



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

## SELEÇÃO E PROJETO MECÂNICO DE DISPOSITIVO DE INFUSÃO DE FÁRMACOS EM BOLSAS DE QUIMIOTERAPIA

Nikolas Müller Eschebach Kronemberger

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadores: Armando Carlos de Pina Filho

Luiz Antônio Meirelles

Rio de Janeiro

Fevereiro de 2017

SELEÇÃO E PROJETO MECÂNICO DE DISPOSITIVO DE INFUSÃO DE  
FÁRMACOS EM BOLSAS DE QUIMIOTERAPIA

Nikolas Müller Eschebach Kronemberger

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO MECÂNICO.

Aprovado por:



Prof. Armando Carlos de Pina Filho, D.Sc. (Orientador)



Prof. Luiz Antonio Meirelles, D.Sc. (Coorientador)



Prof. Vitor Ferreira Romano, Dott.Ric.



Prof. Ricardo Manfredi Naveiro, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

FEVEREIRO DE 2017

Kronemberger, Nikolas

Seleção e projeto mecânico de dispositivo de infusão de fármacos em bolsas de quimioterapia/ Nikolas Müller Eschebach Kronemberger – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2017.

VII, Páginas p.59.: il.; 29,7cm

Orientadores: Armando Carlos de Pina Filho e Luiz Antônio Meirelles.

Projeto de Graduação – UFRJ/Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Mecânica, 2017.

Referências Bibliográficas: p.60-62.

1. Dispositivo de infusão. 2. Fármacos. 3. Projeto mecânico. 4. Bolsa de quimioterapia. I. de Pina Filho, Armando Carlos II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Mecânica. III. Projeto mecânico de um dispositivo de infusão de fármacos

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Marco Antônio Kronemberger e Beate Müller Eschebach por toda força, carinho e dedicação que me deram ao longo de tantos anos para que eu me desenvolvesse em todas as vertentes de minha vida. Sem vocês não seria possível mais esta etapa. À minha madrastra Claudia Rezende pelos ensinamentos, carinho e dedicação. À minha irmã Erika e aos meus irmãos Stefan, Lucas e Pedro pelos momentos de alegria que me proporcionam e por sempre me ajudarem.

À minha namorada Rachel Viana Khalil por todo incentivo, carinho e compreensão. Sua companhia me dá forças, seus conselhos me inspiram. Obrigado por fazer das dificuldades caminhos menos árduos e por ser responsável pelos melhores momentos.

À toda minha família por sempre acreditarem e incentivarem minhas decisões. Em especial, aos meus avós Maria Stella e Arlindo Kronemberger por serem exemplos de vida, sabedoria e retidão. Agradeço também ao apoio incondicional que meus tios/tias Isabel, Claudio, Ulrike, Vera, Mônica e Jorge sempre me deram. Todos foram e são essenciais em minha caminhada.

Aos professores que fizeram parte de minha formação na UFRJ por todo conhecimento transmitido. Não só os ensinamentos das disciplinas foram fundamentais, mas também todos os conselhos referentes à qualificação de um Engenheiro Mecânico da UFRJ. Em particular ao professor Silvio Carlos pelas oportunidades que me foram dadas e por se tornar um grande amigo.

Aos amigos que fiz durante a faculdade e na vivência da Fluxo Consultoria que permitiram uma convivência harmoniosa e divertida. A todos sou muito grato.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de engenheiro Mecânico.

SELEÇÃO E PROJETO MECÂNICO DE DISPOSITIVO DE INFUSÃO DE FÁRMACOS EM BOLSAS DE QUIMIOTERAPIA

Nikolas Müller Eschebach Kronemberger

Fevereiro/2017

Orientadores: Armando Carlos de Pina Filho e Luiz Antônio Meirelles

Curso: Engenharia Mecânica

O presente trabalho tem como objetivo estudar os tipos de dispositivos de infusão de fármacos existentes no mercado e, posteriormente, realizar um projeto mecânico de um desses dispositivos para o Hospital do Câncer III (INCA). Dependendo da necessidade, os dispositivos de infusão de fármacos podem ser usados para infusão direta de medicamentos em pacientes ou para preparação de bolsas de soro que contenham os fármacos. Para estudar as tecnologias mais avançadas atualmente, será apresentado um estudo de patentes relacionadas com os dispositivos de infusão e descobriremos os principais desenvolvedores. Com isso, é feita uma análise e, a partir de critérios pré-estabelecidos, a seleção de um dispositivo de infusão para o Hospital do Câncer III. Posteriormente, é realizado o desenvolvimento do projeto mecânico a partir de um esboço, no qual é aplicado um modelo de mecânica dos sólidos para analisar as forças atuantes no dispositivo. Com isso, será possível definir as dimensões e a geometria final do protótipo, dimensionar os sistemas mecânicos necessários e, ao final, disponibilizar os desenhos técnicos de fabricação. Neste trabalho serão apresentados os desenhos técnicos feitos a partir de modelagens computacionais utilizando o software SOLIDWORKS.

*Palavras-chaves:* Dispositivo de infusão, Bolsas de soro, Quimioterapia, Seleção, Projeto mecânico

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Mechanical Engineer

SELECTION AND MECHANICAL DESIGN OF INFUSION DEVICE OF DRUGS IN  
CHEMOTHERAPY BAGS

Nikolas Müller Eschebach Kronemberger

February/2017

Advisors: Armando Carlos de Pina Filho and Luiz Antônio Meirelles

Course: Mechanical Engineering

The present work has the objective to study the types of drug infusion devices available on the market and, subsequently, to project a mechanical design of one of these devices for the Hospital do Câncer III (INCA). Depending on the need, the drug infusion devices can be used for direct infusion of drugs into patients or for preparation of drug bag containing serum. To study the most advanced technologies today, we will be presenting a study of patents related to infusion devices and discover leading developers. With this, an analysis is made and, based on pre-established criteria, the selection of an infusion device for Hospital do Câncer III. Subsequently, the development of the mechanical design is performed from a sketch, in which a solid mechanics model is applied to analyze the forces acting on the device. It will be possible to define the dimensions and the final geometry of the prototype, to size the necessary mechanical systems and finally to make available the technical drawings of manufacture. In this work will be presented the technical drawings made from computational modeling using SOLIDWORKS software.

*Keywords:* Infusion device, Serum bags, Chemotherapy, Selection, Mechanical Project.

## Sumário

1. Introdução e objetivo .....	1
2. Condições apresentadas pelo INCA .....	3
2.1 Sala de preparação de bolsas de quimioterapia .....	3
2.2 Fármacos utilizados para preparação de bolsas .....	7
2.3 Legislação hospitalar aplicada.....	10
3. Tipos de dispositivos de infusão de fármacos .....	13
3.1 Patentes relacionadas com dispositivos de infusão .....	17
3.2 Dispositivos de infusão presentes no mercado .....	20
3.3 Seleção de dispositivo de infusão para o INCA .....	23
4. Projeto mecânico de dispositivo de infusão .....	26
4.1. Introdução a projetos mecânicos .....	26
4.2. Análise das condições de projeto .....	27
4.3. Esboço do protótipo.....	29
4.4. Dados do projeto.....	32
4.4.1. Condições iniciais.....	32
4.4.2. Cálculo de forças .....	33
4.4.2.1. Força de aplicação na seringa.....	33
4.4.2.2. Atrito entre o êmbolo e as paredes da seringa.....	34
4.4.2.3. Atrito entre a base fixadora e o suporte do êmbolo.....	35
4.5. Dimensionamento de componentes .....	37
4.5.1. Fuso .....	37
4.5.1.1. Cálculo do torque necessário.....	39
4.5.1.2. Eficiência de um parafuso de potência .....	45
4.5.2. Motor elétrico .....	47
4.5.2.1. Cálculo da rotação do eixo .....	47

4.5.2.2. Cálculo da potência no eixo.....	48
4.5.2.3. Correção da potência e do torque .....	49
4.5.2.4. Seleção do motor .....	50
4.5.3. Acoplamento.....	51
4.5.4. Base fixadora .....	52
4.5.5. Suportes da seringa, do motor e componentes eletrônicos.....	53
4.5.6. Anéis de retenção .....	55
4.5.7. Rolamento axial de esferas .....	56
4.6. Documentação gráfica do projeto.....	57
5. Conclusão .....	58
6. Referências bibliográficas .....	60
7. Anexos.....	63

# 1. Introdução e objetivo

O presente trabalho teve como motivação uma necessidade apresentada pelo Projeto de Extensão ENGATTI da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O projeto ENGATTI – Engenheiros em Grupo Autônomo para Transformar, Trocar e Integrar tem por objetivo integrar atividades de ensino de engenharia com os projetos de extensão universitária.

O objetivo do ENGATTI cumpre-se através do desenvolvimento, em instituições públicas, de projetos de diversas disciplinas elaborados em situações reais, refletindo uma orientação pedagógica tradicional dos cursos de graduação da Escola Politécnica da UFRJ.

Neste estudo, será abordado o tema de preparação de bolsas de quimioterapia para tratamentos de câncer dentro do Hospital do Câncer III (figura 1). Este hospital é de grande importância nacional para prevenção, diagnóstico e tratamento do câncer de mama. Localizado na zona norte do Rio de Janeiro, o Hospital do Câncer III presta assistência médico-hospitalar gratuita, provendo confirmação diagnóstica, tratamento cirúrgico, quimioterápico e radioterápico.



Figura 1 - Hospital do Câncer III -INCA. (Fonte: [www1.inca.gov.br](http://www1.inca.gov.br))

Para que o hospital atenda os pacientes de forma adequada, muitos são os requisitos necessários. Um deles, é a preparação de bolsas de quimioterapia, que é uma tarefa bastante árdua e repetitiva para os técnicos de laboratório de farmacologia. Em um dia normal, por exemplo, são preparadas em média cento e

vinte (120) bolsas e, nos piores casos, este número pode ser de até cento e sessenta (160) bolsas.

Este projeto pode ser dividido em duas macro-etapas. A primeira delas é seleção de um dispositivo de infusão de fármacos que esteja disponível no mercado. Já a segunda macro-etapa, é a realização de um projeto mecânico para a construção de um dispositivo de infusão.

Pretende-se começar este projeto estudando os requisitos hospitalares necessários para a instalação de dispositivos mecanizados no ambiente hospitalar que auxiliem na execução desta tarefa. Para isso, será realizada uma análise da legislação vigente que seja adequada a esse ambiente.

Posteriormente, será realizada uma pesquisa de patentes a fim de descobrir os principais desenvolvedores atrelados a esses dispositivos. Esses são designados “Assignees” e estão no topo mundial de desenvolvimento das novas tecnologias para infusão de fármacos em pacientes com tratamento de quimioterapia.

Com os dados obtidos nas etapas anteriores, segue-se o estudo realizando uma pesquisa para descobrir os dispositivos existentes no mercado. Serão feitas comparações entre mecanismos existentes que sejam capazes de cumprir a tarefa cansativa e repetitiva dos técnicos de laboratório de farmacologia. Com isso, finaliza-se a primeira macro-etapa com a indicação do dispositivo mais adequado para o Hospital do Câncer III.

A segunda macro-etapa inicia-se a com uma introdução à projetos mecânicos. Segue-se com a apresentação dos dados necessários para o projeto e com a realização de cálculos de forças e potências do dispositivo. Com isso, será feito todo o dimensionamento de componentes e documentação técnica do projeto para que seja possível sua fabricação.

Com isso, este projeto pretende otimizar o trabalho que vem sendo realizado no Hospital do Câncer III, transformar e gerar impactos positivos no tratamento contra o câncer de mama.

## **2. Condições apresentadas pelo INCA**

### **2.1 Sala de preparação de bolsas de quimioterapia**

Para a formulação das bolsas de soro que levam os fármacos há uma grande preparação do setor farmacêutico do hospital. Primeiramente, todas as atividades para esta tarefa devem ser realizadas em um ambiente totalmente controlado. A sala de preparação das bolsas deve possuir climatização especial. Isso significa que deve ser considerado um controle de temperatura e umidade do ar para que as condições estejam dentro das especificadas em normas.

O controle de temperatura e umidade do ar da sala é controlado por sistema de ar condicionado que deve atender aos requisitos da classificação das áreas de acordo com os riscos ambientais à saúde.

Conforme NBR 7256 – Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS): Requisitos para projeto e execução das instalações [2], a classificação da sala de preparação de bolsas de quimioterapia atende a descrição de Nível 1: *“Área onde não foi constatado risco de ocorrência de agravos à saúde relacionados à qualidade do ar, porém algumas autoridades, organizações ou investigadores sugerem que o risco seja considerado.”* A classificação é apresentada na tabela 1:

Tabela 1 - Classificação de áreas de acordo com riscos à saúde (Fonte: NBR 7256).

Ambientes (01)	Nível de risco (02)	Situação a controlar (03)	Temperatura °C (04)	Umidade relativa (%) (04)	Vazão mín. de ar exterior (m³/h) / m² (05)	Vazão mín. de ar total (m³/h) / m² (06)	Nível de pressão (07)	Filtragem mínima Insuflam (08)	Nível de ruído dB(A) (09)
<b>Farmácia</b>									
Sala para preparo e diluição de germicidas 4) 5)	1	AgQ				18	(-)	G3	
Sala de limpeza e higienização de insumos para manipulação parenteral 17) 18)	1	AgB			6	60	(+)	G3 + F8	
Sala de preparo de quimioterápicos (Cabine de segurança biológica) 11)	1	AgQ	21 - 24	40 - 60	6	18	(-)	G3	
Sala de manipulação parenteral (equipamento de fluxo unidirecional) 17) 18) 19)	3	AgB	21 - 24	40 - 60	6	75	(+)	G3 + F7 + A3	
<b>Central de material esterilizado</b>									
Área para recepção, descontaminação e separação de materiais 4) 6)	1	AgB, AgQ				18	(-)	-	
Área para lavagem de materiais 4) 6)	1	AgB				18	(-)	-	
Área para preparo de materiais e roupa limpa 4) 6)	1	AgB				18		-	
Área para esterilização física 4) 6)	1	AgB				36	(+)	G3	
Área para esterilização química líquida 4) 6)	1	AgB, AgQ				18	(-)	-	
Sala de esterilização gasosa 13)	3	AgB, AgQ				75	(-)	-	
Sala de aerção p/ ETO 13)	1	AgB	21 - 25	30 - 60	6	12	(+)	G3	
Sala de armazenagem e distribuição de materiais e roupa esterilizados									

Como pode-se observar, a sala de preparação de bolsas de quimioterapia é classificada como área onde a situação a ser controlada é devido à presença de agentes químicos (AgQ na tabela 1). A temperatura deve ser controlada na faixa de 21-24 graus Celsius e a umidade relativa do ar mantida entre 40% e 60%. Caso esses parâmetros não sejam atendidos, deve-se paralisar a atividade de preparação das bolsas e traçar ações para correção dos parâmetros.

Ainda sobre a qualidade do ar nesta sala, é imprescindível a utilização de filtros classe G3 para os aparelhos de insuflamento de ar. A classificação dos filtros é mostrada na tabela 2 e foi extraída da própria NBR 7256, apresentada anteriormente.

Tabela 2 - Classificação de filtros para ar condicionado. (Fonte: NBR 7256)

Classe de filtros		Eficiência (%)
Grossos	G1	$50 \leq E_g < 65$
	G2	$65 \leq E_g < 80$
	G3	$80 \leq E_g < 90$
	G4	$90 \leq E_g$
Finos	F5	$40 \leq E_f < 60$
	F6	$60 \leq E_f < 80$
	F7	$80 \leq E_f < 90$
	F8	$90 \leq E_f < 95$
	F9	$95 \leq E_f$
Absolutos	A1	$85 \leq E_{dop} < 94,9$
	A2	$95 \leq E_{dop} < 99,96$
	A3 (HEPA)	$99,97 \leq E_{dop}$
NOTAS 1 Filtros grossos e finos: - classificados de acordo com a EN 779:2002; - $E_g$ – Eficiência gravimétrica para pó sintético padrão Ashrae 52.1 Arrestance; - $E_f$ – Eficiência para partículas de 0,4 $\mu\text{m}$ 2 Filtros absolutos: - $E_{dop}$ - Eficiência para partículas de 0,3 $\mu\text{m}$ , de acordo com a norma U.S.Military Standard 282 (Teste DOP).		

O acesso à sala de preparação de bolsas também é uma das exigências. Somente funcionários habilitados são permitidos no interior da sala. Antes de entrar, cada técnico deve passar por uma higienização completa e vestir-se com

roupas adequadas. Obviamente, ainda são necessários os EPI's (Equipamento de Proteção Individual) como óculos protetor e máscara respiratória. Tudo que entra e sai desta sala deve ser rigorosamente higienizado para não transmitir nenhum tipo de risco de contaminação na preparação de bolsas de quimioterapia.

Atualmente, trabalham dois técnicos nesta sala que são encarregados de fazer a preparação das bolsas de quimioterapia de acordo com a demanda. Para esse serviço é necessário que o técnico coloque-se à frente de uma capela que possua sucção forçada, também chamada de cabine de segurança biológica (Figura 2). Isso faz-se necessário pois os fármacos utilizados no tratamento de câncer são tóxicos e não devem ser inalados pelo técnico durante a preparação das bolsas de quimioterapia.



Figura 2 - Capela de Laboratório. (Fonte: [www.trilabcientifica.com.br](http://www.trilabcientifica.com.br))

Na sala de preparação das bolsas de quimioterapia do Hospital do Câncer III existem duas capelas nas quais os técnicos fazem a preparação das bolsas. Ao lado de cada capela há medidores de temperatura e umidade do ar para controle das condições na sala. Esses medidores são regularmente consultados pelos técnicos e, caso haja necessidade, as operações podem ser interrompidas, como já mencionado anteriormente (Figura 3).

Para a preparação das bolsas, deve ser feita a higienização e desinfecção do ambiente e das superfícies da capela. Por este motivo, o dispositivo que pretende-se selecionar deve permitir fácil higienização e ser portátil. Estes fatores serão importantes critérios para a seleção do dispositivo.



Figura 3 - Técnicos trabalhando na sala de preparação de bolsas. (Fonte: foto retirada durante visita ao INCA III)

## **2.2 Fármacos utilizados para preparação de bolsas**

Cada fármaco que é utilizado para a preparação de bolsas de quimioterapia possui propriedades físicas e químicas que são particularidades de cada um. A seguir, descreve-se, brevemente, algumas características dos fármacos. Essas descrições são importantes pois algumas características são fatores que possuem influência direta nos dispositivos que pretende-se implementar no hospital.

Por exemplo, caso haja um fármaco com uma viscosidade elevada, este demandará uma maior potência de acionamento do dispositivo de infusão. Pode-se também necessitar de um dispositivo que tenha um controle de temperatura, pois há fármacos que possuem tendência à cristalização.

São utilizados onze diferentes tipos de fármacos e, como mencionado anteriormente, são tóxicos e demandam cuidados especiais ao serem manipulados. Alguns são classificados como citostáticos ou citotóxicos, ou seja, possuem a função farmacológica de inibir ou prevenir a multiplicação celular. Este fato é importante para o tratamento de câncer, mas como estes medicamentos são inespecíficos, acabam atacando as células saudáveis também [3]. Por este motivo, os técnicos do laboratório de farmacologia devem sempre utilizar luvas a fim de não permitir o contato desses fármacos com a pele.

A tabela 3 foi fornecida pelo setor de farmacologia do hospital e é utilizada para a posologia dos medicamentos. Nela são apresentados os fármacos utilizados para o tratamento do câncer de mama em mulheres, juntamente com algumas características importantes:

Tabela 3 – Fármacos utilizados no tratamento de câncer. (Fonte: setor de farmacologia do INCA III)

MEDICAMENTO	NOME COMERCIAL	SIGLA	CONCENTRAÇÃO	ESTABILIDADE PÓS-RECONSTITUIÇÃO	ESTABILIDADE PÓS-DILUIÇÃO	OBSERVAÇÃO
Carboplatina 450 mg	PARAPLATIN	CARBO	10 mg/ml	TA 24h	TA 8h Refrig. 24h	-
Ciclofosfamida 1000 mg	GENUXAL	CTXC	20 mg/ml	TA 24h Refrig. 48h	TA/Refrig. 24h	-
Cisplatina 50 mg	PLATIRAN	CDDP	1 mg/ml	-	TA 24h	Proteger da Luz
Docetaxel 20 mg	DOCELIBBS	TXT	10 mg/ml	TA/Refrig. 8h	TA 4h	Alta viscosidade
Doxorrubicina 50 mg	RUBIDOX	DOXO	2 mg/ml	TA 24h Refrig. 48h	TA 24h Refrig. 48h	Proteger da Luz
Fluorouracila 2500 mg	FAULDFLUOR	5-FU	50 mg/ml	-	TA 24h	-
Gencitabina 200 mg	GEMZAR	-	38 mg/ml	TA 24h	TA 24h	Cristalização se refrigerado
Metotrexato 500 mg	METHOTREXATE	MTX	25 mg/ml	-	TA 24h	-
Paclitaxel 30 mg	TAXOL	TAX	6 mg/ml	-	TA 27h	Alta viscosidade
Trastuzumab 150 mg	HERCEPTIN	HER 2	21 mg/ml	Refrig. 24h	4°C Refrig. 24h	-
Vinorelbina 50 mg	NAVELBINE	NVB	10 mg/ml	-	TA 24h	-

Cabe aqui uma breve observação sobre os termos usados nesta tabela, já que são de uso específico da área farmacológica. Os termos “Reconstituição” e “Diluição” geram confusão e são erroneamente usados até mesmo pelos fabricantes de medicamentos. Esses termos descrevem processos semelhantes, mas são usados para objetivos diferentes.

A “Reconstituição” é um processo que retorna o medicamento da forma de pó para a sua forma líquida original. Para isso, adiciona-se certos diluentes como água estéril, cloreto de sódio 0,9 % e glicose 5 % ao medicamento na forma de pó até que se obtenha a consistência adequada para utilização do medicamento.

Já a “Diluição” é um processo para alteração da concentração do medicamento que já se encontra em estado líquido, seja esse uma solução, uma suspensão ou até mesmo o medicamento que passou por reconstituição. Os diluentes usados para este processo geralmente são os mesmos usados no processo de reconstituição.

As horas que são apresentadas na tabela 3 indicam o tempo que o medicamento apresenta estabilidade sob temperatura ambiente (TA) ou sob refrigeração (Refrig.). Entende-se por estabilidade a característica físico-química do medicamento relacionada com a condição ideal de utilização do medicamento. Para isso, o medicamento não deve apresentar mudança em sua coloração, precipitação e turbidez. Caso haja alguma alteração dessas propriedades, é recomendado o descarte do medicamento. [3]

## **2.3 Legislação hospitalar aplicada**

Para entendimento das restrições às quais o mecanismo de infusão está sujeito, é de fundamental importância o estudo e conhecimento de algumas regras ou leis que são obrigatórias e mandatórias no ambiente hospitalar.

Toma-se como base as portarias e resoluções que são disponibilizadas pela “Sociedade Brasileira de Farmacêuticos em Oncologia – SOBRAFO” [4]. Esta instituição foi criada em abril de 2001 e é formada por diversos profissionais da área farmacêutica dedicados ao setor de oncologia. Realizam, anualmente, congressos com o intuito de aperfeiçoamento das práticas que são realizadas por este setor e, com a parceria da “Sociedade Brasileira de Oncologia Clínica – SBOC” promovem diversos eventos científicos voltados para o público farmacêutico.

Apesar de ser uma instituição recente, conta com o apoio de importantes órgãos federais como o Ministério da Saúde, o CFF – Conselho Federal de Farmácia e a ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Em seu site, disponibiliza publicamente as resoluções que aqui serão comentadas.

Muitos tópicos dessas resoluções tratam diretamente do ambiente hospitalar, dos cuidados necessários com a manipulação dos medicamentos e assistência médica aos pacientes. Muito embora não haja referências diretas ao equipamento de infusão de fármacos em bolsas de quimioterapia, há informações de carácter extremamente relevante para seleção de um dispositivo adequado ao Hospital do Câncer III.

A seguir lista-se as resoluções que são referências para o estudo proposto neste texto. As duas primeiras são resoluções da ANVISA e as outras duas do CFF – Conselho Federal de Farmácia:

- Resolução – RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. [4]
- Resolução – RDC nº 45, de 12 de março de 2003. Dispõe sobre o Regulamento técnico de boas práticas de utilização das soluções parenterais (SP) em serviços de saúde. [5]
- Resolução nº 288, de 21 de março de 1996. Dispõe sobre a competência legal para exercício da manipulação de drogas antineoplásicas pelo farmacêutico. [6]
- Resolução nº 565, de 06 de dezembro de 2012. Dá nova redação aos artigos 1º, 2º e 3º da Resolução nº 288 de 21 de março de 1996. [7]

De forma geral, pode-se citar que os pontos mais importantes da resolução RDC – nº 50 são os fatores de cuidado com o paciente e de toda estrutura física necessária para estes cuidados. Em termos restritivos, tópicos sobre a qualidade

do ar ambiente em salas de quimioterapia, por exemplo, já foram abordados anteriormente.

Já a resolução RDC – nº 45 é de extrema importância para a definição de regras na utilização de soluções parenterais, que é justamente o caso das soluções injetadas nas bolsas de quimioterapia. Para as condições específicas de preparo e manipulação de soluções parenterais, estabeleceu-se que esta é uma atividade que deve obedecer à prescrição médica-farmacêutica. Isso significa que o dispositivo de infusão deve possuir grande precisão de injeção de fluidos dentro da bolsa de quimioterapia.

Além disso, deve apenas ser um equipamento de auxílio para eliminar a tarefa repetitiva e cansativa de infusão, não sendo permitido um equipamento de retroalimentação, ou seja, capaz de alterar as concentrações medicamentosas mediante análise própria. É de responsabilidade médica a prescrição e, em função de uma avaliação farmacêutica, caso necessário qualquer modificação na prescrição, esta deve ser discutida entre ambos.

É importante citar também que as bolsas são identificadas com os nomes dos pacientes, quarto/leito, nome do produto etc, e as etiquetas que contém estas informações não devem ser danificadas durante o preparo das bolsas de quimioterapia. Portanto, o dispositivo deve acomodar as bolsas de forma adequada para não estragar as etiquetas ou, até mesmo, fura-las.

Outro ponto que está descrito na Resolução RDC nº 45 e, portanto, mandatário, é a criação de condições ideais que assegurem a manutenção da esterilidade e a compatibilidade físico-química do produto final. Isso significa que as agulhas, seringas, jelcos e escalpes, por exemplo, não devem ser reutilizados para garantir a não ocorrência de contaminação cruzada. Os termos “jelco” e “escalpe” também são termos do cotidiano ambulatorial e apenas fazem distinção entre dois tipos diferentes de agulhas para infusão de medicamentos em pacientes, que dependem do tempo de internação do mesmo.

Entende-se por contaminação cruzada de medicamentos quando ocorre a mistura, por quantidades até mesmo ínfimas, de dois fármacos durante as

operações de preparação das bolsas de quimioterapia. Além de provocar instabilidade dos medicamentos e gerar perdas dos mesmos, a contaminação cruzada, obviamente, é prejudicial aos pacientes e não deve ocorrer em hipótese alguma. Por este motivo, sempre há higienização das capelas e do ambiente onde são preparadas as bolsas, como já mencionado anteriormente.

### 3. Tipos de dispositivos de infusão de fármacos

Um sistema de infusão de fármacos é geralmente formado por quatro componentes: um reservatório do medicamento, uma bomba ou dispositivo que transporta o fluido do reservatório para o seu destino, o sistema de cateter e um dispositivo, que pode ou não ser eletrônico, que controla o fluxo do medicamento (Figura 4).



Figura 4 -Componentes de um sistema de infusão. (Fonte: [www.prevtech.com.br](http://www.prevtech.com.br))

Segundo Button (2012), [1], existem três tipos de sistemas de infusão, o sistema com controle manual de fluxo, o sistema com controlador de fluxo de infusão automático ou semi-automático e o sistema com bomba de infusão que gera, monitora e controla o fluxo.

O primeiro é o sistema mais simples e mais barato, porém, possui baixa precisão pois consiste apenas no controle do fluxo por um gotejador e um grampo no cateter. O controle de fluxo é feito pelo operador através da contagem de gotas por unidade de tempo.

Um sistema com controlador de infusão possui um sistema eletrônico de contagem de gotas. O controlador deve ajustar o fluxo desejado com o grampo e, quando a contagem de gotas não está de acordo com o programado pelo operador, o sistema atua sobre o grampo para ajustar a vazão definida pelo operador.

A bomba de infusão é o terceiro tipo de sistema e é o utilizado em tratamento contínuos que necessitam de alta precisão como tratamento de quimioterapia, aplicação contínua de drogas cardiovasculares em UTI e aplicação de drogas durante cirurgias. O controle de fluxo destes sistemas pode ser volumétrico ou não volumétrico e o mecanismo de infusão é peristáltico por seringa ou por pistão. As bombas peristálticas podem usar mecanismo rotativo com e sem batente ou linear.

De acordo com Button (2012), [1], o mecanismo de infusão peristáltico rotativo é composto por um rotor que pressiona pequenos rolos contra um tubo flexível e pode ser constituído com batente ou sem batente. No caso com batente o tubo é pressionado contra um ponto fixo (Figura 5):

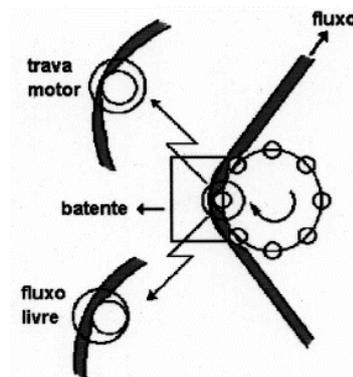


Figura 5 - Ilustração de um sistema peristáltico rotativo com batente. (Fonte: extraído de [1])

Já no caso sem batente, não há ponto fixo de esmagamento. O tubo é preso sobre o rotor, como mostrado na Figura 6 e roletes esticam e esmagam o tubo promovendo o fluxo. Para este mecanismo, é necessário usar uma peça de silicone

(pelo menos a porção onde ocorre o esmagamento do tubo). A peça é específica para cada modelo de bomba.

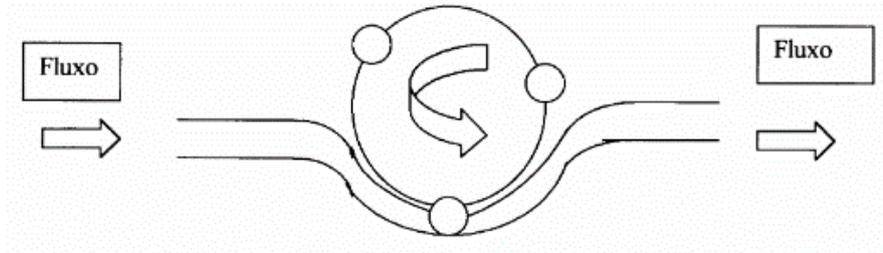


Figura 6 - Esquema do sistema peristáltico rotativo sem batente. (Fonte: extraído de [1])

A vantagem do dispositivo com batente é o fato de possuir um único ponto de esmagamento, tornando-o mais confiável, porém seu ajuste mecânico é difícil. Já o mecanismo sem batente é mais fácil de ser montado, mas exige um torque maior do motor para impulsionar o líquido.

Ainda segundo Button (2012), [1], o mecanismo de infusão peristáltico linear, ilustrado na Figura 7, é composto por uma série de placas (ou engrenagens) que pressionam o tubo contra um batente, realizando um movimento ondulatório gerado por um fuso, acionado pelo motor, justaposto às placas. O fluido é impulsionado pela pressão aplicada ao tubo em posições consecutivas. Este tipo de sistema de infusão apresenta alta precisão (erro menor que 2%) e infusão contínua.

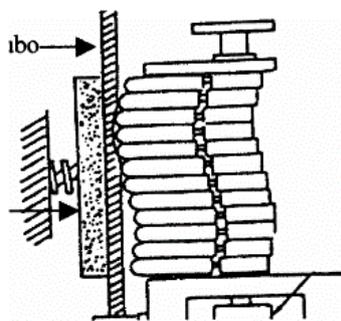


Figura 7: Esquema de um sistema de infusão peristáltico linear. (Fonte: extraído de [1])

Já as bombas com mecanismo de infusão por seringa possuem volume limitado de infusão e necessidade de padronização das seringas. Apesar de serem limitadas pelo volume da seringa (máximo 100ml), alguns modelos podem acomodar mais de uma seringa.

Os mecanismos de infusão com seringa ou bombas de seringa garantem precisão elevada e fluxo contínuo para pequenos volumes (menores que 100ml). Neste mecanismo a rotação do motor de passo é transmitida a uma rosca que movimenta o êmbolo da seringa (Figura 8):

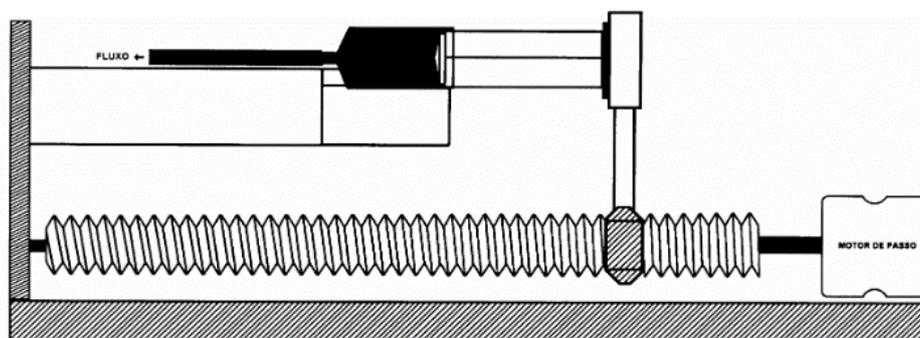


Figura 8: Ilustração de um mecanismo de infusão por seringa. (Fonte: extraído de [1])

Button (2012), [1], ainda afirma que o mecanismo do tipo pistão, como o indicado na Figura 9, funciona com o motor transmitindo o movimento ao pistão que entra e sai do embolo promovendo o enchimento e o esvaziamento do reservatório. Uma válvula direciona o fluxo conforme o estágio ao longo do ciclo de bombeamento. Este mecanismo controla o volume infundido variando o a amplitude e a taxa do deslocamento do pistão. Possui como vantagens a elevada precisão e como desvantagem um fluxo pulsátil e elevado custo do equipamento.

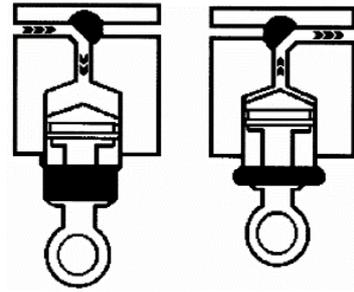


Figura 9: Ilustração de um sistema de infusão do tipo pistão. (Fonte: extraído de [1])

### 3.1 Patentes relacionadas com dispositivos de infusão

Para garantir uma seleção adequada do dispositivo a ser implementado no Hospital do Câncer III, é importante o conhecimento dos maiores desenvolvedores dessas tecnologias atualmente. São eles que buscam, através do investimento em pesquisa e desenvolvimento, aprimorar as técnicas e desenvolver dispositivos capazes de suprir as necessidades nos ambientes hospitalares.

A busca por patentes foi realizada em dois grandes sites. São eles: <https://worldwide.espacenet.com/> - relacionado com o Escritório Europeu de Patentes e o <https://www.uspto.gov/> - relacionado com o Escritório Americano (USA) de Patentes. Ambos disponibilizam o livre acesso a milhares de patentes registradas desde o século XVIII de forma bem simples e prática.

Obviamente, foi de interesse filtrar as patentes que eram relacionadas de alguma forma com os dispositivos de infusão de fármacos, seja direta ou indiretamente. Desta forma, pode-se conhecer as tecnologias que estão sendo desenvolvidas e relaciona-las com os grandes desenvolvedores da atualidade, chamados de “Assignees”.

São os “Assignees” que investem em novos conhecimentos para o setor e, muito provavelmente, lideram o mercado com suas tecnologias. Por este motivo, pretende-se conhecer os “Assignees” que preocupam-se no desenvolvimento de dispositivos de infusão de fármacos para que, mais adiante no presente texto, seja feita a seleção do dispositivo adequado.

Ficaria inviável disponibilizar neste texto o conteúdo completo de todas as patentes que foram relacionadas com os dispositivos de infusão, portanto, apresenta-se apenas a tabela 4 resumindo as patentes e seus “Assignees”:

Tabela 4: Lista de patentes e seus respectivos Assignees.

Número da Patente	Data	Título	Assignee
5,433,704	18/07/1995	INFUSION PUMP, TREATMENT FLUID BAG THEREFOR, AND METHOD FOR THE USE THEREOF	Medication Delivery Devices, San Diego, Calif.
8,469,938	25/06/2013	PROCESS OF FUSION-BONDING PLASTIC FILM AND DRUG BAG	Ajinomoto Co., Inc., Tokyo (JP)
8,821,471	02/09/2014	DRUG BAG CONTAINER	Health Robotics S.r.l., Bolzano (IT)
9,375,528	28/06/2016	METHODS AND SYSTEMS FOR DOSING CONTROL IN AN AUTOMATED FLUID DELIVERY SYSTEM	Bayer HealthCare LLC, Whippany, NJ (US)
9,408,981	09/08/2016	ADJUSTABLE VOLUME SYRINGE	Bayer HealthCare LLC, Whippany, NJ (US)
9,463,272	11/10/2016	INFUSION PUMP SYSTEM, AN INFUSION PUMP UNIT AND AN INFUSION PUMP	BigFoot Medical Inc., Milpitas, CA (US)
9,463,335	11/10/2016	SYSTEM AND METHOD FOR PLANNING AND MONITORING MULTI-DOSE RADIOPHARMACEUTICAL USAGE ON RADIOPHARMACEUTICAL INJECTORS	Bayer HealthCare LLC, Whippany, NJ (US)
9,468,715	18/10/2016	INFUSION ROTARY PERISTALTIC PUMP	Micrel Medical Devices S.A, Gerakas (GR)
9,486,572	08/11/2016	INFUSION PUMP ASSEMBLY	DEKA Products Limited Partnership, Manchester, NH (US)
9,486,573	08/11/2016	FLUID DELIVERY SYSTEM AND METHOD OF FLUID DELIVERY TO A PATIENT	Bayer HealthCare LLC, Whippany, NJ (US)
9,486,575	08/11/2016	INFUSION DEVICE	Medtronic Minimed, Inc., Northridge, CA (US)
9,492,606	15/11/2016	APPARATUS, SYSTEM AND METHODS FOR AN INFUSION PUMP ASSEMBLY	DEKA Products Limited Partnership, Manchester, NH (US)
9,492,607	15/11/2016	INFUSION PUMP APPARATUS, METHOD AND SYSTEM	DEKA Products Limited Partnership, Manchester, NH (US)
9,492,611	15/11/2016	INFUSION PUMP ASSEMBLY	DEKA Products Limited Partnership, Manchester, NH (US)
9,514,518	06/12/2016	INFUSION PUMP INCLUDING SYRINGE PLUNGER POSITION SENSOR	Baxter International, Inc., Deerfield, IL (US)
9,517,305	13/12/2016	MEDICAL FLUID INJECTOR	Bayer HealthCare LLC, Whippany, NJ (US)
9,526,830	27/12/2016	WEARABLE PUMP ASSEMBLY	DEKA Products Limited Partnership, Manchester, NH (US)

Atualmente, os Assignees que desenvolvem mais patentes são a DEKA e a Bayer HealthCare. Essas empresas investem, entre outros assuntos, em pesquisas relacionadas à dispositivos de infusão de fármaco e, portanto, possuem, maiores chances de possuírem reconhecimento no mercado com seus produtos de alta qualidade e inovação.

### **3.2 Dispositivos de infusão presentes no mercado**

Uma pesquisa de dispositivos presentes no mercado foi realizada com o objetivo de estudar os mecanismos e escolher o mais adequado para utilização no Hospital INCA III de tal forma que cumpra a tarefa cansativa e repetitiva dos técnicos de laboratório de farmacologia.

No item 3 deste trabalho foram vistos os diferentes tipos de mecanismos de infusão existentes e no item 2 as condições que o hospital INCA III apresenta atualmente. Estes cenários possibilitam escolher o tipo de mecanismo de infusão com seringa como o mais adequado para ser utilizado no hospital por garantir precisão elevada de injeção de medicamentos e não realizar grandes modificações na estrutura atual do hospital.

Este mecanismo utilizaria as mesmas seringas usadas atualmente e apenas substituiria o gesto do operador de injetar o medicamento na bolsa de soro, realizando este trabalho por ele.

Entre os mecanismos de infusão com seringa presentes no mercado há o MP Thalapump 20 da Micrel Medication Devices, [8], que consiste numa bomba de difusão programável de seringa com fluxo ajustável. Funciona com baterias e é um equipamento leve e portátil (Figura 10):



Figura 10: MP Thalapump 20 da Micrel Medication Devices. (Fonte: [www.micrelmed.com](http://www.micrelmed.com))

Diferentes versões de um sistema de infusão de bomba programável utilizando seringa já estão no mercado, entre eles o AL1000-220, [9], da empresa World Precision Instruments. Este equipamento tem capacidade para uma seringa de até 60 ml e custa a partir de U\$750,00. A World Precision Instruments também fabrica mecanismos de infusão de bomba utilizando de 2, 4 ou 6 seringas de até 140 ml. Este produto custa a partir de U\$1.500,00 (Figura 11):



Figura 11 - Alladin 1000-220 (Fonte: [www.wpi-europe.com](http://www.wpi-europe.com))

Outros exemplos são as bombas de infusão volumétrica de seringa da Samtronic Infusion Systems ST670, ST680 e ST690, [10], que impulsionam o êmbolo da seringa de maneira programada, cumprindo os requisitos normativos exigidos pela NBR IEC 60601-1, NBR IEC 60601-2-24. O equipamento pesa 2,1 Kg e possui de dimensões 160 x 330 x 180 mm (H/L /P). O sistema de programação da infusão possibilita limitar o volume infundido do medicamento e o tempo máximo do tratamento (Figura 12):



Figura 12 – ST670 da Samtronic Infusion System (Fonte: [www.samtronic.com.br](http://www.samtronic.com.br))

As bombas de seringa da série PHD ULTRA™, [11], representam, de acordo com seu fabricante Harvard Apparatus, a mais nova tecnologia do mercado e foram desenvolvidas utilizando o feedback de utilizadores de bombas de seringa por todo o mundo. O fabricante afirma que o software EZ PRO e a interface com o usuário permite fácil programação de métodos simples ou complexos sem utilização de um computador. Este mecanismo também apresenta versatilidade aceitando configurações como empurra e puxa, comum, remota, alta pressão, conexão USB ou RS-232 para computadores (Figura 13):



Figura 13: Bomba de seringa PHD ULTRA™ 70-3005 (Fonte: [www.harvardapparatus.com](http://www.harvardapparatus.com))

Esta bomba ainda possuem 2 anos de garantia do fabricante, há modelos de 1, 2 e de 2 a 10 seringas e acurácia no fluxo de fluido de 0,25%. O software aceita calibração escoamento por concentração da droga (mg/kg), determinação de um valor fixo através do tempo e volume. É compatível com seringas de 0.5 µl a 140 ml. E a vazão pode variar de 0.0001 µl/h a 216 ml/min.

No Brasil, a Harvard Apparatus apresenta revendedores para seus produtos, como a NovaLab Científica [12]. Em seu catálogo, a Harvard Apparatus disponibiliza as informações mais importantes para a seleção de bombas de infusão:

Syringe Pump Selection Guide							
MODEL	INFUSION ONLY			INFUSION/WITHDRAWAL			
	PUMP 11 ELITE	PHD 22/2000	PHD ULTRA™	NANOCOOL™	PUMP 11 ELITE	PUMP 11 PICO PLUS ELITE	PUMP 11 ELITE NANOMITE
SEE PAGE	11	32-33	19-23	29	11 & 15	14-15	15 & 16
STANDARD PUMP	PC5 70-4500 PC5 70-4501	PC5 70-2000	PC5 70-3005	-	-	-	-
PROGRAMMABLE PUMP	-	-	-	PC5 88-1050	PC5 70-4504 PC5 70-4505	PC5 70-4506 PC5 70-4511	PC5 70-4507
NUMBER OF SYRINGES	1 or 2	2 to 10*	2 to 10*	1	1 or 2	2	1
MINIMUM SYRINGE SIZE	0.5 µl	0.5 µl	0.5 µl	50 µl	0.5 µl	0.5 µl	0.5 µl
MAXIMUM SYRINGE SIZE	50/60 ml (single) 10 ml (dual)	140 ml	140 ml	500 µl	50/60 ml (single) 10 ml (dual)	50/60 ml (single) 10 ml (dual)	1 ml
MINIMUM FLOW RATE	1.26 pl/min	0.0001 µl/hr	1.50 pl/min	3.66 pl/min	1.26 pl/min	0.54 pl/min	3.66 pl/min
MAXIMUM FLOW RATE	88.40 ml/min (single) 26.02 ml/min (dual)	220.82 ml/min	216.0 ml/min	1.91 ml/min	88.40 ml/min (single) 26.02 ml/min (dual)	39.77 ml/min (single) 11.70 ml/min (dual)	3.82 ml/min
AVERAGE LINEAR FORCE	16 kg (35 lbs) (adjustable)	23 kg (50 lbs) or 30 kg (66 lbs)	34 kg (75 lbs) (adjustable)	-	16 kg (35 lbs) (adjustable)	16 kg (35 lbs) (adjustable)	5 kg (11 lbs) (adjustable)
COMPUTER CONTROL	USB	RS-232	USB + RS-232	USB + RS-232	USB	USB	USB
I/O + TTL CONNECTION	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
DIMENSIONS (H x W x D)	22.6 x 17.78 x 15 cm (9 x 7 x 6 in)	15.9 x 22.8 x 27.9 cm (6.3 x 9 x 11 in)	10.16 x 30.5 x 21.6 cm (4 x 12 x 8.5 in)	30.5 x 21.6 x 10.6 cm (12 x 8.5 x 4.3 in)	22.6 x 17.78 x 15 cm (9 x 7 x 6 in)	22.6 x 17.78 x 15 cm (9 x 7 x 6 in)	22.6 x 17.78 x 9.32 cm (9 x 7 x 3.67 in)

Figura 14: Características das bombas da Harvard Apparatus (Fonte: Catálogo da Harvard Apparatus)

### 3.3 Seleção de dispositivo de infusão para o INCA

Para a escolha da bomba de seringa que melhor se adequasse à utilização no Hospital INCA III, a tabela 5 foi criada com as perguntas e respostas importantes na seleção de uma bomba de infusão. Este método possibilita uma visão ampla das necessidades que foram apresentadas ao longo deste relatório e, com isso, é possível uma escolha embasada em uma análise criteriosa.

Tabela 5: Critérios de escolha da bomba de seringa para o hospital INCA III

Pergunta	Resposta
Quantas seringas serão usadas simultaneamente?	Pode-se pensar em várias seringas simultâneas, já que a demanda do Hospital INCA III é elevada.
Qual o tamanho das seringas que serão utilizadas?	Atualmente são usadas seringas de 20 e 60 ml, mas é importante a flexibilização deste critério, visto que no futuro a bomba pode ser utilizada em outras aplicações de infusão.
A bomba deve encher e esvaziar a seringa ou apenas esvaziar?	É interessante que o dispositivo seja capaz de encher as seringas também, porém, não é mandatório.
Qual a viscosidade dos medicamentos a serem utilizados?	Alguns possuem viscosidade elevada, como no caso do DOCETAXEL e do PACLITAXEL. Há necessidade de uma bomba de infusão que seja capaz de infundir líquidos viscosos.
A bomba deve ser de infusão contínua por período de 24h?	Atualmente, não. Apesar do uso constante devido à grande demanda, ainda não há requisito para infusão contínua por período de 24h.
A bomba deve ser programável?	Sim. É importante que o técnico do laboratório tenha flexibilidade para inserção de parâmetros adequados para a infusão, visto a variedade de fármacos.
A bomba deve ser controlada com um computador?	Não há essa necessidade, mas seria um requisito interessante para o futuro.

De acordo com as respostas anteriores e o catálogo de bombas de seringa da Harvard Apparatus, [13], a escolha de bomba adequada para o hospital INCA III é o modelo PHD ULTRA CP. Trata-se do modelo bastante flexível e confiável, segundo a Harvard Apparatus. A bomba vem com dois anos de garantia do fabricante, é fácil de ser utilizada e pode ser acoplada em um computador para controle.

Para a PHD ULTRA CP algumas características foram fundamentais para a sua escolha. Dentre elas, pode-se citar a flexibilidade quanto ao número de seringas, já que há a possibilidade de uma adaptação que suporta até 10 seringas

simultâneas. Além disso, aceita seringas de diversos tamanhos, desde 0.5 µl à 140 ml. De acordo com as características descritas, a PHD ULTRA CP ainda é capaz de ajustar a vazão de infusão para manter a pressão constante.

Portanto, com a escolha da PHD ULTRA CP da Havard Apparatus, há garantias que este dispositivo será de grande utilidade. Primeiramente, para resolver o problema atual de preparação de bolsas de quimioterapia, que foi apresentado pelo Hospital do Câncer INCA III e, futuramente, podendo ser implementado para outras aplicações.

## 4. Projeto mecânico de dispositivo de infusão

### 4.1. Introdução a projetos mecânicos

Para a realização de projetos mecânicos é fundamental o engenheiro ter em mente que o planejamento é essencial e mutável ao longo das atividades. Isso significa que mesmo com um planejamento detalhado dos mecanismos que serão desenvolvidos, o engenheiro mecânico deve estar preparado para fazer análises críticas e gerenciar ações corretivas, se necessário.

O retrabalho em projetos mecânicos pode, por muitas vezes, ser comparado à lapidação de diamantes. A figura 15 ilustra o fluxograma de processo em projetos mecânicos:

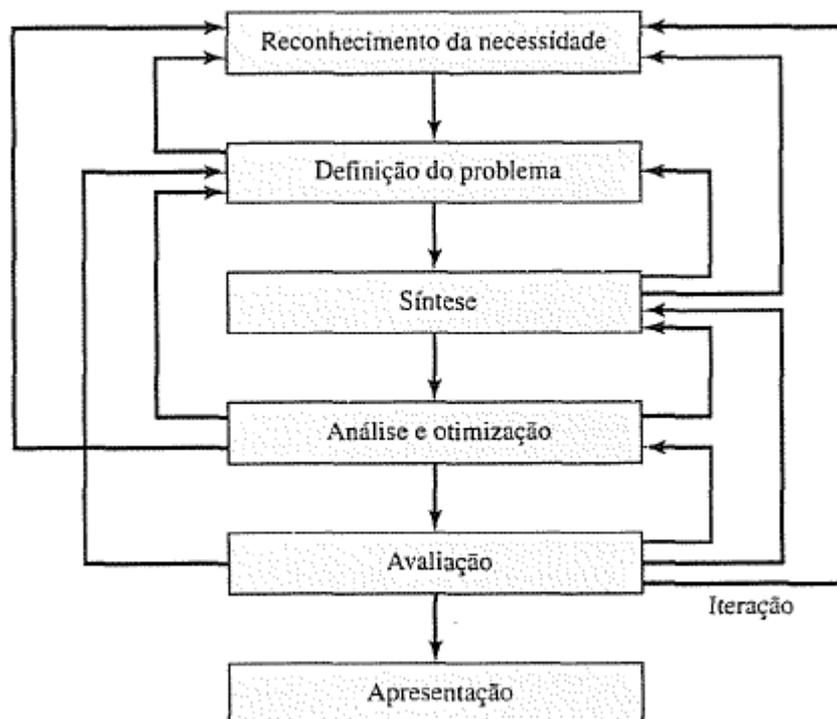


Figura 15- Processo de iteração em projetos mecânicos (Fonte: extraído de [14])

Projetos mecânicos surgem, essencialmente, a partir de problemas que precisam ser solucionados. Neste trabalho, pretende-se projetar um dispositivo de infusão de fármacos em bolsas de quimioterapia no Hospital do Câncer III (INCA).

Essa necessidade surgiu do fato que a atividade é realizada por técnicos do laboratório cerca de 120 vezes ao dia. Sendo uma tarefa cansativa, repetitiva e não ergonômica, já que é realizada dentro de capelas de laboratório, como mencionado anteriormente neste trabalho.

Para a realização de projetos mecânicos, deve-se manter sempre em mente alguns termos mencionados por [14]. Pode-se destacar os seguintes termos:

- **Funcionalidade:** o produto desenvolvido neste projeto mecânico deve atender às expectativas do cliente, neste caso do hospital. Ou seja, o problema proposto deve atender às necessidades que levaram à realização do projeto.
- **Segurança:** o produto não deve oferecer riscos aos usuários ou a propriedades. Isso significa que as resoluções hospitalares que foram analisadas na seção 2.3 devem ser respeitadas.
- **Confiabilidade:** é importante que o produto seja confiável para atender as demandas do hospital, dentro de um certo nível de confiança.

## **4.2. Análise das condições de projeto**

Para iniciar o projeto, faz-se a seguir algumas análises das necessidades apresentadas pelo INCA mas, desta vez, com um enfoque maior na engenharia mecânica.

Visto a necessidade de manter o local da preparação das bolsas de quimioterapia sempre higienizadas, é importante que o dispositivo seja versátil, de fácil limpeza e de fácil remoção de dentro das capelas. Outro ponto crucial é a versatilidade que pode ser empregada pelo dispositivo. Por exemplo, atualmente, a necessidade de substituir a tarefa repetitiva do técnico é prioridade, porém, no futuro pode-se pensar que o dispositivo de infusão possa ser utilizado para infusão direta de medicamentos em pacientes.

Um outro parâmetro importante é a manutibilidade do dispositivo que será projetado. É interessante que mecanismos de baixa complexidade sejam implementados, já que os recursos humanos do setor de manutenção do hospital do INCA podem ser sazonais.

Para atendimento dos requisitos de segurança, fez-se necessário, mais uma vez, a utilização das resoluções hospitalares aplicáveis. Anteriormente, essas resoluções foram utilizadas para entendimento dos requisitos necessários para a seleção de um dispositivo de infusão disponível no mercado. Da mesma forma, são aplicáveis ao dispositivo que será projetado.

Seguindo com os critérios, a confiabilidade do dispositivo deve ser adequada às expectativas e necessidades do hospital. Obviamente, são muitas as incertezas de um projeto mecânico e, exatamente por este motivo, a confiabilidade é uma característica mensurada estatisticamente. Por ser tratar de um tema com modelos matemáticos diversos, não será desenvolvido este assunto no presente texto.

Considere-se, portanto, o uso de fatores de segurança (FS) para aumentar a confiabilidade do dispositivo. Entende-se por fator de segurança o valor numérico, acima de 1, que é multiplicado pela capacidade teórica de trabalho de um determinado elemento. Com isso, é de responsabilidade do engenheiro mecânico a seleção adequada de materiais, dos processos de fabricação, da geometria final do dispositivo projetado e dos fatores de segurança aplicáveis.

A partir dessas considerações chegou-se à conclusão que o tipo de dispositivo de infusão de fármacos mais adequado para o INCA seria o de infusão com seringa. Como mencionado na seção 3, este tipo de dispositivo funciona através da utilização de um motor de passo que, atrelado à um fuso, faz a movimentação do êmbolo da seringa.

### **4.3. Esboço do protótipo**

A partir das ideias desenvolvidas nas seções anteriores, pode-se perceber o problema que foi apresentado pelo INCA e as necessidades as quais estão sujeitos. Agora, deve-se pensar no tipo de mecanismo que seria mais adequado para a utilização pelos técnicos do laboratório e, com isso, desenvolve-se o esboço do protótipo do dispositivo.

Esse esboço servirá para futuras análises de forças e potências envolvidas em carregamentos mecânicos críticos. Também deve servir de base para o desenvolvimento final das dimensões e de toda a documentação de desenhos técnicos.

No passado, os projetos mecânicos eram desenvolvidos à mão por engenheiros mecânicos. Com o avanço das tecnologias computacionais, atualmente, utiliza-se programas de computador para auxílio neste desenvolvimento. Programas de CAD são de grande importância para agilizar os desenhos técnicos e facilitam bastante para a realização de modificações. Neste projeto foi utilizado o software SOLIDWORKS.

Primeiramente, realiza-se a modelagem computacional dos componentes que fazem parte do sistema mecânico. Isso significa que o projetista gera, através do programa CAD, arquivos que guardam as informações específicas relativas aos componentes.

Uma visualização prévia desses componentes é gerada e, a partir dela, pode-se extrair, por exemplo, os desenhos técnicos de fabricação. O esboço do protótipo é apresentado na Figura 16, retirada do software SOLIDWORKS. Para melhor visualização e identificação dos componentes mecânicos do esboço, a Figura 16 foi artificialmente colorida.

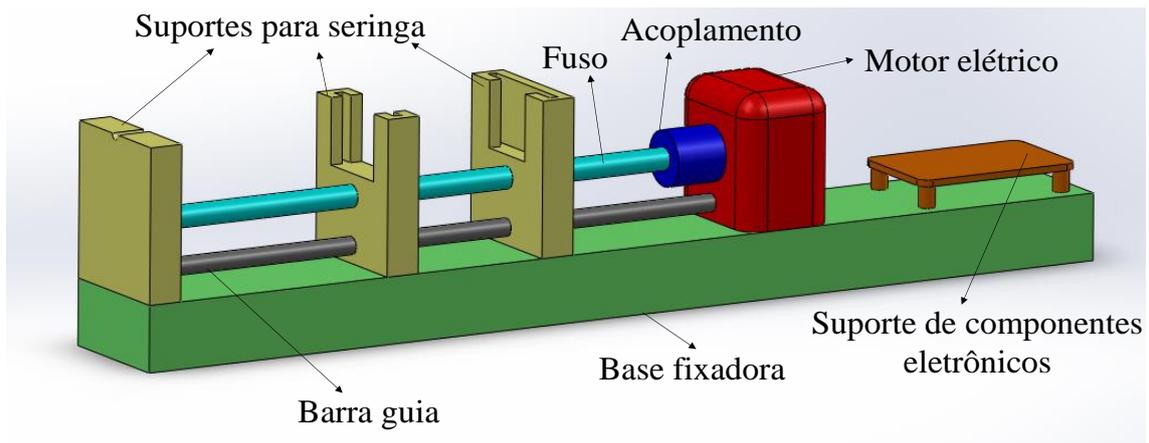


Figura 16 - Identificação de componentes do dispositivo (Fonte: desenvolvido pelo autor utilizando o SolidWorks)

Na figura 16 verifica-se que o dispositivo possui uma base fixadora que será responsável por acomodar todos os demais componentes. Os suportes para a seringa devem possuir uma boa fixação à essa base, mas também precisam ser móveis para permitir a adequação de diferentes tipos de seringas. A fixação por parafusos que deslizam em um trilho é um mecanismo que permite essas características simultaneamente.

No suporte que será responsável por empurrar o êmbolo, necessita-se de uma cavidade que irá alocar uma castanha. Essa castanha será responsável por transmitir o movimento de rotação do fuso ao suporte do êmbolo e, com isso, será possível a infusão de fármaco dentro da bolsa de quimioterapia.

O movimento de rotação do fuso é transmitido através de um acoplamento mecânico, que é acionado por um motor elétrico. Além disso, há uma barra guia, localizada abaixo do fuso, que garantirá que o movimento ocorra de forma retilínea.

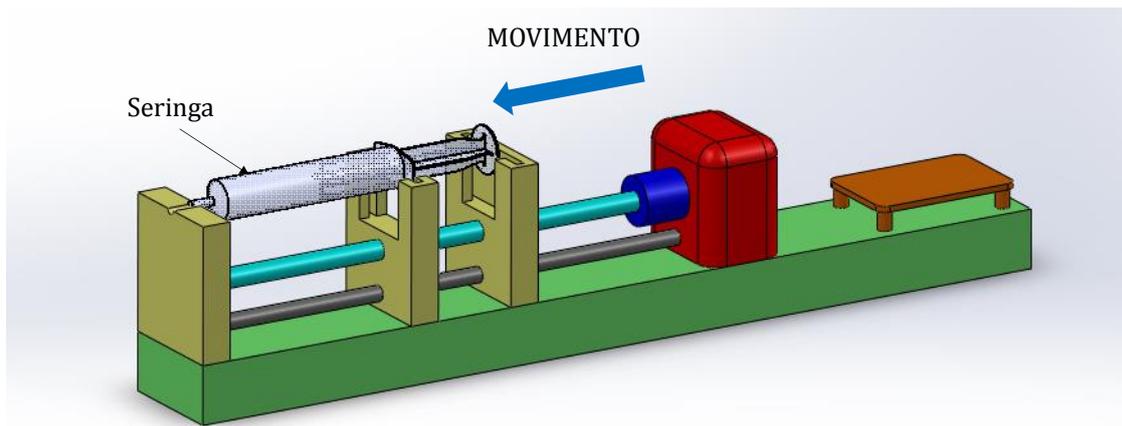


Figura 17.a - Movimento para empurrar o êmbolo da seringa (Fonte: desenvolvido pelo autor utilizando o SolidWorks)

Para conectar o dispositivo com a bolsa de quimioterapia será necessário a utilização de uma mangueira, denominada equipo. O equipo é conectado na seringa e, do lado oposto à uma agulha. Esta agulha é inserida na bolsa de quimioterapia e garante a transferência do fluido. Ao final da operação, retira-se a agulha e o próprio sistema da bolsa de quimioterapia (sistema fechado, como já mencionado anteriormente) é responsável pela vedação.

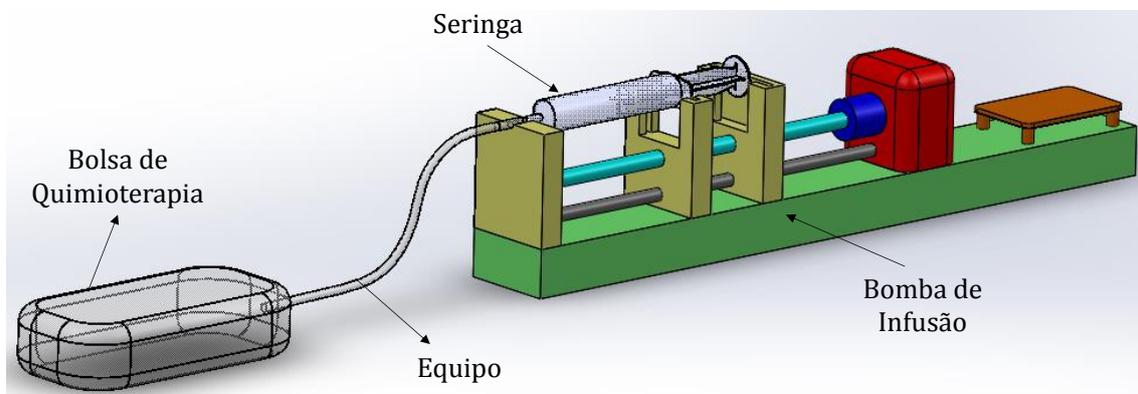


Figura 18.b – Identificação de operação de infusão de fármacos (Fonte: desenvolvido pelo autor utilizando o SolidWorks)

A partir desta primeira concepção do protótipo já é possível fazer uma análise das solicitações mecânicas aplicáveis. Este esboço será utilizado em nossos cálculos para, mais adiante neste trabalho, desenvolver a geometria final do dispositivo de infusão. Importante comentar que não será o foco deste trabalho o desenvolvimento da parte eletrônica para controle do dispositivo de infusão, visto se tratar de conhecimentos específicos da engenharia de computação.

## 4.4. Dados do projeto

### 4.4.1. Condições iniciais

As condições iniciais para o desenvolvimento das solicitações mecânicas que foram admitidas para projeto são:

- Utilização do medicamento com a viscosidade absoluta mais elevada, ou seja, o DOCETAXEL, conforme apresentado na tabela 3. Este fato é necessário para a avaliação de condição crítica de carregamento. A viscosidade deste medicamento foi estimada em cerca de 300 centistokes (cTs) por [15].
- Vazão de infusão foi estimada à partir da observação da preparação das bolsas de quimioterapia no Hospital do Câncer III. Pode variar em função do tipo de medicamento que está sendo infundido e, novamente, admitimos o maior valor observado. Neste caso, admitimos o valor de 2,0 ml/s.
- Utilização de seringas de 20 ml da marca BD, com agulhas de 40x12 para preparação de medicamentos. Um desenho esquemático da seringa é apresentado na Figura 18.
- Bolsas de cloreto de sódio 0,9% da marca KabiPac do tipo sistema fechado. Isto significa que há uma borracha na cabeça da bolsa que permite a perfuração por agulhas sem que haja vazamento posterior à infusão do medicamento.

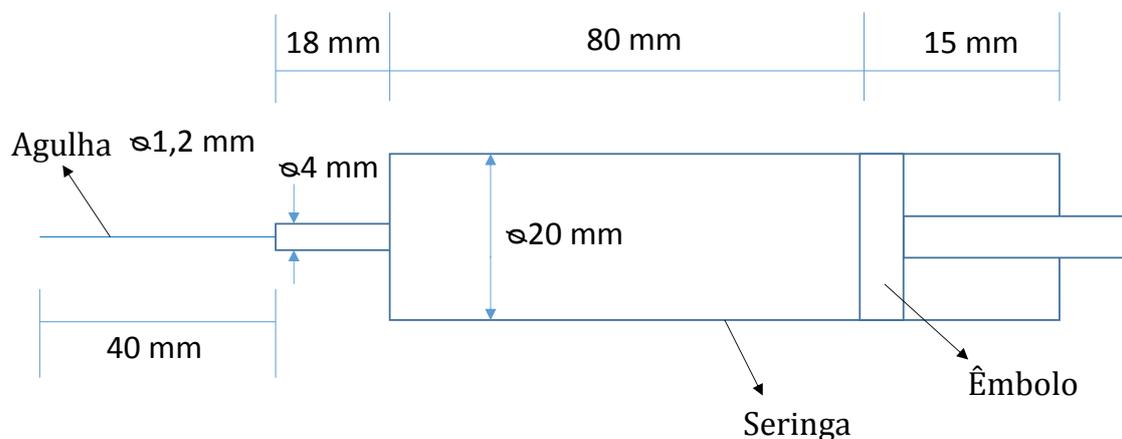


Figura 19 – Desenho esquemático e dimensões da seringa

## 4.4.2. Cálculo de forças

### 4.4.2.1. Força de aplicação na seringa

Para determinação da força necessária para que o êmbolo realize trabalho sobre o líquido, será utilizado os conceitos da mecânica dos fluidos com a equação de Hagen-Poiseuille. Ela é uma lei física que determina a queda de pressão ou, mais popularmente, “perda de carga” em um fluido escoando em um tubo cilíndrico longo:

$$\Delta P = \frac{8 \times \nu \times l \times R_v}{\pi \times r^4} \quad (1)$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$\Delta P$	Diferença de pressão	$Pa$
$\nu$	Viscosidade absoluta	$Pa \cdot s$
$R_v$	Vazão de fluido	$m^3 / s$
$r$	Raio da agulha	$m$
$l$	Comprimento da seringa	$m$

Para adequação do problema real, faz-se as seguintes hipóteses simplificadoras:

- A seção transversal da agulha é constante em todo o seu comprimento.
- O fluido é incompressível para que a equação de Hagen-Poiseuille possa ser utilizada.
- A vazão do fluido é constante no decorrer da aplicação do medicamento no interior da bolsa de quimioterapia.

A partir da equação (1), tem-se a seguinte variação de pressão decorrente da força aplicada na seringa:

$$\Delta P = \frac{8 \times (12 \times 10^{-3}) \times (0,04) \times (2 \times 10^{-6})}{\pi \times (6 \times 10^{-4})^4} = 18.862,81 \text{ Pa}$$

Para achar a força que é aplicada, utiliza-se a equação 2 e chega-se ao resultado da força aplicada na seringa necessária para o escoamento do fluido através da agulha:

$$F_h = \pi \times R^2 \times \Delta P \quad (2)$$

$$F_h = 3,14 \times (0,009)^2 \times 18.862,81 = 4,8 \text{ N}$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$\Delta P$	Diferença de pressão	<i>Pa</i>
$F_h$	Força hidrodinâmica	<i>N</i>
$R$	Raio do êmbolo da seringa	<i>m</i>

#### 4.4.2.2. Atrito entre o êmbolo e as paredes da seringa

Caso o leitor já tenha experimentado o uso de seringas, certamente já percebeu que existe uma certa pressão de contato entre as paredes da seringa e o êmbolo. Isso ocorre devido à montagem com interferência entre o êmbolo e a seringa e é feito propositalmente para garantir a vedação da seringa.

Essa pressão de contato acaba gerando atrito entre essas parte e, pode ser função de diversas variáveis, como temperatura e tempo de armazenamento da seringa, conforme demonstrado em estudo científico por Keisuke Yoshino [16].

Para todos os casos estudados por Keisuke Yoshino [16], a força necessária para vencer o atrito entre o êmbolo e as paredes da seringa,  $F_{ate}$ , foi mensurado em cerca de 6,0 Newtons através de trabalhos experimentais.

#### 4.4.2.3. Atrito entre a base fixadora e o suporte do êmbolo

Além disso, deve-se considerar o atrito entre base fixadora do dispositivo e a peça que será suporte da seringa.

Sabe-se que a força de atrito é o produto da força normal e o coeficiente de atrito entre as superfícies. Será visto, mais adiante neste trabalho, o dimensionamento completo dos suportes para a seringa, mas, por enquanto, pode-se dizer que essas peças serão fabricadas com um material de densidade  $\rho = 1240 \text{ kg} / \text{m}^3$ . O volume  $V$  estimado da peça, que será suporte para o êmbolo da seringa, foi estimado a partir do esboço realizado anteriormente e vale cerca de  $V = 45 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ . Com isso, a massa estimada desta peça pode ser calculada:

$$m_s = \rho \times V \quad (3)$$

$$m_s = 1240 \times 45 \times 10^{-6} \approx 0,06 \text{ kg}$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$m_s$	Massa do suporte êmbolo	$kg$
$\rho$	Densidade do material	$kg / m^3$
$V$	Volume estimado da peça	$m^3$

O coeficiente de atrito entre a o suporte do êmbolo e a base fixadora foi estimado pelo par de materiais polímero PLA e metal, valendo aproximadamente 0,3 segundo Aline Rodrigues, (4). Portanto, a força de atrito entre o suporte do êmbolo e a base fixadora é calculado a partir da equação 4:

$$F_{ats} = \mu_s \times m_s \times g \quad (4)$$

$$F_{ats} = 0,3 \times 0,06 \times 9,81 \approx 0,2 \text{ N}$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$F_{ats}$	Força de atrito no suporte	$N$
$m_s$	Massa do suporte	$kg$
$\mu_s$	Coef. De atrito base-suporte	-
$g$	Aceleração da gravidade	$m/s^2$

Portanto, esses valores devem ser somados à força encontrada na equação (2) para, finalmente, conhecermos a força total necessária para empurrar o êmbolo da seringa.

$$F_t = F_h + F_{ate} + F_{ats} = 11 \text{ N} \quad (5)$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$F_h$	Força hidrodinâmica	$N$
$F_{ate}$	Força de atrito no êmbolo	$N$
$F_{ats}$	Força de atrito no suporte	$N$
$F_t$	Força total	$N$

Uma observação importante a ser feita é que ainda existe uma terceira força de atrito agindo no conjunto, devido ao contato entre o suporte da seringa e a barra guia. Porém, como este contato será uma interface com utilização de rolamento linear, a força de atrito envolvida nesta situação foi desprezada.

## 4.5. Dimensionamento de componentes

Inicia-se agora uma etapa do projeto em que o projetista mecânico se vê obrigado a fazer certas escolhas para, somente depois de alguns cálculos, saber se a decisão estava correta. Agora, mais do que antes, será usado o conceito de iteração em projetos mecânicos, comentado na seção 4.1.

### 4.5.1. Fuso

Primeiramente, deve-se conhecer um pouco sobre o que é um fuso e quais as suas aplicações. O fuso também pode ser classificado como sendo um tipo de parafuso e é comumente utilizado em projetos mecânicos para transmitir movimentos lineares a partir de sua rotação. Alguns exemplos típicos são o fuso de um torno mecânico, o sistema de acionamento de um macaco ou prensa mecânica, cabeçotes de máquinas ferramentas etc.

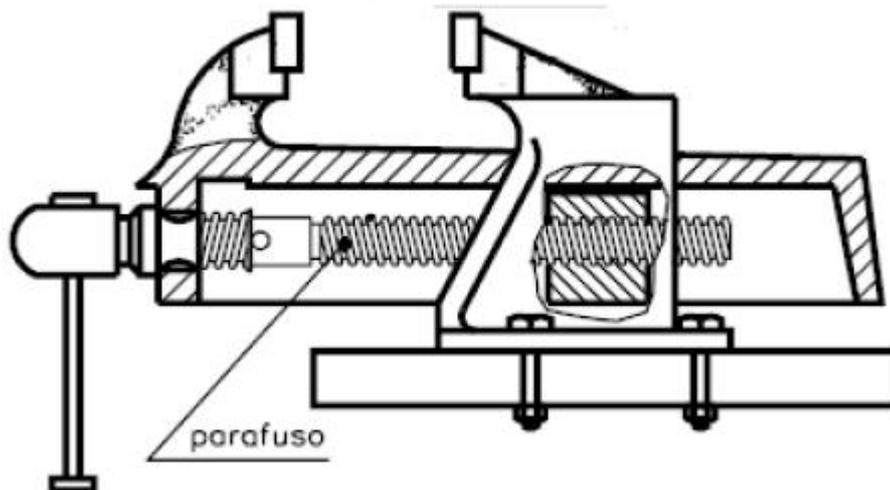


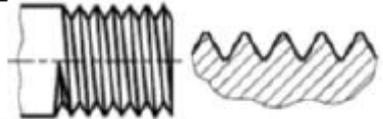
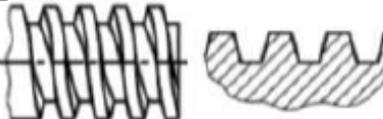
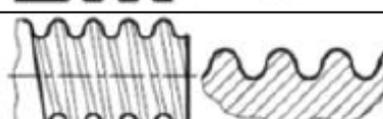
Figura 20 - Morsa de bancada como exemplo de utilização de parafuso de acionamento (Fonte: extraído de [18])

Segundo a definição de (Gordo; Ferreira,2012), [17], as roscas são um conjunto de filetes que contornam corpos cilíndricos e os parafusos são elementos constituídos por roscas que podem servir tanto para fixação e união de componentes quanto para transmissão de movimentos.

Os parafusos são geralmente usados por sua capacidade de transmitir grandes forças, facilidade de manutenção e padronização das roscas. Os parafusos que possuem como objetivo a transmissão mecânica ainda podem ser classificados em dois tipos: os parafusos de potência (também chamados de parafusos de acionamento) e os parafusos de rosca sem fim (também conhecidos como parafusos sem fim).

Existem diversos tipos de perfis de rosca que são disponibilizados no mercado. Cada um deles possuem características que os tornam adequados para diferentes tipos de aplicação. A tabela 6 resume este fato:

Tabela 6 – Tipos de roscas e suas aplicações (Fonte: extraído de [17])

TIPOS DE ROSCAS (PERFIL DE FILETE)		APLICAÇÃO
Triangular		Parafusos e porcas de fixação na união de peças. Ex.: Fixação de roda de carro.
Trapezoidal		Parafusos que transmitem movimento suave e uniforme. Ex.: Fusos de máquinas.
Quadrado		Parafusos que sofrem grandes esforços e choques na transmissão. Ex.: Prensas e morsas.
Redondo		Parafusos de grandes diâmetros sujeitos a grandes esforços. Ex.: Equipamentos Ferroviários
Dente de Serra		Parafusos que exercem grande esforço num só sentido. Ex.: Macacos de catraca.

Fonte: Gordo e Ferreira (2012, p.35).

Os parafusos de acionamento são montados juntamente com porcas, buchas ou mancais roscados para transformar o movimento de rotação do fuso em movimento de translação. Devido ao atrito entre as superfícies que estão em contato neste mecanismo, a perda de potência mecânica é inevitável (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005), [14].

Alguns valores para coeficiente de atrito foram obtidos através de experimentos para alguns pares de materiais de porcas e parafusos e são apresentados na tabela 7:

Tabela 7 – Coeficientes de atrito para pares enroscados

Material do Parafuso	Material da Porca			
	Aço	Bronze	Latão	Ferro Fundido
Aço, seco	0,15-0,25	0,15-0,23	0,15-0,19	0,15-0,25
Aço, óleo de máquina	0,11-0,17	0,10-0,16	0,10-0,15	0,11-0,17
Bronze	0,08-0,12	0,04-0,06	-	0,06-0,09

Fonte: (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005, p.396)

#### 4.5.1.1. Cálculo do torque necessário

Agora que já foi apresentado um pouco sobre os parafusos de acionamento, será calculado o torque necessário para rotacionar o fuso e, conseqüentemente, empurrar o êmbolo da seringa no dispositivo desenvolvido.

Para o cálculo do torque é necessário considerar a força que será necessária para empurrar o êmbolo e para rotacionar o fuso. Na literatura, faz-se distinção entre os movimentos verticais ascendente e descendente e, também, de acordo com o tipo de rosca utilizado no parafuso, [14].

Para simplificação do problema considera-se as análises de um movimento vertical para empurrar o êmbolo da seringa, já que o peso do componente onde o êmbolo é apoiado é bem pequeno (esta estimativa foi calculada anteriormente). Este fato faz com que a força transversal no filete da rosca seja desprezível e, portanto, a simplificação é aceitável.

A primeira escolha será a utilização de uma rosca do tipo trapezoidal de uma entrada, de acordo com as aplicações apresentadas na tabela 6. Para entendimento das equações que seguirão mais adiante, apresenta-se na Figura 20 algumas terminologias comuns utilizadas quando o assunto são roscas e parafusos. Todo o processo de dimensionamento de parafusos de acionamento foi descrito por SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005, [14], e será utilizado para o dimensionamento do fuso do dispositivo.

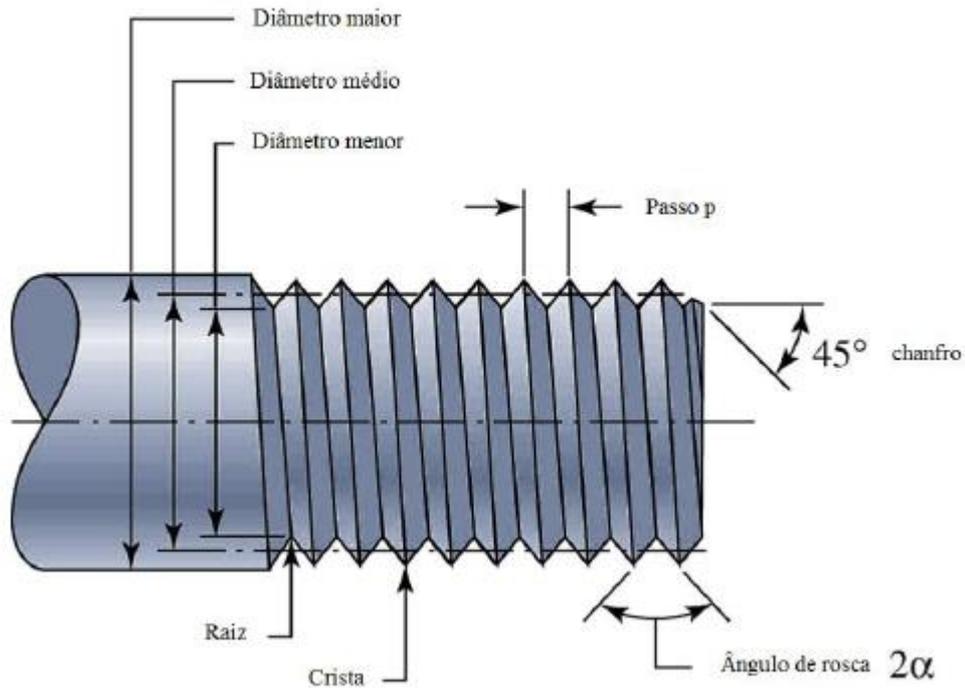


Figura 21 – Terminologia utilizada para roscas e parafusos (Fonte: SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005, p.386)

Começa-se a análise de forças em um parafuso de acionamento de rosca quadrada, com diâmetro médio  $d_m$ , passo  $p$ , ângulo de avanço  $\lambda$  e um ângulo de hélice  $\Psi$ , carregado pela força  $F$ .

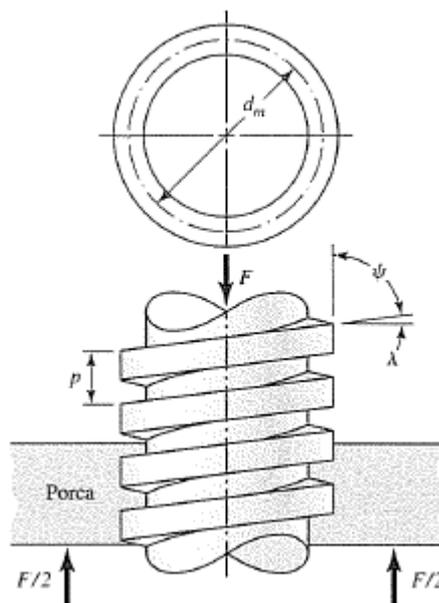


Figura 22 – Parafuso de acionamento e suas variáveis (Fonte: SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005, p.386)

Para melhor visualização das forças que são aplicáveis no parafuso, imagine que seja possível desenrolar um único filete da rosca por uma única volta. Uma parte dessa rosca desenrolada formará a hipotenusa de um triângulo retângulo, cuja a base é o comprimento da circunferência do círculo de diâmetro médio da rosca e o lado restante do triângulo o avanço (Figura 22):

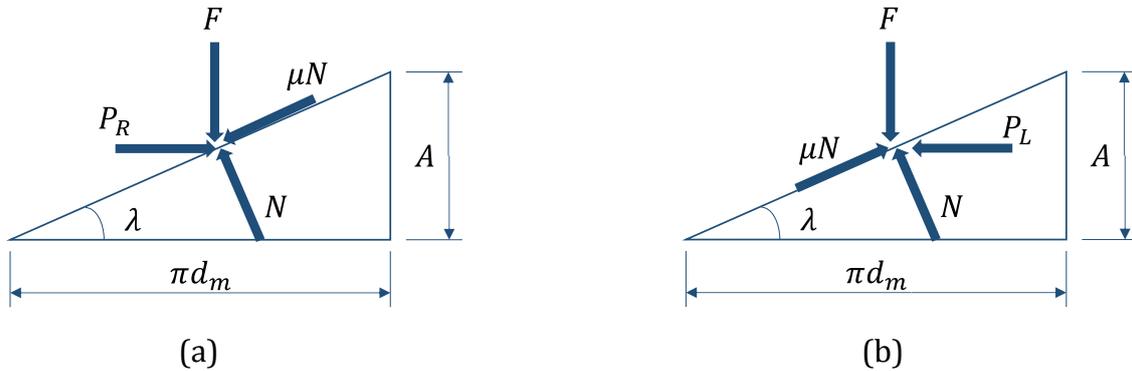


Figura 23 – Diagramas de força: (a) elevando a carga; (b) baixando a carga. (Fonte: desenvolvido pelo autor)

Para o levantamento de uma carga, uma força  $P_R$  deve atuar para a direita (figura 22.a) e para baixá-la uma força  $P_L$  para a esquerda (figura 22.b). A força de atrito presente no contato é o produto entre a força normal  $N$  e o coeficiente de atrito  $\mu$  e atua na direção oposta ao movimento. Como o sistema está em equilíbrio, o somatório de forças para o levantamento da carga (equações 6) e para baixa-la (equações 7) devem ser zero:

$$\begin{aligned} \sum F_H &= P_R - N \times \sin \lambda - \mu \times N \times \cos \lambda = 0 \\ \sum F_V &= F + \mu \times N \times \sin \lambda - N \times \cos \lambda = 0 \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sum F_H &= -P_L - N \times \sin \lambda + \mu \times N \times \cos \lambda = 0 \\ \sum F_V &= F - \mu \times N \times \sin \lambda - N \times \cos \lambda = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$F_H$	Forças horizontais	$N$
$F_V$	Forças verticais	$N$
$P_L$	Força para baixar a carga	$N$
$P_R$	Força para elevar a carga	$N$
$F$	Força axial atuante no fuso	$N$
$N$	Força normal de contato	$N$
$\mu$	Coefficiente de atrito	-
$\lambda$	Ângulo de avanço	Rad

A seguir, como não é de interesse a força normal  $N$ , manipula-se algebricamente os conjuntos de equações e utilizando a relação trigonométrica de  $\tan \lambda = A/\pi d_m$ , chegando aos resultados para as forças  $P_R$  e  $P_L$ :

$$P_R = \frac{F \times \left[ (A / \pi \times d_m) + \mu \right]}{1 - (\mu \times A / \pi \times d_m)} \quad (8)$$

$$P_L = \frac{F \times \left[ \mu - (A / \pi \times d_m) \right]}{1 + (\mu \times A / \pi \times d_m)} \quad (9)$$

Observando que o torque é o produto da força  $P$  e do raio médio  $d_m/2$ , tem-se:

$$T_L = \frac{F \times d_m}{2} \times \left( \frac{(\pi \times \mu \times d_m) - 1}{(\pi \times d_m) + (\mu \times A)} \right) \quad (10)$$

$$T_R = \frac{F \times d_m}{2} \times \left( \frac{1 + (\pi \times \mu \times d_m)}{(\pi \times d_m) - (\mu \times A)} \right) \quad (11)$$

Assim, chega-se finalmente nas relações (10) e (11) para o torque demandado em um parafuso de acionamento de rosca quadrada. Esse é o torque requerido para superar a fricção da rosca e elevar/abaixar a carga.

Para roscas Acme e outros tipos de rosca, a carga de rosca normal está inclinada relativamente ao eixo, devido ao ângulo de rosca  $2\alpha$  e ao ângulo de avanço  $\lambda$ . Como o ângulo de avanço é pequeno (apenas  $4^\circ$ ), essa inclinação do eixo pode ser desprezada e somente o efeito do ângulo de rosca é considerado na análise. O efeito do ângulo de rosca é de aumentar a força de atrito, logo os termos de friccionais da equação (11) devem ser divididos por  $\cos\alpha$ , [14]. Isso dá a seguinte relação para o torque:

$$T_R = \frac{F_t \times d_m}{2} \times \left( \frac{A + (\pi \times \mu \times d_m \times \sec \alpha)}{(\pi \times d_m) - (\mu \times A \times \sec \alpha)} \right) \quad (12)$$

Para o cálculo do torque requerido, definiu-se o fuso IGUS Drylil TR08x1,5 (catálogo em anexo). A IGUS é grande fornecedora mundial de elementos mecânicos de acionamento e tal fuso foi escolhido devido as características de baixo atrito e grande resistência mecânica. Trata-se uma rosca trapezoidal com diâmetro maior nominal de 8 mm e um passo de 1,50 mm. O diâmetro médio desta rosca pode ser obtido da seguinte relação:

$$d_m = d_n - \frac{p}{2} \quad (13)$$

$$d_m = 8 - \frac{1,50}{2} = 7,25 \text{ mm}$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$d_m$	Diâmetro médio	mm
$d_n$	Diâmetro maior nominal	mm
$p$	Passo	mm

O avanço  $A$  é definido como sendo o produto entre o passo  $p$  da rosca e o número de entradas  $N_e$ :

$$A = p \times N_e \quad (14)$$

$$A = 1,50 \times 1 = 1,50 \text{ mm}$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$A$	Avanço	mm
$N_e$	Nº de entradas da rosca	-
$p$	Passo	mm

Por padronização da rosca que será utilizada, o ângulo de rosca possui o valor de  $29^\circ$  e, portanto,  $\alpha=14,5^\circ$ . A partir da tabela 7, escolheu-se 0,25 como valor do coeficiente de atrito para o contato entre o fuso e a castanha (aço-aço). Com isso, a partir das equações (12), (13) e (14) foi possível calcular o torque necessário no fuso do dispositivo de infusão:

$$T_R = \frac{11 \times 10^{-3} \times 7,25}{2} \times \left( \frac{1,50 + (\pi \times 0,25 \times 7,25 \times \sec 14,5^\circ)}{(\pi \times 7,25) - (0,25 \times 1,25 \times \sec 14,5^\circ)} \right) \quad (15)$$

$$T_R = 0,013 \text{ N.m}$$

#### 4.5.1.2. Eficiência de um parafuso de potência

A eficiência de um parafuso de potência é definido como a razão entre o trabalho de saída e o trabalho de entrada (NORTON, 2013, p.870), [19]. O trabalho de entrada,  $\Gamma_e$ , pode ser definido como o produto do torque pelo deslocamento angular sofrido pelo fuso, conforme equação (16):

$$\Gamma_e = T_R \times \Delta\varphi \quad (16)$$

Já o trabalho de saída,  $\Gamma_s$ , é definido como o produto da força de resistência no fuso e o deslocamento linear, conforme equação (17):

$$\Gamma_s = F_t \times \Delta S \quad (17)$$

Como, em uma volta completa do fuso, o deslocamento angular é equivalente a  $2\pi$  e o deslocamento linear é igual ao avanço,  $A$ , pode-se usar as equações (16) e (17) para obter a equação de eficiência do fuso:

$$\Phi = \frac{F_t \times A}{T_R \times 2 \times \pi} \quad (18)$$

$$\Phi = \frac{11 \times 1,25 \times 10^{-3}}{0,013 \times 2 \times \pi} = 0,17 = 17\%$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$\Phi$	Eficiência da transmissão	%
$F_t$	Força de resistência no fuso	$N$
$A$	Avanço	$m$
$T_R$	Torque requerido no fuso	$N.m$

Para comprovar a eficiência que calculamos anteriormente, apresentamos um gráfico relacionando a eficiência de parafusos de potência com rosca Acme em função do ângulo de avanço (NORTON, 2013, p. 872), [19]:

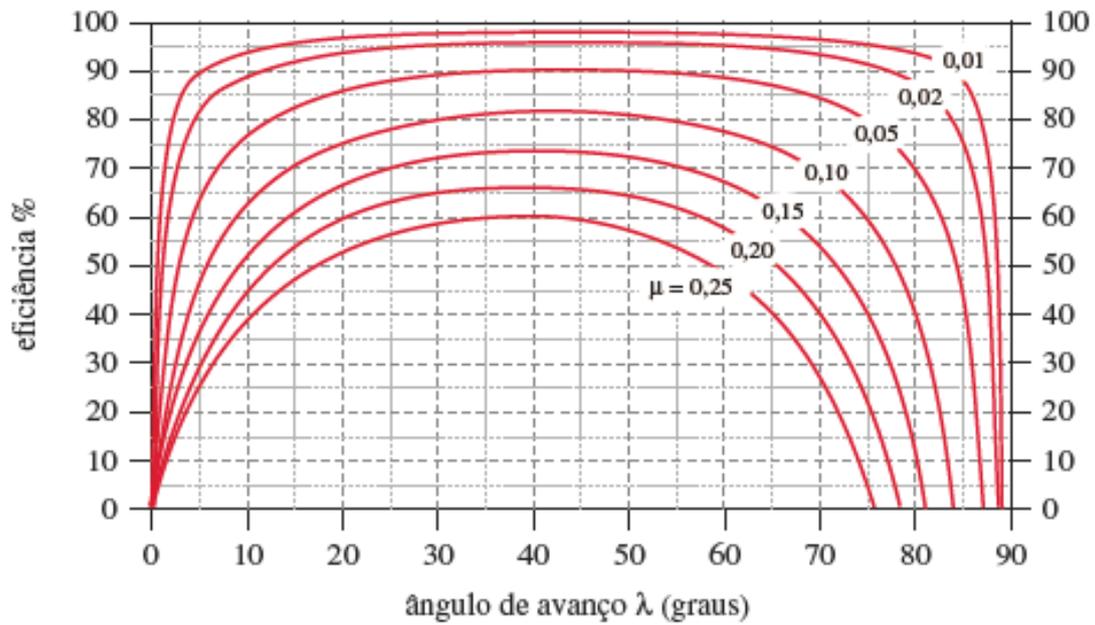


Figura 24 – Eficiência de parafusos de potência com rosca Acme em função do ângulo de avanço. (NORTON, 2013, p.872)

## 4.5.2. Motor elétrico

Agora que já é conhecido o torque requerido no fuso, precisa-se definir alguns parâmetros para a seleção de um motor que seja adequado para o serviço em questão.

### 4.5.2.1. Cálculo da rotação do eixo

Na seção 4.4.21. definiu-se a vazão de fluido necessária como sendo 2 ml/s, mas para que isso ocorra, obviamente, há o deslocamento linear do êmbolo da seringa. Para calcular a rotação no fuso é necessário, primeiramente, saber o deslocamento linear  $\Delta S_e$  equivalente para esta vazão:

$$\Delta S_e = \frac{R_v}{\pi \times R^2} \quad (19)$$

$$\Delta S_e = \frac{2 \times 10^{-6}}{\pi \times 0,009^2} = 7,86 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$\Delta S_e$	Deslocamento linear eq.	m/s
$R_v$	Vazão	m <sup>3</sup> /s
$R$	Raio do êmbolo da seringa	m

O volume equivalente de fluido é o volume de líquido que será despejado pela seringa em um segundo. A unidade de tempo foi mantida, já que é de interesse calcular a rotação do fuso em rps (rotações por segundo).

Com isso, pode-se usar a seguinte relação para o cálculo da rotação do fuso:

$$n = \frac{\Delta S_e}{p \times N_e} \quad (20)$$

$$n = \frac{7,86}{1,50 \times 1} = 5,24 \text{ rps}$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$n$	Rotação do fuso	rps
$\Delta S_e$	Deslocamento linear eq.	mm/s
$p$	Passo	mm
$N_e$	Nº de entradas da rosca	-

Fazendo a conversão para rpm, temos:

$$n = 5,24 \times 60 = 314,4 \text{ rpm}$$

#### 4.5.2.2. Cálculo da potência no eixo

A definição de potência mecânica instantânea, em qualquer sistema rotativo, é o produto do torque pela velocidade angular (NORTON, 2013, p.553). Essa potência é a potência necessária para realizar o trabalho mecânico, ou seja, a potência útil, conforme equação (21):

$$P_u = T_R \times \omega \quad (21)$$

Uma vez que a velocidade angular pode ser expressa em rotações por minuto, tem-se:

$$P_u = \frac{T_R \times 2 \times \pi \times n}{60} \quad (22)$$

Substituindo os valores:

$$P_u = \frac{0,013 \times 2 \times \pi \times 314,4}{60} = 0,428 \text{ W}$$

Onde:

Símbolo	Descrição	Unidade
$P_u$	Potência útil do eixo	W
$T_R$	Torque requerido no eixo	$N.m$
$n$	Velocidade angular	rpm

#### 4.5.2.3. Correção da potência e do torque

A potência de saída no eixo,  $P_s$ , deve ser determinada levando-se em consideração a eficiência calculada na secção 4.5.1.2. Tem-se, portanto a determinação da potência de saída como:

$$P_s = \frac{P_u}{\Phi} \quad (23)$$

$$P_s = \frac{0,428}{0,17} = 2,52 \text{ W}$$

Obviamente, também precisa-se corrigir o valor do torque requerido no eixo em função da eficiência do conjunto de transmissão. Este novo torque é conhecido como torque de projeto,  $T_p$ , e é calculado utilizando-se a equação (22), já considerando o valor da potência de saída. Temos, portanto:

$$T_p = \frac{60 \times P_s}{2 \times \pi \times n} \quad (24)$$

$$T_p = \frac{60 \times 2,52}{2 \times \pi \times 314,4} = 0,077 \text{ N.m}$$

#### 4.5.2.4. Seleção do motor

Definidos os parâmetros para seleção do motor elétrico, é aplicável um fator de segurança que justifica-se pela variedade de fármacos que podem ser utilizados na seringa e pela aproximação realizada no cálculo do torque requerido, quando admite-se um pequeno o ângulo de avanço.

Não será foco deste trabalho a distinção entre os diversos tipos de motores elétricos. Apesar disso, será explicado o motivo da escolha do motor elétrico ser do tipo “motor de passo”.

Segundo Theodore Wildi, [20], os motores de passo não são conhecidos por ter torque ou rotação elevados, mas sim por sua capacidade de controlar sua rotação step-by-step. O fato de conseguir que algo seja rotacionado em um ângulo exato, faz dele o motor ideal para empurrar o êmbolo de uma seringa. Além disso, os motores de passo são simples de ser fabricados, possuem ótima confiabilidade, manutibilidade e são abundantes no mercado, [20].

Com isso, escolheu-se o motor elétrico da marca ZJchao para utilização em nosso dispositivo de infusão de fármacos:



Figura 25- Motor elétrico da marca ZJchao (Fonte: [www.pbclinear.com](http://www.pbclinear.com))

Dados técnicos do motor elétrico:

Descrição	Valor
Torque nominal	40 N.cm
Dimensões	64x42x42 mm
Peso	0,24 kg
Ângulo de Passe	1.8°
Voltagem	3.4 V
Fases	2

### 4.5.3. Acoplamento

Com a definição do motor e do fuso, é necessário a seleção de um elemento mecânico denominado acoplamento. O acoplamento é a peça responsável por unir o motor e o fuso e deve ser capaz de suportar as solicitações mecânicas exigidas.

Os acoplamentos podem ser classificados, basicamente, em dois tipos distintos: o rígido e o complacente. O acoplamento complacente é capaz de absorver algum desalinhamento entre os eixos e no rígido nenhum desalinhamento é permitido. (NORTON, 2013, p.604).

Os acoplamentos rígidos são utilizados quando a precisão e a fidelidade na transmissão do torque são considerados de extrema importância. Para a aplicação do dispositivo de infusão de fármacos essa é uma característica desejável, já que o movimento rotacional do fuso deve ser exato para garantir a quantidade correta de fluido que entra na bolsa de quimioterapia.

Para o projeto escolheu-se o acoplamento rígido aparafusado. Neste tipo de acoplamento, parafusos são usados para apertar a junção entre os eixos e garantir a transmissão tanto de torque quanto de forças axiais. Os acoplamentos aparafusados não são recomendados para transmissão de cargas elevadas, pois os parafusos podem se soltar com a vibração. (NORTON, 2013, p. 605). Por esses motivos escolheu-se o seguinte acoplamento aparafusado, compatível com o motor e o fuso selecionados anteriormente:



Figura 26- Acoplamento rígido para motor de passo (Fonte: [www.amazon.com](http://www.amazon.com))

Dados técnicos do acoplamento:

Descrição	Valor
Eixo	5.0-8.0 mm
Diâmetro	25 mm
Comprimento	30 mm
Material	Alumínio

#### 4.5.4. Base fixadora

A base fixadora é um importante elemento mecânico do dispositivo, pois irá comportar todos os outros componentes. É de fundamental importância que ela esteja de acordo com as dimensões necessárias para os demais componentes.

Como requisito inicial do projeto, é importante lembrar que o dispositivo deve ser portátil e de fácil limpeza. Com isso, deve-se selecionar uma base fixadora que seja capaz de comportar todos os componentes e, ao mesmo tempo, seja compacta o suficiente para permitir sua instalação e remoção da cabine de segurança biológica.

Além disso, a base fixadora irá funcionar como um trilho, que permitirá o deslizamento do suporte do êmbolo da seringa. Portanto, a base fixadora deve ter um perfil que permita a instalação de parafusos conhecidos como “slide-in”. Esses parafusos são amplamente utilizados quando deseja-se fixar um componente com certa folga para que ele seja capaz de deslizar em trilhos. São adquiridos no mercado já com uma peça que permite o deslizamento do parafuso através de trilhos.

Todas as características de carga e tensão atuantes nestes parafusos não serão dimensionados neste trabalho, visto que não irão suportar cargas significativas. Na Figura 25 apresenta-se um parafuso do tipo “Slide-in”, que será utilizado no projeto do dispositivo de infusão.



Figura 27 - Parafuso do tipo "slide-in" (Fonte: [www.8020.net](http://www.8020.net))

O detalhamento das características geométricas da base fixadora será dado mais adiante, quando for realizada a documentação do projeto e realização de desenhos técnicos. Por enquanto, deseja-se que a base fixadora tenha o perfil capaz de instalar dois parafusos do tipo “slide-in” para melhor estabilidade do suporte do êmbolo da seringa. Este perfil pode ser facilmente encontrado no mercado:



Figura 28 - Perfil da base fixadora (Fonte: [www.8020.net](http://www.8020.net))

#### **4.5.5. Suportes da seringa, do motor e componentes eletrônicos**

Conhecidos os componentes principais do dispositivo, também é necessário alocar a seringa que será utilizada para infusão de fármacos adequadamente sobre a base fixadora. Para isto, serão utilizados suportes que terão medidas adequadas para o encaixe e fixação dos componentes.

Esta é uma situação na qual pode-se tirar proveito de uma tecnologia recente na fabricação de peças. Trata-se da impressão 3D, em que utilizam-se materiais poliméricos para fabricação de peças. Este recurso, apesar de novo no mercado, já é bastante conhecido e utilizado na engenharia por ser tratar de um método rápido e confiável para a fabricação de determinados tipos de peças.



Figura 29 - Exemplos de peças fabricadas pela tecnologia de impressão 3D (Fonte: [www.sethi.com.br](http://www.sethi.com.br))

Para se tornar uma escolha viável, obviamente, as peças que são fabricadas a partir de uma impressora 3D, não devem sofrer cargas mecânicas excessivas. Isso se dá pelo fato de que as peças são geralmente fabricadas com polímeros do tipo PLA (ácido polilático) ou o ABS (acrilonitrila butadieno estireno), que possuem resistência mecânica limitada à pequenas cargas. Por este motivo, foi julgado adequada a sua utilização para a fabricação dos suportes da seringa, do motor e dos componentes eletrônicos. Além disso, a inserção de parâmetros adequados nas impressoras 3D é fundamental para que as peças tenham um acabamento de melhor qualidade

Uma observação a ser feita é que os suportes onde a seringa será instalada foi pensado para fixação de seringas de diferentes fabricantes e diferentes tamanhos, ou seja, um encaixe “universal”. Isso foi feito para permitir flexibilidade na operação do dispositivo de infusão, já que, por demanda do Hospital do Câncer III, nem sempre é possível comprar seringas de um mesmo fabricante.

Apesar de não ser dimensionado o driver e os componentes eletrônicos para controle do motor de passo, como já mencionado no início do projeto, foi tomado como referência de dimensões uma placa de Arduino para o suporte de componentes eletrônicos.

#### 4.5.6. Anéis de retenção

Anéis de retenção são elementos mecânicos utilizados para não permitir nenhum movimento axial de eixos. Existem grandes variedades de anéis de retenção disponíveis no mercado para diversos tipos de aplicação, [19]. Os mais comuns são anéis cilíndricos de pequenas espessuras, que possuem pequenas cavidades nas extremidades para permitir sua montagem através de alicates específicos. Os anéis de retenção são geralmente utilizados em ranhuras de eixos, mas podem ser empregados em outros elementos mecânicos (Figura 28).

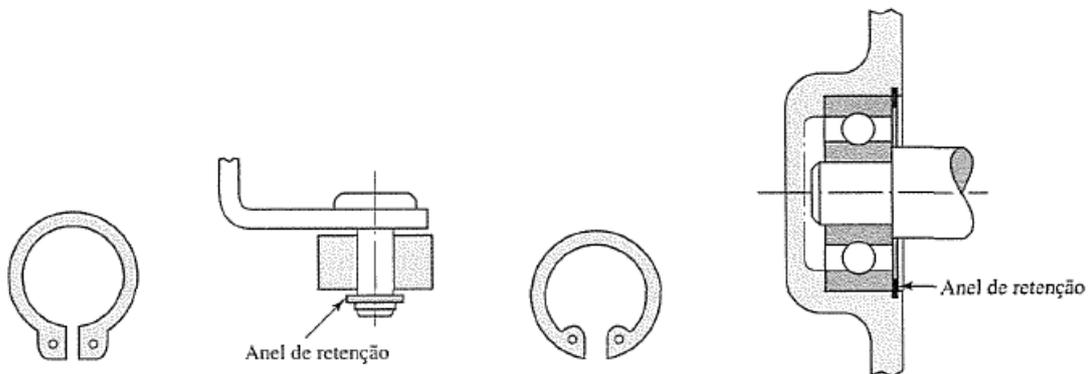


Figura 30 - Usos típicos de anéis de retenção (Fonte: Shigley, 2005, p.431)

Nos anéis de retenção, o projeto cônico de ambos os anéis interno e externo assegura pressão uniforme contra o fundo da ranhura do eixo. Para tamanhos, dimensões e classificações, os catálogos de fabricantes devem ser consultados, [14]. Por este motivo, as escolhas de anéis de retenção para o dispositivo de infusão tomou como base o catálogo do fabricante RENO.

Em consulta à seção de “Anel de retenção para eixos”, baseados na norma DIN 471, escolheu-se anéis de códigos 501.008 e 501.015 para os eixos de diâmetros 15 mm e 8 mm, respectivamente. Esses anéis são adequados para o tipo de serviço empregado no dispositivo de infusão, tanto no rolamento axial de esferas quanto na barra guia.

#### 4.5.7. Rolamento axial de esferas

Para garantir menor atrito possível entre o suporte do êmbolo e a barra guia, optou-se pela utilização de um rolamento linear de esferas. Este tipo de rolamento permite uma movimentação suave entre os componentes através de diversas esferas, que movimentam-se em um circuito próprio dentro do rolamento. (Figura 29).

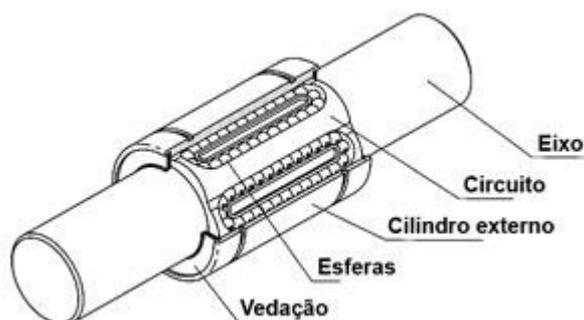


Figura 31 - Detalhe de circuito interno em um rolamento axial de esferas (Fonte: RAC – Movimentação Linear)

Considerando que o rolamento axial deve ser de tamanho extremamente reduzido, já que a barra guia possui apenas 8 mm de diâmetro e não sofrerá grandes esforços, optou-se por um rolamento axial comumente usado em impressoras 3D, da marca RepRap. Por este motivo, não foram necessários os cálculos de seleção de rolamentos convencionais, nem mesmo a seleção de um rolamento do fabricante SKF, conhecido no mercado pela fabricação de rolamentos mecânicos. Para aplicação no dispositivo de infusão desenvolvido, optou-se pelo modelo Lm8uu, seguindo recomendações do fabricante RepRap.

## **4.6. Documentação gráfica do projeto**

Com o dimensionamento de componentes concluído, é necessário a realização da documentação gráfica do projeto. Os desenhos técnicos são obtidos através da modelagem computacional dos componentes do dispositivo, utilizando-se o software SOLIDWORKS.

Os desenhos técnicos foram elaborados seguindo as recomendações de [21] e obedecendo as Normas Técnicas referentes à desenhos técnicos do Brasil. A representação gráfica será apresentada em forma de desenho individual para os componentes que serão fabricados e na forma de conjunto, para que se tenha clareza das informações referentes ao dispositivo de infusão. Os desenhos técnicos encontram-se em anexo ao final deste documento.

## 5. Conclusão

Ao longo do desenvolvimento deste projeto buscou-se solucionar o problema apresentado pelo Hospital do Câncer III (INCA). A preparação de bolsas de quimioterapia é uma tarefa exaustiva para os técnicos do laboratório de farmacologia. Neste projeto apresentamos duas alternativas para que o INCA pudesse solucionar esse problema.

A primeira através de um estudo de seleção para um dispositivo de infusão (bomba de seringa) que esteja disponível no mercado. Para esta escolha foi realizado um criterioso estudo, tanto dos dispositivos quanto de seus fabricantes. Pode-se considerar que essa primeira alternativa seja aceita pelo hospital em carácter de urgência, caso necessário, já que a compra de um dispositivo pode ser realizada rapidamente.

A segunda através de um projeto mecânico desenvolvido com o aprendizado adquirido ao longo do curso de engenharia mecânica. As principais disciplinas utilizadas para isso foram: “Elementos de Máquinas 1 e 2” e “Desenho Técnico para Engenharia Mecânica”. Com isso, apresentou-se um projeto mecânico que possa ser fabricado pelo INCA, cumprindo, igualmente, o objetivo da primeira alternativa.

Apresentou-se de forma conclusiva um projeto mecânico, com todas as características solicitadas pelo INCA, que futuramente poderá ser utilizado em outras unidades hospitalares. Do ponto de vista mecânico, tal projeto contribuiu bastante para o entendimento dos elementos empregados no dispositivo. Desta forma, foi possível o aperfeiçoamento de critérios de seleção, que são inerentes à todos os projetos mecânicos.

Destaca-se a simplicidade e o custo-benefício do dispositivo desenvolvido, já que os mecanismos estudados na seção 3.2 possuem grandes custos de aquisição. Além disso, foi possível notar que o emprego de novas tecnologias do mercado, como as impressoras 3D, facilitam bastante os detalhes construtivos de mecanismos.

Como sugestão de trabalhos futuros, para funcionalidade do dispositivo em questão, é fundamental o desenvolvimento dos componentes eletrônicos. Neste trabalho não foi possível o desenvolvimento deste tema, visto se tratar de assuntos específicos da engenharia da computação.

## 6. Referências bibliográficas

- [1] BUTTON, Vera Lucia da Silveira Nantes; "Dispositivos de Infusão", "Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção", 12/2002, ed. 1, F, Editora Ministério da Saúde, pp. 30, pp.301-330, 2002.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR-7256*: "Tratamento de ar em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) – Requisitos para projeto e execução das instalações" – Comissão de Estudo de Condicionamento de Ar e Ventilação na Área da Saúde. Rio de Janeiro, 2005.
- [3] OLIVEIRA, Rayana Ester Martins; "Fármacos Citostáticos", Portal da Educação, Jan. 2013, ed. 1, Disponível em: <<https://www.portaleducacao.com.br/farmacia>>. [Acesso em 22 dez. 2016].
- [4] AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução – RDC nº 50: "Regulamento Técnico de Boas Práticas de Utilização das Soluções Parenterais (SP) em Serviços de Saúde." – Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. ANVISA, 21 fev., 2002.
- [5] AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução – RDC nº 45: "Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde." – Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. ANVISA, 12 mar., 2003.
- [6] CONSELHO FEDERAL DE FARMÁCIA. Resolução nº 288: "Dispõe sobre a competência legal para exercício da manipulação de drogas antineoplásicas pelo farmacêutico." – Arnaldo Zubioli. Sala das Sessões, 21 mar., 1996.
- [7] CONSELHO FEDERAL DE FARMÁCIA. Resolução nº 565: "Dá nova redação aos artigos 1º, 2º e 3º da Resolução/CFF nº 288 de 21 de março de 1996." – Walter da Silva Jorge João. Sala das Sessões, 06 dez., 2012.
- [8] MICREL MEDICAL DEVICES. "MP THALUMP 20". [Online]. Disponível em: <<http://www.micrelmed.com/index.aspx?productid=6>>. [Acesso em 03 jan., 2017].

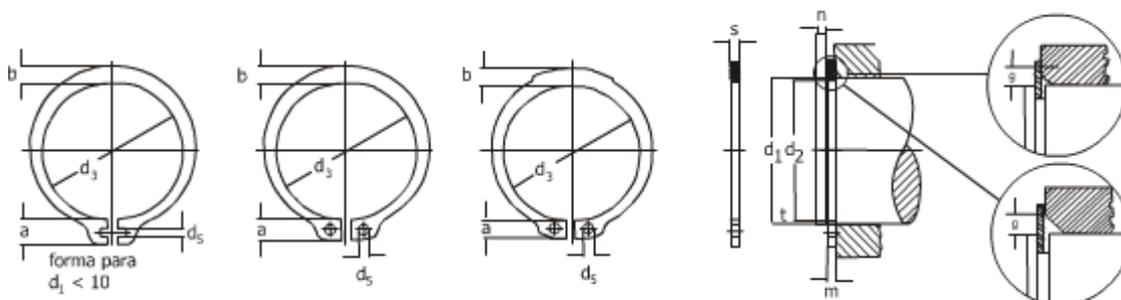
- [9] WORLD PRECISION INSTRUMENTS. “Alladin 1000-220. Instruction Manual”. [Online]. Disponível em <<http://www.wpi-europe.com/downloads/content/Aladdin-IM.pdf>>. [Acesso em 03 jan., 2017].
- [10] SAMTRONIC INFUSION SYSTEMS. “Manual do usuário bombas de seringa da Samtronic Infusion Systems ST670, ST680 e ST690.” [Online]. Disponível em <<http://www4.anvisa.gov.br/base/visadoc/REL/REL%5B20432-2-2%5D.PDF>>. [Acesso em 04 jan., 2017].
- [11] HARVARD APPARATUS. “Syringe Pumps/Liquid Handling”. [Online]. Disponível em: < <http://www.harvardapparatus.com/pumps-liquid-handling/syringe-pumps.html> >. [Acesso em 08 jan., 2017].
- [12] NOVA LAB CIENTÍFICA. “Produtos/Bombas de Precisão”. [Online]. Disponível em: < [http://www.novalabcientifica.com.br/site/produtos/ver\\_todos.php](http://www.novalabcientifica.com.br/site/produtos/ver_todos.php) >. [Acesso em 08 jan., 2017].
- [13] HARVARD APPARATUS. “Harvard Apparatus Pumps – Legendary Performance for every application” – Holliston, MA., USA. 2016.
- [14] SHIGLEY, JOSEPH E.; MISCHKE, CHARLES R.; BUDYNAS, RICHARD G.; “Projeto de Engenharia Mecânica”, - Tradução João Batista de Aguiar, José Manuel de Aguiar. – 7° ed. – Porto Alegre; Bookman, 2005.
- [15] WANG, YA. “Chinese manufacture’s perspective on excipient monograph specifications for Polysorbate 80 used for injection”. – USP Excipient Stakeholder Forum. – Sep. 2016.
- [16] YOSHINO, K.; NAKAMURA, K.; “Functional evaluation and characterization of a newly developed silicone oil-free prefillable syringe system”. – J. Pharm Sci.; mai. 2014.
- [17] FERREIRA, J.; GORDO, N., “Mecânica: Elementos de Máquinas”. Coleção Telecurso 2000 Profissionalizante, vol. 1 e 2; São Paulo; ed. Globo S/A. – 2002.
- [18] GALDINO, L.; “Cálculo da rotação, do torque e da potência de motores elétricos para transmissão por parafusos de potência”.

[19] NORTON, Robert L.; “Projeto de Máquinas – Uma abordagem Integrada”. 2° ed.; São Paulo; Artmed, 2000.

[20] WILDI, Theodore.; “Electrical Machines, drives and power systems”. 2 °ed.; Prentice Hall: 1991.

[21] PINA FILHO, A. C.; “Apostila de desenho técnico para engenharia mecânica”. Rio de Janeiro, Escola Politécnica da UFRJ, 2011.

## **7. Anexos**



$d_3$  é o diâmetro do anel não tensionado.

Os anéis do grupo 501 são fornecidos facultativamente numa das formas acima.

Código Seeger Reno para encomenda	ANEL								RANHURA				DADOS COMPLEMENTARES							
	$d_1$	e	$d_3$	Tol.	a max.	b $\approx$	$d_5$ min.	Peso Kg/1000	$d_2$	Tol.	m	t	n min.	$P_N$ (Kgf)	$P_R$ (Kgf)	g max.	$P_{Rg}$ (Kgf)	$F_N$ (mm <sup>2</sup> )	K (Kgf mm)	n. adm. (RPM)
501.003	3	0,40	2,7	+0,04-0,15	1,9	0,8	1,0	0,017	2,8	-0,04	0,50	0,10	0,3	15	47	0,5	27	0,9	206	36000
501.004	4	0,40	3,7	+0,04-0,15	2,2	0,9	1,0	0,022	3,8	-0,04	0,50	0,10	0,3	20	50	0,5	30	1,2	193	211000
501.005	5	0,60	4,7	+0,04-0,15	2,5	1,1	1,0	0,066	4,8	-0,04	0,70	0,10	0,3	26	190	0,5	130	1,5	738	154000
501.006	6	0,70	5,6	+0,04-0,15	2,7	1,3	1,2	0,084	5,7	-0,04	0,80	0,15	0,5	46	340	0,5	210	2,8	1040	114000
501.007	7	0,80	6,5	+0,06-0,18	3,1	1,4	1,2	0,121	6,7	-0,06	0,90	0,15	0,5	54	516	0,5	290	3,2	1475	121000
501.008	8	0,80	7,4	+0,06-0,18	3,2	1,5	1,2	0,158	7,6	-0,06	0,90	0,20	0,6	81	520	0,5	290	4,9	1420	96000
501.009	9	1,00	8,4	+0,06-0,18	3,3	1,7	1,2	0,300	8,6	-0,06	1,10	0,20	0,6	92	1110	0,5	610	5,5	3000	85000
501.010	10	1,00	9,3	+0,10-0,36	3,3	1,8	1,5	0,340	9,6	-0,06	1,10	0,20	0,6	101	1060	1,0	340	6,2	2820	84000
501.011	11	1,00	10,2	+0,10-0,36	3,3	1,8	1,5	0,410	10,5	-0,11	1,10	0,25	0,8	140	1010	1,0	310	8,4	2610	70000
501.012	12	1,00	11,0	+0,10-0,36	3,3	1,8	1,7	0,500	11,5	-0,11	1,10	0,25	0,8	153	960	1,0	300	9,2	2400	75000
501.013	13	1,00	11,9	+0,10-0,36	3,4	2,0	1,7	0,530	12,4	-0,11	1,10	0,30	0,9	200	940	1,0	290	11,9	2320	66000
501.014	14	1,00	12,9	+0,10-0,36	3,5	2,1	1,7	0,640	13,4	-0,11	1,10	0,30	0,9	215	950	1,0	295	12,9	2290	58000
501.015	15	1,00	13,8	+0,10-0,36	3,6	2,2	1,7	0,670	14,3	-0,11	1,10	0,35	1,1	266	915	1,0	285	16,1	2160	50000
501.016	16	1,00	14,7	+0,10-0,36	3,7	2,2	1,7	0,700	15,2	-0,11	1,10	0,40	1,2	326	910	1,0	285	19,6	2100	45000
501.017	17	1,00	15,7	+0,10-0,36	3,8	2,3	1,7	0,820	16,2	-0,11	1,10	0,40	1,2	346	960	1,5	300	20,8	2160	41000
501.018	18	1,20	16,5	+0,10-0,36	3,9	2,4	2,0	1,110	17,0	-0,11	1,30	0,50	1,5	458	1700	1,5	375	27,5	3710	39000
501.019	19	1,20	17,5	+0,10-0,36	3,9	2,5	2,0	1,220	18,0	-0,11	1,30	0,50	1,5	484	1700	1,5	380	29,1	3640	35000
501.020	20	1,20	18,5	+0,13-0,42	4,0	2,6	2,0	1,300	19,0	-0,13	1,30	0,50	1,5	506	1710	1,5	385	30,6	3630	32000
501.021	21	1,20	19,5	+0,13-0,42	4,1	2,7	2,0	1,420	20,0	-0,13	1,30	0,50	1,5	536	1680	1,5	375	32,2	3540	29000
501.022	22	1,20	20,5	+0,13-0,42	4,2	2,8	2,0	1,500	21,0	-0,13	1,30	0,50	1,5	565	1690	1,5	380	33,8	3540	27000
501.023	23	1,20	21,5	+0,13-0,42	4,3	2,9	2,0	1,630	22,0	-0,13	1,30	0,50	1,5	590	1660	1,5	380	35,4	3470	25000
501.024	24	1,20	22,2	+0,21-0,42	4,4	3,0	2,0	1,770	22,9	-0,21	1,30	0,55	1,7	675	1610	1,5	365	40,5	3340	27000
501.025	25	1,20	23,2	+0,21-0,42	4,4	3,0	2,0	1,900	23,9	-0,21	1,30	0,55	1,7	705	1620	1,5	370	42,3	3340	25000
501.026	26	1,20	24,2	+0,21-0,42	4,5	3,1	2,0	1,960	24,9	-0,21	1,30	0,55	1,7	734	1610	1,5	370	44,0	3290	24000
501.027	27	1,20	24,9	+0,21-0,42	4,6	3,1	2,0	2,080	25,6	-0,21	1,30	0,70	2,1	963	1640	1,5	380	57,8	3340	22500
501.028	28	1,50	25,9	+0,21-0,42	4,7	3,2	2,0	2,920	26,6	-0,21	1,60	0,70	2,1	1000	3210	1,5	750	60	6500	21200
501.029	29	1,50	26,9	+0,21-0,42	4,8	3,4	2,0	3,200	27,6	-0,21	1,60	0,70	2,1	1037	3180	1,5	745	62	6400	20000
501.030	30	1,50	27,9	+0,21-0,42	5,0	3,5	2,0	3,320	28,6	-0,21	1,60	0,70	2,1	1073	3210	1,5	765	64	6420	18900
501.031	31	1,50	28,6	+0,21-0,42	5,1	3,5	2,5	3,450	29,3	-0,25	1,60	0,85	2,6	1342	3150	2,0	560	81	6280	17900
501.032	32	1,50	29,6	+0,21-0,42	5,2	3,6	2,5	3,540	30,3	-0,25	1,60	0,85	2,6	1385	3120	2,0	555	83	6180	16900
501.033	33	1,50	30,5	+0,25-0,50	5,2	3,7	2,5	3,690	31,3	-0,25	1,60	0,85	2,6	1430	3160	2,0	565	86	6220	17400
501.034	34	1,50	31,5	+0,25-0,50	5,4	3,8	2,5	3,800	32,3	-0,25	1,85	0,85	2,6	1472	3130	2,0	560	88	6130	16100
501.035	35	1,50	32,2	+0,25-0,50	5,6	3,9	2,5	4,000	33,0	-0,25	1,85	1,00	3,0	1780	3080	2,0	555	107	6010	15500
501.036	36	1,75	33,2	+0,25-0,50	5,6	4,0	2,5	5,000	34,0	-0,25	1,85	1,00	3,0	1833	4940	2,0	900	110	9580	14500
501.037	37	1,75	34,2	+0,25-0,50	5,7	4,1	2,5	5,370	35,0	-0,25	1,85	1,00	3,0	1880	5000	2,0	915	113	9640	14100
501.038	38	1,75	35,2	+0,25-0,50	5,8	4,2	2,5	5,620	36,0	-0,25	1,85	1,00	3,0	1930	4950	2,0	910	116	9500	13600
501.039	39	1,75	36,0	+0,39-0,90	5,9	4,3	2,5	5,850	37,0	-0,25	1,85	1,00	3,0	1990	4980	2,0	925	119	9520	14500
501.040	40	1,75	36,5	+0,39-0,90	6,0	4,4	2,5	6,030	37,5	-0,25	1,85	1,25	3,8	2530	5100	2,0	950	152	9700	14300
501.041	41	1,75	37,5	+0,39-0,90	6,2	4,5	2,5	6,215	38,5	-0,25	1,85	1,25	3,8	2600	5010	2,0	940	156	9450	13500
501.042	42	1,75	38,5	+0,39-0,90	6,5	4,5	2,5	6,500	39,5	-0,25	1,85	1,25	3,8	2670	5000	2,0	945	160	9370	13000
501.044	44	1,75	40,5	+0,39-0,90	6,6	4,6	2,5	7,000	41,5	-0,25	1,85	1,25	3,8	2800	4850	2,0	920	166	9070	11800
501.045	45	1,75	41,5	+0,39-0,90	6,7	4,7	2,5	7,500	42,5	-0,25	1,85	1,25	3,8	2860	4900	2,0	935	172	9100	11400
501.046	46	1,75	42,5	+0,39-0,90	6,7	4,8	2,5	7,600	43,5	-0,25	1,85	1,25	3,8	2940	4890	2,0	940	177	9020	10900
501.047	47	1,75	43,5	+0,39-0,90	6,8	4,9	2,5	7,500	44,5	-0,25	1,85	1,25	3,8	3000	4950	2,0	955	180	9070	10500
501.048	48	1,75	44,5	+0,39-0,90	6,9	5,0	2,5	7,900	45,5	-0,25	1,85	1,50	3,8	3070	4940	2,0	955	184	9000	10300
501.050	50	2,00	45,8	+0,39-0,90	6,9	5,1	2,5	10,20	47,0	-0,25	2,15	1,50	4,5	3800	7330	2,0	1440	228	13330	10500
501.052	52	2,00	47,8	+0,39-0,90	7,0	5,2	2,5	11,10	49,0	-0,25	2,15	1,50	4,5	3970	7310	2,5	1150	238	13310	9850
501.054	54	2,00	49,8	+0,39-0,90	7,1	5,3	2,5	11,30	51,0	-0,30	2,15	1,50	4,5	4120	7120	2,5	1130	247	12970	9240
501.055	55	2,00	50,8	+0,46-1,10	7,2	5,4	2,5	11,40	52,0	-0,30	2,15	1,50	4,5	4200	7140	2,5	1140	252	13010	8960
501.056	56	2,00	51,8	+0,46-1,10	7,3	5,5	2,5	11,80	53,0	-0,30	2,15	1,50	4,5	4280	7080	2,5	1135	257	12920	8670
501.057	57	2,00	52,8	+0,46-1,10	7,3	5,5	2,5	12,20	54,0	-0,30	2,15	1,50	4,5	4370	7090	2,5	1145	262	12880	8320
501.058	58	2,00	53,8	+0,46-1,10	7,3	5,6	2,5	12,60	55,0	-0,30	2,15	1,50	4,5	4430	7110	2,5	1150	266	12920	8200
501.060	60	2,00	55,8	+0,46-1,10	7,4	5,8	2,5	12,90	57,0	-0,30	2,15	1,50	4,5	4600	6920	2,5	1130	276	12640	7620
501.062	62	2,00	57,8	+0,46-1,10	7,5	6,0	2,5	14,30	59,0	-0,30	2,15	1,50	4,5	4750	6930	2,5	1145	285	12620	7240
501.063	63	2,00	58,8	+0,46-1,10	7,6	6,2	2,5	15,90	60,0	-0,30	2,15	1,50	4,5	4830	7020	2,5	1160	290	12670	7050

## Single start lead screws



C15, rolled (1.0401)



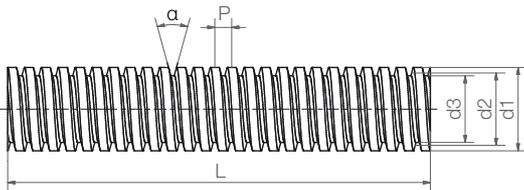
Stainless steel, rolled (1.4301)



Aluminium, rolled (EN AW 6082)



With machined end



### Technical data

Thread	Dir. of rotation		Material			Pitch P [mm]	Pitch- Angle $\alpha$ [°]	Weight		
	right	left	C15	Stainless steel 1.4301	Aluminium EN AW 6082			C15 [kg/m]	Stainless steel [kg/m]	Aluminium [kg/m]
Tr08x1,5	●	●	●	●	–	1.5	3.42	0.39	0.40	0.14
Tr10x2	●	●	●	●	●	2	3.64	0.62	0.62	0.21
Tr10x3	●	●	●	●	–	3	5.45	0.62	0.62	0.21
Tr12x3	●	●	●	●	●	3	4.55	0.89	0.89	0.31
Tr14x3	●	●	●	●	–	3	3.90	1.21	1.22	0.42
Tr14x4	●	●	●	●	–	4	5.20	1.21	1.22	0.42
Tr16x2	●	●	●	●	–	2	2.28	1.58	1.59	0.54
Tr16x4	●	●	●	●	●	4	4.55	1.58	1.59	0.54
Tr18x4	●	●	●	●	●	4	4.05	2.00	2.01	0.69
Tr20x4	●	●	●	●	●	4	3.64	2.47	2.48	0.85
Tr24x5	●	●	●	●	–	5	3.79	3.55	3.57	1.22
Tr26x5	●	●	●	●	–	5	3.50	4.17	4.19	1.43
Tr28x5	●	●	●	●	–	5	3.25	4.83	4.86	1.66
Tr30x6	●	●	●	●	–	6	3.64	5.55	5.58	1.91
Tr32x6	●	●	●	●	–	6	3.42	6.31	6.35	2.17
Tr36x6	●	●	●	●	–	6	3.04	7.99	8.04	2.75
Tr40x7	●	●	●	●	–	7	3.19	9.86	9.93	3.39
Tr50x8	●	●	●	●	–	8	2.92	15.41	15.51	5.30

### Technical data – lead screws with machined end

Thread	C15	Material		Pitch P [mm]	Pitch- Angle [°]	Weight	
		Stainless steel 1.4301	Aluminium EN AW 6082			C15 [kg/m]	Stainless steel [kg/m]
Tr10x2	●	●	–	2	3.64	0.62	0.62
Tr14x4	●	●	–	4	5.20	1.21	1.22
Tr18x4	●	●	–	4	4.05	2.00	2.01
Tr24x5	●	●	–	5	3.79	3.55	3.57

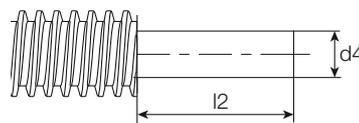


### Technical data

Helix deviation	0.1 mm to 300 mm
Straightness (standard)	0.3 mm to 300 mm
Aligned	<0.1 mm to 300 mm
Tolerance (according to DIN 103)	7e

The tensile/compressive strength of the EN AW 6082 lead screw material is 160 MPa per mm<sup>2</sup> (elongation limit 0.2 mm).

With machined end





## Order key

Part number	Thread	Options
-------------	--------	---------

## PTGSG-10X 2 -01- R -Z-1000-ES

Lead screw	Diameter	Pitch	Number of turns	Hand of rotation	With machined end	Length [mm]	Lead screw material
------------	----------	-------	-----------------	------------------	-------------------	-------------	---------------------

### Options:

#### Hand of rotation

R: Right

L: Left

Length in mm: Freely selectable (see table)

#### Lead screw material

blank: C15, rolled

ES: Stainless steel, rolled

AL: Aluminium, rolled



### Talk to us!

- Custom machining of drylin® lead screws



ACME lead screw (USA standard)

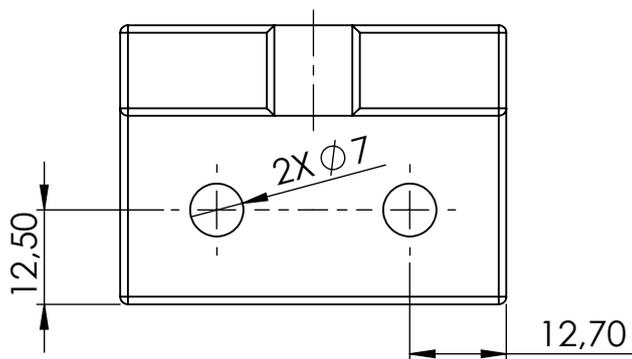
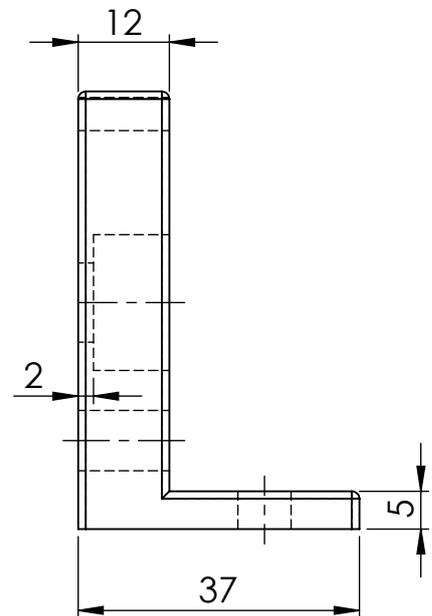
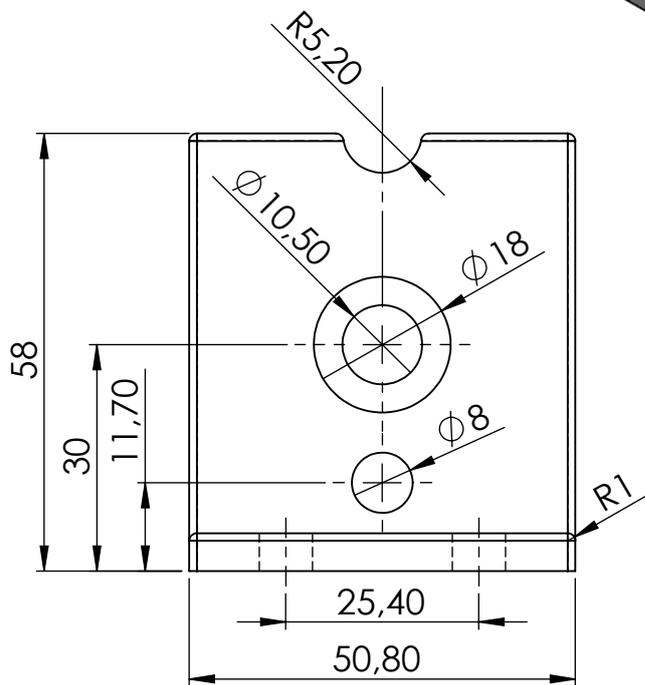
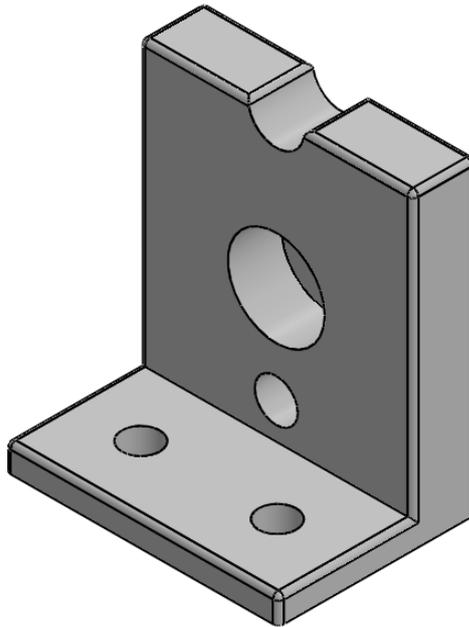
► Page 1406

## Dimensions [mm]

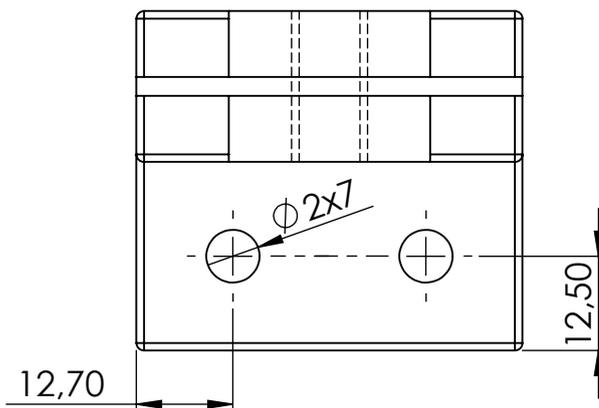
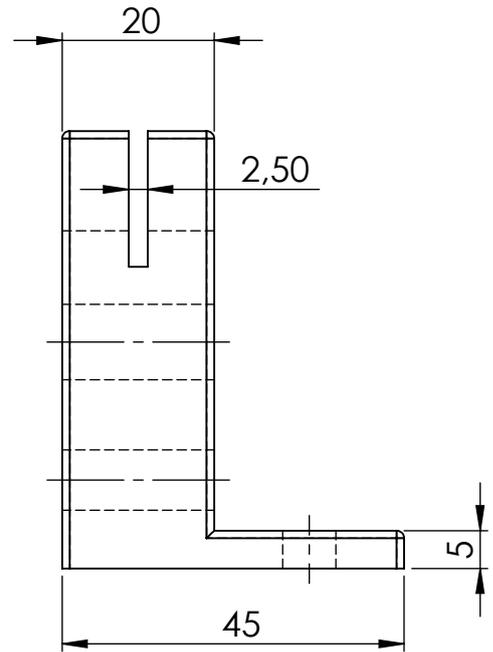
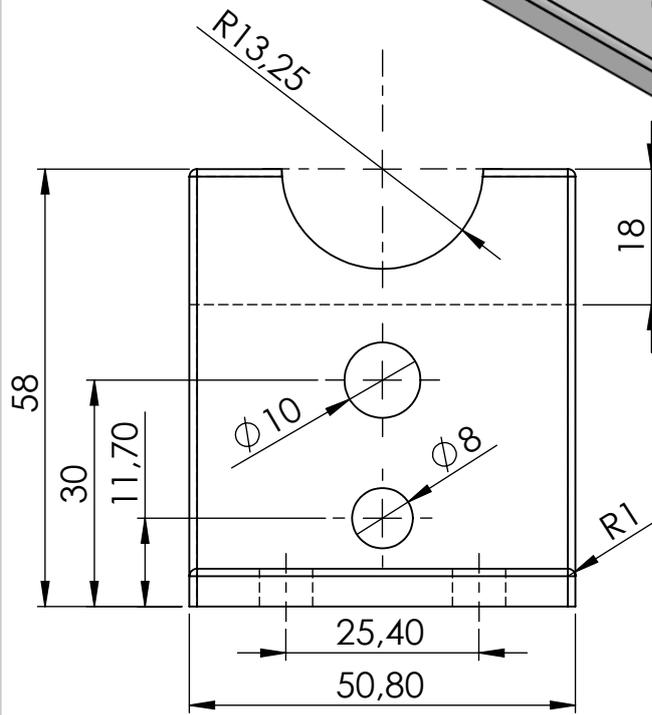
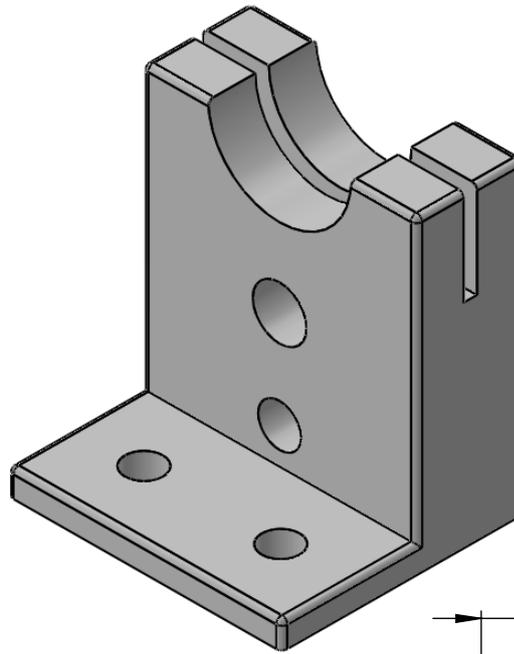
Outer Ø d1		Flank Ø d2		Core Ø d3		Max. length L		Part No.
min.	max.	min.	max.	min.	max.	C15 / ES	AL	
7.8	8	7.1	7.2	5.4	6.2	1,500	–	PTGSG-08X1.5-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
9.8	10	8.7	8.9	7.2	7.5	3,000	1,000	PTGSG-10X2-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
9.8	10	8.2	8.4	6.2	6.5	3,000	–	PTGSG-10X3-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
11.8	12	10.2	10.4	7.7	8.5	3,000	1,000	PTGSG-12X3-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
13.8	14	12.2	12.4	9.7	10.5	3,000	–	PTGSG-14X3-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
13.7	14	11.6	11.9	9.1	9.5	3,000	–	PTGSG-14X4-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
15.8	16	14.7	14.9	11.8	12.8	3,000	–	PTGSG-16X2-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
15.7	16	13.6	13.9	10.5	11.5	3,000	1,000	PTGSG-16X4-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
17.7	18	15.6	15.9	12.5	13.5	3,000	2,000	PTGSG-18X4-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
19.7	20	17.6	17.9	14.5	15.5	3,000	2,000	PTGSG-20X4-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
23.7	24	21.1	21.4	17.3	18.5	3,000	–	PTGSG-24X5-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
25.7	26	23.1	23.4	19.3	20.5	3,000	–	PTGSG-26X5-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
27.7	28	25.1	25.4	21.3	22.5	3,000	–	PTGSG-28X5-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
29.6	30	26.5	26.9	21.6	23.0	3,000	–	PTGSG-30X6-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
31.6	32	28.5	28.9	24.5	25.0	3,000	–	PTGSG-32X6-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
35.6	36	32.5	32.9	27.6	29.0	3,000	–	PTGSG-36X6-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
39.6	40	36.0	36.4	30.4	32.0	3,000	–	PTGSG-40X7-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>
49.6	50	45.5	45.9	39.2	41.0	3,000	–	PTGSG-50X8-01- <input type="text"/> - <input type="text"/>

## Dimensions [mm] – lead screw with machined end

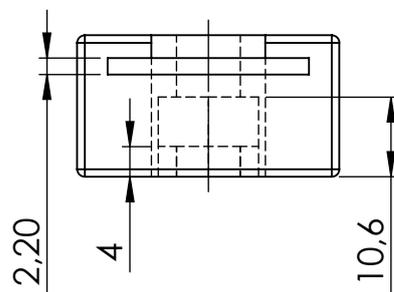
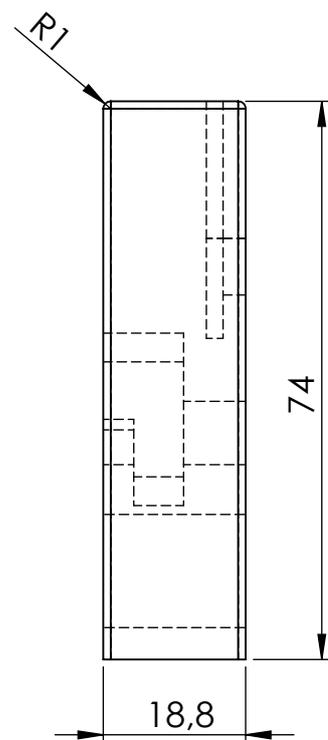
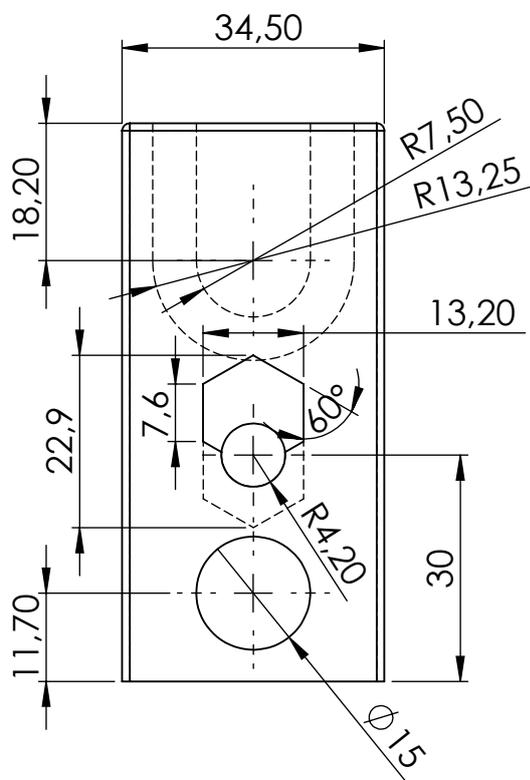
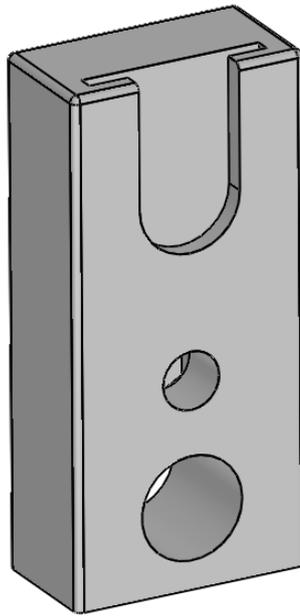
Outer Ø d1		Flank Ø d2		Core Ø d3		l2	Keyway Ø d4	max. Length L	Part No.
min.	max.	min.	max.	min.	max.				
9.8	10	8.7	8.9	7.2	7.5	17	6 h9	1,000	PTGSG-10X2-01- <input type="text"/> -Z- <input type="text"/>
13.7	14	11.6	11.9	9.1	9.5	20	8 h9	2,000	PTGSG-14X4-01- <input type="text"/> -Z- <input type="text"/>
17.7	18	15.6	15.9	12.5	13.5	118	12 h9	2,000	PTGSG-18X4-01- <input type="text"/> -Z- <input type="text"/>
23.7	24	21.1	21.4	17.3	18.5	144	14 h9	2,000	PTGSG-24X5-01- <input type="text"/> -Z- <input type="text"/>



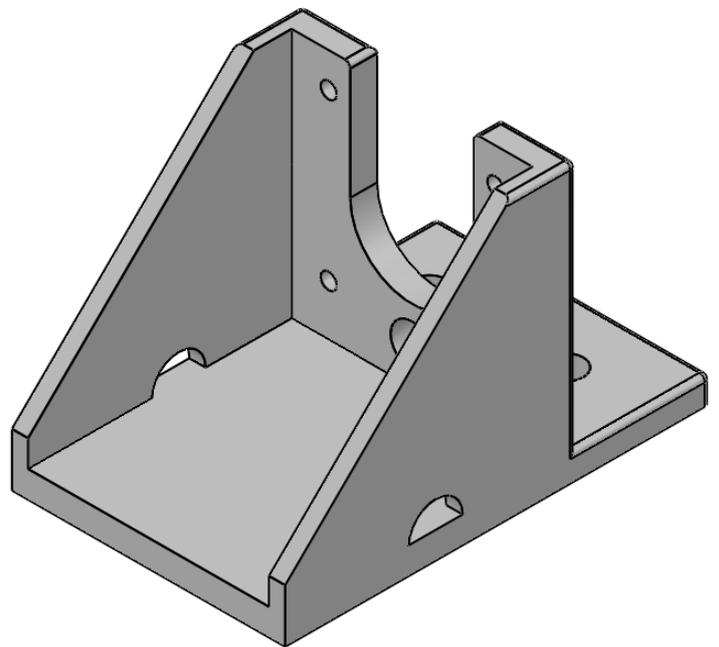
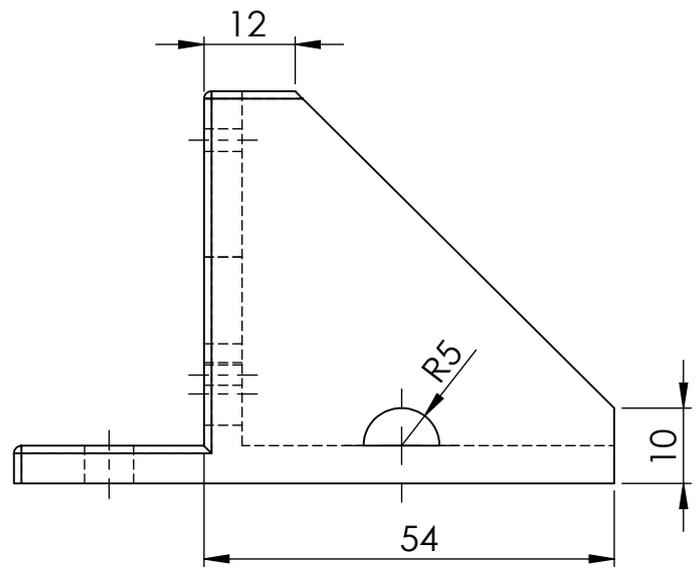
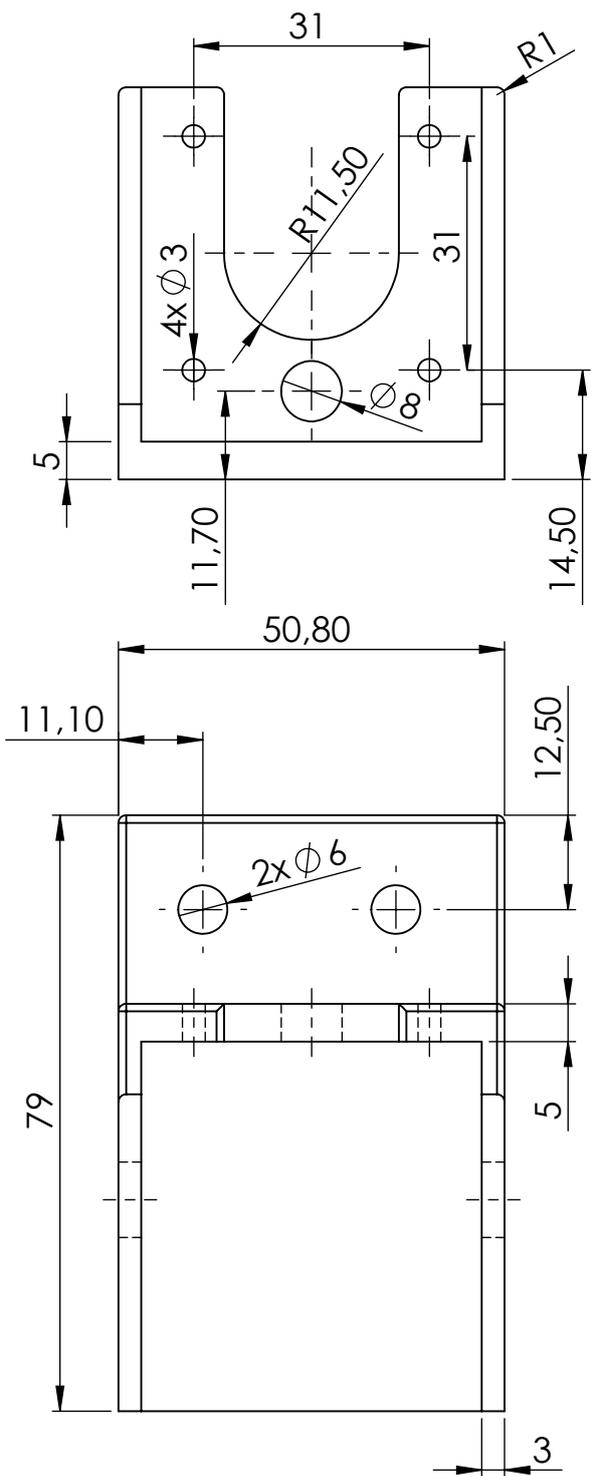
2	Suporte da ponta da seringa	1	Polímero PLA
Peça	Denominação e observações	Quant.	Material da peça
Nikolas Müller Eschebach Kronemberger			1° Diedro
Peça: Suporte da ponta da seringa		Data: 09/02/2017	Desenho 1 Escala: 1:1
Orientador: Prof. Armando Carlos de Pina Filho		Departamento de Eng. Mecânica	UFRJ Unidade mm



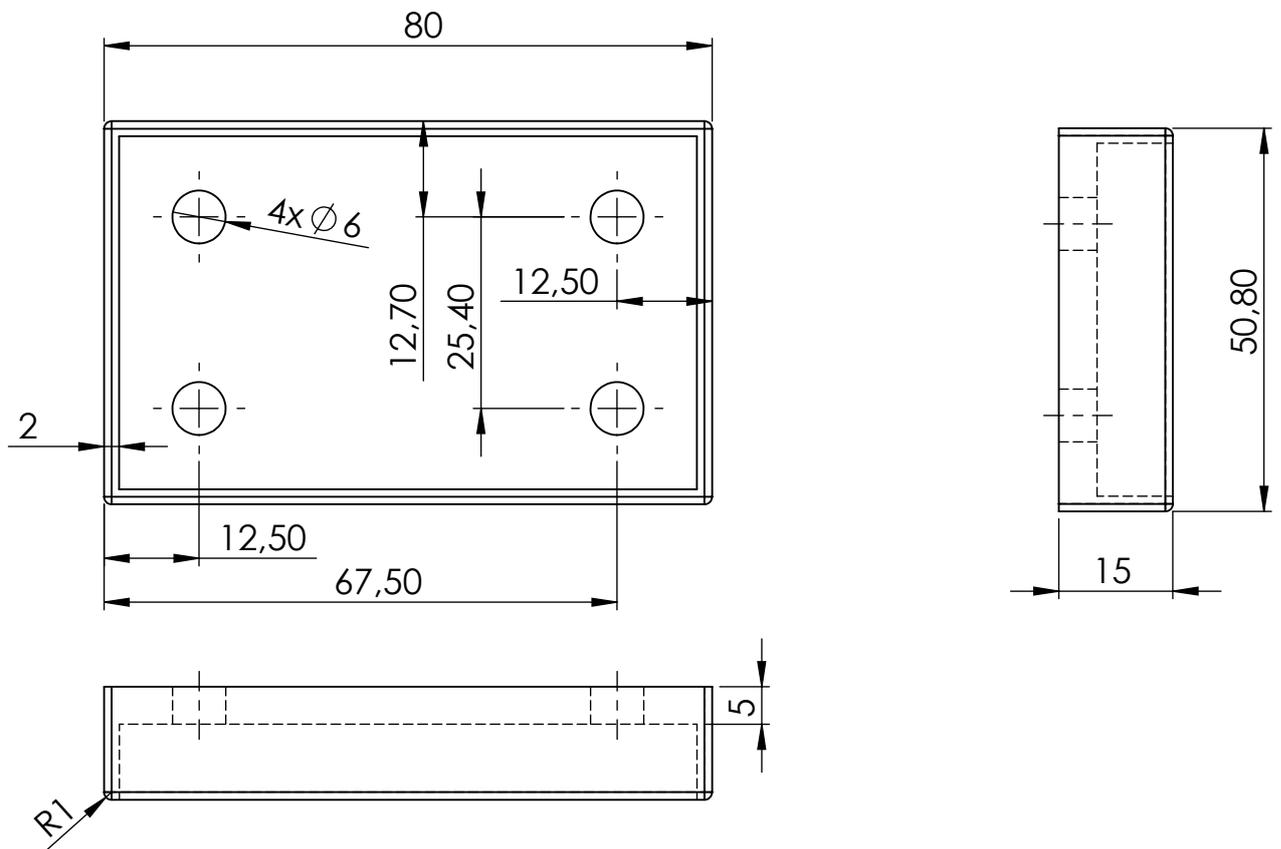
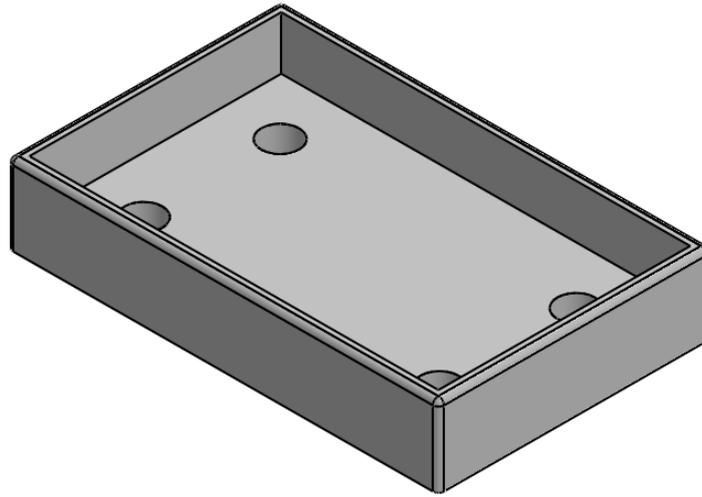
3	Suporte do corpo da seringa	1	Polímero PLA
Peça	Denominação e observações	Quant.	Material da peça
Nikolas Müller Eschebach Kronemberger			1° Diedro
Peça: Suporte do corpo da seringa	Data: 09/02/2017	Desenho 2	Escala: 1:1
Orientador: Prof. Armando Carlos de Pina Filho	Departamento de Eng. Mecânica	UFRJ	Unidade mm



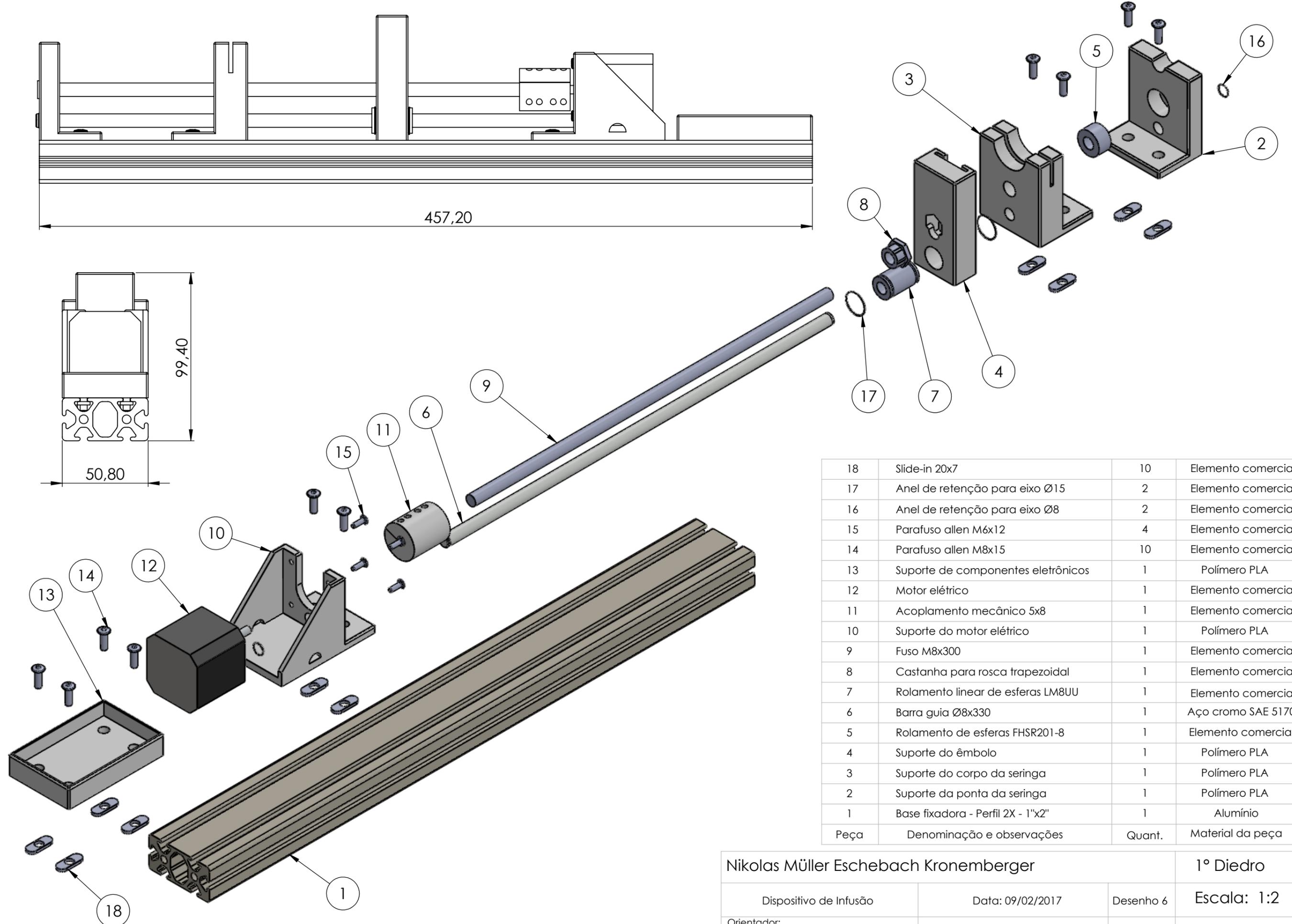
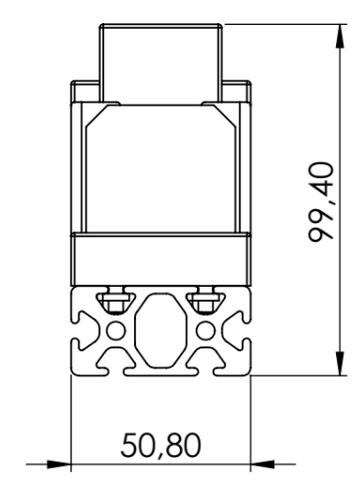
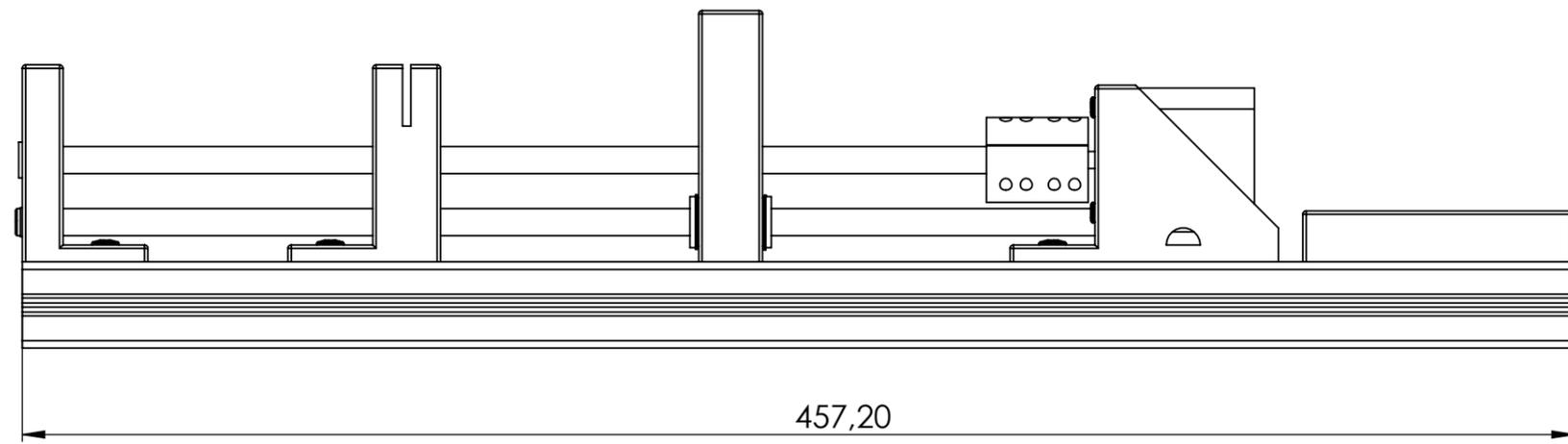
4	Suporte do êmbolo	1	Polímero PLA
Peça	Denominação e observações	Quant.	Material da peça
Nikolas Müller Eschebach Kronemberger			1° Diedro
Peça: Suporte do êmbolo		Data: 09/02/2017	Desenho 3 Escala: 1:1
Orientador: Prof. Armando Carlos de Pina Filho		Departamento de Eng. Mecânica	UFRJ Unidade mm



10	Suporte do motor	1	Polímero PLA
Peça	Denominação e observações	Quant.	Material da peça
Nikolas Müller Eschebach Kronemberger			1° Diedro
Peça: Suporte do motor		Data: 09/02/2017	Desenho 4 Escala: 1:1
Orientador: Prof. Armando Carlos de Pina Filho		Departamento de Eng. Mecânica	UFRJ Unidade mm

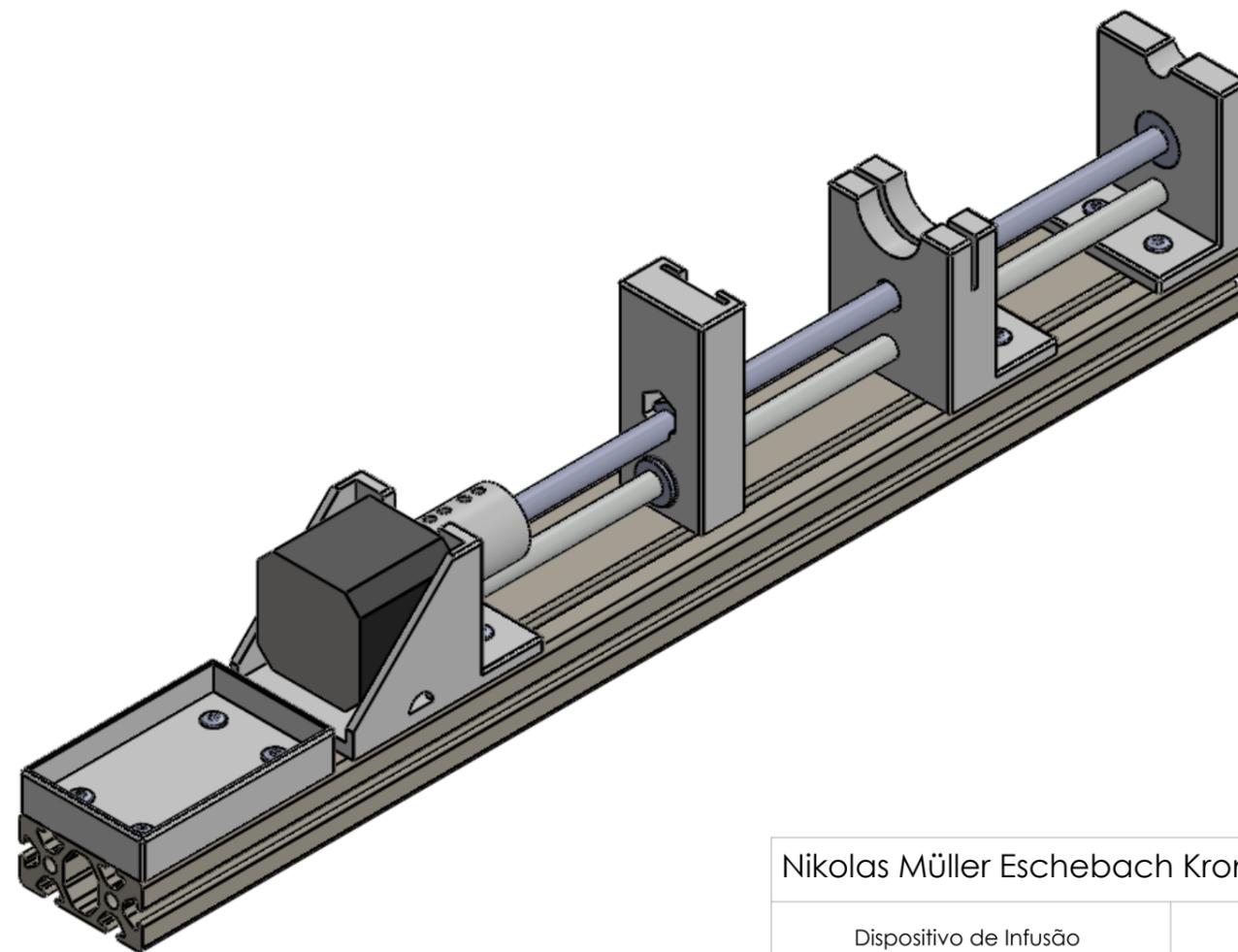
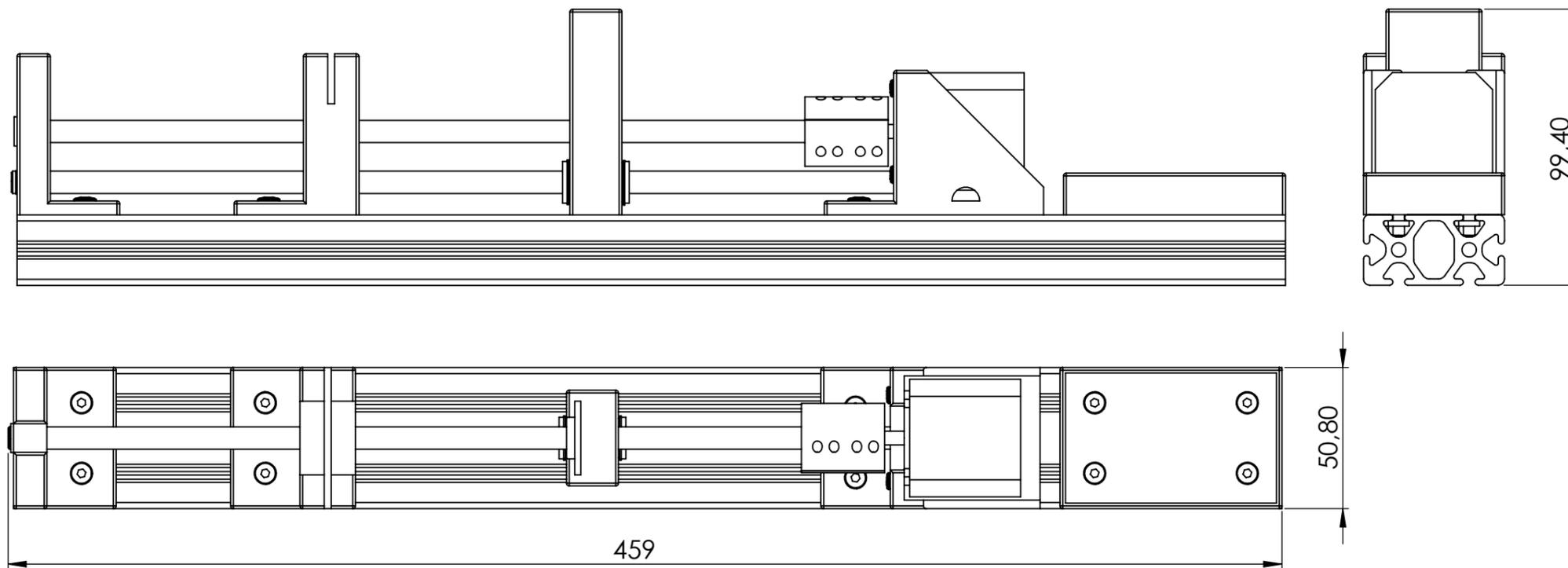


13	Suporte de componentes eletrônicos	1	Polímero PLA
Peça	Denominação e observações	Quant.	Material da peça
Nikolas Müller Eschebach Kronemberger			1° Diedro
Peça: Suporte de comp.eletrônicos	Data: 09/02/2017	Desenho 5	Escala: 1:1
Orientador: Prof. Armando Carlos de Pina Filho	Departamento de Eng. Mecânica	UFRJ	Unidade mm



18	Slide-in 20x7	10	Elemento comercial
17	Anel de retenção para eixo Ø15	2	Elemento comercial
16	Anel de retenção para eixo Ø8	2	Elemento comercial
15	Parafuso allen M6x12	4	Elemento comercial
14	Parafuso allen M8x15	10	Elemento comercial
13	Suporte de componentes eletrônicos	1	Polímero PLA
12	Motor elétrico	1	Elemento comercial
11	Acoplamento mecânico 5x8	1	Elemento comercial
10	Suporte do motor elétrico	1	Polímero PLA
9	Fuso M8x300	1	Elemento comercial
8	Castanha para rosca trapezoidal	1	Elemento comercial
7	Rolamento linear de esferas LM8UU	1	Elemento comercial
6	Barra guia Ø8x330	1	Aço cromo SAE 5170
5	Rolamento de esferas FHSR201-8	1	Elemento comercial
4	Suporte do êmbolo	1	Polímero PLA
3	Suporte do corpo da seringa	1	Polímero PLA
2	Suporte da ponta da seringa	1	Polímero PLA
1	Base fixadora - Perfil 2X - 1"x2"	1	Alumínio
Peça	Denominação e observações	Quant.	Material da peça

Nikolas Müller Eschebach Kronemberger			1º Diedro
Dispositivo de Infusão	Data: 09/02/2017	Desenho 6	Escala: 1:2
Orientador: Prof. Armando Carlos de Pina Filho	Departamento de Eng. Mecânica	UFRJ	Unidade mm



Nikolas Müller Eschebach Kronemberger			1° Diedro
Dispositivo de Infusão	Data: 09/02/2017	Desenho 7	Escala: 1:2
Orientador: Prof. Armando Carlos de Pina Filho	Departamento de Eng. Mecânica	UFRJ	Unidade mm