

# **Laminador Mecânico para Fabrico de Materiais Macroporosos para Regeneração Óssea**

**Medmat Innovation**

*Ricardo Filipe Salgueiro Alves*

**Relatório do Projecto Final/Dissertação do MIEM**

Orientador na Medmat Innovation: Engenheiro Bruno Sá

Orientador na FEUP: Professor Joaquim Fonseca



**FEUP**

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**

**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Porto, Julho de 2008

Aos meus pais

"Não sei como pareço aos olhos do mundo, mas eu mesmo me vejo como um pobre rapaz que brinca na praia e se diverte em encontrar uma pedrinha mais lisa uma vez por outra, ou uma concha mais bonita do que de costume, enquanto o imenso oceano da verdade se estende totalmente inexplorado diante de mim."

Isaac Newton

## Resumo

A actual e intensa investigação em biomateriais de regeneração de tecido ósseo faz com que estes se apresentem cada vez mais como uma solução credível de extrema importância que pode certamente melhorar a qualidade de vida de muitos pacientes. Esta realidade consolida-se com o aparecimento de cada vez mais soluções de promoção á regeneração óssea. Ao utilizar-se biomateriais em cirurgia regenerativa de tecido ósseo, evita-se, desta forma, problemas associados aos autoenxertos, tais como a morbilidade do local de recolha e a quantidade limitada de enxerto ou, no caso dos aloenxertos, a rejeição imunitária e a transmissão patogénica. Consideram-se autoenxertos quando estes provêm do próprio indivíduo ou aloenxertos quando provêm de um outro qualquer indivíduo ou ser [1].

O objectivo do presente trabalho foi o desenvolvimento de um laminador mecânico de rolos motrizes com a finalidade de aplicar ciclos de compressão/expansão em espumas de poliuretano, ou semelhantes, impregnadas com material para regeneração óssea. O projecto deveria respeitar todas as condições e características impostas pela empresa em causa. Durante a execução deste trabalho diversas etapas foram alcançadas e posteriormente ultrapassadas. Etapas essas que foram desde a inicial análise dos requisitos da máquina a projectar até à implementação das soluções alcançadas, passando por experiências e testes realizados com o intuito de definir parâmetros essenciais para o projecto. Também cálculos construtivos, estudo de soluções técnicas, análise e escolha de materiais a utilizar, consulta de fornecedores, entre outros, fizeram parte dessas mesmas etapas. Tal como é possível verificar foi um trabalho que abarcou diversas vertentes, tendo simultaneamente um carácter teórico e prático. Tal característica fez deste um trabalho aliciante, instrutivo e recompensador.

Após realização deste trabalho pode concluir-se que os objectivos foram alcançados, estando o projecto do laminador mecânico terminado e pronto para construção.

## **Mechanical Roller Mill for Manufacturing Macroporous Materials for Bone Regeneration**

### **Abstract**

The current and intensive research on biomaterials of bone tissue regeneration means that they have increasingly as a credible solution of extreme importance that can certainly improve the quality of life for many patients. This consolidates reality with the emergence of increasingly solutions, will promote bone regeneration. By using up a biomaterial bone surgery, we avoid this way, problems associated with autografts, such as the morbidity of the place of collection and limited amount of graft or in the case of allografts, the immune rejection and pathogen transmission. It is considered autografts when they come from the own individual or allografts when they come from some other individual or being [1].

The objective of this work was the development of a mechanic roller mill for driving with the aim of implementing cycles of compression/expansion in polyurethane foam (PU), or similar, impregnated with material for bone regeneration. The project should meet all the conditions and characteristics imposed by the company concerned. During the implementation of this work several steps were reached and then exceeded. Steps which were from the initial analysis of requirements for the machine to the implementation of the solutions found. Were made small experiments and tests in order to define essential parameters for the project. Also constructive calculations, study of technical solutions, analysis and choice of materials to be used, consultation with suppliers, among others, were part of those steps. As you can see it was a work that covered various aspects while taking a theoretical and practical nature. This characteristic has made this into an attractive, instructive and rewarding work.

After this work can be concluded that the objectives were achieved, the draft of mechanical mill is finished and it is ready for construction.

## **Agradecimentos**

Agradeço ao Engenheiro Bruno Sá e ao Professor Joaquim Fonseca, meus orientadores na Medmat Innovation (empresa em que estagiei) e na faculdade (FEUP), respectivamente. Sempre que possível fizeram de tudo para me auxiliarem nos mais diversos aspectos durante a realização deste projecto.

Gostaria de manifestar o meu agradecimento à Doutora Marta Laranjeira que sempre se apresentou prestável aquando da realização de experiências laboratoriais e reuniões para definição de parâmetros construtivos, assim como no estudo da optimização do fabrico das espumas de hidroxiapatite.

Não poderei deixar de agradecer a todo o pessoal das oficinas do departamento de engenharia mecânica e gestão industrial (DEMEGI), com especial relevo para o coordenador José Almeida. Sempre que solicitados responderam á altura e foram cruciais em muitas das questões técnico-construtivas.

Agradeço ainda aos meus amigos, colegas de curso e fornecedores que me aconselharam e encaminharam em áreas ainda por mim inexploradas.

Finalmente deverei prestar os mais sinceros agradecimentos á minha família, em especial aos meus pais, que me proporcionaram ao longo de todos estes anos as condições para me instruir e construir a minha vida assente em valores primordiais inabaláveis.

A todos estes um muito obrigado.

## Índice de Conteúdos

1	Introdução .....	1
1.1	Apresentação da Medmat Innovation .....	2
1.2	Descrição do Projecto .....	4
1.3	Organização e Temas Abordados .....	5
2	Enquadramento .....	6
2.1	Hidroxiapatite .....	6
2.2	Processos de Obtenção de Espumas de HAP .....	7
2.3	Espumas de Poliuretano .....	8
2.4	Bonelike® .....	9
2.5	Espumas de Bonelike® .....	10
2.6	Produção de Espumas de Bonelike® .....	11
3	Apresentação do Problema .....	13
4	Trabalho Realizado .....	18
4.1	Dimensões Máximas da Esponja .....	21
4.1.1	Comprimento e Largura .....	21
4.1.2	Espessura .....	22
4.2	Taxas de Compressão .....	24
4.3	Sistema de Accionamento .....	27
4.3.1	Motor .....	27
4.3.2	Redutor .....	29
4.3.3	Variador de Frequência .....	30
4.3.4	Fornecedores Consultados .....	30
4.4	Distância Horizontal entre Pares de Rolos .....	31
4.5	Transmissão .....	32
4.5.1	Rolamentos .....	33
4.5.2	Esticadores de Correia .....	36
4.5.3	Engrenagem Inversora .....	39
4.5.4	Fornecedores Consultados .....	39

4.6	Materiais Escolhidos .....	40
4.6.1	Aço Inoxidável .....	40
4.6.1.1	Aço Inoxidável 316L .....	40
4.6.1.2	Aço Inoxidável 304L .....	45
4.6.2	Fornecedores Consultados .....	50
4.6.3	Termoplástico .....	51
4.6.4	Fornecedores Consultados .....	52
4.7	Processo Construtivo Evolutivo .....	53
5	Resultados Atingidos .....	60
6	Conclusões e Perspectivas de Trabalhos Futuros .....	62
7	Referências e Bibliografia .....	63
	ANEXO A: 304 Stainless Steel .....	64
	ANEXO B: 304L Stainless Steel .....	65
	ANEXO C: 316 Stainless Steel .....	66
	ANEXO D: 316L Stainless Steel .....	67
	ANEXO E: Ertalyte® thermoplastic .....	68
	ANEXO F: Motor Eléctrico .....	70
	ANEXO G: Redutor .....	71
	ANEXO H: Variador de Frequência .....	72
	Desenhos de Definição .....	73

## 1 Introdução

Biomaterial é qualquer material utilizado em contacto com tecidos vivos com o intuito de restaurar ou substituir partes danificadas desse mesmo tecido. Podem ser polímeros, metais, cerâmicos, compósitos (dois ou mais materiais diferentes compondo um único material) ou materiais naturais. Contudo os biomateriais mais comuns na regeneração do tecido ósseo são os polímeros, biocerâmicos e compósitos devido á biodegradabilidade controlada. Estes materiais sofrem uma actual e intensa investigação e apresentam-se cada vez mais como uma solução credível de extrema importância que pode certamente melhor a qualidade de vida de muitos pacientes. Esta realidade consolida-se com o aparecimento de cada vez mais soluções de promoção á regeneração óssea. São utilizados em cirurgia regenerativa do tecido ósseo, evitando, desta forma, os problemas associados aos autoenxertos (quando provêm do próprio indivíduo), tais como a morbilidade do local de recolha e a quantidade limitada de enxerto ou, no caso dos aloenxertos (quando provêm de um outro qualquer indivíduo ou ser), a rejeição imunitária e a transmissão patogénica [1].

O presente trabalho teve como objectivo o desenvolvimento de um laminador mecânico de rolos motrizes, de distância entre rolos variável, de accionamento eléctrico. Esta máquina tem como finalidade aplicar ciclos de compressão/expansão sucessivos para uniformização da impregnação de espumas de poliuretano (PU), ou semelhantes com material para regeneração óssea (solução de hidroxiapatite). O esquema inicial simplista do projecto está apresentado na Figura 1. Nesta é apresentada uma configuração possível para a máquina de rolos, onde é também possível verificar a disposição e sentido de movimentação dos rolos que impõe a entrada da esponja impregnada. Em virtude da natureza da aplicação – produção de dispositivos médicos – foram tomadas várias considerações ao nível da limpeza e possibilidade de contaminação do produto final, que se traduziram em escolhas criteriosas de todos os componentes e materiais do laminador. As etapas seguidas irão ser apresentadas sequencialmente ao longo deste relatório.

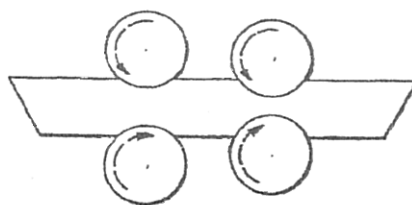


Figura 1 – Esquema inicial simplista do projecto [2]

Seguidamente será feita a devida apresentação da empresa em causa, assim como a descrição do projecto a realizar com maior detalhe e a organização e temas abordados no presente relatório.



## 1.1 Apresentação da Medmat Innovation

Medmat Innovation, Lda. situa-se no parque de ciência e tecnologia da maia (Tecmaia) em Moreira da Maia. Dedicada a sua actividade à área da medicina regenerativa, nomeadamente ao fabrico de dispositivos médicos, biomateriais e biomodelos 3D. A empresa dedica a sua estratégia à vida, reforçando soluções médicas adaptadas às necessidades do paciente utilizando metodologias tecnologicamente avançadas [3].



Figura 2 – Logótipos [3]

Esta empresa desenvolveu um novo enxerto ósseo sintético registrado como Bonelike® que imita a composição mineral do tecido ósseo, usando um processo protegido pela patente. Bonelike® está disponível em grânulos de diferentes formas e tamanhos dependendo das aplicações médicas a que se destina e pode ser usada em cirurgia oral e maxilo-facial, implantação e ortopedia [3].

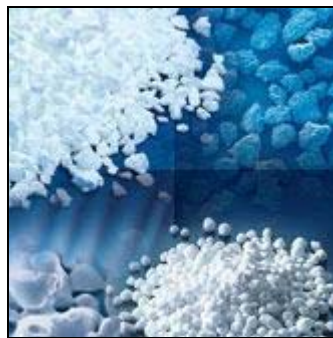


Figura 3 – Grânulos de Bonelike® [3]



Figura 4 – Produtos Bonelike® [3]

Esta empresa é também especialista na ciência de replicação anatómica – biomodelação 3D. Fabrica também modelos médicos, guias cirúrgicos, implantes personalizados e próteses usando estereolitografia (SLA), sinterização selectiva a laser (SLS) e impressão 3D para cirurgia maxilo-facial, implantação, cirurgia ortognática, ortopedia e cirurgia vascular entre outros [3].

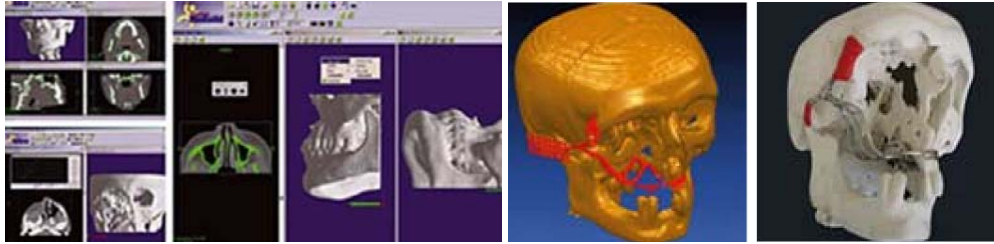


Figura 5 – Biomodelação 3D [3]

Medmat Innovation, Lda. colabora com várias instituições no desenvolvimento e comercialização de produtos médicos bioreabsorvíveis para reconstrução de tecidos moles. Polímeros bioreabsorvíveis totalmente sintético oferecem incomparáveis benefícios nesta área. A linha condutora do produto actualmente contém: membranas orais bioreabsorvíveis, nervos guias periféricos, dispositivos para reparação da cartilagem meniscal e produtos de cuidado para feridas [3].

Está ainda a desenvolver novas soluções médicas baseada na abordagem nanotecnológica e tecnologias de células estaminais associadas a biomateriais [3].

#### Informação adicional:

#### Morada:

TECMAIA – Parque de Ciência e Tecnologia da Maia  
Rua Eng.º Frederico Ulrich, 2650  
4470-605 Moreira da Maia, Portugal

#### Contactos:

Telefone: 22 091 54 95

Telemóvel: 91 674 03 06

Fax: 22 944 63 81

Site: [www.medmatinnovation.com](http://www.medmatinnovation.com)

E-mail: [info@medmatinnovation.com](mailto:info@medmatinnovation.com)

## 1.2 Descrição do Projecto

Neste projecto a realizar na Medmat Innovation o objectivo foi o de desenvolver um laminador mecânico de rolos motrizes e de accionamento eléctrico com o objectivo de aplicar ciclos de compressão/expansão sucessivos em espumas de poliuretano (PU), ou semelhantes, impregnadas com material para regeneração óssea. A finalidade destes ciclos seria a de uniformizar a impregnação das espumas em causa. Tais impregnações seriam realizadas previamente e obedecendo a uma série de condições já estabelecidas. Condições estas que não irão ser alvo de grande relevo neste relatório uma vez que não fazem parte essencial deste projecto.

Como uma das características essenciais ao projecto seria a capacidade de alterar a distância vertical entre rolos para que assim fosse possível fazer variar as taxas de compressão ou até mesmo a utilização de espumas com diferentes espessuras. Tal característica seria essencial uma vez que a máquina teria como finalidade a realização de diversos ensaios numa vertente de investigação e desenvolvimento das espumas. Sendo assim, a sua versatilidade seria imprescindível. Outra característica essencial seria a de não existir contaminação das espumas aquando da passagem por esta máquina. Sendo assim a escolha de todos os materiais para esta teria de ser bastante cuidada. Estas e outras características e pretensões serão analisadas posteriormente neste relatório.

A Figura 1 já apresentada anteriormente representa o esquema inicial do projecto que serviu de ponto de partida para o mesmo.

### 1.3 Organização e Temas Abordados

No presente relatório irá sendo apresentada e explicitada a sequência de trabalho e modo de abordagem dos problemas surgidos. Primeiramente será efectuado o enquadramento e descrição do contexto de todo o trabalho. Neste ponto será explicitado o que é a hidroxiapatite assim como o seu processo de fabrico de interesse para este estudo.

Segue-se depois a apresentação da sequência de trabalho realizado aquando da execução deste projecto. As etapas deste trabalho foram desde a inicial análise dos requisitos da máquina a projectar até à implementação de todas as soluções adoptadas, passando por pequenas experiências (realizadas com o intuito de definir parâmetros essenciais para o projecto e construção da máquina). Também cálculos construtivos, estudo de soluções técnicas, análise e escolha de materiais a utilizar, consulta de fornecedores, entre outros, fizeram parte dessas mesmas etapas. Tal como é possível verificar foi um trabalho que abarcou diversas vertentes, tendo simultaneamente um carácter teórico e prático. Tal característica fez deste um trabalho aliciante, instrutivo e recompensador

Apresenta-se ainda no final do relatório os resultados e conclusões alcançados neste projecto. Tal como era pretendido o resultado alcançado foi um projecto de um laminador mecânico que obedece a todos os requisitos estabelecidos.

## 2 Enquadramento

Antes da apresentação do problema é essencial efectuar um enquadramento para um melhor entendimento e análise ao projecto realizado. Tal enquadramento irá ter como principais focos de abordagem a definição e explicação do que é e para que serve a hidroxiapatite, Bonelike® e respectivas espumas. Seguidamente uma sucinta descrição da fabricação das mesmas segundo o processo de interesse para este projecto.

### 2.1 Hidroxiapatite

Hidroxiapatite (HAP),  $(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$  é uma cerâmica bioactiva que permite o crescimento de tecido ósseo e revascularização da área implantada pela formação de ligação com a fase mineral dos ossos [4, 5].

O tecido ósseo tem a capacidade de regeneração com a produção de novo tecido com a mesma alta organização estrutural original. No entanto, esta capacidade regenerativa é limitada pelo tamanho da lesão. Assim, defeitos ósseos extensos, provocados por traumas, infecções, neoplasias e anomalias de desenvolvimento não se regeneram espontaneamente, representando um problema actual na medicina e odontologia. Por possuir similaridade química com a fase mineral dos tecidos ósseos, a hidroxiapatite é um dos materiais mais biocompatíveis conhecidos, favorecendo o crescimento ósseo para os locais em que ela se encontra (osteocondutor), estabelecendo ligações entre a hidroxiapatite e o tecido ósseo (bioactivo), permitindo a proliferação de fibroblastos, osteoblastos e outras células ósseas, sendo que as células não distinguem entre a hidroxiapatite e a superfície óssea, o que indica a grande similaridade química superficial [4, 5].

Na Figura 6 é possível visualizar cristais do mineral hidroxiapatite (HAP) encrostado em matriz rochosa.



Figura 6 – Cristais de hidroxiapatite [6]

## 2.2 Processos de Obtenção de Espumas de HAP

As espumas cerâmicas podem ser produzidas por vários métodos designadamente:

- Método de replicação a partir de um substrato polimérico que é impregnado numa suspensão cerâmica;
- Deposição química e fase de vapor de HAP num substrato poroso de carbono;
- Processo sol-gel;
- Processo de vazamento de um gel conjuntamente com um polímero disperso numa suspensão cerâmica seguido de polimerização *in-situ*;
- Processo de réplica por injeção de um polímero num substrato poroso.

O processo utilizado neste trabalho é o método de replicação a partir de um substrato polimérico, na qual o substrato é impregnado numa suspensão cerâmica e sujeito a uma sinterização a temperaturas elevadas. De forma a desenvolver espumas de HAP com uma estrutura de poros pretendida, é necessário uma solução adequada do substrato reticulado. Seguidamente prepara-se uma suspensão com características reológicas adequadas à impregnação do substrato seleccionado. A amostra é, então seca e sintetizada. Finalmente, procede-se às operações de acabamento, nas quais a peça é lavada e esterilizada, estando assim pronta para ser utilizada como implante. Na Figura 7 apresenta-se assim um esquema das etapas envolvidas no processo de fabrico de implantes de HAP porosos [5].

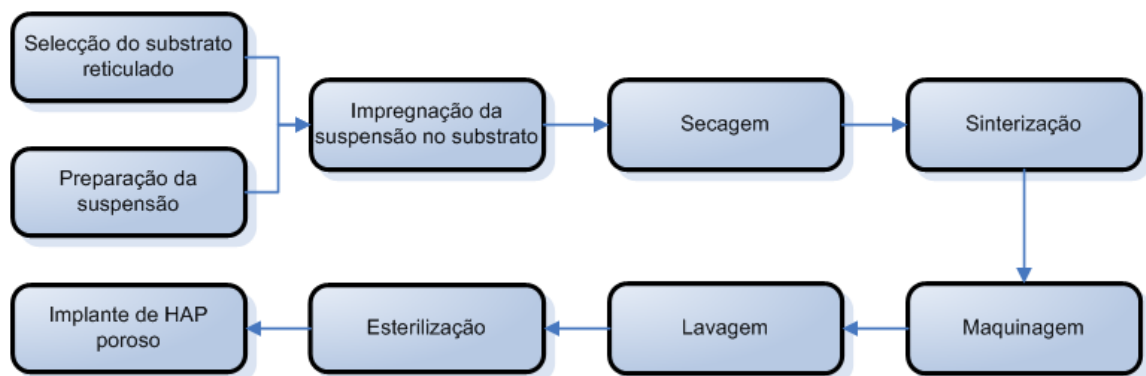


Figura 7 – Etapas no fabrico de um implante de hidroxiapatite poroso [5]

### 2.3 Espumas de Poliuretano

Com base em dados da literatura disponível, é possível verificar que existe uma grande variedade de materiais esponjosos, com células abertas, que podem ser utilizadas no processo de obtenção de cerâmicos porosos. Com base em estudos realizados, verificou-se que a utilização da espuma de poliuretano (PU – Figura 8) era aconselhada para produzir espumas cerâmicas pelo processo de replicação. Neste contexto optou-se pela utilização de espumas de PU devido à baixa temperatura de degradação, aproximadamente de 350°C. Quando a espuma impregnada é aquecida durante a etapa de queima, começa por amolecer e vai-se degradando gradualmente, permitindo um alívio de tensões térmicas evitando-se assim, uma significativa formação de fissuras na espuma cerâmica. Neste trabalho, foram utilizadas espumas de PU do tipo esponja flexível “slabstocks” como “esqueleto” para as espumas de hidroxiapatite produzidas pelo método descrito anteriormente. Os PU podem ser classificados em espumas de poliéster, consoante a natureza da resina base, que no caso das espumas poliéster é um polímero à base do ácido adípico e/ou ftálico enquanto que no caso dos poliéster a base é o óxido de propileno e/ou óxido de etileno [5, 7].

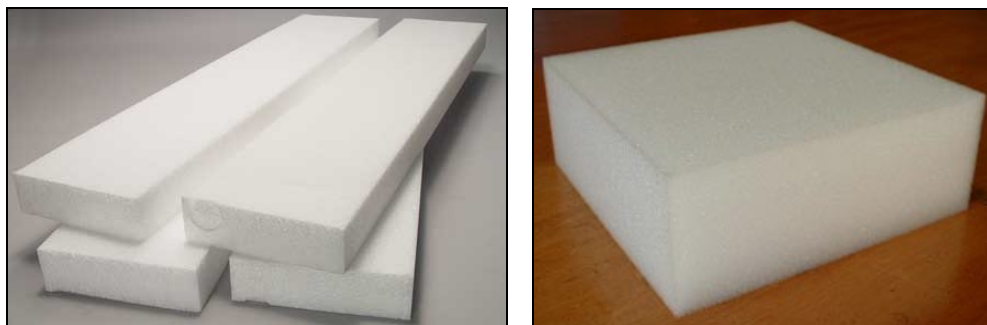


Figura 8 – Blocos de espuma de poliuretano [7]

Para as experiências mencionadas posteriormente neste relatório onde são usadas espumas de poliuretano foram usadas espumas sintéticas do fornecedor Flexipol ([www.flexipol.co.uk](http://www.flexipol.co.uk)). Este fornecedor apresenta diversas soluções de espumas sintéticas, podendo estas ser fornecidas em qualquer dimensão pretendida.

## 2.4 Bonelike®

O Bonelike® trata-se de um substituto ósseo que ajuda a regeneração, em casos de trauma (acidente), envelhecimento ou doença óssea. O Bonelike® acelera a formação de novo tecido ósseo, evitando a utilização de auto-enxerto obtido de uma zona dadora do paciente. É possível observar na Figura 9 como os grânulos de Bonelike® preenchem a cavidade no osso e promovendo a formação de novo tecido ósseo este obtém mais rapidamente a sua forma correcta. O Bonelike® já foi testado em vários hospitais (nomeadamente, no Hospital de S. João, Hospital de Santo António e no Centro Hospitalar de Vila Nova de Gaia) e os resultados dos testes clínicos já foram aprovados pelo Instituto Nacional da Farmácia e do Medicamento (Infarmed) [3].

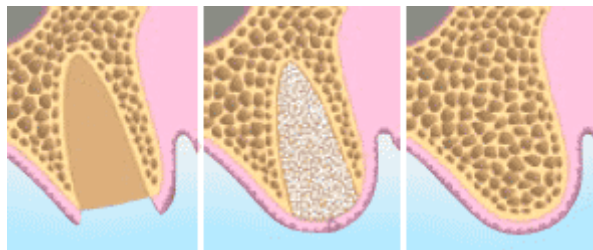


Figura 9 – Regeneração óssea acelerada por grânulos de Bonelike® [3]

Foi-lhe atribuído o "Prémio Professor Carlos Lima 2006" ao trabalho científico intitulado "Bone ingrowth in Macroporous Bonelike® for Orthopaedic applications", que premeia o melhor trabalho na área da ortopedia e foi concedido pela Sociedade Portuguesa de Ortopedia e Traumatologia. Este trabalho resulta de uma longa colaboração na área da medicina regenerativa do tecido ósseo, que tem sido desenvolvido entre docentes e investigadores da FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, do INEB – Instituto de Engenharia Biomédica e do Serviço de Ortopedia do Hospital de S. João [3].

O trabalho inovador realizado sobre este novo biomaterial de substituição óssea (Bonelike®) tem cerca de 10 anos, envolvendo vários trabalhos científicos de pós-doutoramentos, doutoramentos e mestrados, bem como colaborações com universidades estrangeiras, em particular do Reino Unido e Japão. O trabalho de I&D foi liderado pelo Professor José Domingos Santos, Professor na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e investigador do INEB. Na sequência deste trabalho, foi registada uma patente Europeia intitulada "Sintered Hydroxyapatite Compositions and Method for the Preparation Thereof", Worldwide Application (PCT), Patent N. 1 189 851, 1999, cujos co-inventores são José Domingos Santos, Garth Winston Hastings e Jonathan Campbell Knowles. Mais tarde, este novo substituto ósseo sintético foi registado internacionalmente com a marca Bonelike®. Para mais informações sobre o Bonelike® é favor consultar a patente referida anteriormente [3].



## 2.5 Espumas de Bonelike®

As espumas de Bonelike® serão utilizadas em circunstâncias semelhantes às dos grânulos de Bonelike® mas em que seja necessário a “cobertura” de uma área que esteja sujeita a esforços que os grânulos não suportariam sem abandonar o seu local de implantação.

Estas espumas podem ser obtidas por diferentes processos usando como ponto de partida, tal como foi já referido, pasta de Bonelike®. O processo de fabrico de interesse para este trabalho será apresentado posteriormente.

Primeiramente será evidenciado o que é o Bonelike®. Muito resumidamente e de modo simplista pode ser dito que o Bonelike® é uma barbotina de hidroxiapatite reforçada com vidro. As partículas de vidro dão às amostras de Bonelike® propriedades mecânicas e químicas de interesse que a barbotina de hidroxiapatite, por si só, não lhes é capaz de conferir.

Na Figura 10 é visível a fotografia de uma amostra de espuma de Bonelike®, gentilmente cedida pelo Departamento de Materiais da FEUP, que se encontra de momento a realizar estudos sobre este material. Esta amostra paralelepípedica encontra-se em bruto (sem ter sofrido qualquer operação de acabamento) e tem as dimensões aproximadas de 15 x 15 x 5 (mm).



Figura 10 – Amostra de espuma de Bonelike®

## 2.6 Produção de Espumas de Bonelike®

Segue-se agora a explicação sucinta da fabricação de espumas de bonelike®. Tal explicação é essencial para um melhor enquadramento da situação e de todo o processo realizado pela máquina a desenvolver, assim como a relevância desta no estudo e desenvolvimento das mesmas.

Inicialmente é preparada a pasta de Bonelike®, sendo depois recortados blocos de espumas de PU (poliuretano) com as dimensões pretendidas. As espumas são humidificadas (água deionizada) até ao seu interior para facilitar a impregnação posterior da mesma com a pasta preparada anteriormente. A impregnação das espumas é feita primeiro manualmente, mergulhando a espuma na solução e criando ciclos de compressão/expansão. Recorre-se depois a um excitador de vácuo para retirar o ar ainda contido nestas espumas substituindo o volume evacuado por pasta de Bonelike®. Tudo isto para garantir que a solução é absorvida até ao centro desta (pontos mais interiores da esponja). A esponja impregnada é agora sujeita a ciclos de compressão/expansão, com a finalidade, tal como foi já mencionada, de uniformizar a distribuição da pasta, assim como retirar da espuma o seu inconveniente excesso. A espuma impregnada segue depois para uma estufa para secar e posteriormente para o forno para endurecer e “queimar” a espuma de PU. A sequência é agora apresentada com maior detalhe:

### 1) Estufa:

Após impregnação segue-se a secagem na estufa com as seguintes etapas:

2 dias a 30°C → 2 dias a 60°C → 2 dias a 100°C

Estas etapas têm a finalidade de retirar toda a água existente na espuma de uma maneira bastante lenta. Tal procedimento é realizado com tal velocidade, tanto para garantir que não fica nenhuma água retida no seu interior, como para não criar fissuras na amostra provenientes de contracções violentas sofridas com a saída da mesma. Depois desta fase é obtido um bloco sólido de espuma PU impregnada com pasta de Bonelike® [5].

## 2) Forno:

Depois da estufa a amostra segue para o forno realizando aí as etapas apresentadas de seguida:

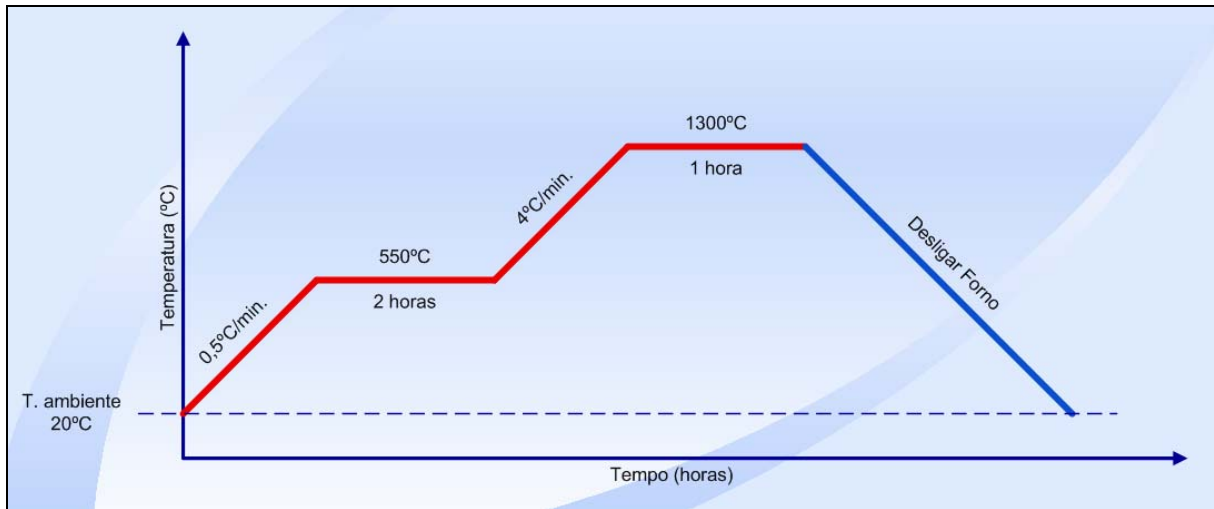


Figura 11 – Estágios realizados no forno

O primeiro estágio, aos 550°C, é realizado com o propósito de assegurar que toda a espuma de PU é completamente queimada (espuma de PU queima a partir dos 350°C). Após este primeiro estágio o aquecimento continua com o intuito de realizar a sinterização da espuma cerâmica. O objectivo da sinterização é a melhoria de propriedades mecânicas em relação a uma espuma sem sinterizar. Após tais etapas sobra apenas o negativo das espumas de PU em Bonelike®. É essencial respeitar os altos tempos de aquecimento e estágio para garantir que não se criam fissuras provenientes da contração sofrida com a “queima” da espuma de PU e da sinterização da espuma cerâmica. Após terminar o último estágio é realizado um arrefecimento natural no interior do forno até atingir-se a temperatura ambiente [5].

É de notar que as espumas de PU servem “apenas” como vigas de suporte da pasta enquanto esta não tem consistência estrutural. O completo desaparecimento do PU é essencial uma vez que após queima do PU ficam poros onde a espuma agora queimada estaria, dando origem ao produto pretendido.

Resumidamente, depois de acabar estas etapas a espuma de PU terá “desaparecido” na totalidade, obtendo assim como produto final espumas porosas de Bonelike® que depois poderão sofrer cortes, furos e outras operações de acabamento.

### 3 Apresentação do Problema

Como foi já referido o objectivo deste projecto foi o desenvolvimento de um laminador mecânico de rolos motrizes. Depois de um primeiro contacto com a empresa em causa e de um estudo introdutório de enquadramento seguiu-se a enumeração/delineação de diversos aspectos que seriam bem vistos aos olhos da empresa e dos seus utilizadores.

Lista de requisitos para a máquina a projectar:

- Possibilidade de variar as taxas de compressão exercidas sobre as espumas;
- Ajuste independente entre pares de rolos;
- Ajuste da distância entre rolos com precisão de 0.5mm;
- Accionamento eléctrico dos rolos;
- Variação da velocidade de deslocamento da esponja por comando eléctrico;
- Entrada e saída da esponja facilitada;
- Limpeza eficaz, prática e rápida;
- Utilização de materiais com características especiais para a área médica;
- Prática e segura na sua utilização para um qualquer utilizador mesmo que não sendo um utilizador habitual;
- Ambiente limpo;
- Possibilidade de reaproveitar a matéria expelida da espuma resultante da compressão da mesma;
- Reduzida exigência de manutenção;
- Funcionamento silencioso (baixo nível de ruído ambiente durante a sua utilização);
- Custos de produção reduzidos mas respeitando todos os pontos acima mencionados.

É de notar que o aspecto não é prioridade uma vez que não será para produção em série (produção única).

A listagem anterior não se encontra por ordem de prioridade. O objectivo é satisfazer todas os requisitos com o maior rigor possível.

Após a obtenção dos requisitos, procedeu-se a uma pequena pesquisa no intuito de encontrar soluções já existentes que poderiam contribuir, de alguma forma, na realização deste projecto e fornecer ideias ou soluções construtivas. Tais referências irão ser apresentadas em forma de imagem acompanhadas de um pequeno comentário.

#### Referências consultadas:

Primeiramente considerou-se importante abordar a indústria em que a máquina se irá inserir, sendo as imagens seguintes as que pareceram ser mais sugestivas.



Figura 12 – Indústria farmacêutica e sala de operações [7]

Como é possível verificar pelas imagens da indústria farmacêutica e da sala de operações estas remetem para uma ideia de limpeza (ambiente estéril) e sobriedade. Características que podem e devem ser transpostas para a máquina a projectar, uma vez que esta terá de se reger pelos mesmos princípios do meio a que estará associada.

Seguidamente pesquisou-se soluções já existentes de laminadores mecânicos.

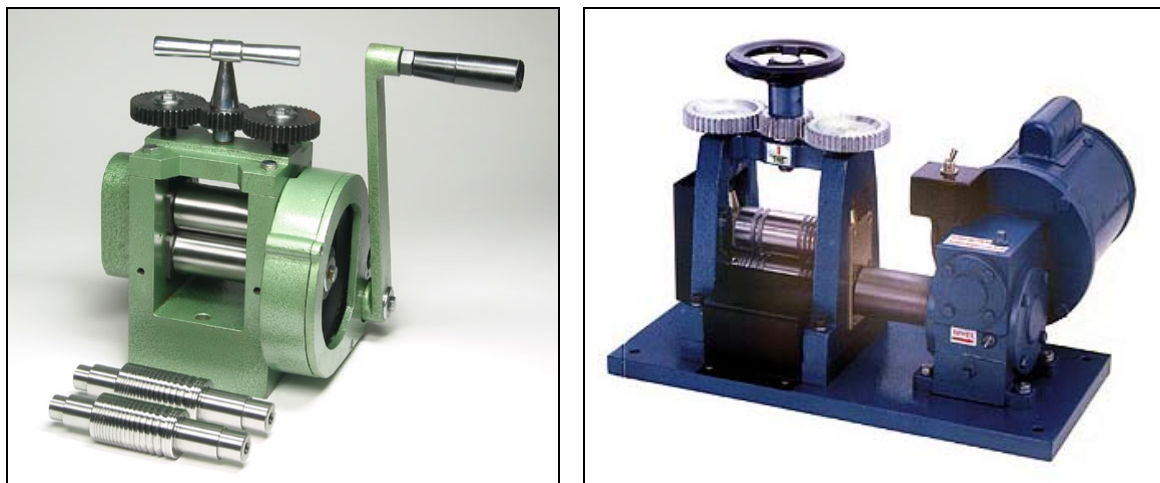


Figura 13 – Laminador manual (esquerda) e eléctrico (direita) [7]

Tal como é possível observar há no mercado diferentes tipos de laminadores embora na sua essência sejam em tudo semelhantes. Uns manuais, outros eléctricos e todos com características interessantes que poderiam ser absorvidas: ajuste da distância entre rolos através topo das laterais, rolos amovíveis, configuração simples, entre outras.

Na sequência da pesquisa anterior, consultou-se mais uma vez a colega Marta Laranjeira para se obter informações sobre como realizara os ciclos de compressão/expansão, nas amostras de espumas de Bonelike® mostradas anteriormente (Figura 10). Na consulta de artigos surgiu um que menciona um outro protótipo desenvolvido pelo INETI (Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação) para realização de função semelhante.

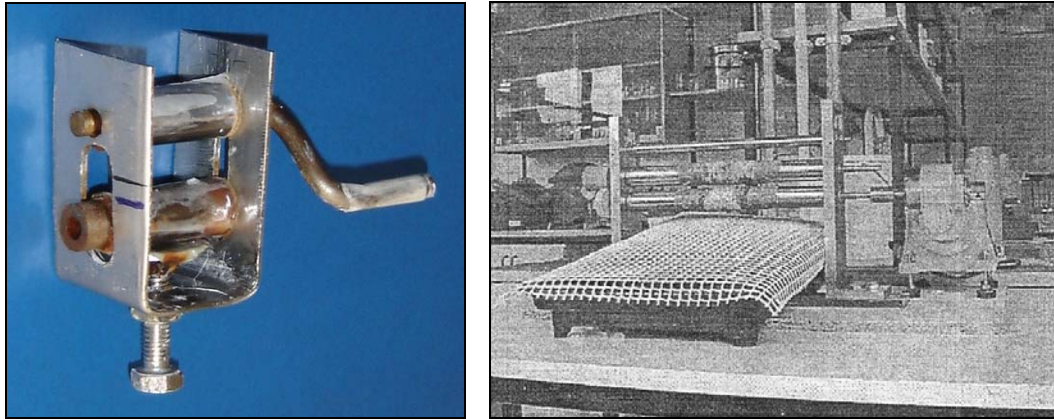


Figura 14 – Dispositivo usado pela Doutora Marta (esquerda) e protótipo do INETI (direita) [5]

Na fotografia da esquerda é possível verificar o quão rudimentar é o dispositivo usado pela colega Marta. É possível prever todas as dificuldades que existiram durante a fabricação das amostras de Bonelike® (Figura 10). Mesmo para obter amostras de Bonelike® de intuito experimental este dispositivo não será certamente o mais indicado no caminho do desenvolvimento destas espumas. Como pontos importantes a reter, tem-se a manivela que revela a existência de tracção manual em apenas um dos rolos, a capacidade de ajuste do rolo inferior por uso de um parafuso na base do aparelho e a marcação lateral da distância entre rolos. Estes pormenores construtivos, associados aos relatos da sua utilizadora poderão e deverão certamente ser levados em consideração neste projecto.

Quanto ao protótipo desenvolvido pelo INETI, embora ainda bastante simplista, este é consideravelmente mais complexo que o primeiro dispositivo apresentado na Figura 14 (esquerda). É possível verificar que este é já de accionamento eléctrico e de uma maior envergadura. É facilmente visível que não possui a capacidade de variação da distância entre rolos.

Da pesquisa anterior resultou ainda a dúvida de como poderia ser alimentada a máquina. Surgiu assim o interesse de saber como seriam alimentadas as chapas numa pequena linha de laminagem (Figura 15).



Figura 15 – Pequena linha de laminagem [7]

Esta imagem revela a utilização de simples roletes como mecanismo de alimentação para o laminador.

Seguiu-se um breve estudo sobre que outros tipos de alimentadores que poderiam ser usados, mesmo que em outro tipo de indústrias.



Figura 16 – Transportadores de rolos [7]



Figura 17 – Tapetes transportadores [7]

Tal como é visível os principais tipos de transportadores encontrados são os de rolos e os de tapete. Quanto à escolha final do tipo de alimentação que o projecto terá, esta irá ser feita numa fase mais avançada do trabalho.

Durante as pesquisas anteriores foram surgindo outros aspectos e informações que poderiam ter interesse por razões construtivas. Uma das interessantes informações encontradas foi a de diferentes configurações que um laminador poderia ter quanto á posição dos rolos.

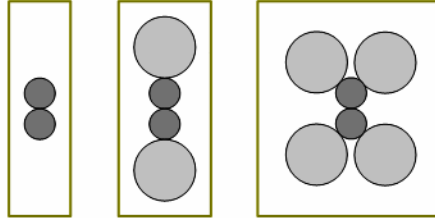


Figura 18 – Diferentes configurações de rolos em laminadores [6]

Tal como é possível observar-se na imagem, estão presentes três tipos de configuração: de dois, quatro e seis rolos. Os rolos a cinzento-claro são os chamados rolos de apoio enquanto que os a cinzento-escuro são os de trabalho (que estarão em contacto com o material a laminar). Os rolos de apoio são utilizados com ajuda aos de trabalho para não permitir que estes sofram deformações significativas e/ou desvios indesejados provenientes de cargas elevadas necessárias para laminar o material em causa, que apenas dois rolos não conseguiriam suportar devidamente. Para esta aplicação foi escolhido a primeira configuração uma vez que as cargas envolvidas para criar os desejados ciclos de compressão/expansão das espumas são consideravelmente baixas.

De seguida estão representados rolos com acoplamentos. É possível verificar que uma vez que o tubo central é oco e que é necessário variar a secção deste para uma de menor diâmetro recorre-se a acoplamentos nos topos dos tubos. Tais imagens podem fornecer informação útil, caso seja necessário recorrer a este tipo de solução, para a ligação do tubo central aos veios de transmissão de potência.

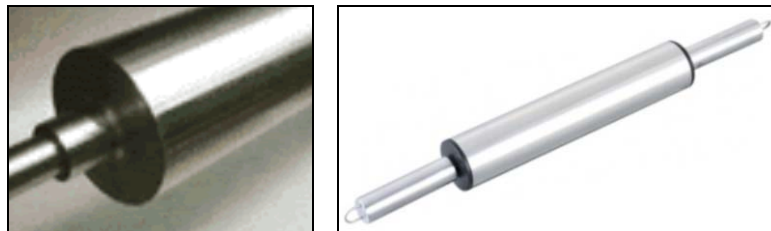


Figura 19 – Rolos com acoplamentos [7]



## 4 Trabalho Realizado

Neste ponto irá ser apresentada a sequência de abordagem seguida neste projecto ao longo de todo o semestre.

Faz-se agora a análise das pretensões do laminador com o intuito de encontrar soluções para cada uma delas. A informação encontra-se resumida no quadro seguinte sendo mais tarde tratada com maior relevo.

Tabela 1 – Requisitos do laminador e respectivas soluções encontradas

Objectivo Pretendido		Solução Adoptada	
Descrição	Justificação/Observação	Descrição	Justificação/Observação
Taxas de compressão variáveis	Máquinas de índole experimental Uso de espumas com diferentes espessuras	Rolos superiores móveis com ajuste por elemento “tipo parafuso”	Solução simples e funcional
1º e 2º par de rolos de ajuste independente	Máquina de índole experimental Uso de espumas com diferentes espessuras	Cada elemento “tipo parafuso” move-se independentemente	Solução simples e funcional
Leitura da posição dos rolos com precisão de 0,5mm	A posição dos rolos afecta taxa de compressão que por sua vez influencia estrutura da espuma final	Escala marcada no lado interior das laterais	Terá que ser no lado interior das laterais já que o exterior destas estão tapadas
Accionamento eléctrico	Velocidade da esponja constante (sistema manual é pouco rigoroso pois dependerá da cadência de cada pessoa)	Incorporação de um motor eléctrico acoplado a um redutor.	Motor tem à saída velocidade superior à pretendida usando-se, assim, um redutor acoplado para a reduzir
Velocidade de funcionamento variável	Máquina de índole experimental	Motor trifásico com variador de frequência	Variação de frequência altera velocidade de rotação do motor
Entrada da espuma facilitada	Entrada da esponja impregnada sem que seja necessário exercer grandes forças sobre esta (tal poderia alterar o produto final a obter)	Rolo inferior frontal desce aumentando a área de entrada	Solução simples e funcional que não aumenta em muito a complexidade da máquina

Limpeza eficaz, prática e rápida	Assegurar as melhores condições para uma limpeza adequada  Simplificar e acelerar o processo de limpeza já que será repetido várias vezes	Design de formas e traços simplista (mínimo de recantos)  Desaperto manual de apenas dois parafusos para deslocar uma das laterais estando assim pronta para limpeza  Rolos ocios e com acoplamentos de PETP	Não sendo o design uma prioridade a máquina fica mais simples e de menores custos de produção  Deslocar lateral inteira é mais simples do que desmontar elevado número de peças individuais  Peças amovíveis leves facilitam manuseamento
Utilização de materiais aconselhados para a área médica	Material isento de elementos indesejáveis que possam contaminar as espumas de Bonelike®  Limpeza não afecte o comportamento do material com a passagem do tempo  Aceitação pelo Infarmed	Utilização de Aço Inoxidável 316 e 304	De acordo com informação recolhida os materiais mencionados são uma boa aposta (ver anexos)  Uso típico na área médica  Quimicamente resistentes e outras características especiais
Prática e segura na sua utilização (mesmo não sendo um dos utilizadores habituais)	Máquina de funcionamento simples e intuitivo  Formação dos utilizadores praticamente desnecessária  Reduzir a possibilidade de acidentes de trabalho mesmo aquando de má utilização ou funcionamento	Vários aspectos mencionados posteriormente  Mecanismos móveis de transmissão de potência protegidos por tampas laterais	Posteriormente no relatório será fornecida mais informação sobre este ponto
Ambiente limpo	Evitar contaminação do ambiente e das espumas de Bonelike®	Não recorrer à utilização de lubrificantes, entre outras.	Posteriormente no relatório será fornecida mais informação sobre este ponto.
Reaproveitar material em excesso expelido pela esponja impregnada após ciclos de compressão/expansão	Diminuir desperdício de pasta de Bonelike®	Tabuleiro de recolha em Aço Inox 316 sob rolos, mesas de alimentação e extracção	Pasta em excesso expelida escorre para dentro do tabuleiro de recolha  O aço inox 316 não contamina a pasta e esta pode ser reaproveitada
Manutenção reduzida	Utilizadores usuais não vêm com bons olhos este tipo de trabalho, assim como a perda de tempo associado a este	Não usar materiais que sofram elevado desgaste ou que sejam de baixa qualidade  Não optar por soluções complexas	Materiais resistentes e fiáveis  Soluções complexas normalmente acarretam maior probabilidade de falha e avaria

Baixo nível de ruído	Poluição sonora prejudica ambiente de trabalho em laboratório	Utilização de sistemas de transmissão do tipo correia/polia Rodas dentadas de polímero	Elementos de transmissão de menor ruído em comparação com rodas dentadas de metal
Baixo custo total	Evitar gastos desnecessários	Evitar sobredimensionamento na quantidade e qualidade de materiais Design simples	Estudo de variadas opções construtivas possíveis e consulta de diversos fornecedores de material Aspecto não é prioritário Traços simples diminuem custos nos processos de fabrico da máquina

Este quadro permite uma compreensão geral de todas as escolhas realizadas ao longo do trabalho.

## 4.1 Dimensões Máximas da Esponja

Antes de mais seria crucial definir as dimensões da esponja a ser utilizada. Como foi já referido, a esponja tem como objectivo assegurar a estrutura física do material macroporoso obtido no final, após passagem pelo forno (espuma de Bonelike®). Começou-se assim por consultar diversas fontes, seguindo-se a análise das medidas obtidas com a intenção de averiguar o quanto estas se enquadram neste novo produto.

### 4.1.1 Comprimento e Largura

Estas dimensões foram essencialmente obtidas atendendo às necessidades da Medmat Innovation. As dimensões máximas foram obtidas tendo em conta, tanto as dimensões máximas da área de trabalho da máquina que irá posteriormente efectuar a maquinação das peças na espuma de Bonelike® (Figura 10), como as pretensões futuras da empresa interessada neste projecto. A máquina que realizará as operações de corte nas espumas de Bonelike® encontra-se na Figura 20.



Figura 20 – Roland Modela MDX-20 [8]

Área máxima de trabalho: 200 x 150 x 60 (mm) [8].

Depois de obtida a informação anterior e desta ser discutida em reunião com os orientadores chegou-se às dimensões finais para as esponjas a utilizar. Tal facto deve-se à empresa ter em vista um possível interesse em maquinação esponjas com dimensões finais superiores à área máxima de trabalho que de momento é possível trabalhar na Modela MDX-20. A empresa não coloca de parte a possibilidade de no futuro adquirir uma outra máquina com área de trabalho superior.

Apontou-se assim para que o laminador pudesse trabalhar esponjas com as seguintes dimensões: 300 x 300 mm (comprimento x largura).

### 4.1.2 Espessura

Consultaram-se fabricantes e fornecedores para investigar quais as dimensões das peças que normalmente comercializam. Embora as peças que estão disponíveis, actualmente, no mercado sejam de diferentes características e propriedades daquelas que é pretendido colocar agora no mercado, quanto a geometrias e dimensões parecem ter semelhanças uma vez que as aplicações previstas não irão variar muito.



Figura 21 – Produtos existentes no mercado [9]

Tal como é possível verificar existem no mercado produtos concorrentes ao que se pretende introduzir no mercado. Embora com características e propriedades diferentes as peças paralelepípedicas, cilíndricas e em cunha assemelham-se na forma e dimensões às peças que se pretende obter a partir das espumas de Bonelike®. Estas peças são obtidas de um bloco sólido de biomaterial (diferente do Bonelike®) sofrendo depois operações de corte, furação e acabamento. Nestas peças é necessário recorrer à furação para criar canais de auxílio para a regeneração óssea enquanto que as peças que se pretende obter são “naturalmente” porosas. Sendo assim estas últimas não necessitam de operações de furação e têm, desde logo, supremacia nas taxas de regeneração óssea.

Após tal consulta chegou-se à conclusão que a dimensão mínima das peças que se pretende obter no final seria de 32 mm, contudo, é sabido que a esponja obtida no final, sofre uma redução em todas as suas dimensões em relação ao tamanho inicial da esponja devido à contracção resultante de todo o processo (estufa, forno, etc.). Os valores da contracção serão estudados de seguida.

Valores de contracção:

Para determinação dos valores de contracção aqui presentes recorreu-se a amostras obtidas anteriormente pela Medmat Innovation. Segue-se o quadro com as medições efectuadas e respectivas contracções calculadas:

Tabela 2 – Taxas de contracção

Amostra nº.	Espessura inicial da espuma usada (mm)	Espessura final da amostra (mm)	Contracção (%)
1	10	7,5	25
2	10	7,4	26
3	10	7,5	25
4	10	7,4	26
5	10	7,4	26
6	10	7,3	27
7	10	7,4	26
8	10	7,1	<b>29</b>
9	10	7,5	25
10	10	7,2	28
<b>Média</b>	<b>10</b>	<b>7,4</b>	<b>26</b>

Após análise dos resultados pode concluir-se que poderá esperar-se contracções não superiores a 30%. Irá usar-se então este valor como contracção máxima possível.

Resultam assim os seguintes cálculos:

$$X - X \times 0,3 = 35 \Leftrightarrow X = 50 \text{ mm} \quad (\text{contrapondo assim a contracção})$$

Foi ainda necessário assegurar que fosse possível efectuar operações de corte e/ou acabamento nas extremidades sem afectar a dimensão mínima de peça final pretendida:

$$35 - 3 = 32 \text{ mm} \quad (3 \text{ mm de possível acabamento: } 1,5 \text{ mm em cada uma das extremidades})$$

Verifica-se assim que uma esponja de 50 mm de espessura é suficiente para satisfazer as dimensões mínimas pretendidas para as peças em causa.

Não foi esquecido que a Modela MDX-20 (Figura 20) teria de conseguir trabalhar esponjas desta espessura. Tal dimensão verifica-se aceitável após consulta dos dados técnicos desta máquina já apresentada.

## 4.2 Taxas de Compressão

Inicialmente estabeleceu-se que a máquina não seria concebida para realizar compressões de 0 a 100 %. Tal facto não teria uma utilidade justificada face à complexidade exigida para realizar tal tarefa. Optou-se, por isso por, reduzir o intervalo de valores de compressão para valores legítimos. Portanto, foi necessário de definir as taxas de compressão máximas e mínimas pretendidas para o projecto. Para tal efectuou-se experiências com blocos de espuma de 50mm impregnados com pasta de Bonelike®. Na compressão recorreu-se a uma prensa uniaxial para um controlo adequado da compressão efectuada (Figura 22).



Figura 22 – Prensa uniaxial

A prensa não tem escala para medir a distância entre o prato superior e o inferior, logo foi necessário improvisar e realizar tal medição recorrendo a uma régua auxiliar. Este método não garante resultados de elevada precisão mas neste caso tal não é imperativo.

A Tabela 3 demonstra as observações registadas após diversos ensaios.

Tabela 3 - Comportamento das esponjas durante a compressão

Compressão (%)	Observações
10	Nada relevante a mencionar
20	Nada relevante a mencionar
30	Nada relevante a mencionar
40	Início de expulsão da pasta
50	Expulsão aumenta de intensidade
60	Comportamento de saída de material aproximadamente linear com a compressão desde 50 a 90%
70	
80	
90	Amostra fica com pouca pasta de Bonelike®
>90	Não realizado

Tal como é visível pelo quadro anterior, nos ensaios, as amostras sofreram até uma compressão máxima de 90%. Para valores de compressão superiores quase não restaria pasta no interior das amostras, sendo assim, estes valores de compressão foram abandonados.

Algumas das amostras seguiram o procedimento normal de fabricação de espumas de Bonelike®. As amostras escolhidas para seguirem esse caminho foram as de 40, 80 e 90% de compressão. Estas foram as escolhidas por estarem no que se julgavam ser os limites mínimos (40%) e máximos (80/90%) de compressão. Tais amostras são apresentadas de seguida.



Figura 23 – Amostras 40, 80 e 90% de compressão respectivamente

Todas as amostras foram partidas para que fosse possível uma correcta avaliação das mesmas, principalmente da estrutura no seu interior.

É possível verificar que em todas as amostras, a pasta de Bonelike® atingiu o seu interior. Tal facto é confirmado pela presença de estrutura em todo o espaço interior das mesmas.

A amostra de 40% foi sem dúvida a mais bem sucedida. Apresentou uma integridade física uniforme ao longo de toda a sua estrutura, assim como uma consistência estrutural do seu interior.

A amostra de 80% apresenta-se consistente embora menos que a de 40% de compressão. Apresenta um menor peso, consequência de menor quantidade de pasta.

Finalmente a amostra de 90% foi definitivamente a que apresentou piores resultados. Ao contrário das suas faces, o seu interior encontrava-se com uma resistência extremamente baixa, ficando esta reduzida a pó após leve toque. Tal comportamento indica uma possível falta de pasta proveniente, não de uma deficiente absorção da pasta, mas de uma compressão excessiva. É possível observar pela sua imagem (Figura 23, imagem direita) que o “interior” encontra-se com falta de material uma vez que ao partir-se a amostra a sua estrutura interna desfez-se em pequenas partículas. Tal facto comprova a difícil criação de ligações entre as partículas cerâmicas de Bonelike®.

Pode assim resumidamente concluir-se:

- Aparentemente parece haver apenas interesse em compressões mínimas de 40%;
- A compressão máxima que parece apresentar resultados ainda viáveis é de aproximadamente 80%.



Não pode ser esquecido que a dimensão da amostragem em estudo foi reduzida e por isso pode apresentar resultados algo imprecisos mas, para uma abordagem inicial é suficiente.

Embora os resultados obtidos apontem para compressões máximas cerca dos 80% o facto de posteriormente, e por alguma razão extraordinária, ser necessário o uso de esponjas de menor espessura, o mecanismo de aproximação vertical dos rolos deverá permitir que os rolos se aproximem ainda mais, deixando apenas 5 mm para passagem da esponja. Estes 5 mm provêm da consideração de espumas de 30 mm com taxas de compressão de 80% (aproximadamente).

### 4.3 Sistema de Accionamento

O sistema de accionamento é composto pelo variador de frequência, motor e redutor .

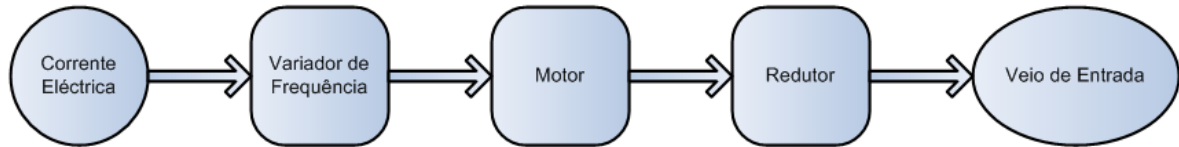


Figura 24 – Esquema das ligações do sistema de accionamento

Tais componentes irão ser apresentados individualmente de seguida.

#### 4.3.1 Motor

O motor seleccionado para este projecto foi um motor trifásico da Siemens® de 0,12 kW e com 1350 r.p.m. à saída. Tal escolha deve-se ao facto de ser um motor de baixa potência de uso corrente. É facilmente visível que esta aplicação não necessita uma potência elevada. O número de rotações típicas nesta gama de potências é cerca de 1500 r.p.m.. Uma vez que seria pretendido que a velocidade fosse variável sensivelmente entre metade e o dobro da velocidade típica, é aconselhável um motor trifásico com um variador de frequência compatível, apresentado mais a frente neste relatório. Os motores trifásicos gozam a singularidade da sua velocidade de saída ser facilmente alterada com a aplicação de um variador de frequência acoplado. Esta é a solução que se apresenta mais prática e económica em comparação com outros sistemas presentes no mercado.



Figura 25 – Motor eléctrico seleccionado

É possível verificar pelas imagens seguintes algumas das características do motor adquirido. A primeira imagem é relativa à informação presente no exterior da caixa, sendo a segunda imagem a da placa aparafusada no corpo do motor.

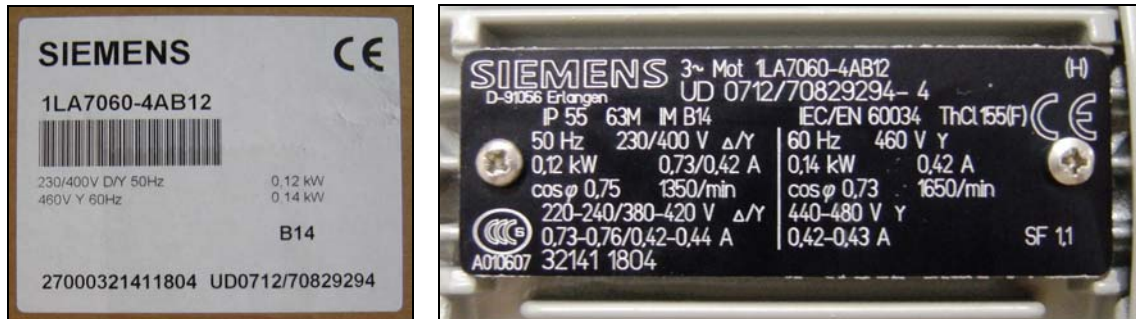


Figura 26 – Etiquetas informativas

### 4.3.2 Redutor

O redutor terá de ser seleccionado de acordo com o diâmetro de rolos escolhido. Tal facto implica o estudo apresentado seguidamente.

Era pretendido que a velocidade linear da esponja fosse cerca de 3000 mm/min., ou seja 3 m/min. Para que tal fosse possível recorreu-se ao estudo apresentado de seguida em forma de quadro. Para tal analisaram-se diferentes conjugações de soluções que parecem viáveis, assim como o erro associado a cada uma delas.

Tabela 4 – Conjugações possíveis de motor/redutor/diâmetro de rolos/velocidade linear

Motor (r.p.m.)	Tipo de Redutor	Saída do Redutor (r.p.m.)	Ø rolos (mm)	Velocidade Linear (mm/min.)	Erro (%)
1350	50:1	27,00	30	2544,69	15,18
<b>1350</b>	<b>60:1</b>	<b>22,50</b>	<b>40</b>	<b>2827,43</b>	<b>5,75</b>
1350	80:1	16,88	50	2650,72	11,64
1350	90:1	15,00	60	2827,43	5,75
1350	110:1	12,27	70	2698,91	10,04

O erro apresentado na tabela é calculado com base na diferença da velocidade linear obtida e a velocidade linear pretendida (3000 mm/min.).

Aquando desta análise já era sabido que o material escolhido para os rolos seria Aço Inoxidável 316L preferencialmente extrudido (sem costura). Este material apresenta características essenciais nesta aplicação e por isso não poderá ser alterado. Tal material não é vulgar nem usual e por isso apresenta geometrias/tamanhos/dimensões limitadas, disponibilidade reduzida e preços elevados. Também o preço dos redutores aumenta com a razão de redução. Por tais razões seria preferível a escolha do menor diâmetro funcional. A utilização de rolos de 40 mm proporciona um erro reduzido e aceitável. Tais razões levaram á escolha do diâmetro de 40 mm. O redutor, tal como foi já mencionado, foi seleccionado de acordo com o diâmetro de rolos escolhido. Tal como é possível verificar pela Tabela 4 o tipo de redutor que corresponde ao diâmetro de rolos seleccionado é o de 60:1.

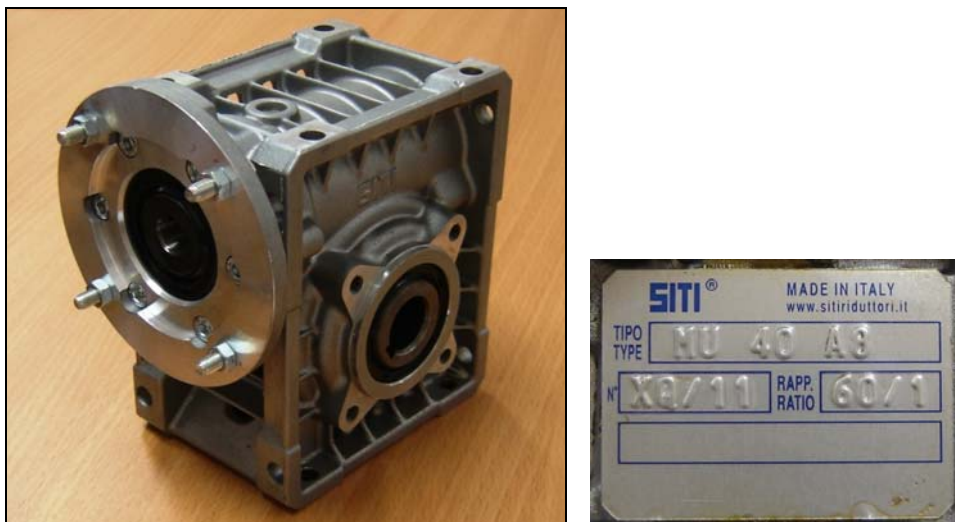


Figura 27 – Redutor e respectiva etiqueta informativa

### 4.3.3 Variador de Frequência

Quanto ao variador de frequência optou-se pelo modelo Sinamic G110 da Siemens. É um modelo simples que proporciona compatibilidade total com o motor escolhido. Executa os requisitos pretendidos já mencionados ao fazer variar a frequência da corrente eléctrica de alimentação ao motor: diminui a velocidade do motor para metade e aumenta-a até ao dobro (aproximadamente).

No “*display*” frontal é possível efectuar e visualizar alterações ao estado do motor eléctrico. É possível realizar operações tais como a de ligar e desligar o motor, assim como regular a sua velocidade de rotação, entre outras.



Figura 28 – Sinamic G110 e respectiva etiqueta informativa

### 4.3.4 Fornecedores Consultados

Para o conjunto de Motor, redutor (ou motoredutor) e variador de frequência foram consultados para soluções construtivas, preços e prazos de entrega os seguintes fornecedores:

- Teclena (Matosinhos) – [www.teclena.pt](http://www.teclena.pt)
- Bonfitec (Ermesinde) – [www.bonfitec.pt](http://www.bonfitec.pt)
- Pinhol (Porto) – [www.directorio.iol.pt/pinhol-equipamentos-industriais-lda--328458.htm](http://www.directorio.iol.pt/pinhol-equipamentos-industriais-lda--328458.htm)

Nota: É possível encontrar informação adicional sobre os fornecedores nos sites mencionados.

#### 4.4 Distância Horizontal entre Pares de Rolos

Esta distância poderá parecer pouco relevante mas é certamente crucial para a construção deste projecto. Não deverá ser muito curta uma vez que a recuperação da esponja impregnada não é instantânea, quando sai do primeiro par de rolos e esta expansão até á espessura inicial, é essencial para que se possa considerar um ciclo de compressão/expansão. Sendo assim foi decidido que esta distância seria o maior possível respeitando simultaneamente todos os outro requisitos. A distância entre rolos foi então definida considerando qual o comprimento mínimo de esponjas que a empresa estaria interessada em produzir. Esta consideração deve-se ao facto de que a esponja se movimenta resultando do movimento dos rolos. É imperativo que quando a esponja deixar de estar a ser “empurrada” pelo primeiro par de rolos, o segundo par de rolos deverá estar já a “puxá-la”. Caso tal não aconteça a esponja ficará estagnada a meio do processo.

Após reuniões com os respectivos orientadores foi considerado que o comprimento mínimo de esponja a utilizar seria cerca de 120 mm. Tendo em conta que cada rolo tem 40 mm de diâmetro obtemos assim os seguintes cálculos:

$$120 - 20 - 20 = 80 \text{ mm} \quad (20 \text{ mm é o raio de cada rolo})$$

Segue-se o esquema para melhor entendimento:

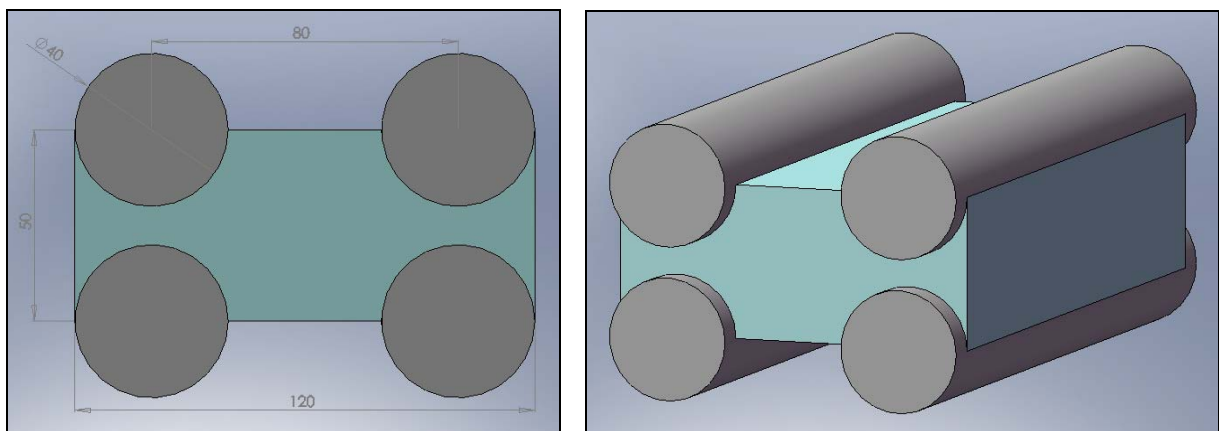


Figura 29 – Distância horizontal mínima entre pares de rolos

Esta distância agora alcançada (80 mm) pode sofrer milimétricas alterações com o intuito de servir simultaneamente a distância que melhor satisfaz o esticamento das correias horizontais que transmitem o movimento do motor para os rolos.

## 4.5 Transmissão

Nas imagens seguintes são apresentados, em diferentes perspectivas, alguns dos elementos do sistema de transmissão para melhor entendimento do funcionamento destes. É possível visualizar o sentido do movimento dos rolos, zonas de entrada e saída da esponja e veios intervenientes neste sistema.

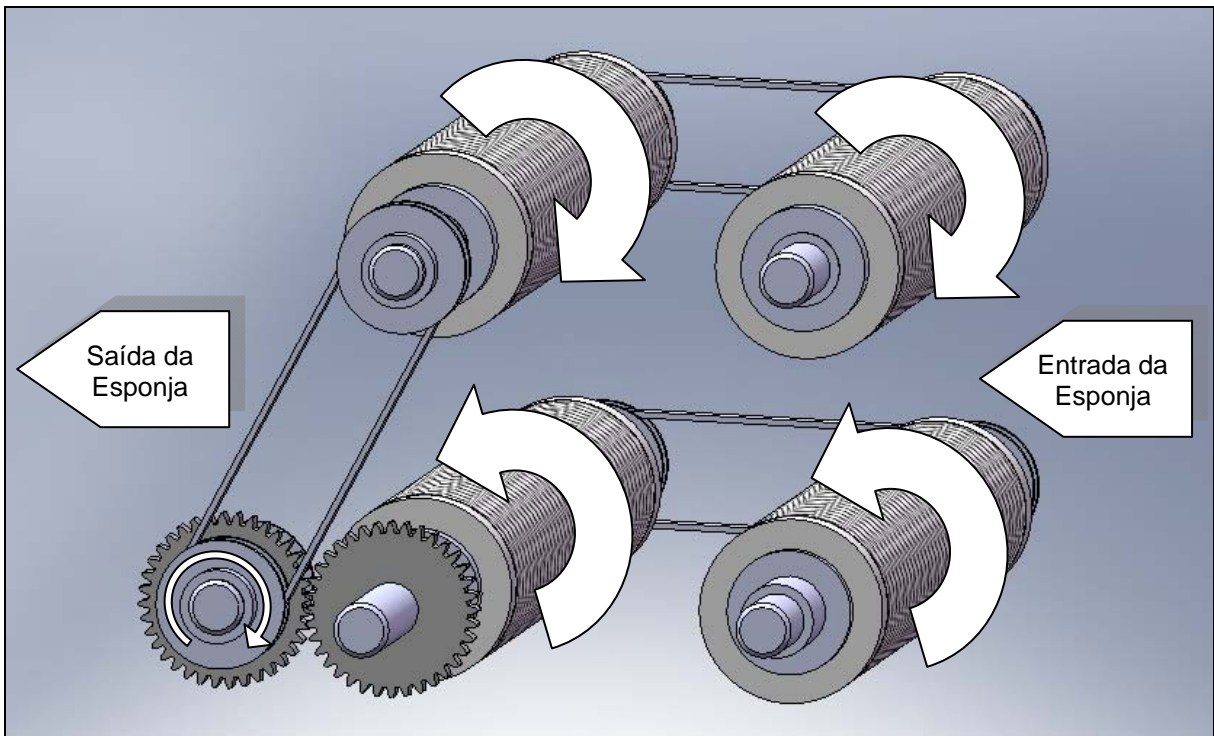


Figura 30 – Sistema de transmissão

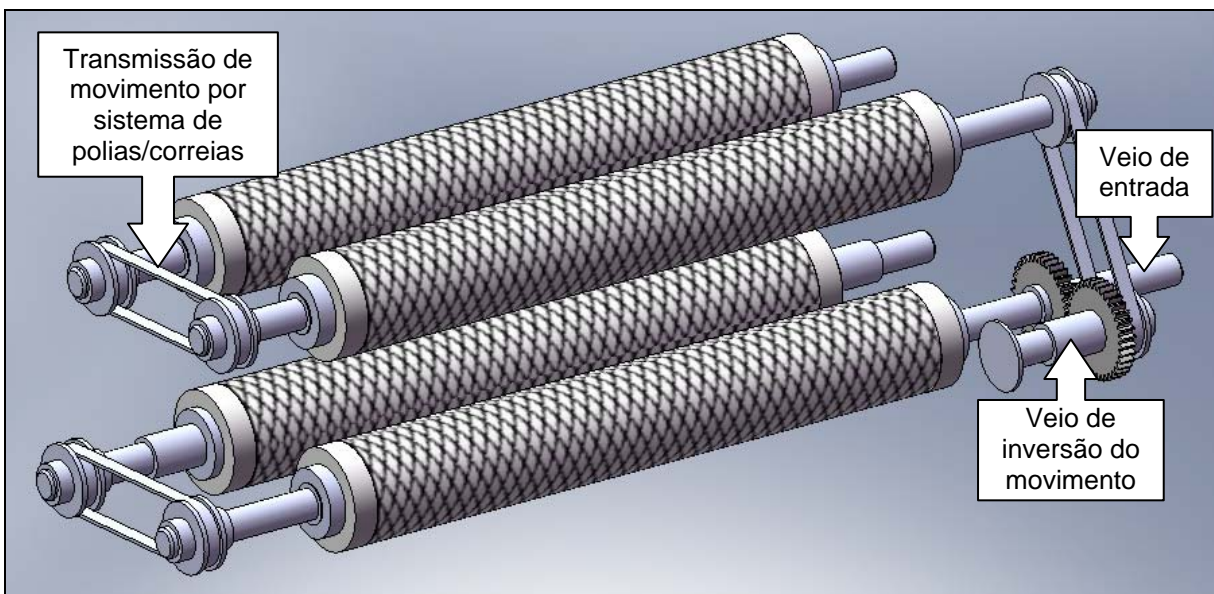


Figura 31 – Sistema de transmissão

O sistema de transmissão é composto por rolamentos, polias, correias e respectivos esticadores e rodas dentadas (engrenagem inversora). Tais componentes irão ser apresentados individualmente de seguida.

### 4.5.1 Rolamentos

A escolha destes elementos construtivos foi cuidadosa uma vez que uma das imposições era a não utilização de lubrificantes para que não houvesse perigo de contaminação das espumas por parte deste. Inicialmente foi pensado a utilização de rolamentos de esferas de polímero uma vez que são autolubrificantes (não necessitam de lubrificante) e silenciosos tal como pretendido, mas foram abandonados em detrimento de rolamentos de esferas de metal selados da SKF® (Figura 32, direita) uma vez que apresentam características técnicas superiores, apresentam preços mais interessantes e uma vez que são selados o lubrificante fica enclausurado no interior do rolamento não havendo a possibilidade da sua saída para o exterior e contaminação das espumas. Não esquecendo que mesmo que ocorra uma fuga no rolamento o lubrificante teria ainda que percorrer um caminho considerável até poder realizar uma contaminação da espuma em causa o que torna este acontecimento altamente improvável.

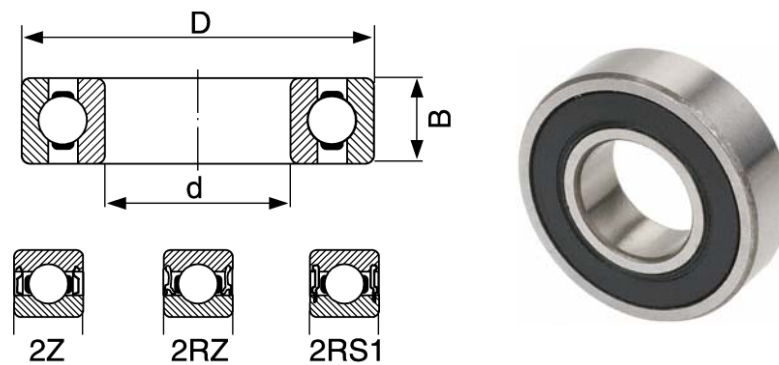


Figura 32 – Diferentes configurações de rolamentos da SKF® (esquerda) e fotografia dos rolamentos selados escolhidos – referência 2RS1 da SKF® (direita)

Tabela 5 – Características técnicas dos rolamentos seleccionados (referência 2RS1 da SKF®) [10]

Característica	Valor
Diâmetro interior d	12 mm
Diâmetro exterior D	28 mm
Largura B	8 mm
Capacidade de carga estática	2,36 kN
Capacidade de carga dinâmica	5,40 kN
Velocidade máxima admissível	17.000 r.p.m.
Massa	0,022 kg

Irão ser necessários dezanove rolamentos semelhantes aos apresentados na Tabela 5.



#### 4.5.2 Polias e Correias

Para mecanismos de transmissão de potência optou-se pela utilização de sistemas de polias e correias dentadas (sincronizadas) da ContiTech®. Tal escolha é justificada pelo facto de alguns elementos a transmitir potência serem móveis e a distância entre eixos ser variável, o que exclui, quase por completo, sistemas de engrenagens. A existência de dentes nas polias e correias previne escorregamento entre estes aquando de uma reduzida força de contacto (proveniente de uma reduzida força de esticamento da correia). Era também pretensão: reduzida manutenção, não utilização de lubrificantes e baixo nível de ruído, excluindo assim sistemas de carreto e corrente. De maneira a respeitar as pretensões já apresentadas este sistema é o que se apresenta como melhor solução.

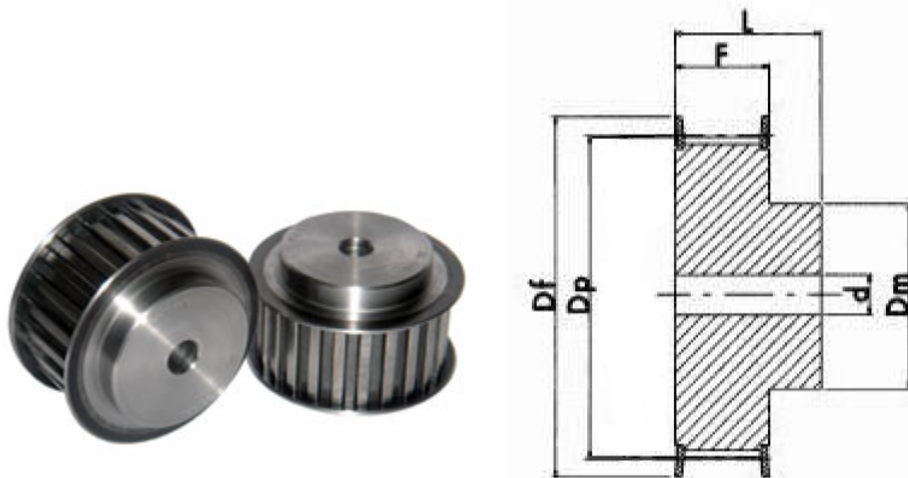


Figura 33 – Polias

Tabela 6 – Características e dimensões das polias seleccionadas [10]

Característica	Valor
Diâmetro Df	28 mm
Diâmetro Dp	23,35 mm
Diâmetro Dm	16 mm
Diâmetro d	6 mm
Comprimento L	16 mm
Comprimento F	10 mm
Passo	2,5 mm
Número de dentes	30

Irão ser necessárias sete polias semelhantes às apresentados na Tabela 6. Seis delas para acoplar em veios distintos e uma para montar no corpo do esticador. Esta polia irá substituir o rolo do esticador, tal como se irá verificar mais à frente no relatório.

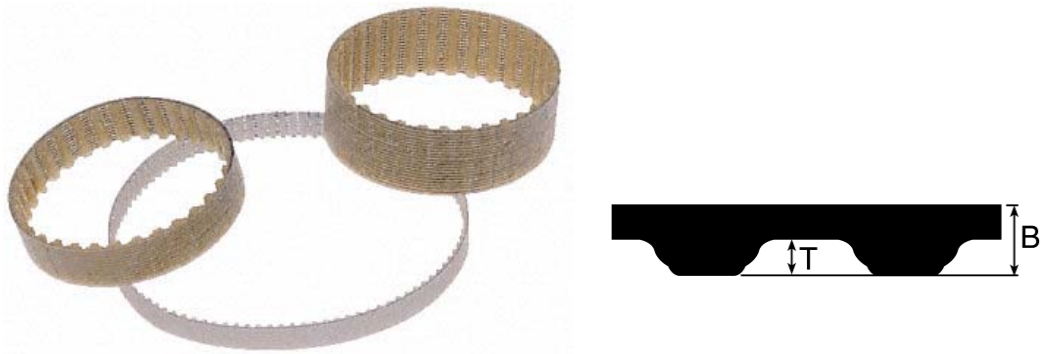


Figura 34 – Correias síncronas (esquerda) e representação esquemática do seu dentado (direita)

Tabela 7 – Características e dimensões das correias seleccionadas [10]

Característica	Valor
Comprimento	245 mm
Largura	6 mm
Passo	2,5 mm
Espessura B	1,3 mm
Altura do dente T	0,7 mm
Velocidade máxima admissível	80 m/s
Temperatura de funcionamento	-30 °C a +80°C
Potência nominal	0,5 kW
R.P.M. máximas	40.000 r.p.m.

O motoredutor irá estar ligado a um dos veios inferiores. Irão ser necessárias três correias semelhantes às apresentados na Tabela 7. Duas para transmissão entre pares de rolos horizontais e uma para transmissão vertical, dos rolos inferiores para os superiores. Aquando da apresentação dos esticadores irá ser mais claro a percepção da localização das correias de transmissão.

#### 4.5.2 Esticadores de Correia

Para este tipo de sistemas é crucial a utilização de esticadores de correia que, tal como o nome indica, esticam a correia promovendo assim um contacto desta com as polias o mais adequado possível. É possível verificar na Figura 35 o seu princípio de funcionamento. É de notar que o esticador apresentado de seguida é de contrapeso. Neste tipo de esticadores a força exercida sobre a correia é proveniente da força gravítica exercida sobre o contrapeso.

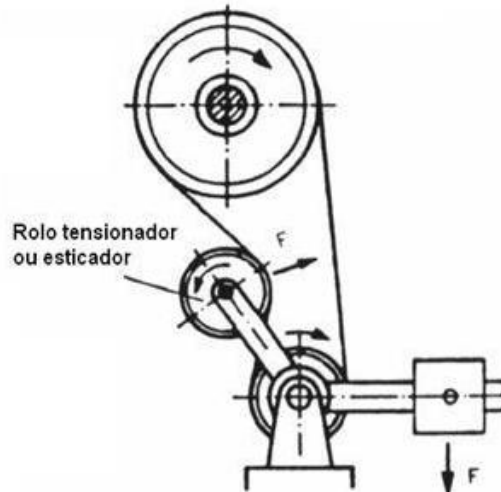


Figura 35 – Exemplo de um esticador por contrapeso [7]

Os esticadores seleccionados não são de contrapeso, tal como os apresentados anteriormente. Os tensionadores escolhidos para o projecto são o modelo mais pequeno da Resatec® (Figura 36). Estes recorrem a uma mola de torção, presente no corpo do tensionador, para exercer força sobre a correia.

Existem três correias, logo existem três esticadores. Dois deles são móveis (Figura 36) e o outro é fixo (Figura 38). O esticador fixo é composto apenas pelo rolo do esticador (Figura 38). É utilizado o esticador fixo no sistema de polias/correia em que não há variação do entre eixo (o que não acontece nas outras duas situações). Tal situação é explicada com maior pormenor posteriormente neste relatório.



Figura 36 – Esticador da Resatec® [11]

O esticador seleccionado é composto por duas partes distintas: o corpo (Figura 37) e o rolo do esticador (Figura 38). Ambas apresentadas de seguida.

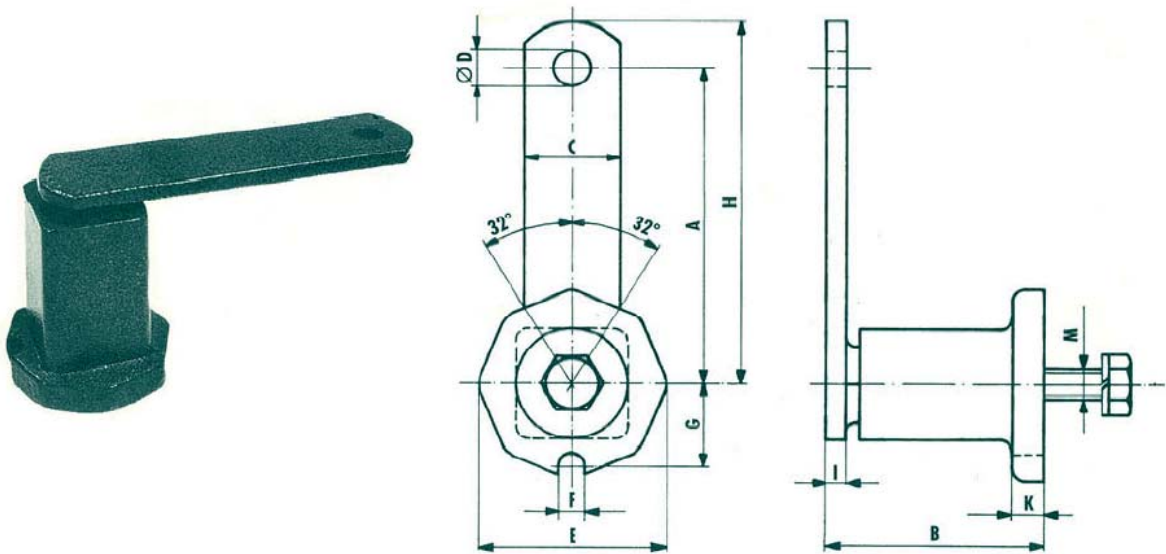


Figura 37 – Corpo do esticador [11]

Tabela 8 – Características e dimensões do corpo do esticador seleccionado [11]

Dimensões (mm)											F de 0° – 32° (N)	Massa (kg)
A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	M		
80	52	20	8,5	38	7	17	90	5	7	M6	0 – 90	0,250

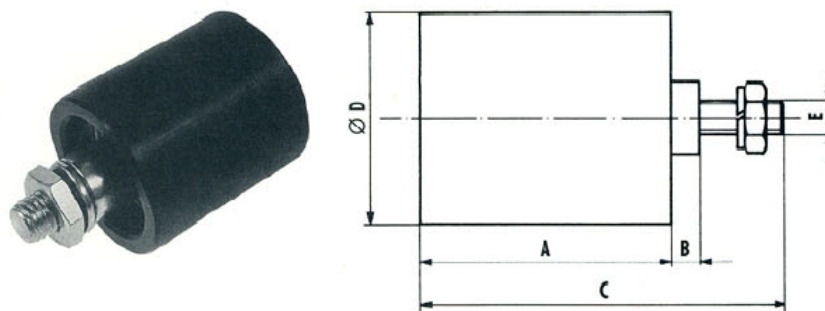


Figura 38 – Rolo do esticador [11]

Tabela 9 – Características e dimensões do rolo do esticador seleccionado [11]

Dimensões (mm)					Massa (kg)
A	B	C	D	E	
35	3	51	30	M8	0,075

É importante salientar que embora o braço do esticador tenha 80 mm esta é uma característica que poderá facilmente ser alterada recorrendo ao corte e/ou soldadura do braço.

São apresentadas de seguida as diferentes correias e respectivos esticadores já devidamente posicionados nas posições limite.

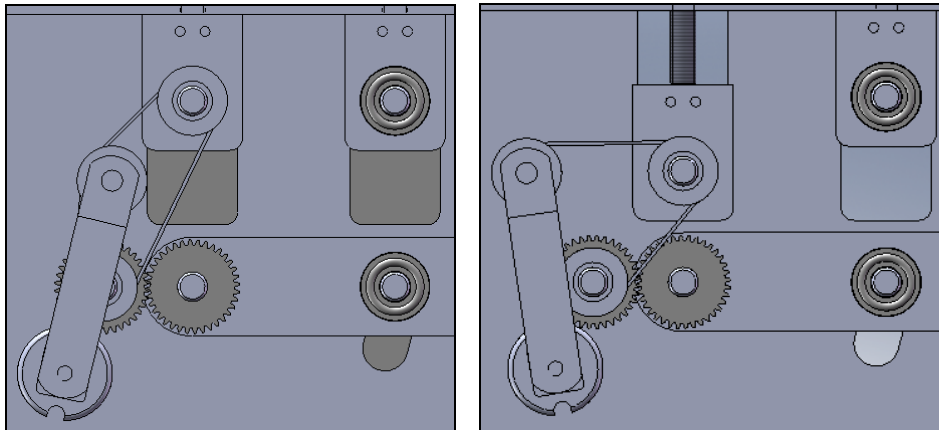


Figura 39 – Esticador vertical

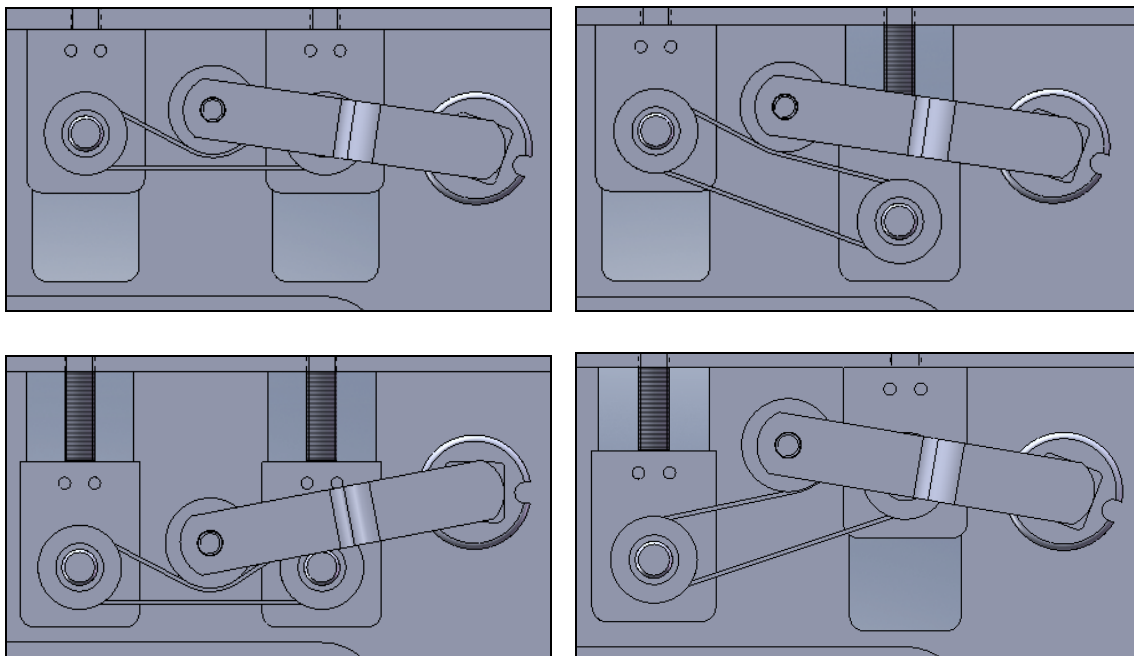


Figura 40 – Esticador horizontal superior

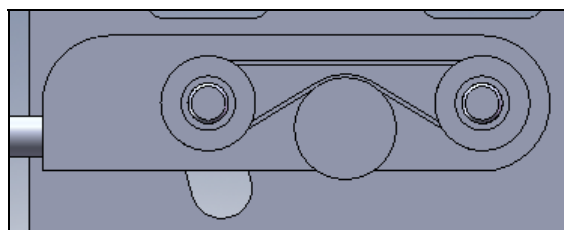


Figura 41 – Esticador horizontal inferior (entre eixo fixo)

É possível verificar os diferentes “esticamentos” realizados pelos esticadores nas diferentes posições limite das correias.

De assinalar que o entre eixo foi alterado de 80 para 81 mm para proporcionar um ajuste mais adequado.

### 4.5.3 Engrenagem Inversora

É necessário ter nos rolos superiores rotação no sentido contrário ao dos rolos inferiores para que a esponja seja puxada para o interior da máquina (tal como mostra o esquema da Figura 1). Optou-se para a realização da inversão do sentido dos rolos superiores o uso de um par de rodas dentadas de 36 dentes em polímero obtidas por injeção. A escolha do polímero em detrimento do metal é justificado pelo baixo binário transmitido e também pela reduzida manutenção requerida, não utilização de lubrificantes e baixo nível de ruído (conforme os requisitos) em comparação com um par de rodas de metal.

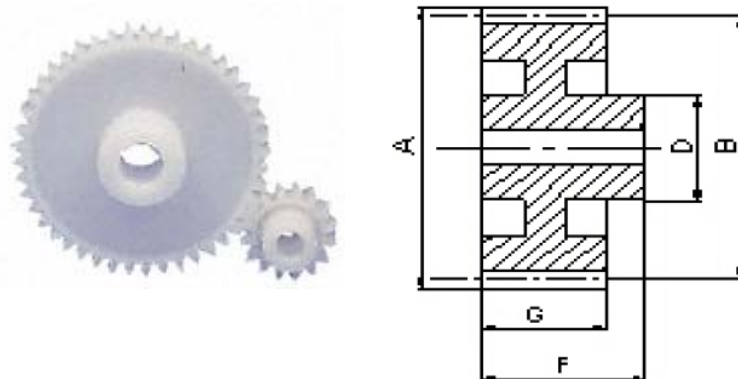


Figura 42 – Rodas dentadas em polímero obtidas por injeção [10]

Tabela 10 – Características e dimensões das rodas dentadas seleccionadas [10]

Dimensões (mm)						Número de dentes	Módulo (mm)
A	B	D	F	G	Furo central		
38	36	14	12	6	6	36	1

### 4.5.4 Fornecedores Consultados

Para o sistema de transmissão foram consultados para soluções construtivas, preços e prazos de entrega os seguintes fornecedores:

- RS (On-line) – [www.rs-portugal.com](http://www.rs-portugal.com)
- Rolisa (Maia) – [www.rolisa.pt](http://www.rolisa.pt)
- Rolespinho (Espinho) – [www.rolespinho.pt](http://www.rolespinho.pt)
- Romafe (Porto) – [www.romafe.pt](http://www.romafe.pt)
- Juncor (Porto) – [www.juncor.com](http://www.juncor.com)
- Supra Portugal (Maia) – [www.supraportugal.com](http://www.supraportugal.com)

Nota: É possível encontrar informação adicional sobre os fornecedores nos sites mencionados.

## 4.6 Materiais Escolhidos

Na realização deste projecto foram usados dois tipos de material: aço inoxidável e polímero termoplástico. Tais materiais irão ser justificados e apresentados com maior pormenor de seguida.

### 4.6.1 Aço Inoxidável

Após uma pesquisa verificou-se que na área médica é frequentemente usado o aço inoxidável 316S, 316L, 316, 304L e 304, por ordem de preferência. São também, por razões de legislação, usados aquando da construção de máquinas similares [5, 12, 13].

Depois de uma consulta de diversos fornecedores verificou-se que o 316S para além de ser de um custo bastante elevado é de difícil obtenção, sendo os seus prazos de entrega muito prolongados e incertos. Optou-se assim pela não utilização deste material. Recorreu-se ao 316L e 304L. Mais especificamente decidiu-se utilizar o 316L em todos os elementos que estariam em contacto directo com as espumas ou com o a pasta de Bonelike® e utilizar o 304L para todas os outros elementos restantes já que se apresentava economicamente mais atractivo que o 316 e cumpre todos os requisitos pretendidos. Seguidamente apresentam-se as peças feitas nos diferentes tipos de aço inoxidável [5, 12, 13].

#### 4.6.1.1 Aço Inoxidável 316L

- Tubos para Rolos de Compressão

Os rolos de compressão são constituídos por um tubo de aço inoxidável (Figura 43) e dois acoplamentos em polímero termoplástico (apresentadas posteriormente com maior pormenor). Estes elementos irão ser os que entram em contacto com a esponja impregnada provocando as compressões desejadas. Estes são de construção bastante simples.

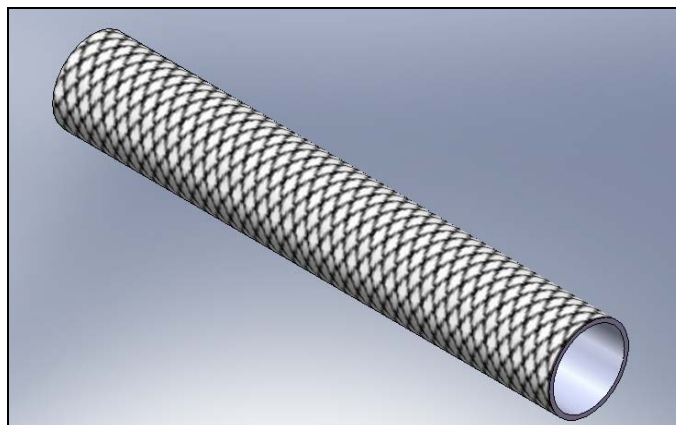


Figura 43 – Rolo de compressão

É de notar o recartilhado realizados na superfície destes com o objectivo de aumentar a tracção, reduzindo assim as possibilidades de escorregamento por parte da esponja. A falta de tracção levaria a uma indesejável e incorrecta deslocação da esponja.

- Paredes Laterais

Estas peças são certamente das mais complexas e requerem um trabalho de fresagem e furação mais cuidado e demorado que as restantes peças.

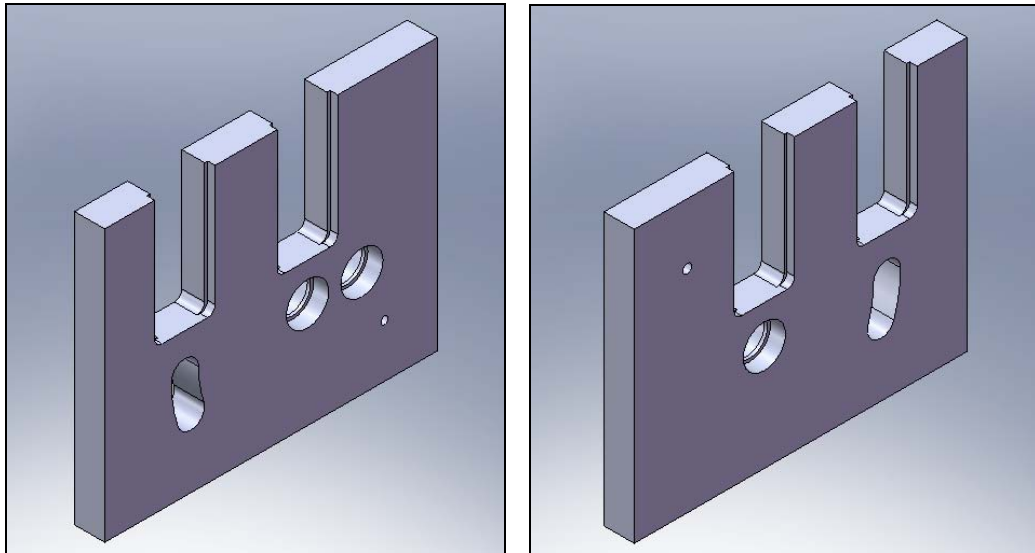


Figura 44 – Paredes laterais

Existem duas paredes laterais. Estas não são exactamente iguais uma vez que uma delas terá que acoplar o veio de inversão do movimento e a outra não. Tais diferenças podem ser consultadas com maior pormenor recorrendo aos desenhos 2D em Anexo.

É de salientar os rasgos para encaixe e deslize das corredeiras e os orifícios para alojar os rolamentos que suportarão os veios. Os rasgos limitam o deslocamento possível de efectuar pelas corredeiras, assim como asseguram o posicionamento/alinhamento das mesmas.

- Veios

São estas peças que realizam a transmissão do movimento do motor para os rolos. São obtidas por torneamento e fresagem. Processos demorados uma vez que em muitas das suas secções é necessário bastante desbaste.

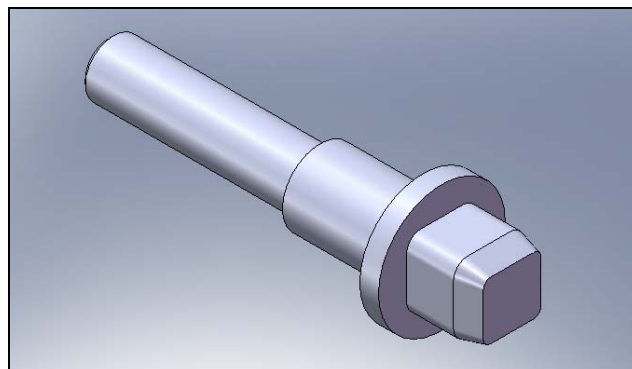


Figura 45 – Veio



É possível verificar pela imagem anterior a variedade de veios necessário á construção do projecto (nove veios no total). De salientar as extremidades em quadra de arestas amaciadas e com ângulo de entrada. Optou-se por tais soluções de maneira a facilitar o encaixe destes nos topos dos rolos.

- Tabuleiros

Estes tabuleiros amovíveis irão suportar a esponja impregnada antes e depois desta sofrer os ciclos de compressão (tabuleiros de entrada e saída respectivamente). Na Figura 46 é possível observar os dois tabuleiros mencionados.

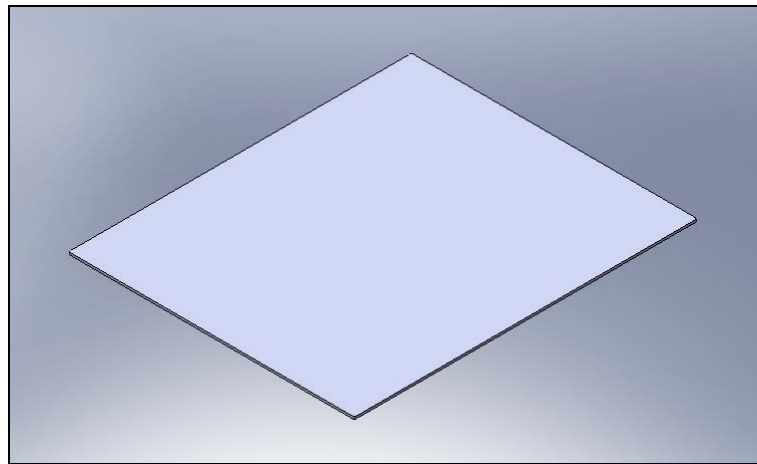


Figura 46 – Tabuleiros de entrada e saída

Seria intenção que a esponja resultante dos ciclos de compressão não fosse manuseada antes de se encontrar rígida. Para que tal aconteça o tabuleiro de saída será amovível, sendo colocado na estufa junto com a esponja. Sendo assim, a esponja após solidificações não poderá colar ao aço inoxidável dos tabuleiros. Foram, portanto, realizadas experiências neste sentido. Realizou-se um experiência e verificou-se que a esponja colaria em alguns pontos mas poderia ser removida sem afectar a sua integridade. Se tal não se verificar viável não se descarta a possibilidade de aquando do uso da máquina forrar o tabuleiro com uma película que impeça que a união ao tabuleiro se efectue.

Foi feito um esforço no sentido de que estas peças fossem o mais simples possível para que caso fosse necessário ter bastantes tabuleiros estes não necessitem de elaborados métodos de fabrico. Caso seja necessário mais tabuleiros será apenas necessário realizar cortes para ajunte às dimensões pretendidas.

- Mesas de Apoio

Estas mesas suportam os tabuleiros. Estas sendo colocados na sua totalidade dentro dos tabuleiros inferiores garantem que todo o excesso de pasta proveniente das compressões fica retido nos tabuleiros inferiores, podendo depois ser reaproveitada caso necessário.

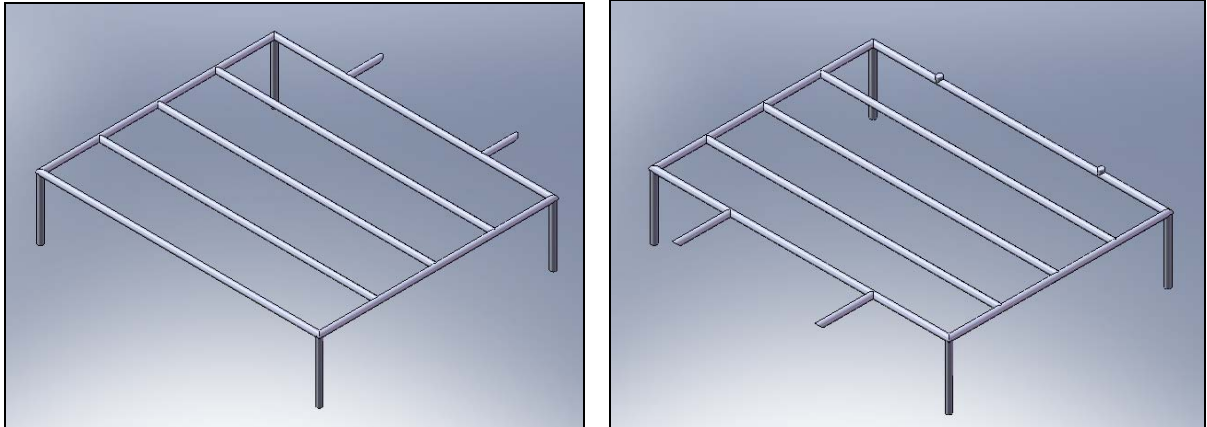


Figura 47 – Mesas de apoio

São necessárias duas mesas de apoio, uma para o tabuleiro de entrada e outro para o tabuleiro de saída.

De notar o batente traseiro na mesa traseira impedindo assim que o tabuleiro traseiro deslize para fora desta aquando da saída da esponja da máquina para o tabuleiro.

- Guias dos Tabuleiros

Estas guias asseguram que os tabuleiros colocados sobre as mesas se encontrem sempre nas devidas posições apropriadas. Estes facilitam também a colocação dos tabuleiros na posição adequada.

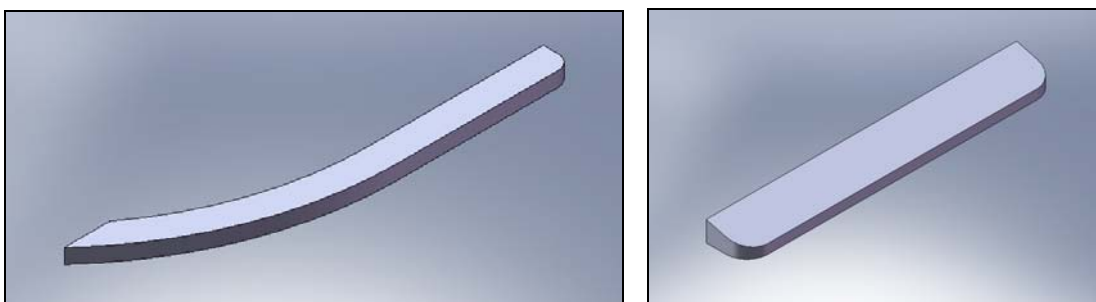


Figura 48 – Guias dos tabuleiros frontais e traseiros

São necessários quatro guias. Duas para o tabuleiro frontal e duas para o tabuleiro traseiro. Estes são elementos bastante simples.

Nos tabuleiros frontais é de notar a curvatura que facilita o deslize do tabuleiro sobre a mesa até á posição final. Nas guias traseiras pode ser salientado o ângulo de inclinação existente nestes para um deslizar do tabuleiro até a posição adequada.

- Tabuleiros Inferiores

Tais elementos situam-se na base da máquina assegurando que todo o excesso de pasta proveniente dos ciclos de compressão fica aqui retido proporcionando assim um reaproveitamento da pasta, maior limpeza e higiene. Foi escolhido o 316L uma vez que este apresenta uma elevada inerticidade química assegurando uma inalteração da estrutura da pasta de Bonelike®. A obtenção destas peças é relativamente simples uma vez que após corte da forma planificada dos tabuleiros, recorre-se a uma quinadora para criar as arestas, colocando as abas a 90°. Segue-se finalmente a solda das arestas onde se encontram as abas quinadas.

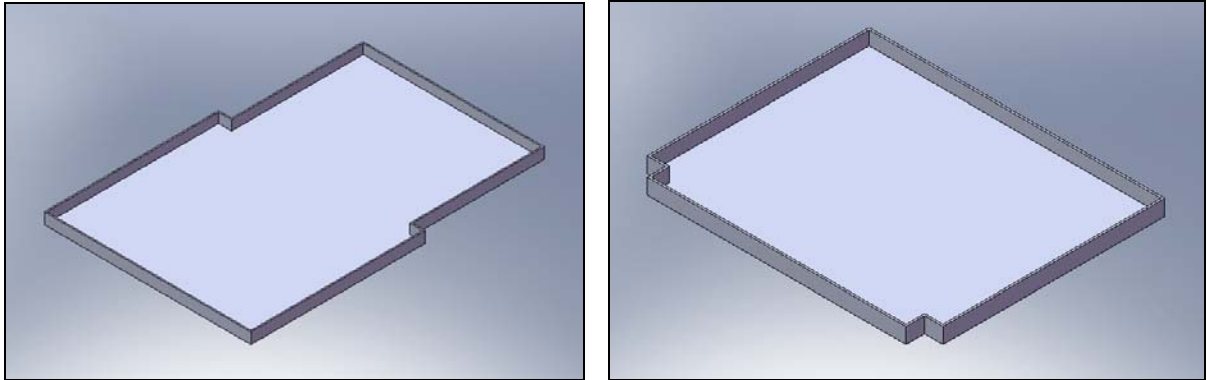


Figura 49 – Tabuleiros inferiores

Os dois tabuleiros são de base plana com abas suficientemente altas para reter uma quantidade significativa de pasta, assim como assegurar que durante o manuseamento do tabuleiro com pasta este não verta com relativa facilidade. Optou-se assim por uma aba de 1cm de altura que parece ser suficiente para o efeito uma vez que estão envolvidas relativamente pequenas quantidades de pasta expelida pela esponja. De notar também a variação de secção para encosto dos tabuleiros às paredes laterais, assegurando assim um simples e correcto posicionamento destes.

#### 4.6.1.2 Aço Inoxidável 304L

- Corrediças

Tais apoios inicialmente foram idealizados em aço inoxidável 316L tal como as paredes laterais onde se encaixam e movem. Tal ideia foi depois abandonada uma vez que existem problemas associados ao movimento relativo entre aços da mesma espécie em contacto. Tal problema é designado por gripagem. Define-se gripagem como imobilização de uma peça móvel, por adesão a outra. Optou-se portanto por fazer estas peças num tipo de aço inoxidável diferente do das paredes onde estas vão deslizar. Foi então escolhido o 304L já que seria o outro tipo de aço aconselhável para esta aplicação.

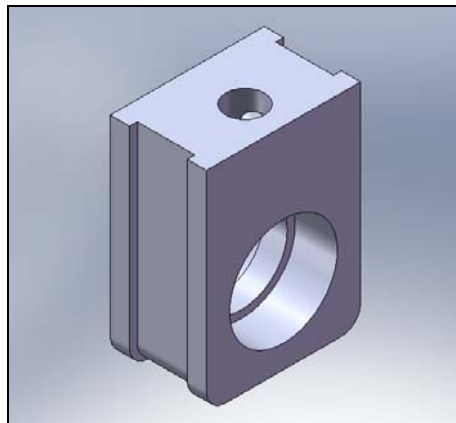


Figura 50 – Corrediça

São necessárias quatro corrediças similares à apresentada na Figura 50.

É de notar os rasgos longitudinais para encaixe nas saliências presentes nas paredes laterais, assegurando assim um correcto posicionamento durante o deslocamento das corrediças. As extremidades arredondadas são também importantes uma vez que terá que haver coerência geométrica com os rasgos realizados nas paredes laterais. Os orifícios para acoplamento dos rolamentos obedecem ao ajustamento H7.

- Tampas Superiores

Estas peças situam-se no topo das paredes laterais. Estas tampas cobrem os rasgos para as corrediças existentes nestas, limitando assim o seu deslocamento.

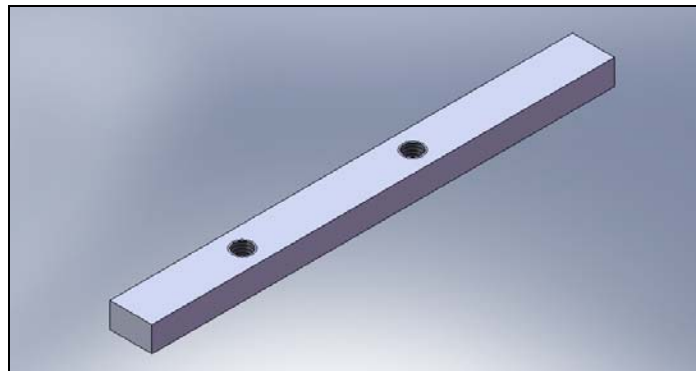


Figura 51 – Tampa superior

Existem duas destas peças, uma em cada lateral.

Nestas tampas estão presentes as roscas para os parafusos de ajuste apresentados de seguida. Este é o único aspecto relevante uma vez que esta peça é extremamente simples.

- Parafusos de Ajuste

Estes peças realizam o ajuste da distância entre rolos. Ao serem apertados ou desapertados provocam a deslocação dos rolos superiores. Rolos frontais e traseiros são de ajuste individual tal como era pretendido, sendo assim possível realizar diferentes taxas de compressão no primeiro e segundo pares de rolos.

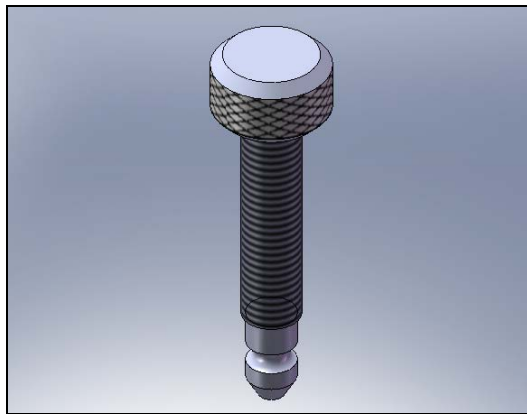


Figura 52 – Parafuso de ajuste

Nesta máquina estão presentes quatro parafusos de ajuste: um por cada corredeira, ou seja, dois por lateral.

De notar o recartilhado que se apresenta no topo dos parafusos para aumentar a aderência à mão durante o aperto e desaperto. É também crucial a existência do entalhe perto das extremidades para acomodar os pernos inseridos na corredeira de maneira a que o movimento de rotação do parafuso corresponda a um movimento vertical da corredeira, tal como é pretendido.

- Braços

Estas peças são elementos de elevada importância nesta máquina. São estes braços que possibilitam o movimento do rolo frontal inferior.

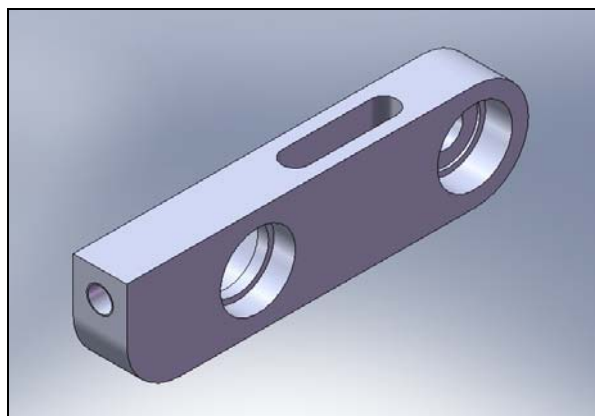


Figura 53 – Braços

Existem dois braços, um por cada lateral.

É de salientar os orifícios para acoplamento dos rolamentos que obedecem ao ajustamento H7 e a rosca como elemento de ligação ao sistema da pega (apresentado de seguida). São também importantes os rasgos transversais que asseguram uma redução de peso destes elementos e facilitam o acondicionamento do esticador fixo (já mencionado).

- Sistema da Pega

O sistema da pega é constituído pela pega em si e pelos elementos “tipo varão” que fazem a ligação entre os braços e a pega. Este sistema transmite o movimento imposto na pega pelo utilizador a fim de mover o rolo frontal inferior. Tal movimento do rolo, tal como foi já mencionado, tem o objectivo de facilitar a introdução esponja impregnada.

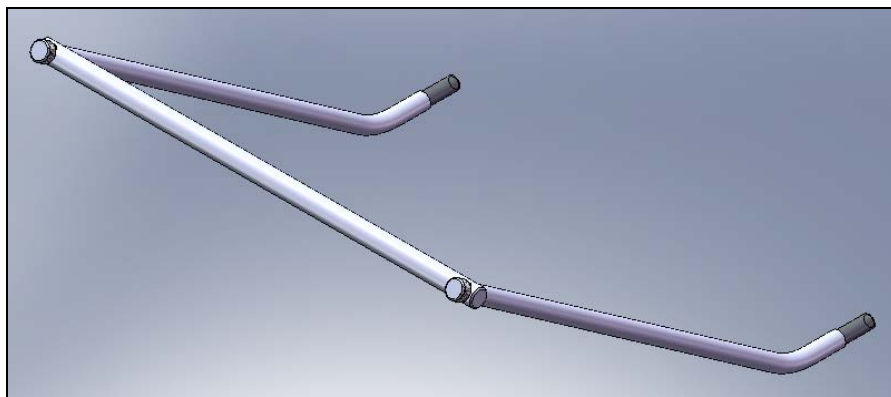


Figura 54 – Sistema da pega

De salientar as curvas nos elementos “tipo varão” para que seja possível e efectuar o movimento pretendido sem que a pega atinja o plano da mesa de apoio. De notar também as ligações roscadas entre estes elementos.

- Bases

Estas peças encontram-se ligadas às paredes laterais. Estas realizam o contacto da máquina com a superfície onde irá ser apoiada.

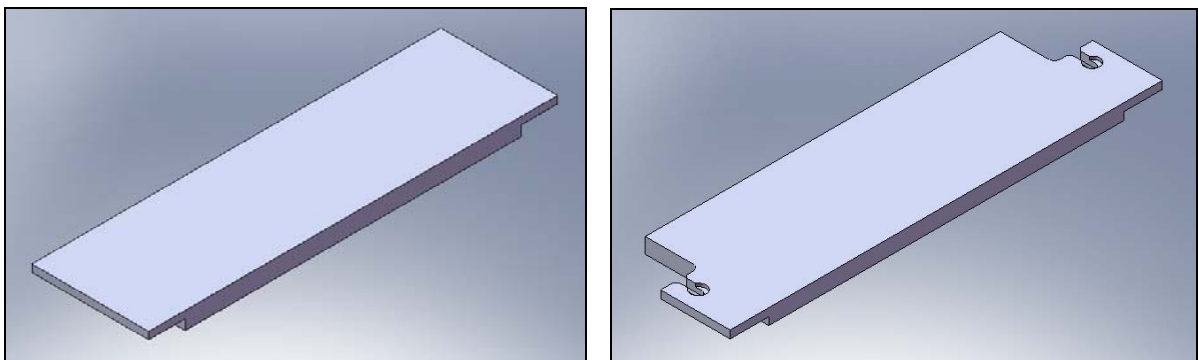


Figura 55 – Bases

Existem duas bases, uma por cada lateral.

Tal como é possível verificar pelas imagens, estas peças contêm a rosca para os parafusos de prisão que serão apresentados de seguida. É também possível visualizar os rasgos transversais para acomodação das peças de ligação entre bases.

- Peças de Ligação entre Bases

Estas peças têm um propósito bastante simples: assegurar o correcto posicionamento relativo entre bases e conseqüentemente entre as laterais.

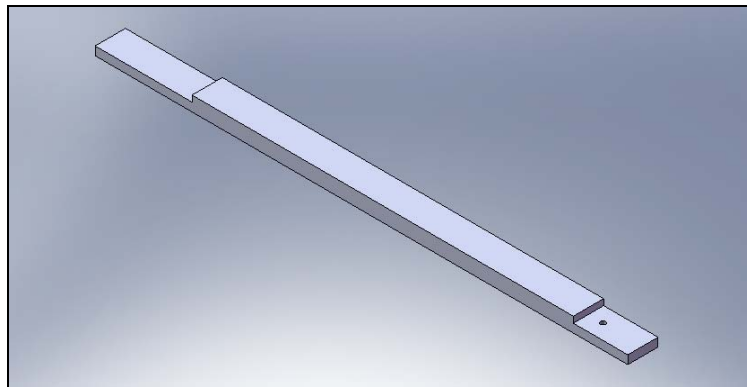


Figura 56 – Peças de ligação entre bases

Existem duas destas peças.

É de salientar os recortes nas extremidades para encaixe e ligação destas peças às bases.

- Parafusos de Posicionamento

Estes parafusos têm uma função bastante relevante. São estes que asseguram o correcto posicionamento do conjunto lateral amovível. Através do desaperto destes dois parafusos é possível remover a lateral, desmontando assim os rolos de compressão, facilitando a limpeza da máquina.

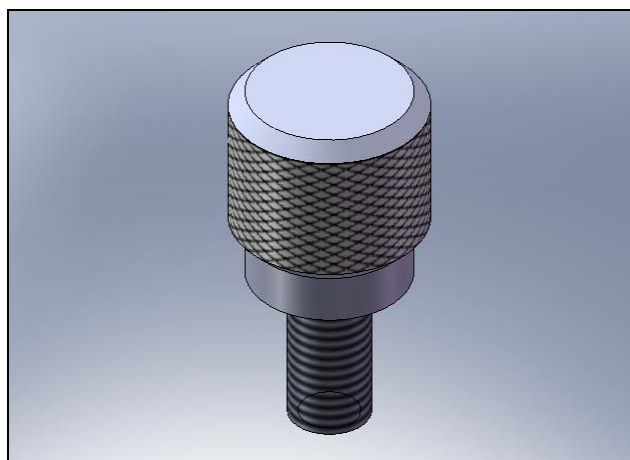


Figura 57 – Parafuso de posicionamento

É de notar o recartilhado para facilitar o desaperto manual destes elementos. É ainda muito importante o pormenor construtivo que impõe que com um aperto reduzido a lateral assegura a sua correcta posição e que para remoção da lateral não é necessário o desaperto total destes parafusos impedindo assim que estes fiquem soltos e mais vulneráveis a serem perdidos. Para maior esclarecimento sobre este sistema de posicionamento da lateral amovível é favor consultar a secção “Processo Construtivo Evolutivo” mais à frente neste relatório.

- Tampas de Segurança

Estas peças têm a função de certificar a segurança dos utilizadores. As tampas selam os elementos móveis de transmissão que poderiam causar acidentes tanto por incorrecta utilização do equipamento, quer por descuido do utilizador, ou por mau funcionamento da máquina. A limpeza dos componentes móveis é também um factor importante. Estas tampas protegem ainda os elementos móveis contra todo o tipo de partículas inconvenientes e outras agressões exteriores.

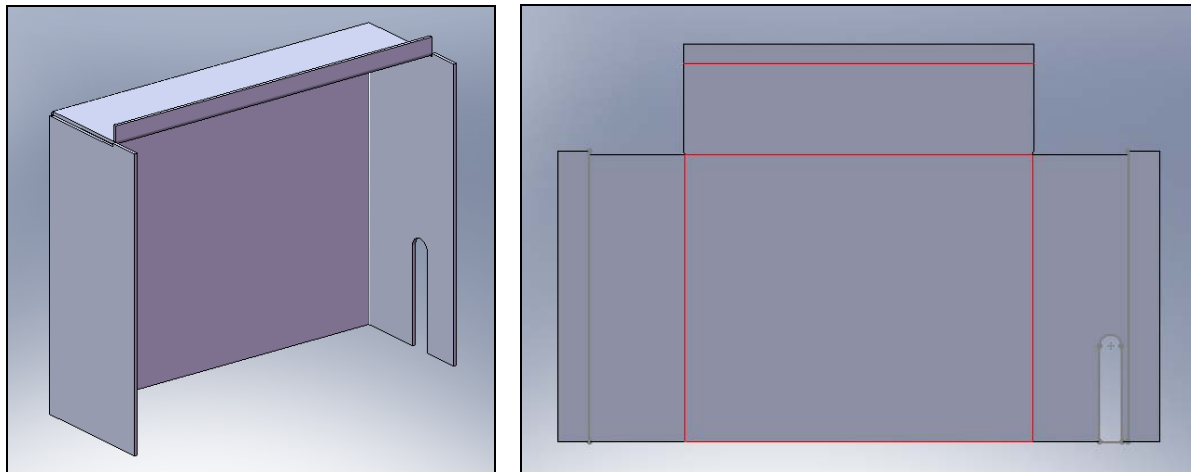


Figura 58 – Tamba de segurança e sua planificação

Estão presentes duas tampas, uma por cada lateral.

É de notar o recorte simplista, as abas de fixação às paredes laterais da máquina e os recortes para os braços oscilantes e veio de entrada.

Para maior elucidação de dimensões e pormenores é favor consultar os anexos que apresentam os desenhos de definição de todas as peças, assim como o desenho de conjunto.



#### 4.6.2 Fornecedores Consultados

Para o fornecimento de aço inoxidável foram consultados para dimensões disponíveis, preços e prazos de entrega os seguintes fornecedores:

- Jacquet (Vila Nova de Gaia) – [www.myjacquet.com](http://www.myjacquet.com)
- Mineroaço (Perafita) – [www.mineroaco.pt](http://www.mineroaco.pt)
- Tubinox (Perafita) – [www.tubinox.com](http://www.tubinox.com)
- F.Ramada (Maia) – [www.ramada.pt](http://www.ramada.pt)
- Acerol (Maia) – [www.directorio.iol.pt/acerol-comercio-e-industria-de-acos-inoxidaveis-lda--5738.htm](http://www.directorio.iol.pt/acerol-comercio-e-industria-de-acos-inoxidaveis-lda--5738.htm)
- Horainox (São Mamede do Coronado) – [www.horainox.pt](http://www.horainox.pt)
- Aços Boixareu (Porto) – [www.acosboixareu.pt](http://www.acosboixareu.pt)

Nota: É possível encontrar informação adicional sobre os fornecedores nos sites mencionados.

### 4.6.3 Termoplástico

- Topos

Aquando da listagem dos requisitos da máquina propôs-se que os elementos amovíveis fossem o mais leve possível. Na tentativa de a satisfazer surgiu a ideia de substituir a utilização de varão maciço como rolos de compressão por tubos com acoplamentos laterais que fariam a transmissão do movimento dos veios para o tubo (Figura 59). Optou-se ainda pela utilização de acoplamentos laterais que seriam de um material mais leves que o aço inoxidável. Tais soluções iriam reduzir em muito o peso de cada rolo (Tabela 11). Recorreu-se então, para os acoplamentos, à utilização de um material comercializado pela Lanema® de seu nome Ertalyte®. Tal produto satisfez de imediato todas as restrições que lhe foram impostas por este projecto (ver características apresentadas no Anexo E).

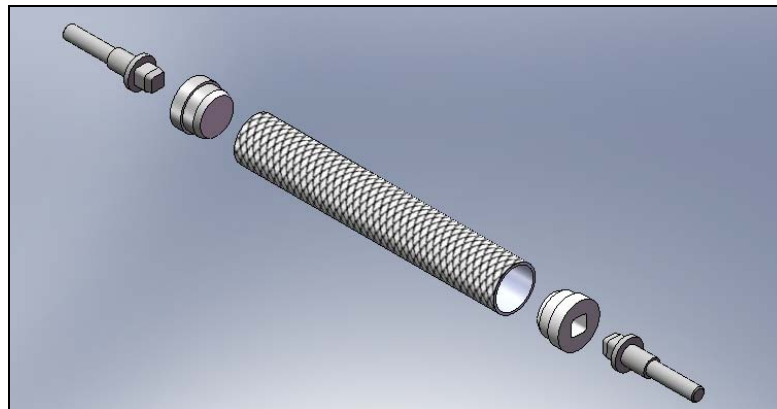


Figura 59 – Rolo de compressão, tubo e respectivos topos

As peças a branco na Figura 59 são os acoplamentos laterais feitos em Ertalyte®. Nestes elementos foi possível utilizar-se este material uma vez que é um elemento que não está sujeito a elevados esforços. A utilização deste material não se justificou para mais nenhum elemento da máquina.

A Tabela 11 faz a comparação entre a utilização de rolos maciços e rolos ocós (tubo).

Tabela 11 – Rolos maciços (varão) vs rolos ocós (tubo com acoplamentos)

	<b>Varão</b>	Tubo	Acoplamento	<b>Tubo com Acoplamentos</b>
<b>Diâmetro (mm)</b>	40	40	36	-----
<b>Espessura (mm)</b>	-----	2	-----	-----
<b>Comprimento (mm)</b>	250	250	25	-----
<b>Volume (cm<sup>3</sup>)</b>	314,16	59,69	25,45	-----
<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	8,00	8,00	1,41	-----
<b>Massa (kg)</b>	<b>2,51</b>	0,48	0,04	<b>0,56</b>

Com base na Tabela 11 pode concluir-se que a utilização de tubo com acoplamentos representa uma redução de peso superior a 77 %. Redução de peso bastante significativa que satisfaz uma das pretensões inicialmente descritas: o peso reduzido dos elementos amovíveis.

Ertalyte® tem como vantagem para além do seu peso o facto de ser mais económico que o aço inoxidável 304 e 316 e ser muito mais fácil de se maquinar, sendo igualmente aceite na área médica. É possível comprovar tais factos e observar outras propriedades no Anexo E.

#### 4.6.4 Fornecedores Consultados

Para o fornecimento do termoplástico apresentado anteriormente foram consultados para dimensões disponíveis, preços e prazos de entrega o seguinte fornecedor:

- Lanema (Ovar) – [www.lanema.pt](http://www.lanema.pt)

Foi consultado apenas este fornecedor uma vez que desde logo apresentou um produto que satisfaz todas as condições pretendidas (Ertalyte®) e sendo necessário apenas uma pequena quantidade deste material não haveria motivos suficientes para insistir na busca de outros fornecedores.

Nota: É possível encontrar informação adicional sobre este fornecedor no site mencionado.

#### 4.7 Processo Construtivo Evolutivo

Ao longo de todo o processo construtivo evolutivo foram surgindo diversas ideias e soluções que por uma razão ou por outra foram sendo abandonadas. Irão agora ser apresentadas algumas dessas mesmas soluções e razões pelas quais foram rejeitadas.

Decidiu apresentar-se estas soluções abandonadas numa secção própria e em especial neste ponto do relatório para que aquando da análise das soluções técnicas finais alcançadas, já apresentadas, não se gerasse confusão, tornado assim a leitura e análise do relatório nebulosa e intrincada.

- Sistema de Abertura

A primeira ideia que surgiu foi a de o mecanismo de abertura para entrada da esponja ser do tipo alavanca. Neste sistema ao exercer força na pega frontal dar-se-ia a abertura dos rolos frontais. Seria retomada a posição de funcionamento deixando de se exercer essa mesma força. Tal movimento ocorreria uma vez que a parte traseira do mecanismo seria mais pesada que a frente, originando assim o movimento de fecho dos rolos.

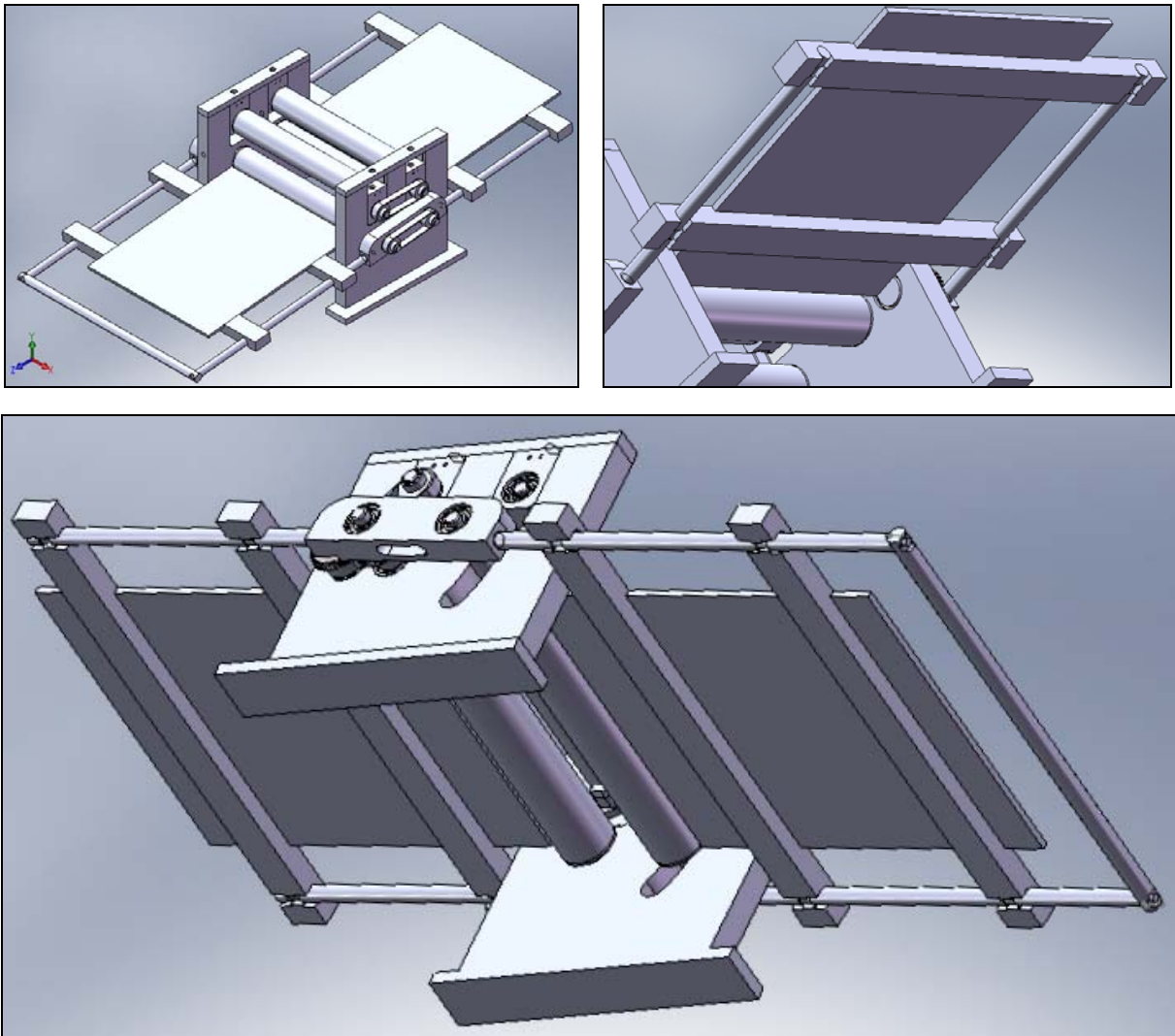


Figura 60 – Mecanismo de abertura do tipo “contrapeso”

Este sistema foi abandonado uma vez que para obter-se forças de compressão plausíveis seria necessário que o peso da parte traseira fosse substancialmente superior ao da frente. Tal mecanismo não é de todo prático uma vez que como resultado obter-se-ia uma máquina exageradamente pesada. Recorreu-se assim à utilização de molas para um controlo de força de fecho mais adequada.

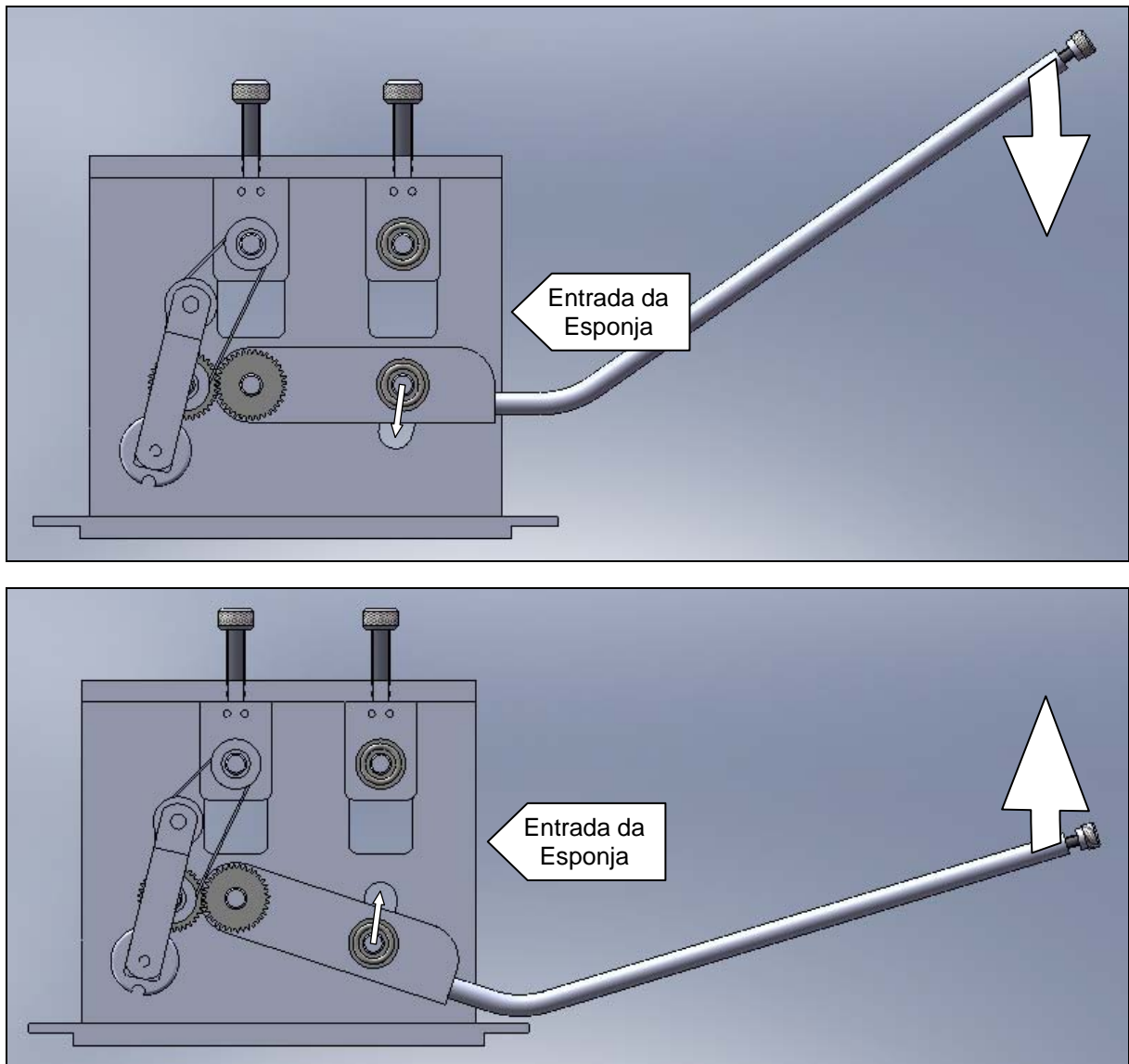


Figura 61 – Mecanismo de abertura adoptado

É possível observar na Figura 61 o movimento de abertura do rolo frontal inferior resultante da aplicação de força na pega por parte do utilizador. A posição inferior do rolo facilita a introdução da esponja no mecanismo.

- Sistema de Inversão

Este sistema de abertura, mencionado anteriormente, implicaria que o sistema de inversão e transmissão de movimento localizar-se entre a parede e o braço. Tal implicaria que o braço ficaria distante da parede, tal como é possível verificar na Figura 62. Esta distância não era vista com bons olhos uma vez que levaria a maiores esforços sobre os rolamentos, em especial os que suportariam o rolo frontal inferior (par de rolamentos mais a esquerda na Figura 62).

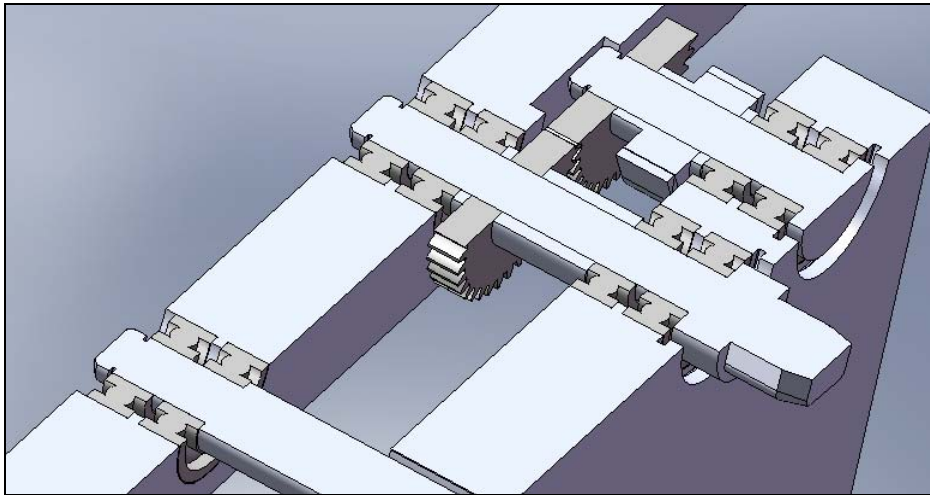


Figura 62 – Lateral e braço em corte

Após abandonar-se o sistema de abertura do tipo “contrapeso” já foi possível posicionar o braço perto da lateral, ficando a engrenagem e as polias na extremidade dos veios (Figura 63). De notar ainda o espaçamento originado pela diferença entre os diâmetros dos orifícios para acomodar os rolamentos e o diâmetro dos respectivos veios que se encontra exageradamente grande. Na solução final este espaçamento foi reduzido para apenas 0,5mm.

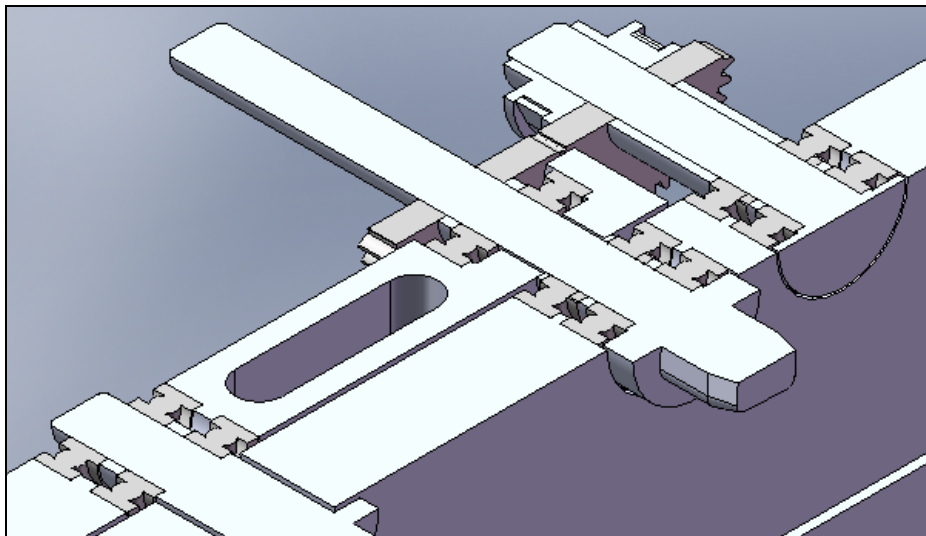


Figura 63 – Lateral e braço em corte (nova solução)

- Topos para Rolos de Compressão

Inicialmente foi pensado que apenas os veios que transmitiriam movimento seriam em quadra. Optou-se mais tarde pela utilização de quadras em todos os veios, levando assim à abolição dos topos para veios de encaixe cilíndrico (acoplamento esquerdo na Figura 64).

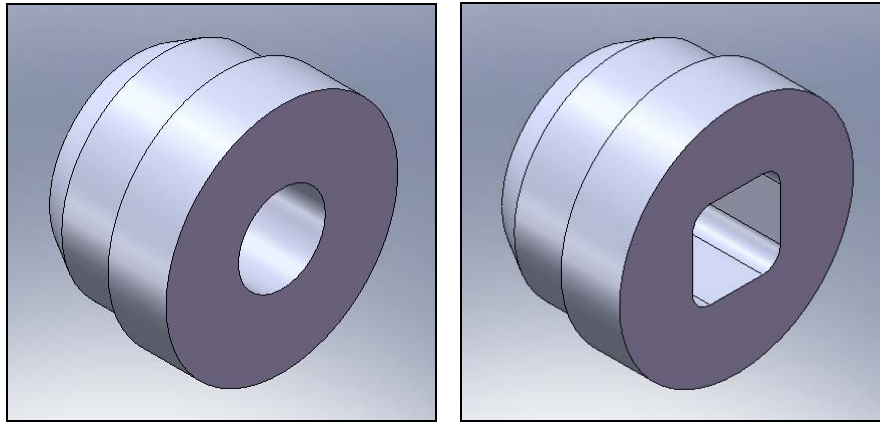


Figura 64 – Topo com encaixe cilíndrico e em quadra (respectivamente)

A solução inicial foi abandonada uma vez que nesse tipo ligação poderia ocorrer fenómenos de escorregamento, levando a um desgaste prematuro da zona de ligação entre os veios e os topos. Para além deste facto, também não é visto com bons olhos a contaminação das amostras em causa com partículas provenientes desse mesmo desgaste.

- Sistema de Posicionamento da Lateral Amovível

O primeiro sistema de posicionamento alcançado está demonstrado à esquerda na Figura 65. Esta solução tem o grande inconveniente de o posicionamento depender sempre do utilizador. Ou seja, cada utilizador poderá, mesmo que inconscientemente, posicionar a lateral numa posição inadequada. Também a fixação desta irá depender da força imprimida durante o aperto. É também notório a falta de espaço para colocar os dedos para proceder-se ao desaperto do parafuso. Finalmente é possível verificar a desproporcionalidade existente no mesmo.

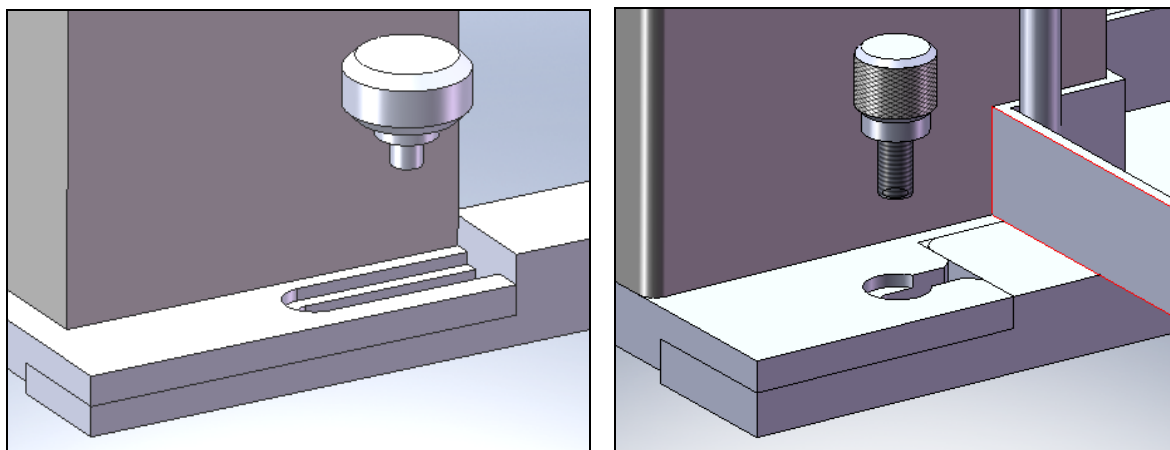


Figura 65 – Sistemas de posicionamento da lateral amovível

Na imagem à direita encontra-se a solução final atingida. Nesta solução todos os problemas mencionados anteriormente foram solucionados. A rebaixa assegura uma colocação da lateral sempre na mesma posição, não sendo esta dependente da força de aperto do utilizador. Existe agora espaço suficiente para um desaperto confortável. É ainda possível verificar que já se encontram desenhados a roca do parafuso assim como o recartilhado na superfície em contacto como a mão do utilizador.

- Design da Base dos Tabuleiros

Foram pensadas diversas soluções para a base dos tabuleiros. A solução a utilizar-se deveria satisfazer simultaneamente as exigências dos utilizadores e ser prático na sua concepção e utilização. Apresenta-se de seguida alguns dos principais perfis analisados.

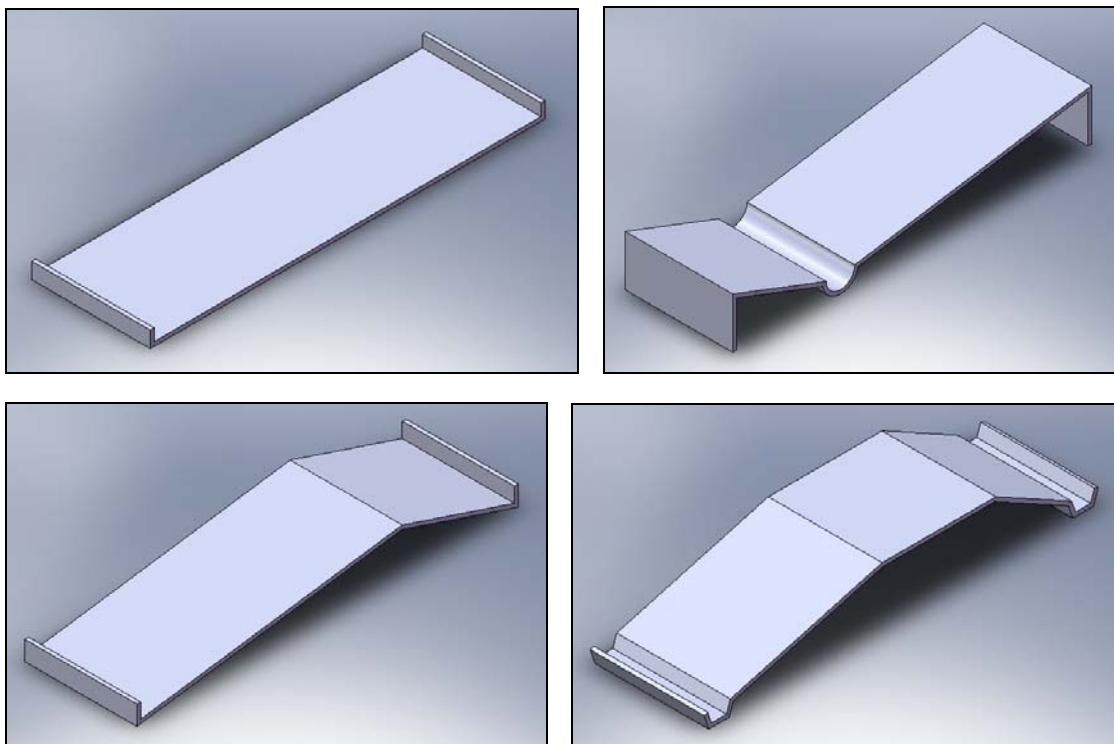


Figura 66 – Perfis de tabuleiros

Após analisar os diversos perfis optou-se pela utilização do design mais simples (primeira imagem da Figura 66 anterior – topo esquerdo). Tal perfil cumpre todos os requisitos, sendo simultaneamente o mais prático e simples de produzir. Mais concretamente optou-se pela utilização de dois tabuleiros em vez de um só. O atravancamento de um tabuleiro só iria implicar um complexo procedimento de manuseamento em comparação com a utilização de dois tabuleiros mais pequenos.



- Posicionamento das Mesas

Na sequência da escolha anterior surgiu o problema de como as mesas iriam ser posicionadas sobre os tabuleiros. Foi pensado inicialmente em fazer-se encaixes nos tabuleiros, tal como é possível verificar na imagem esquerda da Figura 67.

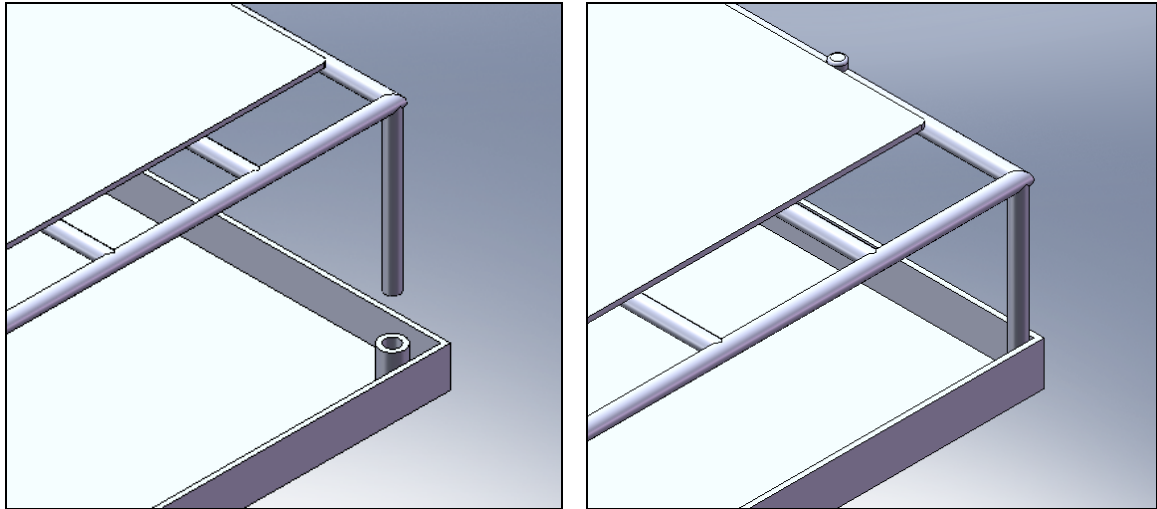


Figura 67 – Sistema de posicionamento das mesas

Esta opção apresentada na imagem da esquerda foi abandonada e substituída pela da direita. Ao colocar todas as pernas da mesa tangentes às abas que formam os respectivos cantos não é necessário qualquer tipo de encaixe para que a mesa se mantenha fixa na respectiva posição. Com esta nova solução é dispensado qualquer tipo de encaixe adicional, simplificando assim tanto a construção como a limpeza dos respectivos tabuleiros.

- Escala para Taxas de Compressão

Para o correcto posicionamento dos rolos numa determinada taxa de compressão é essencial a existência de uma escala. A posição da escala foi algo problemática uma vez que se desejava algo bastante simples que não aumentasse a complexidade da máquina e que simultaneamente garantisse a precisão pretendida. Foi pensado numa solução que implicaria a compra de uma escala graduada que seria posteriormente colada na máquina. No entanto surgiu a ideia de que a escala poderia ser maquinada na própria máquina. Restara agora a escolha da localização para a mesma. A primeira ideia foi a de posicionar a escala na superfície lateral das tampas, em que a medição seria realizada recorrendo a uma agulha presa á corrediças (imagem da esquerda da Figura 68). No entanto o facto de aumentar a complexidade, criando assim mais recantos optou-se pela marcação da escala no interior das paredes e na corrediça tal como demonstrado na imagem direita Figura 68.

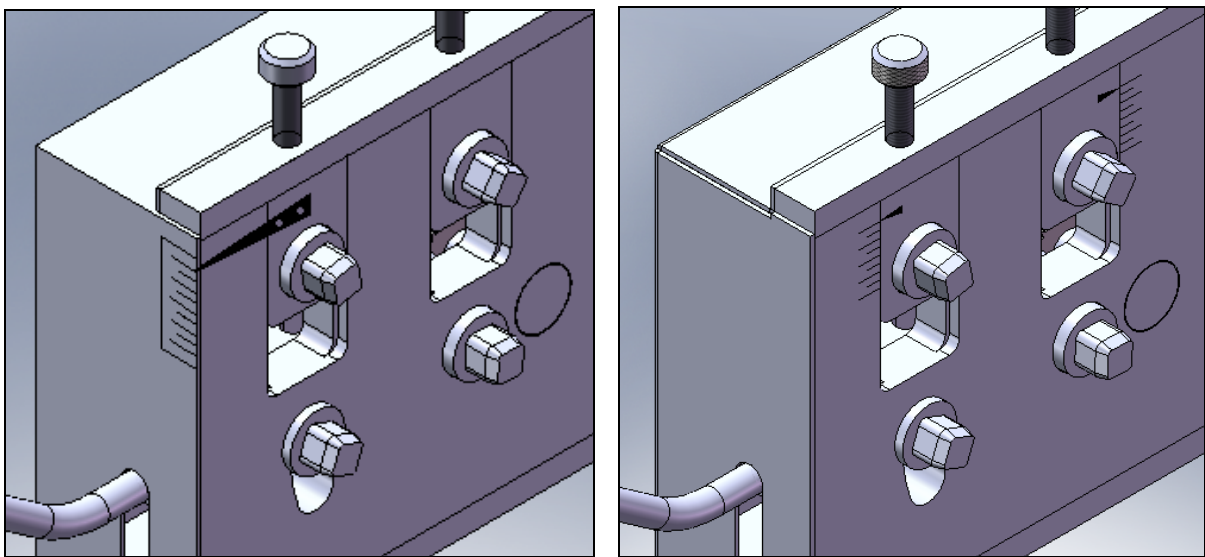


Figura 68 – Localização das escalas

A solução apresentada na imagem direita da Figura 68 é bastante mais simples e igualmente funcional á da solução inicialmente apresentada. A sua simplicidade é um ponto bastante relevante aquando da limpeza da máquina. Quanto á localização da escala pode ser dito que se encontra de fácil acesso visual.

Sempre que possível optou-se pelas soluções mais simples. Á primeira vista o projecto do laminador mecânico pode parece ser óbvio mas a verdade é que o processo que o levou até ao formato final foi bastante cuidado e ponderado. Por vezes as soluções mais simples são as mais intrincadas de ser introduzidas num projecto. A construção de uma máquina simplista é certamente mais complexa do que aparenta.

As alterações sofridas pelo projecto, aqui apresentadas, são apenas algumas das que foram realizadas. Muitos outros pormenores, soluções e escolhas foram sendo optimizadas. Não foram apresentadas todas elas por razões de compacidade. Foram assim apresentadas as que foram consideradas mais relevantes.

## 5 Resultados Atingidos

Neste ponto irá ser apresentado o desenho de conjunto 3D do laminador mecânico pretendido (Figura 69). As peças encontram-se com diferentes cores para melhor distinção.

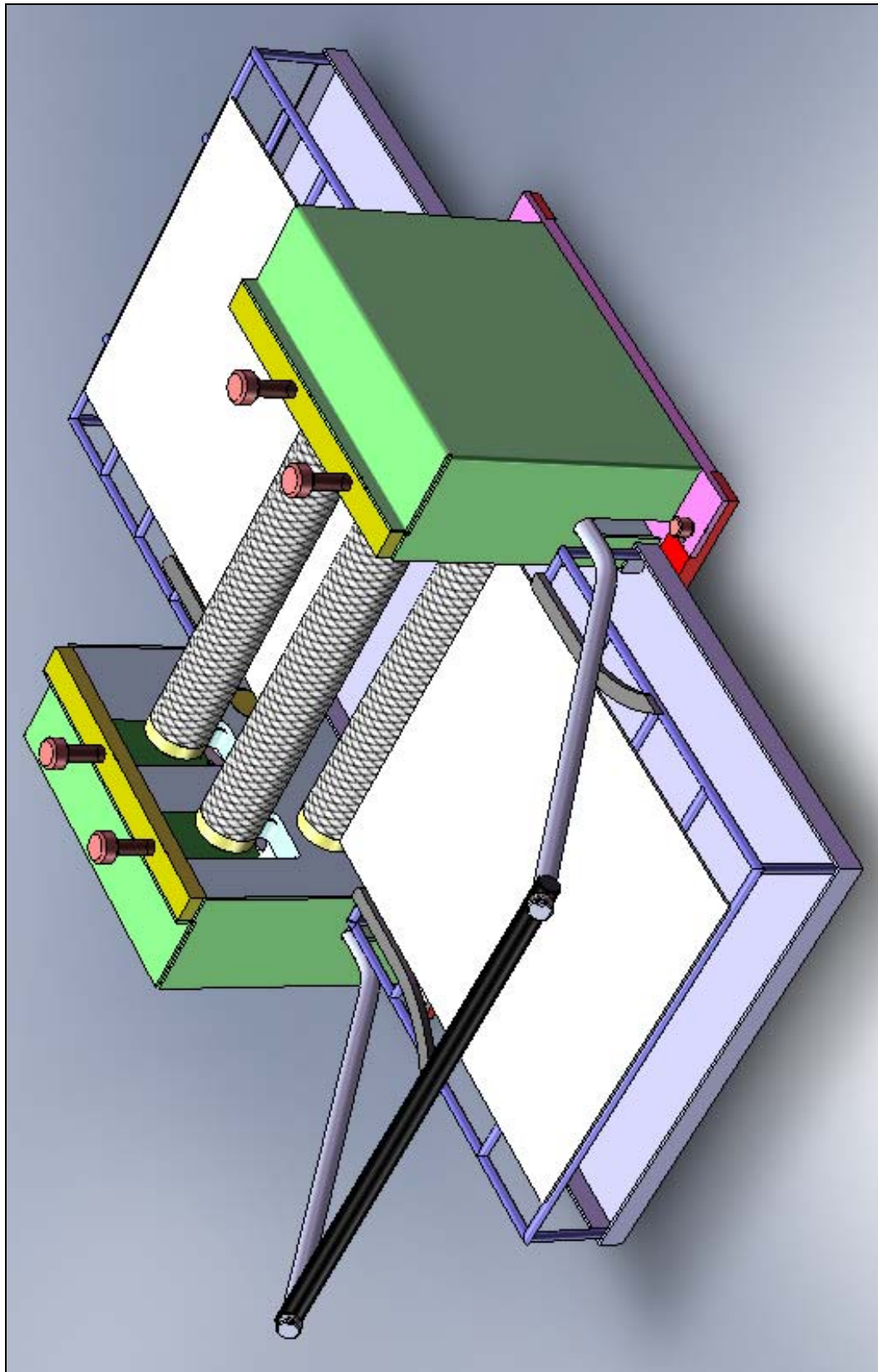


Figura 69 – Laminador mecânico

Apresenta-se de seguida uma possível disposição dos diferentes elementos.

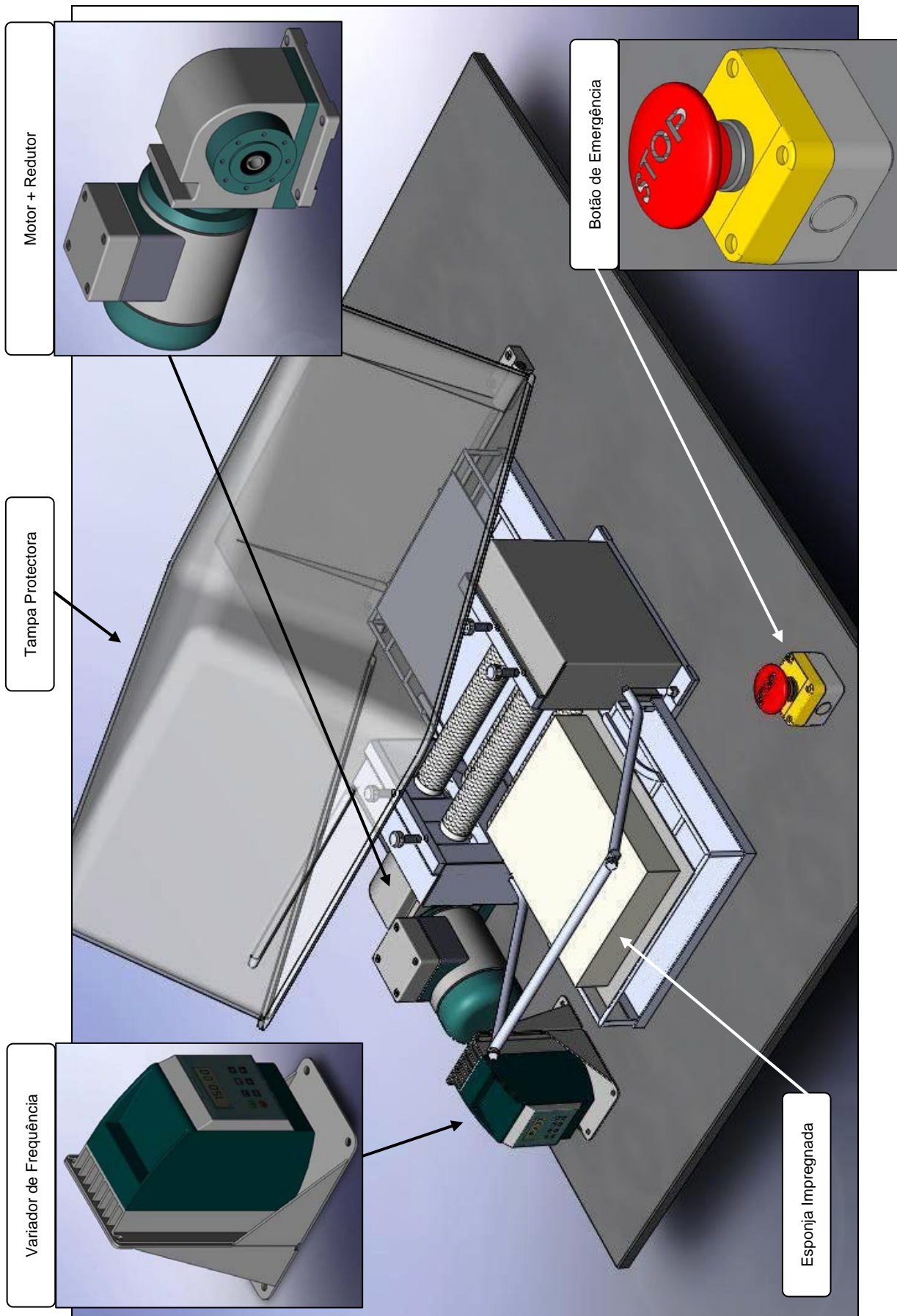


Figura 70 – Disposição exemplo

## 6 Conclusões e Perspectivas de Trabalhos Futuros

Após realização deste trabalho pode ser dito que os objectivos foram atingidos. No fim deste relatório é apresentado o desejado projecto do laminador mecânico de rolos motrizes, de accionamento eléctrico, tal como era pretendido. Todas os requisitos foram atingidos e/ou respeitados.

Após finalizar o projecto do laminador seria do interesse de todos os envolvidos a compra dos materiais necessários seguida da construção do laminador. A compra de todos os materiais foi concretizada, mas a dificuldade de adquirir alguns desses materiais, assim como o longo tempo de espera destes após encomenda, levaram à impossibilidade de se realizar a construção física da máquina em tempo útil. Foi ainda mencionado, nas iniciais reuniões com os orientadores, que seria interessante, caso o tempo restante o permitisse, realizar testes com a laminador com o intuito de aperfeiçoar o funcionamento da máquina e de todo o processo de fabricação das espumas de hidroxiapatite. Por diversos motivos, alheios a todos os principais envolvidos no projecto, não foi possível enriquecer este projecto com estes itens, o que desde já lamento bastante uma vez que tornaria o trabalho ainda mais interessante e empreendedor. Portanto, na sequência deste trabalho, estas etapas pode ser vistas como perspectiva de trabalhos futuros.

Outro ponto fulcral é a segurança desta máquina. É crucial respeitar a norma EN ISO 12100 relativa à Directiva Máquinas. Algumas das questões de segurança sugerem adições posteriores à construção do laminador. Tais adições incluem a cobertura de toda a máquina com uma tampa em termoplástico transparente e a implementação de um botão de emergência de fácil acesso do tipo “cogumelo” que desactivaria a máquina instantaneamente. Estas soluções estão representadas na Figura 70. Tais soluções seriam possíveis de ser concretizadas e estudadas com maior pormenor após começo da execução do projecto. Uma vez que a sua execução não foi possível, este tópico terá que ser desenvolvido em estudos posteriores.

É importante referir que embora o projecto esteja concluído, este, aquando da sua execução, poderá sofrer pequenos ajustes construtivos. Tal procedimento é prática corrente e usual durante a execução de projectos.

Pode, resumidamente, concluir-se que os resultados alcançados são francamente encorajadores, na medida em que, foi atingido com sucesso a realização do projecto obedecendo a todos os requisitos pretendidos.

## 7 Referências e Bibliografia

- [1] Goldberg V, Stevenson S. “Natural History of Autografts and Alografts. Clinical Orthopaedics & Related Research”, 1987.
- [2] John C. Yarwood, James E. Dore, Robert K. Preuss. “Manufacture of Ceramic Foams”. Patente 1 596 446 (US), 1977.
- [3] [www.medmatinnovation.com](http://www.medmatinnovation.com).
- [4] Aoki H. “Science and medical applications of hydroxyapatite”. Tokyo, Japan: Tkayama Press, 1991.
- [5] Claudia Marina Souto Ranito. “Fabrico de Espumas de Hidroxiapatite para Aplicações Médicas”. Ciência & Tecnologia dos Materiais, 2003.
- [6] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org).
- [7] [www.images.google.com](http://www.images.google.com).
- [8] [www.rolanddga.com](http://www.rolanddga.com).
- [9] [www.cerasorb.com](http://www.cerasorb.com).
- [10] [www.rsportugal.com](http://www.rsportugal.com).
- [11] [www.resatec.com](http://www.resatec.com).
- [12] Williams DF. “Progress in Biomedical Engineering, Defenitions in Biomaterials”. Elsevier Academic Press, 1987.
- [13] Katz JL. “Biomedical Engineering Fundamentals”. CRC press, 2006.
- [14] [www.3dcontentcentral.com](http://www.3dcontentcentral.com).

## ANEXO A: 304 Stainless Steel

**Material Notes:** Austenitic Cr-Ni stainless steel. Better corrosion resistance than Type 302. High ductility, excellent drawing, forming, and spinning properties. Essentially non-magnetic, becomes slightly magnetic when cold worked. Low carbon content means less carbide precipitation in the heat-affected zone during welding and a lower susceptibility to intergranular corrosion. Resists most oxidizing acids and salt spray.

**Applications:** beer kegs, bellows, chemical equipment, coal hopper linings, cooking equipment, cooling coils, cryogenic vessels, dairy equipment, evaporators, flatware utensils, feedwater tubing, flexible metal hose, food processing equipment, hospital surgical equipment, hypodermic needles, kitchen sinks, marine equipment and fasteners, nuclear vessels, oil well filter screens, refrigeration equipment, paper industry, pots and pans, pressure vessels, sanitary fittings, valves, shipping drums, spinning, still tubes, textile dyeing equipment, tubing.

Tabela 12 – Propriedades do aço inoxidável 304

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.00 g/cc	0.289 lb/in <sup>3</sup>	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	123	123	Converted from Rockwell B hardness.
Hardness, Knoop	138	138	Converted from Rockwell B hardness.
Hardness, Rockwell B	70.0	70.0	
Hardness, Vickers	129	129	Converted from Rockwell B hardness.
Tensile Strength, Ultimate	505 MPa	73200 psi	
Tensile Strength, Yield	215 MPa	31200 psi	at 0.2% offset
Elongation at Break	70.0 %	70.0 %	in 50 mm
Modulus of Elasticity	193 - 200 GPa	28000 - 29000 ksi	
Poissons Ratio	0.290	0.290	
Charpy Impact	325 J	240 ft-lb	
Shear Modulus	86.0 GPa	12500 ksi	
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.0000720 ohm-cm	0.0000720 ohm-cm	at 20°C (68°F); 1.16E-04 at 650°C (1200°F)
Magnetic Permeability	1.008	1.008	at RT
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 20°C	17.3 µm/m-°C	9.61 µin/in-°F	from from 0-100°C
CTE, linear 250°C	17.8 µm/m-°C	9.89 µin/in-°F	at 0-315°C (32-600°F)
CTE, linear 500°C	18.7 µm/m-°C	10.4 µin/in-°F	at 0-650°C
Specific Heat Capacity	0.500 J/g-°C	0.120 BTU/lb-°F	from 0-100°C (32-212°F)
Thermal Conductivity	16.2 W/m-K	112 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F	at 0-100°C, 21.5 W/m°C at 500°C
Melting Point	1400 - 1455 °C	2550 - 2651 °F	
Solidus	1400 °C	2550 °F	
Liquidus	1455 °C	2651 °F	
Material Components Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	<= 0.0800 %	<= 0.0800 %	
Chromium, Cr	18.0 - 20.0 %	18.0 - 20.0 %	
Iron, Fe	66.345 - 74.0 %	66.345 - 74.0 %	
Manganese, Mn	<= 2.00 %	<= 2.00 %	
Nickel, Ni	8.00 - 10.5 %	8.00 - 10.5 %	
Phosphorous, P	<= 0.0450 %	<= 0.0450 %	
Silicon, Si	<= 1.00 %	<= 1.00 %	
Sulfur, S	<= 0.0300 %	<= 0.0300 %	

## ANEXO B: 304L Stainless Steel

**Material Notes:** Austenitic Cr-Ni stainless steel. Better corrosion resistance than Type 302. High ductility, excellent drawing, forming, and spinning properties. Essentially non-magnetic, becomes slightly magnetic when cold worked. Low carbon content means less carbide precipitation in the heat-affected zone during welding and a lower susceptibility to intergranular corrosion.

**Applications:** beer barrels, bellows, chemical equipment, coal hopper linings, cooling coils, cryogenic vessels, dairy equipment, evaporators, feedwater tubing, flexible metal hose, food processing equipment, hypodermic needles, nuclear vessels, oil well filter screens, refrigeration equipment, paper industry, pressure vessels, sanitary fittings, valves, shipping drums, spinning, still tubes, textile dyeing equipment, tubing.

Tabela 13 – Propriedades do aço inoxidável 304L

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.00 g/cc	0.289 lb/in <sup>3</sup>	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Knoop	158	158	Converted from Rockwell B Hardness Value
Hardness, Rockwell B	82.0	82.0	
Hardness, Rockwell C	15.0	15.0	10% Cold-worked
Hardness, Vickers	159	159	Converted from Rockwell B Hardness Value.
Tensile Strength, Ultimate	564 MPa	81800 psi	0% Cold-worked
Tensile Strength, Yield	210 MPa	30500 psi	0% Cold-worked
Elongation at Break	58.0 %	58.0 %	In 50mm (2 in.)
Modulus of Elasticity	193 - 200 GPa	28000 - 29000 ksi	
Charpy Impact	216 J	159 ft-lb	
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Magnetic Permeability	1.008	1.008	at RT
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Specific Heat Capacity	0.500 J/g-°C	0.120 BTU/lb-°F	Estimated based on a comparison with similar stainless steels.
Melting Point	1400 - 1450 °C	2550 - 2640 °F	
Solidus	1400 °C	2550 °F	
Liquidus	1450 °C	2640 °F	
Maximum Service Temperature, Air	870 °C	1600 °F	Intermittent Service
	925 °C	1700 °F	Continuous Service
Material Components Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	<= 0.0300 %	<= 0.0300 %	
Chromium, Cr	18.0 - 20.0 %	18.0 - 20.0 %	
Manganese, Mn	<= 2.00 %	<= 2.00 %	
Nickel, Ni	8.00 - 12.0 %	8.00 - 12.0 %	
Phosphorous, P	<= 0.0450 %	<= 0.0450 %	
Silicon, Si	<= 1.00 %	<= 1.00 %	
Sulfur, S	<= 0.0300 %	<= 0.0300 %	



## ANEXO C: 316 Stainless Steel

**Material Notes:** Molybdenum content increases resistance to marine environments. High creep strength at elevated temperatures and good heat resistance. Biocompatible. Fabrication characteristics similar to Types 302 and 304.

**Applications:** food and pharmaceutical processing equipment, marine exterior trim, surgical implants, and industrial equipment that handles the corrosive process chemicals used to produce inks, rayons, photographic chemicals, paper, textiles, bleaches, and rubber.

**Corrosion Resistance:** better corrosion resistance than 302 and 304; resists sodium and calcium brines; hypochlorite solutions, phosphoric acid; and the sulfite liquors and sulfurous acids used in the paper pulp industry.

Tabela 14 - Propriedades do aço inoxidável 316

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.00 g/cc	0.289 lb/in <sup>3</sup>	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	149	149	
Hardness, Knoop	169	169	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	80.0	80.0	
Hardness, Vickers	155	155	Converted from Brinell hardness.
Tensile Strength, Ultimate	565 MPa	81900 psi	
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36300 psi	
Elongation at Break	55.0 %	55.0 %	in 50 mm
Modulus of Elasticity	193 GPa	28000 ksi	
Charpy Impact	105 J	77.4 ft-lb	V-notch
Izod Impact	129 J	95.1 ft-lb	
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.0000740 ohm-cm	0.0000740 ohm-cm	at 20°C
Magnetic Permeability	1.008	1.008	at RT
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 20°C	16.0 µm/m-°C	8.89 µin/in-°F	0 - 100°C
CTE, linear 250°C	16.2 µm/m-°C	9.00 µin/in-°F	at 0-315°C (32-600°F)
CTE, linear 500°C	17.5 µm/m-°C	9.72 µin/in-°F	0 - 540°C
Specific Heat Capacity	0.500 J/g-°C	0.120 BTU/lb-°F	from 0-100°C (32-212°F)
Thermal Conductivity	16.3 W/m-K	113 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> -°F	
	@Temperature 100 °C	@Temperature 212 °F	
Melting Point	1370 - 1400 °C	2500 - 2550 °F	
Solidus	1370 °C	2500 °F	
Liquidus	1400 °C	2550 °F	
Maximum Service Temperature, Air	870 °C	1600 °F	Intermittent Service
	925 °C	1700 °F	Continuous Service
Material Components Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.0800 %	0.0800 %	
Chromium, Cr	17.0 %	17.0 %	
Iron, Fe	65.0 %	65.0 %	
Manganese, Mn	2.00 %	2.00 %	
Molybdenum, Mo	2.50 %	2.50 %	
Nickel, Ni	12.0 %	12.0 %	
Phosphorous, P	0.0450 %	0.0450 %	
Silicon, Si	1.00 %	1.00 %	
Sulfur, S	0.0300 %	0.0300 %	

## ANEXO D: 316L Stainless Steel

**Material Notes:** Similar to Type 316 for superior corrosion resistance, but also has superior resistance to intergranular corrosion following welding or stress relieving. Good corrosion resistance to most chemicals, salts, and acids and molybdenum content helps resistance to marine environments. The low carbon content of 316L reduces the possibility of in vivo corrosion for medical implant use. High creep strength at elevated temperatures. 316L has fabrication characteristics similar to Types 302 and 304.

**Applications:** biomedical implants, chemical processing, food processing, photographic, pharmaceutical, textile finishing, marine exterior trim.

Tabela 15 – Propriedades do aço inoxidável 316L

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.00 g/cc	0.289 lb/in <sup>3</sup>	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	146	146	
Hardness, Knoop	166	166	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	79.0	79.0	
Hardness, Vickers	152	152	Converted from Brinell hardness.
Tensile Strength, Ultimate	560 MPa	81200 psi	
Tensile Strength, Yield	235 MPa	34100 psi	
Elongation at Break	55.0 %	55.0 %	in 50 mm
Modulus of Elasticity	193 GPa	28000 ksi	
Charpy Impact	103 J	76.0 ft-lb	V-notch, 30°C
Izod Impact	150 J	111 ft-lb	21°C
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.0000740 ohm-cm	0.0000740 ohm-cm	at 20°C
Magnetic Permeability	1.008	1.008	at RT
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Specific Heat Capacity	0.500 J/g·°C	0.120 BTU/lb·°F	from 0-100°C (32-212°F)
Melting Point	1375 - 1400 °C	2507 - 2550 °F	
Solidus	1375 °C	2507 °F	
Liquidus	1400 °C	2550 °F	
Maximum Service Temperature, Air	870 °C	1600 °F	Intermittent Service
	925 °C	1700 °F	Continuous Service
Material Components Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.0300 %	0.0300 %	
Chromium, Cr	17.0 %	17.0 %	
Iron, Fe	65.0 %	65.0 %	
Manganese, Mn	2.00 %	2.00 %	
Molybdenum, Mo	2.50 %	2.50 %	
Nickel, Ni	12.0 %	12.0 %	
Phosphorous, P	0.0450 %	0.0450 %	
Silicon, Si	1.00 %	1.00 %	
Sulfur, S	0.0300 %	0.0300 %	

## ANEXO E: Ertalyte® thermoplastic

**Material Notes:** Ertalyte PET-P is an unreinforced, semi-crystalline thermoplastic polyester based on polyethylene terephthalate (PET-P). It offers the wear resistance of nylon with the dimensional stability of acetal. It is good for both wet and dry environments. The high strength and rigidity of Ertalyte makes it ideal for close tolerance parts. In addition, Ertalyte offers good chemical and abrasion resistance. It is FDA compliant in both natural and black stock shapes. Natural Ertalyte is also USDA, 3A-Dairy and Canada AG compliant. Ertalyte is an excellent candidate for parts used in the food processing and equipment industries.

### Other Attributes:

- Low moisture absorption -good for both wet and dry environments;
- High strength, stiffness, rigidity;
- Excellent resistance to stains;
- Excellent dimensional stability;
- Better resistance to acids than nylon or acetal;
- Closer tolerances and maximum straightness;
- Good wear resistance and excellent dimensional stability.

Tabela 16 – Propriedades do termoplástico Ertalyte®

Physical Properties	Metric	English	Comments
Specific Gravity	1.41 g/cc	0.0509 lb/in <sup>3</sup>	ASTM D792
Water Absorption	0.0700 %	0.0700 %	Immersion, 24hr; ASTM D570(2)
Water Absorption at Saturation	0.900 %	0.900 %	Immersion; ASTM D570(2)
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell M	93.0	93.0	ASTM D785
Hardness, Rockwell R	125	125	ASTM D785
Hardness, Shore D	87.0	87.0	ASTM D2240
Tensile Strength, Ultimate	85.5 MPa	12400 psi	ASTM D638
Elongation at Break	20.0 %	20.0 %	ASTM D638
Tensile Modulus	3.17 GPa	460 ksi	ASTM D638
Flexural Modulus	3.38 GPa	490 ksi	ASTM D790
Flexural Yield Strength	124 MPa	18000 psi	ASTM D790
Compressive Strength	103 MPa	15000 psi	10% Def.; ASTM D695
Compressive Modulus	2.90 GPa	420 ksi	ASTM D695
Shear Strength	55.2 MPa	8000 psi	ASTM D732
Coefficient of Friction	0.200	0.200	Dry vs. Steel; QTM55007
K (wear) Factor	121 x 10 <sup>-5</sup> mm <sup>3</sup> /N-M	60.0 x 10 <sup>-10</sup> in <sup>3</sup> -min/ft-lb-hr	QTM 55010
Limiting Pressure Velocity	0.0981 MPa-m/sec	2800 psi-ft/min	4:1 safety factor; QTM 55007
Izod Impact, Notched	0.267 J/cm	0.500 ft-lb/in	ASTM D256 Type A
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Surface Resistivity per Square	>= 1.00e+13 ohm	>= 1.00e+13 ohm	EOS/ESD S11.11
Dielectric Constant	3.40	3.40	1MHz; ASTM D150
Dielectric Strength	15.2 kV/mm	385 kV/in	Short Term; ASTM D149
Dissipation Factor	0.0200	0.0200	1MHz; ASTM D150

Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 68°F	59.4 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$	33.0 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^\circ\text{F}$	(-40°F to 300°F); ASTM E831
Thermal Conductivity	0.288 W/m-K	2.00 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> ·°F	ASTM F433
Melting Point	255 °C	491 °F	Crystalline, Peak; ASTM D3418
Maximum Service Temperature, Air	98.9 °C	210 °F	Long Term
Deflection Temperature at 1.8 MPa (264 psi)	116 °C	240 °F	ASTM D648
Flammability, UL94	HB	HB	1/8 inch (Estimated Rating)

#### Descriptive Properties

Compliance - FDA	Compliant	
Machinability	2	1-10, 1=Easier to Machine
Service in Alcohols	Acceptable	
Service in Aliphatic Hydrocarbons	Acceptable	
Service in Aromatic Hydrocarbons	Acceptable	
Service in Chlorinated Solvents	Unacceptable	
Service in Ethers	Acceptable	
Service in Ketones	Acceptable	
Service in Strong Acids	Limited	
Service in Strong Alkalies	Unacceptable	
Service in Sunlight	Limited	
Service in Weak Acids	Acceptable	
Service in Weak Alkalies	Acceptable	

## ANEXO F: Motor Eléctrico

PORTUGUÊS PT

### 1 Generalidades

Os motores eléctricos são compostos elementos perigosos, sob tensão e giratórios, bem como superfícies possivelmente quentes. Todos os trabalhos referentes ao transporte, à ligação, à colocação em marcha e à manutenção periódica devem ser efectuados por **pessoas qualificadas e responsáveis** (atentar à VDE 0105; IEC 354). Procedimentos indevidos podem originar sérios danos pessoais e materiais. Os regulamentos e requisitos nacionais, locais e característicos para a instalação em questão, válidos no caso específico, devem ser levados em consideração.

### 2 Emprego devido

Estes motores destinam-se a instalações industriais. Estão de acordo com as normas conciliadas da série **EN60034 (VDE0530)**. Não se admite a utilização dos motores em áreas com **risco de explosão**, a não ser que sejam **expressamente** previstos para tal fim (ver avisos suplementares). Se, no uso em instalações não industriais, houver requisitos elevados em um caso específico, (p.ex., protecção contra o contacto de dedos de crianças), os mesmos devem ser cumpridos pelo cliente na montagem.

Os motores foram concebidos para temperaturas ambiente de **-20°C a +40°C** (2KG: -10°C a +40°C), assim como para uma altitude do local de montagem de  $\leq 1000$  m sobre o nível médio do mar. É imprescindível atentar às indicações divergentes constantes na placa de características. As condições no local de utilização devem corresponder a **todos** os dados da placa.

No âmbito da directiva "Máquinas" 89/392/CEE, os motores de baixa tensão são **componentes** a serem incorporados em máquinas. Não se **admite a colocação em marcha**, até que a conformidade do produto final com a directiva acima citada tenha sido constatada (atentar à EN 60204-1).

### 3 Transporte, armazenagem

Danos detectados após a entrega devem ser imediatamente comunicados ao transitário; eventualmente, o equipamento não deve ser colocado em funcionamento. Para o transporte devem ser utilizados todos os olhais para levantamento existentes no motor e os aparafusados devem ser bem apertados. Esses olhais foram calculados **exclusivamente para o peso do motor**. Não suspender cargas suplementares. Se necessário, utilizar meios e dispositivos de transporte correctamente dimensionados (p.ex. guias para cabos). Eliminar **protecções de transporte**, eventualmente existentes, antes da colocação em marcha. Reutilizá-las para transportes posteriores.

Se os motores forem armazenados, **escolher um ambiente seco, isento de poeira e com pouca vibração** ( $v_r \leq 0,2$  mm/s) (danos nos rolamentos parados). Tratando-se de armazenagem prolongada, o tempo de uso da graxa dos rolamentos diminui.

Medir a resistência de isolamento antes da colocação em marcha. Em caso de armazenagem por período superior a 2 meses, é preciso fazer uma verificação do estado da massa lubrificante. Se a massa estiver suja ou se tiver havido penetração de água de condensação (o que conduz à alteração da consistência da massa), a massa lubrificante tem de ser substituída.

Resistência de isolamento

A **resistência de isolamento mínima** contra a terra de enrolamentos novos, recém limpos ou reparados é de 10 M $\Omega$ .

Antes da nova colocação em serviço, medir a **resistência de isolamento**. Se forem detectados valores de  $\leq 0,5$  M $\Omega$ /kV para a tensão de avaliação, o enrolamento deve ser secado.

### 4 Montagem

Concluída a instalação, os olhais de suspensão aparafusados devem ser bem apertados ou sacados!

Prestar especial atenção ao apoio uniforme, perfeita fixação dos pés ou do flange e ao alinhamento exacto, caso houver acoplamento directo. Evitar ressonâncias com a frequência de rotação e a frequência dupla da rede, em função da montagem. Girar o rotor manualmente, atentar a ruídos estranhos motivados pelo deslizamento. **Verificar o sentido de rotação** com o motor desacoplado (ver parágrafo 5).

Montar ou desmontar (aquecer!) os elementos de accionamento (polia, acoplamento, ...) somente por meio de dispositivo apropriado e revesti-lo com uma protecção contra contactos accidentais. Evitar tensões inadmissíveis da correia (catálogo, lista técnica).

Sobre o estado de equilíbrio, veja Folga do eixo ou Placa da potência (H = meio-, F = equilíbrio total por chaveta, N = equilíbrio sem mola de ajuste) DIN IEC ISO 8821. Quando se monta o elemento accionado, tem de se atender ao estado de equilíbrio!

Na aplicação ou armazenagem ao ar livre, recomenda-se instalar um telhado ou uma cobertura adicional, de forma a evitar uma exposição duradoura aos raios directos do sol, à chuva, neve, gelo ou também ao pó. Se a extremidade do eixo situar-se em cima, há de evitar-se a penetração da água ao longo do mesmo.

Nos eixos com a parte final para cima, é necessário evitar a entrada de água a todo o comprimento do eixo.

**Não criar obstruções ao fluxo do ar!** Não é admissível que o ar de exaustão, inclusive de equipamentos adjacentes, seja logo aspirado de novo.

### 5 Ligação eléctrica

Todos os trabalhos devem ser efectuados apenas por pessoas devidamente qualificadas, com o motor parado, isento de tensão e protegido contra a religação involuntária. Isto também diz respeito a circuitos auxiliares (p.ex., aquecimento quando parado).

**Verificar se a instalação está isenta de tensão!**

**Ultrapassar as tolerâncias da EN 60034, parte 1 / IEC 34-1** - tensão  $\pm 5\%$ , frequência  $\pm 2\%$ , forma da curva, simetria - aumenta o aquecimento e influi na compatibilidade electromagnética. Seguir os dados da placa de características e do esquema de ligação na caixa de terminais.

A ligação tem que ser efectuada de tal maneira que seja mantida uma união eléctrica, permanentemente segura, (pontos de fio despedagados não podem ser tolerados); usar os respectivos terminais.

**Providenciar uma ligação segura para o condutor de ligação à terra.**

Sobre os momentos de aperto das ligações das placas de terminais, veja Fig. 1.

**Distâncias de ar** entre componentes nus, sob tensão, entre si e contra a terra  $\geq 5,5$  mm ( $U_n \leq 690$  V).

Não é permitido o acúmulo de material estranho, de poeira e de humidade na caixa de terminais. As entradas das caixas de terminais (veja DIN 42925) e ainda quaisquer outras entradas abertas deverão ser fechadas - **à prova de pó e de água** - com um anel em O ou com uma junta de vedação plana apropriada, e a caixa de terminais propriamente dita com uma junta de vedação de origem.

Sobre os momentos de aperto das uniões aparafusadas dos cabos, veja Fig. 2.1, e sobre os de todos os outros parafusos, veja Fig. 3.

Para testar o motor sem os elementos de accionamento é **preciso fixar a chaveta**.

O perfeito funcionamento do freio deve ser verificado antes da colocação em marcha de motores equipados com freio.

### 6 Serviço

Intensidades de oscilação  $v_r \leq 3,5$  mm/s ( $P_N \leq 15$  kW) ou  $v_r \leq 4,5$  mm/s ( $P_N > 15$  kW), no serviço acoplado, não têm inconveniente.

Na hipótese de ocorrerem mudanças em comparação com o serviço normal, p. ex., **temperaturas elevadas, ruídos estranhos ou oscilações extraordinárias, na dúvida, o motor deve ser desligado**. Apurar o motivo e, se for preciso, entrar em contacto com o fabricante. Nem na marcha de ensaio os dispositivos de protecção podem ser removidos.

Se houver uma alta incidência de poeira, convém limpar os canais de ventilação periodicamente. A **sujidade nos orifícios para a água condensada**, eventualmente existentes, deve ser removida!

Independentemente das horas de serviço de um motor em operação, o rolamento deve ser substituído aproximadamente a cada 3 anos, em função da redução da capacidade de sua lubrificação.

Nos motores **sem mecanismo para a relubrificação** a substituição do rolamento ou da graxa deve ser efectuada de acordo com as instruções do fabricante, porém, o mais tardar, após 3 anos.

Nos motores **com mecanismo para a relubrificação** há de atentar-se às instruções constantes na placa de lubrificação ou de características! A relubrificação deve ser realizada com o motor em funcionamento!

A graxa nos mancais, **munidos de um dispositivo para lubrificação posterior**, deve ser completada com o motor em andamento. Atentar ao esquema de lubrificação!

Em motores com rolamentos de rolos cilíndricos para elevadas cargas radiais, o seu funcionamento sob cargas inferiores à carga radial mínima provoca danos. A carga radial em serviço deve corresponder pelo menos a 30 % da carga radial permitida (consultar o catálogo).

Nos **motores com ventilação externa**, o ventilador externo deve ser ligado no funcionamento do motor.

### 7 Informações complementares

Há de atentar-se às informações sobre eventuais acessórios como, p.ex., os diversos avisos dos fabricantes para os acoplamentos roscados, inclusive os elementos de vedação!

Os demais pormenores constam nas nossas instruções de serviço e manutenção detalhadas. Ser-lhe-ão enviados a pedido, mediante indicação do modelo e do número da máquina, ou podem ser consultadas em [www.siemens.com/motors](http://www.siemens.com/motors)

Estas instruções de segurança e de colocação em funcionamento devem ser guardadas!

## **ANEXO G: Redutor**

**Manufacturer:** Siti S.P.A.

**Model:** MU 40 A8

### **Modularity:**

- Helical worm gearboxes suitable for modular assembling of flanges and torque arm.

### **Versatility:**

- It is possible to supply a separate kit for an easy assembling on the standard gearbox.

### **Performance:**

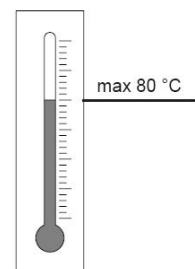
- Max power: 0,12 kW
- Max torque: 78 Nm
- Ratio: 60/1

### **High reliability:**

- Housing built in pressure die-cast aluminium, designed in order to guarantee lightness, strength and rigidity.
- “ZI” shape on worms and wormwheels for a silent working without vibrations.

### **Operating Temperature**

The operating temperature depends on a number of factors such as the type of power transmission, the type and quantity of lubricant, the characteristics and structure of the gearbox, the speed and power applied and the environment in which the gearbox is operating. When worm gearboxes are employed, the allowable temperature may range up to 50° higher than the room temperature considering that today all manufacturers are tending to make more and more compact gearboxes.



This means that as the gearboxes are smaller, they hold less lubricant which results in higher temperatures that they are not designed to withstand. With a standard worm gearbox, the maximum allowable inside temperature is 80 °C.

Higher temperatures than this could cause damage, particularly to the ring seals.

## ANEXO H: Variador de Frequência

Tabela 17 – Características técnicas

Power range	0.12 kW to 3.0 kW			
Supply voltage	1 AC 200 V to 240 V $\pm 10\%$			
Power frequency	47 Hz to 63 Hz			
Output frequency	0 Hz to 650 Hz			
cos phi	$\geq 0.95$			
Inverter efficiency	Inverters < 0.75 kW: 90% to 94% Inverters $\geq 0.75$ kW: $\geq 95\%$			
Overload capability	Overload current 1.5 x rated output current (i.e. 150% overload capability) for 60 s, then 0.85 x rated output current for 240 s, cycle time 300 s			
Inrush current	less than rated input current			
Control method	linear $V/f$ characteristic (with programmable voltage boost); quadratic $V/f$ characteristic; multipoint characteristic (programmable $V/f$ characteristic)			
Pulse frequency	8 kHz (standard) 2 kHz to 16 kHz (in 2 kHz steps)			
Fixed frequencies	3, programmable			
Skip frequency band	1, programmable			
Setpoint resolution	0.01 Hz digital 0.01 Hz serial 10 bit analog (motor potentiometer 0.1 Hz)			
Digital inputs	3 programmable digital inputs, non-isolated; PNP type, SIMATIC compatible			
Analog input (analog variant)	1, for setpoint (0 V to 10 V, scaleable or for use as 4th digital input)			
Digital output	1 isolated optocoupler output (24 V DC, 50 mA, resistive, NPN type)			
Serial interface (USS variant)	RS485, for operation with USS protocol			
Motor cable length	max. 25 m (shielded) max. 50 m (unshielded)			
Electromagnetic compatibility	all devices with internal EMC filter for power drive systems in category C2 installations (restricted availability), limit complies with EN 55 011, Class A, Group 1	furthermore, all filtered devices with shielded cables with a max. length of 5 m comply with the limits of EN 55 011, Class B		
Braking	DC braking			
Protection level	IP20			
Temperature range	-10 °C to +40 °C up to +50 °C with derating			
Storage temperature	-40 °C to +70 °C			
Humidity	95% (non-condensing)			
Operational altitudes	up to 1000 m above sea level without derating Rated output current at 4000 m above sea level: 90% Supply voltage up to 2000 m above sea level: 100% at 4000 m above sea level: 75%			
Protection features for	undervoltage, overvoltage, earth faults, short circuits, stall prevention, $\beta t$ thermal motor protection, inverter over-temperature, motor over-temperature			
Conformity with standards	UL, cUL, CE, c-tick			
CE marking	conformity with EC low voltage directive 73/23/EEC			
Dimensions and weights (without options)	Frame size	Dimensions H x W x D	Weight, approx. (kg)	
	(FS)	mm	unfiltered	filtered
	<b>A</b> $\leq 0.37$ kW	150 x 90 x 116	0.7	0.8
	<b>A</b> 0.55 kW and 0.75 kW	150 x 90 x 131	0.8	0.9
	<b>A</b> $\leq 0.37$ kW with flat plate heatsink	150 x 90 x 101	0.6	0.7
	<b>A</b> 0.55 kW and 0.75 kW with flat plate heatsink	150 x 90 x 101	0.7	0.8
	<b>B</b>	160 x 140 x 142	1.4	1.5
	<b>C</b> 2.2 kW	181 x 184 x 152	1.9	2.1
	<b>C</b> 3.0 kW	181 x 184 x 152	2.0	2.2

## **Desenhos de Definição**