

VICTOR SANTOS MELLO

Utilização das ferramentas iLogic e iPart do Autodesk Inventor na confecção de conjuntos mecânicos

Guaratinguetá - SP
2017

Victor Santos Mello

Utilização das ferramentas iLogic e iPart do Autodesk Inventor na confecção de conjuntos mecânicos

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Noturno da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Erick Siqueira Guidi

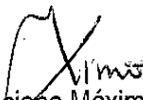
Guaratinguetá - SP
2017

M527u Mello, Victor Santos
Utilização das ferramentas iLogic e iPart do Autodesk Inventor na
confeção de conjuntos mecânicos / Victor Santos Mello – Guaratinguetá,
2017.
64 f : il.
Bibliografia: f. 64

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.
Orientador: Prof. Dr. Erick Siqueira Guidi

1. Simulação (Computadores). 2. Software. 3. Elevadores. I. Título.

CDU 62.001.63


Luciana Máximo

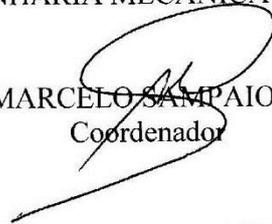
Bibliotecária/CRB-8 3595

VICTOR SANTOS MELLO

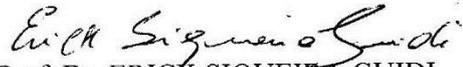
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

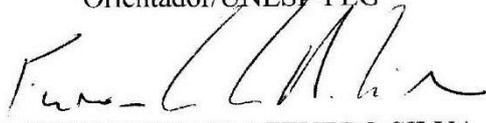
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador



BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. ERICK SIQUEIRA GUIDI
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. FERNANDO DE AZEVEDO SILVA
UNESP-FEG


Prof. Dr. VICTOR ORLANDO GAMARRA ROSADO
UNESP-FEG

Dezembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, por todo apoio, incentivo e paciência durante esse longo processo de formação.

a república em que morei todos esses anos, a grandiosa WCKzona, onde passei pelos melhores momentos de minha vida, conheci uma variedade enorme de pessoas que me fizeram crescer e desenvolver meu caráter até o presente momento.

ao meu orientador, Prof. Dr. *Erick Siqueira Guidi*, pelo auxílio e apoio nesta última etapa da graduação.

a todos os funcionários desta renomada faculdade que garantem o seu funcionamento e qualidade.

RESUMO

Neste trabalho é demonstrada de forma didática a utilização de algumas ferramentas específicas do *software* de modelagem 3D, Autodesk Inventor 2018. Utilizou-se o iPart e o iLogic para realização de customização e alterações no projeto de estudo de caso mostrando como estes recursos podem agilizar e facilitar mudanças e melhorias em projetos mecânicos, aplicando também recursos de simulação, no caso, análise de tensão visando buscar melhorias e análises estruturais. Deste modo, o Elevador Transportador foi modelado, utilizando-se estas ferramentas para se alterar dimensões, material e peças do equipamento, podendo assim gerar variados modelos rapidamente que foram então submetidos a processo de análise de tensão por meio do recurso de simulação para obtenção de melhorias.

PALAVRAS CHAVE: Parametrização. iLogic. iPart. Inventor.

ABSTRACT

This work demonstrates in a didactic way the use of some specific software 3D modeling tools from Autodesk Inventor 2018. IPart and iLogic were used to perform customization and changes in the case study project, showing how these resources can streamline and facilitate changes and improvements in mechanical designs, also applying simulation resources, in this case, stress analysis in order to seek improvements and structural analysis. In this way, the Conveyor Lift was modeled using these tools to change dimensions, material and equipment parts, thus being able to generate various models quickly that were then submitted to a stress analysis process through the simulation feature to obtain improvements.

KEYWORDS: Parametrization. iLogic. iPart. Inventor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Nomeação de parâmetros.....	24
Figura 2 - Modificação de parâmetros.....	25
Figura 3 - Criação iPart	26
Figura 4 - Adicionar/Retirar Parâmetros	26
Figura 5 - Adicionando peças similares	27
Figura 6 - Nomenclatura Padrão.....	27
Figura 7 - iPart Criado	28
Figura 8 - Inserindo iPart.....	29
Figura 9 - iPart com parâmetro editável	29
Figura 10 - Gerando planilha de membros no Excel.....	30
Figura 11 - Planilha conectada ao iPart.....	31
Figura 12 - iPart atualizado via planilha do Excel.....	31
Figura 13 - Criar iAssembly.....	32
Figura 14 - Habilitando iLogic	33
Figura 15 - Criação de Formas	34
Figura 16 - Criação de Regras	35
Figura 17 - Escolha de eventos.....	36
Figura 18 - Elevador Transportador	37
Figura 19 - Processo de construção e aplicação do modelo parametrizado	37
Figura 20 - Processo de desenvolvimento do modelo e parametrização.....	38
Figura 21 - Peças estrutura principal 1	39
Figura 22 - Peças estrutura principal 2	39
Figura 23 - Peças estrutura principal 3	40
Figura 24 - iAssembly peça 1	40
Figura 25 - iAssembly peça 2	41
Figura 26 - iAssembly Utilizados.....	41
Figura 27 - Parafusos - iPart.....	41
Figura 28 - Porca – iPart.....	42
Figura 29 - Estrutura principal.....	42
Figura 30 - Sarilho para 250 Kg.....	43
Figura 31 - Peças Sarilho 1.....	44

Figura 32 - Peças Sarilho 2.....	44
Figura 33 - Peças Sarilho 3.....	45
Figura 34 - Montagem Sarilho.....	45
Figura 35 - Peças do Rodízio Giratório.....	46
Figura 36 - Rodízio Giratório.....	47
Figura 37 - Elevador Transportador.....	48
Figura 38 - Regra “Cadastro”.....	49
Figura 39 - Regra “Barras de Reforço”.....	50
Figura 40 - Regra “Argolas de Fixação”.....	50
Figura 41 - Regra “Estrutura Principal”.....	51
Figura 42 - Regra “Apresentação”.....	51
Figura 43 - Regra “Material da Montagem”.....	52
Figura 44 - Regra “Simulação”.....	53
Figura 45 - Formulário de “Cadastro”.....	53
Figura 46 - Formulários de “Customização”.....	54
Figura 47 - Formulário de “Simulação”.....	55
Figura 48 - Tipo de Simulação.....	56
Figura 49 - Especificações do Modelo A.....	57
Figura 50 - Especificações do Modelo B.....	58
Figura 51 - Especificações do Modelo C.....	59
Figura 52 - Análise de Deslocamento.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades dos Materiais.....	55
Tabela 2 – Resultados do processo de simulação dos modelos	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
CAE	Computer Aided Engineering
CAD	Computer Aided Drafting
FEA	Finite Element Analysis
MEF	Método dos Elementos Finitos
FEM	Finite Element Method
NEM	Numerical Element Method
APDL	Ansys Parametric Designer Language
VB	Visual Basic
2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
CSG	Constructive Solid Geometry
B-REP	Boundary Representation

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	OBJETIVOS	13
1.3	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	SOFTWARE DE MODELAGEM 3D	15
2.2	AUTODESK INVENTOR	16
2.3	PARAMETRIZAÇÃO (Manual do Fabricante).....	17
2.4	FERRAMENTA – IPART (Manual do Fabricante).....	17
2.4.1	Informações de um ipart	18
2.4.2	Planilhas de cálculos e tabelas	18
2.4.3	Iparts padrão e personalizadas	18
2.5	FERRAMENTA - iAssembly (Manual do Fabricante).....	19
2.5.1	Informações de um iassembly	19
2.6	FERRAMENTA – ILOGIC (Manual do Fabricante).....	20
2.6.1	Funções	20
2.6.2	Funções de automação	20
2.6.3	Parâmetros	21
2.6.4	Parâmetros com vários valores	21
2.7	RECURSO DE SIMULAÇÃO.....	21
2.7.1	Método dos elementos finitos (mef)	21
2.7.2	Análise de tensão (manual do fabricante)	22
3	METODOLOGIA	24
3.1	CRIAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO IPART	24
3.1.1	Criação	24
3.1.2	Utilização	28
3.1.3	Ipart conectado a planilha do excel	30
3.1.4	Criação iassembly	31
3.2	HABILITAR E UTILIZAR ILOGIC	32
3.2.1	Habilitando ilogic	32

3.2.1	Formas e formas globais	33
3.2.2	Regras e regras externas	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	MODELAGEM DO ESTUDO DE CASO.....	38
4.1.1	Estrutura principal.....	38
4.1.2	Sarilho.....	43
4.1.3	Rodizio giratório	46
4.1.4	Modelo do elevador transportador completo.....	47
4.2	PARAMETRIZAÇÃO COM ILOGIC.....	48
4.3	SIMULAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	55
4.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	61
5	CONCLUSÕES	62
5.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Programas de modelagem 3D estão cada vez mais tomando espaço no mundo da engenharia, estes programas ficam a cada ano mais robustos aumentando assim sua gama de utilização.

Ao se utilizar este recurso de forma correta, é possível agilizar muito processos de desenvolvimento e melhoria de quaisquer tipos de equipamentos, dos mais simples aos mais robustos.

Assim, conhecer bem as ferramentas de modelagem 3D e seus recursos é de grande ajuda na área de projetos da engenharia, assim, no presente trabalho é demonstrado de forma didática um recurso que se bem aplicado, agiliza bastante o processo de desenvolvimento, melhoria, customização e simulação de peças/conjunto mecânicos.

A ferramenta de modelagem utilizada é o Autodesk Inventor 2018, cujo foco é a modelagem de peças/conjuntos mecânicos. Este *software* foi escolhido entre os demais devido a existência de uma versão educacional gratuita, que facilita a obtenção e aprendizagem do mesmo.

O Autodesk Inventor 2018 possui vários recursos que ajudam na criação de conjuntos mecânicos, neste caso, iremos demonstrar 2 deles, o iPart e o iLogic que facilitam padronizar e automatizar processos de projeto.

Com relação ao método de cálculo estrutural por meio de elementos finitos, este é compatível e bastante útil para a análise de qualquer tipo estruturas. Dentre os possíveis *softwares* destaca-se o ANSYS, que possui vários modos de análise, e para o qual já existem ferramentas paramétricas desenvolvidas, como apresentado por GRANDO (2012) e ALMEIDA (2015) em seus trabalhos acadêmicos.

Contudo, este *software* possui alto custo de aquisição e manutenção, além de não tem uma boa interface com outros *softwares*, para a importação de modelos 3D, e um método de parametrização estável, o qual utiliza uma linguagem de programação específica denominada *Ansys Parametric Designer Language* (APDL) que dificulta a correção e a criação de novos programas para a parametrização de modelos por um usuário que não tenha um treinamento específico, assim sendo, são necessárias alternativas mais viáveis para a aplicação industrial, dentre as quais se destaca o software Autodesk Inventor.

Utilizando o Autodesk Inventor 2018, é possível realizar a parametrização através de interfaces simples, que podem ser acessadas por meio dos menus principais e utilizadas de forma eficiente, como demonstrado por HERCOS (2015), porém outras maneiras possíveis são através do link com planilhas eletrônicas externas, como o Microsoft Excel, para fornecer os dados de entrada ao programa, e através do uso da linguagem de programação Visual Basic (VB), que foi amplamente difundida em programas da Microsoft.

1.2 OBJETIVOS

Demonstrar de maneira objetiva e didática a utilização das ferramentas iLogic e iPart, do Autodesk Inventor, na confecção de conjuntos mecânicos de maneira parametrizada.

Utilizar ambiente de simulação combinado com estes recursos para encontrar possíveis melhorias de projeto.

Elaborar um tutorial descritivo do conjunto modelado para servir de referência.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Este trabalho é relevante para o meio acadêmico e para a sociedade, pois apresenta processos para desenvolvimento de equipamentos mecânicos por meio de um *software* onde são aplicadas várias disciplinas. Tal exposição pode incentivar no meio acadêmico e na sociedade, docentes, discentes e interessados em desenvolverem estudos avançados parametrização com o *software* Autodesk Inventor, para aplicar em variados projetos de componentes ou equipamentos incentivando inovações, soluções e melhorias na área de engenharia, o que seria uma oportunidade de aproximação da universidade com os centros de desenvolvimento de tecnologia das empresas ou a oportunidade de um profissional se aperfeiçoar e transmitir às empresas este conhecimento.

Os estudos envolvendo os equipamentos mecânicos são muito importantes para garantir a eficiência na operação em diversas áreas. Este processo pode se tornar ainda mais complexo em projetos com muitos equipamentos diferentes, pois neste caso são necessários um grande volume de recursos, com um custo relativamente grande, para atender esta demanda de trabalho no tempo previsto e requerido pela equipe de planejamento.

Diante de situações como esta, para empresas de projeto e fabricação, a utilização de ferramentas para otimizar o processo de desenvolvimento dos equipamentos, como os modelos paramétricos e o cálculo estrutural por simulação utilizando o método dos elementos

finitos, representam uma estratégia robusta para garantir a participação de forma competitiva e segura no mercado. Estes modelos paramétricos otimizam a modelagem dos equipamentos, facilitam os estudos de montagem e operação e são a base para os cálculos estruturais, além de gerar de forma automática os desenhos de fabricação que ficam ligadas ao modelo permitindo a atualização global do projeto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A organização deste trabalho foi realizada em cinco capítulos:

Capítulo 1: Apresenta uma introdução ao tema proposto com a abordagem das características das ferramentas iLogic e iPart e sua importância, além disso expõe os objetivos da pesquisa, as justificativas sobre a relevância do tema selecionado para o trabalho.

Capítulo 2: Traz uma revisão bibliográfica com as técnicas apresentadas em livros, publicações técnicas e sites relacionadas a parametrização e funcionalidades do iLogic e iPart no processo de modelagem de equipamentos.

Capítulo 3: É mostrado de forma didática como podem ser criados e utilizados componentes utilizando a ferramenta iPart e iLogic

Capítulo 4: Ferramentas são aplicadas ao projeto do estudo de caso para gerar modificações e criar simulações no equipamento de modo a analisar efetivamente estes recursos.

Capítulo 5: Apresentadas as conclusões do autor, baseadas nos resultados obtidos no capítulo 4, assim como sugestões para uma possível continuidade de estudo sobre o tema da pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOFTWARE DE MODELAGEM 3D

O uso de *softwares* para ajudar a desenvolver projetos de engenharia não é novidade. Afinal, já no começo da década de 50 começaram a surgir protótipos e máquinas para auxiliar no desenvolvimento de projetos relacionados a redes elétricas.

Não demorou muito para estas máquinas e, mais tarde, *softwares* começarem a ser chamados de CAD, do termo em inglês *Computer-aided design* (desenho auxiliado por computador). O homem creditado por esse termo foi o cientista da computação Douglas Taylor Ross, que, na época viu, o quão importante poderia se tornar o uso destas ferramentas.

Vários estudos já foram realizados sobre aspectos da modelagem CAD-3D. SPECK (2005) relata que o primeiro sistema de Computação Gráfica, denominado Sketchpad, foi desenvolvido no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) em 1963. Para BOGADO (1997), até o início dos anos 80, a Computação Gráfica era um campo pequeno e especializado, principalmente devido ao alto custo dos equipamentos e da escassez de programas gráficos fáceis de utilizar e com preços acessíveis.

Em 1982, surgiu o AutoCAD, um sistema 2D que trazia na sua concepção os princípios dos desenhos realizados em pranchetas. Apesar de sua popularidade, este sistema apresentava limitações e não atendia convenientemente as necessidades dos projetistas. Os sistemas de CAD-3D surgiram para atender de forma mais adequada estas necessidades. Eles podem ser classificados pelo tipo de representação dos modelos tridimensionais em *wireframe*, superfície e sólido. Existem ainda os modelos híbridos que possuem características tanto dos modelos sólidos como dos por superfície.

A modelagem por *wireframe* (armação em arame) se baseia na união de linhas entre pontos no espaço 3D, criando modelos espaciais. Não há superfícies em um modelo *wireframe*, só vértices, linhas, retas e curvas que representam as arestas de um objeto 3D. Este tipo de modelagem utiliza menos processamento do que as outras, porém, segundo CHANG (2005), não é completa e livre de ambiguidades, nem é possível a determinação de seções, volume ou massa do objeto a partir do modelo. Os modeladores *wireframe* foram os primeiros que surgiram, porém, hoje não são mais utilizados, dando lugar aos outros dois.

A modelagem por superfícies é indicada quando o modelo possui curvas complexas ou superfícies livres. ZEID (2005) confirma sua aplicação para a representação de objetos com geometrias complexas, pois desta forma, pode-se descrever o objeto mais precisamente. Para ALVES (2002), uma superfície pode ser definida como um elemento matemático que separa o

interior do exterior de um objeto. Os objetos tridimensionais gerados pela técnica de modelos de superfície diferem dos modelos por *wireframe*, por usarem superfícies tridimensionais, definindo um volume ou contorno de um objeto.

A modelagem por sólidos é realizada a partir de formas simples bidimensionais como polígonos, círculos ou a combinação destes. Dependendo da geometria desejada, o sólido pode ser gerado fazendo-se a forma bidimensional percorrer uma trajetória ou ainda pela conexão de duas ou mais destas formas, desenhadas em planos diferentes. Para a modelagem de sólidos mais complexos, é possível a utilização de comandos baseados em operações booleanas como união, subtração e interseção. A modelagem sólida não armazena só a geometria do objeto final, mas também todas as formas primitivas e operações usadas para a sua construção. ZEID (2005) define um modelo sólido como uma representação completa, única e livre de ambiguidades.

Existem vários métodos de modelagem sólida, sendo que os principais são: CSG (*Constructive Solid Geometry*), B-Rep (*Boundary Representation*), híbrida, por *Features* e Paramétrica. A maioria dos sistemas de CAD-3D atuais incorporaram em seus núcleos os métodos de modelagem por *features* e paramétrica. As *Features* (características) podem ser definidas como elementos físicos das peças que tem algum significado para a engenharia. Segundo SPECK (2005), a modelagem sólida paramétrica permite a geração de modelos com dimensões vinculadas a variáveis, permitindo a regeneração automática do modelo após cada modificação.

Hoje em dia, tanto a Dassault Systems quanto a Autodesk são líderes no desenvolvimento de *softwares* CAD entre outros ramos, sendo que para a maioria dos *softwares* desenvolvidos são criadas novas versões anualmente, com várias adições muito interessantes para o desenvolvimento de projetos 3D.

Neste trabalho utilizaremos o Autodesk Inventor que surgiu em 1999 e hoje a sua versão mais atual é o inventor 2018, que possui uma série de funcionalidades, dentre elas, discutiremos o iLogic e iPart mais detalhadamente nos próximos tópicos.

2.2 AUTODESK INVENTOR

Segundo WAGUESPACK (2013), o *software* Autodesk Inventor é aplicado em projetos de engenharia e para tal possui diversos recursos, que auxiliam na modelagem, análise estrutural e detalhamento de conjuntos e seus componentes, através de uma interface simples e com comandos de fácil acesso para auxiliar o usuário durante o desenvolvimento do projeto. Dentre suas principais funcionalidades está a modelagem em 3D, por meio da qual é possível projetar componentes, montar conjuntos e verificar as interferências entre componentes, mas

com esta mesma ferramenta é possível inserir restrições e regras, analisar a estrutura através do método dos elementos finitos e gerar os desenhos de detalhes em 2D.

A integração de várias ferramentas em um único *software* otimiza o projeto, pois reduz os custos e os riscos de problemas técnicos, o que foi apresentado por HERCOS (2015). Além disso, todas as ferramentas são interligadas e qualquer alteração realizada no modelo 3D, automaticamente atualiza os desenhos 2D, o que gera economia de tempo comparado ao projeto que utiliza vários *softwares* específicos.

2.3 PARAMETRIZAÇÃO (Manual do Fabricante)

A parametrização com o objetivo de possibilitar a automatização e padronização de projetos similares gerando uma redução no tempo e custo destes projetos. Uma destas ferramentas é o iLogic que utiliza a programação em Visual Basic (VB) com uma interface simples e funções pré-definidas, para construir modelos paramétricos.

A parametrização de um componente ou conjunto neste *software* pode ser realizada de três maneiras, as quais têm acesso facilitado através da interface do *software*, sendo estas por meio da ferramenta de parâmetros, de planilhas eletrônicas externas associadas ao modelo 3D e da ferramenta iLogic. Cabe destacar que este *software* cria, de forma automática, para cada dimensão inserida, um parâmetro que pode ser visualizado e modificado, diretamente ou indiretamente, o que agiliza o processo de desenvolvimento do paramétrico.

O uso da parametrização para modelos complexos requer o uso de uma ferramenta robusta para atender a demanda de complexidade, por este motivo alguns testes e pesquisas bibliográficas podem auxiliar na tomada de decisão sobre qual a ferramenta mais indicada. Algumas ferramentas disponíveis no *software* Autodesk Inventor 2018 são apresentadas a seguir com o objetivo de discutir brevemente suas características para a aplicação em projeto de engenharia.

2.4 FERRAMENTA – IPART (Manual do Fabricante)

Uma iPart é um projeto que está disponível em diferentes tamanhos ou com outras variáveis.

Ao se utilizar repetidamente alguma peça em montagem ou algo do tipo, é interessante cria-los como iPart, assim, é possível criar variações automaticamente se necessário, selecionando-as a partir de uma tabela, chamadas de membros.

O trabalho com iPart consta de duas fases: a criação da peça e o posicionamento da peça.

- Durante a criação da peça, ao projetar a peça e define-se todas as variações dela.
- Determinar a parte do projeto que será alterada com cada membro.
- Renomear parâmetros, estabelecendo equações e criando parâmetros de usuário.
- Utilizar o comando “Criar iPart” para definir linhas de tabela que representem versões (membros). Especifique, entre outros itens, as variações dos parâmetros, das propriedades e das informações de rosca da peça.

2.4.1 Informações de um ipart

- Parâmetros. Pode-se renomear parâmetros, estabelecer equações entre parâmetros e criar parâmetros do usuário.
- Propriedades. Incluir informações como número da peça, número de estoque e material. A lista de materiais e a lista de peças são mantidas atualizadas de forma automática.
- Operações de trabalho. Incluir ou excluir operações de trabalho.

2.4.2 Planilhas de cálculos e tabelas

Para definir membros individuais, deve-se especificar valores na tabela “Criar iPart”. É possível adicionar ou editar os membros em uma planilha do Microsoft Excel inserida. Para iPart padrão, cada linha da tabela representa um membro da iPart.

Se não for especificada uma unidade de medida em uma célula da tabela, as unidades padrão do documento serão utilizadas.

2.4.3 Iparts padrão e personalizadas

É possível criar dois tipos de família de iPart: padrão e personalizada.

As famílias de iPart padrão definem todos os valores em colunas. Quando usar uma iPart usando uma família de iPart padrão, não dá para editar os membros nem os valores após o posicionamento.

As famílias de iPart personalizadas contêm pelo menos uma coluna identificada como uma coluna de parâmetros personalizados. É possível modificar os parâmetros personalizados no membro de iPart ao inseri-lo. As colunas de membros de iPart personalizadas aparecem com um fundo azul.

2.5 FERRAMENTA - iAssembly (Manual do Fabricante)

Um iAssembly é uma configuração, um modelo com algumas ou muitas variações que se denominam membros. Cada membro tem um conjunto de identificadores únicos, como diâmetro ou comprimento. Para se criar um iAssembly primeiro é necessário se criar um iPart.

É possível gerenciar os iAssemblies a partir de uma tabela. Em uma montagem, é possível substituir um membro por outro da mesma família selecionando uma linha diferente da tabela. A lista de materiais e a lista de peças são atualizadas automaticamente quando são editados os membros.

Os componentes selecionados em uma tabela de iAssembly são realçados na área do desenho, mesmo que estejam suprimidos ou definidos como invisíveis.

2.5.1 Informações de um iassembly

- Exclusão de componente
- Substituir componente por tabela (agrupamento)
- Status de fixado ou não fixado
- Status adaptativo ou flexível
- Valores de relação
- Exclusão da relação
- Valor de parâmetro (incluindo parâmetros de operação na montagem)
- Valores de iProperty
- Exclusão da operação na montagem
- Estrutura de lista de materiais (padrão ou de referência)
- Quantidade da lista de materiais
- Número de peça

2.6 FERRAMENTA – ILOGIC (Manual do Fabricante)

iLogic permite projetos dirigidos por regras e formulários criados através da linguagem VBA conhecida por seu vasto uso no *software* EXCEL, fornecendo um jeito simples de capturar e reutilizar seu trabalho, sendo possível padronizar e automatizar processos de projeto.

2.6.1 Funções

iLogic incorpora normas diretamente na peça, montagem e documentos de desenho. As regras determinam e conduzem os valores de parâmetros e atributos para o projeto. Ao controlar estes valores, é possível definir o comportamento dos atributos, das operações e componentes de um modelo. O conhecimento é salvo e armazenado diretamente nos documentos, como os elementos de projeto geométrico são armazenados.

As regras do iLogic podem utilizar tipos de parâmetros personalizados disponíveis no Inventor, como texto, verdadeiro/falso e listas com vários valores. É possível utilizar estes tipos de parâmetros para gravar regras que envolvem mais do que valores de entrada numérica.

A caixa de diálogo Parâmetros do Inventor oferece suporte a estes parâmetros especializados, com funções de filtragem avançada para auxiliar na definição de entrada, no gerenciamento e na edição de parâmetros.

2.6.2 Funções de automação

Pode-se implementar funções de automação do iLogic com pouca ou nenhuma experiência em programação usando funções de automação para:

- Pesquisar por e alterar configurações de iPart ou automaticamente com base em declarações condicionais definidas nas regras no nível de montagem.
- Ativar operações de montagem e peças ou componentes de montagem e restrições de regras utilizando argumentos condicionais.
- Atualizar e guiar especificações de rosca automaticamente quando uma alteração ocorre em um tamanho de furo ou em uma haste.

- Ler, gravar e reagir ao material ou propriedades de cor de documentos de projeto, a massa ou volume de peças e parâmetros de projeto.
- Atualizar informações de Lista de Material quando o modelo altera o resultado em uma nova configuração.
- Ler e gravar para documentos da planilha do Excel.

2.6.3 Parâmetros

Além dos parâmetros padrão, é possível criar e editar parâmetros de texto e verdadeiro/falso em um modelo do Inventor. Parâmetros de texto são sequências que consistem em caracteres de texto e parâmetros de verdadeiro/falso de um valor booleano de qualquer Verdadeiro ou Falso. Os dois tipos de parâmetro podem ser utilizados em regras para conduzir os parâmetros do Inventor ou qualquer outro recurso que possa ser regido por regras.

Parâmetros de *string* (texto) podem ser atribuídos ao Inventor iProperties do tipo Texto. Parâmetros booleanos (verdadeiro/falso) podem ser atribuídos ao Inventor iProperties do tipo Sim ou Não.

2.6.4 Parâmetros com vários valores

Um parâmetro de múltiplos valores é um parâmetro do Autodesk Inventor com uma lista armazenada de valores possíveis. No entanto, como qualquer outro parâmetro, um parâmetro de múltiplos valores tem sempre um único valor. Ele não está preso automaticamente a um dos valores da lista de múltiplos valores, embora seja possível fazer isso por meio de uma regra iLogic.

2.7 RECURSO DE SIMULAÇÃO

2.7.1 Método dos elementos finitos (mef)

A solução analítica de problemas de engenharia é baseada na aplicação clássica das equações diferenciais, que descrevem o equilíbrio da estrutura, gerando expressões e solução exata, mas aplicáveis a sistemas de geometria simples. Para estruturas de formas complexas a

solução analítica frequentemente se torna impossível, e para a solução do problema são adotadas grandes simplificações resultando em cálculos pouco apurados, ALVES (2003).

O método dos elementos finitos considera a estrutura dividida em partes ou elementos que não são infinitesimais, unidos entre si em pontos nodais, onde se supõem concentradas todas as forças de ligação entre os elementos. O comportamento elástico e mecânico de cada elemento pode ter expressão matemática tão simples quanto à dos elementos infinitesimais da solução clássica.

A composição desses elementos de tamanho finito, para construir a estrutura considerada, dá lugar à um sistema de equações facilmente tratados por via matricial. É aplicável a uma grande faixa de problemas de valores de contorno em engenharia, sendo o método dos elementos finitos um procedimento numérico, é necessário considerar-se a precisão da solução.

2.7.2 Análise de tensão (manual do fabricante)

A análise de tensão ajuda a encontrar as melhores alternativas de projeto para uma peça ou montagem. No início de desenvolvimento do projeto, é possível certificar-se de que um projeto é executado de forma satisfatória no uso esperado sem quebras ou deformações.

Na análise de tensão, há dois tipos de simulações:

A análise estática avalia as condições de carga estrutural.

A análise modal avalia os modos de frequência naturais, incluindo movimentos de corpo rígido.

- Depois de criar uma simulação e definir os parâmetros que deseja avaliar, é possível:
- Cria os casos.
- Realiza a modelagem geométrica.
- Realiza a detecção automática de contatos.
- Gera malhas.
- Soluciona o modelo para cada ponto de dados.
- Avaliar os resultados na região do desenho.

A simulação produz um conjunto de resultados do MEF para todas as combinações de parâmetros que foram definidos.

Operações de montagem e soldagem são suportadas. Quaisquer parâmetros usados para estas operações podem ser incluídos em uma simulação.

O solucionador combina os comportamentos individuais de cada elemento. Ele prognostica o comportamento de todo o sistema físico ao solucionar um conjunto de equações algébricas simultâneas, possibilitando exibir e avaliar os resultados para um possível estudo de modificações e melhorias do processo.

3 METODOLOGIA

3.1 CRIAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO IPART

3.1.1 Criação

Inicialmente antes de se utilizar o iPart, é necessário se tomar alguns cuidados para facilitar seu uso e evitar erros. Para isso é necessário que o usuário já esteja familiarizado com o recurso de parametrização do Inventor, que basicamente consiste em restringir e definir as dimensões (parâmetros) que são importantes ou que serão utilizadas na modificação ou customização automática da peça. Para realizar a parametrização, um recurso básico é amplamente utilizado e suficiente para quase todos os casos, o recurso “Restringir” que possui como funções basicamente colocar limitações e definir cotas. Explicar detalhadamente cada uma das restrições não é o intuito deste trabalho, portanto vamos direto a um ponto importante que agiliza e facilita na criação de um iPart que consiste basicamente em nomear os parâmetros que se deseja modificar/padronizar, é bem simples de se fazer, basta ao momento em que for utilizar o comando cota para definir um valor desejado já adicionar o nome do parâmetro do seguinte modo, diâmetro = “Valor”, como mostrado na Figura 1. Ao fazer isso, este parâmetro criado será automaticamente reconhecido no momento de criação do iPart agilizando o processo. Outro modo de nomear, criar e definir parâmetros é utilizando o recurso “Parâmetros” como também mostrado na Figura 2.

Figura 1 – Nomeação de parâmetros



Figura 1 - Fonte: Próprio Autor

Figura 2 – Modificação de parâmetros

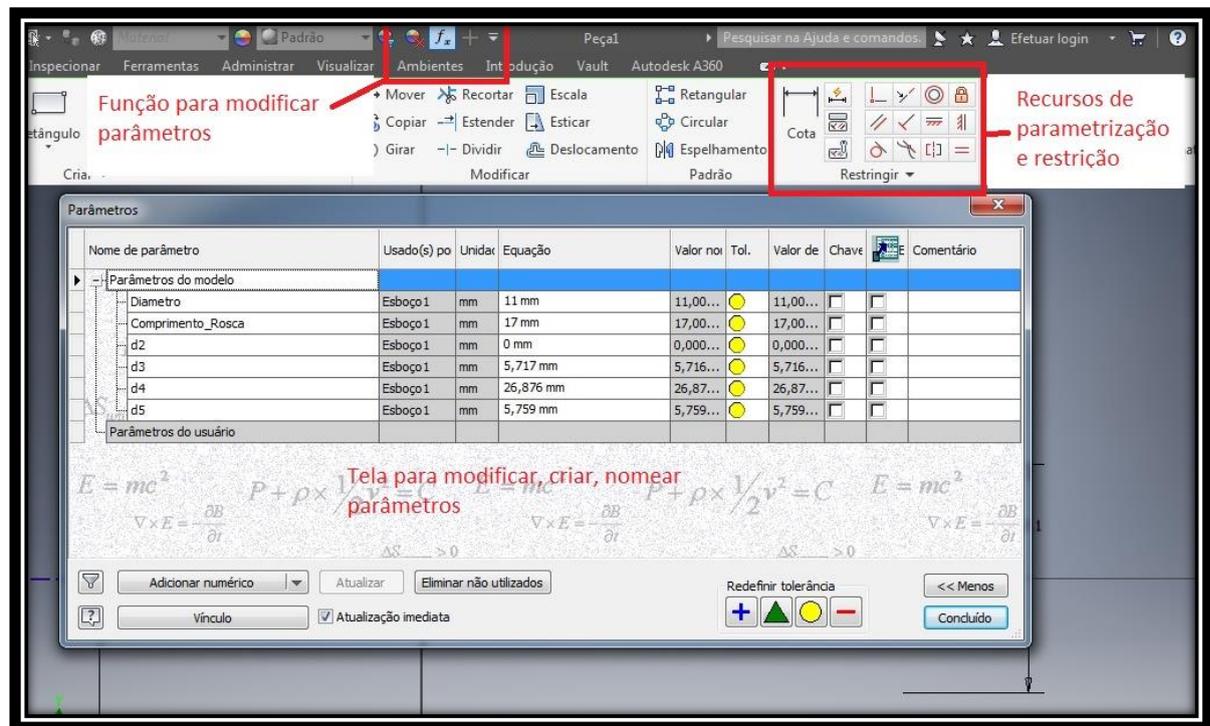


Figura 2 - Fonte: Próprio Autor

Após definidos os parâmetros e criada a peça podemos transformá-la em uma iPart utilizando o comando “Criar iPart” na aba “Administrar” do Inventor.

Assim que clicar no recurso, automaticamente uma tela se abrirá já incluindo os parâmetros nomeados anteriormente no iPart para que possam ser alterados ou reutilizados do modo desejado mostrado na Figura 3. Assim ao nomear os parâmetros na hora da criação da peça, facilita na hora da criação do iPart como já mencionado.

Se o processo de nomeação for ignorado, ao criar o iPart os parâmetros deverão ser adicionados manualmente utilizando-se as abas e árvores de propriedades, selecionando o parâmetro necessário e clicando no símbolo “>>” para que seja adicionado como mostrado na Figura 4. Este recurso pode ser utilizado também caso queira retirar algum parâmetro que não for mais considerado necessário ao selecioná-lo e clicar no “<<” para que saia dos parâmetros do iPart.

Figura 3 – Criação iPart

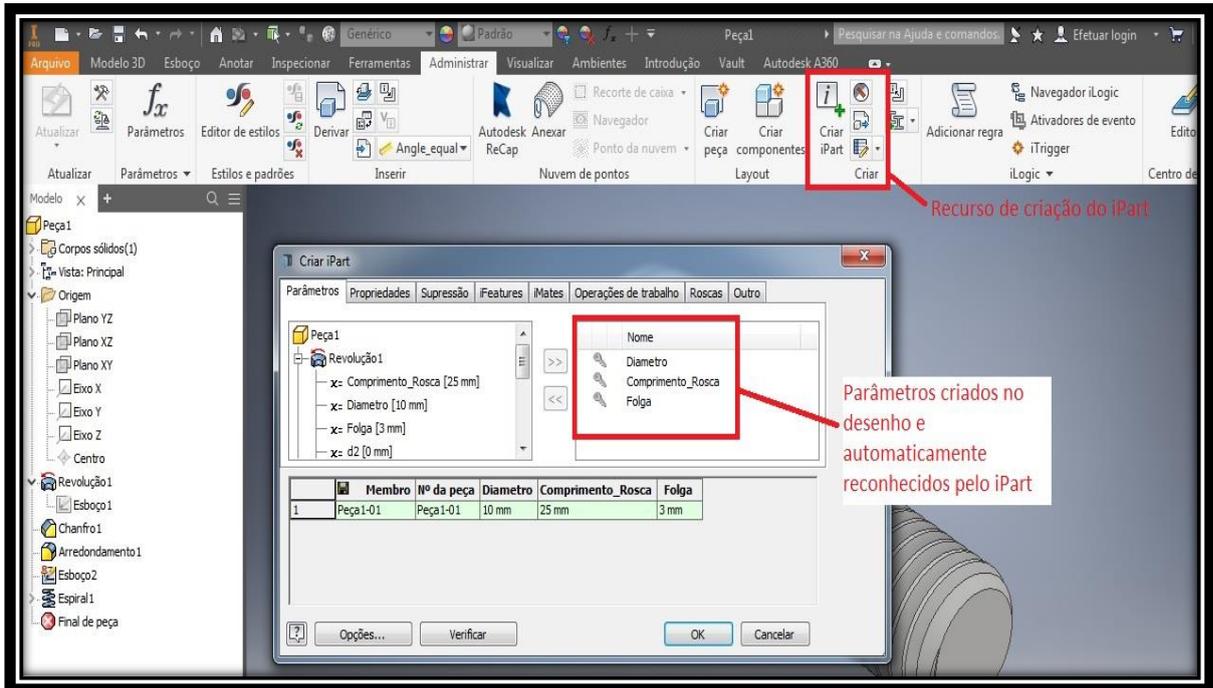


Figura 3 - Fonte: Próprio Autor

Figura 4 – Adicionar/Retirar Parâmetros

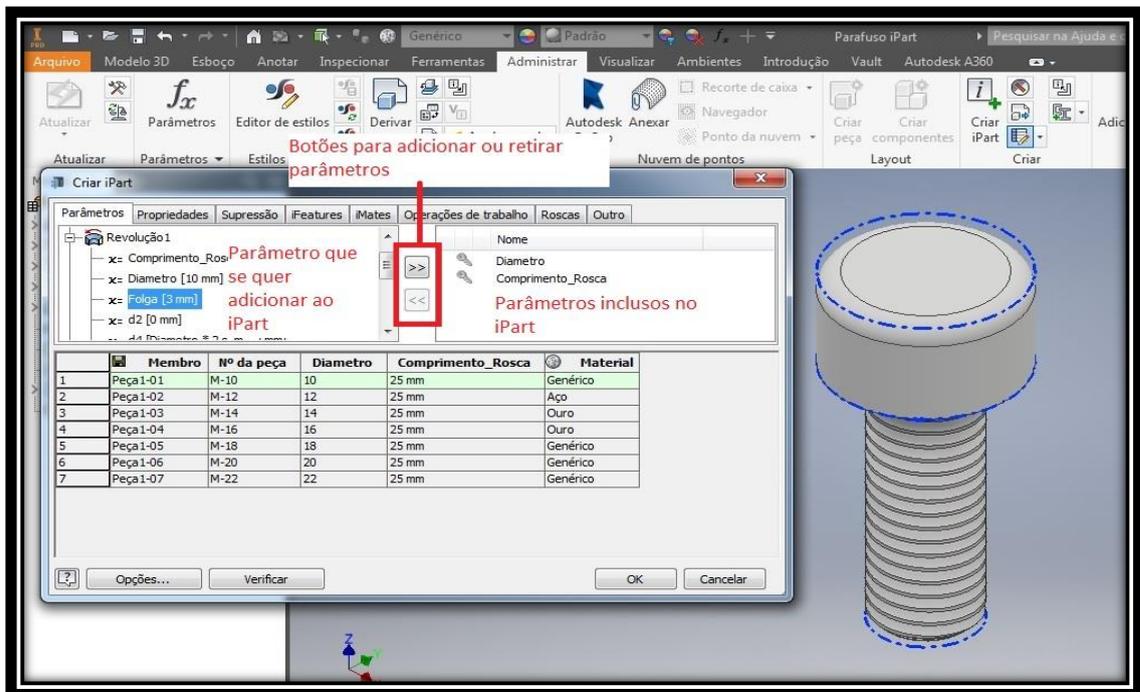


Figura 4 - Fonte: Próprio Autor

Definidos os recursos que se quer no iPart pode-se então criar as variações da peça conforme necessidade, que serão similares a peça criada, possuindo apenas as alterações que

estarão na tabela do iPart. Não é necessário modificar todos os parâmetros de uma peça para outra, apenas o desejado, algumas peças podem ter modificações mais simples como apenas um diâmetro diferente enquanto outras podem sofrer alterações mais bruscas como troca de material ou até mesmo nos processos utilizados na modelagem, como um chanfro, extrusão entre outros.

Para a criação das variações dessas peças como mencionado, basta clicar na primeira coluna da tabela com o botão direito e selecionar “Inserir Linha” (Figura 5), uma nova linha será criada com os mesmo valores da anterior, para alterar valores basta um clique na dimensão desejada que o mesmo será editável.

Os campos “Membros” e “Nº da peça” receberão nomenclatura conforme norma padrão do Inventor, para criar um padrão próprio basta usar o menu opções e configurar corretamente (Figura 6).

Figura 5 – Adicionando peças similares



Figura 5 - Fonte: Próprio Autor

Figura 6 – Nomenclatura Padrão



Figura 6 - Fonte: Próprio Autor

Concluída as definições e alterações das peças, basta clicar em “Ok” que o iPart está criado. Um novo item “Tabela” (Figura 7) surge na árvore de trabalho do Inventor, nela esta inclusa todas as variações das peças criadas, basta um duplo clique na peça selecionada que ela surge na tela de modelagem com as modificações que foram definidas. Aqui também é possível editar o iPart criado se for necessário.

Note que no processo de criação das variações no iPart, não é possível ver como estão ficando tais mudança, isso pode gerar erros ao se colocar valores que geram conflitos na modelagem, como por exemplo, colocar o diâmetro de furo que seria maior que a peça em que ele se encontra. Para evitar tais erros de construção, basta clicar no botão “Verificar” na tela de criação do iPart que o Inventor automaticamente testa todas as variações criadas, este processo pode demora um pouco dependendo da quantidade de variações, mas é muito importante para evitar transtorno na hora da utilização do iPart. A utilização de regras do iLogic também pode evitar o surgimento de defeitos, mas é um recurso mais complexo e será explicado mais à frente.

Figura 7 – iPart Criado

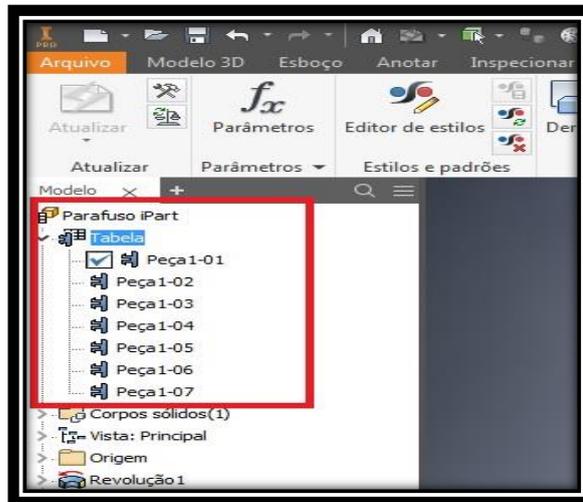


Figura 7 - Fonte: Próprio Autor

3.1.2 Utilização

Para se utilizar o iPart criado é muito simples, basta inserir normalmente o iPart criado e salvo na montagem comum, automaticamente uma janela do iPart surgiu para escolha do membro a ser inserido.

Na janela, dentro da aba “Tabela”, estão todos os membros criados, basta um clique duplo no membro selecionado que o mesmo é gerado, podem ser colocados quantos forem necessários. (Figura 8).

Figura 8 – Inserindo iPart

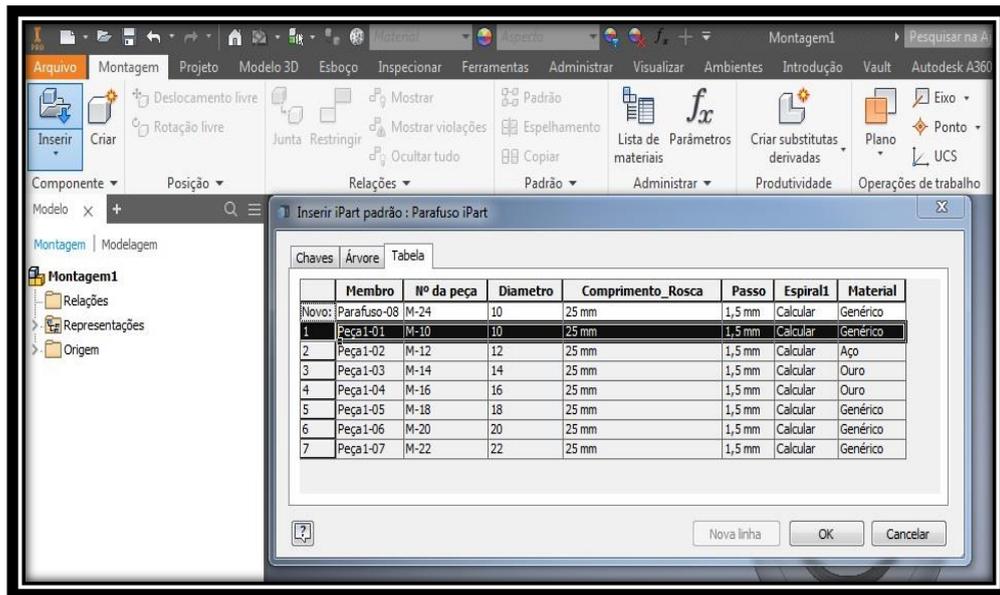


Figura 8 - Fonte: Próprio Autor

Importante ressaltar que neste ponto, não é possível alterar os dados na tabela, para tal seria necessário voltar ao arquivo de criação do iPart para editá-lo.

Para evitar esse trabalho, pode se criar iPart editável, muito útil quando se sabe o formato da peça, mas ainda não se tem certeza de suas dimensões. Para tal, na janela de criação do iPart, clique com o botão direito no parâmetro que quer tornar editável, selecione “Coluna de parâmetro personalizado”, a célula irá mudar de cor, assim quando for utilizar o iPart é possível modifica-lo de forma mais rápida. (Figura 9).

As células editáveis também estarão de outra cor na tabela na hora de inserir o iPart para facilitar sua localização.

Figura 9 – iPart com parâmetro editável

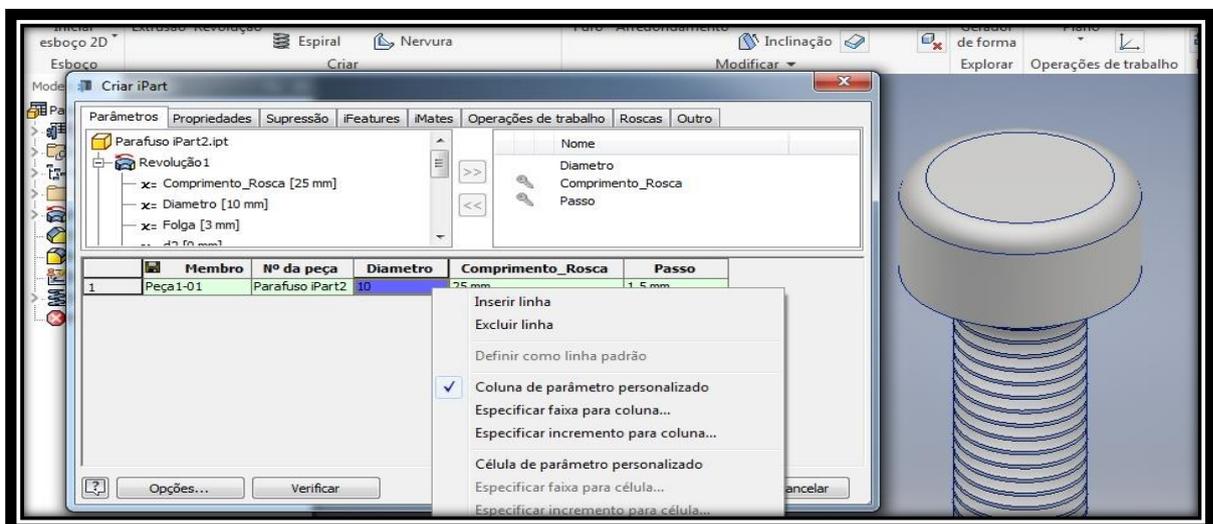


Figura 9 - Fonte: Próprio Autor

3.1.3 Ipart conectado a planilha do excel

Freqüentemente as variações das dimensões de uma certa peça já estão tabeladas ou por fabricantes ou por normas específicas, assim sendo, se torna muito mais fácil e rápido pegar estes dados prontos e utiliza-los diretamente do que criar um iPart manualmente como mostrado anteriormente.

O modo mais indicado para isso é utilizar uma planilha do Excel onde estão todos estes dados tabelados. Para isso, primeiro é necessário criar uma peça com recurso iPart que possui todos os parâmetros da planilha, então utilizar o recurso, “Editar mediante folha de Cálculo”, para encontra-lo basta clicar com botão direito item “Tabela”. (Figura 10)

Figura 10 – Gerando planilha de membros no Excel

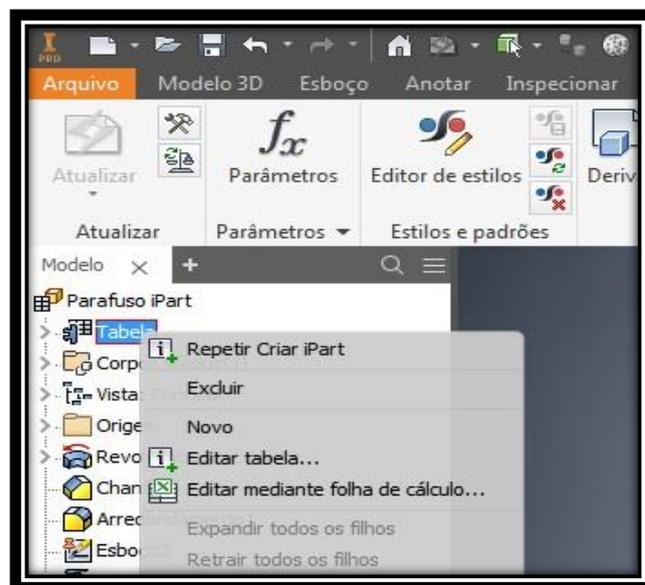


Figura 10 - Fonte: Próprio Autor

Assim que a opção for selecionada, uma planilha do Excel irá se abrir automaticamente com os dados que já estavam no iPart, agora é só pegar os dados tabelados do fabricante por exemplo e copia-los nesta planilha que se abriu (Figura 11), ao fechar a planilha, a tabela do iPart será automaticamente atualizada pelo Inventor com todas as peças e variações. (Figura 12).

Figura 11 – Planilha conectada ao iPart

	A	B	C	D	E	F	G
1	Membro	Part Number [Project]	Diametro	Comprime	Passo	Espiral1	Material [P
2	Peça1-01	M-10	10	25 mm	1,5 mm	Calcular	Borracha
3	Peça1-02	M-12	12	25 mm	1,5 mm	Calcular	Aço
4	Peça1-03	M-14	14	25 mm	1,5 mm	Calcular	Ouro
5	Peça1-04	M-16	16	25 mm	1,5 mm	Calcular	Ouro
6	Peça1-05	M-18	18	25 mm	1,5 mm	Calcular	Genérico
7	Peça1-06	M-20	20	25 mm	1,5 mm	Calcular	Genérico
8	Peça1-07	M-22	22	25 mm	1,5 mm	Calcular	Genérico
9	A	MA	24	25	2	Calcular	Genérico
10	B	MB	26	30	2	Calcular	Genérico
11	C	MC	28	30	2	Calcular	Genérico

Figura 11 - Fonte: Próprio Autor

Figura 12 – iPart atualizada via planilha do Excel

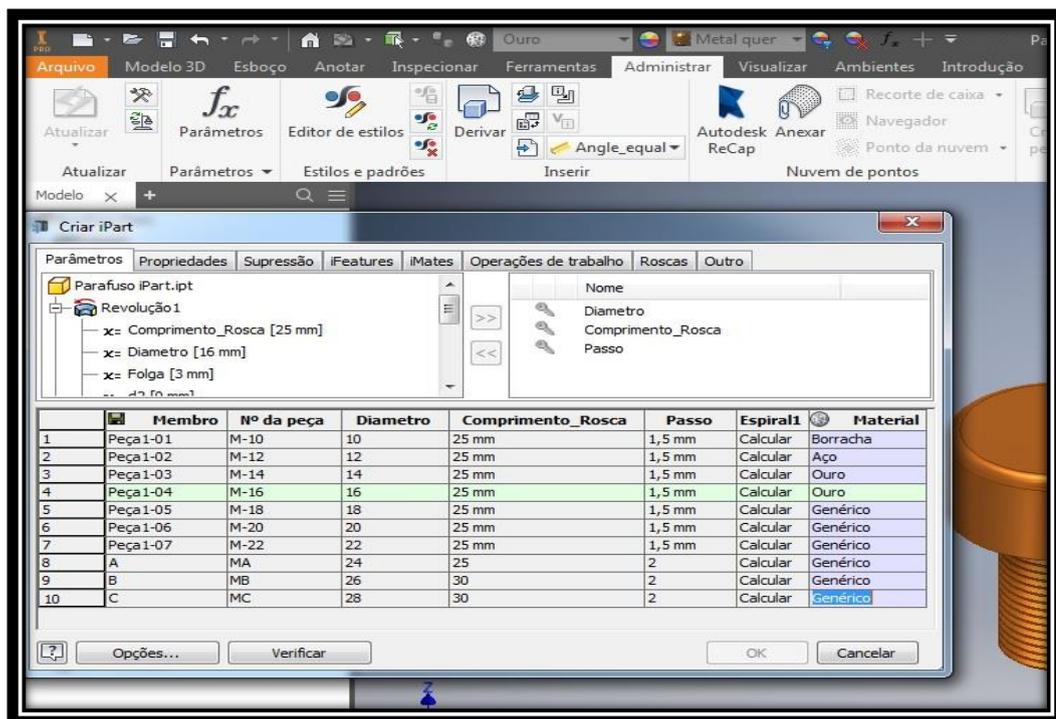


Figura 12 - Fonte: Próprio Autor

3.1.4 Criação iassembly

Um iAssembly é um recurso que cria variações de uma montagem para serem utilizadas de forma rápida. Basicamente é um iPart, porém mais sofisticado, pois não cria apenas uma peça com variações e sim montagem com variações. Um iPart pode e normalmente está incluso dentro de um iAssembly o que ajuda na criação das variações de montagem desejadas.

A criação do iAssembly é semelhante ao do iPart, basta ao criar um modelo do tipo montagem, ir no comando “Criar iAssembly” na aba “Administrar” do Inventor (Figura 13). Note aqui que se o arquivo utilizado não for do tipo montagem, não existirá esse comando, e sim o “Criar iPart” como citado anteriormente.

Figura 13 – Criar iAssembly

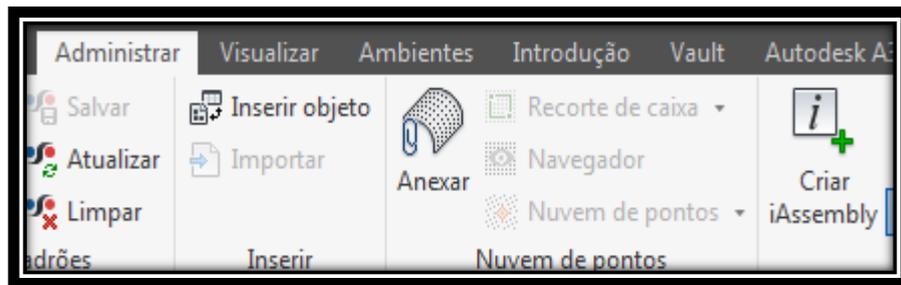


Figura 13 - Fonte: Próprio Autor

A interface e o modo de utilização do iAssembly é semelhante ao do iPart, portando já foi explicada e demonstrada nos tópicos anteriores. Claro que as possibilidades de variações aqui se tornam muito maiores devido as variadas peças ou até conjunto de peças inclusos no modelo, mas a lógica continua a mesma.

3.2 HABILITAR E UTILIZAR ILOGIC

3.2.1 Habilitando ilogic

A ferramenta denominada iLogic é uma interface de programação direta em linguagem de programação VB, a qual foi muito difundida em *softwares* da Microsoft como o Excel. Nesta interface do *software* é possível acessar todos os parâmetros de qualquer componente ou da montagem, ainda nesta ferramenta existe um menu de acesso rápido com muitas funções prontas, para facilitar o aprendizado e apresentar alternativas.

Para iniciar a utilização da ferramenta, é necessário habilita-la na aba “Visualizar” > “Interface do usuário” > “iLogic”. Uma janela para a utilização do iLogic irá surgir (Figura 14). Existem 4 recursos básicos para a utilização do iLogic como segue:

Regra: Recurso de programação do iLogic que utiliza como linguagem o Visual Basic, muito utilizado no Excel, aqui é possível gerar uma gama de modificações, customizações e restrições muito grandes.

Formas: Recurso para criação de formulários de modo extremamente simples e rápido que podem ou não possuir regras vinculadas.

Formas Globais: O mesmo que o anterior, porem aqui, as formas criadas podem ser utilizadas em outras peças/montagens/projetos, o que não é possível no recurso anterior.

Regras Externas: O mesmo que regras porem regras criadas aqui podem ser utilizadas em outras peças/montagens/projetos.

Formas Globais e Regras Externas são muito uteis quando se necessita sempre ou quase sempre de um determinado recurso em diferentes projetos.

Figura 14 – Habilitando iLogic

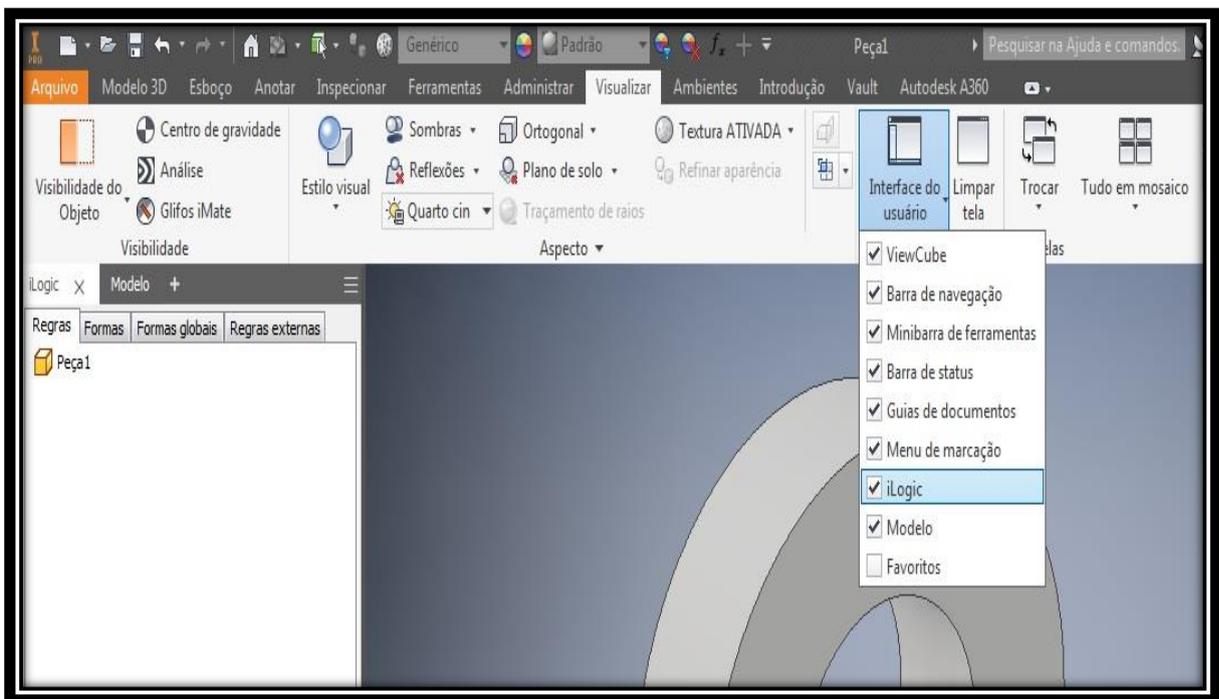


Figura 14 - Fonte: Próprio Autor

3.2.1 Formas e formas globais

Para criar Formas ou Formas globais basta um simples clique com o botão direito na parte em branco e selecionar “Adicionar Forma” ou “Editar” para editar forma existente. A janela de criação de forma vai abrir. Existem 3 campos principais, (Figura 15a) aqui estão os parâmetros, regras ou propriedades que poderão ser adicionadas na forma, basta selecionar e arrastar o parâmetro para o lado direito (Figura 15b) que o mesmo será adicionado automaticamente. (Figura 15b) Campo onde os parâmetros que estarão na forma se encontram, aqui é possível dar um nome diferente ao parâmetro, como também dar um nome a formula. (Figura 15c) Este campo possui algumas opções especiais para organização ou formato da forma, seria um campo mais de customização da forma.

Durante o processo de criação da forma, uma janela (Figura 15d), vai mostrar como a forma está ficando em tempo real facilitando o processo.

Terminado o processo basta clicar em “ok” e a forma vai aparecer no campo de formas (Figura 15e) para sua utilização quando necessário.

Esta é uma ferramenta bem simples e pratica, lembra bastante o funcionamento do iPart editável já citado para realizar a customização e alteração de peças. Lembrando também que aqui uma correta parametrização e nomenclatura de parâmetros é necessária para agilizar e evitar erros.

Figura 15 – Criação de Formas

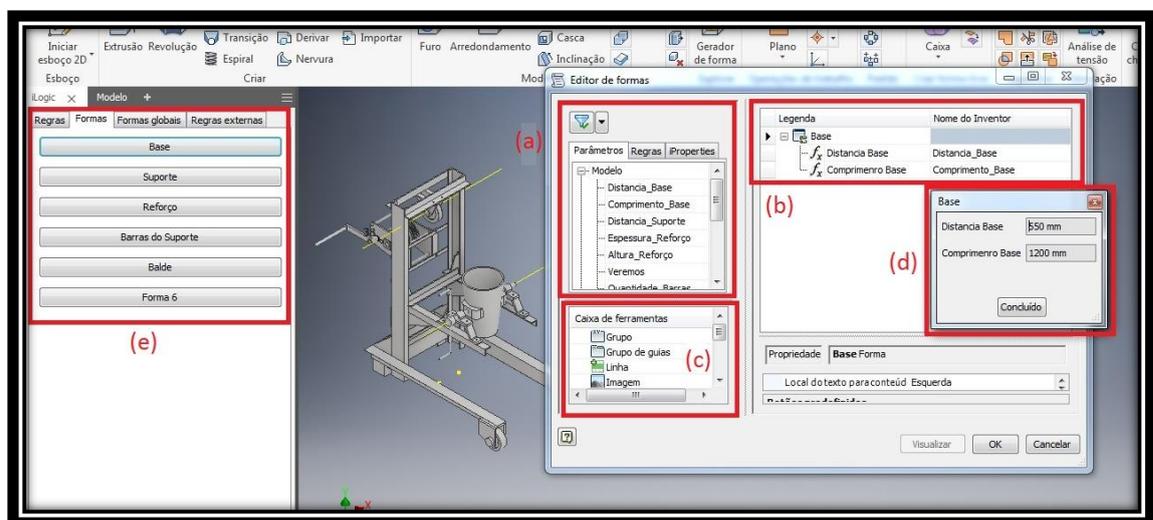


Figura 15 - Fonte: Próprio Autor

3.2.2 Regras e regras externas

O método de criação de “Regras” é similar ao das “Formas”, assim que selecionar nova regra, uma janela solicitando o nome da regra surgira, definido o nome já aparece janela para a criação da regra usando a linguagem de programação Visual Basic.

Inicialmente pode ser um pouco complicado, mas não é necessário conhecimento avançados de programação para utilizar esta ferramenta de modo bastante eficiente.

No campo (Figura 16a) está a arvores de comandos onde estão inclusos praticamente todas as funções existentes no Inventor, ao dar um duplo clique no comando desejado, ele automaticamente já aparece no campo da programação, isso facilita muito para aqueles que justamente não estão familiarizados com o Visual Basic. Por exemplo, ao clicar em “Está Ativo” dentro de “Operações” na arvore de comandos automaticamente surge o comando

“Feature.IsActive("featurename)”, assim ao colocar o nome da operação pode-se definir ou restringir a mesma. (Figura 16c) Local onde a regra deve ser escrita.

O campo (Figura 16b) possui mais alguns atalhos para comandos especiais, principalmente na aba “Assistentes”. Aqui podemos criar uma caixa de diálogo de modo simples, que são aquelas mensagens que aparecem em qualquer computador, recurso muito útil caso queira informar algo ao usuário ou mostrar uma mensagem de erro devido a alguma restrição criada não ter sido obedecida.

É possível também capturar a imagem da peça atual, ou limitar parâmetros da forma desejada.

Figura 16 – Criação de Regras

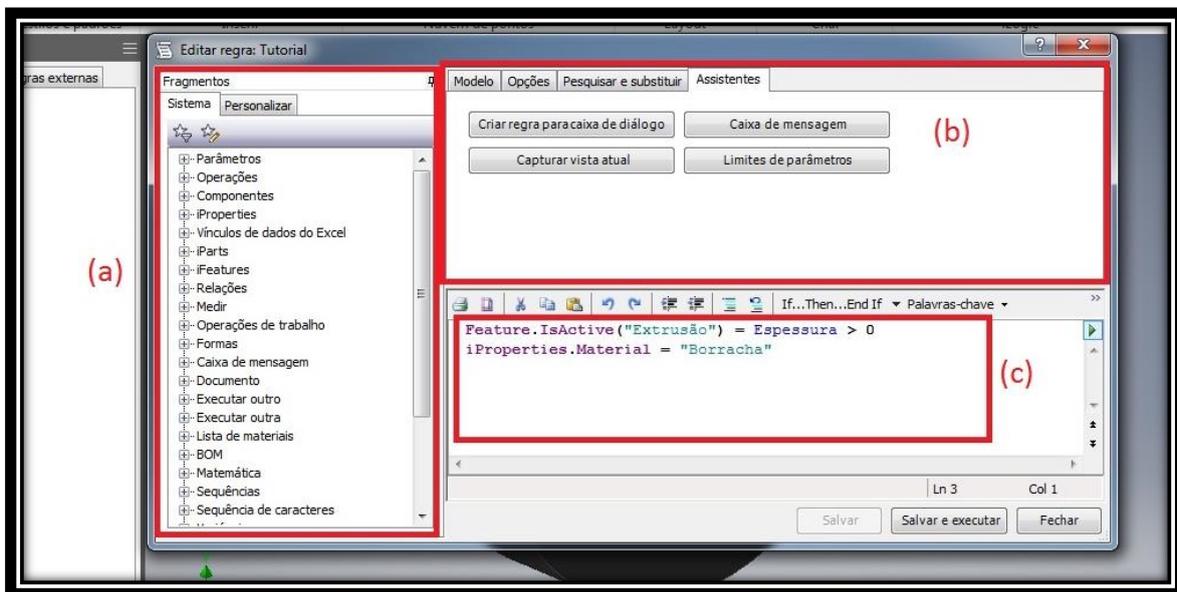


Figura 16 - Fonte: Próprio Autor

Terminada as alterações, clicando em salvar, a regra será criada. Após criada a regra é necessário definir em qual/quais situações ela deve ser executada ou não, isso é possível através de comando dentro da própria regra, por botões dentro dos formulários do recurso “Formas” ou pela função “Ativadores de Eventos” (Figura 17) que se encontra na aba “Administrar” da tela inicial de trabalho.

Esta função possui várias opções para executar uma regra (Figura 17a) como mostrado na imagem, pode-se escolher quais os eventos desejados e quais regras serão ativadas (Figura 17b) ao acontecer determinado evento.

Figura 17 – Escolha de eventos

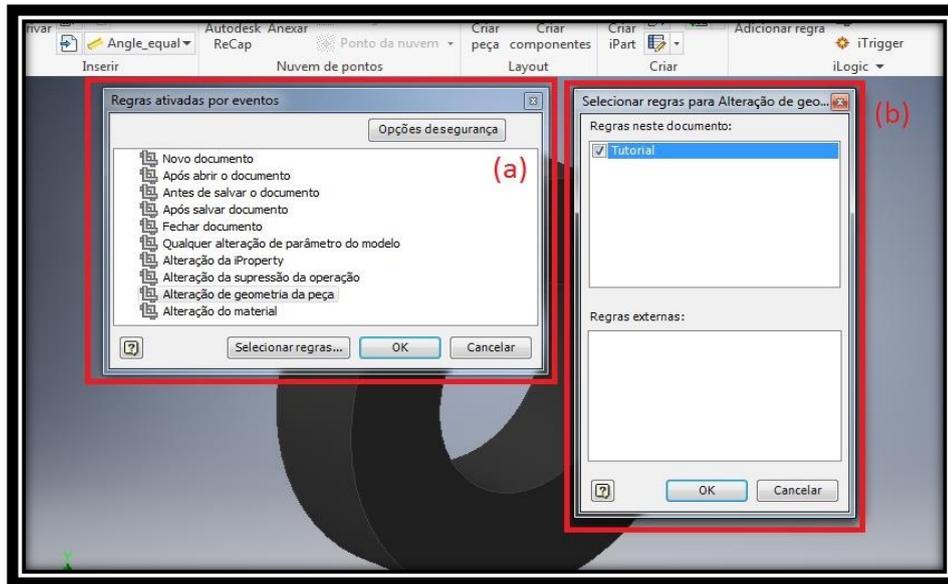


Figura 17 - Fonte: Próprio Autor

De forma geral, o iLogic tem capacidade de gerenciar e alterar praticamente todas as outras ferramentas existentes no Inventor de forma a agilizar e facilitar processos ou evitar que erros sejam gerados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para testar a utilização e eficácia das ferramentas demonstradas escolhemos um equipamento mecânico para confecção de seu modelo 3D de forma também de torna-lo customizável.

Equipamento escolhido foi um “Elevador Transportador” do livro “Desenhista de maquinas” (Provenza, 1991, Figura 18).

Figura 18 – Elevador Transportador

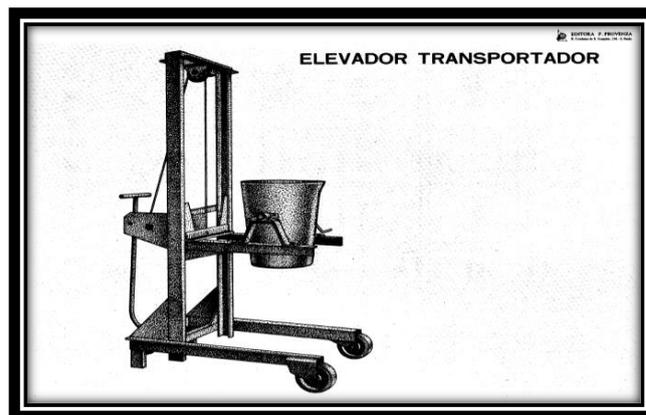


Figura 18 - Fonte: Provenza (1991)

A construção de um modelo parametrizado, utilizando o *software* Autodesk Inventor 2018, partiu deste modelo genérico com características específicas deste equipamento.

Como este trabalho não se restringe somente a criar um modelo paramétrico, a construção do modelo inicial necessita de atenção durante a montagem dos componentes quanto as restrições e formas utilizadas para evitar erros durante as alterações que serão realizadas.

Com a conclusão do modelo foi desenvolvida a parametrização de suas dimensões através da ferramenta iLogic (Figura 19).

Figura 19 - Processo de construção e aplicação do modelo parametrizado



Figura 19 - Fonte: Próprio Autor

Contudo, para possibilitar a montagem do modelo para a parametrização, cujo processo é apresentado mais a frente, foram atribuídas as dimensões similares às do equipamento selecionado para o estudo de caso (Figura 20).

Figura 20 - Processo de desenvolvimento do modelo e parametrização



Figura 20 - Fonte: Próprio Autor

De maneira específica, o modelo da estrutura deste elevador transportador foi obtido por meio da construção e montagem de vários componentes que podem ser agrupados da seguinte maneira:

- Estrutura principal
- Sarilho
- Rodizio giratório

4.1 MODELAGEM DO ESTUDO DE CASO

4.1.1 Estrutura principal

Este é um conjunto formado pela base, polia, suporte para balde, reforços e demais conexões, como ilustrado nas Figuras 21-29, os quais são responsáveis principalmente por garantir resistência ao conjunto. Estes componentes foram modelados separadamente para facilitar a construção e a edição do modelo, reduzir a possibilidade de falhas e facilitar o uso do modelo na criação de desenhos de fabricação.

Figura 21 – Peças estrutura principal 1

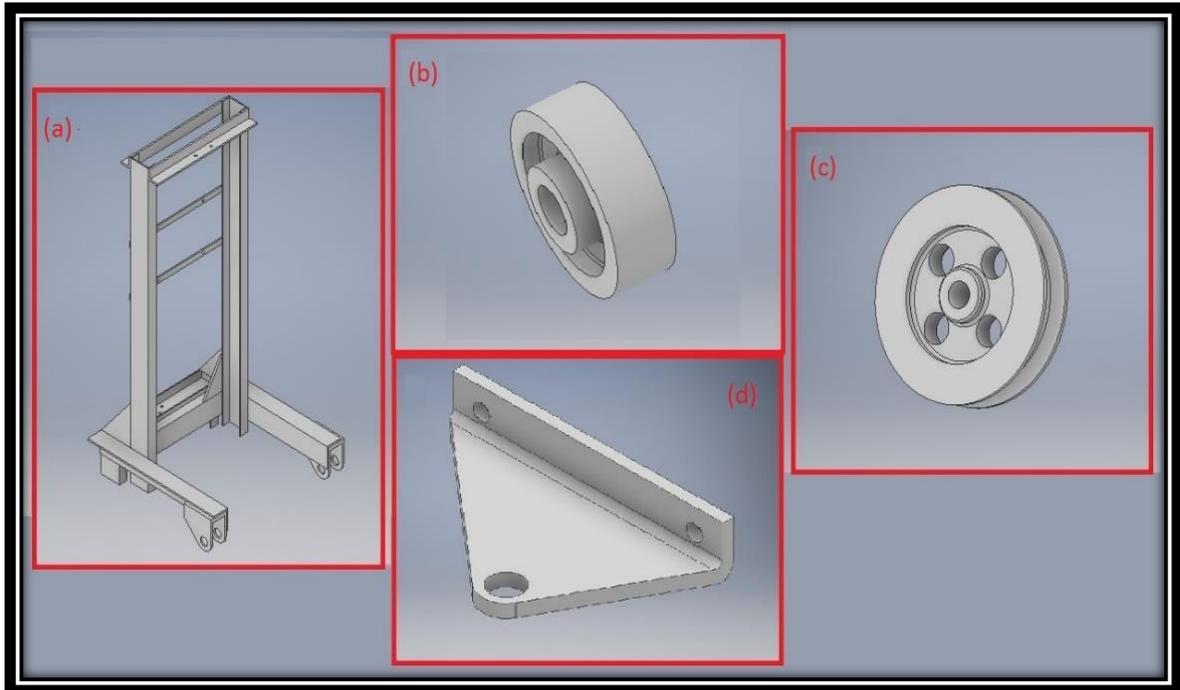


Figura 21 - Fonte: Próprio Autor

Componentes na Figura 21: (a) - Base; (b) - Roda; (c) - Polia; (d) – Suporte

Figura 22 – Peças estrutura principal 2

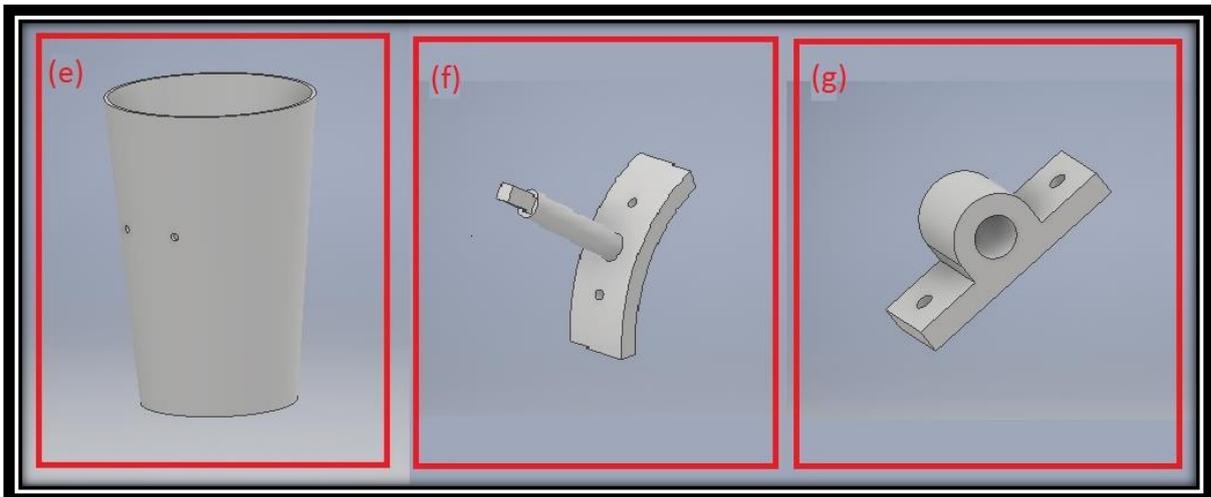


Figura 22 - Fonte: Próprio Autor

Componentes Figura 22: (e) – Balde; (f) - Eixo do Balde; (g) – Mancal.

Figura 23 – Peças estrutura principal 3

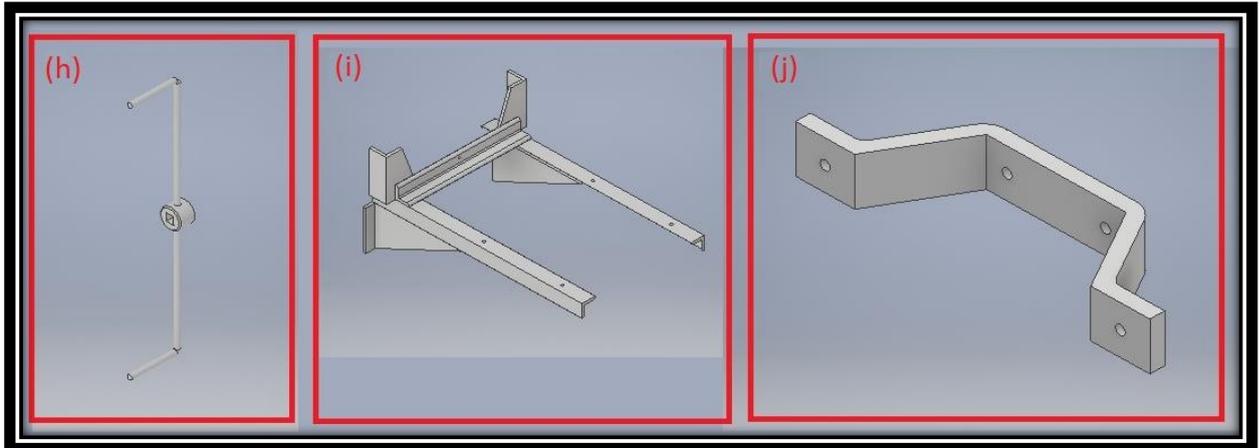


Figura 23 - Fonte: Próprio Autor

Componentes Figura 23: (h) – Manivela; (i) – Estrutura de Suporte para balde; (j) – Suporte para mancal.

A “estrutura de suporte para o balde” foi criada com a ferramenta iAssembly, possuindo assim 3 modelos diferentes (Figuras 24 - 26), sendo a diferença entre elas apenas a viga principal de sustentação (partes em destaque na Figura). Este modelo também será utilizado na fase de simulação do trabalho em tópicos posteriores.

Figura 24 – iAssembly peça 1

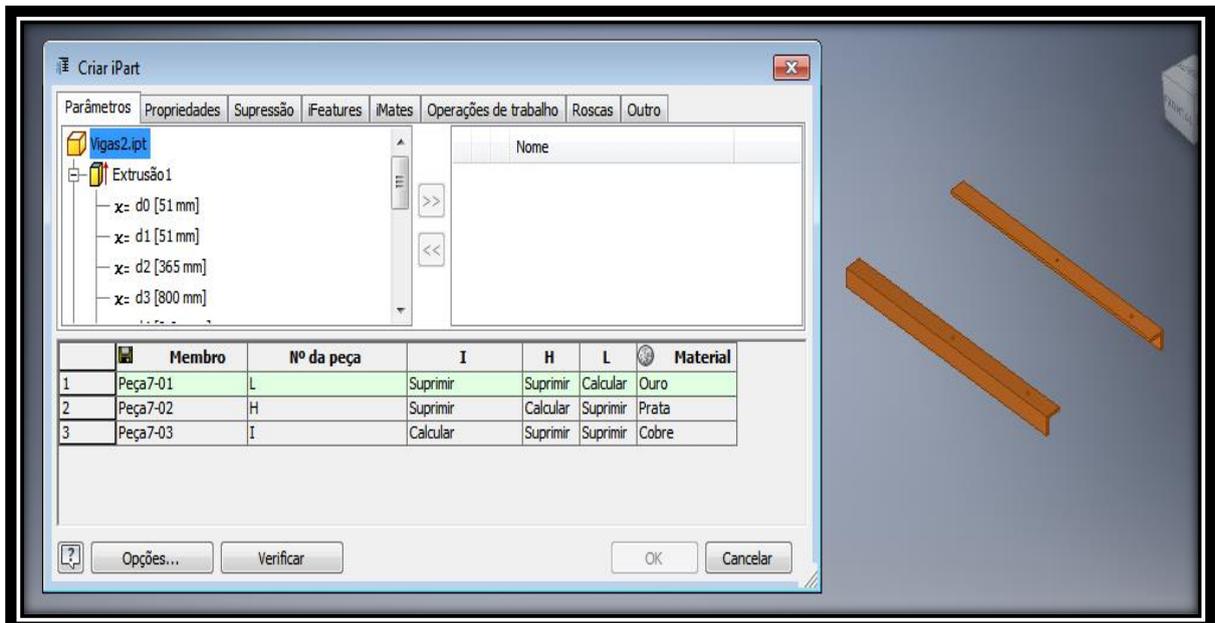


Figura 24 - Fonte: Próprio Autor

Figura 25 – iAssembly peça 2

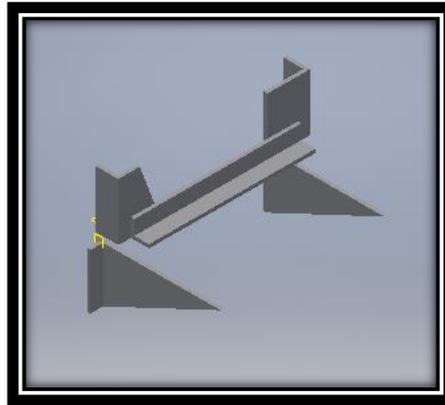


Figura 25 - Fonte: Próprio Autor

Figura 26 – iAssembly Utilizados

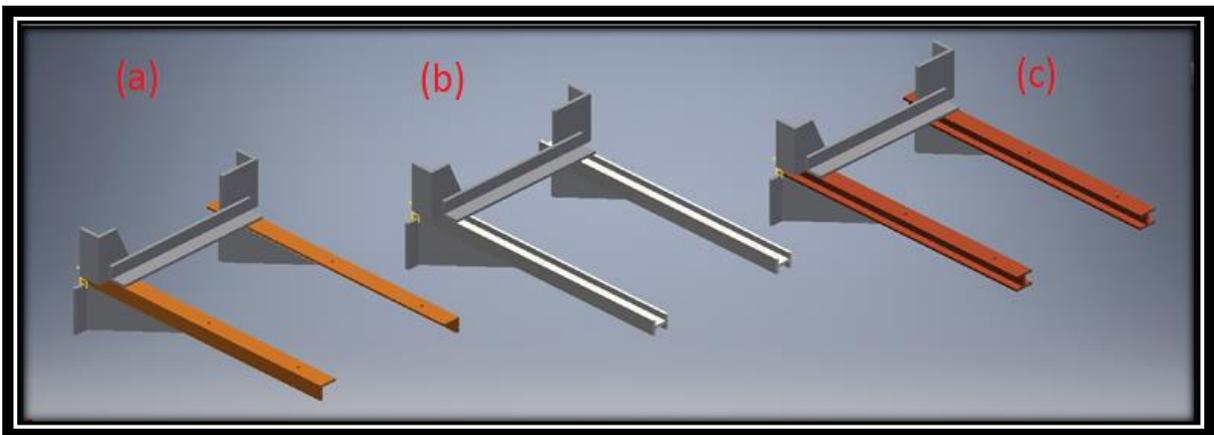


Figura 26 - Fonte: Próprio Autor

Os parafusos e porcas que são os elementos de ligação/fixação foram feitos com recursos do iPart para facilitar e agilizar processos de modelagem e de seleção na hora da montagem.

Figura 27 – Parafusos - iPart

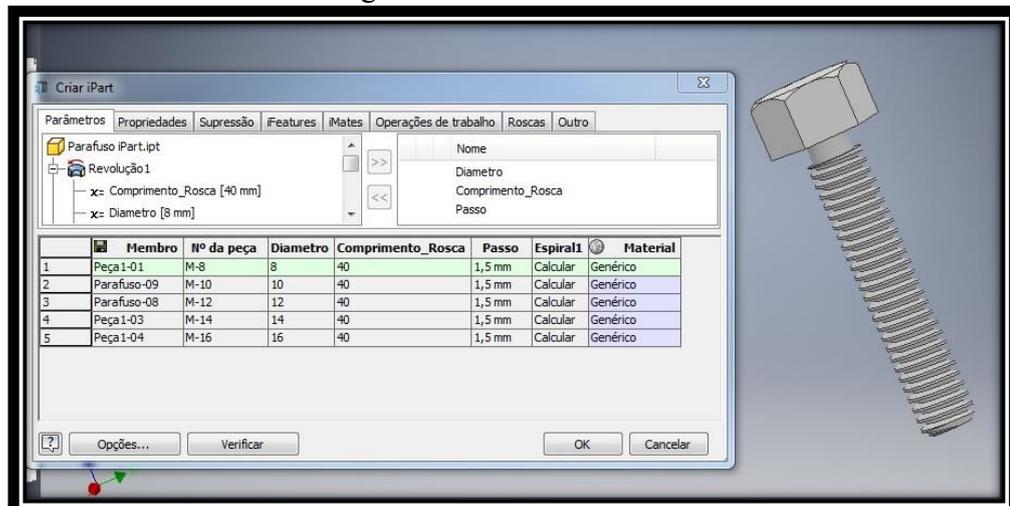


Figura 27 - Fonte: Próprio Autor

Figura 28 – Porca - iPart

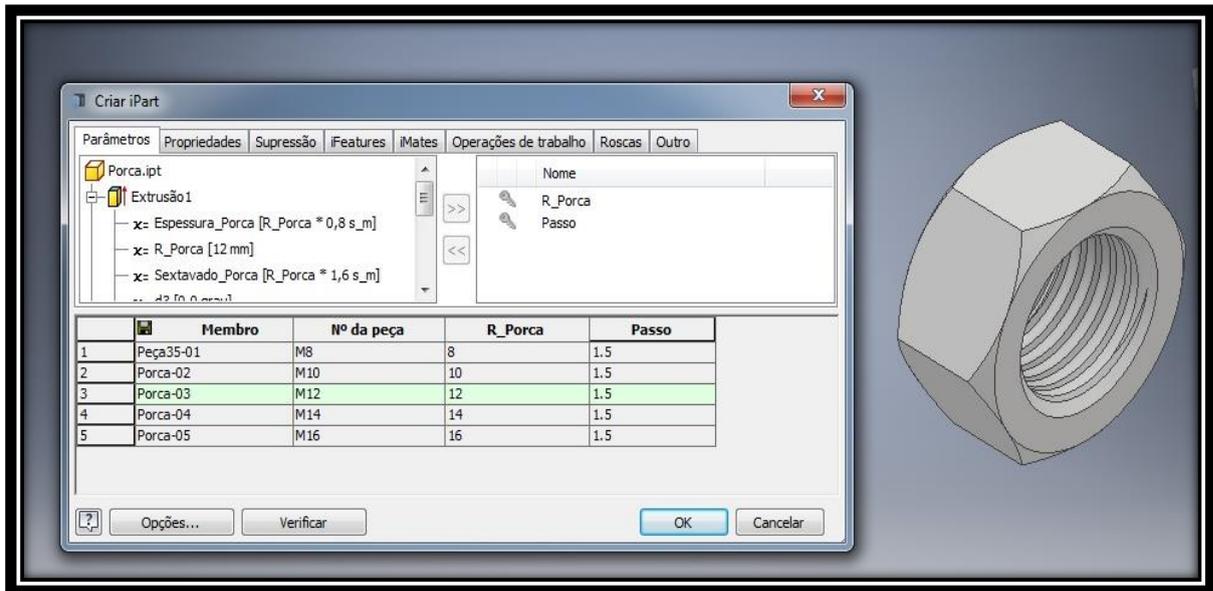


Figura 28 - Fonte: Próprio Autor

Todas as peças foram então montadas utilizando a ferramenta de montagem do Inventor para se chegar ao conjunto final da estrutura principal. (Figura 29)

Figura 29 – Estrutura principal

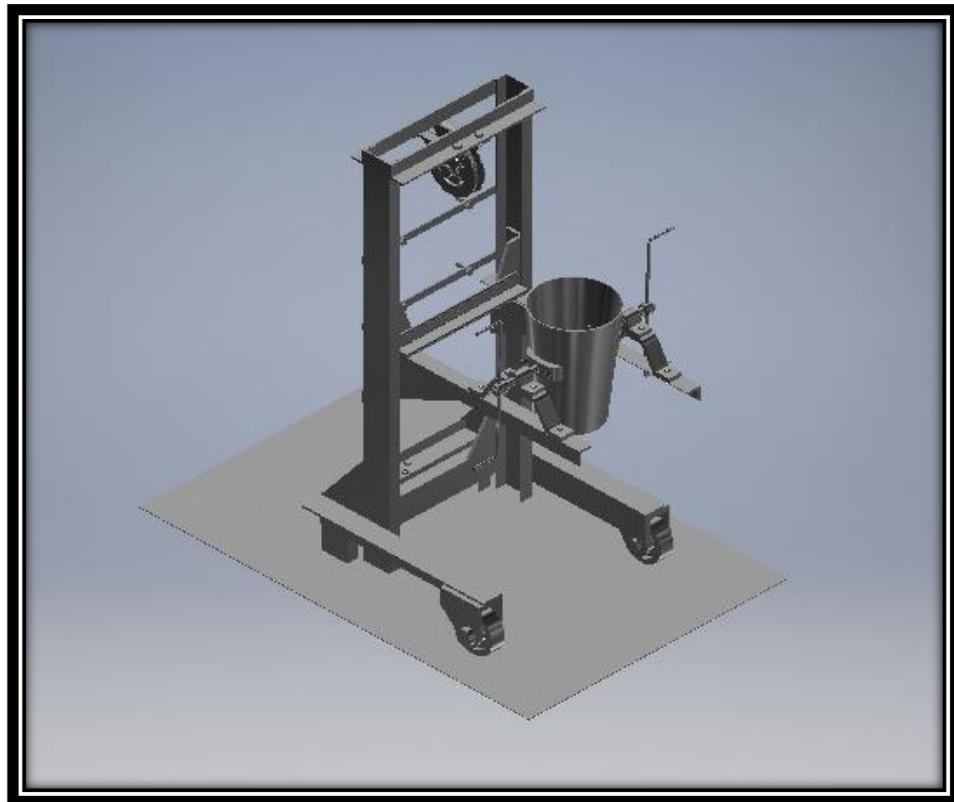


Figura 29 - Fonte: Próprio Autor

4.1.2 Sarilho

O sarilho é considerado uma máquina simples, as máquinas simples são muito importantes pois estas nos ajudam muito na realização de determinadas tarefas e o domínio sobre a aplicação das forças e a vantagem que teremos dependendo do arranjo da máquina permite que tenhamos equipamentos para a realização das mais variadas tarefas.

Este equipamento que basicamente pode ser definido como um cilindro horizontal sobre o qual se enrola uma corda, onde o cilindro é girado por meio de uma manivela, normalmente utilizado para elevar cargas pesadas, neste caso para mover a estrutura de suporte do balde com o auxílio de um sistema de engrenagens utilizado no sistema de travamento da posição.

A modelagem seguiu conforme instruções do livro, Desenhista de máquinas (Provenza, 1991) conforme Figura 30.

Figura 30 – Sarilho para 250 Kg

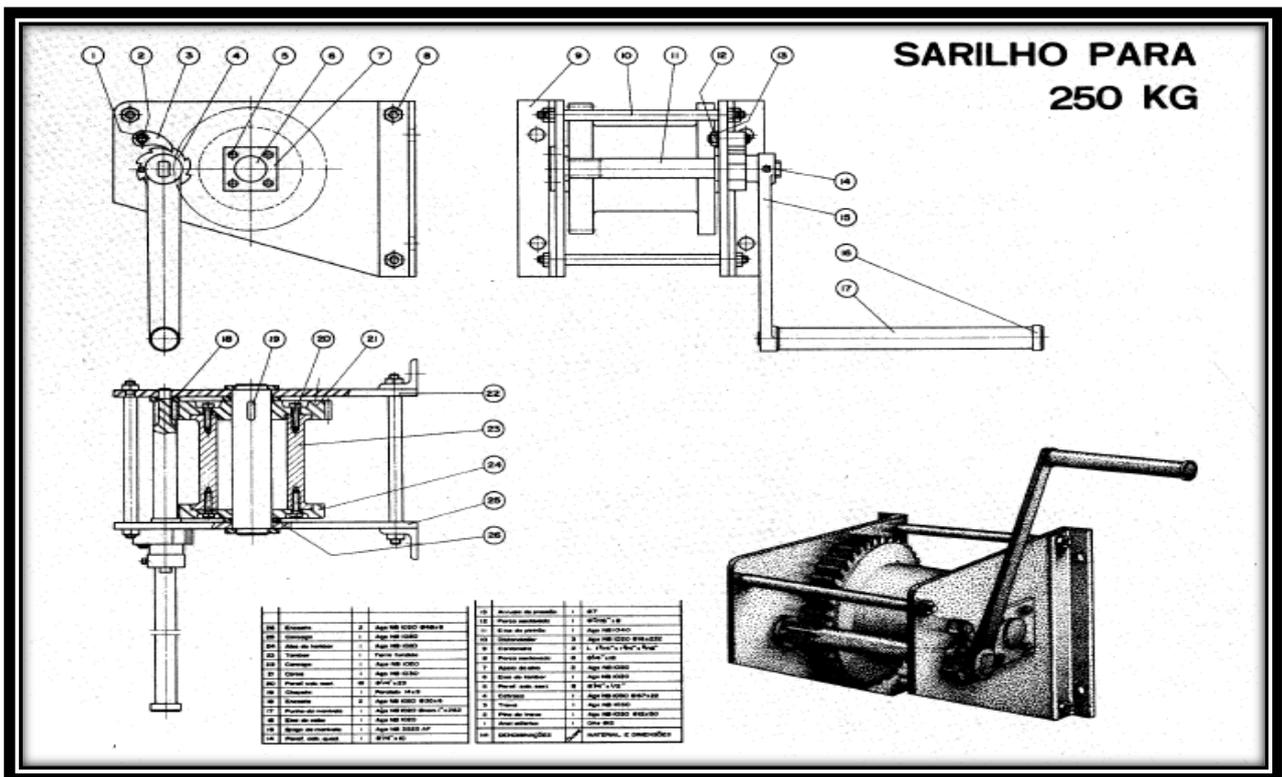


Figura 30 - Fonte: Provenza (1991)

Para modelagem deste equipamento foi utilizado o mesmo método da estrutura principal, criando-se as peças individualmente para depois criar a montagem dos componentes.

Figura 31 – Peças Sarilho 1

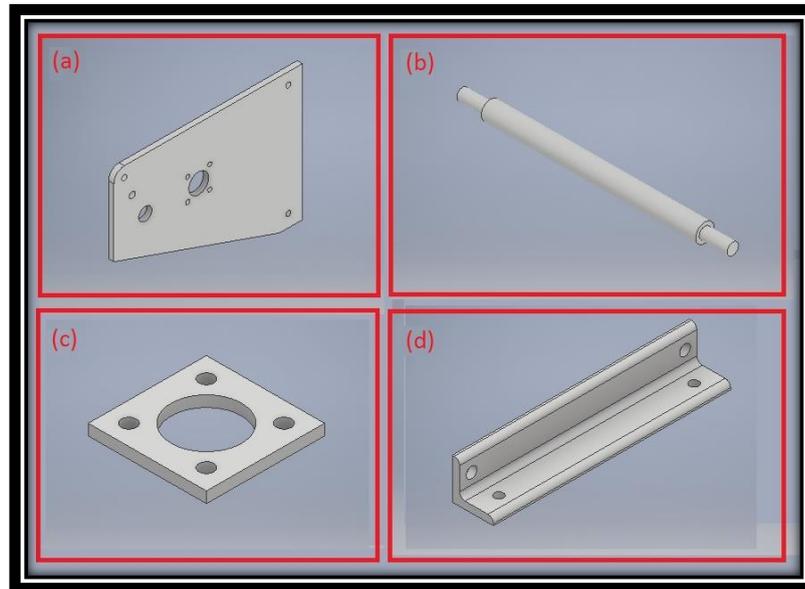


Figura 31 - Fonte: Próprio Autor

Componentes Figura 31: (a) – Carcaça; (b) – Distanciador; (c) – Suporte para eixo do tambor; (d) – Cantoneira.

Figura 32 – Peças Sarilho 2

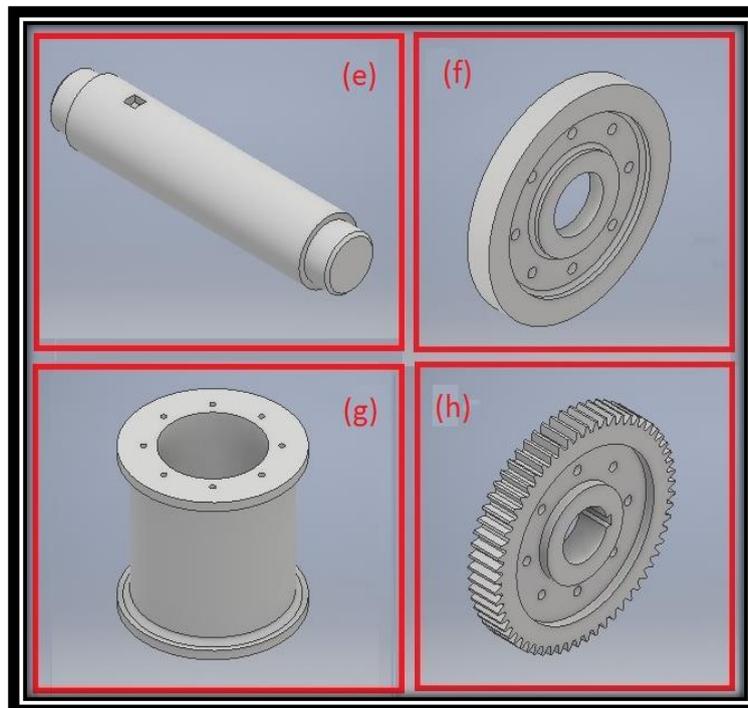


Figura 32 - Fonte: Próprio Autor

Componentes Figura 32: (e) – Eixo do Tambor; (f) – Aba do Tambor; (g) – Tambor; (h) – Coroa.

Figura 33 – Peças Sarilho 3

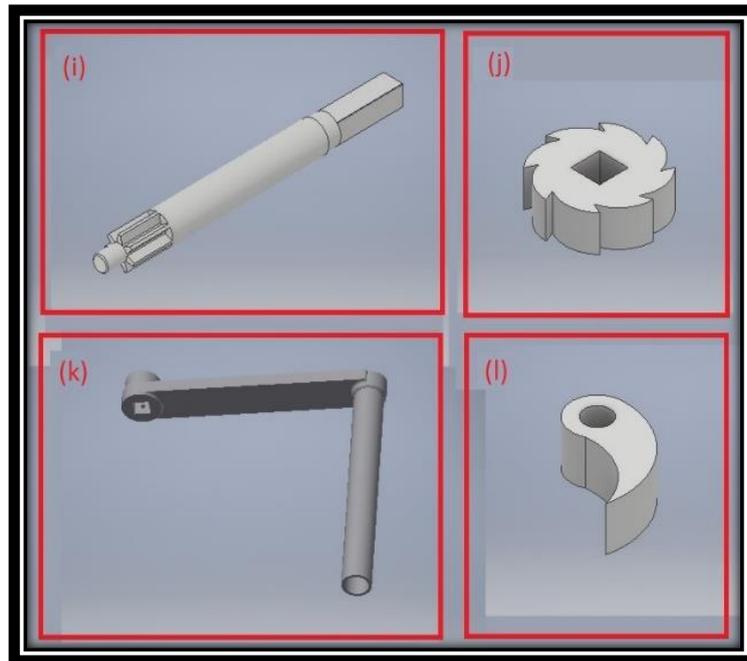


Figura 33 - Fonte: Próprio Autor

Componentes Figura 33: (i) – Pinhão; (j) – Catraca; (k) – Manivela; (l) – Trava.

Componentes foram então montados para construção do Sarilho para ser inserido à estrutura principal posteriormente. (Figura 34)

Figura 34 – Montagem Sarilho

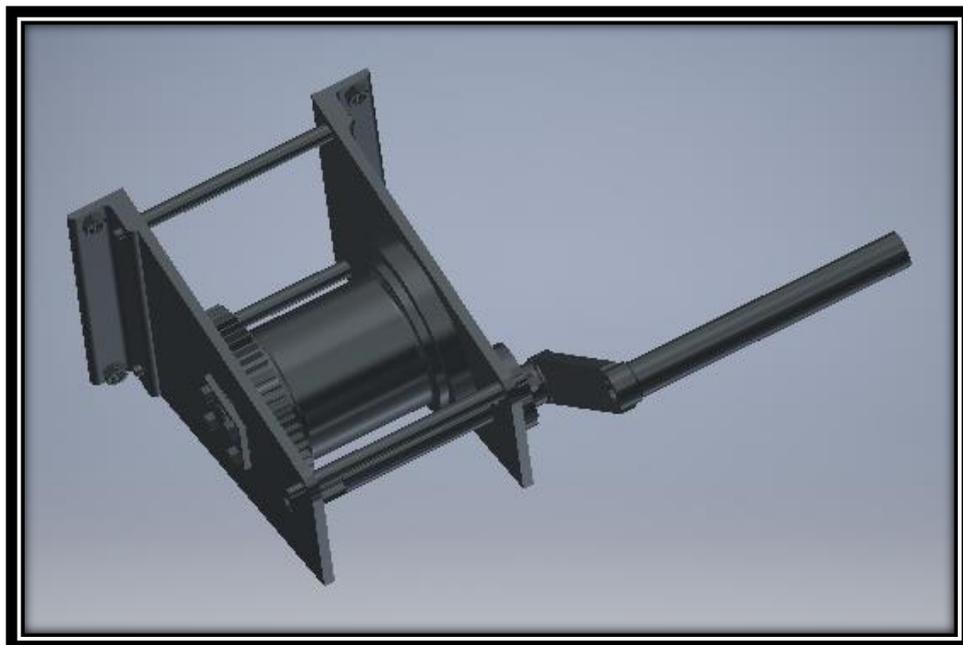


Figura 34 - Fonte: Próprio Autor

4.1.3 Rodízio giratório

O rodízio fixo e giratório possui tal nome por apresentar ao mesmo tempo rodas fixas e rodas giratórias. Isto faz com que o rodízio fixo e giratório proporcione maior segurança na movimentação de um objeto ou carga a partir de rodas fixas mais estáveis e resistentes, mas também que essa movimentação ocorra de maneira ágil, com as rodas giratórias apresentando a função de facilitar tal atividade.

A principal característica que apresenta mudança de um modelo para outro de um rodízio fixo e giratório é na quantidade de rodas que esses itens possuem. Há o sistema de rodízio que possui rodas de fixas e giratórias, o local das rodas também pode mudar, sendo possível encontrar alguns sistemas de rodízios de rodas centrais e outras nas suas extremidades, e ótimo para a locomoção em distâncias longas e curtas.

Sendo assim rodízio giratório é ótimo para a locomoção em distâncias longas e curtas. Deve se prestar atenção no material do rodízio, pois ele deve estar bem alinhado ao solo em que será utilizado.

Utilizando a mesma metodologia dos conjuntos anteriores, as peças foram modeladas individualmente para posterior montagem dos componentes.

Figura 35 - Peças do Rodízio Giratório

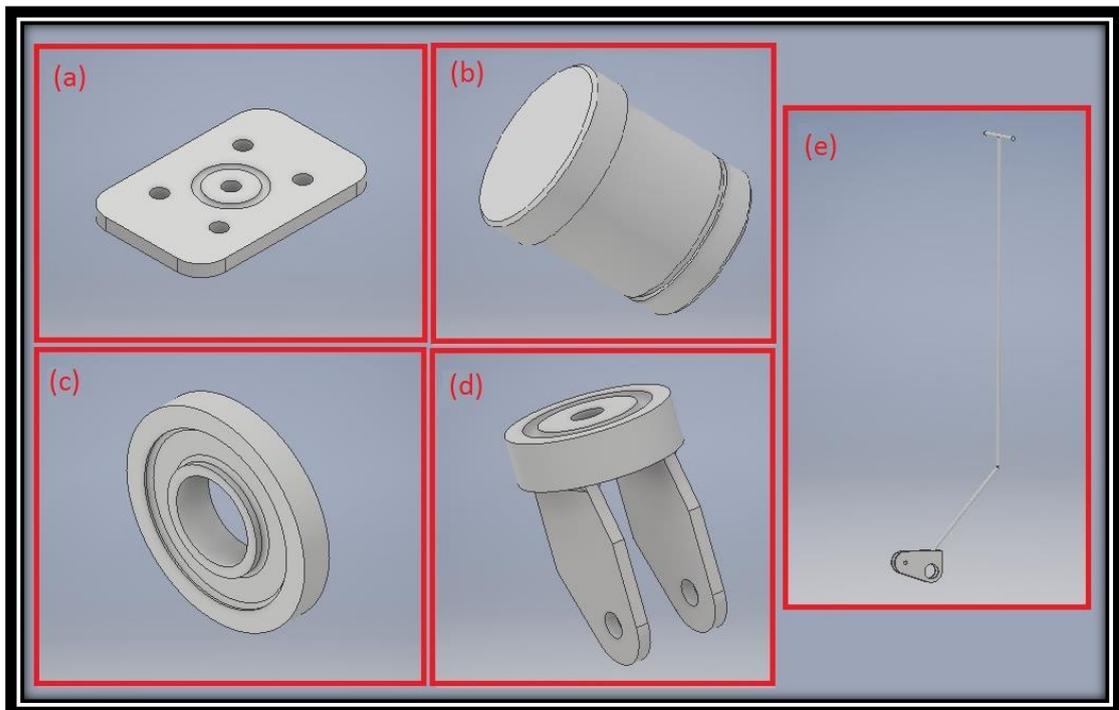


Figura 35 - Fonte: Próprio Autor

Componentes Figura 35: (a) – Base; (b) – Eixo para roda; (c) – Roda; (d) – Rodízio; (e) – Suporte móvel com alavanca.

Componentes novamente montados de modo a gerar o rodízio giratório. (Figura 36)

Figura 36 - Rodízio Giratório

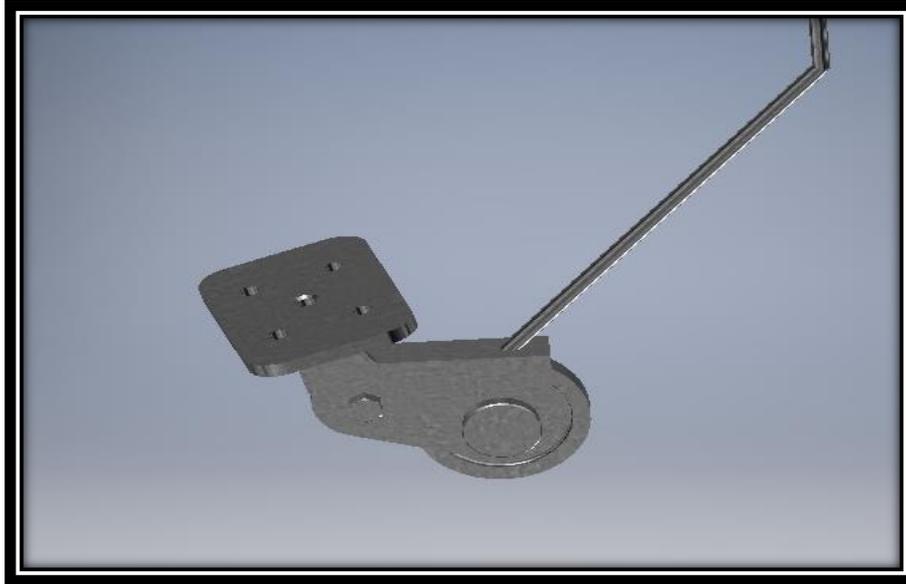


Figura 36 - Fonte: Próprio Autor

4.1.4 Modelo do elevador transportador completo

Os elevadores transportadores são equipamentos de grande importância pois contribuem direta e indiretamente para uma maior qualidade e rapidez em uma obra ou processo. Sem estes equipamentos, operários teriam que transportar a carga utilizando apenas a força física, o resultado seria: cansaço e demora. Contudo, com os elevadores, transportar cargas pesadas tornou-se uma tarefa muito mais fácil, acelerando o processo de construção, desta forma os elevadores contribuem diretamente para acelerar diversos processos permitindo a movimentação rápida de cargas pesadas.

O modelo do elevador transportador foi construído a partir dos componentes projetados individualmente, que foram inseridos ao ambiente de montagem do *software* Autodesk Inventor 2018 para um conjunto proporcional e similar a um equipamento real. Estas partes que compõe o modelo foram posicionadas e unidas umas às outras por meio de restrições, como ilustrado na Figura 27, garantindo a fixação necessária para consolidar o conjunto e tornar possível a utilização do iLogic e simulações posteriormente.

Figura 37 - Elevador Transportador

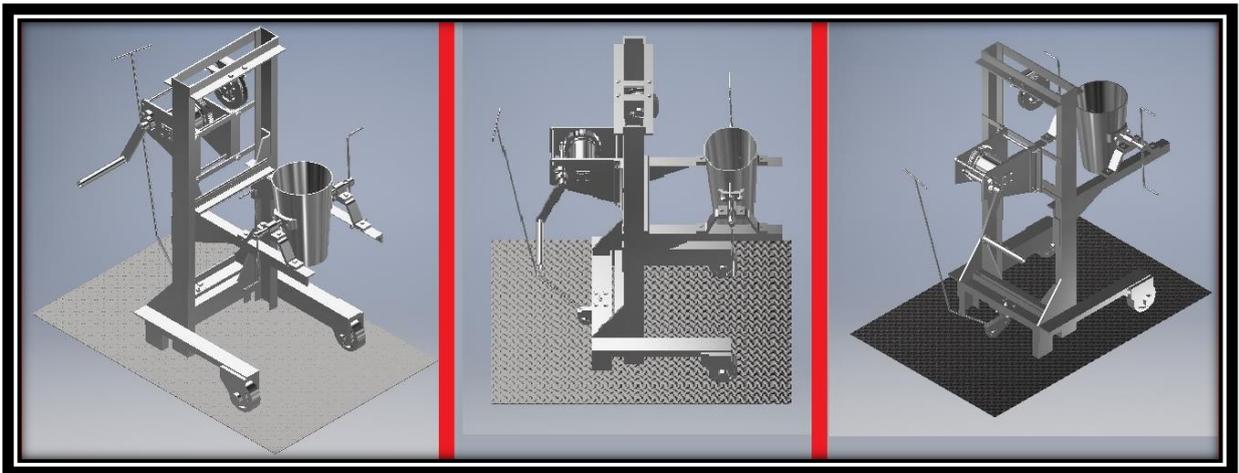


Figura 37 - Fonte: Próprio Autor

A elaboração de um modelo para a parametrização é realizada sem grandes preocupações com as dimensões e quantidades de elementos, pois a intenção é que estes parâmetros sejam configurados para serem alterados diretamente ou através de regras relacionados a outros parâmetros. Todavia, é muito importante que as restrições sejam aplicadas em todos os pontos necessários de maneira correta para evitar falhas na parametrização causada pela existência de restrições que impossibilitem a alteração do conjunto diante da alteração dos parâmetros.

4.2 PARAMETRIZAÇÃO COM ILOGIC

Para parametrizar todo o elevador foram criadas algumas regras para gerenciar cada tipo de componente, outra regra para gerenciar o formulário de interface que permite a edição do modelo que fica visível automaticamente com as modificações do formulário.

A forma do elevador é definida pela distância entre as pernas da base, comprimento da base, altura da estrutura, barras de reforço, e argolas extras para fixação. Estas variáveis são inseridas pelo usuário e são responsáveis, juntamente com dimensões padronizadas para este tipo de equipamento, por gerar outras dimensões angulares e lineares que são essenciais para o dimensionamento e posicionamento de outros elementos do conjunto.

Inicialmente foi criada uma regra para simular um cadastro do projeto, para pegar informações básicas e salva-las nas propriedades do modelo, onde sempre que o arquivo for salvo, é conferido se todas as informações foram preenchidas corretamente. (Figura 38)

Figura 38 - Regra “Cadastro”

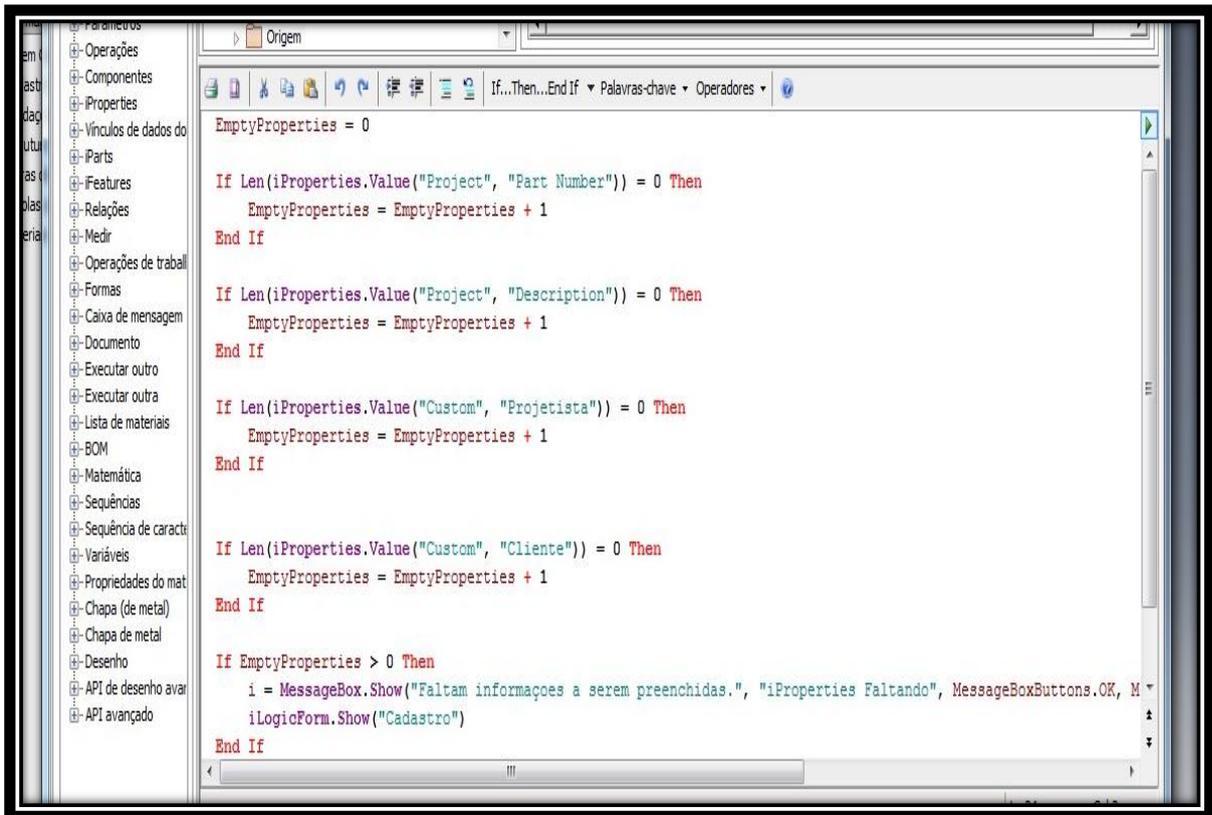


Figura 38 - Fonte: Próprio Autor

Para as barras de reforço, foi criada uma regra (Figura 39) que primeiro pergunta se são necessárias as barras através de uma variável de Multi-Valor, que pode ser criada utilizando-se ferramenta de parâmetros mostrada anteriormente no capítulo de parametrização, com as opções ‘sim’ e ‘não’.

Caso a opção sim seja escolhida, a barra será automaticamente adiciona ao modelo sendo adotado um limite de 3 barras, também definida através de uma variável de Multi-Valor. As sequências de comandos ‘*If Then*’ e ‘*End If*’, são responsáveis por verificar quais opções foram selecionadas e aplicar as modificações escolhidas ao modelo.

Se a opção ‘não’ for selecionada todas as barras existentes desaparecem instantaneamente.

Também é possível escolher a distância existente entre cada barra e sua espessura.

Figura 39 - Regra “Barras de Reforço”

```

If Barras_Reforço = "Não" Then
Numero_Reforço = 1
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço1") = False
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço2") = False
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço3") = False End If

If Barras_Reforço = "Sim" Then

If Numero_Reforço = 1 Then
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço1") = True
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço2") = False
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço3") = False End If

If Numero_Reforço = 2 Then
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço1") = True
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço2") = True
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço3") = False End If

If Numero_Reforço = 3 Then
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço1") = True
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço2") = True
Feature.IsActive("Base:1", "Reforço3") = True End If

End If

Parameter("Base:1", "Distancia_Reforço")= Distancia_Reforço
Parameter("Base:1", "Espessura_Barra") = Espessura_Reforço

```

Figura 39 - Fonte: Próprio Autor

Outra regra do modelo paramétrico gerencia as características de argolas de fixação, esta regra funciona de forma semelhante à de barras de reforço, utilizando variável de Multi-Valor com opção ‘sim’ e ‘não’. As sequências de comandos ‘If Then’ e ‘End If’ também estão presentes para verificar a escolha selecionada e aplicar as modificações desejadas (Figura 40).

Pode-se também alterar a posição das argolas, usando com referência à parte superior da estrutura principal e também o diâmetro da mesma.

Figura 40 - Regra “Argolas de Fixação”

```

If Argolas = "Sim" Then
Feature.IsActive("Base:1", "Revolução2") = True
End If

If Argolas = "Não" Then
Feature.IsActive("Base:1", "Revolução2") = False
End If

Parameter("Base:1", "Altura") = Posição_Argolas
Parameter("Base:1", "Diametro_Argola") = Diametro_Argola

iLogicVb.UpdateWhenDone = True
InventorVb.DocumentUpdate ()

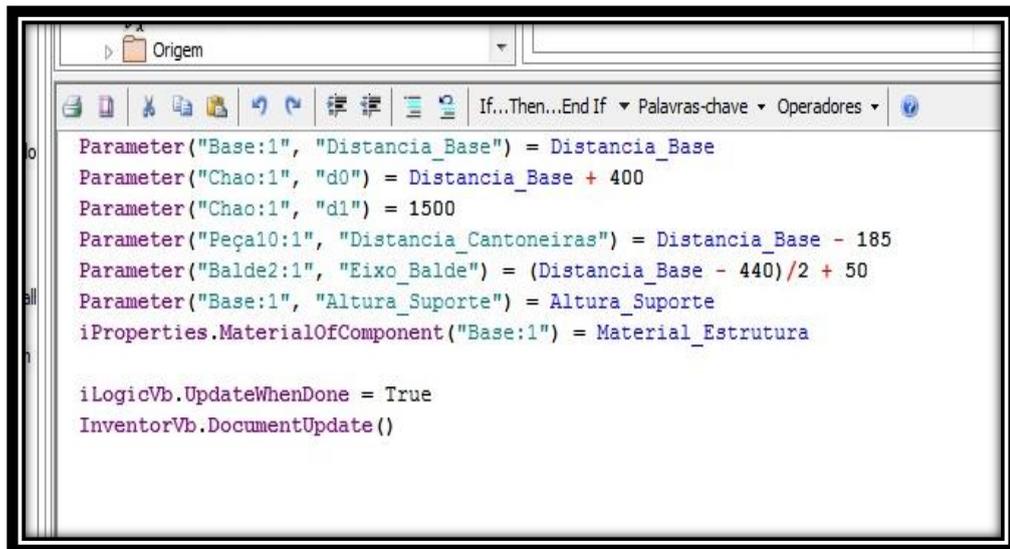
```

Figura 40 - Fonte: Próprio Autor

Além destas, foi criado uma regra para parametrizar a estrutura principal, para o qual são necessários a largura, a altura e escolha do material da estrutura. Aqui também ocorrem a modificação de outras dimensões do modelo para garantir a forma geral do elevador e evitar choques ou desconexão entre a peças. (Figura 41)

Principal tipo de comando necessário aqui é o de modificação de valor de parâmetros, comando que o próprio Inventor gera de modo simples usando a ‘arvore de comando’ conforme Figura 16a.

Figura 41 - Regra “Estrutura Principal”



```

Parameter("Base:1", "Distancia_Base") = Distancia_Base
Parameter("Chao:1", "d0") = Distancia_Base + 400
Parameter("Chao:1", "d1") = 1500
Parameter("Peça10:1", "Distancia_Cantoneiras") = Distancia_Base - 185
Parameter("Balde2:1", "Eixo_Balde") = (Distancia_Base - 440)/2 + 50
Parameter("Base:1", "Altura_Suporte") = Altura_Suporte
iProperties.MaterialOfComponent("Base:1") = Material_Estrutura

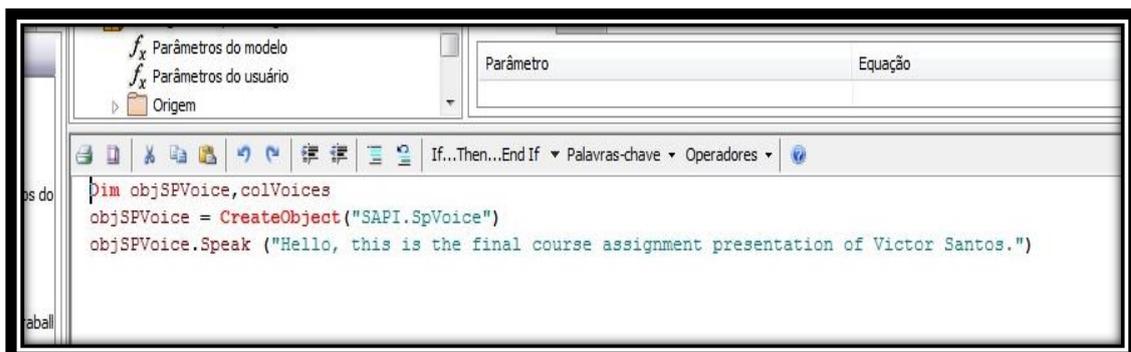
iLogicVb.UpdateWhenDone = True
InventorVb.DocumentUpdate()

```

Figura 41 - Fonte: Próprio Autor

Temos uma regra simples utilizando o recurso de voz do inventor, também facilmente criada utilizando a janela de comandos especiais já citado conforme Figura 16b, neste caso, o comando serve unicamente para apresentação, não afeta em nada a modelagem, é apenas para mostrar o recurso que apesar de não ser um recurso útil para o projeto em si, pode ser usado para passar alguma informação a algum cliente por exemplo. (Figura 42)

Figura 42 - Regra “Apresentação”



```

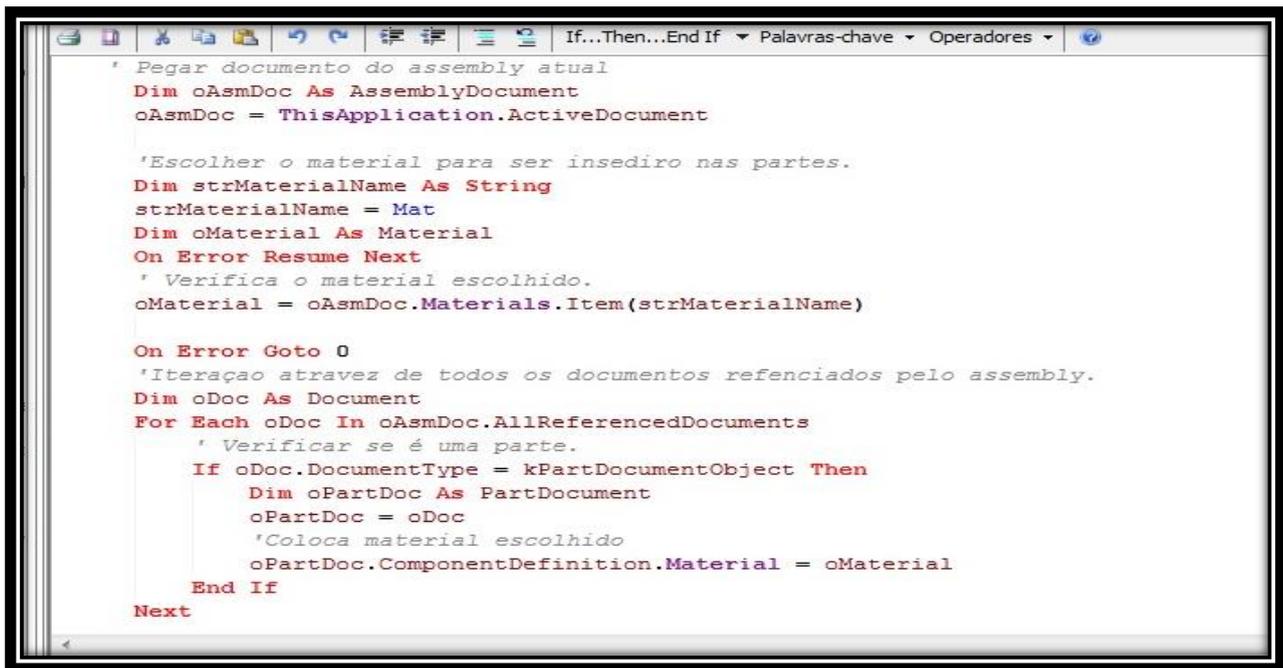
Dim objSPVoice, colVoices
objSPVoice = CreateObject("SAPI.SpVoice")
objSPVoice.Speak ("Hello, this is the final course assignment presentation of Victor Santos.")

```

Figura 42 - Fonte: Próprio Autor

Mais uma regra que permite definir o material de todo o conjunto automaticamente, esta regra já possui recursos de programação mais avançados, sendo difícil de ser criada ou entendida para aqueles sem bom conhecimento de VBA. Principal intuito desta regra é realmente mostrar que o iLogic pode ser utilizado para funções mais complexas, claro que isso também gera um maior grau de conhecimento não apenas de programação como também das ferramentas e possibilidades do próprio Inventor. (Figura 43).

Figura 43 - Regra “Material da Montagem”



```

' Pegar documento do assembly atual
Dim oAsmDoc As AssemblyDocument
oAsmDoc = ThisApplication.ActiveDocument

'Escolher o material para ser insediro nas partes.
Dim strMaterialName As String
strMaterialName = Mat
Dim oMaterial As Material
On Error Resume Next
'Verifica o material escolhido.
oMaterial = oAsmDoc.Materials.Item(strMaterialName)

On Error Goto 0
'Iteração através de todos os documentos referenciados pelo assembly.
Dim oDoc As Document
For Each oDoc In oAsmDoc.AllReferencedDocuments
    ' Verificar se é uma parte.
    If oDoc.DocumentType = kPartDocumentObject Then
        Dim oPartDoc As PartDocument
        oPartDoc = oDoc
        'Coloca material escolhido
        oPartDoc.ComponentDefinition.Material = oMaterial
    End If
Next

```

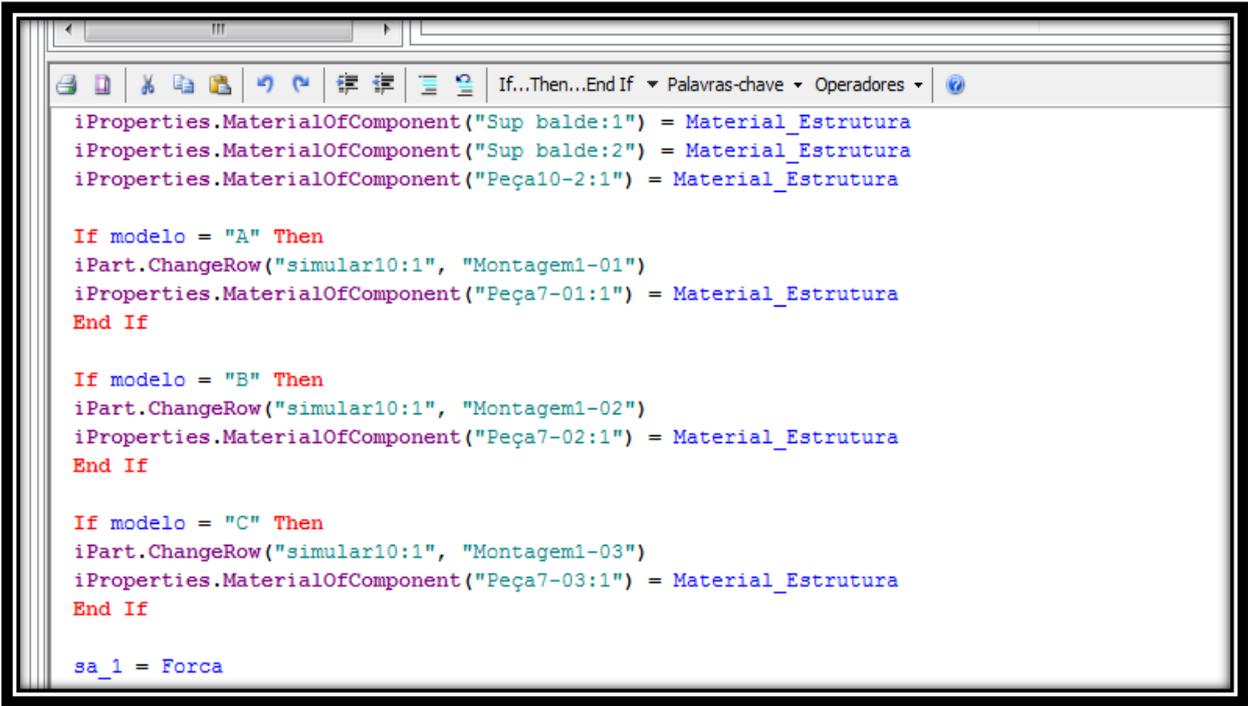
Figura 43 - Fonte: Próprio Autor

Por último, foi criada a regra para modificar/definir os dados de entrada para serem utilizados no ambiente de simulação (Figura 44). O único comando diferente aqui é o de trocar o modelo que vai passar pela simulação, que consiste em trocar a linha de seleção do iPart existente no modelo. Este comando também se encontra na árvore de comandos da interface do iLogic.

Um detalhe importante ao se utilizar o iLogic com o ambiente de simulação, é que primeiramente precisa se criar e executar uma simulação fazendo com que o Inventor gere os parâmetros de simulação para que então possamos utiliza-los nas regras, pois estes parâmetros não podem ser criados e definidos pelo usuário como no processo de modelagem. Neste caso, o único parâmetro utilizado foi o do valor da força aplicada, que o Inventor criou com o nome de 'sa_1' como indica a última linha da programação da Figura 44.

Diante da necessidade de que o usuário insira tantas informações, com propósito de desenvolver uma ferramenta automática e simples, foi criado um formulário de interface, para aplicar as alterações de forma automática. Nesta tela de interface que foi desenvolvida exclusivamente para este projeto e é exibida nas Figura 45-47, foram criados três grupos de dados de entrada divididos em abas, onde o usuário pode inserir todos os dados necessários de forma organizada. Outro formulário também foi criado para inserir os dados de cadastro.

Figura 44 - Regra “Simulação”



```

iProperties.MaterialOfComponent("Sup balde:1") = Material_Estrutura
iProperties.MaterialOfComponent("Sup balde:2") = Material_Estrutura
iProperties.MaterialOfComponent("Peça10-2:1") = Material_Estrutura

If modelo = "A" Then
iPart.ChangeRow("simular10:1", "Montagem1-01")
iProperties.MaterialOfComponent("Peça7-01:1") = Material_Estrutura
End If

If modelo = "B" Then
iPart.ChangeRow("simular10:1", "Montagem1-02")
iProperties.MaterialOfComponent("Peça7-02:1") = Material_Estrutura
End If

If modelo = "C" Then
iPart.ChangeRow("simular10:1", "Montagem1-03")
iProperties.MaterialOfComponent("Peça7-03:1") = Material_Estrutura
End If

sa_1 = Forca
  
```

Figura 44 - Fonte: Próprio Autor

Figura 45 – Formulário de “Cadastro”



Nome da Peça	Montagem Completa
Descrição	Trabalho Graduação
Cliente	UNESP
Projetista	Victor

Concluído

Figura 45 - Fonte: Próprio Autor

Figura 46 – Formulários de “Customização”

The screenshot shows the 'Customização' dialog box with the 'Estrutura Principal' tab selected. The fields are: 'Distancia Base' (550 mm), 'Altura' (1400 mm), 'Material Estrutura Principal' (Genérico), and 'Material de todo Elevador' (Genérico). A 'Concluído' button is at the bottom.

Field	Value
Distancia Base	550 mm
Altura	1400 mm
Material Estrutura Principal	Genérico
Material de todo Elevador	Genérico

The screenshot shows the 'Customização' dialog box with the 'Barras de Reforço' tab selected. The fields are: 'Barras Reforço' (Não), 'Numero Reforço' (1 mm), 'Distancia Reforço' (100 mm), and 'Espessura Reforço' (15 mm). A 'Concluído' button is at the bottom.

Field	Value
Barras Reforço	Não
Numero Reforço	1 mm
Distancia Reforço	100 mm
Espessura Reforço	15 mm

The screenshot shows the 'Customização' dialog box with the 'Argolas de Fixação' tab selected. The fields are: 'Argolas' (Não), 'Posição Argolas' (150 mm), and 'Diametro Argola' (30 mm). A 'Concluído' button is at the bottom.

Field	Value
Argolas	Não
Posição Argolas	150 mm
Diametro Argola	30 mm

Figura 46 - Fonte: Próprio Autor

Figura 47 – Formulário de “Simulação”

Figura 47 - Fonte: Próprio Autor

Contudo, com a parametrização do modelo 3D do elevador transportador, que foi inicialmente construído com dimensões proporcionais à um caso real, foi possível criar uma ferramenta exclusiva capaz de criar inúmeros modelos deste equipamento variando os dados de entrada pré-definidos. Estes modelos podem ser para estudos e simulações estruturais utilizando *softwares* de análise estrutural. O uso de um mesmo *software* para gerar o modelo 3D e para analisar a estrutura é aconselhável com o objetivo de reduzir o número de problemas técnicos e agilizar o processo de otimização, que é manual, porém com o um grau de dificuldade muito reduzido em função do uso do modelo parametrizado.

4.3 SIMULAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Para realização das simulações foram definidos 3 modelos a serem analisados, onde variamos o material dos modelos e a força aplicada, sendo realizadas um total de 12 simulações cujas especificações serão apresentadas à frente. Os materiais utilizados foram Aço e Alumínio 6061 com as propriedades definidas na tabela 1, propriedades que já vem como padrão do próprio Inventor.

Tabela 1 – Propriedades dos Materiais

Material	Resistencia ao escoamento [MPa]	Resistencia à tração [MPa]
AÇO	207	345
ALUMÍNIO 6061	275	310

Tabela 1 - Fonte: Próprio Autor

O tipo de simulação selecionada para este modelo foi a estática, como ilustrado na Figura 48, a qual possibilita analisar deformações e deslocamentos na estrutura.

Figura 48 – Tipo de Simulação

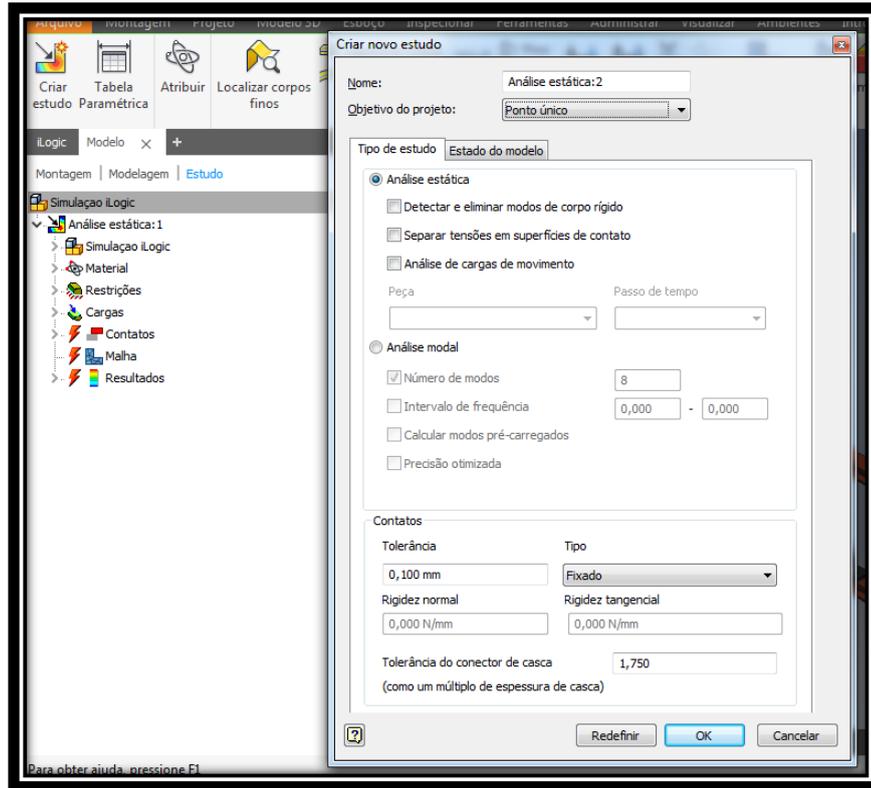


Figura 48 - Fonte: Próprio Autor

Esta ferramenta necessita para preparar o modelo da simulação que o usuário selecione o material, defina as restrições, aplique o carregamento desejado e crie a malha de elementos finitos, a qual foi mantida do padrão apresentado pelo software. Os materiais já foram escolhidos como mostrando anteriormente, já as restrições, posição dos carregamentos e malhas estão representadas nas Figuras 49, 50, e 51.

Figura 49 - Especificações do Modelo A

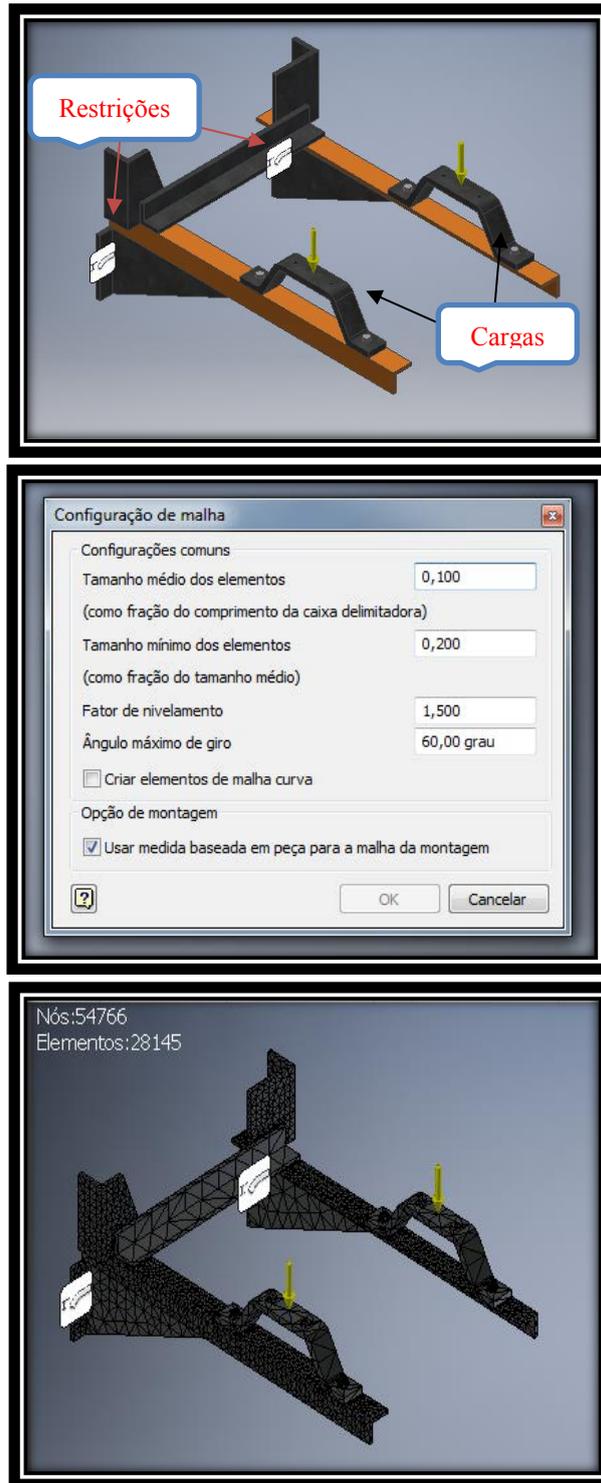


Figura 49 - Fonte: Próprio Autor

Figura 50 - Especificações do Modelo B

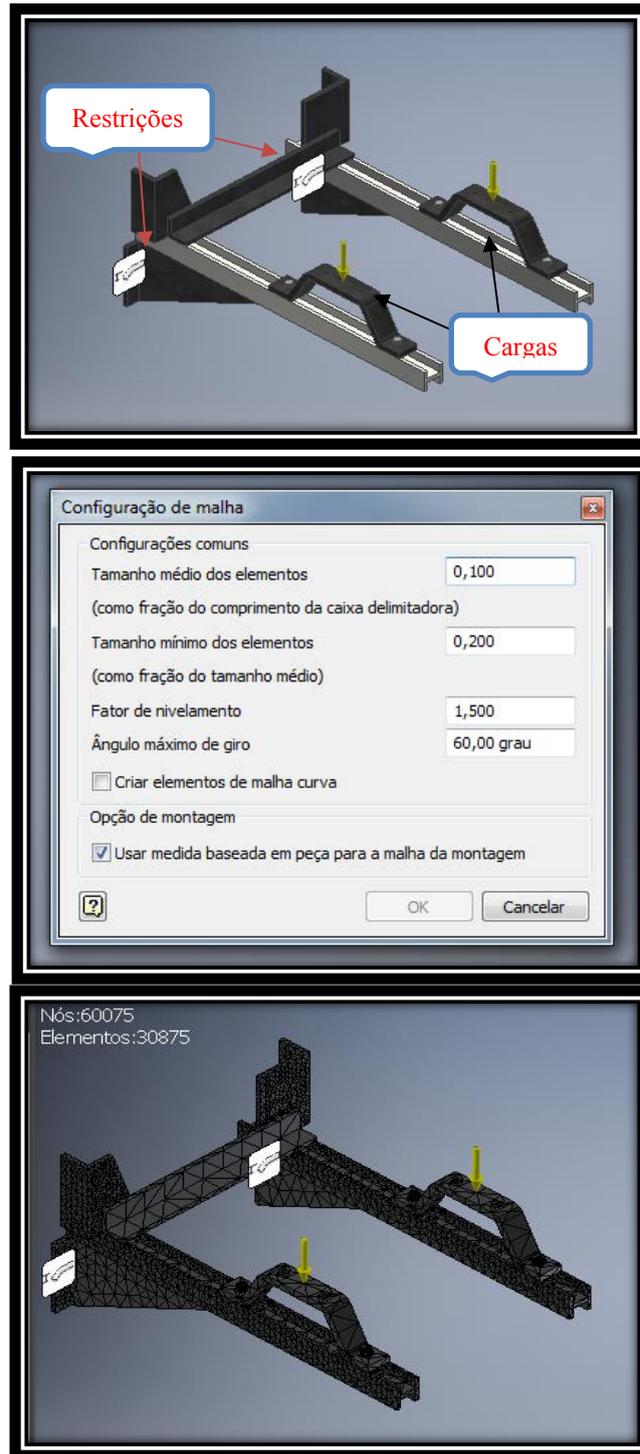


Figura 50 - Fonte: Próprio Autor

Figura 51 - Especificações do Modelo C

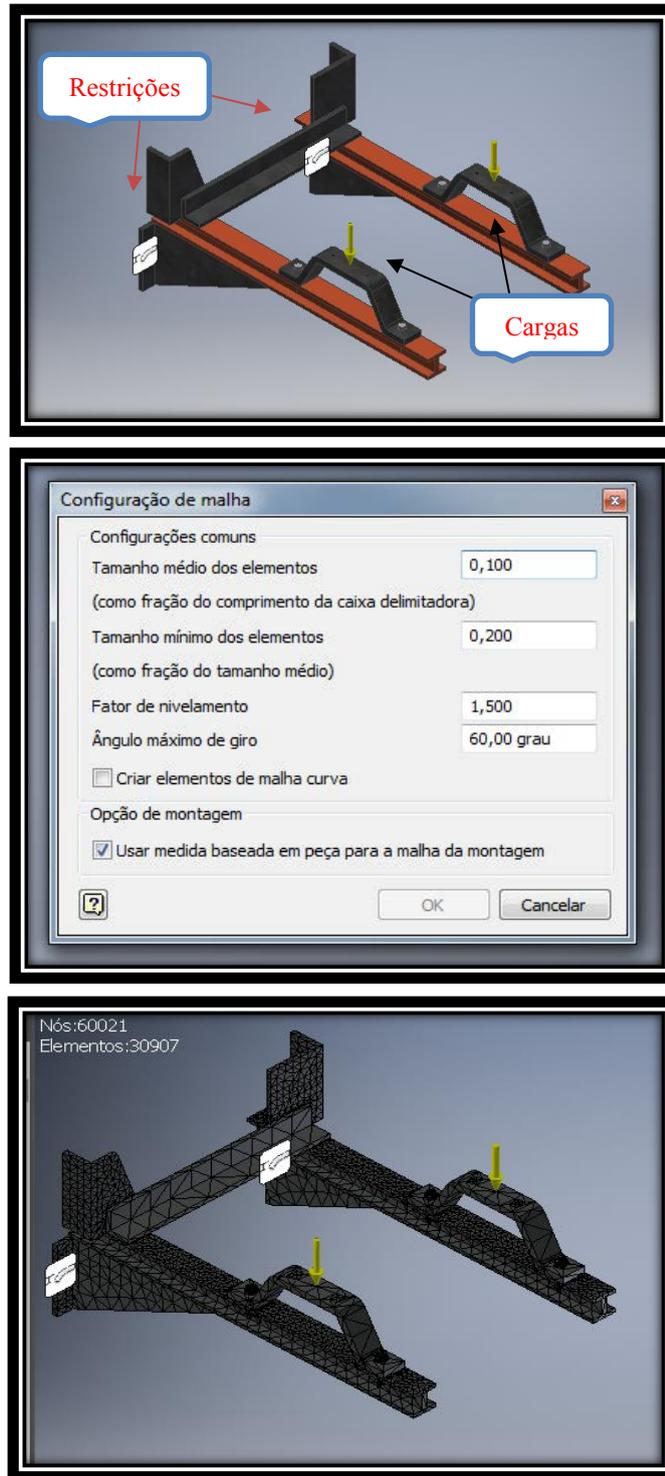


Figura 51 - Fonte: Próprio Autor

Estes modelos foram escolhidos por serem a parte mais crítica do conjunto e também para facilitar e agilizar o processo de simulação, utilizar o modelo completo exige mais capacidade de processamento sendo necessária a utilização de um computador mais potente que o utilizado.

Figura 52 – Análise de Deslocamento

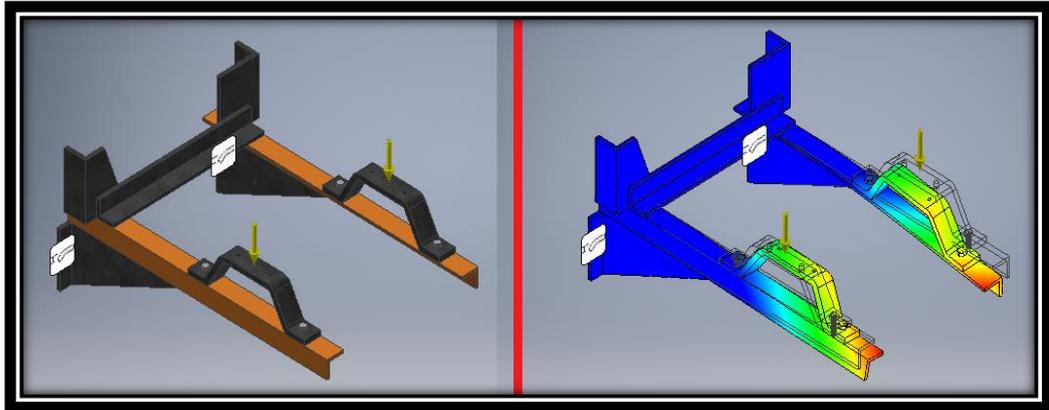


Figura 52 - Fonte: Próprio Autor

Nas simulações foram alteradas a força aplicada, material da estrutura e variações dos 3 modelos para então se coletar os dados de deslocamento ocorrido (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultados do processo de simulação dos modelos

Material - Aço		
Modelo	Força [N]	Deslocamento Max. [mm]
A	600	0,2830
B	600	0,2137
C	600	0,1707
A	1000	0,4738
B	1000	0,3562
C	1000	0,2833
Material - Alumínio 6061		
Modelo	Força [N]	Deslocamento Max. [mm]
A	600	0,8243
B	600	0,6381
C	600	0,5090
A	1000	1,374
B	1000	1,064
C	1000	0,8484

Tabela 2 - Fonte: Próprio Autor

As ferramentas iLogic e iAssembly foram utilizadas para criar estes ambientes de simulação onde os dados de entrada podem ser modificados através de um formulário (Figura 47), facilitando assim o processo de simulação.

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O modelo parametrizado utilizando iLogic e iPart desenvolvido para criar modelos 3D da estrutura do elevador transportador foi criado e validado com sucesso. Esta ferramenta customizada para foco em uso na indústria possibilita uma redução significativa de tempo e custos com a engenharia de projeto, sendo que um modelo pode ser criado e modificado rapidamente.

Diante destes resultados satisfatórios, cabe ressaltar que o desenvolvimento desde a pesquisa inicial até a conclusão foi executado em um período de aproximadamente 7 meses, sendo a maior parte deste tempo dedicada ao estudo, desenvolvimento e principalmente testes da parametrização através do iLogic. Esta ferramenta é muito completa, eficiente e com potencial para desenvolvimentos muito mais complexos que o apresentado neste trabalho.

Com os dados coletados na etapa de simulação fica claro que o modelo C se mostra mais resistente independente do material escolhido, sendo assim, mais adequado para cargas maiores, mostrando se uma possível melhoria em relação ao projeto de desenho original que utiliza o modelo A.

5 CONCLUSÕES

A aplicação do iLogic foi o ponto principal para a realização deste trabalho que poderia ter maiores dificuldades para chegar a um resultado final se fosse realizado com outras ferramentas similares do *software* Autodesk Inventor 2018. Através desta ferramenta, a programação de parâmetros, ou seja, a parametrização tem inúmeras possibilidades que permitiram o desenvolvimento apresentado neste trabalho, além de modelos parametrizados completos.

O modelo paramétrico desenvolvido foi testado e aprovado para que possa ser então aplicado em outros projetos mais complexos com intuito de reduzir significativamente as horas de engenharia para as atividades de cálculo, estudos e projeto do conjunto da estrutura. Com a aplicação desta ferramenta o departamento de engenharia pode ganhar mais produtividade reduzindo o tempo de projeto, o que garante uma vantagem competitiva na negociação de novos negócios para a empresa.

A partir das vantagens geradas por esta ferramenta, o trabalho pode ser avaliado como um exemplo de desenvolvimento para aumentar a autonomia da engenharia com uma ferramenta padronizada para as necessidades específicas do equipamento evitando a adaptação de ferramentas disponíveis no mercado, o uso de métodos empíricos ou de relações de equivalência entre projeto.

Referente a análise da estrutura utilizando a ferramenta de simulação por meio de elementos finitos integrada ao *software* Autodesk Inventor 2018, apesar de não ter sido possível usar o modelo de estudo de caso como um todo, conseguimos isolar uma parte suficiente para realização das simulações necessários, obtendo assim uma possível melhoria em relação ao projeto de desenho original ao se escolher o modelo C ao em vez do A.

A utilização de um computador mais adequado/potente certamente proporcionaria resultados mais completos.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A aplicação de modelos paramétricos para outros equipamentos pode ajudar as empresas a aumentar a competitividade no mercado garantindo redução de custos com o projeto, da mesma forma o desenvolvimento de ferramentas customizadas podem ser aplicadas a outros produtos e ferramentas para obtenção de resultados similares aos deste trabalho.

Contudo, a utilização de um mesmo *software* para a modelagem, cálculo estrutural e elaboração dos desenhos para fabricação de forma automática é uma possibilidade de projeto utilizando o *software* Autodesk Inventor. Estas ferramentas seriam um avanço tecnológico e produziriam reduções ainda maiores nos custos e tempo dos projetos mecânicos, mas diante da possibilidade de executar tal nível de parametrização e otimização, o trabalho em conjunto da universidade com profissionais da indústria seria muito importante e produziria resultados interessantes para ambas as partes em um tempo menor.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. **Técnicas de CAD**. 2002. 58f. – Apostila Departamento de Expressão Gráfica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- AUTODESK – **AUTODESK INVENTOR 2016 AJUDA** – Disponível em: <<http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2016/PTB/>>. Acesso em: 10 nov, 2017.
- BOGADO, W. H. **Customização de Sistemas Comerciais de CAD**. 1997, Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.
- CHANG, T., WYSK, R. , WANG, H. **Computer-Aided Manufacturing**. 2005, 670p.
- GRANDO, J. P. **Projeto Estrutural e Parametrização do projeto de uma comporta segmento utilizando o método dos elementos finitos**. Guaratinguetá, 2012. 160p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.
- HERCOS, L. R. P. **Projeto Estrutural e Parametrização de uma Comporta Deslizante Utilizando o Software Inventor**. 2015. 115f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.
- LOPES, P. M. B. G. S. **Parametrização e Otimização de equipamentos hidromecânicos em elementos finitos**. 2002. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- PROVENZA, Francesco. **Desenhista de máquinas: Protec**. 46. ed. São Paulo: F.provenza, 1991.
- SHIH, R. H. **Parametric Modeling with Autodesk Inventor 2015**. Mission, KS: SDC Publications, 2014.
- SPECK, H. J. **Proposta de método para facilitar a mudança de técnicas de projetos: da prancheta à modelagem sólida (CAD) para empresas de engenharia de pequeno e médio porte**. 2005. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- WAGUESPACK, C. **Mastering Autodesk Inventor 2014 and Autodesk Inventor LT 2014**.
- ZEID, I. **Mastering CAD/CAM**. New York: McGraw Hill, 2005, 962p.