

Notas Técnicas do Laboratório Nacional de Astrofísica

# **Uso de ferramentas “open source” no desenvolvimento optomecânico**

Márcio Vital de Arruda

LNA/NT/2022-23  
Março/2022

# **Uso de ferramentas “open source” no desenvolvimento optomecânico**

Márcio Vital de Arruda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Laboratório Nacional de Astrofísica, marruda@lna.br*

**Resumo:** Esta nota apresenta uma metodologia para desenvolvimento de projeto optomecânico usando um aplicativo *open source*, o *Freecad*.

**Abstract:** *This document presents an optomechanical design development methodology by using open source software Freecad.*

**Palavras-chave/keywords:** código livre; *Freecad*; optomecânico; desenvolvimento / *open source*; *Freecad*; *optomechanics*; *development*

**Submetido em:** Março/2022.

**Revisado por:**

Bruno Vaz Castilho

Décio Ferreira

Flávio Felipe Ribeiro

# Sumário

<b>Acrônimos e definições</b>	<b>5</b>
<b>Escopo do documento</b>	<b>5</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>6</b>
<b>2 O aplicativo <i>Freecad</i></b>	<b>6</b>
<b>3 O desenvolvimento optomecânico</b>	<b>9</b>
3.1 A óptica . . . . .	10
3.1.1 Inclusão da planilha de coordenadas . . . . .	10
3.1.2 Inclusão do arquivo <i>STEP</i> do projeto óptico . . . . .	13
3.1.3 Criação dos LCS do projeto óptico . . . . .	15
3.2 A mecânica . . . . .	18
3.2.1 Inclusão de arquivos comerciais . . . . .	19
3.2.2 Criando peças no <i>Freecad</i> usando <i>Part design</i> . . . . .	25
<b>4 Exportando o desenho de montagem</b>	<b>29</b>
<b>5 Resultados</b>	<b>30</b>
<b>6 Conclusões</b>	<b>31</b>
<b>Agradecimentos</b>	<b>32</b>
<b>Referências</b>	<b>32</b>

# Lista de Figuras

2.1 Tela do aplicativo <i>Freecad</i> . . . . .	7
2.2 Gerenciador de extensões do <i>Freecad</i> . . . . .	8
2.3 Seleção das bancadas de trabalho do <i>Freecad</i> . . . . .	9
3.1 Projeto óptico . . . . .	10
3.2 Criando planilha . . . . .	11
3.3 Criando atalhos na planilha . . . . .	12
3.4 Ícones e Árvore do modelo . . . . .	12
3.5 Importando <i>STEP</i> do projeto óptico . . . . .	14
3.6 Projeto óptico 3d . . . . .	14
3.7 Referenciando e editando um esboço . . . . .	16
3.8 O editor de fórmula . . . . .	17
3.9 Pontos de referência . . . . .	17
3.10 Criando LCS . . . . .	18

3.11	Criando LCS com base em outra LCS . . . . .	19
3.12	Suporte do colimador devidamente inserido . . . . .	20
3.13	Situação da LCS com relação ao suporte . . . . .	20
3.14	Inserindo e rotacionando LCS . . . . .	21
3.15	Selecionando e referenciando desenho na montagem . . . . .	22
3.16	Inserindo e rotacionando o suporte da lente colimadora . . . . .	23
3.17	Janela de propriedades e janela de corte . . . . .	24
3.18	Poste montado no conjunto . . . . .	25
3.19	Tornando objeto ativo . . . . .	26
3.20	Esboço da bancada óptica . . . . .	27
3.21	Extrusão da bancada óptica . . . . .	27
3.22	Medindo a posição do suporte óptico . . . . .	28
3.23	Esboço e furo M6 . . . . .	28
3.24	Inserção e localização da bancada na montagem . . . . .	29
5.1	Projeto da caixa de calibração do ECHARPE . . . . .	30

## Acrônimos e definições

**ECHARPE**      *Espectrógrafo eCHelle de Alta Resolução para o Perkin-Elmer*

**LCS**            *Local Coordinate System*

**LNA**            *Laboratório Nacional de Astrofísica*

**OPD**            *Observatório Pico dos Dias*

**STEP file**       *Arquivo de modelo sólido sob norma ISO 10303-21*

## Escopo do documento

Esta nota tem o objetivo de apresentar, orientar e disponibilizar meios de desenvolvimento optomecânico utilizando o aplicativo *Freecad* de código livre.

# 1 Introdução

O uso de ferramentas *open source* nunca foi bem visto por profissionais. Apenas entusiastas aficionados por computador enxergam e conseguem retirar bons resultados de tais ferramentas. Há vários anos, desde o lançamento de sistemas operacionais de código fonte livre, como exemplo o Linux, tem-se visto uma enxurrada de aplicativos ditos como livre. Acontece que nem sempre tais aplicativos são necessariamente livres. Alguns desenvolvedores disponibilizam o aplicativo com poucos recursos para que possa ser avaliado de maneira “livre”, desde que não seja utilizado para fins comerciais, como por exemplo o aplicativo *Sketchup*<sup>TM</sup>

Existem, então, duas categorias de licenças, as livre ou *freesoftware*, e as código livre ou ainda *open source*. Os aplicativos de licença código livre não possuem restrições de utilização sendo possível o uso para fins comerciais sem ônus para o usuário ou empresa. Bons exemplos de ferramentas de código livre para desenhos são *OpenScad*[4], *Blender*[1] e *Freecad*[2]. Destes, apenas o *OpenScad* e o *Freecad* são capazes de gerar sólidos. O aplicativo *Blender* é excelente para desenvolvimento de malhas (modelamento de superfícies), animação e renderização.

Esta nota apresentará o desenvolvimento de um projeto optomecânico de pequeno porte com o uso do aplicativo *Freecad*. Na seção 1, será apresentado o aplicativo e onde encontrar ajuda para utilização. A seção 2 apresentará parte do o desenvolvimento optomecânico da caixa de calibração do projeto ECHARPE e como foi seu desenvolvimento usando o aplicativo *Freecad*. A seção 3 apresentará algumas impressões acerca do desenvolvimento usando o aplicativo de código livre. E por fim, a seção 4 apresenta conclusões sobre a possibilidade de utilização do aplicativo de forma profissional dentro das regras de desenvolvimento da instituição.

## 2 O aplicativo *Freecad*

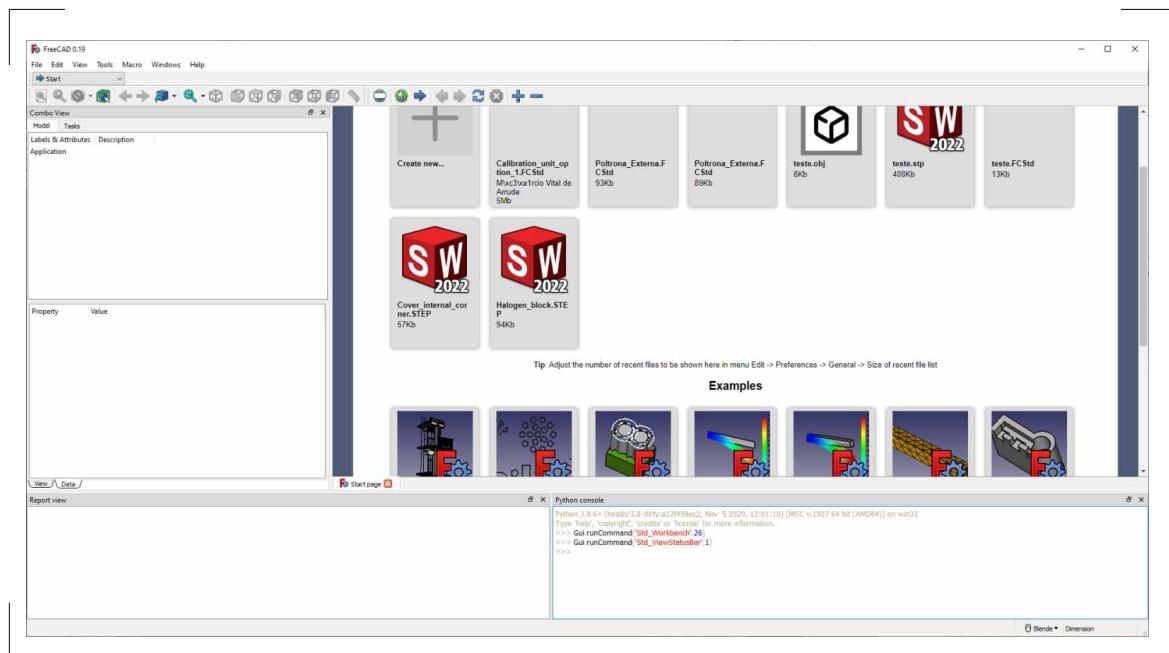
*Freecad* é um aplicativo de desenho paramétrico, multiplataforma e de código fonte livre. Seu desenvolvimento iniciou em 2001, segundo descrição do próprio autor Jürgen Riegel [3]. Seu desenvolvimento é gerenciado pelo próprio autor sob licença *GNU Lesser General Public License*. Devido a esta licença livre, seu uso profissional é permitido.

O Laboratório Nacional de Astrofísica, utiliza o aplicativo pago *Solidworks*<sup>TM</sup>, aplicativo referência no mundo na área de desenvolvimento para astronomia, por isso

é uma ferramenta indispensável. Esta nota não julgará nem fará comparação entre os aplicativos, sendo que não é possível a substituição de um aplicativo pelo outro. O aplicativo pago sempre estará na vanguarda pois é atualizado ano a ano e possui uma infinidade de ferramentas úteis necessárias no desenvolvimento optomecânico.

A intenção do uso do aplicativo *Freecad* na instituição é como uma ferramenta auxiliar alternativa, permitindo o treinamento de bolsistas e estagiários, e de fácil compartilhamento com os demais colegas que utilizam o *Solidworks*<sup>TM</sup>. Pode ser uma opção devido ao número limitado de licenças *Solidworks*<sup>TM</sup> disponíveis.

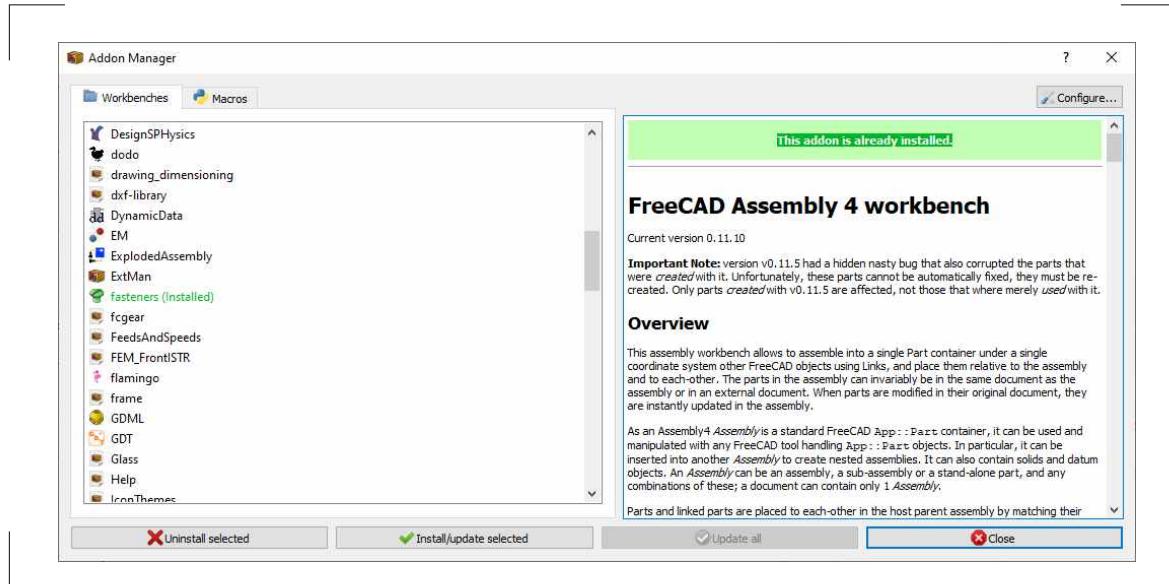
O *Freecad* pode ser obtido diretamente do sitio do desenvolvedor em [www.freecadweb.org/](http://www.freecadweb.org/). A instalação é simples, bastando apenas executar o arquivo abaixado e seguir os passos descritos no instalador. Uma vez instalado o aplicativo está pronto para ser executado. Por padrão o *Freecad* utiliza a língua definida no sistema operacional. Caso o usuário opte por outra língua, pode ser alterado a qualquer momento em Preferências. A Figura 2.1 apresenta uma imagem padrão do *Freecad*.



**Figura 2.1:** Tela do aplicativo *Freecad*. [FONTE: Arquivo do autor]

Para que seja possível a utilização do *Freecad* conforme será apresentado nesta nota técnica, o usuário precisa complementar a instalação do aplicativo com algumas ferramentas extras, chamadas *Addon* ou extensões em português. Tais ferramentas podem ser adicionadas por meio do gerenciador de extensões / *Addon Manager*, na guia Ferramentas / *Tools*. Uma vez na janela do gerenciador de extensões selecionar

e instalar as extensões Assembly4 e fasteners. Como exemplo a imagem da Figura 2.2 apresenta o gerenciador de extensões com o pacote fasteners instalado.



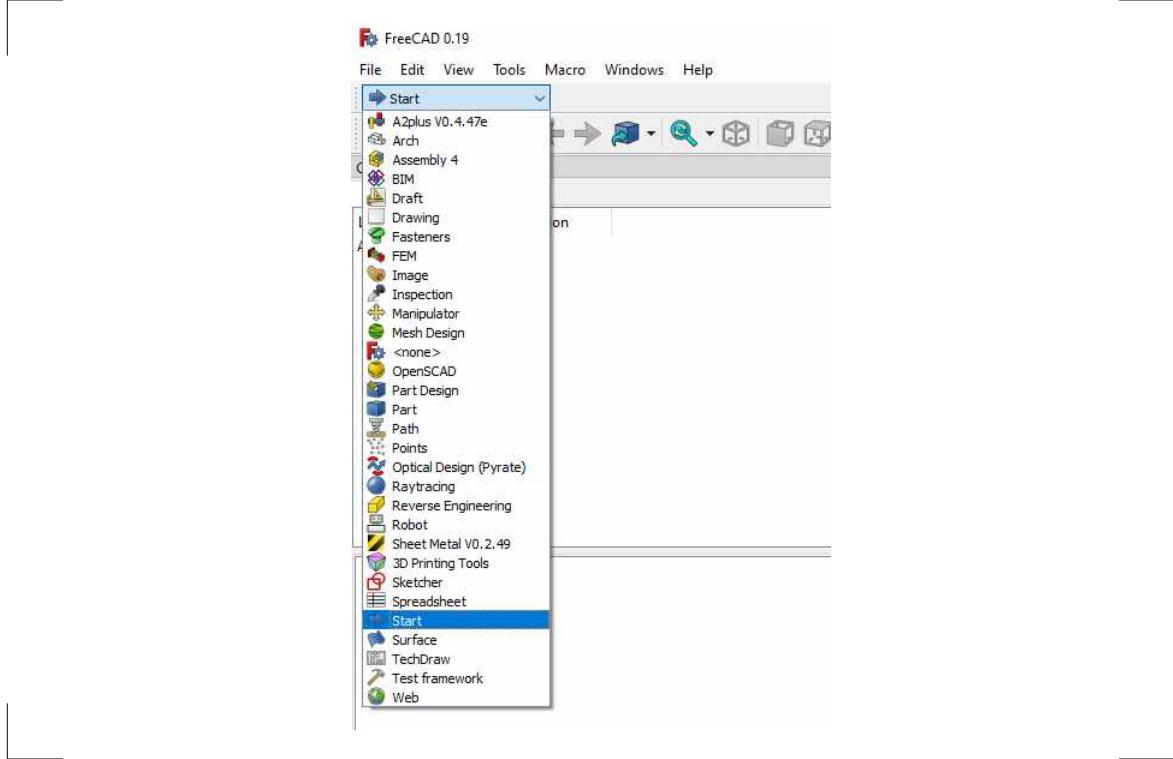
**Figura 2.2:** Gerenciador de extensões do *Freecad*. [FONTE: Arquivo do autor]

O usuário pode utilizar o *Freecad* de maneira similar ao *Solidworks™* com edição de esboços para extrusões e cortes a partir de um plano de referência. E, também pode desenhar com ferramentas do *OpenScad*, cuja peça final é obtida por operações booleanas de desenhos primitivos. Para isto, o usuário deve escolher uma das Bancadas de Trabalho / *Workbenches* e podem ser acessadas facilmente a partir da guia *Start*, conforme imagem da Figura 2.3. A lista apresentada contém dezenas de bancadas, porém apenas algumas serão muito úteis para o desenvolvimento. Só para conhecimento, há uma bancada de trabalho específica para integração com impressora 3D.

Basicamente esta nota utilizará as seguintes bancadas de trabalho:

- *Spreadsheet*
- *Assembly 4*
- *Part Design*
- *Sketch*

Uma boa dica para o usuário iniciante é buscar tutoriais escritos ou em vídeo na internet ou até mesmo na Wiki do projeto[3]. Vale salientar que como todo projeto de



**Figura 2.3:** Seleção das bancadas de trabalho do *Freecad*. [FONTE: Arquivo do autor]

código fonte livre sua documentação não é excepcional. A carência de informações na documentação pode ser suprida por pesquisa em grupos de usuários.

O autor desta nota não incluirá detalhamento de desenhos com o *Freecad*. Este assunto será de uma outra nota técnica, devido a complexidade na edição dos modelos de folha de desenho, pois envolve outro aplicativo também de código livre.

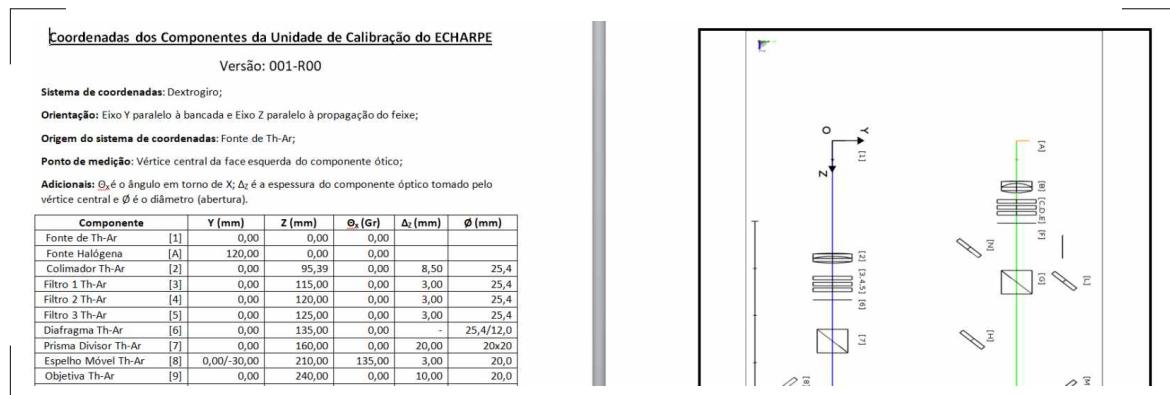
### 3 O desenvolvimento optomecânico

Para apresentar como é feito o desenvolvimento optomecânico no *Freecad* será tomado como base o desenvolvimento da caixa de calibração do espectrógrafo ECHARPE. Como até o momento da escrita desta nota o projeto da caixa de calibração não contemplava a automação, ou seja, os motores e sensores, portanto todo conteúdo apresentado aqui não pode ser utilizado como documento oficial da caixa de calibração. O desenvolvimento apresentado aqui serve apenas como um guia para uso do aplicativo *Freecad* como ferramenta de desenvolvimento dentro da metodologia de projeto optomecânico na área de astronomia.

Para facilitar a compreensão da metodologia, esta seção será dividida em duas partes principais, a óptica e a mecânica.

### 3.1 A óptica

O desenvolvimento optomecânico inicia com as coordenadas do projeto óptico e as medidas dos componentes ópticos, ou melhor ainda se possível, um arquivo contendo os modelos sólidos dos elementos ópticos nas suas devidas coordenadas. Este arquivo é um bem conhecido no mundo dos projetos mecânicos, o *STEP file*. Normalmente, essa metodologia de importar o *STEP file* já é suficiente para o desenvolvimento, no entanto, podem haver falhas na importação e esse elemento óptico, ao invés de ser um sólido, é uma superfície. Neste caso não é possível realizar cálculos de massa do conjunto, a menos que o usuário crie um desenho separado e inclua no conjunto óptico. A Figura 3.1 apresenta uma tabela com algumas coordenadas do projeto óptico e uma imagem com o referencial localizando a coordenada (0, 0).



**Figura 3.1:** Algumas informações sobre o projeto óptico. [FONTE: Documento sem referência de autoria]

O projetista é livre para determinar a coordenada x<sup>1</sup>, que depende da altura dos componentes optomecânicos que serão utilizados.

#### 3.1.1 Inclusão da planilha de coordenadas

Uma vez o aplicativo *Freecad* instalado com suas extensões necessárias e o projeto óptico, o usuário está pronto para iniciar um novo projeto optomecânico. O procedimento aqui é bem simples, bastando clicar em “NOVO” dentro da guia arquivo. Após

<sup>1</sup>Altura do eixo óptico em relação a bancada óptica

a criação de um novo arquivo é necessário carregar a bancada de trabalho *Spreadsheet* na guia *Start*, conforme imagem da Figura 2.3. Carregado a bancada de trabalho crie um planilha clicando na guia *Spreadsheet* criar planilha / *Create Spreadsheet*, conforme imagem da Figura 3.2.



**Figura 3.2:** Criando uma planilha na bancada de trabalho *Spreadsheet*. [FONTE: Arquivo do autor]

Uma vez criada a planilha, insira os dados de coordenadas. Aqui será necessário criar um Atalho / *Alias* para o valor correspondente para inclusão deste valor no projeto conforme demanda. O atalho é criado clicando na célula que contém o valor com o botão direito do *mouse*, selecionando Propriedades / *Properties*, e ir na guia Atalho / *Alias*. Como dica, inclua nomes fáceis conforme itens listados na planilha. Por exemplo:

- Fonte Halógena [A] coordenada Y: fonte\\_ halogena\\_ y
- Fonte Halógena [A] coordenada Z: fonte\\_ halogena\\_ z
- Fonte de Th-Ar [1] coordenada Y: fonte\\_ th\\_ ar\\_ y
- Fonte de Th-Ar [1] coordenada Z: fonte\\_ th\\_ ar\\_ z
- E assim por diante ...

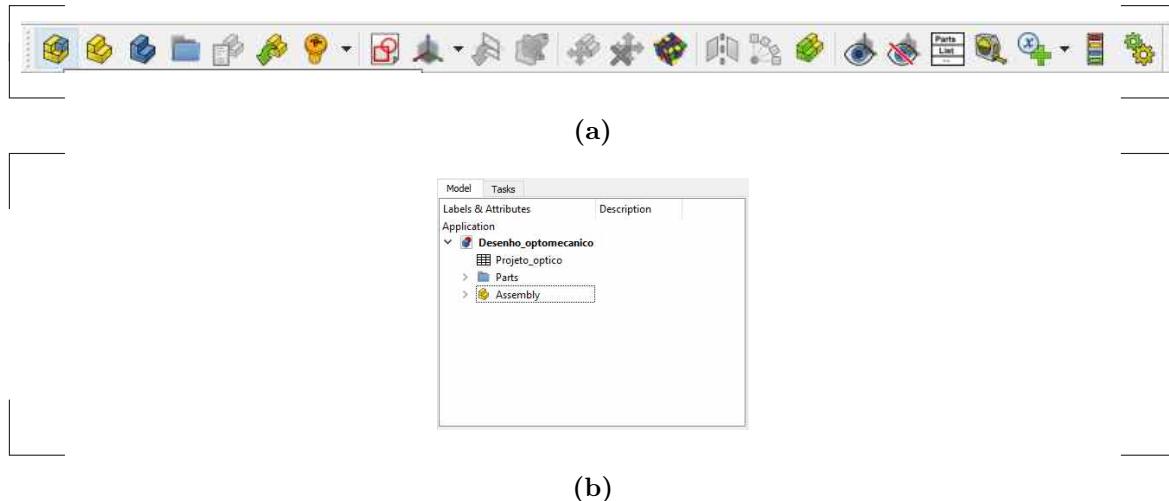
Também é possível criar um atalho clicando na célula e incluindo o nome do atalho no campo Atalho / *Alias* no canto superior direito externo a planilha conforme imagem da Figura 3.3. Note que a célula com o alias devidamente aplicado possui cor amarela.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Componente	Y (mm)	Z (mm)	Ox (Gr)	ΔZ (mm)	Ø (mm)	Furo					
2	Fonte de Th-Ar	[1]	0,00	0,00	0,00							
3	Fonte Halógena	[A]	120,00	0,00	0,00							
4	Colimador Th-Ar	[2]	0,00	95,39	0,00	8,50	25,40					

**Figura 3.3:** Criando atalhos em uma planilha *Freecad*. [FONTE: Arquivo do autor]

Não há necessidade de criar todos os atalhos necessários nesta etapa, porém é importante saber como fazê-lo. Caso esqueça de criar um atalho necessário, pode ser feito a posteriori. Outro ponto importante é que não há necessidade de abrir a bancada de trabalho *Spreadsheet* novamente, basta apenas abrir a planilha e criar o atalho no campo superior direito.

Próximo passo é abrir a bancada de trabalho *Assembly 4* e criar uma nova montagem na guia Assembly ou no ícone Figura 3.4a. Com isso o *Freecad* abrirá uma árvore na janela de modelo. Esta árvore contém uma pasta *Parts* e uma pasta *Assembly*, Figura 3.4b. A partir deste ponto iniciará a criação e colocação de peças.



**Figura 3.4:** (a) ícones da bancada *workbench* e (b) árvore do modelo do aplicativo *Freecad*. [FONTE: Arquivo do autor]

O *Freecad* pode manipular desenhos, sólidos ou malhas, dentro de uma Peça / Part ou dentro de uma Montagem / Assembly, como já apresentados na árvore do modelo. A escolha depende apenas de identificar se uma peça será utilizada apenas

uma vez ou várias vezes no projeto. Se for utilizar uma única vez, o usuário pode inserir uma peça diretamente no arquivo de montagem e manipulá-lo para colocar em posição. Caso o usuário for utilizar a mesma peça diversas vezes no projeto, esta deve ser criada na pasta *Parts*, e utilizar os ícones de inserção de peças na montagem conforme será apresentado mais adiante.

Há dois ícones importantes a serem citados aqui devido haver diferença entre eles, o criar Peça / Part, ícone , e o criar Corpo / Body, ícone . O Peça / Part é muito útil para manipular desenhos importados dentro da montagem, ao passo que o Corpo / Body é necessário para criação do desenho sólido usando a bancada de trabalho *Part Design*.

### 3.1.2 Inclusão do arquivo *STEP* do projeto óptico

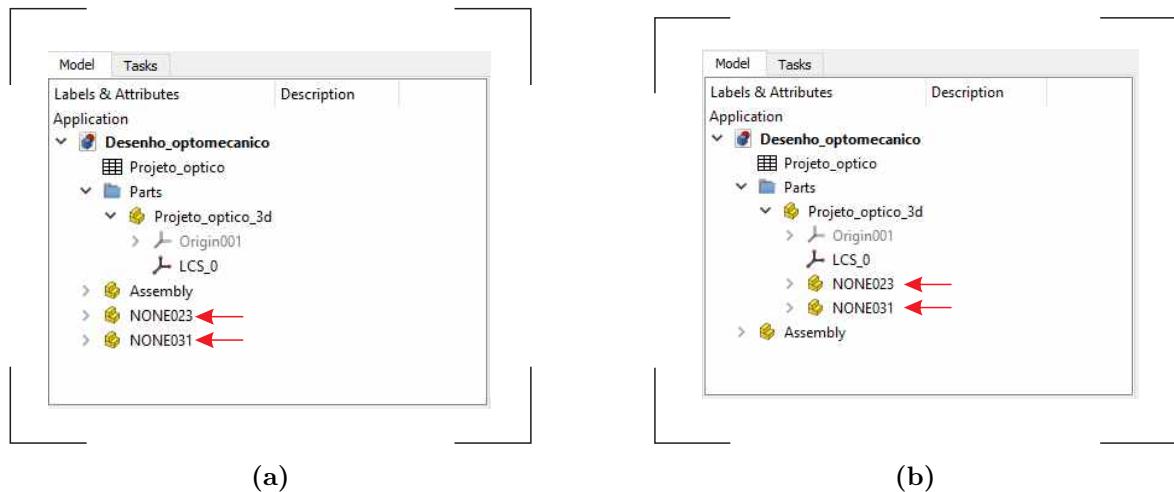
Para incluir o *STEP file*, deve-se primeiro selecionar a pasta *Parts* e criar uma peça clicando no ícone , como descrito anteriormente. Será solicitado um nome para a peça que pode ser alterado a qualquer momento a posteriori. Como sugestão escreva projeto\_optico. Neste ponto há uma mudança na árvore do modelo com a inclusão da peça e dois sistemas de coordenadas, os LCS como são rotulados pelo *Assembly 4*. LCSs são os sistemas de coordenadas locais, um conjunto de referências que o usuário pode inserir no desenho para localização. Esta é a base da construção de desenhos de montagem usando a bancada de trabalho *Assembly 4*. Lembrando que o *Freecad* possui duas bancadas de trabalho que são úteis para trabalhar com montagens, *Assembly 4* e o *A2Plus*. O *A2Plus* possui uma metodologia similar ao *Solidworks<sup>TM</sup>*. Mas, deve-se tomar muito cuidado na escolha das bancadas de trabalho pois não conversam entre si, obrigando o usuário a utilizar apenas uma.

A bancada de trabalho *Assembly 4* considera posicionamento absoluto no sistema de coordenadas global, a origem na montagem. Por isso é muito importante compreender como é feito o posicionamento dos objetos na montagem. Isto parece difícil de compreender em primeiro momento.

O mecanismo de relações restritivas como usadas no aplicativo *Solidworks<sup>TM</sup>* considera coordenadas relativas, ou seja, o usuário relaciona a posição de um objeto com relação a uma referência ou outro objeto qualquer. Quando necessário uma atualização na posição do elemento na montagem o usuário deve saber onde está a restrição e aplicar o novo valor. Esta alteração pode ser feita de maneira mais intuitiva usando um sistema de coordenadas global, que é o caso do *Assembly 4*, desde que a alteração utilize um sistema de coordenadas cartesianas.

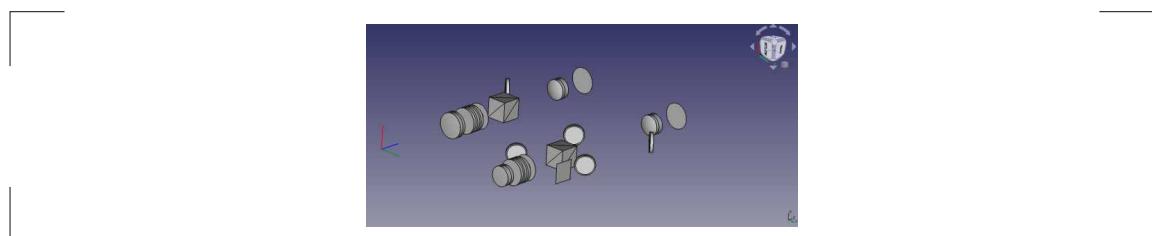
Aqui pode-se alterar o LCS\_0 para a posição que desejar que o desenho da óptica não irá mudar. Mas esta alteração afeta a inclusão na montagem. Estas modificações ficarão bem claras a medida que o usuário avançar nesta nota.

Para inserir o arquivo *STEP*, basta importar a partir da guia Arquivo / *File* em Importar / *Import*. O arquivo importado aparecerá imediatamente na árvore do modelo, porém ao final da árvore. Basta puxar o arquivo com o botão direito do mouse e arrastá-lo até a pasta da peça projeto\_optico. O resultado pode ser visto na imagem da Figura 3.5.



**Figura 3.5:** Situação da árvore de modelo em (a) após a importação e (b) após a manipulação pelo usuário. [FONTE: Arquivo do autor]

Na imagem da Figura 3.6 pode-se notar que o projeto ótico foi incluído e posicionado conforme o sistema de coordenadas utilizadas no aplicativo de projeto óptico onde o LCS\_0 está localizado na coordenada (0,0,0) cuja coordenada é referente a fonte de luz de Tório, a primeira linha da tabela apresentada na Figura 3.1.



**Figura 3.6:** Imagem da janela 3d contendo os elementos do projeto óptico. [FONTE: Arquivo do autor]

Dica: Para esconder o desenho, no *FreeCAD*, basta selecionar o desenho na árvore

do modelo e pressionar espaço no teclado. Para reaparecer o desenho, só refazer o procedimento.

### 3.1.3 Criação dos LCS do projeto óptico

Já foi mencionado anteriormente que o *Assembly 4* utiliza um sistema de montagem baseado em coordenadas. Desta forma, para facilitar o desenvolvimento, é importante criar as LCSs do projeto óptico. Tais LCSs serão pontos na face do elemento óptico e serão exatamente as coordenadas apontadas na tabela de projeto óptico. Desta maneira o usuário pode e deve nomear cada LCS de acordo com o elemento óptico descrito na tabela de projeto óptico.

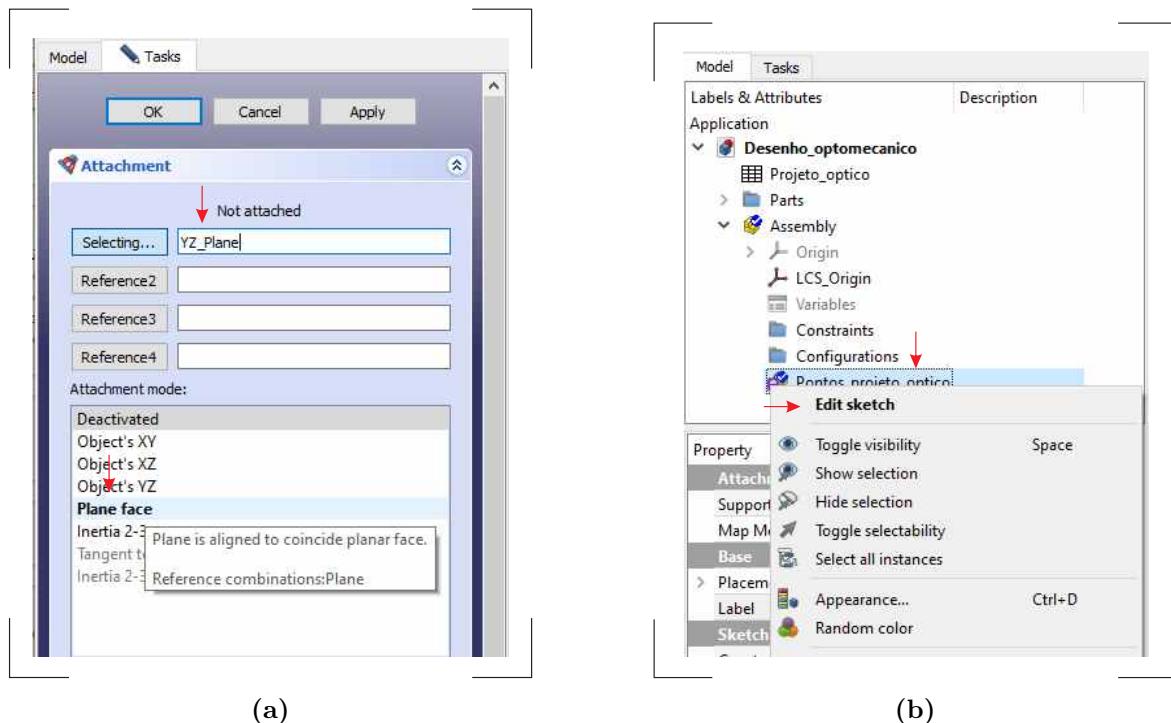
Primeiramente é necessário criar um Esboço / *Sketch* cujo ícone  está disponível na bancada de trabalho do *Assembly 4* para inserir as referências das coordenadas da tabela de projeto óptico. Os elementos a serem desenhados serão pontos, os quais devem estar visíveis para utilização como referência para as LCSs. Note que, como estes pontos serão referenciados conforme tabela de projeto óptico, alterando dados da tabela, automaticamente serão alterados as posições destes pontos e consequentemente as LCSs que serão criadas seguindo estes pontos. Em resumo, são como referências cruzadas. Logo este esboço deve ser criado em *Assembly*<sup>2</sup>, basta selecioná-lo.

Uma vez o *Assembly* selecionado basta clicar no ícone Esboço / *Sketch*  e imediatamente uma janela com nome do esboço se abrirá. Escolha um nome e clique em *OK*. Logo após aparecerá uma janela solicitando algumas informações. Estas informações são necessárias para ajustar os planos de referência do esboço recém criado. O plano de referência que será utilizado será o plano YZ, como pode ser conferido no modelo em 3d apresentado na Figura 3.6. A coordenada X será a altura do eixo óptico, ou altura deste plano YZ com relação ao plano da bancada do instrumento. Assim, digite *YZ\_Plane* na primeira caixa disponível e selecione *Plane Face*, então clique *OK* para finalizar o comando. Este procedimento pode ser visto na Figura 3.7a. Para editar o esboço para começar a desenhar os pontos basta selecionar o esboço recém criado na árvore do modelo conforme imagem apresentada na Figura 3.7b.

A partir deste ponto o *FreeCAD* entrará automaticamente na bancada de trabalho *Sketcher* e aparecerá novos ícones. Agora o usuário deve criar o ponto selecionando na guia *Sketch*, *Sketcher geometries* e *Create point*, ou simplesmente selecionando o ícone  na barra de ícones. Cada ponto que será inserido é uma coordenada (Y,Z) na tabela

---

<sup>2</sup>Ver a árvore apresentada na Figura 3.4b

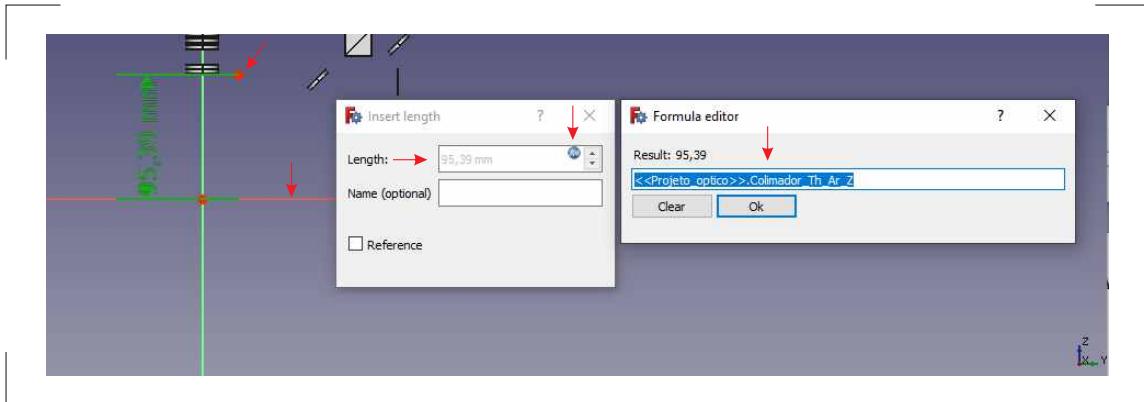


**Figura 3.7:** (a) Imagem da janela apresentando dados de referência do novo esboço e (b) para editar o esboço. [FONTE: Arquivo do autor]

de projeto óptico, e como exemplo, será utilizado as coordenadas Y e Z do Colimador da lâmpada de Tório, o item número 3 da tabela de projeto óptico. Coloque o primeiro ponto em qualquer local dentro da janela 3d. É bom localizar o ponto inserido para só então inserir novo ponto. O comando de *Create point* só encerra se o usuário pressionar a tecla *Escape* ou simplesmente *ESC* no teclado. Ponto inserido, volte na guia *Sketch* e selecione em *Sketcher constraints*, *Constrain distance*, para criar uma restrição de distância ou clicar no ícone . Para relacionar o ponto clique no ponto e depois na linha de referência horizontal, em vermelho. Aparecerá uma janela com o valor da distância que o ponto se encontra. Nesta janela deve-se clicar em *Fx* , uma bolinha azul e cinza no final do campo do valor da medida, e aparecerá uma janela *Formula editor* ou em português Editor de fórmula. Tome cuidado para digitar corretamente aqui no campo do editor a seguinte formula: «Projeto\_optico».Colimador\_Th\_Ar\_Z. Inicie escrevendo o nome projeto que as sugestões aparecerão na tela então é só selecionar e escrever o nome do atalho ou *alias* definido na tabela de projeto óptico, que neste caso é Colimador\_Th\_Ar\_Z, e, novamente o aplicativo apresentará as sugestões de nomes no momento que o usuário iniciar a escrita.

A Figura 3.8 apresenta todo este processo resumidamente. Note que «Pro-

jeto\_optico» é o nome da tabela definida anteriormente.



**Figura 3.8:** Imagem da janela 3d com o editor de fórmula. [FONTE: Arquivo do autor]

O em relação a Y, não há necessidade de criar uma dimensão para relacionar a coordenada y do ponto, basta selecionar o ponto e com a tecla *shift* ligada selecione o eixo vertical, depois crie uma restrição de fixar um ponto num objeto, o ícone .

Repita o procedimento até completar todos os pontos da tabela de projeto óptico. Se der tudo certo deve-se obter uma imagem similar a Figura 3.9.

**NOTA IMPORTANTE:** Os pontos são considerados como geometria de referência dentro do aplicativo *Freecad*, sendo assim para que o ponto fique visível após o fechamento do esboço o usuário deve, antes de fechar o esboço, selecionar os pontos criados e alterar para esboço normal clicando no ícone . É importante que o esboço fique visível porque os pontos serão utilizados para criação das LCSs.



**Figura 3.9:** Imagem apresentando os pontos de referência bem definidos no esboço e aparentes na janela 3d. [FONTE: Arquivo do autor]

Próximo passo agora é criar as LCSs. Para isso, com a bancada *Assembly 4* carregada e a pasta assembly na árvore do modelo selecionada, clique na guia Assembly,

Criar objeto de referência / *Create datum object*, Novo sistema de coordenada / *New coordinate system*, ou melhor, no ícone  . Abrirá uma janela com o nome da LCS e use como sugestão o nome da referência, que neste caso exemplo a primeira será LCS\_Colimador\_Th\_Ar. Clicando em *OK*, aparecerá uma tela para localizar este sistema de coordenadas no desenho. Será usado como base o ponto do Colimador criado no esboço Pontos\_projeto\_optico. Para isso clique no ponto do esboço, que mudará de cor, de branco para verde, e selecione *translate origin*. Bastando apenas clicar em *OK* para finalizar o comando. Tal procedimento pode ser visto na Figura 3.10



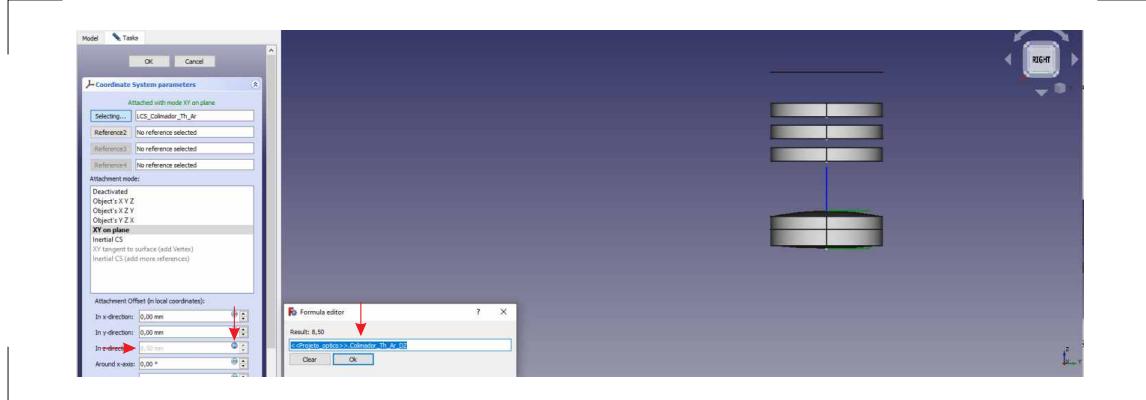
**Figura 3.10:** Imagem apresentando parte do procedimento de criar a LCS no desenho.  
[FONTE: Arquivo do autor]

Repetir o processo até criar todos os LCS referente a cada componente óptico definido na tabela de projeto óptico.

Essas LCSs estão na primeira face do elemento óptico, caso seja necessário referenciar algum objeto com relação a outra face do elemento, é necessário criar uma LCS considerando a espessura do elemento que neste caso é a coluna DZ da tabela de projeto óptico, conforme imagem da Figura 3.3. Neste caso, crie uma LCS, adicione o nome da LCS de origem, que neste caso é LCS\_Colimador\_Th\_Ar, clique em *XY on plane* e translade na direção de Z clicando no ícone  e inclua o nome «Projeto\_optico».Colimador\_Th\_Ar\_DZ, clicando *OK* ao final. Observe que o processo de chamar a referência é similar a chamar a referência na construção do esboço como descrito anteriormente. Isso pode ser visualizado na Figura 3.11.

## 3.2 A mecânica

A partir deste ponto já é possível juntar os itens comerciais e o desenvolvimento de peças no conjunto. Os itens comerciais normalmente utilizados em optomecânica



**Figura 3.11:** Imagem apresentando a criação de uma LCS com base em uma LCS preexistente. [FONTE: Arquivo do autor]

podem ser encontrados em lojas online específicas, como por exemplo a Thorlabs<sup>[5]</sup> e a Edmund Optics<sup>[6]</sup>. Será abordado nesta nota dois métodos para incluir peças, um por meio de inserção de arquivo comercial e outro por meio de desenho de peças em 3d utilizando a bancada de trabalho *Part Design*.

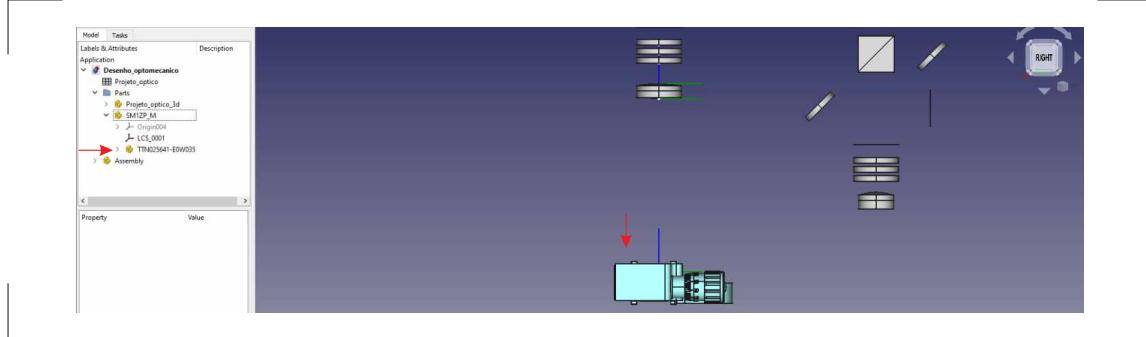
### 3.2.1 Inclusão de arquivos comerciais

Esta seção utilizará como exemplo a lente colimadora da lâmpada de Tório, que é a primeira lente apresentada nas Figuras 3.9, 3.10 e 3.11. Tal forma que a tarefa compreende em abaixar o arquivo *STEP file*, preparar o LCS do suporte, incluir no desenho de montagem e posicionar se necessário.

O modelo escolhido no sitio da *Thorlabs* é o *SM1ZP/M* e pode ser buscado na guia de busca do sitio. Ao localizar o modelo, basta selecionar a guia documentos e abaixar o arquivo *STEP*.

No *Freecad* selecione a pasta *Parts* e crie uma peça clicando no ícone criar peça e nomeie com o número de modelo do suporte. Feito isso, abra a guia Arquivo e localize Importar / *Import* ou pressione *Crtl+I*. Localize o arquivo *STEP* e dê *OK*.

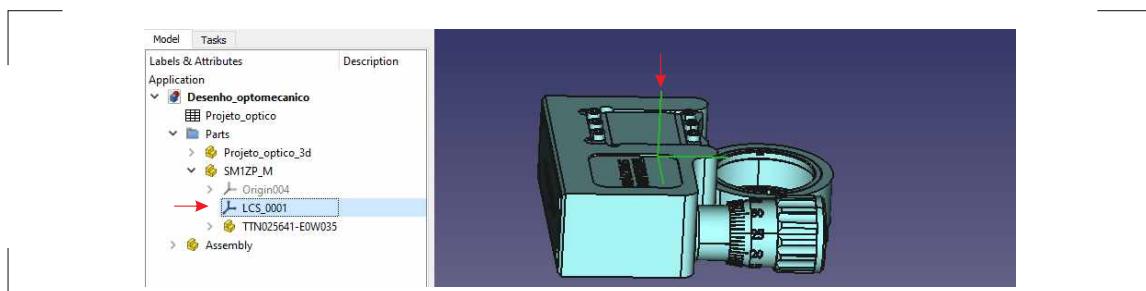
O sólido aparecerá na raiz da árvore do modelo, havendo necessidade de movê-lo para o local necessário. Este procedimento, de mover o sólido recém importado para onde deveria estar, é idêntico ao processo descrito anteriormente na seção 3.1.2, sendo assim não será explicado novamente. No entanto, o usuário deve saber para onde mover o sólido, que é a pasta da peça criada para o suporte. Se der tudo certo o usuário deve observar uma imagem similar a da Figura 3.12.



**Figura 3.12:** Imagem apresentando o suporte do colimador devidamente inserido. [FONTE: Arquivo do autor]

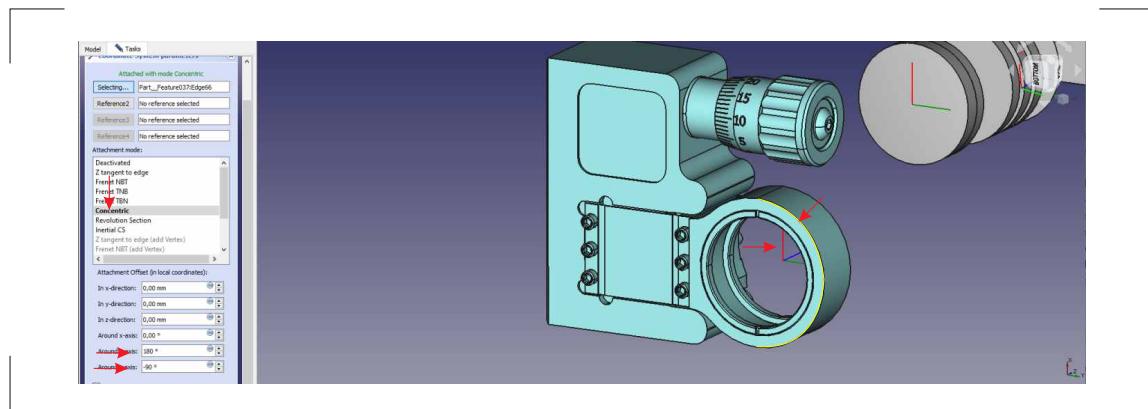
Caso a cor do suporte não agrade o usuário, esta pode ser alterada selecionando os arquivos dos corpos dentro da peça importada na árvore do modelo. Estes corpos podem ser visualizados expandindo a árvore no ponto da peça importada > TTN025641-E0W035, conforme indicação da seta vermelha na árvore do modelo importado (ver Figura 3.12). Após a seleção dos corpos na cor azul, basta clicar com o botão direito do mouse e selecionar Aparência... / Appearance... e selecionar a cor que mais lhe agrada.

Selecionando a LCS da peça que foi criada para importar o *STEP* é possível visualizar, inclinando um pouco a visualização na janela 3d, que o LCS não está no centro do habitáculo da lente, ver Figura 3.13. Para isso deve-se criar um novo LCS para posicionar na região correta. Este processo facilita muito a inclusão do suporte no conjunto. Apesar de o usuário conseguir posicionar o suporte alterando as coordenadas do conjunto. Mas, é um processo mais doloroso. O procedimento que será explicado aqui para posicionar determinadas peças é similar, mas a diferença é que se posicionar o LCS adequadamente, o usuário insere a peça no conjunto e já entra em posição sem a necessidade de ajustes. Isto ficará claro mais adiante.



**Figura 3.13:** Imagem apresentando a localização da LCS com relação ao suporte *SM1ZP/M*. [FONTE: Arquivo do autor]

Assim, clique na peça *SM1ZP/M* > e adicione um no LCS clicando no ícone Criar objeto de referência . Crie qualquer nome mas recomenda-se nomes fáceis, de compreensão rápida, como por exemplo, *LCS\_SM1ZP\_Centro\_Lente*. Depois, há necessidade de anexar o novo sistema de coordenadas a uma referência na peça, que neste caso será uma aresta circular no habitáculo da lente. Quando selecionar uma aresta circular, a linha amarela na imagem da Figura 3.14, automaticamente aparecerá uma opção de concêntrico na janela de opções, basta clicar concêntrico e o LCS vai ficar localizado concentricamente a aresta definida. No entanto, o LCS aparecerá com os eixos apontados para qualquer direção, e, para evitar complicações é bom manter as orientações do LCS de acordo com o LCS global, com o eixo Z na direção do eixo óptico. Para isso, vá em Deslocamento ou *Offset* nas guias abaixo da seleção de concêntrico e rotacione até acertar as direções. Neste exemplo foi rotação de 180 graus na direção Y e -90 graus na direção Z. Ver as setas indicativas na imagem da Figura 3.14.



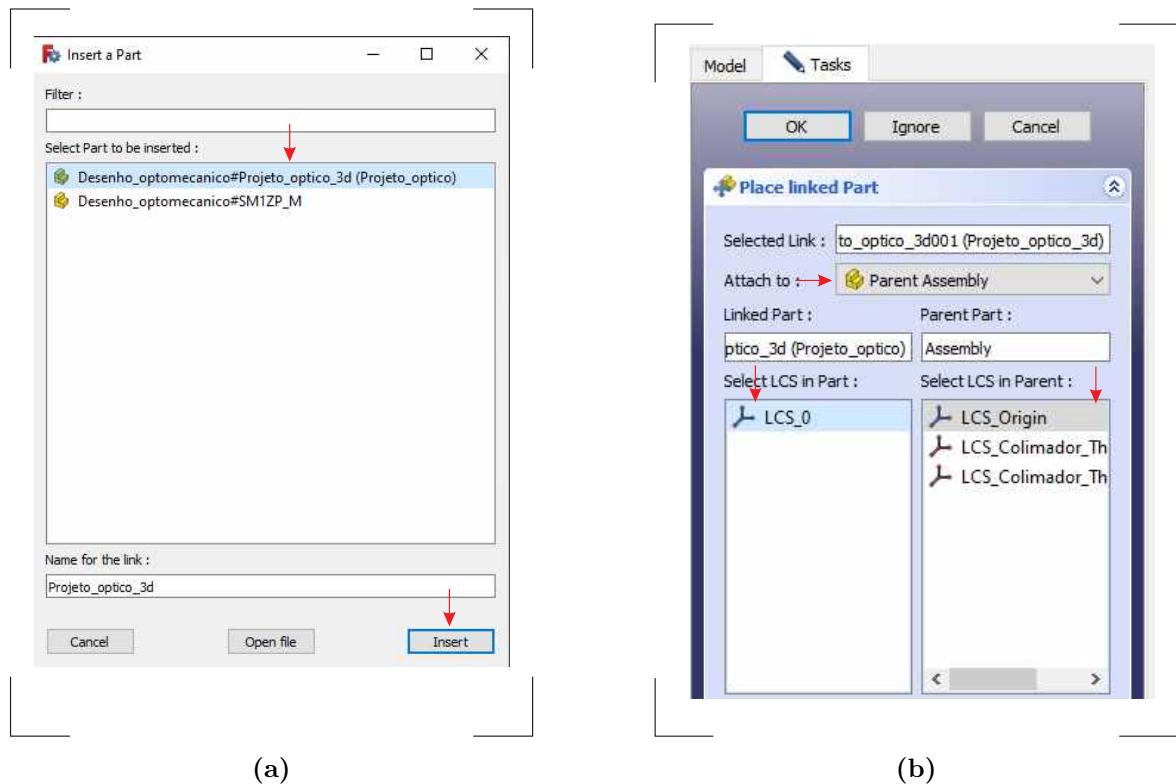
**Figura 3.14:** Imagem apresentando como inserir, relacionar e rotacionar o LCS para o suporte do colimador *SM1ZP/M*. [FONTE: Arquivo do autor]

**NOTA IMPORTANTE:** Modifique os números de rotação ou deslocamento sem pressionar enter no teclado, apenas usando o mouse. Se clicar enter ao adicionar um valor o comando de inserir LCS será fechado sendo necessário reeditar o LCS. Caso ocorra, basta clicar do lado direito do mouse na LCS em questão localizada na árvore do modelo e editar referência ou datum.

Agora, a parte interessante do processo de montagem é a inclusão dos desenhos já carregados na pasta de peças. Para este processo sugere-se desaparecer com os desenhos apresentados na janela 3d, o que pode ser feito selecionando o desenho na pasta correlata na árvore principal de peças ou *Parts*, e pressionando

espaço no teclado. Após selecione na guia *Assembly* em Inserir ligação a uma peça / *Insert link to a part* ou ainda apenas clicando no ícone .

Uma janela Inserir uma peça / *Insert a part* aparecerá e selecione primeiro o desenho de nome projeto\_optico\_3d. Clique em *OK* e será aberto uma nova janela para ligar o sistema de coordenadas do desenho inserido com outro sistema de coordenadas, que neste caso será o global. Logo, selecione ligar a: / *attach to:* e selecione *parent assembly*. Selecione LCS\_0 na peça e o LCS\_Origin no *Parent*. Finalize clicando em *OK*. Veja Figura 3.15.

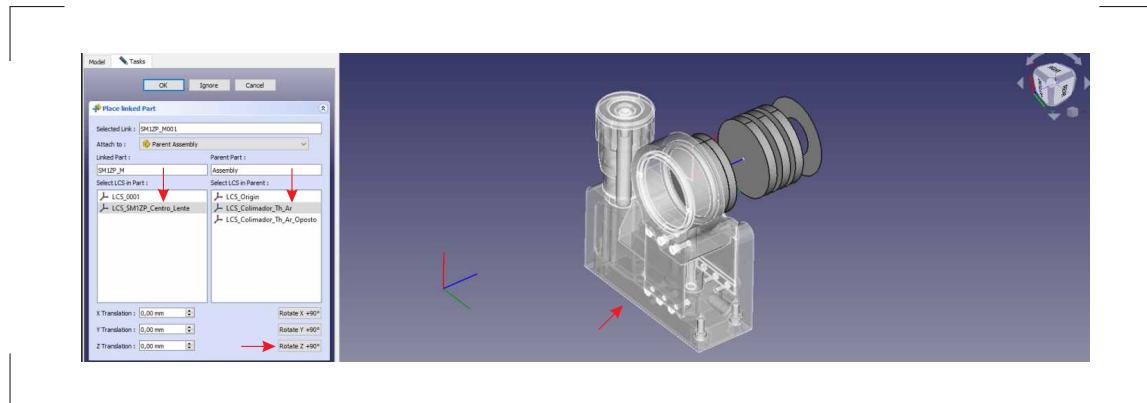


**Figura 3.15:** Imagem apresentando (a) a seleção da peça para incluir na montagem e (b) referenciando as LCSs da peça inserida com a montagem. [FONTE: Arquivo do autor]

Se expandir a árvore do modelo na pasta assembly  pode-se verificar a inclusão do projeto óptico em 3d na montagem.

Feito a inclusão do projeto óptico 3d na montagem, pode-se incluir o suporte da lente colimadora. O processo é similar ao das lentes, clicando no ícone  e selecionar desta vez o suporte *SM1ZP\_M*. Na janela de relacionamento das LCS selecione para o *SM1ZP\_M* a LCS criada no centro do habitáculo e na guia parental selecione a *LCS\_Colimador\_Th\_Ar*. O resultado é o suporte posicionado com o habitáculo con-

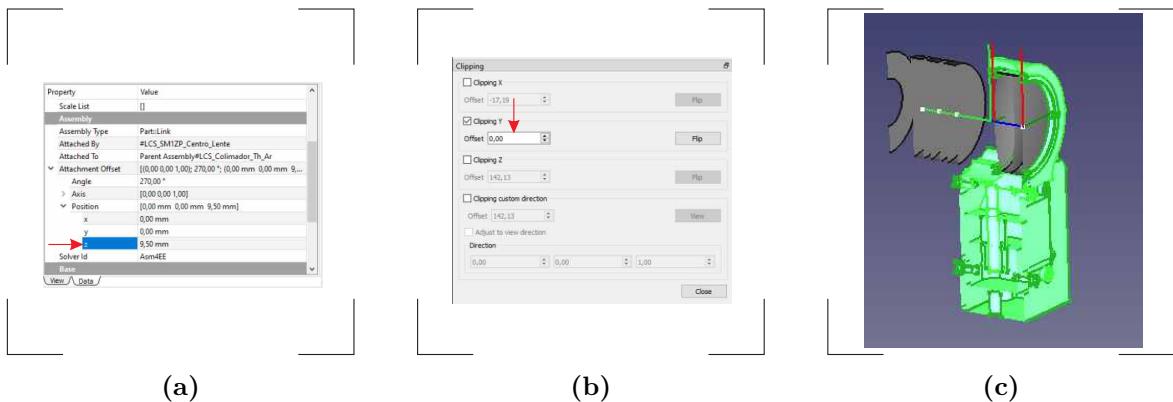
centricamente a lente. A partir deste ponto é possível rotacionar e transladar o suporte para coloca-lo na posição final. Não se preocupe em não conseguir posicionar efetivamente neste passo. Tudo pode ser feito posteriormente sem prejuízos utilizando o ícone Mover uma peça na montagem  . Então rotacione até atingir a posição semelhante ao desenho da Figura 3.16.



**Figura 3.16:** Inserindo, posicionando e rotacionando o suporte da lente colimadora na montagem. [FONTE: Arquivo do autor]

Agora é necessário movimentar a peça até a posição definitiva. Lembrando que uma vez movimentada, a peça sempre estará naquela posição e referenciada com as LCS, caso haja mudança na LCS automaticamente sua posição será ajustada. Então, clique na peça e aparecerá logo abaixo da janela da árvore do modelo uma janela de propriedades. Esta janela pode não estar aparecendo, caso não apareça é necessário configurar corretamente o *Freecad* para que apareça.

Nesta janela de propriedades aparecem todas as informações do desenho selecionado. Tem informações sobre onde este desenho está atachado, sua posição, sua rotação etc. Nestas guias é possível alterar tudo o que foi feito até o momento. Esse é o poder do desenho parametrizado. Assim, dentro da janela de propriedades(Figura 3.17a) expanda a guia Montagem / Assembly em Deslocamento do objeto / *Attachment offset* e altere a posição do objeto na direção de Z para 9,5mm. Para conferir se o suporte está na posição mais adequada possível, vá na guia Visualizar / View em Corte / Clipping plane  , selecione na janela de Clipping(Figura 3.17b) o eixo Y e defina o valor 0, pois a lente colimadora está na posição  $Y = 0$ . Desta forma é possível ver um corte do desenho (Figura 3.17c).



**Figura 3.17:** Imagem apresentando (a) a janela de propriedades do objeto selecionado, (b) a janela de corte do desenho e (c) o desenho cortado com a ferramenta de corte. [FONTE: Arquivo do autor]

**NOTA IMPORTANTE:** Na versão 0.19 do *Freecad* não é possível fechar as superfícies cortadas mas a versão 0.20 possui uma nova ferramenta que permite fechar a superfície cortada.

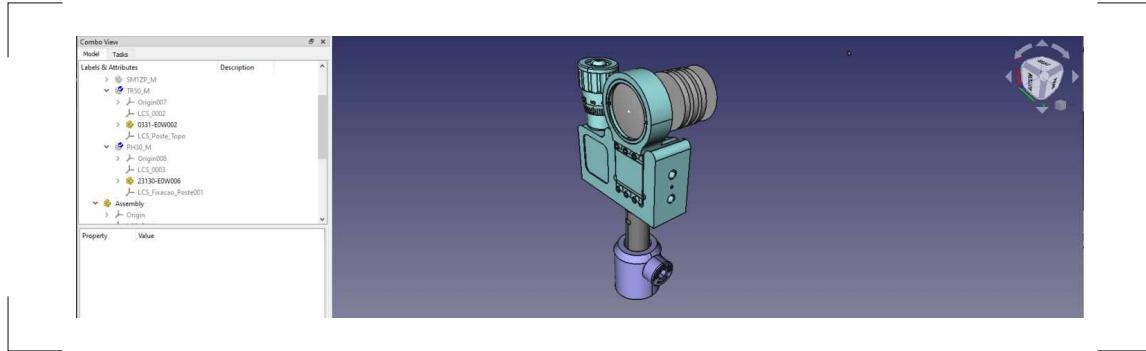
O processo de inclusão de arquivos comerciais serão sempre da mesma maneira como apresentado aqui. Abaixo tem uma lista resumida do processo descrito aqui.

1. Selecione a pasta *Parts* e crie uma peça com o ícone .
2. Importe o *STEP file* na guia Arquivo em importar ou pressione **crtl+i**
3. Mova<sup>3</sup> o arquivo importado da raiz para a peça criada na pasta *Parts* .
4. Crie LCSs conforme necessidade para o posicionamento do suporte na montagem.
5. Mova caso necessário para a posição desejada

Como exercício do assunto, seguindo os passos definidos acima, busque no site da *Thorlabs* o poste de número *TR50/M*. Abaixe o arquivo *STEP file* e siga os passos do resumo acima. Ao chegar no item de criar LCSs, pense em criar uma LCS no suporte *SM1ZP/M* no furo de fixação logo, e, na peça *TR50/M* crie no parafuso no topo. Para criar a LCS no suporte não se esqueça de ligar a peça na pasta *Parts* com o espaço do teclado, da mesma maneira que foi feito para esconder. As edições nas peças devem ser feitas preferencialmente na pasta *Parts* . Aproveitando,

<sup>3</sup>**OBSERVAÇÃO:** Esse procedimento, em princípio deve ser um bug do sistema que inclui o arquivo importado sempre na raiz da árvore do modelo. Pode ser que seja resolvido em versões futuras.

inclua também a peça de número *PH30/M*, também disponível no sitio da *Thorlabs*. Se tudo ocorrer de maneira adequada deve-se obter um desenho conforme imagem da Figura 3.18.



**Figura 3.18:** Imagem apresentando o poste devidamente montado e posicionado no conjunto. [FONTE: Arquivo do autor]

### 3.2.2 Criando peças no *Freecad* usando *Part design*

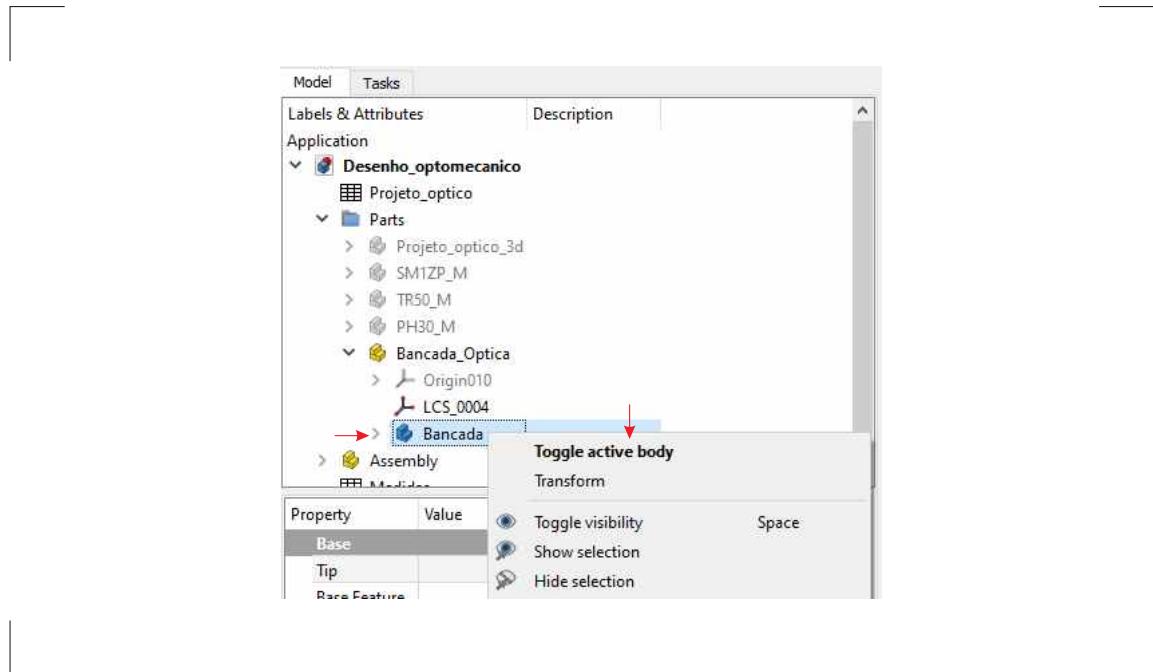
Como exemplo para inclusão de desenhos usando o *Part Design* será considerado uma bancada simples com um furo apenas para fixação do conjunto óptico. Considere uma bancada (uma chapa de alumínio) óptica de dimensões  $280mm \times 120mm$ , cujo centro desta bancada coincide com a origem do projeto óptico porém distante do plano óptico, conhecido como altura do plano óptico.

Para facilitar o trabalho de ajustar as medidas, caso haja necessidade de alterações no projeto, é interessante criar uma planilha para inserção dos dados da bancada e outros dados pertinentes ao projeto mecânico, similarmente ao do projeto óptico. Tais dados incluem a altura do plano focal, as dimensões da bancada, dimensões da cobertura caso haja necessidade, enfim, qualquer medida que possa ser controlada apenas por alterações na planilha. Para criar esta planilha o usuário pode guiar-se pela Seção 3.1.1. Como sugestão, nomeia a planilha como medidas e utilize os seguintes nomes:

- Largura da bancada: atalho - largura\_bancada
- Comprimento da bancada: atalho - comprimento\_bancada
- Espessura da bancada: atalho - espessura\_bancada
- Altura do plano óptico: atalho - altura\_plano\_optico

Após a criação da planilha e seus atalhos, cria-se uma peça na pasta *Parts* clicando no ícone e dentro desta peça crie-se um Corpo / *Body* clicando no ícone , e nomeie-o adequadamente.

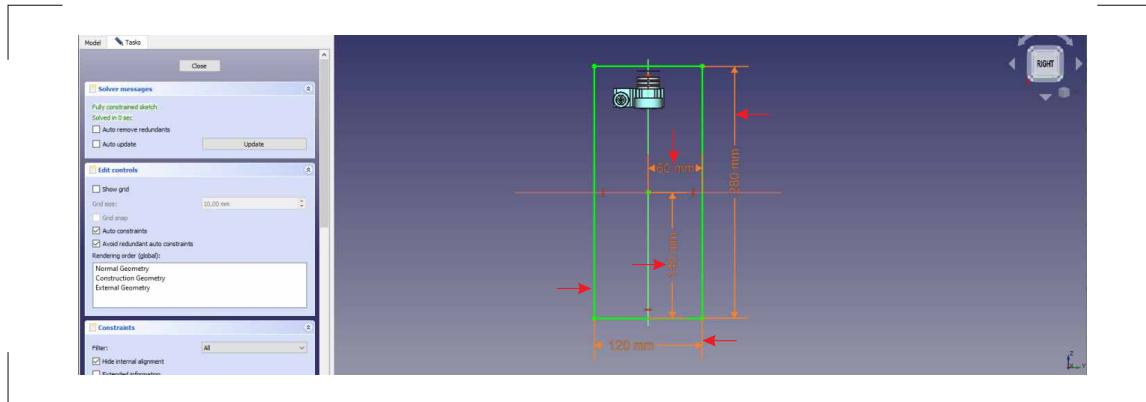
Próximo passo é tornar o objeto ativo, para isso selecione o corpo, clique do lado direito do mouse e selecione *toggle active body*, conforme imagem da Figura 3.19.



**Figura 3.19:** Tornando o objeto ativo. [FONTE: Arquivo do autor]

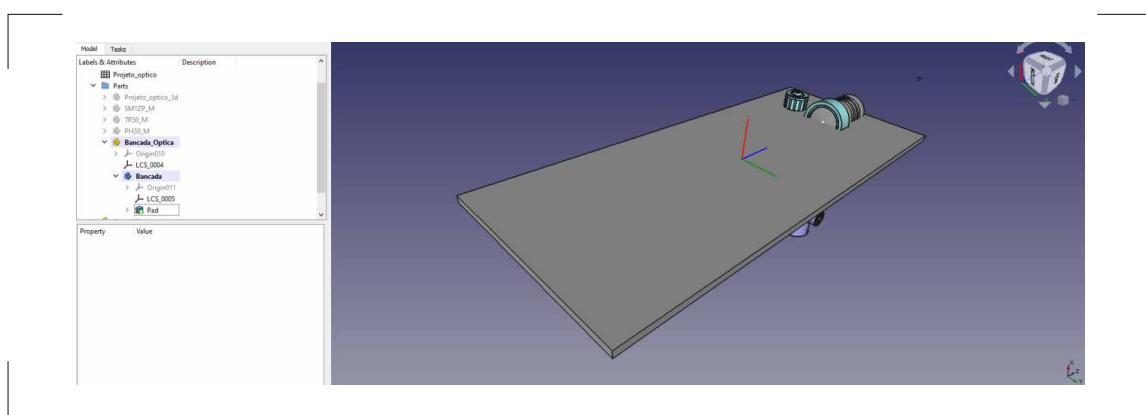
Feito isso, o *Freecad* automaticamente abrirá a bancada de trabalho *Part design* e apresentará na janela de tarefas um comando de criar esboço / *Create sketch*. Clique para criar esboço e selecione o plano YZ. No plano YZ crie um retângulo clicando no ícone e selecionando dois pontos quaisquer na janela de desenho. Clique na ferramenta de dimensão no ícone e adicione cotas para largura e comprimento do retângulo. Lembrando de buscar a referência na tabela de medidas previamente criada, clicando no ícone de função e buscar digitando o nome da planilha e o atalho: «Medidas».largura\_bancada, «Medidas».comprimento\_bancada. Adicione também, cotas a partir do ponto central do esboço para posicionar a bancada no centro da coordenada (0,0), que é a origem do projeto óptico. Para centralizar o desenho do retângulo utilize no editor de função o valor da medida largura dividido por dois, ou seja, «Medidas».largura\_bancada / 2, e, similarmente para a medida vertical. O esboço ficará bem definido se estiver na cor verde, com as cotas referenciadas em laranja

conforme desenho da Figura 3.20.



**Figura 3.20:** Imagem apresentando o esboço da bancada óptica bem definido. [FONTE: Arquivo do autor]

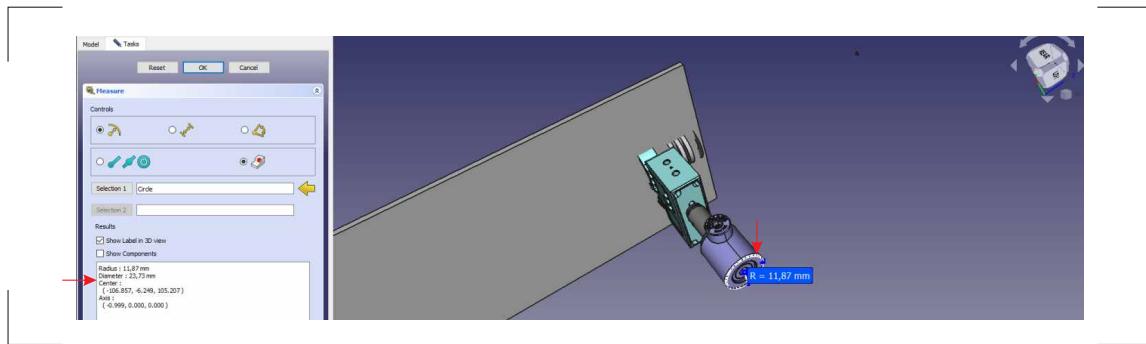
Feche o comando no botão Close e crie uma Extrusão / Pad clicando no ícone . Na janela de parâmetros há uma guia de dimensão a qual deverá ser acionado o botão do editor de formula novamente clicando no ícone , e adicionar o atalho da tabela de medidas, «Medidas».espessura\_bancada. Para não ter que subtrair a espessura da bancada no posicionamento da bancada, opta-se por clicar em Reverso / Reversed para mudar a direção da extrusão. Desta forma quando posicionar a bancada na montagem basta adicionar a medida de altura do plano óptico (Ver Figura 3.21).



**Figura 3.21:** Imagem apresentando bancada óptica extrudada. [FONTE: Arquivo do autor]

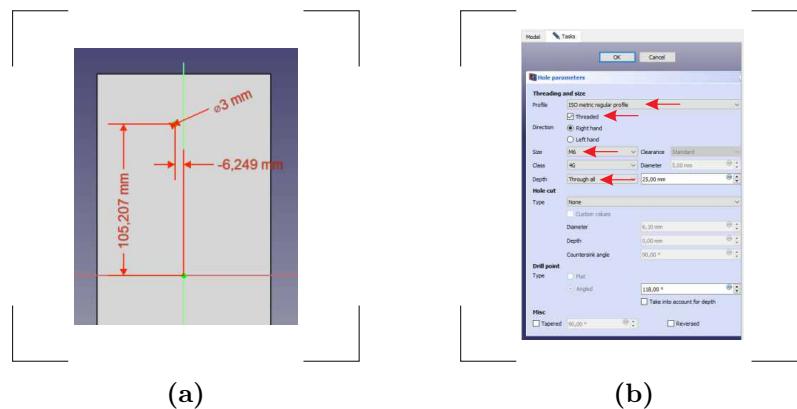
Ainda falta criar o furo de fixação do conjunto óptico na bancada. Mas primeiramente, meça a localização da fixação do suporte óptico. Para medir é necessário selecionar a bancada de trabalho Assembly 4 e selecionar a ferramenta de medida no

ícone e medir clicando na borda da face inferior do suporte óptico conforme apresentado na Figura 3.22. Note a apresentação das medidas de raio, diâmetro e localização, das quais o interesse no momento é apenas o centro ( $-106.857, -6.249, 105.207$ ). Uma vez realizada a medida, esconder a montagem selecionando e ocultando todos os desenhos com a tecla de espaço ajuda na execução do furo.



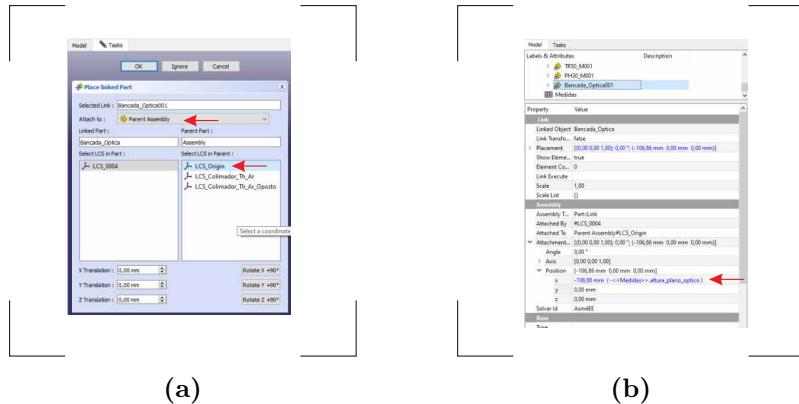
**Figura 3.22:** Imagem apresentando a medida de localização do suporte óptico. [FONTE: Arquivo do autor]

Realizada a medida, volte para a bancada de trabalho Part design, selecione o plano superior da bancada e adicione um novo esboço clicando no ícone . Crie um círculo clicando no ícone e posicione-o próximo ao suporte óptico. Crie dimensões para localizar o centro do círculo  $y = -6.249$  e  $z = 105.207$ , e crie uma dimensão qualquer para o diâmetro com o ícone , conforme Figura 3.23a. Feche o esboço e crie um furo com a ferramenta de furo clicando no ícone e adicione as seguintes especificações de acordo com a imagem da Figura 3.23b.



**Figura 3.23:** Imagem apresentando (a) o esboço do furo e (b) parâmetros do furo M6 a ser criado na bancada. [FONTE: Arquivo do autor]

Próximo passo é a inclusão do desenho na montagem que é feito de maneira análoga a inclusão de peças importadas. Assim, primeiro oculte o desenho da bancada selecionando a peça na pasta *Parts* e abra a bancada de trabalho *Assembly*. Clique no ícone e selecione a bancada óptica e dê *OK*. Anexe a bancada na Montagem / *Parent Assembly* e selecione a *LCS\_Origin*, conforme apresentado na Figura 3.24a. Após a inserção da bancada na montagem, clique na bancada dentro da pasta *Assembly* e localize na janela de propriedades a coordenada *x* para que entre com o valor da altura do plano óptico , que é exatamente a coordenada *x* da medida do centro do suporte óptico(Figura 3.22), a qual pode ser inserida na tabela de medidas. A imagem da Figura 3.24b apresenta a janela de propriedades com o valor da altura do plano óptico anexado ao atalho da tabela medidas.



**Figura 3.24:** Imagem apresentando (a) a inserção da bancada no desenho de montagem e (b) a localização correta da bancada em relação ao plano óptico. [FONTE: Arquivo do autor]

A partir deste ponto o usuário já tem conhecimento e condições de criar e incorporar peças na montagem.

## 4 Exportando o desenho de montagem

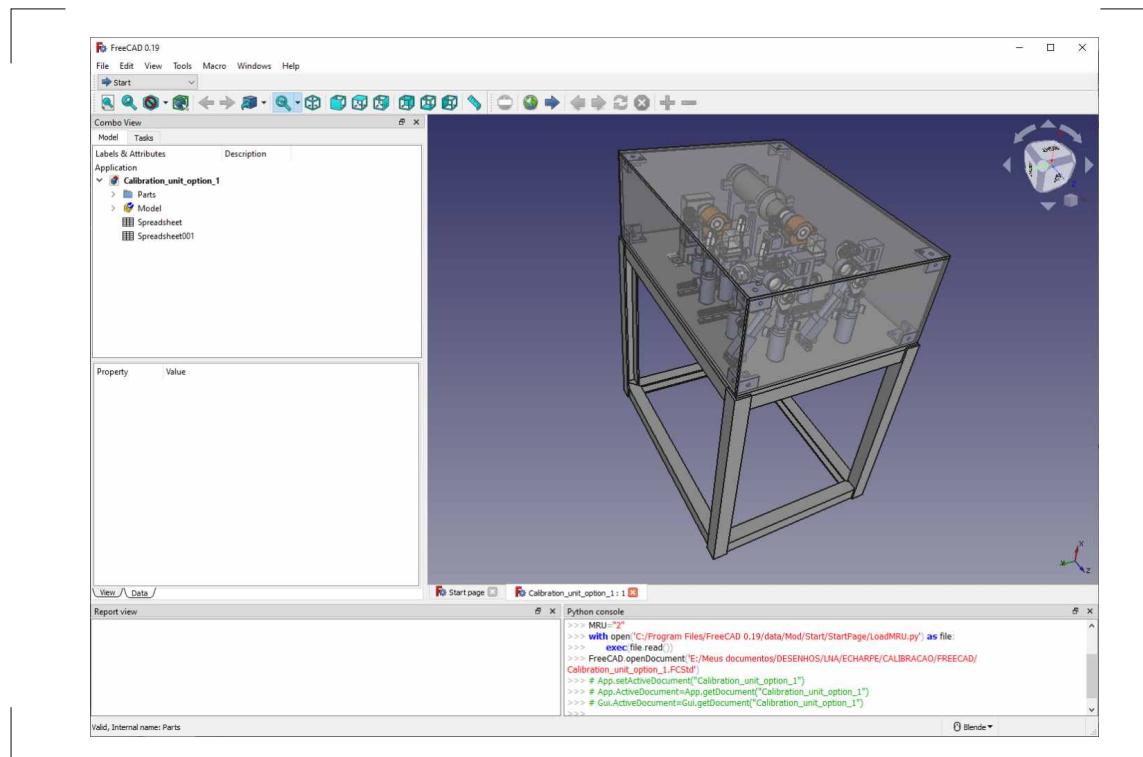
Talvez o ponto de maior relevância que o *Freecad* pode trazer para o desenvolvimento é a possibilidade de exportar os arquivos para um formato amigável e de fácil importação pelo software *Solidworks™*. Este mecanismo possibilita o uso do *Freecad* como ferramenta alternativa, uma vez que esta nota apresentou uma metodologia totalmente viável para desenvolvimento. Assim, para exportar o arquivo basta selecionar a pasta de montagem e clicar na guia Arquivo na aba exportar. Dê um nome ao arquivo

e está pronto.

## 5 Resultados

Usando a metodologia descrita ao longo desta nota, foi possível desenvolver o projeto 3d da caixa de calibração do espectrógrafo ECHARPE usando o aplicativo *Freecad*. A idéia no desenvolvimento foi utilizar o maior número possível de itens comerciais. Várias peças também foram criadas usando o *Freecad*, mas também foram criadas peças usando o *Solidworks™* e exportando o *STEP file* para importação no *Freecad*, simulando uma situação real de desenvolvimento compartilhado.

Parte do desenvolvimento aqui apresentado é exatamente o desenvolvido para a caixa de calibração, com exceção da bancada óptica. Assim, a imagem da Figura 5.1 apresenta a montagem da caixa de calibração dentro do aplicativo *Freecad*.



**Figura 5.1:** Imagem do projeto da caixa de calibração do espectrógrafo ECHARPE usando o aplicativo *Freecad*. [FONTE: Arquivo do autor]

## 6 Conclusões

Esta nota não pretende substituir os aplicativos de desenvolvimento. O foco principal sempre foi utilizar o *Freecad* como uma ferramenta auxiliar e alternativa. A velocidade de desenvolvimento, devido a uma infinidade de ferramentas disponíveis e atualizações anuais, sempre será maior usando o aplicativo *Solidworks<sup>TM</sup>*.

Abaixo segue uma lista de pontos importantes observados durante o desenvolvimento:

- Produzir desenhos em 3d usando a bancada de trabalho *Part design* é relativamente similar à maneira de produzir peças no *Solidworks<sup>TM</sup>*. No entanto há uma carência de ferramentas que não agilizam o processo.
- Na montagem, o tempo de desenvolvimento é mais demorado usando o *Freecad* do que o *Solidworks<sup>TM</sup>*, mas isto é devido ao fato de usar coordenadas absolutas no posicionamento dos componentes. Pode ser que a bancada de trabalho *A2plus*, que possui relacionamentos similar ao utilizado no *Solidworks<sup>TM</sup>*, torne a tarefa mais rápida. Mas é importante descrever que as coordenadas absolutas são excelentes para alterações de projeto usando apenas tabelas, ou seja, se alterar a tabela o conjunto é alterado sem que haja uma quebra de restrições como ocorre no desenvolvimento do *Solidworks<sup>TM</sup>*.
- Neste desenvolvimento não foi apresentado a inclusão de parafusos que pode ser feita por meio da bancada de trabalho *Fasteners* e é integrada a bancada de trabalho *Assembly 4*.
- A ferramenta de medidas é um pouco confusa em princípio. Uma boa exploração dela, certamente auxiliará no entendimento. No entanto todas as medidas necessárias durante o desenvolvimento foram tomadas usando a ferramenta do *Freecad*.
- Em uma versão anterior da bancada de trabalho *Assembly 4* podia-se selecionar a referência a ser usada para montagem na janela 3d, o que ajudava bastante a encontrar a peça. Com a atualização a seleção ficou por conta da guia *Attach to* na janela de parâmetros, ver Figura 3.24a.
- Dimensão do arquivo de montagem. Isto em princípio se deve ao fato dos arquivos de montagem e peças serem um objeto só. No *Solidworks<sup>TM</sup>* os objetos são

separados e carregados na montagem incrementando a dimensão física do arquivo a medida que se adiciona mais e mais arquivos. O aplicativo *Freecad* pode incluir peças de arquivos salvos, mas a impressão é que o usuário tem maior controle do desenvolvimento se forem juntos.

- Não foi implementado nesta nota o detalhamento de desenhos. Isto pode ser assunto para uma próxima nota devido a complexidade da elaboração do modelo da folha de desenho, idêntico a produção de HTML só que o padrão é SVG – *Scalable Vector Graphics*.

## Agradecimentos

Agradeço aos revisores pela disponibilidade e paciência na leitura e correção.

## Referências

- [1] *Blender*, <https://www.blender.org/> acessado em: março de 2022.
- [2] *Freecad*, <https://www.freecadweb.org/>, acessado em: março de 2022.
- [3] *Freecad wikipage*, <https://wiki.freecad.org/>, acessado em: março de 2022.
- [4] *The Programmers Solid 3D CAD Modeler*, <https://openscad.org/> acessado em: março de 2022.
- [5] *Thorlabs*, <https://www.thorlabs.com/index.cfm?>, acessado em: março de 2022.
- [6] *Edmund Optics*, <https://www.edmundoptics.com/>, acessado em: março de 2022.