

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

PRISCILA EDUARDA KRAFT LOPES

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REATOR PARA TRATAMENTO
TERMOQUÍMICO DE SUPERFÍCIE DE NITRETAÇÃO POR PLASMA**

JARAGUÁ DO SUL, JUNHO DE 2018

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

PRISCILA EDUARDA KRAFT LOPES

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REATOR PARA TRATAMENTO
TERMOQUÍMICO DE SUPERFÍCIE DE NITRETAÇÃO POR PLASMA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina Campus Jaraguá do Sul – Rau para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Dr. Joel Stryhalski

Co-orientador Prof. Dr. Jean Senise Pimenta

JARAGUÁ DO SUL, JUNHO DE 2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
por meio do programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

KRAFT LOPES, PRISCILA EDUARDA
PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REATOR PARA TRATAMENTO TERMOQUÍMICO
DE SUPERFÍCIE DE NITRETAÇÃO POR PLASMA / PRISCILA
EDUARDA KRAFT LOPES ; orientação de Prof. Dr. Joel
Stryhalski; coorientação de Prof. Dr. Jean Senise
Pimenta. - Jaraguá do Sul, SC, 2018.

48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul -
Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica. .
Inclui Referências.

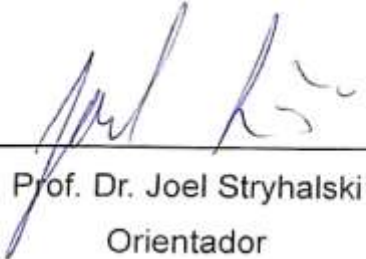
1. Nitretação. 2. Gestão de Produto. 3. Tratamento
Termoquímico. I. Stryhalski, Prof. Dr. Joel. II. Senise
Pimenta, Prof. Dr. Jean. III. Instituto Federal de
Santa Catarina. . IV. Título.

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE REATOR PARA TRATAMENTO TERMOQUÍMICO
DE SUPERFÍCIE DE NITRETAÇÃO POR PLASMA

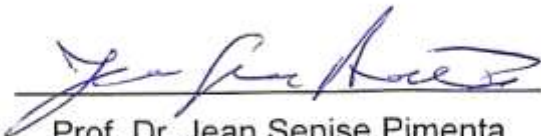
PRISCILA EDUARDA KRAFT LOPES

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo,
pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e
aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

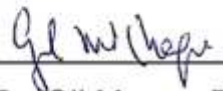
Jaraguá do Sul, 13 de junho de 2018.



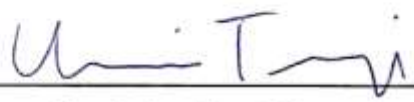
Prof. Dr. Joel Stryhalski
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina



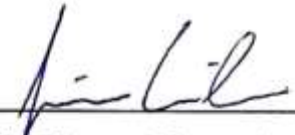
Prof. Dr. Jean Senise Pimenta
Co-orientador
Instituto Federal de Santa Catarina



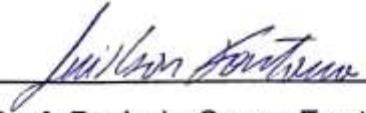
Prof. Dr. Gil Magno Portal Chagas
Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Almir Turazi
Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Giovanni Conrado Carlini
Instituto Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Luis Cesar Fontana
Universidade Estadual de Santa
Catarina

AGRADECIMENTOS

Cada passo dado foi importante para meu amadurecimento pessoal, profissional e principalmente acadêmico. Os últimos anos me proporcionaram grandes conquistas das quais me orgulho e divido este orgulho com todos que me acompanharam diretamente ou indiretamente. Porém, algumas pessoas marcaram essa trajetória e não poderia deixar de mencioná-las.

Aos professores do campus Rau, em especial aos professores: Gil, Joel, Jean, Carlini Tiago, Aldo, Marlon, Cristiano, Fernando e Cassiano. Aos meus colegas de turma, Alido e Paulo, pelos trabalhos em equipe, artigos e apresentações. As minhas colegas de outras turmas, Ariadne e Natália, que sempre forneceram suporte em todas as horas que precisei. Aos técnicos do campus, Marcelo, Gustavo e Robson.

Aos amigos do Canadá, em especial *ma mère* Simone, Tanya e, meu professor querido Roberto Gagnon. Aos amigos do CsF, em especial para a Lauren Leme, que forneceu seu trabalho e seus ouvidos para minhas dúvidas. Ao Keysi, que me ajudou nas traduções e ao pessoal do 147, por serem pessoas incríveis.

Meus avós Erica, Ilário e Renita pelo apoio e compreensão. Meus sogros Áurea e Agostinho, que me deram suporte a todo momento. Meu pai Jairo e sua esposa Viviane pelo apoio, ajuda e dedicação.

Por fim, meus principais agradecimentos são para minha mãe Marci, por ser a melhor mãe do mundo, ao meu “paidrasto” Marcelo, que é uma das melhores pessoas que já conheci na vida, e ao meu namorado Caio, que, com toda certeza: é a melhor pessoa que conheci na vida.

“Os que questionam são sempre os mais perigosos. Responder não é perigoso. Uma única pergunta pode ser mais explosiva do que mil respostas”.

Jostein Gaarder (O Mundo de Sofia, 1991)

RESUMO

O processo de nitretação foi descoberto nos anos 1900 e atualmente possui diversas e importantes aplicações industriais. O processo viabiliza o endurecimento do material por meio de introdução de nitrogênio atômico (N_2), podendo controlar a profundidade da camada endurecida com as variáveis tempo e temperatura. Além disso, promove a melhoria da resistência à corrosão e o aumento da resistência ao desgaste à fadiga. Como objetivo, este trabalho propôs o projeto e construção de um reator para tratamento termoquímico de superfície com. Para o projeto do equipamento, foram utilizadas algumas ferramentas de desenvolvimento de produto com base teórica de Nelson Back. O diagrama de Gantt, foi utilizado para o controle da produção do projeto, definindo prazos para fabricação e montagem do equipamento. A fabricação dos componentes foi realizada em máquinas ferramentas dispostas no campus Rau e o material escolhido para a produção destes, foram os metais ferrosos e não ferrosos e resistentes a corrosão. O reator, permitirá abranger futuros temas de conclusões de curso e pesquisas científicas dentro do IFSC, tanto para a mecânica (metalográficos, dureza, tribológico) em diferentes materiais em diferentes condições, quanto para a os estudos da elétrica, com desenvolvimento de fontes com controle de corrente, potência e frequência de chaveamento. A proposta também objetiva a didática do processo de tratamento termoquímico, onde os alunos e comunidade podem acompanhar visualmente o funcionamento do reator. Além disso, o reator será um grande aliado para as disciplinas dos cursos fornecidos atualmente no campus e tem intuito de aproximar a comunidade acadêmica do ramo científico.

Palavras-Chave: *Nitretação. Tratamento Termoquímico. Gestão de Produto.*

ABSTRACT

The nitriding process was discovered in the 1900s and currently has several important industrial applications. The process allows the hardening of the material by means of the introduction of atomic nitrogen (N_2), being able to control the depth of the hardened layer with the variables time and temperature. In addition, it promotes improved corrosion resistance and increased wear resistance to fatigue. As objective, this work proposed the design and construction of a reactor for surface thermo - chemical treatment with. For the design of the equipment, some Nelson Back theoretical product development tools were used. The Gantt diagram was used to control the production of the project, defining deadlines for manufacturing and assembly of the equipment. The manufacture of the components was carried out in machine tools arranged in the campus Rau and the chosen material for the production of these, were the ferrous and non-ferrous metals and resistant to the corrosion. The reactor will allow to cover future topics of course conclusions and scientific research within the IFSC, both for mechanics (metallographic, hardness, tribological) in different materials under different conditions, as well as for electrical studies, with development of controlled sources current, power and frequency of switching. The proposal also aims at the didactics of the thermochemical treatment process, where students and community can visually monitor the functioning of the reactor. In addition, the reactor will be a great ally for the course disciplines currently provided on campus and aims to bring the academic community closer to the scientific field.

Keywords: Nitriding. *Thermochemical treatment. Product development.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.....	Quatro estados da matéria
Figura 2.....	Esquematização da produção de plasma em baixa pressão
Figura 3.....	Diagrama de Blocos – Fonte de Alimentação
Figura 4.....	Fases do desenvolvimento de produtos
Figura 5.....	Modelo do Diagrama de Gantt
Figura 6.....	Níveis do projeto
Figura 7.....	Divisão dos níveis e fases do projeto
Figura 8.....	Primeiro nível do projeto
Figura 9.....	Diagrama de Gantt em construção durante a metodologia
Figura 10.....	Montagem do reator concluída
Figura 11.....	Protótipo do reator (A) Projeto do Reator (B)
Figura 12.....	Sequência da abertura do arco plasma

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.....	Lista de materiais
Tabela 2.....	Controle financeiro de gastos

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
UDESC	Universidade Estadual de Santa Catarina
MIT	Massachusetts Institute of Technology
AVS	American Vacuum Society
AISI	American Iron and Steel Institute
PDP	Projeto e Desenvolvimento de Produto
CNC	Controle de Comando Numérico
CAD	<i>Computer Aided Design</i> – Desenho Assistido por Computador
SW	SolidWorks
MKS	Metro-quilograma-segundo
D.C.	Corrente Contínua
A.C.	Corrente Alternada
N	Nitrogênio
Ar	Argônio
°C	Graus Celsius
DDP	Diferença de Potencial
mm	Milímetro
h	Horas
%	Porcentagem
V	Volts
A	Ampere
(+)	Polo positivo
(-)	Polo negativo

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – DIAGRAMA DE GANTT	35
APÊNDICE B – LISTA DE PROCESSOS	36
APÊNDICE C – PROJETO CONCEITUAL CAD (<i>SOLIDWORKS</i>)	38
APÊNDICE D – DESENHOS TÉCNICOS CAD (<i>SOLIDWORKS</i>)	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Problema de Pesquisa	12
1.2. Justificativa	13
1.3. Objetivos	13
1.3.1. Objetivo geral	13
1.3.2. Objetivos específicos	13
2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS	14
2.1. Plasma	15
2.2. Vácuo	17
2.3. Fonte de Alimentação	18
2.4. Tratamento Termoquímico de Nitretação	18
2.5. Características e Funcionamento do Reator	20
2.6. Gestão e Desenvolvimento de Produto	20
2.7. Diagrama de Gantt	22
3. DESENVOLVIMENTO	23
3.1. Materiais e Métodos	23
3.2. Resultados	23
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	28
5. CONCLUSÃO	31
5.1. Trabalhos Futuros	32
6. REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

Os processos de fabricação tiveram avanços significantes nas últimas décadas. A indústria metal mecânica tem consolidado novas tecnologias para a melhoria das propriedades de materiais metálicos e não metálicos. Os processos mais relevantes para obter uma melhoria das propriedades do material são os tratamentos térmicos. Os procedimentos envolvidos nos tratamentos térmicos, basicamente, envolvem aquecimento e o resfriamento do material, causando alterações na sua microestrutura, afetando as propriedades mecânicas deste (Groover, 2014, p. 499).

A diversidade das técnicas dos processos de tratamento térmico se dá através da expansão tecnológica. Entre as diversas técnicas, estão os processos de tratamentos termoquímicos, usados para endurecimento superficial com adição de elementos químicos como carbono e nitrogênio.

Os tratamentos termoquímicos usuais atualmente são a cementação, nitretação e carbonitretação. A cementação, que envolve o aquecimento da peça em um meio rico em carbono, é o processo mais comum na indústria. A nitretação é um tratamento no qual envolve a difusão de nitrogênio na superfície de materiais que em contato com certos elementos de liga, formam nitretos e precipitam como partículas muito finas na camada superficial e endurecida do aço. A carbonitretação é uma derivação do processo de nitretação, que promove o enriquecimento da superfície com carbono e nitrogênio (Groover, 2014, p. 505).

Os avanços tecnológicos do processo de nitretação, colocam o processo em nível de importância cada vez maior, encontrando um campo de aplicações em aberto ainda crescente. Atualmente, existem estudos das variantes do processo, promovendo controle e estabilidade do tratamento, sobretudo com o avanço da eletrônica de potência. A nitretação se destaca por ter baixos danos ambientais e economia de energia, e é uma alternativa substitutiva aos outros processos. Assim, este trabalho visa projetar e construir um reator para realizar a nitretação a plasma.

1.1. Problema de Pesquisa

A nitretação, processo de tratamento de superfície, tem objetivo de criar uma camada fina endurecida em materiais que sofram esforços mecânicos. Devido a utilização de agentes químicos, o processo de nitretação normalmente é feito em

reatores construídos em aço inox. O aço inox, em sua composição, pode apresentar elementos como cromo (Cr), níquel (Ni) e silício (Si), o que eleva o custo do equipamento. Assim, é problema de pesquisa qual a viabilidade de projetar um reator de nitretação com custo relativamente baixo e didático.

1.2. Justificativa

Neste trabalho, a construção de um reator para tratamento termoquímico de nitretação foi projetado e construído. O reator, permitirá abranger futuros temas de conclusões de curso e pesquisas científicas dentro do IFSC – Campus Rau, tanto na área de estudos mecânicos (metalográficos, dureza, tribológicos) em diferentes materiais e em diferentes condições, quanto para a os estudos da elétrica, com análise e desenvolvimento de fontes com controle de corrente, potência e frequência de chaveamento. A proposta de uma campanula de vidro torna didático o tratamento termoquímico, onde os alunos e comunidade podem acompanhar visualmente o processo. Além disso, o reator será um grande aliado para as disciplinas dos cursos fornecidos atualmente no campus e tem intuito de aproximar a comunidade acadêmica do ramo científico.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Projetar e fabricar um reator para tratamento termoquímico de nitretação a plasma com campanula de vidro, tornando possível e didático a visualização do processo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Elaborar plano de desenvolvimento do produto;
- Elaborar projeto e detalhamento técnico do reator
- Fabricar componentes reaproveitando materiais do campus;
- Montar e instalação dos componentes;
- Realizar testes preliminares no reator.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

A compreensão de alguns conceitos do tratamento termoquímico por nitretação e a estrutura do reator, fazem-se necessárias e serão apresentadas neste capítulo.

O primeiro registro histórico do tratamento termoquímico por nitretação foi em 1913, sendo um registro de patente em Nova Jersey, nos Estados Unidos creditada por Adolph Machlet. Em 1921 Adolph Fry efetuou a primeira patente descrevendo o processo de nitretação gasosa como um meio de endurecimento superficial de materiais, em temperaturas próximas a 580 °C. Fry (1921), descobriu que o nitrogênio e o ferro possuíam afinidades que aumentavam a resistência do material. Os componentes adicionados nos estudos foram: tungstênio, vanádio, molibdênio, manganês e titânio. A nitretação iônica (*ion-nitriding*) foi patenteada em 1931 por J.J. Egan nos Estados Unidos e em 1932 por Berghaus na Alemanha. O uso comercial deste processo iniciou nos anos 60 (ALVES JUNIOR, 2001).

Na década de 80 houve um impulso no setor da engenharia de superfícies, estimulado pela disponibilidade comercial de várias tecnologias de superfície (BELL, 1998 apud BERMUDEZ, 1999).

Nos últimos anos, foi identificado o grande avanço em técnicas para modificação da superfície. Essas técnicas fazem uso de plasmas, lasers, feixes de íons e feixes de elétrons como fontes energéticas para alteração da estrutura, da composição das superfícies de materiais ou ainda para a deposição de filmes (ALVES JUNIOR, 2001).

“Os materiais modificados superficialmente são aplicados numa variedade de campos, incluindo dispositivos opto-eletrônicos, isolantes térmicos, revestimentos ou deposição tribológicas e revestimentos decorativos (ALVES JUNIOR, 2001).”

O presente trabalho utilizou referências de projetos desenvolvidos anteriormente. As pesquisas tinham objetivo de entender as abordagens de outros autores na realização de todo desenvolvimento do reator. Todos os trabalhos encontrados possuíam diferentes métodos e resultados para conclusão dos projetos e as principais características foram documentadas como estudo comparativo.

O trabalho de conclusão de curso Desenvolvimento e Construção de um Reator a Plasma para Tratamentos de Superfície de LEME (2017), teve parte de componentes fabricados posteriormente ao projeto, reduzindo os gastos com matéria

prima e fabricação. O reator foi fabricado em aço inoxidável não especificado. Na sua metodologia, o diagrama de Gantt e o mapa do processo e produto foram essenciais para a organização do projeto. O produto foi finalizado e entregue ao laboratório de plasmas do Instituto Federal do Paraná.

Desenvolvimento e Validação de um Reator Piloto Para Processamento de Materiais por Plasma, dissertação elaborada e defendida por MENDES (2001), foi realizado com materiais já dispostos na Universidade Federal de Santa Catarina. O trabalho utilizou aço inoxidável 304L e ferramentas de desenvolvimento de produto como Desdobramento da Função Qualidade (*Quality Function Deployment - QFD*).

Outro reator utilizado como referência para este trabalho foi o reator construído na Universidade Estadual de Santa, que possui características similares, como campanula de vidro e construção interna para reduzir custos. As informações técnicas deste reator foram obtidas através de parcerias de professores das duas instituições de ensino.

As principais diferenças pontuadas dos trabalhos encontrados entre o presente trabalho são os recursos financeiros e reatores com uma base já pronta. O presente obteve um recurso de apenas R\$ 1000,00 para a fabricação do reator. Os reatores dos trabalhos comparados também apresentam recursos elétricos e eletrônicos que não foram incrementados no atual trabalho devido a limitação financeira. Em relação aos materiais empregados, o atual trabalho priorizou o custo e a didática, utilizando uma campanula de vidro que estava disposta no campus e que atendia perfeitamente as condições. Os reatores referenciados, foram produzidos em aço inoxidável e normalmente dispõe de um pequeno visor para acompanhamento do processo.

2.1. Plasma

O plasma, quarto estado da matéria (Figura 1.), é caracterizado por ser uma mistura de átomos, moléculas, íons e moléculas e ainda elétrons livres (FOGAÇA, 2018). “O termo plasma também pode ser referido como descarga elétrica, descarga gasosa ou descarga luminescente (ALVES JUNIOR, 2001).”

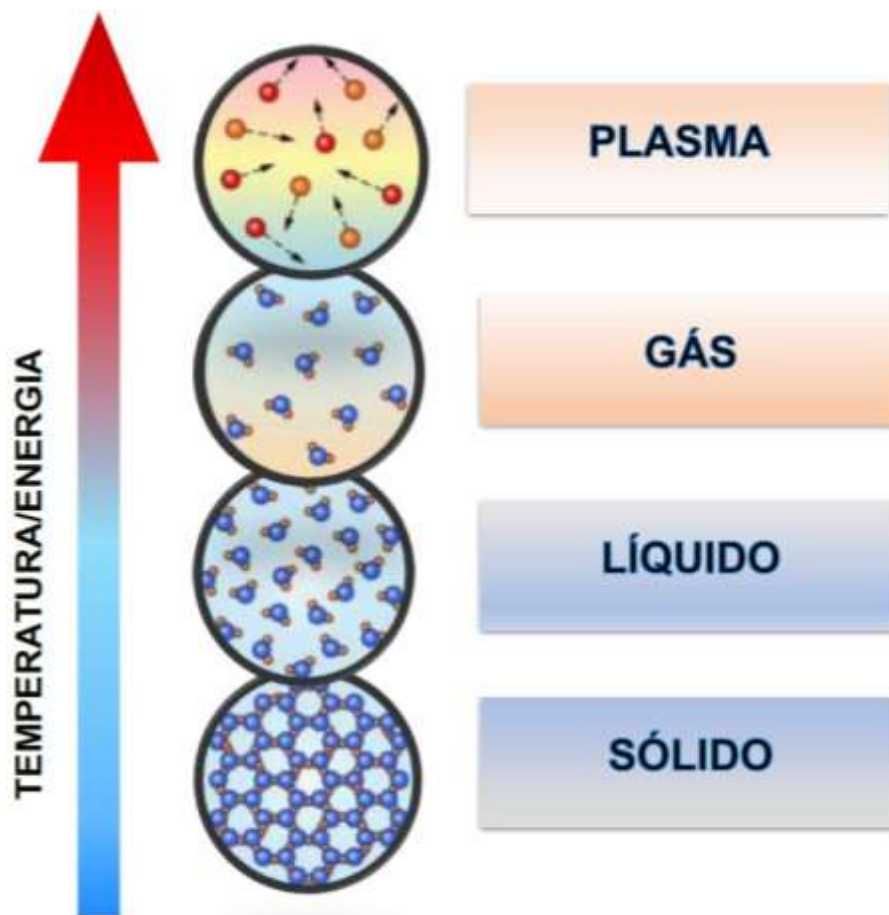


Figura 1 – Quatro estados da matéria.
(Adaptado de <https://bedford-tech.com/four-states-of-matter/>)

No contexto geral, um plasma é eletricamente neutro e tendo qualquer desbalanceamento de carga, resultará em forças elétricas, movendo os portadores e restabelecendo o equilíbrio. A densidade de elétrons, somada com a densidade de íons negativos devem ser iguais à densidade de íons positivos (ALVES JUNIOR, 2001).

Leme (2017), sintetiza que o plasma é gerado quando se fornece energia que pode ser adicionada com a aplicação de corrente elétrica através de um gás neutro. O plasma se estabelece quando há uma diferença de potencial entre dois eletrodos (anodo e catodo) conforme esquematização da Figura 2.

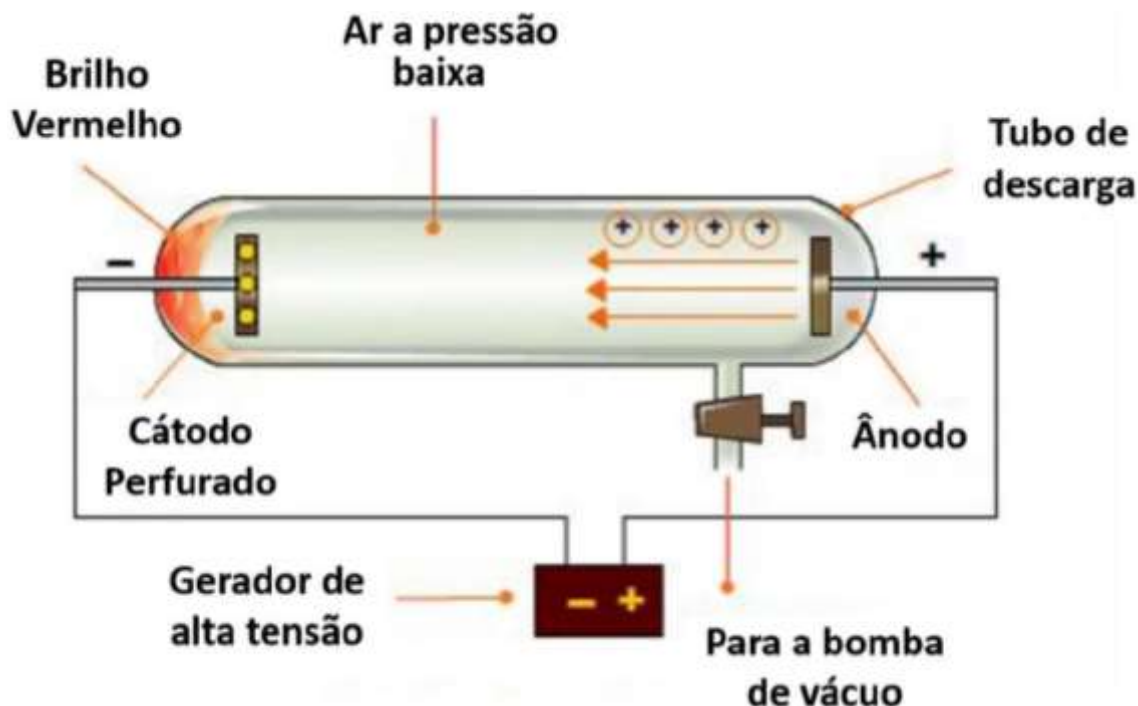


Figura 2 – Esquematização da produção de plasma em baixa pressão.
(Fonte: Leme, 2017)

Por sua versatilidade em suas aplicações, o plasma pode ser encontrado em lâmpadas fluorescentes, na tela de televisões, em tratamentos médicos e odontológicos, em processos de reciclagem de embalagens e na área de conformação de materiais. Na área de materiais o plasma é empregado em processos de modificação de superfícies. Para garantir a diversidade de resultados nas propriedades de materiais, pode-se variar os parâmetros de trabalho do plasma e obter uma dada modificação na superfície do material (SILVA SOBRINHO, 2012 apud LEME, 2017).

“As modificações superficiais a plasma, ocorrem quando há uma interação entre elétrons, íons, ou radicais livres com a superfície do material (SILVA SOBRINHO, 2012 apud LEME, 2017).”

2.2. Vácuo

O vácuo pode ser descrito como um volume ou região do espaço a pressão é menor que 760 torr. Normalmente, a pressão normal medida é expressa em milímetro de mercúrio (mmHg).

Um vácuo perfeito ou absoluto, que implica um espaço totalmente desprovido de matéria, é praticamente irrealizável. Para fins práticos, no entanto, e de acordo com a definição proposta pela American Vacuum Society (AVS), o termo vácuo é geralmente usado para denotar um espaço preenchido com um gás menor que a pressão atmosférica. No sistema métrico, ou Metro-quilograma-segundo (MKS), a unidade de pressão é o Pascal. Em geral, no entanto, a torr continua a ser uma das unidades de pressão mais utilizadas (HOFFMAN, 1998).

O vácuo consiste na retirada de ar, ou de outros gases de uma câmara hermeticamente fechada, podendo ser realizado algum processo industrial ou pesquisa científica. A bomba de vácuo, tubulações, válvulas e conexões são necessárias para este processo (GAMA, 2002).

2.3. Fonte de Alimentação

Segundo Netto (2010), fonte de alimentação é uma etapa básica de equipamentos elétricos-eletrônicos. Sua função é adequar a tensão recebida da rede elétrica para uso nas outras etapas de equipamentos diversos. Uma fonte comumente utilizada é constituída por 4 blocos, conforme Figura 3.

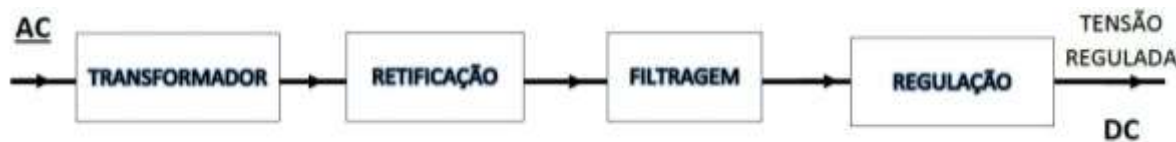


Figura 3 – Diagrama de Blocos – Fonte de Alimentação.
(Adaptado de http://www.feiradeciencias.com.br/sala15/15_07a.asp)

A fonte define as características do sistema de nitretação por plasma. A compreensão dos princípios característicos do plasma ajuda a identificar as exigências da fonte de potência (STRAMKE et al, 1995 apud BERMUDEZ, 1999).

2.4. Tratamento Termoquímico de Nitretação

O processo deste tratamento envolve a introdução de nitrogênio atômico por difusão no interior da rede cristalina de ligas ferrosas no campo de estabilidade da ferrita, em temperaturas normalmente na faixa de 500 °C a 590 °C. (ALVES JUNIOR, 2001). A nitretação tem utilização em vários setores da indústria, podendo ser encontrada em componentes de aeronaves, em rolamentos, componentes automotivos, máquinas têxteis e até mesmo em sistemas de geração de turbinas. A

nitretação é a mais simples das técnicas de endurecimento de materiais (PYE, 2003).

As melhorias obtidas com o tratamento de nitretação refletem em um aumento do desempenho de componentes. Algumas melhorias, como a elevada dureza superficial, alta resistência ao revenimento e melhoria na resistência à fadiga são características de outros processos, porém o processo de nitretação também promove: resistência ao calor até temperaturas equivalentes à da nitretação melhoria na resistência a corrosão e ao desgaste abrasivo, desde que combinado com um núcleo suficientemente tenaz (ALVES JUNIOR, 2001).

Atualmente, vários tipos de tratamentos termoquímicos que utilizam nitrogênio como elemento de modificação de superfície foram aprimorados, como exemplo, a nitretação gasosa, nitretação a gás, nitretação líquida e nitretação a plasma. Dentre os tipos de nitretação citados, a nitretação a plasma é cada vez mais utilizada por possuir vantagens, sendo elas: baixa temperatura de tratamento, menor tempo de tratamento, tratamento parcial de peças, custo baixo de processo, controle e uniformidade na espessura da camada endurecida e não poluente. A nitretação parcial pode ser feita para tratamento de apenas uma área ou superfície da peça com a utilização de uma máscara de material isolante. Os custos baixos de processo são atribuições de um tratamento mais rápido e com menor utilização de insumos. O controle e uniformidade na espessura da camada endurecida é considerada o fator mais importante do processo, que pode ser obtido com a mudança dos parâmetros utilizados. (PINEDO, 2012; ALVES JUNIOR, 2001).

O segredo do processo de nitretação é que ele não requer uma mudança de fase da ferrita para a austenita, nem requer uma mudança adicional da austenita para a martensita. Em outras palavras, o aço permanece na fase de ferrita (ou cementita, dependendo da composição da liga) durante e após o processo. Isso significa que a estrutura molecular da ferrita (CCC) não altera sua configuração ou não cresce na característica de rede cúbica de face centrada (CFC) da austenita, como ocorre em métodos mais convencionais, como a cementação. Além disso, apenas o resfriamento livre ocorre, ao invés de resfriamento rápido ou têmpera (PYE, 2003).

Segundo PYE (2003), não há mudança de tamanho molecular ou mudança dimensional, apenas uma pequena mudança volumétrica da superfície do aço causada pela difusão de nitrogênio.

Apesar das vantagens mencionadas acima, alguns problemas surgem no método de nitretação a plasma. A implantação do equipamento e o próprio

equipamento para nitretação a plasma tem um alto custo (ALVES JUNIOR, 2001). Para AGHJANI (2017), a necessidade de manuseio do processo por pessoa habilitada, dificuldade de processar grandes cargas de trabalho com resultados reprodutíveis, não uniformidade da distribuição de temperatura dentro da carga de trabalho, superaquecimento de peças pequenas e danos superficiais por arco são características negativas do processo.

2.5. Características e Funcionamento do Reator

Os elementos apresentados nesta sessão são essenciais para que haja um tratamento de superfície a plasma. Basicamente, o reator é constituído de uma fonte de potência e um sistema de vácuo. Em detalhes, o reator ainda é composto por dois eletrodos: o anodo e o catodo. O catodo, que possui polaridade negativa, será utilizado como porta amostra para que os elétrons livres colidam sobre amostra. O equipamento possui saídas para os sensores de pressão e temperatura, para o controle dos parâmetros; e entradas para os gases e bomba de vácuo. A fonte de potência possui uma saída D.C. com uma tensão de até 1500 V e corrente suficiente capaz de fornecer energia para a amostra a ser nitretada, promovendo aquecimento a uma temperatura entre 300 °C e 600 °C (ALVES JUNIOR, 2001).

O vácuo é necessário para qualquer procedimento no reator a plasma, para a redução da pressão e geração do plasma. A pressão do sistema de vácuo deve ser capaz de atingir em torno de 10^{-2} torr, e controle, por meio de válvulas, da vazão dos gases introduzidos para tratamento. Logo após as conexões feitas, são inseridos gases em fluxo constante, equilibrando a vazão de entrada e de saída da bomba de vácuo. Após verificar a pressão e assegurar a sua estabilidade, uma diferença de potencial entre o catodo e o anodo deve ser aplicada, entre 400 V e 1200 V, sendo carga especificada para geração do plasma, acelerando as cargas livres presentes em pequenas quantidades em qualquer meio. As cargas aceleradas vão de encontro com eletrodos e colidem com as moléculas do gás da atmosfera do reator (ALVES JUNIOR, 2001).

2.6. Gestão e Desenvolvimento de Produto

O desenvolvimento de produtos e o gerenciamento de projetos consiste na aplicação de conhecimentos, habilidades e ferramentas envolvendo atividades de

projeto, sendo um processo metodológico para a criação ou melhoria de um determinado produto, atualmente, é indispensável para garantir um bom desempenho do produto final (BACK *et al.*, 2008).

Back *et al.* (2008), informa que esta ferramenta engloba desde o planejamento do projeto até fases de manufatura e atividades sequenciais ao processo. ULRICH e EPPINGER, (2012; apud BORGES e PEREIRA, 2013) acrescentam que o projeto de um produto é a reunião de atividades interdisciplinares, observando receptibilidade do mercado para novos produtos.

A gestão e desenvolvimento de um produto requer a identificação de atividades a serem desenvolvidas, sendo estas realizadas em sequência ou simultaneidade, e tempo disponível para conclusão do projeto (BACK *et al.*, 2008).

Algumas metodologias foram criadas ao longo de décadas e são empregadas até hoje por apresentarem resultados positivos. Já as ferramentas atuais englobam metodologias mais complexas seguindo as exigências do mercado consumidor e a redução do tempo de produção, necessitando o envolvimento de variadas equipes de trabalho. Para Back *et al.* (2008), todas as metodologias são válidas e a maioria tem enfoque no processo de projeto, também conhecido como processo de desenvolvimento do produto. De uma forma resumida, o processo de desenvolvimento de produto pode ser observado na Figura 5.



Figura 4 – Fases do desenvolvimento de produtos.
(Adaptado de BACK, *et al.*, 2008)

Este processo de desenvolvimento engloba desde o planejamento do produto, passando pelo projeto do produto e processos de manufatura, até a fase de pós-venda: distribuição, transporte, utilização, manutenção e descarte. A estrutura proposta metodológica, apresenta em forma de fluxograma, desdobramentos das atividades principais de cada fase (BACK, *et al.*, 2008).

A gestão de projetos é essencial para o desenvolvimento controle e organização de um projeto. As ferramentas de projetos são técnicas aplicadas junto ao conhecimento e habilidades de todos os envolvidos para garantir o sucesso do projeto em questão. Através dessas ferramentas é possível gerenciar, administrar ou coordenar um projeto desde o início até o fim, com planejamento, execução e controle das atividades (LEME, 2017).

2.7. Diagrama de Gantt

Trata-se de um gráfico que permite modelar as tarefas de um projeto. Com uma leitura relativamente fácil, os gráficos são utilizados por muitos chefes de projetos (MUXFELDT, 2017). Em uma forma simplificada, o diagrama funciona com linhas representando as tarefas e colunas representando o período de duração do projeto. O tempo estimado para uma tarefa é representado por uma barra horizontal na qual a extremidade esquerda é posicionada sobre a data de início do processo e a extremidade direita sobre a data prevista para o fim da sua execução (FREITAS, 2011). As tarefas podem ligar-se sequencialmente ou serem executadas paralelamente conforme representado na Figura 5, sendo excelente ferramenta de evolução cronológica do projeto e ótimo meio de comunicação dos envolvidos no processo (MUXFELDT, 2017).

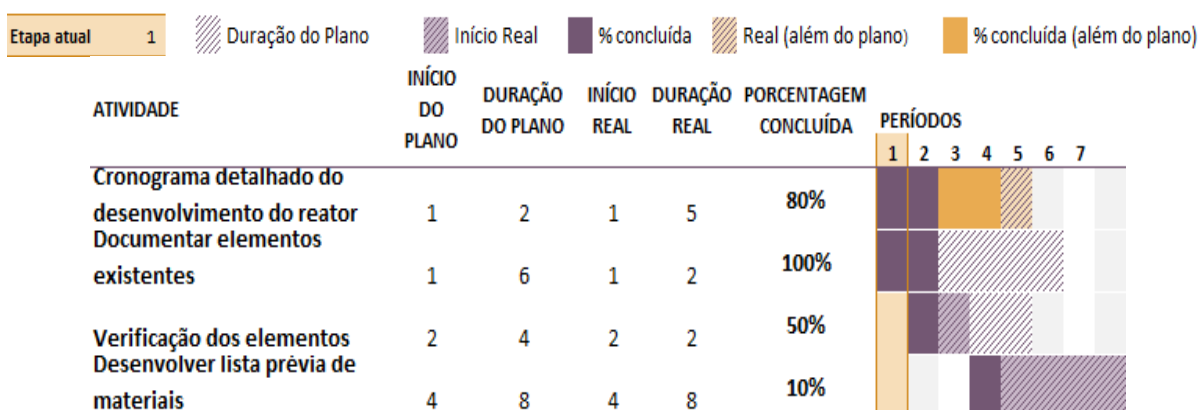


Figura 5 – Modelo do Diagrama de Gantt.
(Fonte: do autor)

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Materiais e Métodos

Na sessão será identificada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do reator, assim como a gestão desta.

Para compreender o funcionamento de um reator a plasma, foram realizados estudos de conceitos fundamentais, apresentados anteriormente. Os questionamentos fundamentais sobre o produto, foram respondidos com a pesquisa preliminar e estudo dos trabalhos realizados do mesmo cunho.

As ferramentas de projeto e a gestão deste tornam-se essenciais para fabricação de novos produtos como o apresentado neste projeto. Para coordenar, organizar e documentar a fabricação deste, fez-se necessário a utilização de ferramentas de gestão de projeto como diagrama de Gantt e fluxogramas de controle de cada fase de sua elaboração.

Unindo os referenciais teóricos e as ferramentas de gestão (Figura 4.), foi estabelecido as prioridades do projeto, gerando uma sequência de planejamento baseada em Back *et al.* (2008), dividida em cinco níveis conforme Figura 6.



Figura 6 – Níveis do projeto.
(Fonte: do autor)

Cada nível se apresentou em uma fase do projeto e em cada fase mais tópicos eram abertos, sempre vinculados ao nível subsequente, evidenciando o fluxo de gestão do produto.

3.2. Resultados

A cada etapa concluída, outra tarefa era desenvolvida sequencialmente ou simultaneamente. As fases foram simplificadas e resumidas conforme representação da Figura 7, para evitar a dispersão de tempo e processo de fabricação. Os níveis e

fases tinham como objetivo guiar, de maneira simplista, o desenvolvimento do projeto e controlar suas mudanças ao longo de cada nível.



Figura 7 – Divisão dos níveis e fases do projeto.
(Fonte: do autor)

O desenvolvimento, iniciou pelo planejamento do produto, que engloba a fase de desenvolvimento do conceito conforme esquematizado na Figura 8. O desenvolvimento do conceito forneceu ideias e características funcionais e o de *design* do produto, dando uma a visão informativa, para dar sequência ao nível de projeto do produto. O desenvolvimento do conceito, quando estabelecido, pôde alinhar o cronograma do projeto, que foi inserido na ferramenta de gestão de tempo: diagrama de Gantt.



Figura 8 – Primeiro nível do projeto.
(Fonte: do autor)

A ferramenta para gestão do tempo no nível de planejamento de produto foi o diagrama de Gantt, fornecendo ordem cronológica, estruturando os prazos do projeto conforme mostrado na parcialmente na Figura 9.

ATIVIDADE	INÍCIO DO PLANO	DURAÇÃO DO PLANO	INÍCIO REAL	DURAÇÃO REAL	PORCENTAGEM CONCLUÍDA
Busca por orientador	1	2	1	1	100%
Reunião com orientador para definição do tema	2	2	2	2	100%
Definição de uma metodologia	6	2	6	4	100%
Listas de materiais disponíveis para o projeto					0%
Orçamento prévio de materiais					0%
Desenvolvimento de desenhos técnicos					0%

Figura 9 – Diagrama de Gantt em construção durante a metodologia.
(Fonte: do autor)

No nível subsequente, projeto do produto, foi definida a matéria prima compatível com a aplicação de cada componente. Determinando a matéria prima, a lista de componentes foi obtida com os desenhos do projeto do produto. Seus desenhos técnicos, foram realizados em software CAD (Computer-Aided Design) *SolidWorks*, disposto nos laboratórios do Campus Rau.

A lista de materiais (Tabela 1.), e a quantidade de componentes foi utilizada para definir o Nível 3 e Nível 4 sendo estes, o projeto do processo de manufatura e a manufatura do produto.

COMPONENTE DO REATOR	MATÉRIA PRIMA	AQUISIÇÃO/FABRICAÇÃO
Campanula	Vidro Pirex	EXTERNA
Base Campanula	Inox 304	EXTERNA - INTERNA
Bomba Vácuo	-	EXTERNA
Válvula Quebra Vácuo	Latão	EXTERNA
Nipple 3/8"	Latão	EXTERNA
Nipple 1/4"	Latão	EXTERNA
Abraçadeira Ø30 mm	Inox 304	EXTERNA
Conexão Espigão Bomba de Vácuo	Latão	EXTERNA
Conexão Cruzeta Sistema de Vácuo	Ferro Fundido	EXTERNA
Registro Agulha - Gás	Latão	EXTERNA
Conector Sensor de Pressão	Alumínio	INTERNA
Conector Catodo	Alumínio	INTERNA
Conector Termopar	Alumínio	INTERNA
Conector Anodo	Alumínio	INTERNA
Conector Vácuo	Alumínio	INTERNA
Tampo Reator	MDF	EXTERNA
Estrutura Metálica Reator	Aço comum	INTERNA
Tubo Entrada de Gás	Cobre	EXTERNA - INTERNA
Sensor de Pressão	-	INTERNA
Fonte (UDESC)	-	INTERNA
Aneis O'Rings para Vedação	Viton	EXTERNA
Anel para vedação (SENSOR)	Viton/Silicone	EXTERNA
Tubos de Vidro	Boro-Silicato	EXTERNA - INTERNA

Tabela 1 – Lista de materiais.

O projeto da manufatura foi elaborado com auxílio de tabela de processos. Para a manufatura dos componentes os equipamentos foram disponibilizados o torno convencional modelo mascote, a fresadora ferramenteira modelo FVF-3000 ISO 40, o CNC (centro de usinagem) vertical do modelo D600, esmerilhadeira angular do modelo GWS 6-115, máquina para soldagem tipo mig de modelo Hawk 205, retificadora plana tangencial, eletroerosão a fio modelo FW 1Y, furadeira de bancada FBM-160i e ferramentas manuais de acabamento. Dentro destas possibilidades, foram escolhidos os processos mais favoráveis para a produção dos componentes, levando em consideração o menor custo de fabricação.

Além do equipamento de fabricação, uma bomba de vácuo e uma fonte de alimentação foi utilizada para os testes de abertura do arco plasma. A bomba de vácuo disposta no campus, modelo 131 – VC, tem capacidade máxima de vácuo de 695 mmHg (92654,31 PA). A fonte, cedida pela Universidade Estadual de Santa Catarina, possui capacidade de tensão máxima de 1000 V.

A base do reator, foi produzida em aço inoxidável AISI 304. O corte do diâmetro e o sulco para encaixe do anel O'ring foram realizados no CNC. A rosca M5, os furos de entrada e saídas foram feitos em fresadora. O acabamento da superfície interna foi realizado em retífica plana tangencial.

O porta amostra, de mesmo material da base, teve processo de corte manual a plasma para o diâmetro, acabamento deste foi realizado na eletroerosão e o acabamento da superfície realizado no torno convencional. A união do catodo, de mesmo material, foi realizado em processo de soldagem plasma por encosto.

Os flanges para anodo, catodo, termopar, entrada de gases e conector do sensor de pressão foram realizados em alumínio. A fabricação do corpo e furo passante foram realizados no torno. O chanfro e os furos M5 para anel O'ring realizados na fresadora.

A tubulação da entrada de gases foi fabricada em cobre tendo sua forma espiral realizada manualmente e a furação com broca de $\varnothing 1,5$ mm realizada em furadeira de bancada.

A base estrutural do reator teve como matéria prima aço carbono comum não especificado e madeira Arauco. A madeira, foi adquirida comercialmente e as bases de aço encontradas em sucatas soldadas em Mig.

Os processos de fabricação, devidamente tabelados, podem ser verificados no Apêndice B.

Para o processo de conferência, cada componente fabricado foi aferido conforme especificações do projeto técnico (APÊNDICE D). Os equipamentos de medição utilizados foram: paquímetro, para dimensões gerais e relógio comparador, para centragem das peças.

Ao fim da fabricação, foi iniciada a montagem do reator, onde alguns componentes sofreram pequenas adequações para o encaixe do reator como lixamento e esmerilhamento manual. A parte de acabamento dos conectores necessitou de processo manual de polimento, almejando uma superfície plana e livre de porosidades. No processo de montagem, as flanges e componentes eram testados previamente de forma manual. Utilizando uma bomba de vácuo com saída invertida, foi vedado um lado do furo passante, enquanto o outro recebia pressão.



Figura 10 – Montagem do reator concluída.
(Fonte: do autor)

Com os componentes devidamente fixados, fez-se a conexão da bomba de vácuo e sua aferição, e posteriormente foi instalado o sistema elétrico. Montagens e aferições concluídas, levaram o projeto para o último passo: o teste para abertura de arco plasma.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o desenvolvimento da sessão anterior, foi possível documentar as ações executadas para a construção do reator chegando em análises e resultados e estes serão discutidos nesta sessão.

O planejamento do produto envolveu a identificação e análise dos requisitos de um produto, de forma que se difundiu com as restrições financeiras do projeto e objetivos traçados, criando uma concepção do produto. Devido ao cunho didático do trabalho, adaptações da ferramenta de gestão de produto foram realizadas para melhor atender o desenvolvimento do projeto, sendo a principal mudança o Nível 5, onde anteriormente, era a fase de “pós-venda”. Inicialmente, cogitou-se a utilização das ferramentas de projeto de Ulrich e Eppinger, porém a ferramenta de BACK se mostrou clara e simples, se adequando melhor as exigências do projeto.

O diagrama de Gantt (Apêndice A), foi utilizado como gestor de tempo. A ferramenta identificou atrasos no início do projeto, alterando negativamente o restante do cronograma, porém não o suficiente para que houvesse algum grande atraso na entrega do projeto. Os atrasos foram justificados devido à falta de informações e normas de construção de um reator. Na etapa de usinagem, alguns retardos ocorreram inicialmente, até encontrar a melhor sequência no processo.

Os materiais utilizados na manufatura apresentam características similares entre eles, sendo: resistência a corrosão, leveza e são excelentes condutores térmicos. Os requisitos do produto como baixo custo de fabricação com a utilização de apenas R\$ 1.000,00 para a construção do reator; fácil manuseio, com a bancada fabricada campus Rau tendo altura suficiente para as operações manuais; e a campanula de vidro transparente, que possibilitou a visualização do processo, tornando-o didático.

O projeto de manufatura e a manufatura do produto, englobaram alguns equipamentos do campus e a junção desses dois níveis, fez com que uma tabela fosse criada e gerenciada com os processos de cada peça de fabricação interna. Alguns componentes poderiam ser fabricados em outros processos de usinagem, como CNC e eletroerosão, porém, elevaria tempo de produção devido a demanda de utilização de cada equipamento. Outra opção apresentada foi a usinagem externa. Esta foi descartada inicialmente pois elevaria os custos do projeto devido os preços de usinagem e mão de obra, inviabilizando a fabricação do reator.

Com os desenhos técnicos, optou-se por fabricação interna dos componentes, desenvolvendo um projeto conceitual em CAD do reator (Figura 11.).

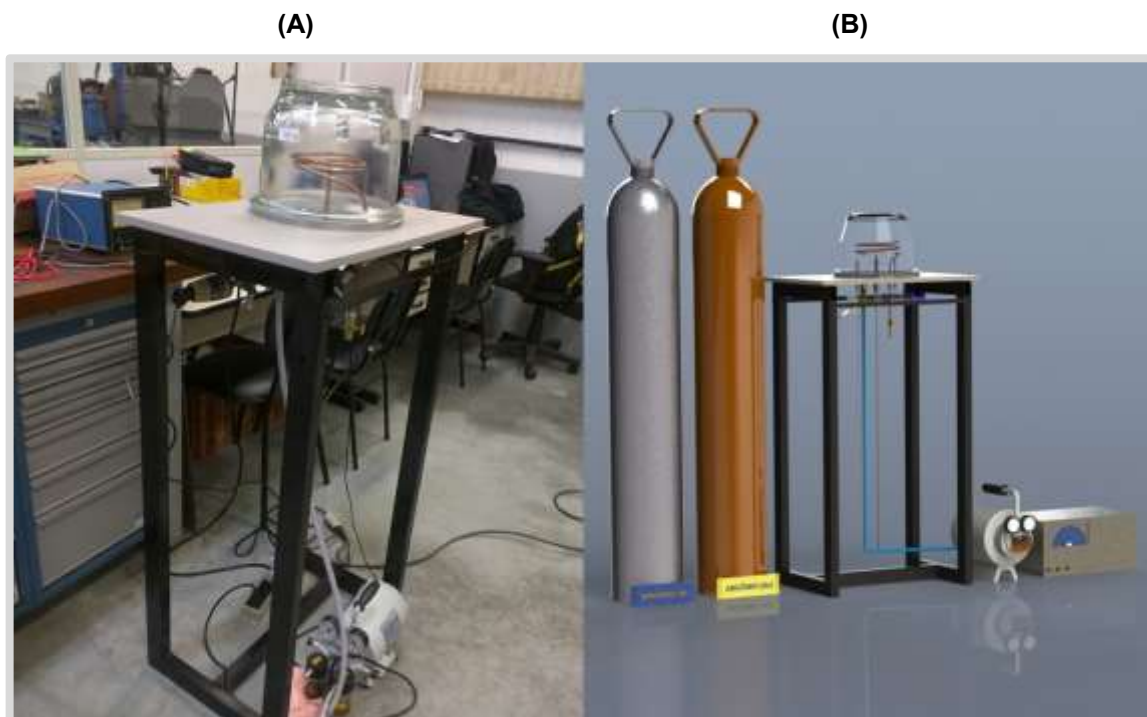


Figura 11 – Protótipo do reator (A). Projeto do Reator (B).
(Fonte: do autor)

Nos testes preliminares realizados após a montagem, foi possível observar alguns pontos de vazamento e conseqüentemente um vácuo deficiente no sistema, dificultando a abertura do plasma. Após a identificação e correção destes pontos, o objetivo dos testes foi alcançado e obteve-se a abertura do arco plasma (Figura 12.) com uma tensão aproximada de 600 V e uma pressão indicada no manômetro da bomba de vácuo de 160 mmHg, equivalente a 160 torr ou o equivalente a 21 MPa.

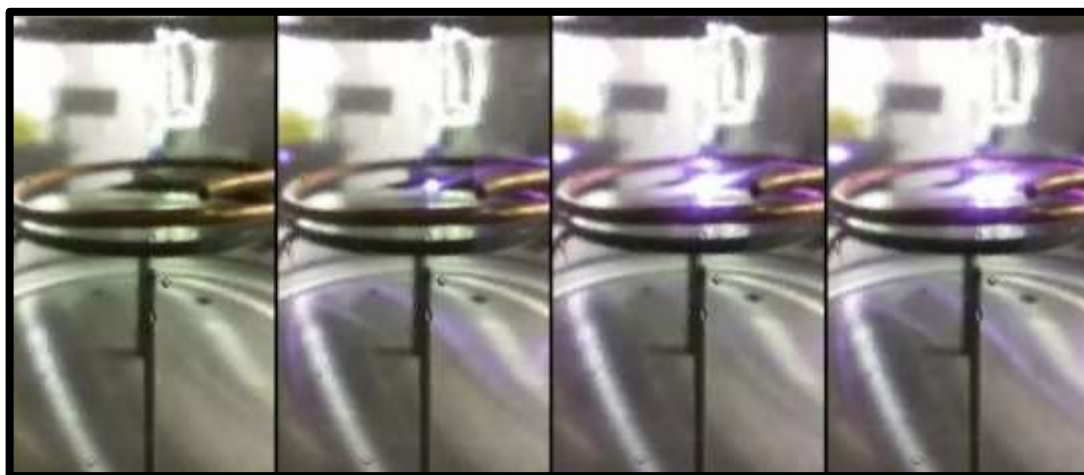


Figura 12 – Sequência da abertura do arco plasma.
(Fonte: do autor)

Ao fim dos testes, uma análise de custos foi realizada para fim comparativo e com base em orçamentos realizados com intuito de aquisição de um reator, os valores de um reator com capacidade similar custam em torno de R\$ 990.000,00. O reator construído, obteve um custo total de R\$ 978,23 (Tabela 2.) em materiais adquiridos externamente.

Em contrapartida, reator construído não fornece sistemas eletrônicos avançados e automáticos como reatores comerciais, mas atende plenamente os objetivos do projeto.

VALOR	DESCRIÇÃO
R\$300,00	FLANGES MODELO
R\$16,14	O'RING
R\$10,40	O'RING
R\$14,00	O'RING
R\$150,00	CHAPA DE INOX Ø 300 MM
R\$34,00	REGISTRO AGULHA E ADAPTADOR
R\$11,80	TUBO DE COBRE E PORCA FLANGE
R\$0,83	O'RING
R\$4,17	PARAFUSOS
R\$5,81	PARAFUSOS
R\$12,10	TINTA E LIXA
R\$17,80	TINTA PROTETIVA
R\$18,78	TUBO DE COBRE
R\$185,90	ITENS PARA VEDAÇÃO
R\$46,00	TAMPO
R\$73,90	MACHO M5
R\$76,60	TUBOS DE VIDRO - ISOLANTES
TOTAL DO PROJETO	
R\$ 978,23	

Tabela 2 – Controle financeiro de gastos.

Com auxílio das planilhas financeiras, obteve-se que o valor de reator construído, teve um custo menor de aproximadamente 99% em comparação aos reatores de linha comercial, porém o cálculo realizado não contabilizou os custos de materiais que já estavam dispostos no campus ou mesmo a mão de obra da fabricação, sendo que estes foram doados para o projeto e a fabricação foi feita internamente.

5. CONCLUSÃO

Em resumo, para o entendimento do processo, uma vasta pesquisa foi realizada, visando entender o funcionamento do reator e as características de cada componente que o compõe. Ferramentas de gestão e desenvolvimento de projeto foram utilizadas para controlar as modificações e documentar os processos utilizados durante todo o trabalho. A ferramenta de Gantt, conhecido por gráfico ou diagrama de Gantt, organizou o tempo de projeto cronologicamente, sondando e prevenindo retardos em cada etapa do trabalho. O trabalho adaptou algumas ferramentas de desenvolvimento de produto, utilizando bases teóricas, que determinaram a organização das etapas da fabricação e construção do reator. Com a metodologia alinhada, os materiais foram escolhidos para compor o estudo do projeto e desenhos técnicos foram realizados em software CAD. Após a fundamentação teórica, a fabricação dos componentes utilizando os equipamentos disponíveis no campus foi iniciada visando a diminuição gastos com usinagem externa de terceiros. Ao fim da fabricação de todos os componentes, iniciou-se a montagem do reator, com pequenas adequações para conexão no reator. Ao fim dos processos, o reator foi ligado e obteve-se a abertura do arco plasma.

O desafio de desenvolver e fabricar um reator para tratamento termoquímico de superfície foi concluído. O reator tem potencial para gerar o plasma para nitretação conforme testes preliminares e poderá auxiliar em futuras pesquisas no Campus Rau. Além da complexidade de desenvolver o reator, os recursos financeiros eram limitados, fazendo com que o projeto tivesse de ser adaptado para tornar possível a utilização dos equipamentos disponíveis no campus.

A elaboração do plano de desenvolvimento do produto, teve auxílio de ferramentas de gestão e desenvolvimento de produto, além da ferramenta de Gantt. Com o plano de desenvolvimento do produto, cada etapa pode ser documentada e organizada para melhor execução do projeto. As principais fases que tiveram benefícios das ferramentas foram a fabricação dos componentes e a montagem do reator.

Os desenhos técnicos e detalhamento técnico do reator foram devidamente documentados, possibilitando a manutenção futura do reator, caso houver quebra ou avarias nos componentes.

A fabricação dos componentes foi realizada com o reaproveitando materiais

do campus, e para a redução de custos optou-se pela usinagem interna, tendo nesta fase desafios devido à complexidade do projeto, a falta de experiência do operador e a precisão dos componentes. Algumas operações de usinagem tiveram de ser refeitas por falhas dimensionais, devido os processos de usinagem convencionais utilizados que não garantem medidas precisas como exigido para a vedação do reator.

Durante os processos de montagem e instalação dos componentes e durante os testes preliminares no reator, houveram alguns vazamentos na tubulação de entrada de gases que retardaram a finalização do projeto. As correções com anéis *O'rings* foram realizadas e os testes foram concluídos.

Algumas alterações foram estudadas para minimizar o custo do reator e uma das alterações mais considerável para redução destes, foi a adaptação de um vidro dessecador usada para a campanula, que minimizou a compra de matéria prima de aço inoxidável, que é comumente utilizado em reatores, eliminou processos de fabricação como calandragem, torneamento, acabamento e soldagem, e acima de tudo, tornou o processo de nitretação visualmente didático.

5.1. Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, propõe-se:

- Conexão dos gases para realização da nitretação;
- Realização de tratamentos de superfície a plasma;
- Análises comparativas de tratamentos realizados no reator;
- Ensaios mecânicos para caracterização da região nitretada;
- Estudo e desenvolvimento de fontes de alimentação CC para o reator;
- Caracterização de materiais com diferentes parâmetros;
- Avaliação da repetibilidade dos ensaios para aumentar a confiabilidade do equipamento;
- Documentação dos procedimentos utilizados determinando parâmetros de ensaio.

6. REFERÊNCIAS

ALVES JUNIOR, Clodomiro. **Nitretação a Plasma: Fundamentos e Aplicações**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2001.

BACK, Nelson, DIAS, Acires, OGLIARI, André, SILVA, Jonny Carlos Da. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**, 2008.

BERMUDEZ, Nery E. **Nitretação por plasma contínuo e Pulsado dos Aços DIN X50 CrVMo 51 e DIN CrAlNi 7**, Universidade Federal de São Paulo, São Carlos, 1999.

BORGES, Marcos M., PEREIRA Amanda S. **Aplicação de Modelo de Referência em Processos de Ensino e Aprendizagem em Desenvolvimento de Produtos**, XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Gramado, 2013.

CRUZ, Daniel, **Construção de Equipamento de Tratamento de Superfície a Plasma com Fonte DC Pulsada para Tratamento de Nitretação Iônica**. UFSCAR, Sorocaba, 2017.

FOGAÇA, Jennifer R. V. **Plasma – Outro Estado da Matéria**, Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilescola.uol.com.br/quimica/plasmaoutro-estado-materia.htm>>. Acesso em: 02 de junho, 2018.

FRY, Adolph. **Process for Hardening Steel Alloys: PATENT 1,487,554**. United States Patent Office, USA, 1924.

GAMA, Sérgio. **Introdução à Ciência e Tecnologia de Vácuo**, UNICAMP, Campinas, 2002.

GARCIA, Euler V., **Diagrama de Gantt de Graduação – O Curso Como um Projeto de Vida**, XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Belém, PA, 2012.

GROOVER, Mikell P., **Introdução aos Processos de Fabricação**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HOFFMAN, Dorothy M. **Handbook of Vacuum Science and Technology**, 3M Research Laboratories, St. Paul, Minnesota, USA, 1998.

KROSS, B. **States of Matter**, The California State University. Disponível em: <https://chem.libretexts.org/Core/Physical_and_Theoretical_Chemistry/Physical_Properties_of_Matter/States_of_Matter>. Acesso em: 30 de maio, 2017.

LEME, Lauren, **Desenvolvimento e Construção de um Reator a Plasma Para Tratamentos de Superfície**. IFPR, Paraná, 2017.

MENDES, Luciano, **Desenvolvimento e Validação de um Reator Piloto para Processamento de Materiais por Plasma**. UFSC, Santa Catarina, 2001.

MUZART, Joel. **Surface Porosity Sealing Effect of Plasma Nitrocarburizing on Sintered Unalloyed Iron**, Surface and Coatings Technology, 2001.

NETTO, Luiz., **Fonte de Alimentação AC/DC**, Brasil Escola. Disponível em <http://www.feiradeciencias.com.br/sala15/15_07a.asp>. Acesso em: 02 de junho, 2018.

O que é o gráfico de Gantt e qual é a sua utilidade, <<https://br.ccm.net/contents/581-diagrama-de-gantt>>. Acesso em: 01 de junho, 2018.

PLATCHECK, Elizabeth R. **Metodologia de Ecodesign para o Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2003.

PYE, David. **Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing**. ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 2003.

PYE, David. **Troubleshooting the Nitriding Process**. Disponível em: <<https://www.industrialheating.com/articles/92993-troubleshooting-the-nitriding-process.html>>. Acesso em: 29 out. 2017.

QUEIROZ, Mayara K. **Nitreção e Pós-Oxidação a Plasma Pulsado de Aços Baixa Liga**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

REIS, Arthur L. E., VIANNA João T. A., MELO Leonardo M. F., VIEIRA Leonardo P., SANTOS Ricardo V., **Teoria Geral das Fontes de Alimentação Lineares**, Universidade Federal de Juíz de Fora, MG, 2011.






STRAMKE S., HUCHEL U, CRUMMENAUER J, DRESSLER S., **Pulsed plasma nitriding and combined processes**. Transactions on Engineering Sciences, vol. 17, Baesweiler, Alemanha, 1995.



TOTTEN, George E. **Steel Heat Treatment Handbook**. 2. ed. Portland, Oregon, USA, 2007.

UMA, Devi M. **Plasma-nitriding of Tool Steels for Combined Percussive Impact and Rolling Fatigue Wear Applications, Surface and Coatings Technology**. p.55-64, 1998.

UMA, Devi M. **Wear Behavior of Plasma Nitrided Toll Steels, Surface and Coatings Technology**, n. 116-119, p. 212-221, 1999.

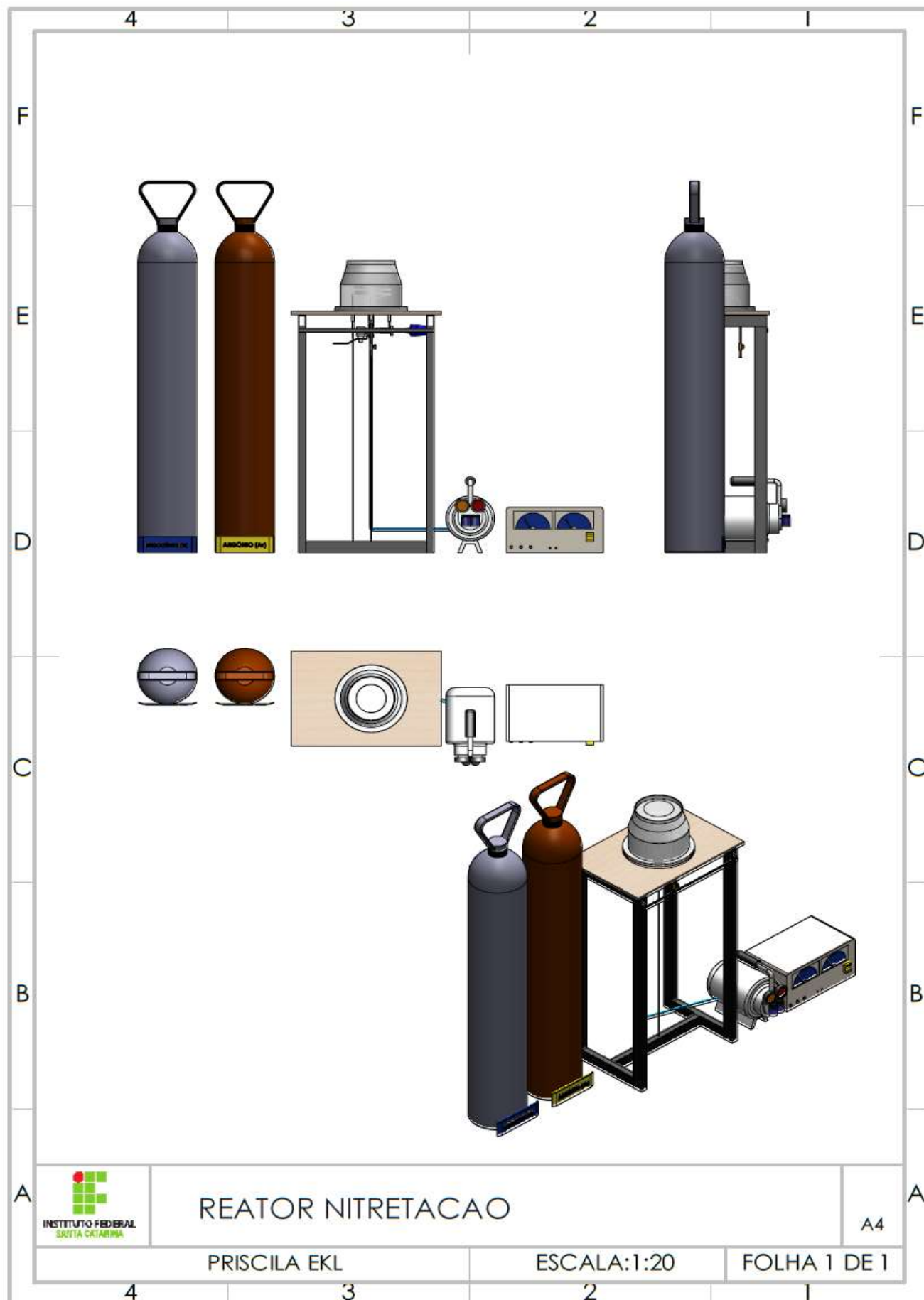
APÊNDICE B – LISTA DE PROCESSOS

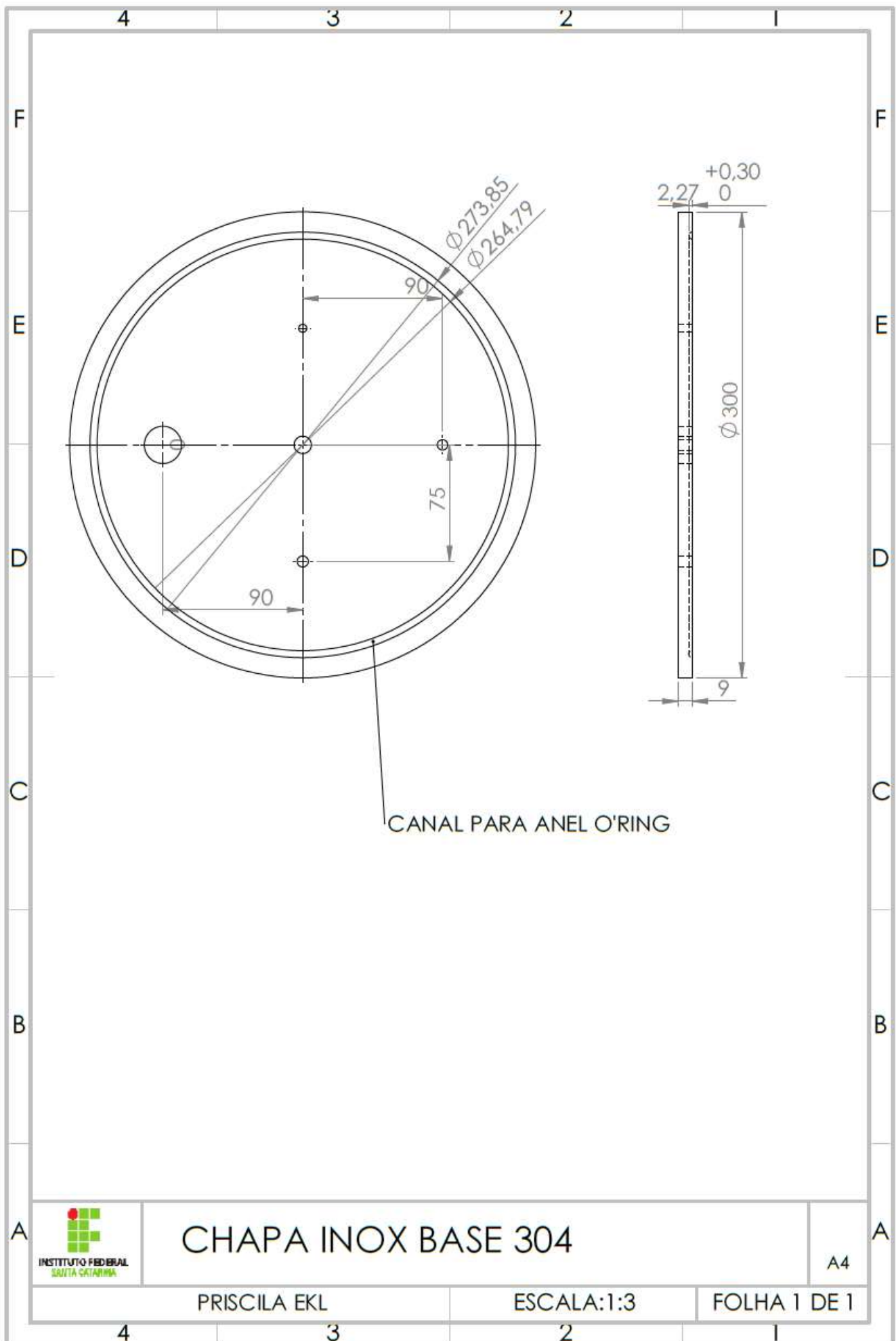
DESENHO	COMPONENTE	MATÉRIA PRIMA	DIMENSÕES	PROCESSO DE FABRICAÇÃO
	BASE DO REATOR	INOX AISI 304	Ø 320 X 10 MM	<ul style="list-style-type: none"> → CORTE DO DIÂMETRO DE 300 MM NO CNC; → SULCO PARA ANEL O'RING REALIZADO NO CNC; → ROSCA M5 E FUROS DE ENTRADAS E SAÍDAS REALIZADOS NA FRESADORA; → ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE INTERNA REALIZADO NA RETIFICADORA PLANA;
	FLANGES PARA ANODO, TERMOPAR E ENTRADA DE GASES	ALUMÍNIO	Ø 63 X 55 MM (3 UNIDADES)	<ul style="list-style-type: none"> → FABRICAÇÃO DO CORPO E FURO PASSANTE REALIZADOS NO TORNO; → CHANFRÔ PARA ANEL O'RING REALIZADO NA FRESADORA; → FUROS M5 REALIZADOS NA FRESADORA.
	PORTA AMOSTRA	INOX AISI 304 PARA AMBOS MATERIAIS	Ø 140 X 10 MM Ø9 X 200 MM	<ul style="list-style-type: none"> → CORTE DO MATERIAL BRUTO REALIZADO NO CORTE A PLASMA; → CORTE DO MATERIAL REALIZADO NA ELETROEROSÃO; → FURAÇÃO CENTRAL REALIZADA NO TORNO; → SOLDAGEM PLASMA POR ENCOSTO DO CATODO NA BASE DE INOX.
	SUPORTE CATODO	ALUMÍNIO	Ø 63 X 50 MM	<ul style="list-style-type: none"> → FABRICAÇÃO DO CORPO E FURO PASSANTE REALIZADOS NO TORNO; → CHANFRÔ PARA O'RING FEITO COM ESCAREADOR NA FRESADORA.
	TUBO DE ENTRADA DE GASES	COBRE	Ø 7/8 POL 1000 MM	<ul style="list-style-type: none"> → MATÉRIA PRIMA ADQUIRIDA COMERCIALMENTE; → ESPIRAL FEITA MANUALMENTE; → FURAÇÃO COM BROCA DE Ø 1,5 MM REALIZADA NA FURADEIRA DE BANCADA

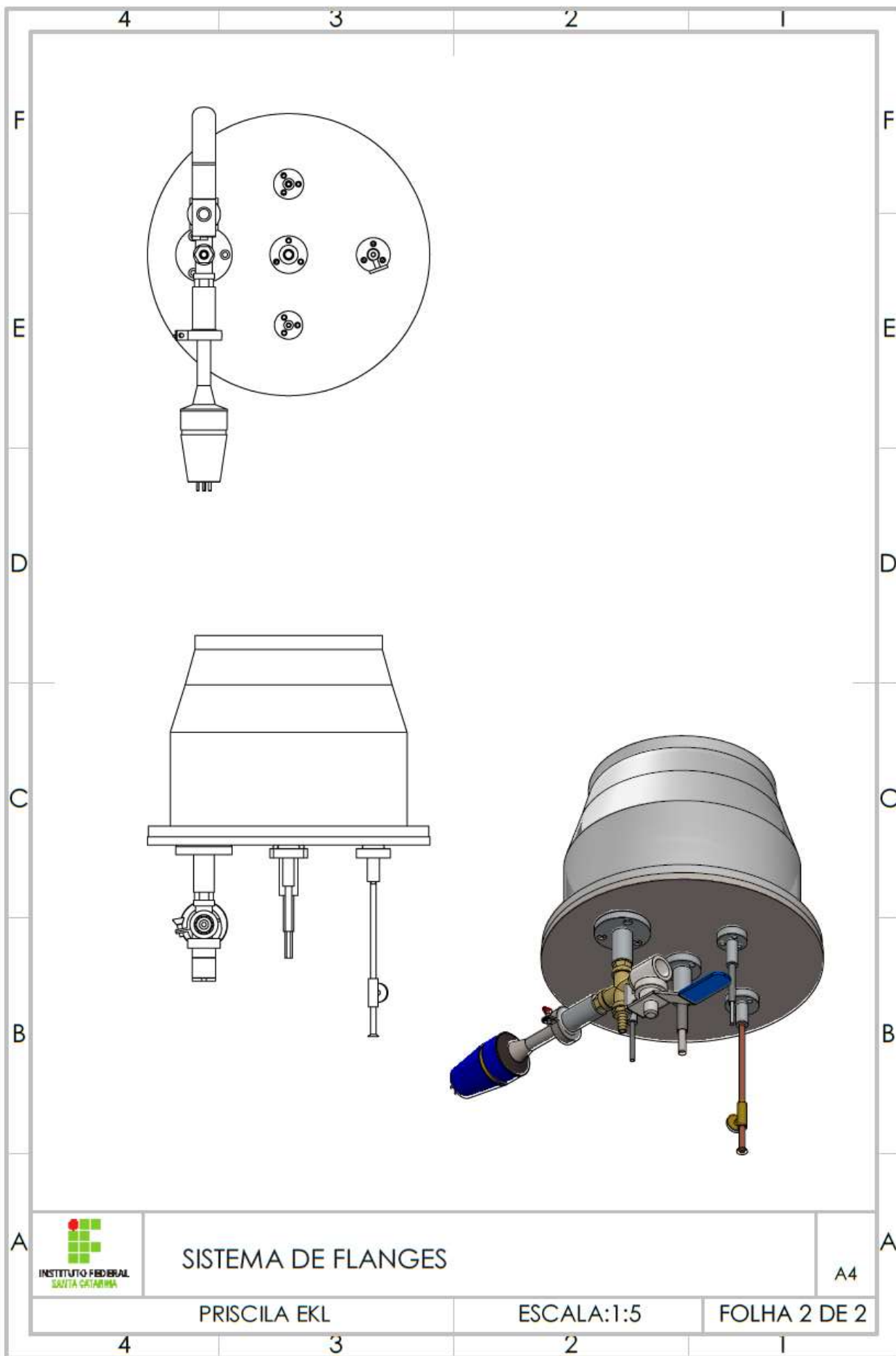
	CONEXÃO SENSOR DE PRESSÃO	ALUMÍNIO	Ø 63 X 50 MM	→ FABRICAÇÃO DO CORPO E FURO PASSANTE REALIZADOS NO TORNO.
	BASE SOLDADA COM TAMPO DE MADEIRA	AÇO COMUM E ARAUCO MDF FRAPÊ	420 X 620 X 1000 MM	→ MDF ADQUIRIDO COMERCIALMENTE; → BASES DE AÇO ENCONTRADAS EM SUCATAS SOLDADAS EM MIG; → TINTA E BOLHA DE SILICONE PARA PROTEÇÃO ADQUIRIDAS COMERCIALMENTE.

APÊNDICE C – PROJETO CONCEITUAL CAD (SOLIDWORKS)

APÊNDICE D – DESENHOS TÉCNICOS CAD (*SOLIDWORKS*)







SISTEMA DE FLANGES

A4

PRISCILA EKL

ESCALA:1:5

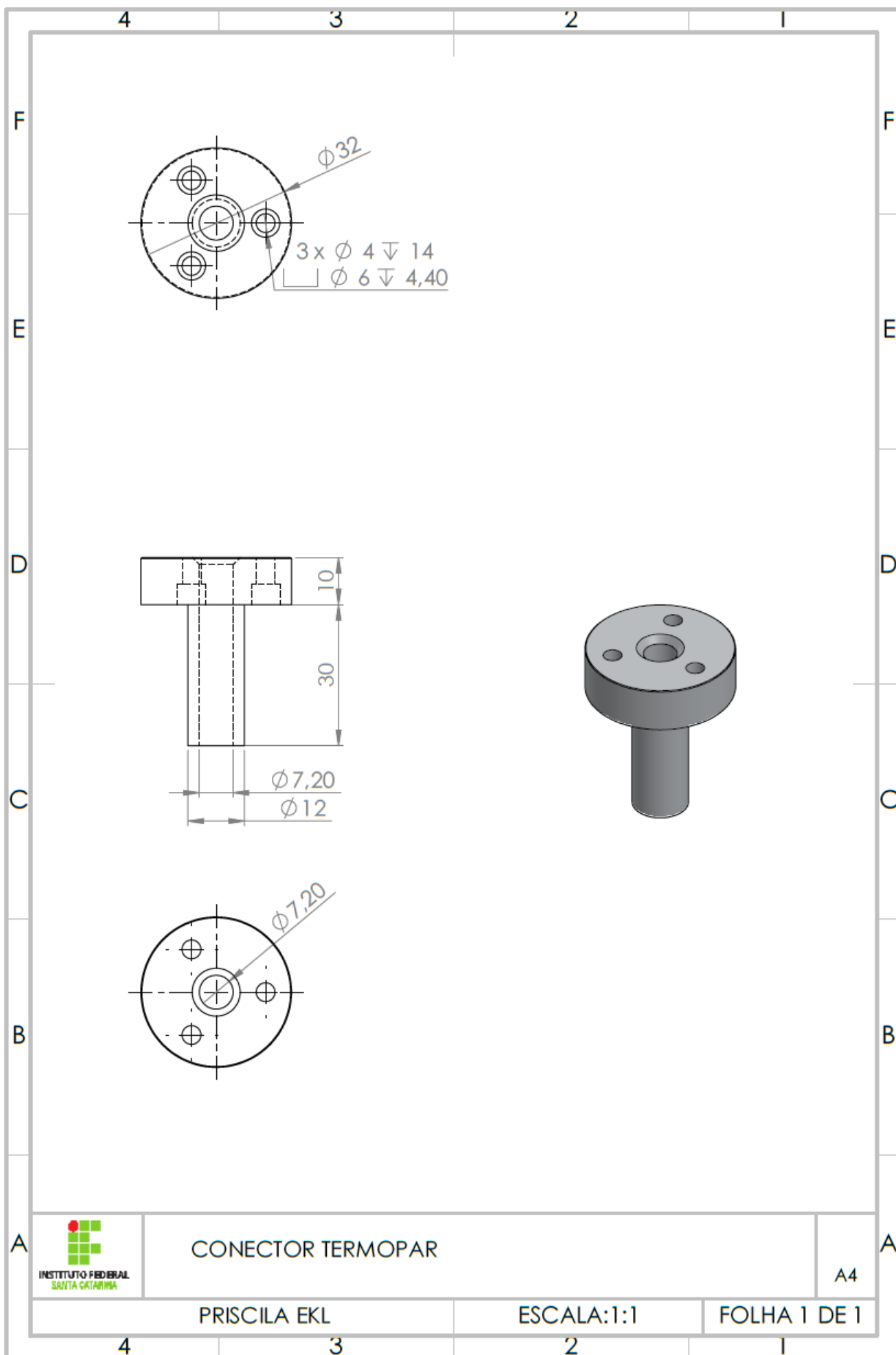
FOLHA 2 DE 2

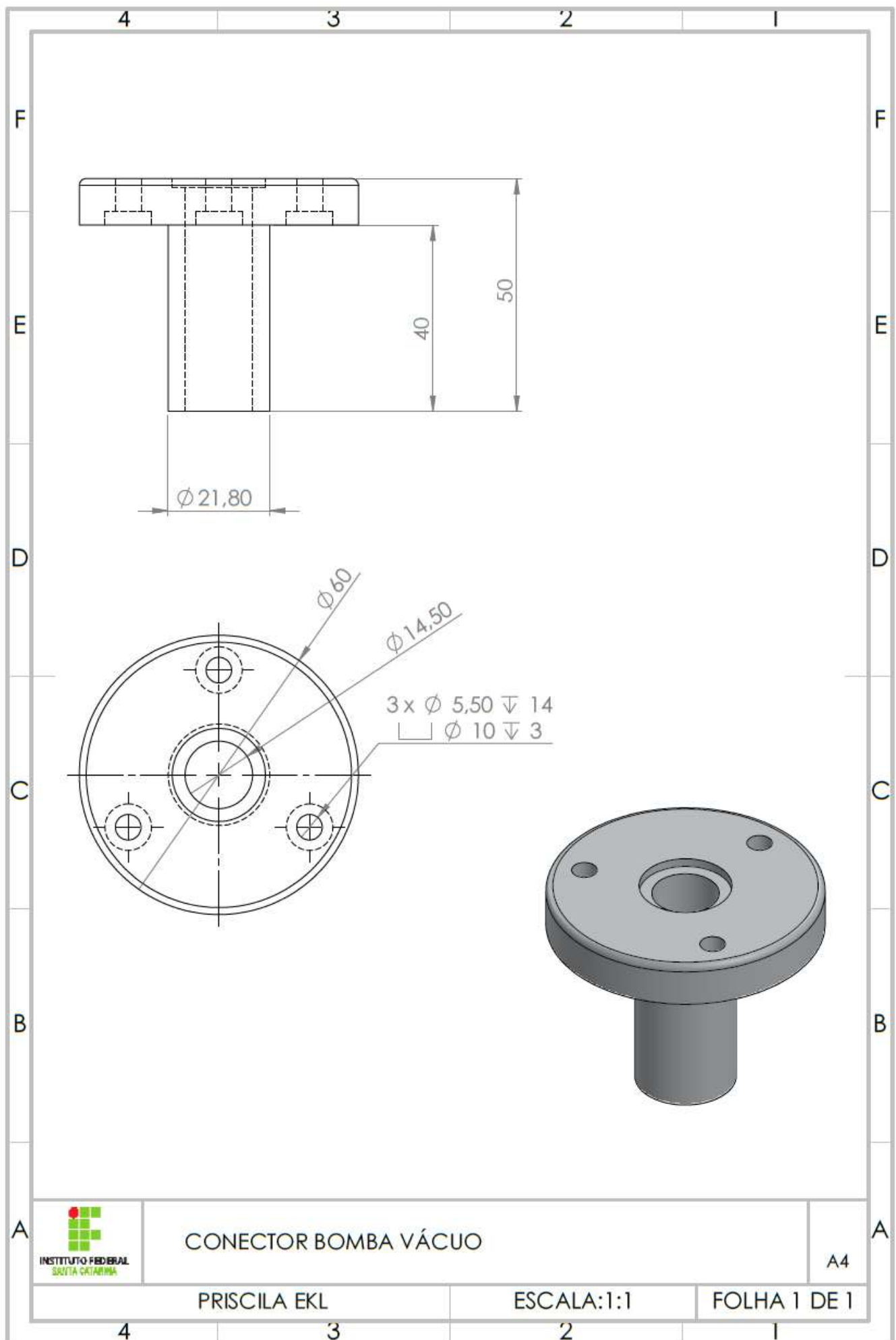
4

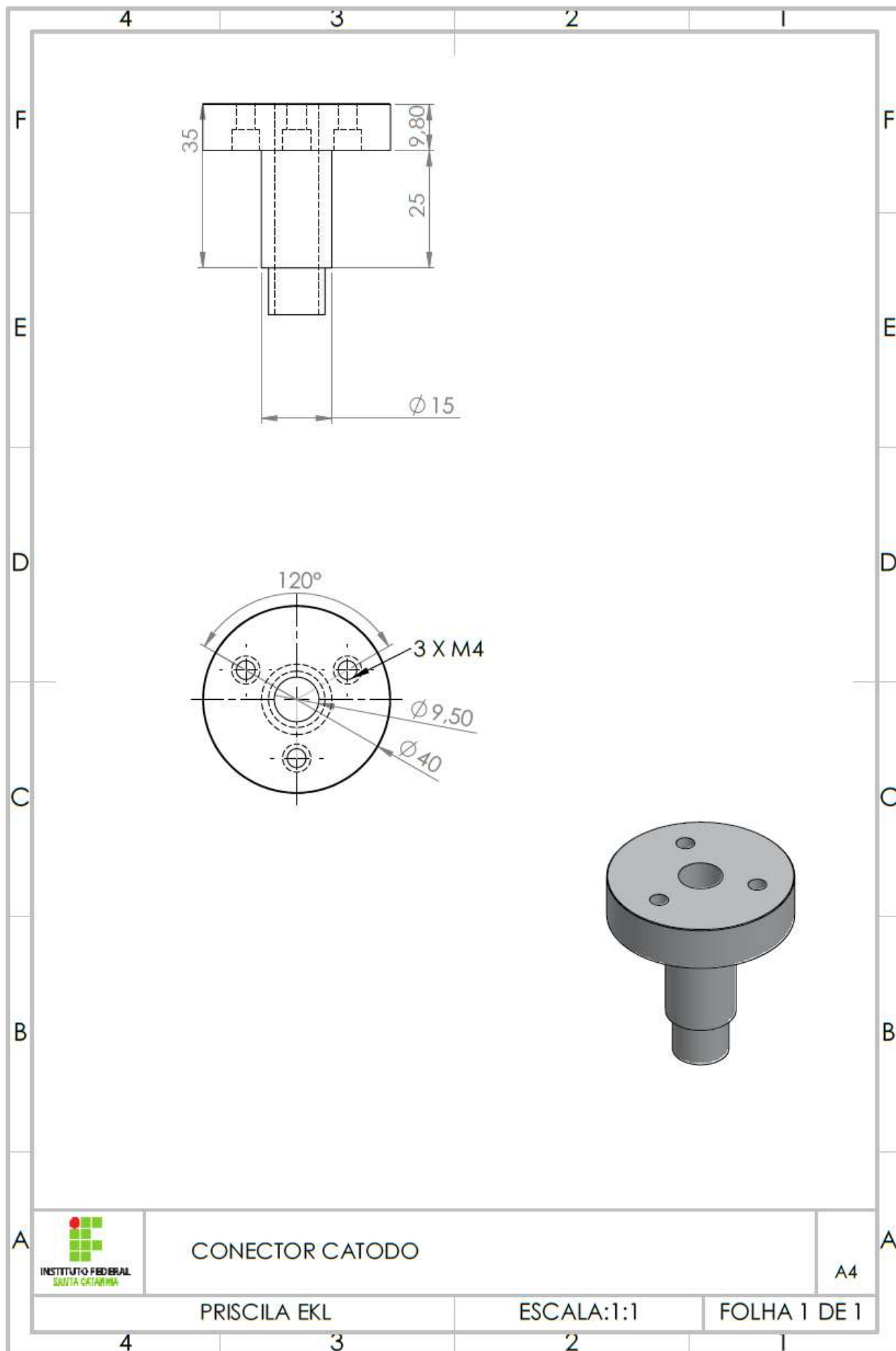
3

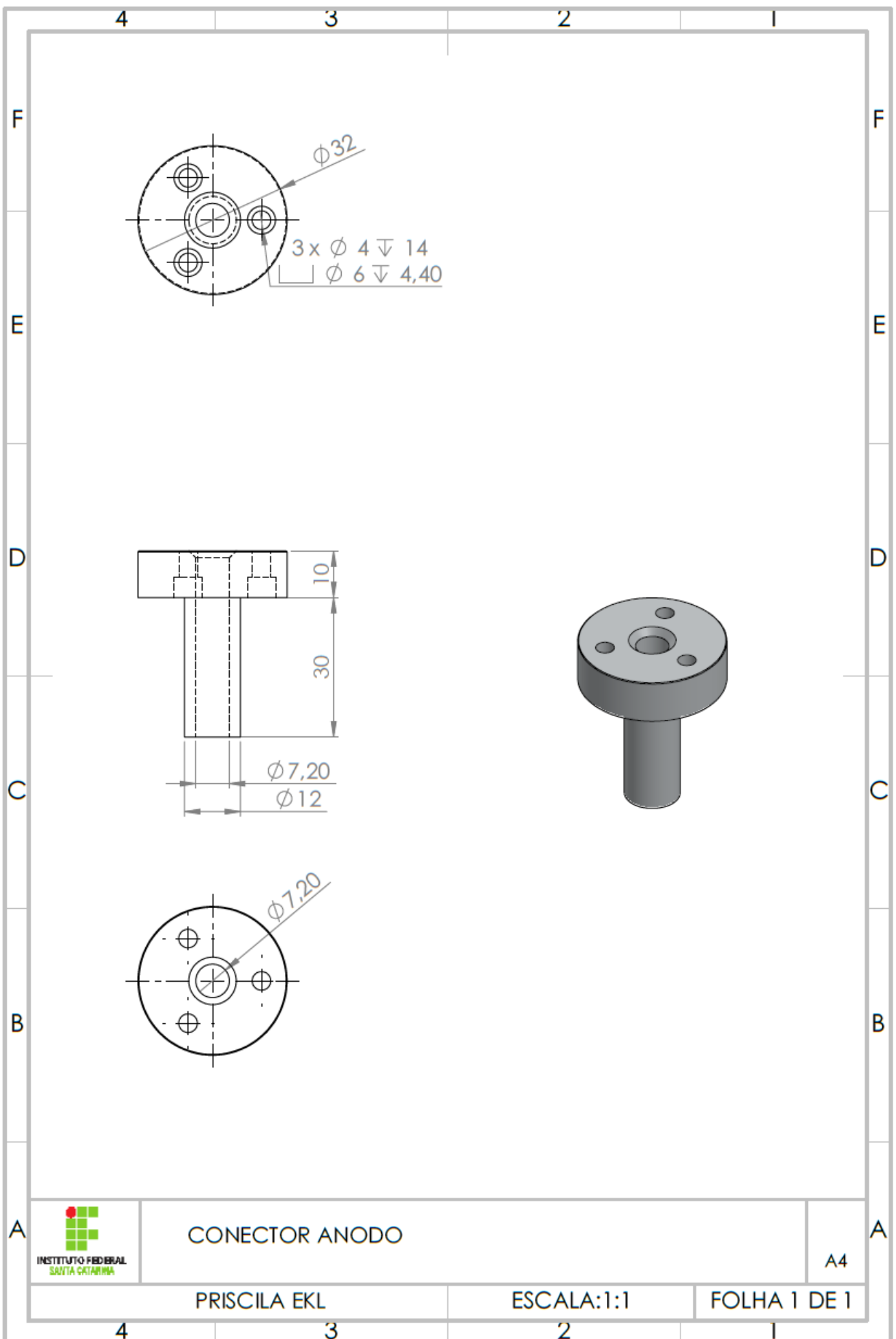
2

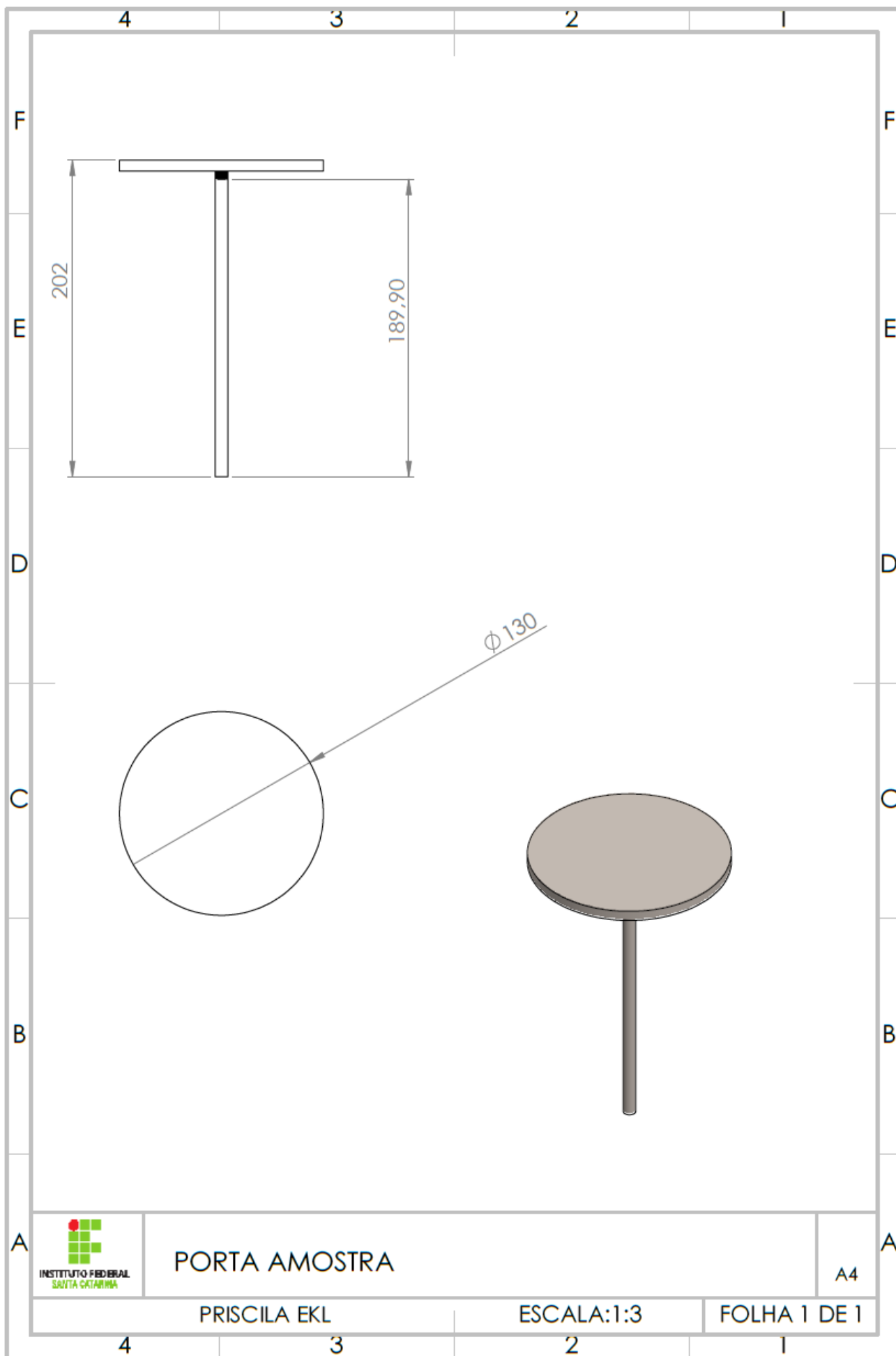
1











PORTA AMOSTRA

A4

PRISCILA EKL

ESCALA:1:3

FOLHA 1 DE 1

