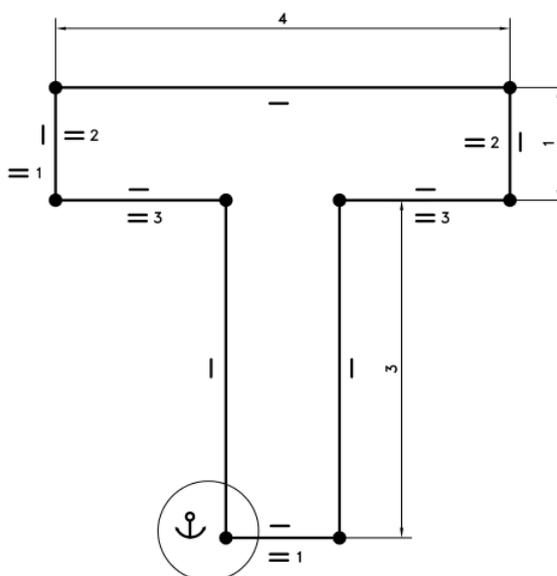
Figura 6: Esboço sub-restringido.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na situação sub-restringido há elementos do conjunto de objetos que não estão associados por nenhum tipo de restrição ou, mesmo o esboço pode não ter uma origem definida no plano. Um exemplo desta situação é mostrado na Figura 7.

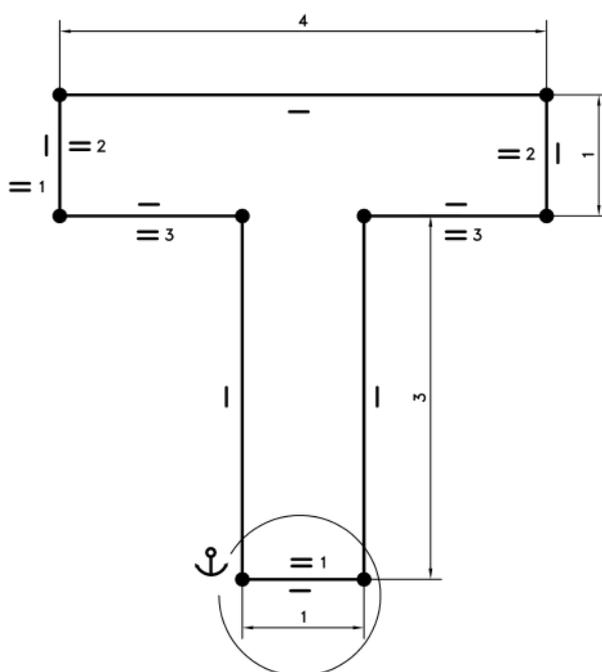
Figura 7: Esboço totalmente restringido.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na situação totalmente restringido, todos os elementos do conjunto possuem ao menos uma associação por meio de restrições o que inclui uma origem para o modelo definida no plano. Um exemplo desta situação é mostrado na Figura 8.

Figura 8: Esboço super- restringido.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na última condição, super-restringido, há mais restrições associando os elementos do conjunto do que aquelas necessárias para definir a forma desejada. Inclui-se na condição de super-restringido os casos de conflito entre restrições. Neste exemplo, o conflito ocorre ao definir a **Dimensão 1** para um elemento cujo comprimento já está definido por uma condição de igualdade.

## 2.5. Parametrização de Formas por Equacionamento

Recursos de equacionamento são utilizados para controlar dimensões de acordo com alguma função. Eles permitem vincular parâmetros de uma forma e/ou de formas distintas através de equações matemáticas. Por exemplo, para manter a **altura** de um cilindro igual ao dobro de **raio** basta relacioná-los pela expressão **altura=2 x raio**.

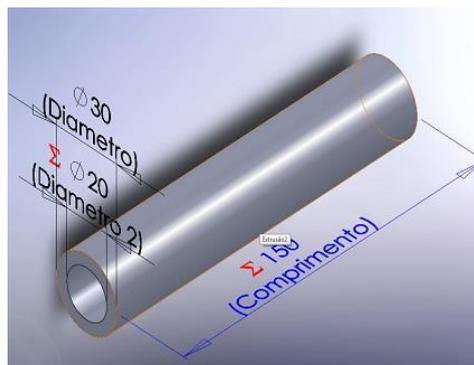
Para construir o modelo de um tubo no qual o diâmetro interno do mesmo seja dependente de seu comprimento de maneira que a medida que o comprimento do tubo aumente, o diâmetro interno do tubo também aumente podemos manter seu diâmetro externo enquanto o furo interno do tubo sofre variação do seu diâmetro. Os parâmetros **Diâmetro** (Diâmetro externo do tubo), **Diâmetro2** (Diâmetro interno do tubo) e **Comprimento** podem ser equacionados do seguinte modo:

$$\text{Diâmetro} = \text{Diâmetro2} + 10 \quad (1)$$

## Comprimento = Diâmetro x 5 (2)

Na equação (1) impõem-se a restrição de que a espessura da parede do tubo deve ser de 5 mm. Na equação (2) impõem-se a restrição de que a o comprimento do tubo será 5 vezes o seu diâmetro externo. Adicionalmente, foi imposta também a restrição de concentricidade entre os diâmetros internos e externos do tubo.

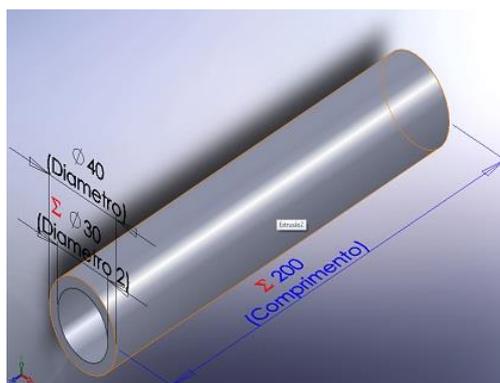
Figura 9: Modelo de um tubo: parâmetros iniciais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao lado das dimensões utilizadas como parâmetros, aparece a letra grega sigma, Figuras 9 e 10, o que designa que aquela dimensão está vinculada a uma expressão. Na Figura 10 mostra-se a mudança nas dimensões do modelo do tubo alterando-se o valor do parâmetro **Diâmetro2**. Como se podem ver, uma vez criado o modelo paramétrico, as alterações podem ser feitas de acordo com as necessidades do usuário.

Figura 10: Modelo de um tubo: parâmetros modificados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 2.6. Visão geral sobre recursos para parametrização de representações

Os recursos de parametrização mais frequentemente encontrados nas interfaces de sistemas CAD modeladores de sólidos podem ser utilizados individualmente ou em conjunto dependendo do tipo de parametrização a ser realizada. A sua variedade e não dependência mutua sugerem que a aplicação destes recursos depende de planeamento

prévio de como um modelo paramétrico deve ser construído. A falta de planejamento prévio pode levar ao gasto de tempo desnecessário para realizar correções.

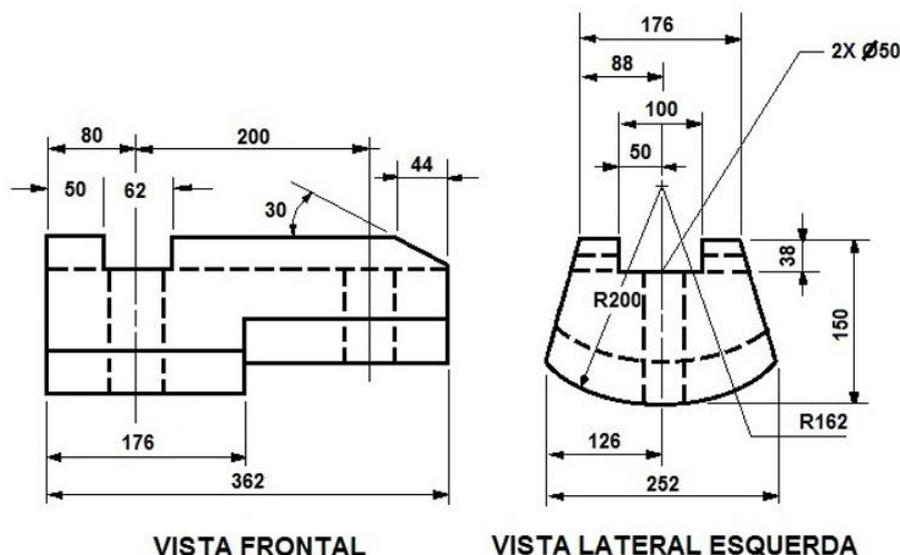
### 3. Exemplos de Representações Paramétricas de Peças

Nesta seção apresentamos exemplos de construção de peças utilizando recursos de parametrização nos sistemas CAD SolidWorks v. 2008 e NX-5.

#### 3.1. Representação Paramétrica: Exemplo 1

A peça a ser modelada neste exemplo é mostrada na Figura 11. A análise da peça mostrada sugere que quase a totalidade da mesma é composta a partir de um corte em um sólido formado por dois cilindros concêntricos. A forma que é utilizada como base para este corte pode ser feita de tal maneira que na mesma seja incluída a forma retangular que dá origem a canaleta longitudinal da peça.

Figura 11: Primeiro exemplo: vistas ortográficas.



Fonte: Reproduzido de Guiesecke et ali. (2001).

Os dois furos da peça podem ser obtidos por outra operação de **corte** cuja forma é constituída por duas circunferências. A canaleta transversal mostrada na vista frontal pode ser obtida também por uma operação de **corte** tendo como base uma forma retangular. A outra característica são os chanfros mostrados na vista frontal da peça. Para produzi-la podem-se utilizar o recurso **chanfro**.

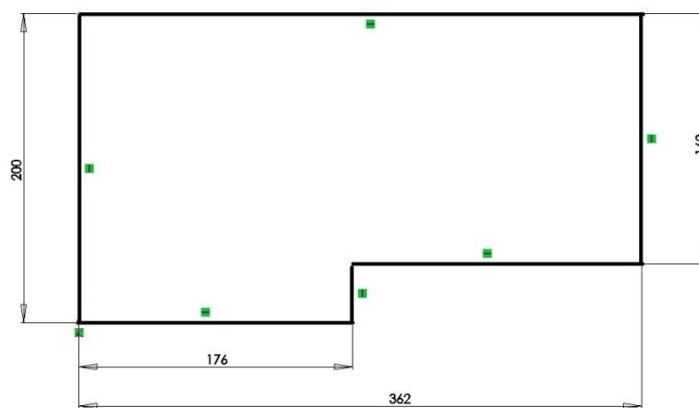
Após a análise dos desenhos da peça o plano de construção definido para a mesma é composto pelas seguintes etapas:

- Construção da forma base do corpo cilíndrico;
- Construção da forma base e aplicação da operação **corte** no corpo cilíndrico;
- Aplicação da operação **chanfro** no sólido resultante.

- Construção da forma base de canaleta aplicação da operação **corte** no sólido resultante;
- Construção da forma base de furos e aplicação da operação **corte** no sólido resultante.

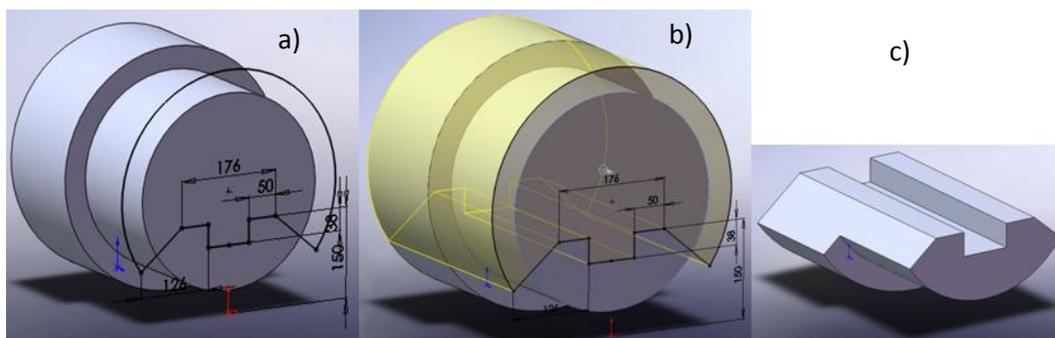
A **construção do corpo cilíndrico** é feita a partir do esboço mostrado na Figura 12. Esse esboço é criado com linhas horizontais e verticais conectadas por suas extremidades. Uma vez finalizado este esboço, aplica-se uma operação de **varredura rotacional** e assim gera-se o corpo cilíndrico mostrado na Figura 13a.

Figura 12: Construção do corpo cilíndrico: esboço da forma base.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 13: Corpo cilíndrico.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A **construção da forma base para a aplicação de operação corte no corpo cilíndrico** é iniciada com a construção de um esboço no que contém a face do cilindro menor do corpo cilíndrico. Para a construção deste esboço utilizam-se arcos e segmentos de reta conectados. Sobre eles aplicam-se vários tipos de restrições geométricas, por exemplo, concentricidade e dimensionais, por exemplo, a medida 38. Outro exemplo, os dois pontos inferiores do arco são criados com uma restrição geométrica de horizontalidade entre eles.

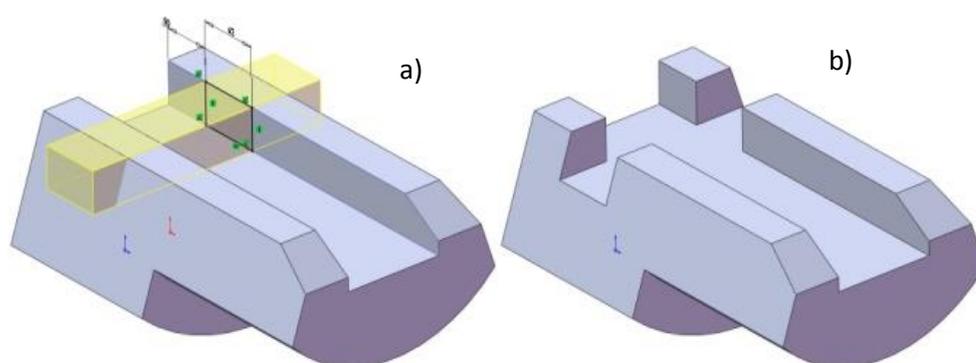
Outro exemplo, os dois pontos inferiores do arco são criados com uma restrição geométrica de horizontalidade entre eles, Figura 13b. Na Figura 13c mostram-

se o resultado da aplicação da operação de corte no corpo cilíndrico.

A aplicação da operação **chanfro** no sólido resultante é feita em uma única operação. Para isso seleciona-se o recurso **chanfro** diretamente em uma das barras de ferramentas do sistema CAD. Os parâmetros desta operação são **ângulo=30** e **medida=40**. O sólido resultante após esta operação é mostrado na Figura 14a.

A **construção da forma base de canaleta transversal** é feita em uma das faces internas da canaleta do sólido resultante. Para a construção deste esboço utiliza-se uma forma retangular composta por segmentos de reta conectados. Na Figura 14a mostra-se a preparação e Figura 14b o resultado dessa operação.

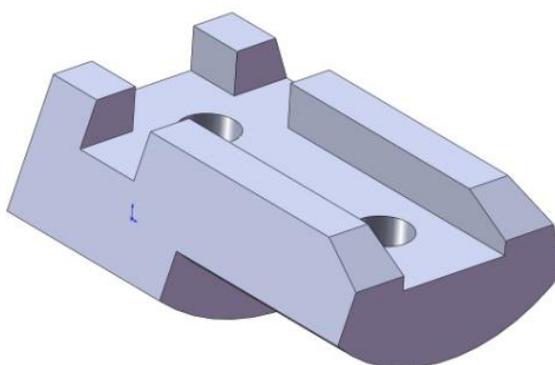
Figura 14: Canaleta transversal: esboço, operação de corte e sólido resultante.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A **construção da forma base dos furos** é feita na face do fundo da canaleta longitudinal do sólido resultante. Para a construção deste esboço utiliza-se uma forma composta por duas circunferências. Sobre eles aplicam-se a restrição geométrica de horizontalidade entre seus centros e aplicam-se também restrições dimensionais, por exemplo, o diâmetro dos furos. Uma vez criado este esboço aplicam-se a operação de **corte** e isso resulta na criação dos furos passantes na peça. Essa é a última etapa de construção da peça como ilustra a Figura 15.

Figura 15: Sólido resultante final.

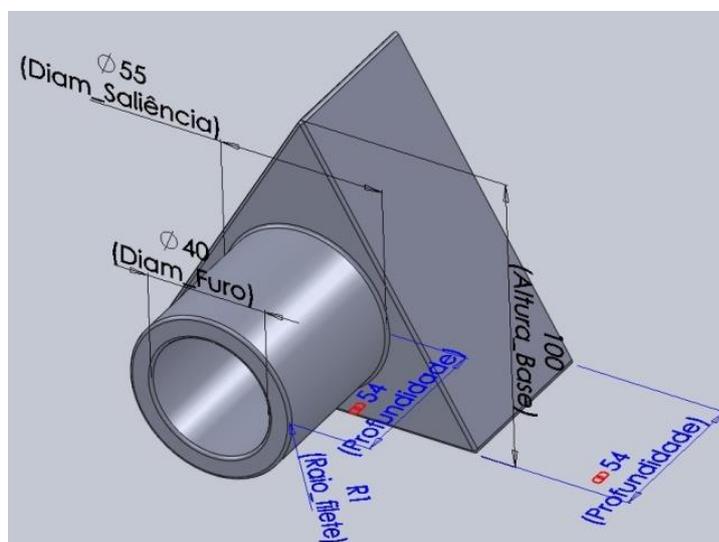


Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.2. Representação Paramétrica: Exemplo 2

Neste exemplo utilizamos tanto recursos de equacionamento, como de restrições geométricas. Através dele, mostramos como se criam parâmetros que controlam a forma. A primeira etapa é a criação do esboço da base triangular. Nesta etapa define-se o primeiro parâmetro a ser utilizado: **AlturaBase**. Através das restrições nos lados do triângulo ele se torna equilátero, e a partir daí ele é extrudado formando a base como mostra a Figura 16.

Figura 16: Modelo base para múltiplas formas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Depois disso, cria-se um esboço de uma circunferência na parte central da base triangular que dará origem a uma protuberância cilíndrica. Nesta etapa também é criado o parâmetro que define o diâmetro da protuberância, **DiamSaliência** e a profundidade da mesma. Após a análise do desenho da peça o plano de construção definido para a mesma é composto pelas seguintes etapas:

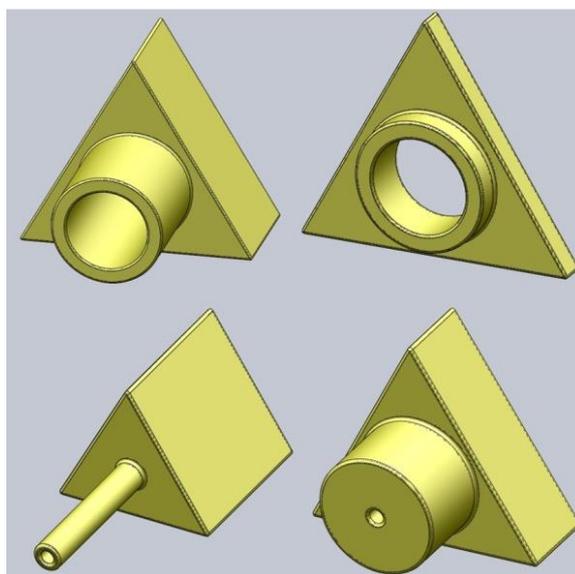
- Construção do corpo triangular;
- Construção de forma circular, base da protuberância, e aplicação da operação **varredura** para gerar a protuberância;
- Construção de forma circular, base do furo e aplicação da operação **corte** com profundidade definida no sólido resultante;

Na Figura 16 é possível notar que os parâmetros de profundidade do corpo triangular e da saliência foram vinculados, ou seja, as dimensões que os controlam se tornam equivalentes. O sistema CAD representa essa vinculação com um símbolo de união na frente das duas dimensões. Depois, é criado um furo passante no centro da saliência, o que define mais um parâmetro: **DiamFuro**. E por fim é criado um último parâmetro, **RaioFilete**, que define o valor dos filetes nas arestas do modelo.

Uma vez concluído o modelo, podem-se criar diferentes peças variando-se

apenas os valores dos parâmetros aplicados. A Figura 17 ilustra um possível conjunto de peças que poderia ser criado a partir desse mesmo modelo paramétrico. Vale notar que apesar das diferenças entre as peças, em todas elas mantém-se a relação de igualdade entre a profundidade das saliências e profundidade dos corpos triangulares.

**Figura 17: Peça com múltiplas formas: variações.**



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3.3. Representação Paramétrica: Exemplo 3

Neste exemplo utilizou-se o recurso **Expressions** do sistema CAD NX-5 para vincular parâmetros pertencentes a formas distintas por meio de equações. O objetivo foi construir um modelo paramétrico de um disco com a quantidade de furos variável. O corpo do disco é fixo enquanto que a quantidade de furos do disco varia de acordo com o diâmetro dos mesmos. O conjunto de equações que permitem criar um disco com essas características é mostrado abaixo.

- **NUMERO DE FUROS = DIÂMETRO / DIÂMETRO DO FURO** (1)
- **ÂNGULO ENTRE OS FUROS = 360 / NUMERO DE FUROS** (2)
- **DIÂMETRO DO FURO = DIÂMETRO DO DISCO / 10** (3)
- **DISTÂNCIA DOS FUROS AO CENTRO DO DISCO = DIÂMETRO DO DISCO / 4** (4)
- **ESPESSURA DO DISCO = DIÂMETRO DO FURO** (5)

Na equação (1) define-se que o número de furos depende da razão entre o diâmetro do disco e diâmetro do furo. Note que o parâmetro a ser modificado nesta expressão é **numero de furos**. Esse parâmetro é representado por um número inteiro.

Na equação (2) define-se que o ângulo entre os furos (ângulo entre as retas que passam pelo centro do disco e pelos centros dos furos) depende da razão entre os 360 graus do disco e o número de furos. Note que o parâmetro a ser modificado nesta expressão é também **numero de furos**. Esse parâmetro é representado por um número

real.

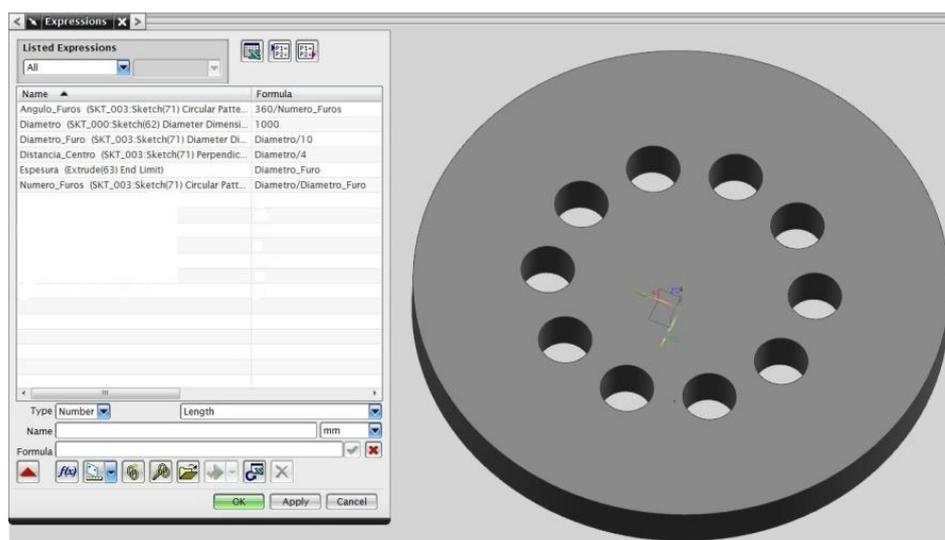
Na equação (3) define-se o diâmetro do furo igual a 1/10 do diâmetro do disco. Esse parâmetro é representado por um número real.

Na equação (4) define-se que o anel circular que contém os centros dos furos tenha raio igual a 1/4 do **diâmetro do disco**. Esse parâmetro é representado por um número real.

Na equação (5) define-se que a **espessura do disco** é igual ao **diâmetro do furo**. Esse parâmetro é representado por um número real embora apenas a parte real do número seja aproveitada. Não há 1/2 furo.

Uma vez construído este modelo espera-se variar um único parâmetro, **diâmetro do disco**. Ao fazermos isso, todos os outros parâmetros envolvidos são modificados. Como o número de furos é um dado de entrada esse parâmetro não varia. O disco concluído é mostrado na Figura 18.

Figura 18: Disco com furação variável: situação inicial.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o caso em que, NÚMERO DE FUROS=10, conforme se aumenta o diâmetro do disco, os furos se distribuem de forma a manter a uniformidade no ângulo de espaçamento entre eles e em suas distâncias em relação ao centro do disco.

### 3.4. A Criação de Peças Paramétricas é um Processo Simples?

Do ponto de vista do usuário, a criação de modelos paramétricos é uma tarefa cuja dificuldade é progressiva. Um esboço que possui menos componentes geométricos do que outro pode ser considerado mais simples de ser construído. O processo de construção de um modelo paramétrico se torna cada vez mais complexo a medida que aumenta o número de restrições e/ou equações aplicadas. Por isso, a construção de um modelo paramétrico deve ser bem planejada e isso depende também da competência, experiência e metodologia do usuário do sistema CAD. Pelos exemplos 1,2 e 3 podem-se

notar que o tempo gasto na criação de um modelo paramétrico pode trazer ganhos de tempo na hora de modelar peça(s) similar(es). Do mesmo modo, um modelo paramétrico cuja construção foi mal planejada pode não trazer ganhos de tempo na hora de modelar peça(s) similar(es).

De modo geral, o processo de criação de um modelo paramétrico depende da variedade e complexidade dos objetos a serem modelados. Por isso, muitas vezes, é difícil para o usuário definir de maneira consistente todas as restrições necessárias para parametrizar um determinado conjunto de formas. Até certo ponto, isso pode ser explicado pela facilidade com que o usuário pode adicionar ou remover restrições de todos os tipos. Por exemplo, ele pode aplicar restrições sem uma reflexão sobre todas as implicações decorrentes de sua ação e isso pode levar o esboço a tornar-se super-restringido sem que ele tenha conhecimento das razões que levaram a esta condição. A facilidade em adicionar ou remover restrições também leva ao acúmulo de restrições ambíguas. De outro modo, o modelo paramétrico pode conter certo grau de redundância no número e no tipo de restrições. Essa redundância onera a capacidade de processamento bem como o tempo para entendimento da proposta de modelagem se o modelo tiver que ser editado por outro usuário. O lado positivo da facilidade em adicionar ou remover restrições está na liberdade que esta confere ao usuário para criar modelos paramétricos. Entretanto, não é fácil identificar o bom uso desta condição.

#### 4. Pesquisa de Opinião

Esta pesquisa de opinião foi realizada com os projetistas do setor de projetos de ferramentaria da empresa General Motors do Brasil, sediada em São Caetano do Sul. Neste setor, trabalham aproximadamente 40 projetistas que possuem em média a idade de 46 anos. Em geral, eles são do sexo masculino e já foram ferramenteiros ou já trabalharam na construção de ferramentas de estampagem, moldes plásticos ou dispositivos de inspeção de peças.

Neste setor da empresa fabricam-se peças com paredes finas de chapa ou fitas de diversos metais e ligas que tem aplicações em várias partes de um automóvel por exemplos assentos e latarias em geral. As operações de estampagem podem ser resumidas em três atividades básicas: corte, dobramento e estampagem profunda.

Conforme os dados listados abaixo, neste setor da Empresa, a etapa de projeto do estampo no sistema CAD gasta aproximadamente 13,85% do tempo total do processo de construção do ferramental. Uma vez que esta é a segunda etapa de maior duração, considerou-se importante entender quais fatores levam os projetistas a demandarem tal período de tempo nesta atividade. São elas:

- Atividade A: (0h - 0%) Entrega do *layout* da peça que será estampada;
- Atividade B: (180h - 13,85%) Projeto no sistema CAD;
- Atividade C: (115h - 8,85%) Construção do modelo em *isopor* e fundição com areia verde;
- Atividade D: (8h - 0,62%) Preparação do fundido;
- Atividade E: (21h - 1,62%) Coordenação e estimativa de projeto;
- Atividade F: (55h - 4,23%) Fresagem das facas de corte;
- Atividade G: (50h - 3,85%) Inserção das facas de corte;
- Atividade H: (98h - 7,54%) Usinagem 2D do fundido;
- Atividade I1: (25h - 1,92%) Preparação da base;

- Atividade I2: (18h - 1,39%) Preparação do adaptador;
- Atividade I3: (16h - 1,23%) Preparação do sujeitador;
- Atividade I4: (24h - 1,85%) Montagem do adaptador na base;
- Atividade I5: (22h - 1,69%) Ajuste do sujeitador na base;
- Atividade J: (33h - 2,54%) Programação CNC;
- Atividade K: (85h - 6,54%) Usinagem 3D;
- Atividade L1: (108h - 8,31%) Montagem dos componentes pneumáticos e cunhas de furação;
- Atividade L2: (47h - 3,61%) Construção das rampas de retalhos;
- Atividade L3: (72h - 5,53%) Têmpera;
- Atividade L4: (53h - 4,08%) Montagem das rampas;
- Atividade M: (356h - 27,38%) Ajuste das ferramentas e correção das peças;
- Atividade N: (94h - 7,23%) Teste final de entrega das ferramentas para produção.

Na empresa, o sistema CAD NX-5 já é utilizado a aproximadamente 15 anos e os cursos feitos pelos projetistas são aplicados pelo próprio fornecedor do sistema CAD. No curso básico o projetista aprende e exercita as principais ferramentas do sistema, aproximadamente 60% delas, e tem uma iniciação aos recursos de parametrização básicos. No curso avançado são ensinadas quase todas as ferramentas do CAD num espaço de tempo maior, para que os projetistas possam fixar melhor o que foi aprendido. São ensinadas também técnicas de parametrização avançadas. No curso de atualização, os projetistas aprendem apenas o que foi modificado na nova versão do sistema.

Em Novembro de 2011 aplicamos para 36 projetistas do setor um questionário cujo objetivo foi coletar informações sobre:

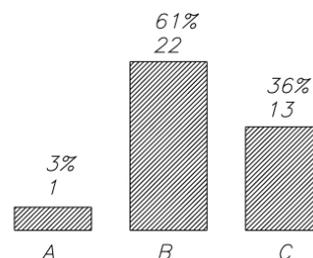
- a experiência do projetista com o sistema CAD utilizado (NX Siemens);
- conhecimento do projetista quanto aos recursos de parametrização;
- nível de utilização de recursos paramétricos nos projetos.

#### **4.1. O Questionário Aplicado e Dados Obtidos**

Nas questões de 1 a 4 o objetivo foi coletar informações sobre o grau de conhecimento dos projetistas quanto ao uso do sistema CAD. Na questão 2 o objetivo foi conhecer a formação do projetista em relação ao uso sistema. Na questão 3 o objetivo foi conhecer o tempo de experiência dos projetistas com o uso do sistema CAD. Na questão 4, o objetivo foi coletar informações sobre a adaptação dos projetistas ao sistema CAD e seu grau de vontade em continuar aprendendo a utilizar outras ferramentas do sistema. Nas questões 5 e 6 o objetivo foi coletar dados sobre a experiência dos projetistas com a parametrização e as dificuldades em se utilizar tais recursos. Abaixo, apresentamos cada uma das questões componentes bem como os resultados obtidos de sua aplicação.

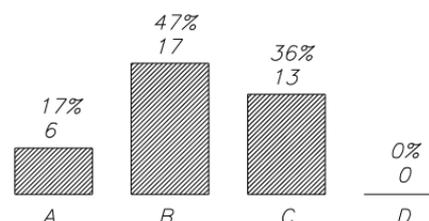
**Q1.** Qual o nível de conhecimento que você considera ter sobre a modelagem no CAD NX?  
a) nível básico.  
b) nível intermediário.  
c) nível avançado.

**Figura 19: Resultados da questão 1.**



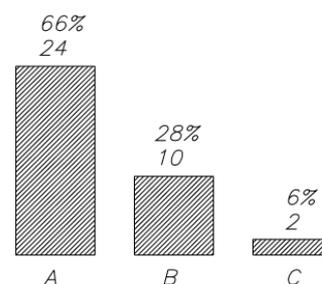
**Q2.** Fez algum curso de CAD NX?  
a) sim, avançado.  
b) sim, básico.  
c) sim, apenas de atualização.  
d) não.

**Figura 20: Resultados da questão 2.**



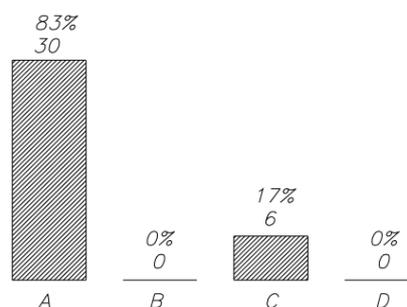
**Q3.** Há quanto tempo projeta no CAD NX?  
a) mais de 10 anos.  
b) entre 5 e 10 anos.  
c) menos de 5 anos.

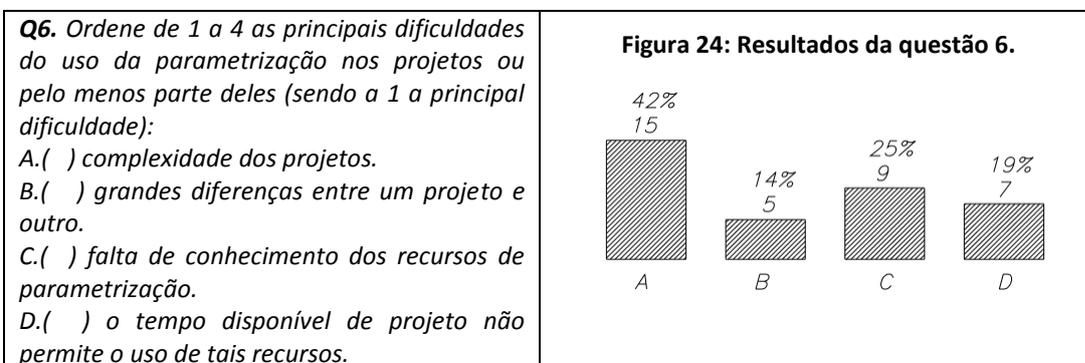
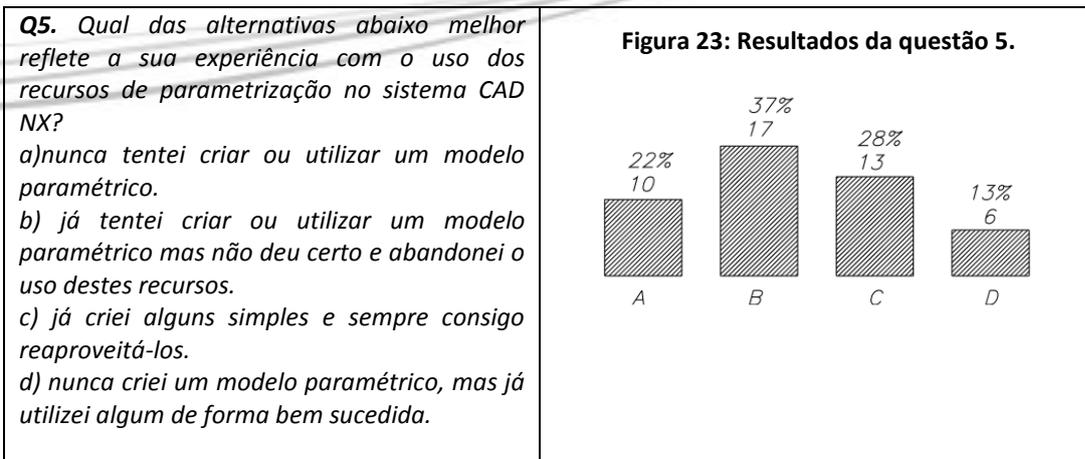
**Figura 21: Resultados da questão 3.**



**Q4.** Qual das alternativas abaixo melhor reflete a sua experiência com a modelagem CAD NX?  
a) Estou bem adaptado ao uso do CAD, mas considero importante continuar aprendendo novas ferramentas.  
b) Hoje estou bem adaptado ao uso do CAD, mas não considero tão importante aprender ferramentas que ainda não utilizo.  
c) Ainda tenho algumas dificuldades para utilizar o CAD, mas quero continuar aprendendo.  
d) Ainda tenho algumas dificuldades para utilizar o CAD, mas acho que já é suficiente.

**Figura 22: Resultados da questão 4.**





Fonte: Elaborado pelos autores.

Na questão 6, os dados mostrados no gráfico e na Tabela 1 são apenas os que indicaram um dado item em primeira alternativa. Neste caso, 15 projetistas responderam a alternativa A em primeira opção, 5 responderam a alternativa B em primeira opção, 9 responderam a alternativa C em primeira opção e 7 responderam a alternativa D em primeira opção. Na Tabela 1 apresentamos os resultados das questões aplicadas aos projetistas.

**Tabela 1: Resultados das questões aplicadas aos projetistas**

Resposta	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5	Questão 6
A	1	6	24	30	10	15
B	22	17	10	0	17	5
C	13	13	2	6	13	9
D	XX	0	XX	0	6	7

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na **questão 1**, dos 36 projetistas, 22 responderam ter nível intermediário sobre a modelagem no sistema CAD e 13 um nível avançado, enquanto que apenas 1 respondeu ter nível básico. Neste quesito, os dados obtidos sugerem que a maioria dos projetistas possui nível intermediário de utilização do sistema CAD.

Na **questão 2**, dos 36 projetistas, 6 responderam ter nível de treinamento avançado, 17 nível básico e 13 o nível de atualização. Esses 13 que fizeram apenas cursos de atualização provavelmente aprenderam a utilizar o sistema CAD com outros projetistas ou trouxeram conhecimento de experiências anteriores com outros sistemas. Dos 6 projetistas que fizeram o curso avançado, 5 responderam ter um nível de conhecimento avançado. Dos 17 que fizeram o curso básico, 12 responderam ter um nível intermediário de conhecimento e 4 responderam já ter um nível avançado. Dos 13 que fizeram apenas o curso de atualização, 9 responderam ter um nível intermediário e 4 um nível avançado. Neste quesito, os dados obtidos sugerem que o nível de conhecimentos no uso do sistema CAD não é determinado especificamente pelas quantidades de horas de treinamento, mas também pelo tempo de utilização do sistema.

Na **questão 3**, dos 36 projetistas, 24 responderam já projetar no sistema CAD NX há mais de 10 anos e apenas 2 disseram projetar há menos de 5 anos. Estes 2 projetistas que projetam há menos de 5 anos, fizeram apenas cursos de atualização e responderam ter um nível intermediário de conhecimento do sistema. Neste quesito, os dados obtidos sugerem que este grupo de projetistas tem em média (média ponderada) 8 anos de utilização do sistema.

Na **questão 4**, dos 36 projetistas, 30 projetistas responderam já estarem adaptados ao uso do sistema CAD e todos eles acharam importante continuarem a aprender novas ferramentas. Neste quesito, os dados obtidos sugerem que com o passar dos anos, e com a pouca variabilidade nas tarefas desempenhadas, há uma especialização no uso dos recursos de um sistema CAD. Isto faz com que fique alguns recursos pouco utilizados ou mesmo inexplorados.

Na **questão 5**, dos 36 projetistas, 10 responderam nunca ter utilizado ou criado um modelo paramétrico enquanto que 17 responderam já terem utilizado algum modelo paramétrico criado por outra pessoa mas foram mal sucedidos em sua aplicação para criação de uma nova peça. Dos 36 projetistas, apenas 3 responderam que já criaram modelos paramétricos e 6 responderam que nunca criaram mas já utilizaram de forma bem sucedida modelos criados por outras pessoas. Neste quesito, os dados obtidos sugerem que mais de 70% destes projetistas já têm algum tipo de experiência com o uso de técnicas de parametrização. Entretanto apenas 25% já criaram e/ou utilizaram modelos paramétricos com sucesso.

Na **questão 6**, dos 36 projetistas, 15 projetistas apontaram como a principal dificuldade para o uso de recursos de parametrização nos projetos ou pelo menos em parte deles, a complexidade dos mesmos. Dos 36 projetistas, 9 apontaram como a maior dificuldade a falta de conhecimento dos recursos de parametrização, 7 disseram ser o tempo disponível de projeto e apenas 5 disseram ser a diferença entre um projeto e outro. Neste quesito, os dados obtidos sugerem que a complexidade do projeto e um baixo nível de reutilização dos mesmos são os principais fatores que impedem o uso das técnicas de parametrização com mais frequência. Estes dois fatores somados à falta de conhecimentos sobre o uso destes recursos formam um ciclo vicioso que leva a subutilização do sistema CAD.

## 4.2. Considerações Finais

Neste artigo apresentamos um estudo sobre como aspectos da formação e experiência de trabalho de um grupo de projetistas está relacionada com nível de utilização de recursos paramétricos no processo de projeto de peças mecânicas.

Os aspectos relativos aos usos mais comuns bem como as vantagens e dificuldades encontradas com o uso destes recursos foram identificados por meio de exemplos e verificamos que durante o processo de criação de esboços os projetistas têm que resolver vários problemas de construções geométricas. Alguns deles envolvem múltiplas condições de tangências, paralelismos e perpendicularidades. Há ainda os problemas que surgem devido a própria natureza dos métodos paramétricos - a suficiência e redundância nos conjuntos de restrições aplicados aos esboços criados. Estes problemas na maioria das vezes não estão relacionados com o problema real que está sendo resolvido no processo de projeto. Portanto, não devem consumir tempo de trabalho significativo.

O uso de recursos de parametrização exige dos projetistas grande senso de organização, principalmente nos projetos mais complexos. Esta organização está diretamente associada a experiência no uso destes recursos. Uma vez que não existe maneira única ou a "melhor" maneira de se definir parâmetros para um modelo, é tarefa do usuário torná-lo o mais prático e funcional possível para que possam ser facilmente modificados e/ou reaproveitados.

Especificamente, quanto aos aspectos da formação e experiência dos projetistas os dados obtidos no questionário sugerem que a "utilização produtiva" dos recursos de parametrização dependem de um tempo médio de formação e experiência superiores a 5 anos. Abaixo deste nível de formação e experiência, os recursos de parametrização disponíveis nos sistemas CAD são poucos ou subutilizados. A não observância desta condição faz com que o investimento na aquisição deste tipo de sistema seja ainda mais dispendioso uma vez que este não trará o retorno no tempo desejado pela empresa.

Ao fazer os exemplos 2 e 3 pudemos verificar que é um processo que demanda tempo e investimento e, de certo modo, porque apesar de projetarem a muito tempo, a maioria dos profissionais não domina os recursos de parametrização que o sistema CAD oferece. Em geral, nota-se que a ênfase do trabalho do projetista está no resultado final e não no processo. Talvez por isso, muitas empresas não estão dispostas a capacitar um profissional produtivo e dedicá-lo a criação de modelos paramétricos custosos, mesmo sabendo que se bem sucedido trará retorno compatível.

## Referências

- AKMAN Varol; HAGEN, Paul J.W. Ten. Fundamental and theoretical framework for an intelligent cad system. **Computer Aided Design**, v. 22, n. 3, p. 352–367, 1990.
- ALDEFELD, B. Variation of geometric based on a geometric-reasoning method. **Computer Aided Design**, v. 20, n. 3, p. 117–126, 1988.
- HAGEN, Paul J.W. Ten; TOMIYAMA, Tetsuo. **Intelligent CAD Systems I**. Berlim: Springer Verlag, 1987.
- HORGAN, J. "Eda and plm: product lifecycle management?". EDACafe.com Contributing Editor, Recuperado em 12/04/2012, 2012.
- MÄNTYLÄ, Martii. **An introduction to solid modeling**. New York: Computer Science Press, 1988.

Um Estudo sobre a Aplicação de Parametrização no Projeto de Peças Mecânicas

PERES Mauro.; VELASCO, Angela Dias. A parametrização e a engenharia. In: UFPR. **VII Conference on Graphics Engineering for Arts and Design**. Curitiba, 2007.

SHAH Jami; MÄNTYLÄ, Martii. **Parametric and Feature-Based Cad/Cam**: Concepts, Techniques, and Applications. New York: John Willey and Sons, 1995.

SUTHERLAND, Ivan. **Sketchpad**: A man-machine graphical communication system. London: Technical Report Number 574 - University of Cambridge, 2003.