

# FABRICAÇÃO DE UM REATOR A PLASMA PARA DEPOSIÇÃO DE FILMES FINOS BASEADO NA TÉCNICA MAGNETRON SPUTTERING

LEFLER, João Vinicius<sup>1</sup>

TRAIANO, Denner<sup>2</sup>

**RESUMO:** Este trabalho aborda o desenvolvimento e a fabricação de um reator de plasma para deposição de filmes finos usando a técnica de *magnetron sputtering*. Esta técnica permite a deposição controlada de materiais em superfícies, promovendo a formação de filmes com propriedades específicas. É amplamente utilizada em aplicações industriais e laboratoriais devido à sua eficiência, controle e especificidade na deposição de camadas finas de materiais como metais, cerâmicas e semicondutores. Este equipamento dará suporte a pesquisas na área de engenharia de materiais. O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um reator e do sistema *magnetron*, incluindo o projeto mecânico e a fabricação de componentes. Testes na câmara de vácuo mostraram que o sistema operou de forma limpa, sem vazamentos significativos, permitindo atingir pressões tão baixas quanto 0,8 bar.

**PALAVRAS-CHAVE:** Construção do reator, Projeto do reator, Montagem do reator.

**ABSTRACT:** This work addresses the development and fabrication of a plasma reactor for thin film deposition using the magnetron sputtering technique. This technique enables controlled deposition of materials onto surfaces, promoting the formation of films with specific properties. It is widely used in industrial and laboratory applications due to its efficiency, control, and specificity in the deposition of thin layers of materials such as metals, ceramics, and semiconductors. This equipment will support research in the field of materials engineering. The present work describes the development of a reactor and the magnetron system, including the mechanical design and the fabrication of components. Tests on the vacuum chamber showed that the system operated cleanly, with no significant leaks, allowing pressures as low as 0.8 bar to be reached.

**KEYWORDS:** Construction of the reactor, Reactor design, Reactor assembly.

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica ocorre com o objetivo de atender e melhorar as condições do setor industrial e da vida cotidiana, por exemplo, ao longo do tempo houve muitas substituições de materiais convencionais por outros materiais com propriedades mais eficazes. A busca por materiais de melhor qualidade e menor custo é cada vez maior e o tratamento de materiais aumentou significativamente nos últimos anos. A modificação superficial de materiais, incluindo tratamentos térmicos de plasma e de deposição de filme, altera as propriedades químicas e físicas das superfícies (MELLO, 2007).

Dentre as técnicas de tratamento de superfície mais promissoras, os sistemas a plasma têm sido amplamente utilizados no setor industrial por ser um processo

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Mecânica no Centro Universitário Campo Real.  
engm-joaolefler@camporeal.edu.br

<sup>2</sup> Especialista em Engenharia Gerenciamento e controle de Manutenção. Mestre em Engenharia Mecânica. Doutorando em Engenharia Mecânica. Professor no Centro Universitário Campo Real.  
prof\_dennertraiano@camporeal.edu.br

ecologicamente limpo, sem adição de fluidos, geração de resíduos ou fumos, essa nova tecnologia tende a ser muito promissora, muito eficiente e praticamente sem riscos de explosão e contaminação (VETTER, 2005; CHEN, 2016).

O plasma é comumente conhecido como o quarto estado da matéria, ocorrendo devido a ionização de um gás, o qual, contém além de átomos neutros, também íons positivos e elétrons livres. Em condições de laboratório, o plasma é criado aplicando uma diferença de potencial entre dois eletrodos (SAGÁS, 2016). Por ser composto por partículas carregadas, o plasma apresenta comportamento coletivo quando submetido a campos elétricos e/ou magnéticos e não sendo totalmente descrito pela hidrodinâmica de gases, o que significa que pode movimentar átomos e orientá-los (PORTELA, 2018).

O plasma possui uma alta densidade energética, conferindo ao reator uma série de vantagens, sendo elas, alta eficiência de conversão, baixo consumo energético, redução de matéria prima em tratamento superficial e baixo custo no produto final. Portanto, não é necessário um separador de ar (gerador de oxigênio), o que aumentaria o consumo de energia do processo (LABANCA, 2007).

O desenvolvimento e a construção do reator a plasma têm custo reduzido, pois ele é projetado e fabricado com materiais relativamente simples e conta com um rápido tempo de resposta. Essa característica é especialmente vantajosa na engenharia mecânica, permitindo a realização de uma ampla gama de experimentos, como a deposição de filmes finos e o processo de nitretação. Essas técnicas são essenciais para melhorar as propriedades superficiais de componentes mecânicos, como resistência ao desgaste, redução de atrito e aumento da durabilidade. Os equipamentos são importantes para aproveitar pesquisas e estudos profissionais, utilizados em tratamento superficial de ferramentas e equipamentos (TRAIANO, 2019).

A pesquisa executada para a elaboração do projeto revelou que a instituição Campo Real necessita de equipamentos dedicado ao estudo e a pesquisas em engenharia de materiais. O sistema de reator a plasma será utilizado para deposição de filmes finos, os materiais utilizados nesse sistema são: câmara do reator em vidro, conexões em tubos flexíveis de PVC com reforço de fibra têxtil, vedações em anel *O'ring* elastômero (borracha) e etc.

O projeto foi desenvolvido no Centro Universitário Campo Real, utilizando o software *SolidWorks* para modelagem e planejamento da fabricação e instalação do

reator. Visando segurança e eficiência, foi projetado um sistema de mezanino para sustentar o reator no laboratório, garantindo sua fixação estável e otimização do espaço. Essa estrutura facilita futuras pesquisas e promove um ambiente organizado para estudos práticos. A instalação do reator representa um avanço importante para projetos acadêmicos em engenharia e inovação tecnológica.

O objetivo principal deste projeto é construir e fabricar um reator a plasma para deposição de filmes finos, utilizando a técnica de *magnetron sputtering*, com foco em promover avanços em pesquisas e desenvolvimento na área de engenharia de materiais. O projeto abrange desde a montagem e testes do sistema de vácuo até a fabricação e integração do sistema de *magnetron sputtering*. A implementação desse reator oferece um suporte como resistência ao desgaste e à corrosão, além de contribuir significativamente para o desenvolvimento de novas tecnologias em revestimentos e materiais funcionais.

## **2 METODOLOGIA**

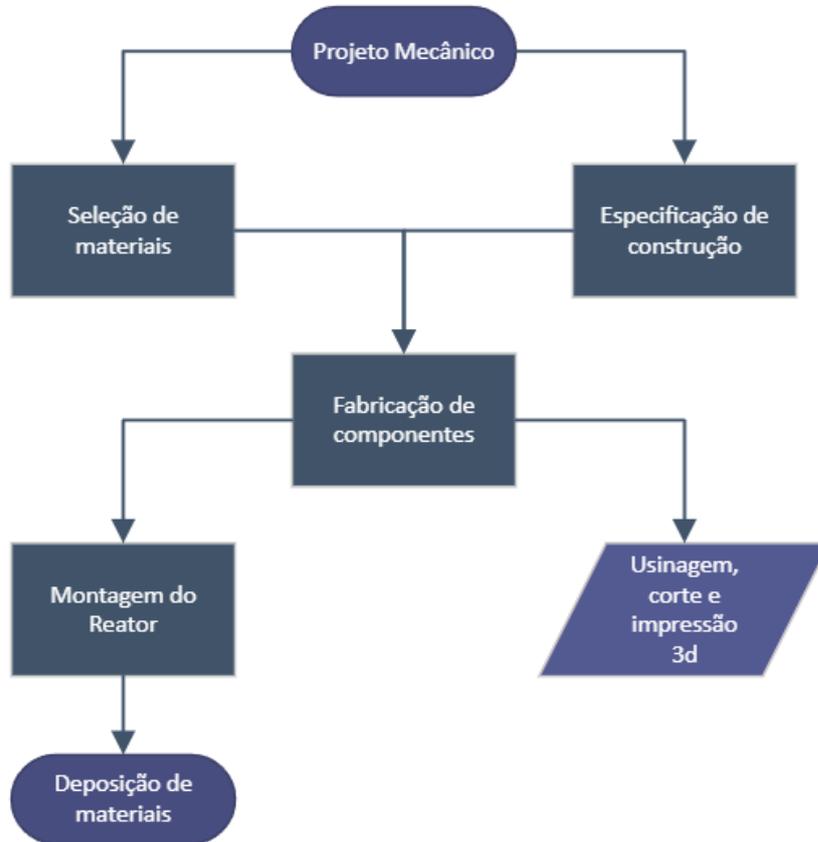
Este capítulo trata dos procedimentos metodológicos aplicados na concepção e desenvolvimento de um reator a plasma, juntamente com um sistema *magnetron*. O projeto mecânico foi modelado no *software SolidWorks (for Students)*, que proporcionou precisão e detalhamento na criação das peças. A fabricação envolveu a aquisição de equipamentos fundamentais, como uma bomba de vácuo e um variador de tensão (VARIAC), ambos indispensáveis para o controle preciso do vácuo e da alimentação elétrica do sistema, assegurando o funcionamento eficiente e seguro do conjunto.

### **2.1 MÉTODO DE ANÁLISE**

Para a execução das atividades, realizou-se um estudo aprofundado sobre os materiais adequados para a construção de um reator, contemplando aspectos de durabilidade, resistência térmica e compatibilidade com o sistema de plasma. Durante o desenvolvimento do projeto, a escolha específica de materiais e uma metodologia de fabricação e montagem mostraram-se essenciais para a viabilidade e desempenho do reator. Essa abordagem permitiu um alinhamento detalhado entre os requisitos técnicos e as especificações dos componentes utilizados. Na Figura 1, é apresentado

o fluxograma do projeto do reator, detalhando a sequência de etapas necessárias para seu desenvolvimento.

Figura 1 – Fluxograma passo-a-passo no projeto do reator.



Fonte: Autoria própria (2024)

No fluxograma apresentado na Figura 1, é possível observar a sequência de etapas necessárias para alcançar o objetivo geral do projeto. As atividades foram organizadas de forma lógica e sequencial, assegurando eficiência no desenvolvimento do reator e facilitando o controle de cada etapa. Os processos de fabricação, incluindo modelagem, montagem e testes, ocorreram no espaço *Maker*, um ambiente equipado com os recursos técnicos apropriados para as diversas fases do projeto.

## 2.2 PROJETO MECÂNICO

O Projeto mecânico é uma propriedade que exige: observação, criatividade, inteligência, domínio das ferramentas computacionais. O objetivo é criar soluções que atendam às necessidades específicas, garantindo que o sistema ou componente funcione de forma eficiente, segura e econômica (COLLINS, 2019). Erros e incertezas

são comuns ao projeto, as ferramentas computacionais auxiliam muito na redução dessas incertezas, pode ser fácil consertá-los, desde que haja conhecimento para fazê-lo.

### **2.2.1 Desenho e Dimensionamento dos Componentes**

O processo de dimensionamento dos componentes são etapas cruciais para o funcionamento do reator. Para iniciar o projeto em 3D, as dimensões dos componentes e da câmara de vidro foram realizadas. Foi realizado o dimensionamento dos componentes que fazem parte do conjunto do reator e do seu sistema.

É importante ressaltar que o dimensionamento dos componentes do sistema deve seguir medidas específicas para a obtenção de vácuo, ou seja, é necessário que haja uma vedação completa na câmara do reator atingindo tolerâncias dimensionais, a tolerância respeitada na tampa do reator, foi na profundidade do canal, tolerância de 0,04+. Todas as medidas realizadas dos componentes do reator foram realizadas com um paquímetro analógico da marca Mitutoyo de 150mm com resolução de 0,05mm.

### **2.2.2 Software SolidWorks**

O *software* utilizado no desenvolvimento do projeto foi o *SolidWorks* um software de CAD (*Computer-Aided Design*) voltado para a modelagem 3D para engenharia de produtos em geral, desenvolvido pela *Dassault Systèmes*. O *SolidWorks* é uma ferramenta capaz de projetar e desenvolver produtos, desde pequenas peças a grandes montagens. Este programa permite diversos propósitos de engenharia e produção, oferecendo uma interface inovadora e intuitiva com uma vasta gama de ferramentas de modelagem e simulações.

Este mesmo software foi utilizado para o desenvolvimento do projeto 3D do reator, detalhado nos Anexos, proporcionando maior facilidade na fabricação e montagem de seus componentes. O modelo 3D permitiu a visualização completa do reator antes da etapa de construção, garantindo que todos os elementos fossem projetados de forma compatível e alinhada às especificações técnicas.

## 2.3 SELEÇÃO DE MATERIAIS

A seleção de materiais envolve todo o procedimento de identificação das características necessárias para uma aplicação específica, culminando na identificação de todos os materiais que atendem aos requisitos básicos para o seu uso (ASHBY, 2018). No desenvolvimento do reator a aplicação da seleção de materiais foi utilizado para garantir um menor custo, mas que atenda as especificações proposta para os sistemas do projeto.

As características dos materiais utilizados são: Condutor elétrico, material com resistência a corrosão, material com característica isolante, durabilidade e baixo custo. Os materiais utilizados são: Plástico abs (acrilonitrila, butadieno e estireno), aço carbono ASTM A36, aço inoxidável, alumínio, cobre, elastômero (borracha) e vidro.

No Quadro 1, são apresentados os materiais utilizados no projeto e suas respectivas propriedades, que foram selecionadas para atender aos requisitos de resistência, isolamento e condução elétrica necessários para o funcionamento seguro e eficiente do reator.

Quadro 1 - Materiais utilizados e suas propriedades

<b>Componente</b>	<b>Material</b>	<b>Propriedade</b>
Câmara do reator	vidro borossilicato	Resistencia a corrosão/temperatura, Isolante elétrico, translucido
Tampa suporte do cátodo	abs	isolante elétrico/baixo peso
Cátodo	aço inoxidável	Condução de eletricidade e Resistencia a corrosão
Conexão cotovelo P/ tubo 10mm	aço niquelado	Resistencia a corrosão e a tração
Mezanino para o sistema	ASTM A36	Resistencia a tração
Sistema <i>Magnetron</i>	Alumínio Cobre	Condução de eletricidade Alvo
Mangueira Ø10mm	Poliuretano	Resistencia a corrosão/tração Elasticidade

Fonte: Aatoria própria (2024)

No Quadro 1 são apresentados os materiais utilizados no projeto e as características das peças fabricadas, descrevendo propriedades essenciais como resistência à corrosão, condução de eletricidade e resistência à tração, que foram decisivas para garantir a durabilidade e funcionalidade de cada componente no conjunto.

## 2.4 ESPECIFICAÇÃO DE CONSTRUÇÃO

Na elaboração de um projeto, é fundamental seguir métodos e normas bem definidos para garantir a coerência e funcionalidade dos resultados. A especificação de projeto é uma descrição detalhada que define as características necessárias de materiais, equipamentos, serviços, produtos ou componentes. Essas especificações complementam os desenhos técnicos, fornecendo informações adicionais que os diagramas e esboços não conseguem transmitir. No caso da construção de um reator, as especificações são essenciais para atender aos requisitos específicos de cada etapa de fabricação, assegurando a qualidade dos materiais e o desempenho de cada sistema integrado ao conjunto. Esse nível de detalhamento visa garantir que todos os componentes trabalhem em sinergia, cumprindo as exigências de segurança, durabilidade e funcionalidade que o projeto demanda.

## 2.5 FERRAMENTAL

Na fabricação do reator a plasma, a principal ferramenta utilizada para realizar a furação na câmara do reator foi a furadeira de bancada da Moto Mil modelo FB-160. Equipada com brocas específicas para perfuração de vidro, ou seja, broca diamantada para perfuração de vidro e cerâmica da marca MFL. A furadeira de bancada foi escolhida por proporcionar estabilidade e precisão, essenciais para garantir furos alinhados. As brocas para vidro foram utilizadas devido à sua capacidade de furar materiais frágeis, como o vidro da câmara, sem causar trincas ou danos estruturais. Essa combinação de ferramentas foi essencial para a realização de uma furação controlada e segura, atendendo aos requisitos técnicos do projeto.

## 2.6 MANUFATURA ADITIVA

No processo de fabricação da tampa do reator, foi utilizada a impressora 3D *Creality Ender-3*, que emprega a tecnologia de impressão FDM (Modelagem por Deposição Fundida). Esta tecnologia aquece e faz extrusão de filamento termoplástico, permitindo a construção de peças camada por camada com alta precisão. A *Ender-3* é conhecida pela sua versatilidade e custo-benefício, sendo amplamente utilizada para a produção de protótipos e peças personalizadas em

diversos projetos de engenharia e manufatura. Sua capacidade de imprimir com diferentes materiais, como PLA (*Ácido Polilático*) e ABS (*Acrilonitrila Butadieno Estireno*), possibilitando a fabricação de peças resistentes e com características específicas conforme as necessidades do projeto.

## 2.7 SISTEMA ELÉTRICO

Para a geração e sustentação do plasma, é essencial o uso de fontes de alimentação que garantam a transferência de energia elétrica para a câmara do reator. Essas fontes podem variar amplamente em termos de design, potência e especificações, dependendo da aplicação específica do plasma. Sua função principal é produzir e conduzir as cargas elétricas necessárias para criar e manter o ambiente de plasma no reator (LIEBERMAN, 2005; LICHTENBERG, 2005).

Para sistemas de geração de plasma de baixo custo, uma opção viável é o uso de fontes de micro-ondas, frequentemente utilizadas em transformadores de micro-ondas comuns. Esses sistemas podem gerar plasmas estáveis com menor investimento em comparação com outras fontes de alta potência, mantendo o custo operacional acessível.

## 2.8 SISTEMA DE VÁCUO

Sistemas de vácuo desempenham papel essencial na abertura e manutenção do plasma em reatores, pois permitem a criação de pressões negativas que viabilizam a ionização de gases e a geração do plasma (JANECZKO, 2019). Esse ambiente controlado é essencial para garantir a estabilidade e a eficiência do plasma. O controle da pressão é crítico, já que impacta diretamente a eficiência do plasma e os resultados de processos como tratamento de superfícies e deposição de filmes finos.

Sistemas de vácuo adequados também garantem maior uniformidade e reprodutibilidade nos tratamentos a plasma (LOPES, 2018). O vácuo é gerado pela remoção de ar ou outros gases de uma câmara fechada, possibilitando a realização de diversos processos industriais ou pesquisas científicas, esse procedimento exige o uso de equipamentos como bombas de vácuo, tubulações e conexões específicas para garantir a eficiência e o controle adequado da pressão (GAMA, 2002).

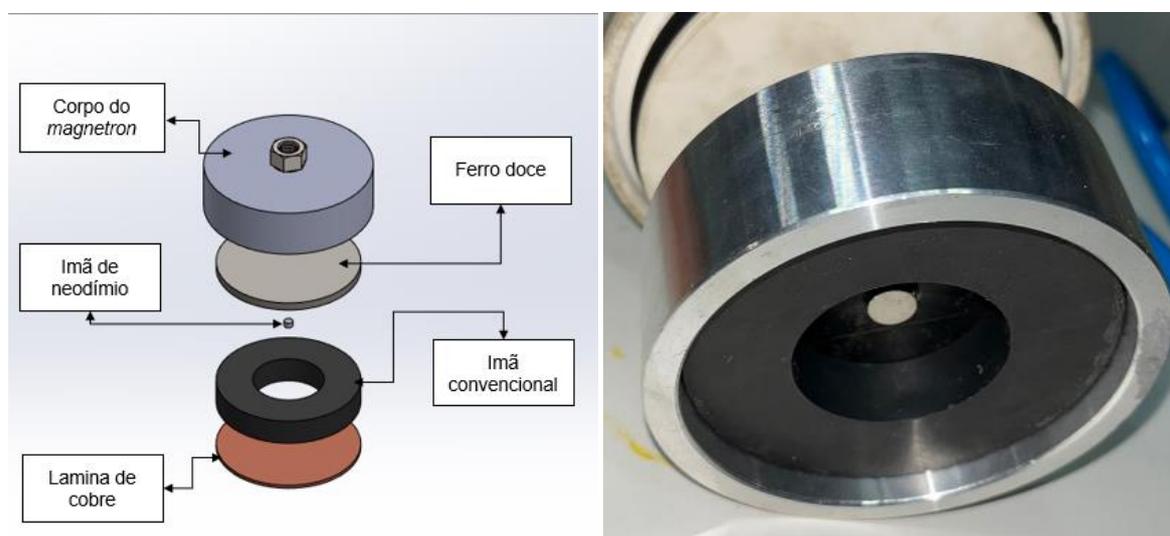
### 3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados experimentais obtidos, abrangendo desde o dimensionamento e fabricação das peças até a montagem completa do reator a plasma, incluindo o sistema *magnetron*, o sistema elétrico e o sistema de vácuo. As fases de projeto e fabricação das peças foram realizadas com base nos parâmetros de desempenho definidos anteriormente, e os resultados obtidos durante os testes de montagem e operação do sistema foram analisados para verificar a conformidade com os objetivos estabelecidos.

#### 3.1 SISTEMA MAGNETRON

Para a elaboração do sistema *magnetron*, é crucial entender seus componentes e funções. O sistema é composto por um suporte de alumínio, placa de ferro doce, ímã de neodímio circular e um ímã convencional em formato de anel. A disposição desses ímãs em um sistema de *magnetron sputtering* influencia diretamente parâmetros como pressão, tensão de ignição (voltagem mínima para ativação do plasma) e a zona de erosão, área onde o *sputtering* ocorre efetivamente (SAGAS, 2016). A Figura 2 apresenta uma vista explodida do sistema. Informações técnicas sobre o projeto e fabricação do sistema *magnetron*, está disponível no Anexo A.

Figura 2 – Vista explodida do *magnetron* com suas respectivas peças.



Fonte: Adaptado de (TRAIANO, 2019)

Na Figura 2, é possível observar a disposição dos diferentes componentes do *magnetron*, destacando como cada peça contribui para o funcionamento do sistema. O ferro doce é montado sobre o suporte de alumínio, e, com essa estrutura, é possível fixar o ímã convencional com formato circular, que é ajustado com uma folga de 0,5 mm em relação ao suporte. Após essa montagem, o ímã de neodímio, de menor tamanho, é colocado no centro da chapa de ferro doce.

Desse conjunto de ímãs é gerado um campo magnético, que desempenha um papel essencial no controle da trajetória dos íons. Esse campo delimita a região de ação dos íons, resultando na formação da área de remoção de material, conhecida como zona de erosão. Essa zona é fundamental para o processo de *sputtering*, onde partículas do material alvo são ejetadas e depositadas sobre o substrato, permitindo a aplicação de filmes finos e revestimentos uniformes (TRAIANO, 2019).

## 3.2 FABRICAÇÃO DOS COMPONENTES

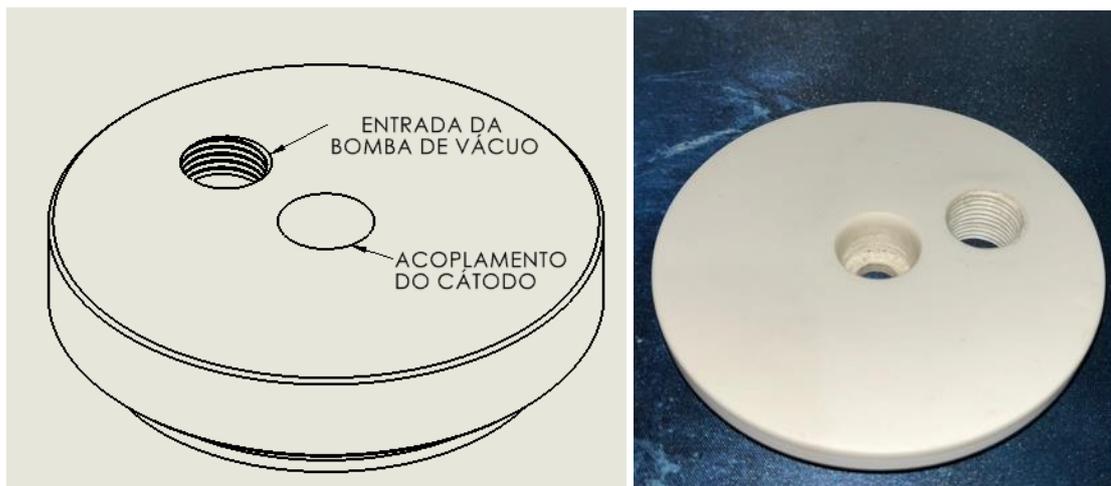
O processo de fabricação dos componentes do reator foi realizado utilizando equipamentos especializados, garantindo a produção de peças que atendem aos critérios de precisão e resistência necessários para o funcionamento seguro e eficiente do sistema. O torno foi utilizado para a usinagem de peças metálicas, permitindo ajustes detalhados e acabamento refinado, enquanto o inversor de solda foi empregado para a união segura de elementos estruturais. Esses equipamentos possibilitaram criar componentes adequados às exigências de operação do reator, assegurando sua durabilidade e desempenho em condições de trabalho rigorosas.

### 3.2.1 Dimensionamento e Fabricação da Tampa do Reator

A tampa do reator foi projetada com um sistema de vedação por *anel o-ring*, que assegura um fechamento confiável durante os processos de plasma. Sua fabricação foi realizada por meio de uma impressora 3D, escolhida pela capacidade de produzir peças com geometrias complexas e alta precisão. Esse método permitiu a personalização da tampa, adaptando-a às exigências específicas de vedação e resistência para o sistema.

Na Figura 3, é ilustrada a tampa do reator dimensionada e fabricada, evidenciando a atenção aos detalhes durante a concepção e manufatura para atender às especificações técnicas do sistema. É importante destacar os aspectos relevantes de sua estrutura, projetada para garantir eficiência e durabilidade, essenciais para o funcionamento adequado do reator nos processos de plasma.

Figura 3 – Tampa do reator dimensionada e fabricada em Plástico ABS.



Fonte: Autoria própria (2024)

Na Figura 3 foi possível visualizar a tampa do reator, este componente foi projetado para facilitar o acesso a outros elementos do sistema enquanto mantém uma vedação confiável. Informações técnicas sobre o projeto e fabricação da tampa, está disponível no Anexo B.

### 3.2.2 Dimensionamento e Fabricação do Cátodo

Esse componente têm a função de conduzir a energia gerada pela fonte de alimentação para dentro do reator, garantindo o funcionamento do sistema de plasma. Para o desenvolvimento desse elemento, foi essencial centralizar o cátodo em relação à tampa e definir o método de acoplamento entre ambos. Com base nas dimensões obtidas a partir da tampa superior do corpo do reator, foi possível determinar as medidas necessárias e desenvolver os desenhos técnicos correspondentes para a fabricação do componente.

No sistema, o cátodo desempenha um papel fundamental como o eletrodo onde ocorre a remoção de material por *sputtering*, sendo o alvo bombardeado por íons do plasma. Ele é responsável pela emissão de elétrons secundários e pela sustentação da descarga elétrica, o que permite a manutenção do plasma (LOPES, 2018). Na Figura 4 é possível visualizar a imagem do cátodo dimensionado e fabricado.

Figura4 – Cátodo Dimensionado e Fabricado em Inox 304.



Fonte: Autoria própria (2024)

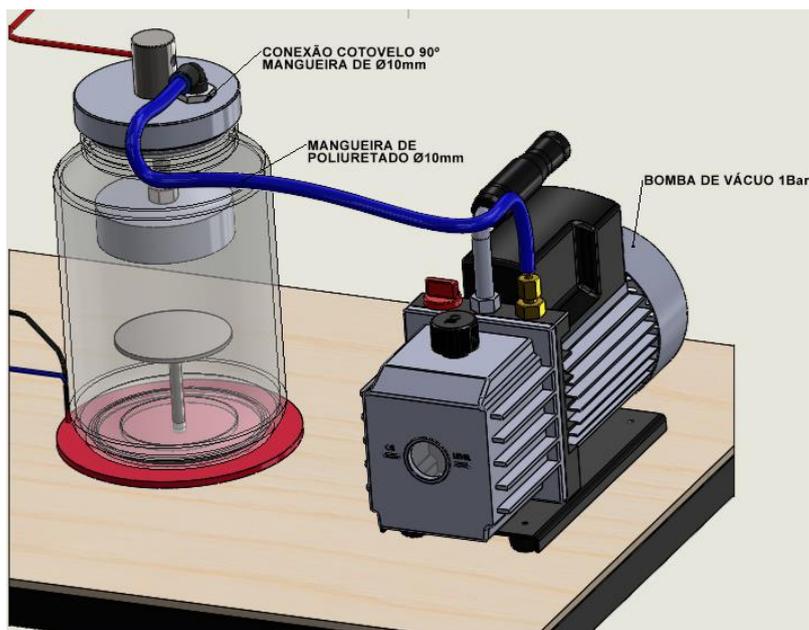
Na Figura 4 mostra o cátodo dimensionado e fabricado, o componente tem suas dimensões como: Comprimento de 120 mm, diâmetro da parte interna de 12 mm, diâmetro onde fica alojado na tampa de 20 mm, diâmetro externo de 30 mm com um furo de 10mm onde é feita a ligação da fonte de alimentação. Informações técnicas sobre o projeto e fabricação do cátodo, está disponível no Anexo C.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO E FABRICAÇÃO DO SISTEMA DE VÁCUO

A montagem do sistema de vácuo foi composta com um número reduzido de componentes, o que simplifica o processo de montagem do equipamento. Para conectar a bomba de vácuo à câmara do reator, foi utilizada uma conexão tipo cotovelo de 90° com rosca de ½" BSP e saída para mangueira com diâmetro de Ø10mm. Essa conexão foi fixada diretamente na tampa do reator, permitindo a

vedação necessária e a comunicação eficiente entre a bomba de vácuo e o interior da câmara. Na Figura 5, é apresentada a montagem do sistema de vácuo, permitindo observar os elementos que compõem o conjunto. A montagem inclui conexão, tubulação e a bomba de vácuo, configurados para assegurar eficiência e funcionalidade.

Figura 5 – Montagem do sistema de vácuo.



Fonte: Autoria própria (2024)

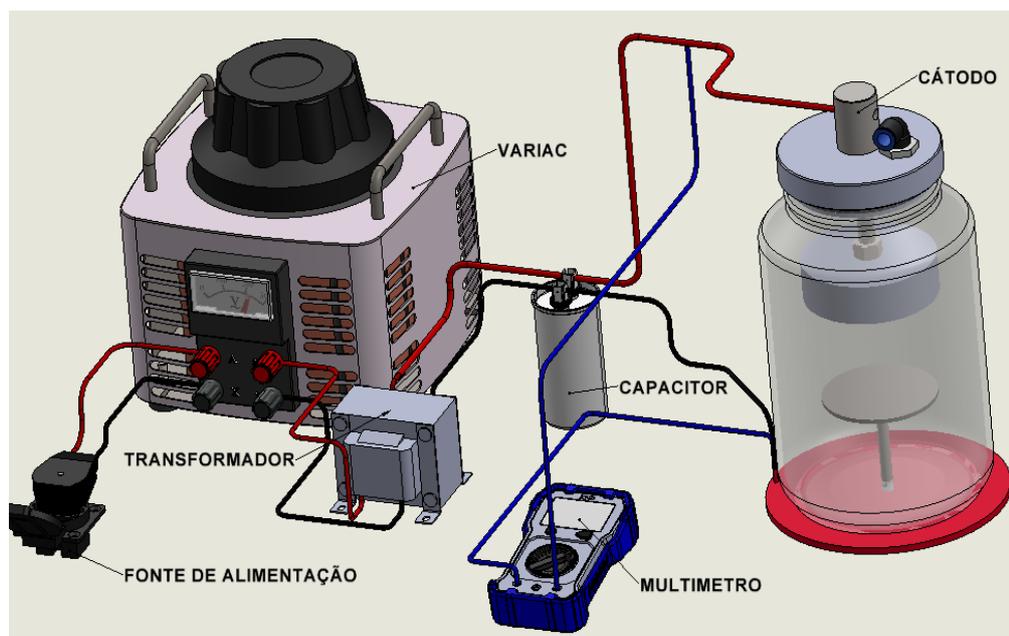
Na Figura 5 apresenta o projeto do sistema de vácuo, esse sistema desempenha um papel fundamental na geração do plasma no reator. A mangueira utilizada para conectar a bomba de vácuo ao reator foi uma mangueira de diâmetro de Ø10 mm confeccionada em poliuretano (PU). Esse material é amplamente reconhecido por sua leveza, flexibilidade e resistência à abrasão, características que facilitaram a montagem do sistema. Além disso, o poliuretano é ideal para aplicações que exigem durabilidade e mobilidade, tornando-o uma escolha eficiente para sistemas pneumáticos e de vácuo.

### 3.4 MONTAGEM DO SISTEMA ELÉTRICO

O sistema elétrico utilizado no reator é composto por poucos componentes. A fonte de corrente alternada do sistema consiste em um regulador de tensão (VARIAC), transformador de micro-ondas e um capacitor de 2000 V. Elementos como fios

condutores, capacitor, transformador e conectores foram organizados para assegurar o desempenho e a durabilidade do sistema. Na figura 6, é apresentado o layout da montagem do sistema elétrico, permitindo observar a disposição dos componentes e de suas ligações.

Figura 6 – Layout da montagem do sistema elétrico.



Fonte: Autoria própria (2024)

Na Figura 6, é apresentada a montagem do sistema elétrico, destacando a separação entre os fios positivo e negativo para garantir segurança e funcionalidade. O fio positivo é conectado ao cátodo de aço inoxidável, enquanto o fio negativo é ligado a base metálica do reator, realizando o aterramento. Ambos os fios passam por um capacitor antes de se conectarem à câmara do reator; o capacitor tem a função de armazenar e liberar cargas temporárias no circuito. Após essas etapas, a fonte está pronta para uso. Os componentes principais do projeto incluem a fonte de alimentação, o transformador de micro-ondas, o capacitor de 2000V, cabos de ligação e um multímetro na escala de amperímetro da marca Minipa (TRAIANO, 2019).

### 3.5 MONTAGEM DO REATOR

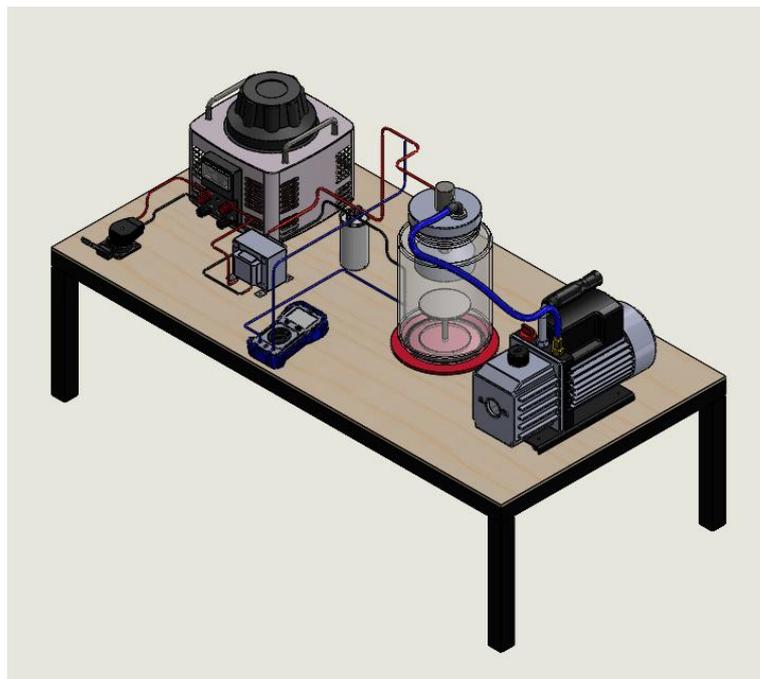
Para que o reator opere corretamente, foi indispensável a instalação de todos os sistemas que o constituem. Este processo de montagem pode ser dividido em duas

etapas, a instalação dos componentes da câmara de vácuo e a montagem do sistema de alimentação do reator. Ao discutir a montagem de reatores, é fundamental observar certos cuidados.

Para a obtenção de pressões negativas e tratamentos com maior controle no crescimento dos filmes são necessários alguns procedimentos, entre eles garantir a limpeza do sistema. Os componentes a serem montados devem passar por uma etapa de limpeza, a tampa na qual foi fabricada por impressão 3D deve passar por uma etapa de acabamento em lixa, na qual foi utilizada uma lixa d'água grão 1200, logo em seguida foi utilizado uma lixa d'água grão 1500 para acabamento superficial.

Terminando a etapa de limpeza das peças do sistema, os elementos limpos passam por uma secagem em condição ambiente e ficam prontos para a próxima e última etapa, a próxima etapa constitui na secagem e higienização utilizando álcool isopropílico ou acetona. Esses produtos são eficazes na remoção de contaminantes orgânicos que possam estar presente nas peças. Na Figura 7, é ilustrado o projeto em 3D da montagem completa do equipamento, permitindo uma visão geral da disposição dos seus componentes e do alinhamento entre as diferentes partes do sistema, mais informações do projeto está destacado no Anexo D.

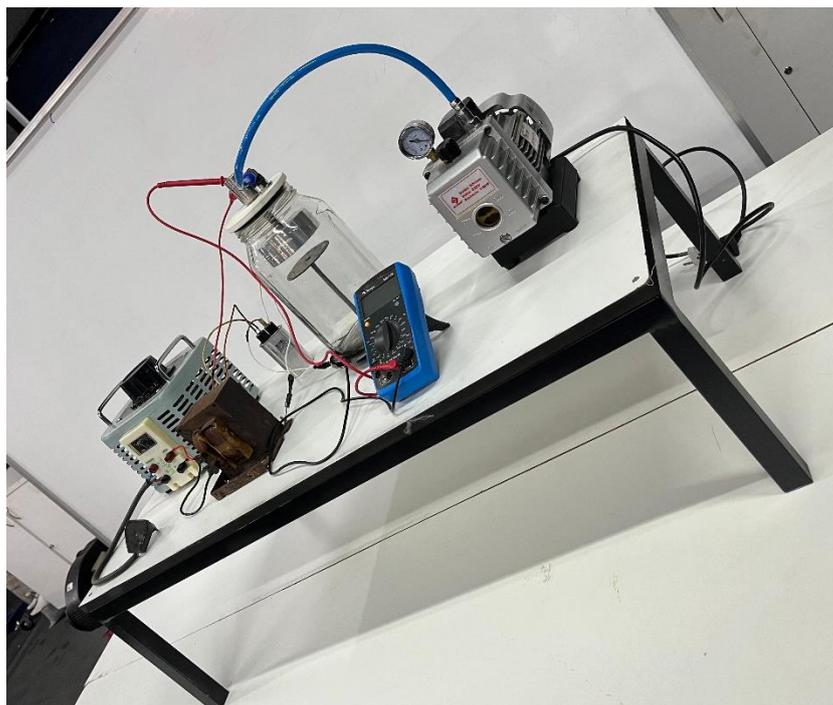
Figura 7 – Projeto 3D do reator.



Fonte: Autoria própria (2024)

Essa representação proporciona uma visão abrangente do projeto, facilitando a compreensão da disposição dos componentes e servindo como referência para a fabricação e montagem do equipamento. Na Figura 8, além do modelo 3D desenvolvido, é exibida uma imagem do equipamento montado, possibilitando uma comparação direta entre o planejamento inicial e o resultado final.

Figura 8 – Montagem completa do equipamento.



Fonte: Autoria própria (2024)

Com base na comparação apresentada, é possível observar que o equipamento montado corresponde fielmente ao modelo projetado em 3D. Essa etapa reforça a importância do uso de representações digitais detalhadas no desenvolvimento de projetos, garantindo maior assertividade na fabricação e montagem, além de facilitar eventuais ajustes necessários.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A modelagem e o detalhamento do projeto foram realizados de forma a viabilizar a fabricação das peças, com base nos conceitos definidos a partir do dimensionamento dos componentes. A tampa do reator, foi projetada e fabricada

conforme as especificações e atendeu plenamente às características exigidas para o trabalho, garantindo a vedação adequada e não apresentando nenhum vazamento durante o uso.

O mezanino dimensionado e fabricado, atendeu plenamente as características esperadas, proporcionando organização e segurança para o equipamento. A fonte utilizada apresentou desempenho adequado, atendendo às solicitações de energia na área interna do reator, com o transformador operando corretamente e alcançando até 800 V de corrente alternada. Da mesma forma, a bomba de vácuo funcionou de maneira satisfatória, atingindo seu limite operacional de 0,8 bar.

Apesar do funcionamento correto dos componentes, o sistema não foi capaz de realizar a deposição de materiais devido a dois fatores principais:

- Insuficiência de vácuo, que não atingiu os níveis ideais para o processo;
- Falta de tensão, insuficiente para manter o plasma estável, sendo necessário para a deposição.

## **5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Adicionar entrada de gases dentro da câmara do reator, gases como argônio, nitrogênio e oxigênio.
- Utilizar uma câmara de reator de inox, podendo ser fabricado por tubos de 10" ou 12", equipadas com flanges e anéis de vedação.
- Melhorar o sistema elétrico inserindo um painel elétrico com botoeiras de ligação e emergência.
- Além do mezanino, fabricar uma proteção em acrílico para assegurar ainda mais a segurança dos demais.
- Desenvolver um sistema de refrigeração para controlar a temperatura na área interna da câmara do reator.
- Adquirir uma bomba de vácuo com maior capacidade e um transformador mais potente, capaz de fornecer a tensão necessária para manter o plasma, esses aprimoramentos são essências para o processo de deposição de materiais de forma eficaz e consistente.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHBY, Michael Farries. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico**. 5. ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2018. **E-book**. ISBN 9788595153394. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595153394/epubcfi/6/4%5B%3Bvnd.vst.idref%3Dtitle%5D!/4/2>. Acesso em: 11 mai. 2024.

COLLINS, Jack A. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas**, 2ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2019. **E-book**. ISBN 9788521636243. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636243/>. Acesso em: 11 mai. 2024.

CHEN, M. et al. **Development of an industrial applicable dielectric barrier discharge (dbd) plasma treatment for improving bondability of poplar veneer**. *Holzforschung*, De Gruyter, v. 70, n. 7, p. 683–690, 2016. Acesso em: 12 mai. 2024.

SAGÁS, Julio César; FONTANA, Luís César; TOMYAMA, Masahiro. **Deposição de filmes de CNx por Triodo Magnetron Sputtering**: Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica- Curso de Engenharia Mecânica - Universidade do Estado de Santa Catarina, 2016. Disponível em: [https://www.udesc.br/arquivos/cct/id\\_cpmenu/1091/estudo\\_do\\_confinamento\\_de\\_eletrons\\_em\\_um\\_sistema\\_magnetron\\_sputtering\\_em\\_funcao\\_da\\_configuracao\\_e\\_intensidade\\_do\\_campo\\_magnetico\\_15168996880289\\_1091.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/1091/estudo_do_confinamento_de_eletrons_em_um_sistema_magnetron_sputtering_em_funcao_da_configuracao_e_intensidade_do_campo_magnetico_15168996880289_1091.pdf). Acesso em: 30 set. 2024.

LABANCA, Aurélio Reis da Costa. **Desenvolvimento de Reator de Pirólise a Plasma para a Decomposição do Metano em Hidrogênio e Carbono Sólido**. 2007. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/370411158\\_DESENVOLVIMENTO\\_DE\\_REATOR\\_DE\\_PIROLISE\\_A\\_PLASMA\\_PARA\\_A\\_DECOMPOSICAO\\_DO\\_METANO\\_E\\_M\\_HIDROGENIO\\_E\\_CARBONO\\_SOLIDO](https://www.researchgate.net/publication/370411158_DESENVOLVIMENTO_DE_REATOR_DE_PIROLISE_A_PLASMA_PARA_A_DECOMPOSICAO_DO_METANO_E_M_HIDROGENIO_E_CARBONO_SOLIDO). Acesso em: 12 mai. 2024.

MELLO, Carina Barros. **MODIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES SUPERFICIAIS DE MATERIAIS ATRAVÉS DA IMPLANTAÇÃO DE CROMO POR RECOIL POR MEIO DE IMPLANTAÇÃO IÔNICA POR IMERSÃO EM PLASMA DE NITROGÊNIO**. 2007. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Tecnologia Espaciais/Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/04.04.12.25/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 30 set. 2024.

TRAIANO, Denner. **CONSTRUÇÃO DE UM REATOR A PLASMA PARA DEPOSIÇÃO DE FILMES FINOS COM A TÉCNICA DE MAGNETRON SPUTTERING**. 2019. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2019. Acesso em: 29 mar. 2024.

VETTER, J. et al. **Surface treatment selections for automotive applications.** Surface and Coatings Technology, Elsevier, v. 200, n. 5-6, p. 1962–1968, 2005. Acesso em: 30 set. 2024.

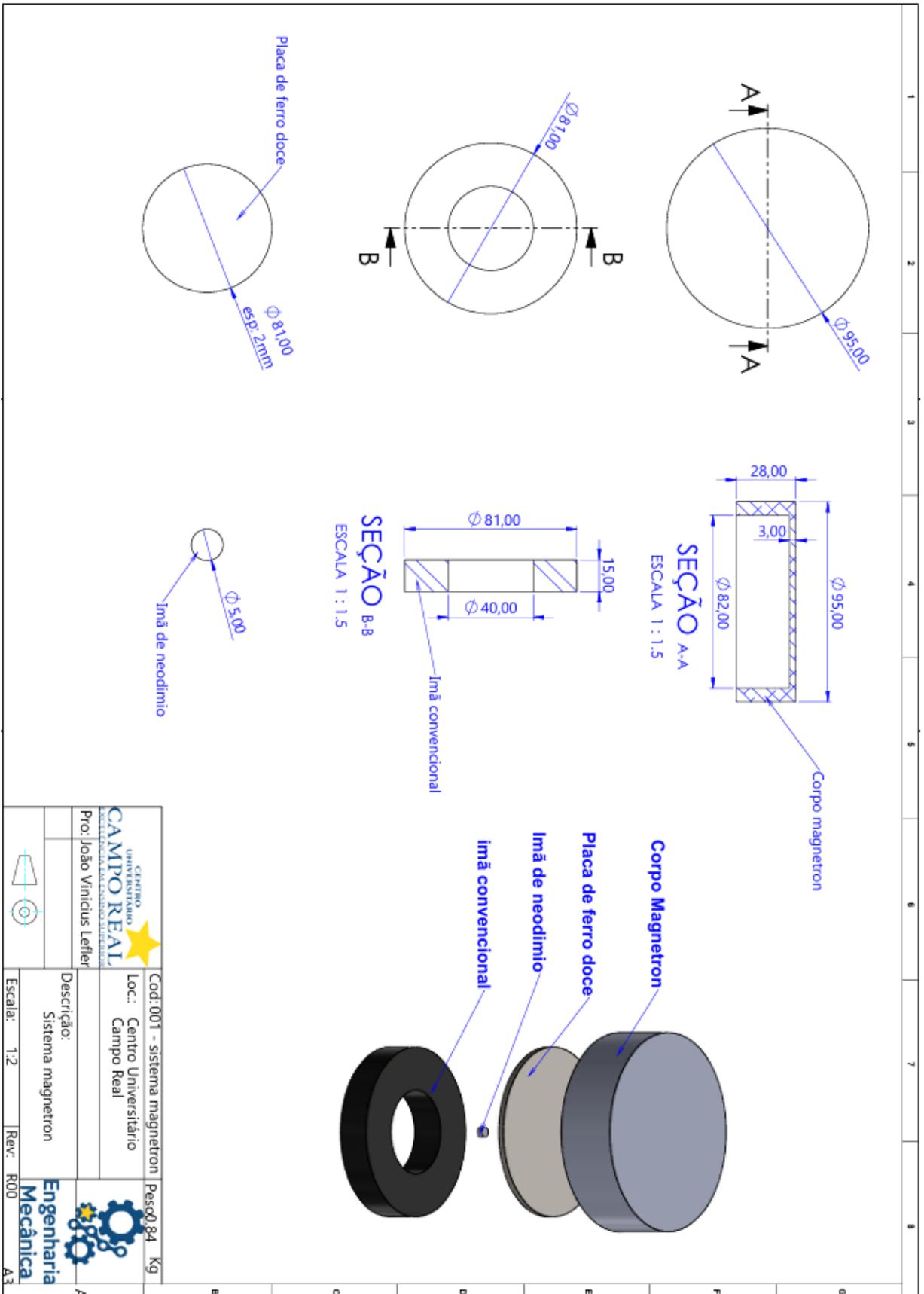
LOPES, Priscila Eduarda Kraft. **PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REATOR PARA TRATAMENTO TERMOQUÍMICO DE SUPERFÍCIE DE NITRETAÇÃO POR PLASMA.** 2018. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina Campus Jaraguá do Sul - Rau, Jaraguá do Sul, 2018. Disponível em: [https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/252/Priscila%20Eduarda%20Kraft%20Lopes\\_TCCFAB\\_2018.pdf?sequence=1](https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/252/Priscila%20Eduarda%20Kraft%20Lopes_TCCFAB_2018.pdf?sequence=1). Acesso em: 14 nov. 2024.

JANECZKO, Eduardo Steenbock. **NITRETAÇÃO POR PLASMA A BAIXA TEMPERATURA DE AÇOS INOXIDÁVEIS COM MARTENSITA DE CARBONO E DE NITROGÊNIO.** 2019. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24021/1/CT\\_DAMEC\\_2019\\_2s\\_65.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/24021/1/CT_DAMEC_2019_2s_65.pdf). Acesso em: 14 nov. 2024.

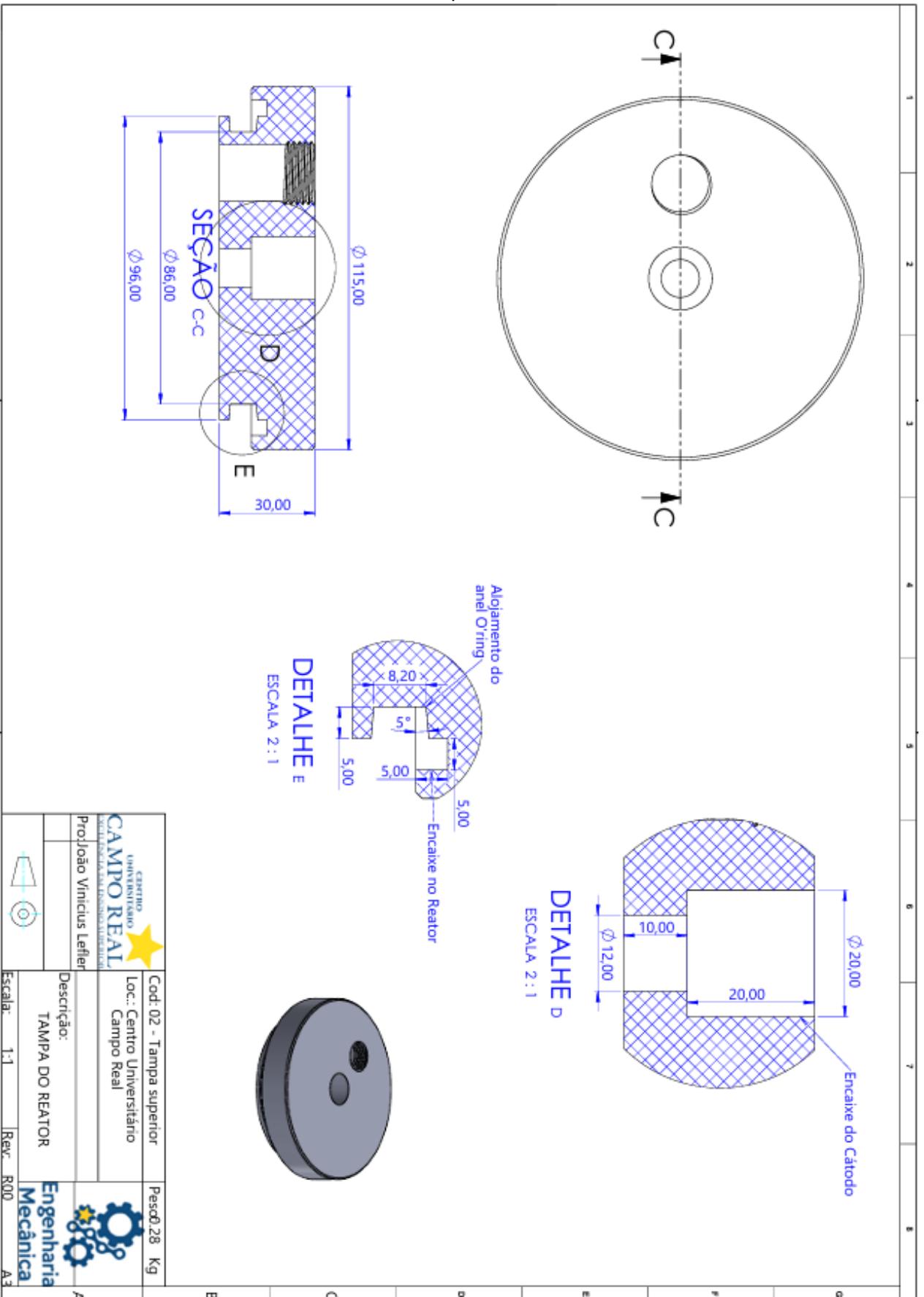
LIEBERMAN, Michael A.; LICHTENBERG, Allan J.. **PRINCIPLES OF PLASMA DISCHARGES AND MATERIALS PROCESSING.** 2. ed. New Jersey: Wiley-Interscience, 2005. 794 p. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5914191/course/section/6090251/Lieberman.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2024.

# 7 ANEXOS

Anexo A: Sistema magnetron

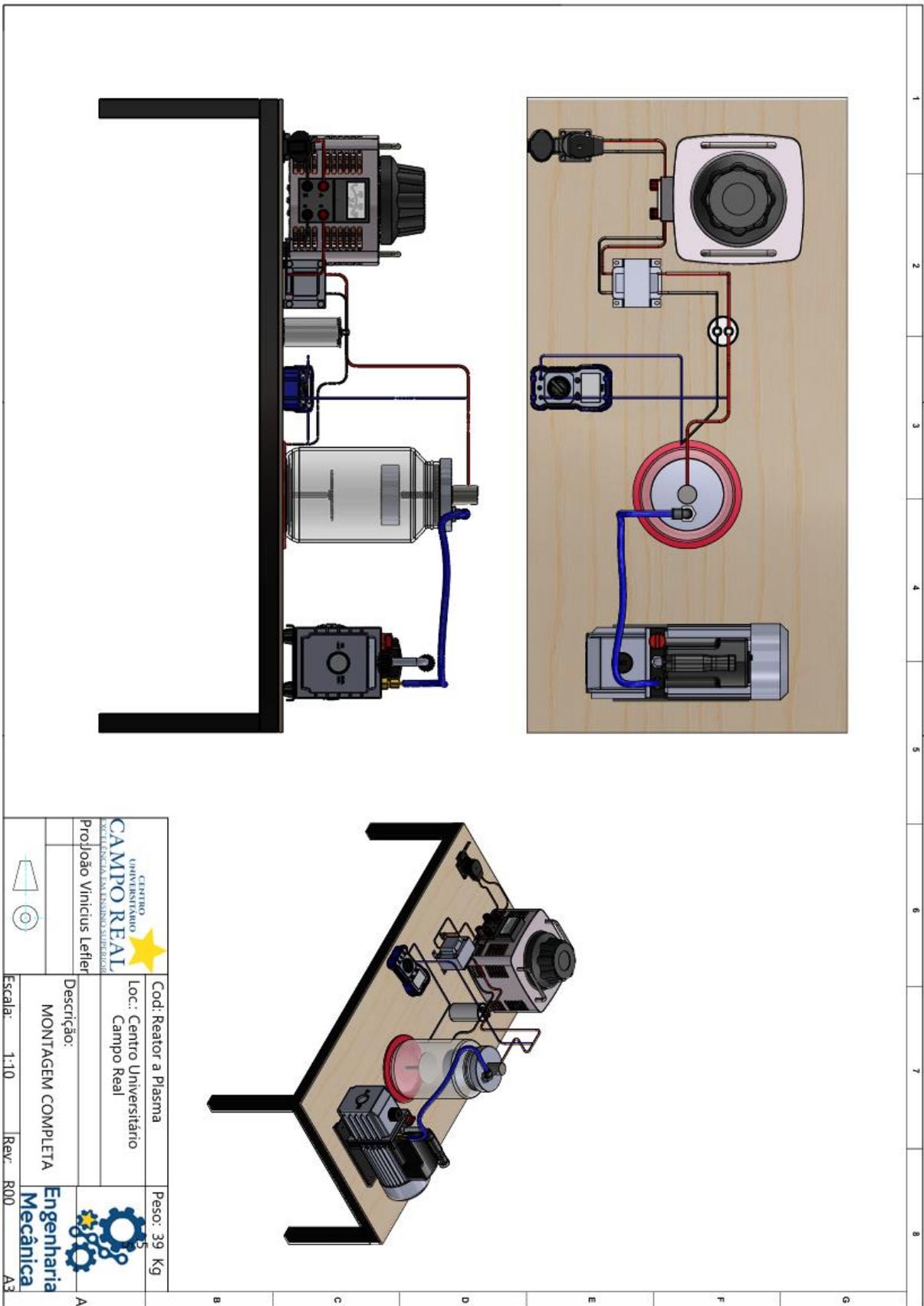


Anexo B: Tampa do reator



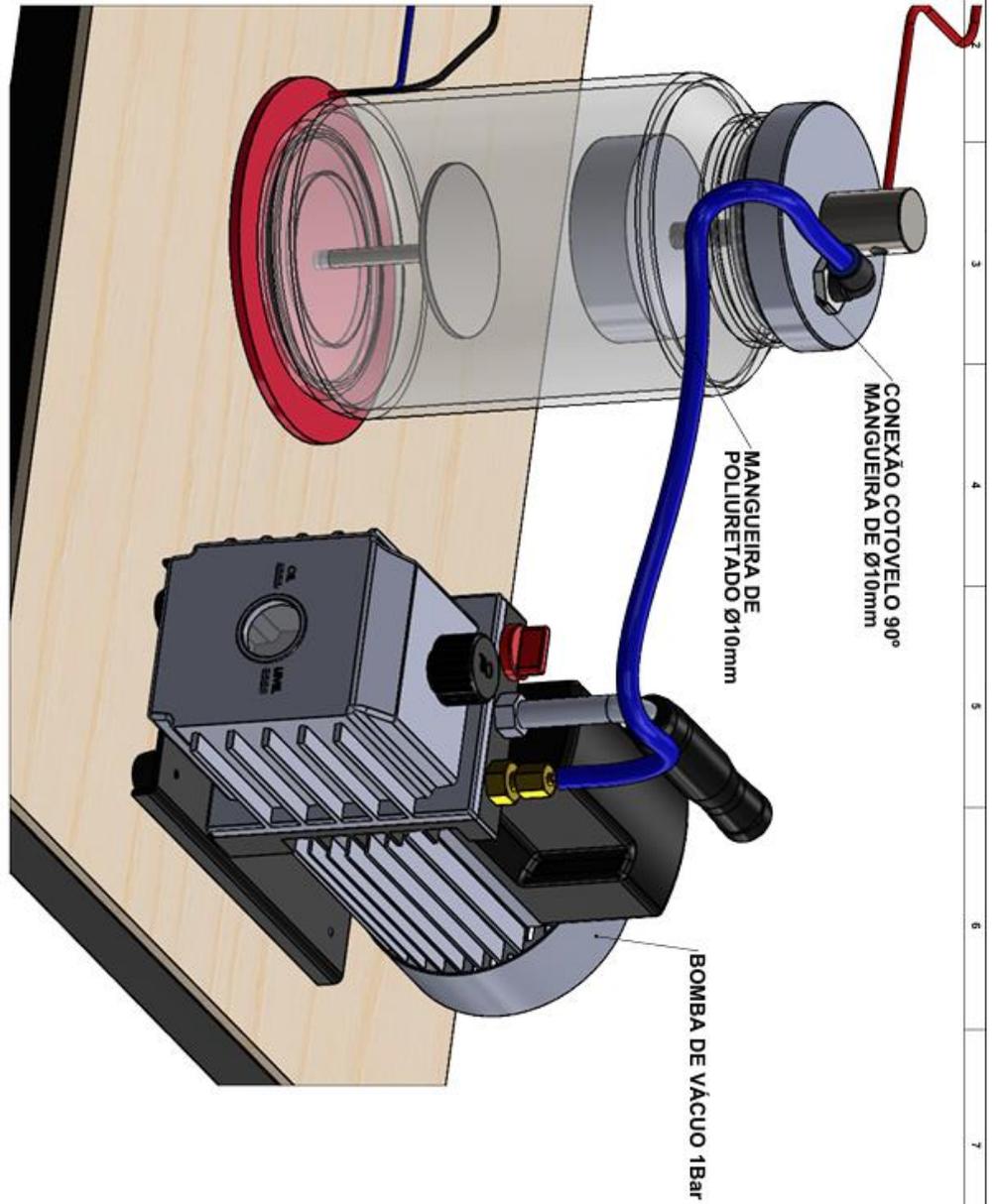


Anexo D: Montagem do equipamento



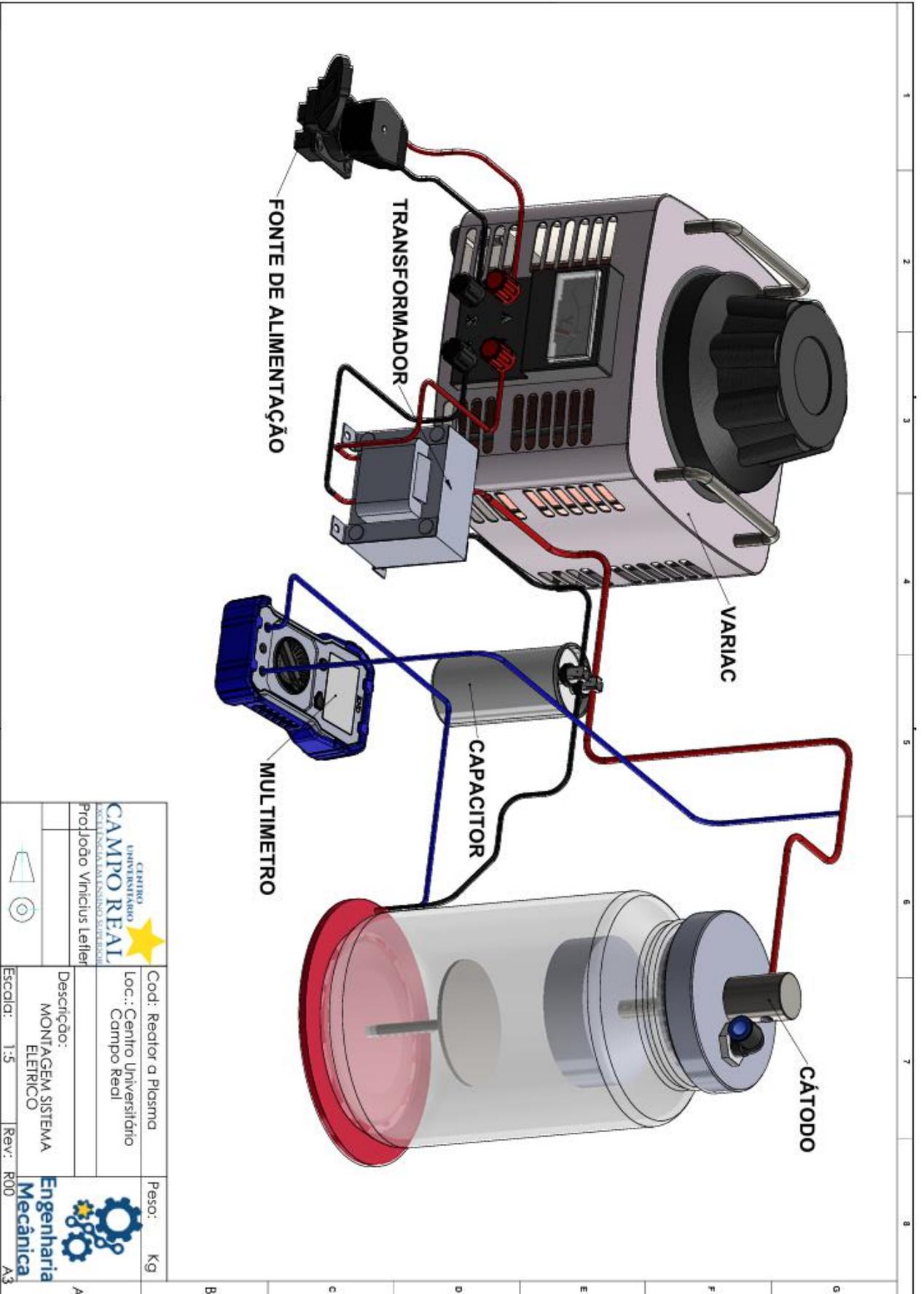
 CENTRO UNIVERSITÁRIO <b>CAMPO REAL</b> SCIENTIFICAL AND BUSINESS INSTITUTION	Codi: Reator a Plasma	Peso: 39 Kg
	Loc.: Centro Universitário Campo Real	
Profilho Vinicius Lefler	Descrição: MONTAGEM COMPLETA	 <b>Engenharia Mecânica</b>
	Escalar: 1-10	Rev: R00

Anexo E: Sistema de vácuo



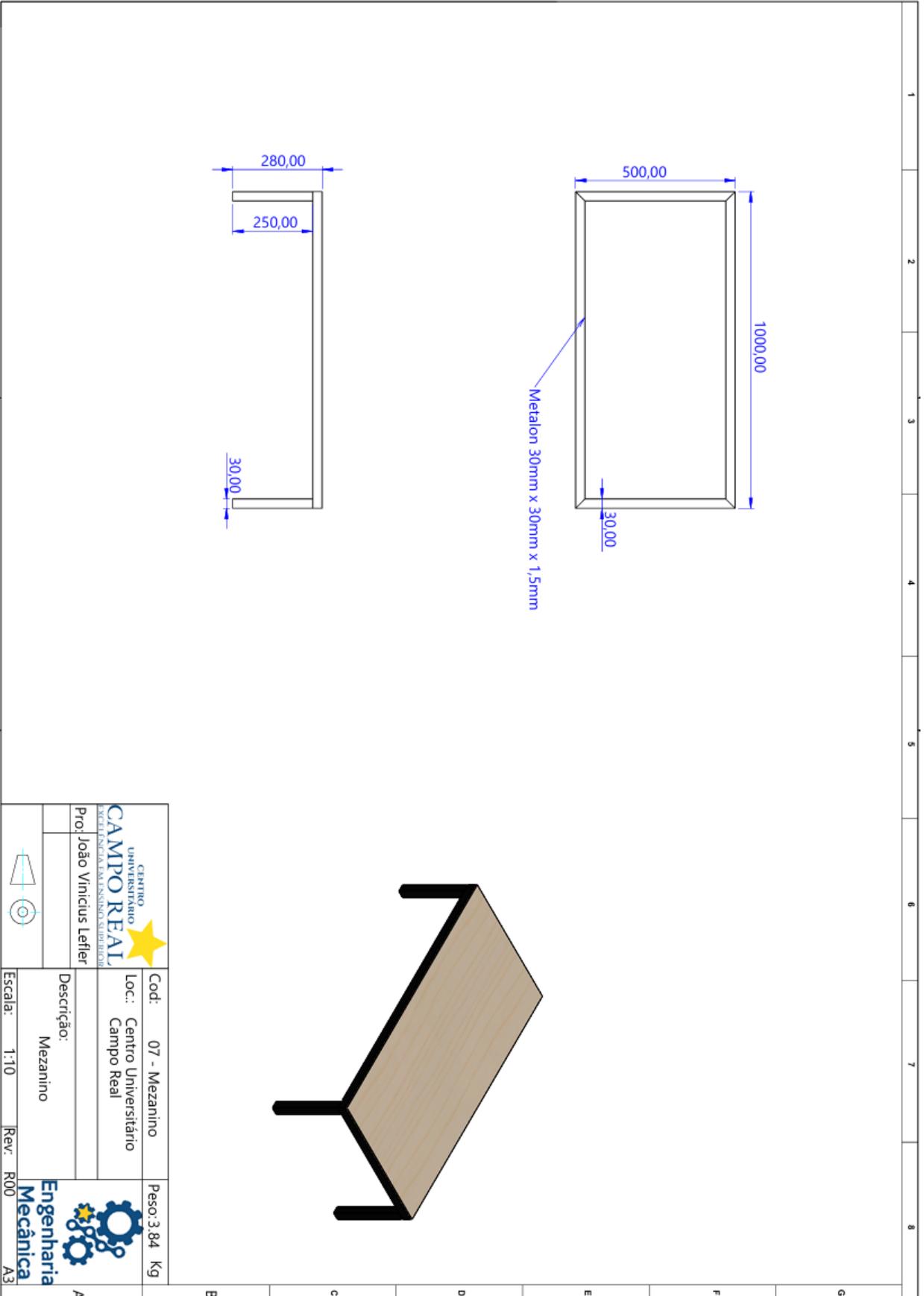
 <b>CENTRO UNIVERSITÁRIO</b> <b>CAMPO REAL</b> <small>UNIVERSIDADE ABILIANSA - INSTITUTO DE CIÊNCIAS</small>	Cod.: Reator a Plasma	Peso:
	Loc.: Centro Universitário Campo Real	Descrição: MONTAGEM SISTEMA DE VÁCUO
Pro: João Vinícius Lefler	Escala: 1:10	Rev.: R00
	 <b>Engenharia</b> <b>Mecânica</b>	A3

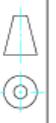
Anexo F: Sistema elétrico



 <p><b>CENTRO UNIVERSITÁRIO CAMPO REAL</b> UNIVERSIDADE DE EDUCAÇÃO SUPERIOR PROJETO VINCULUS LELLEI</p>		Cod.: Reator a Plasma Loc.: Centro Universitário Campo Real	Peso:      Kg Escala: 1:5      Rev.: R00
Descrição: MONTAGEM SISTEMA ELÉTRICO		 <p><b>Engenharia Mecânica</b></p>	

Anexo G: Mezanino



 <p>CENTRO UNIVERSITÁRIO <b>CAMPO REAL</b> INSTITUTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA</p>	Cod: 07 - Mezanino	Peso: 3,84 Kg
	Loc.: Centro Universitário Campo Real	
<p>Prof. João Vinícius Lefler</p> 	<p>Descrição: Mezanino</p>	 <p>Engenharia Mecânica</p>
<p>Escala: 1:10</p>	<p>Rev: R00</p>	<p>A3</p>