

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

FELIPE CRIVELATTI

**PROJETO E EXECUÇÃO DE UM MECANISMO DE
CREMALHEIRA/PINHÃO PARA IMPRESSORA 3D**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2015

FELIPE CRIVELATTI

**PROJETO E EXECUÇÃO DE UM MECANISMO DE
CREMALHEIRA/PINHÃO PARA IMPRESSORA 3D**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/*Campus* Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Ma. Kairin Ribeiro

Coorientador: Prof. Dr. Laércio Javarez Junior

PONTA GROSSA

2015



TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO E EXECUÇÃO DE UM MECANISMO DE CREMALHEIRA/PINHÃO PARA IMPRESSORA 3D

por

FELIPE CRIVELATTI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 26 de junho de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Ma. Kairin Cristine Ribeiro
Orientadora

Profa. Ma. Sandra Mara Kaminski Tramontin
Membro Titular

Prof. Me. José Roberto Okida
Membro Titular

Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Laercio Javarez Junior
Coordenador do Curso

RESUMO

CRIVELATTI, Felipe. Projeto e execução de um mecanismo de cremalheira/pinhão para uma máquina de prototipagem rápida por adição de camadas. 2015. 50 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

Este Trabalho de Conclusão de Curso, descreve o projeto, a fabricação e os testes preliminares de um sistema de cremalheira/pinhão para uma máquina de prototipagem rápida por adição de camadas. O mecanismo é construído através da própria prototipagem, utilizando como matéria prima o ABS (acrilonitrila – butadieno – estireno). Do ponto de vista morfológico, a cremalheira com configuração de dentes retos, fixada na mesa de deslocamento, através de parafusos e porcas; o pinhão, fixado no eixo do motor por pino; o motor que leva a rotação, e conseqüentemente o deslocamento da mesa, para atender as posições que a máquina de prototipagem necessitar. O sistema cremalheira pinhão; tem um custo extremamente baixo; versátil e de fácil fixação e montagem, qualificando-o para realizar diversos tipos de objetos na impressora. Os testes preliminares mostraram que o mecanismo realmente funciona e atende as condições e exposição de uso, compreendendo velocidade e precisão de fabricação.

Palavras-chave: Projeto. Cremalheira. Impressora 3D. ABS. Elementos de máquina. Kaizen.

ABSTRACT

CRIVELATTI, Felipe. Designing a ratchet mechanism / sprocket to a rapid prototyping machine by adding layers. 2015. 50 p. Work Completion of course (Mechanical Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2015.

This work describes the design, fabrication and preliminary testing of a system rack / pinion for rapid prototyping machine by adding layers. The mechanism is built through its own prototyping with material of ABS material. From the morphological point of view, the rack configuration with straight cog, set in the offset table through screws and nuts; the pinion fixed to the motor shaft by pin; which leads to the engine rotation, and consequently the displacement of the table, to fit the positions that need prototyping machine. The rack pinion system; It has an extremely low cost; Versatile and easy mounting and assembly, qualifying him to perform various types of objects in the printer. Preliminary tests showed that the mechanism actually works and meets the conditions of use and exposure, including speed and precision manufacturing.

Keywords: Project. Rack. 3D printer. ABS. Machine Elements. Kaizen.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeto no software SolidWorks ®	11
Figura 2 - Tecnologias de adição de material	15
Figura 3 - Fórmula química do ABS	17
Figura 4 - Copolímero ABS.....	18
Figura 5 - Engrenamento por dentes retos.....	20
Figura 6 - Deslocamento da cremalheira ao final de uma volta do pinhão	21
Figura 7 - Distância entre o eixo e a base da cremalheira	22
Figura 8 - Força tangencial horizontal.....	23
Figura 9 - Aplicação em portão automático	24
Figura 10 - Módulo em função da velocidade e da força tangencial para o aço sae 1045	26
Figura 11 – Método para a criação de objetos 3D	29
Figura 12 - Filamentos ABS para impressão 3D.....	30
Figura 13 - Modelo de deposição por fusão	31
Figura 14 – Pinhão na plataforma do software.....	32
Figura 15 – Cremalheira na plataforma do software	33
Figura 16 – Conjunto montado	35
Figura 17 – Início do processo de fabricação	34
Figura 18 – Obtendo forma	34
Figura 19 – Objeto finalizado.....	35
Figura 20 – Cremalheira acabada	35
Figura 21 – Fixação na base	36
Figura 22 – Sistema pronto para ser testado.....	37
Figura 23 – Curso final da mesa.....	37
Figura 24 - Fixação do motor na mesa de madeira.....	38
Figura 25 – Sistema instalado e em funcionamento	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escolha da distância entre o eixo e base da cremalheira	22
Tabela 2 – Fator de segurança	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrila-butadieno-estireno
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	Desenho assistido por computador
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
DAMEC	Departamento Acadêmico de Mecânica
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MA	Manufatura Aditivada
NBR	Norma brasileira
rpm	Rotações por minuto
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

H	Altura da seção de testes [m]
π	Número pi
ΔS	Deslocamento (m)
Δt	Variação de tempo (s)
Δv	Variação de velocidade (m/s)
m	Massa a ser movida (kg)
a	Aceleração linear (m/s)

Superescritos

®	Marca registrada
---	------------------

Subscritos

th	Orifício
------	----------

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 JUSTIFICATIVA	11
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Objetivo Geral:	12
1.2.2 Objetivos Específicos:	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 KAIZEN	13
2.2 INÍCIO DAS MÁQUINAS DE PROTOTIGEM	13
2.2.1 Manufatura aditivada (MA).....	14
2.2.2 Áreas de utilização:	16
2.2.3 Copolímero ABS	17
2.3 ELEMENTOS DE MÁQUINA.....	19
2.3.1 Cremalheira e pinhão.....	19
2.3.2 Dimensionamento do pinhão e a cremalheira.....	20
2.3.3 Dimensionamento da cremalheira de dentes retos	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS:	29
3.1 PROCESSO DE DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FUNDIDO – DESCRIÇÃO:	29
3.2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO:.....	31
3.3 OBTENÇÃO DAS PEÇAS IMPRESSAS PELA IMPRESSORA 3D:	34
3.4 INSTALAÇÃO DO SISTEMA PROJETADO E IMPRESSO:.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5 CONCLUSÃO.....	41
6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	42
REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a incessante busca por melhores resultados, ou seja, a melhoria contínua (Kaizen), encontra-se presente em todos os ramos do negócio. A ideia do presente trabalho reside exatamente nessa busca, pela melhoria constante.

As máquinas de prototipagem rápida vêm sendo muito estudadas nos últimos anos. Por se tratar da fabricação de protótipos e até mesmo do próprio produto com agilidade e custo baixo, tais máquinas trazem benefícios para diversos ramos da indústria.

Em um sistema de prototipagem rápida, existe uma mesa para fixação da peça a ser criada, que consiste no deslocamento no eixo x,y do objeto, para atingir as qualidades necessárias de dimensão e precisão da peça a ser confeccionada. Uma das maneiras para permitir o deslocamento dessa mesa, parte tão importante do equipamento, é por meio da correia dentada, sistema conhecido e utilizado para transferência de forças em equipamentos, como os automóveis. A correia dentada feita de borracha é capaz de atender parte das necessidades para o bom funcionamento desse tipo de equipamento, porém com algumas restrições. Um dessas restrições, quando usada em altas temperaturas (próxima de 100°C) é o aquecimento da borracha e consequente flexibilidade do polímero em temperaturas elevadas o que pode comprometer a movimentação da correia.

Visando extinguir problemas intrínsecos apresentados com uso da borracha nesse sistema e melhorar a qualidade e precisão do produto final, o presente trabalho sugere a alteração desse mecanismo de elementos de máquina e a construção de um sistema novo de cremalheira pinhão para locomover a mesa de fixação do objeto. O propósito, junto com as melhorias para o sistema, vem de encontro com a “auto-suficiência” da impressora 3D, pois a construção se dará a partir dela mesma.

Deve-se ressaltar que o presente trabalho acadêmico tem a intenção de alavancar as pesquisas e desenvolvimentos sobre o tema de máquina de prototipagem rápida por camadas.

1.1 JUSTIFICATIVA

O projeto trata-se da construção de um mecanismo de cremalheira/pinhão, feito de copolímero ABS e fabricado na própria impressora 3D. Todavia, devido ao projeto sair do zero e sem critérios de dimensionamento na literatura, a tarefa se torna mais complexa, demandando um maior trabalho e cuidado no desenvolvimento do projeto. Tal mecanismo será fabricado e utilizado para investigação experimental, que terá como foco o problema do aquecimento da mesa de movimentação, bem como a falta de precisão decorrente do aquecimento e da dilatação da correia dentada que promove o deslocamento dessa mesa. Cumpre ressaltar que o sistema de corrente o qual será substituído pela cremalheira/pinhão, é o responsável por toda precisão e qualidade no produto final. Na Figura 1, está apresentado o esquema do projeto a ser utilizado na movimentação da mesa, em substituição a correia de borracha.

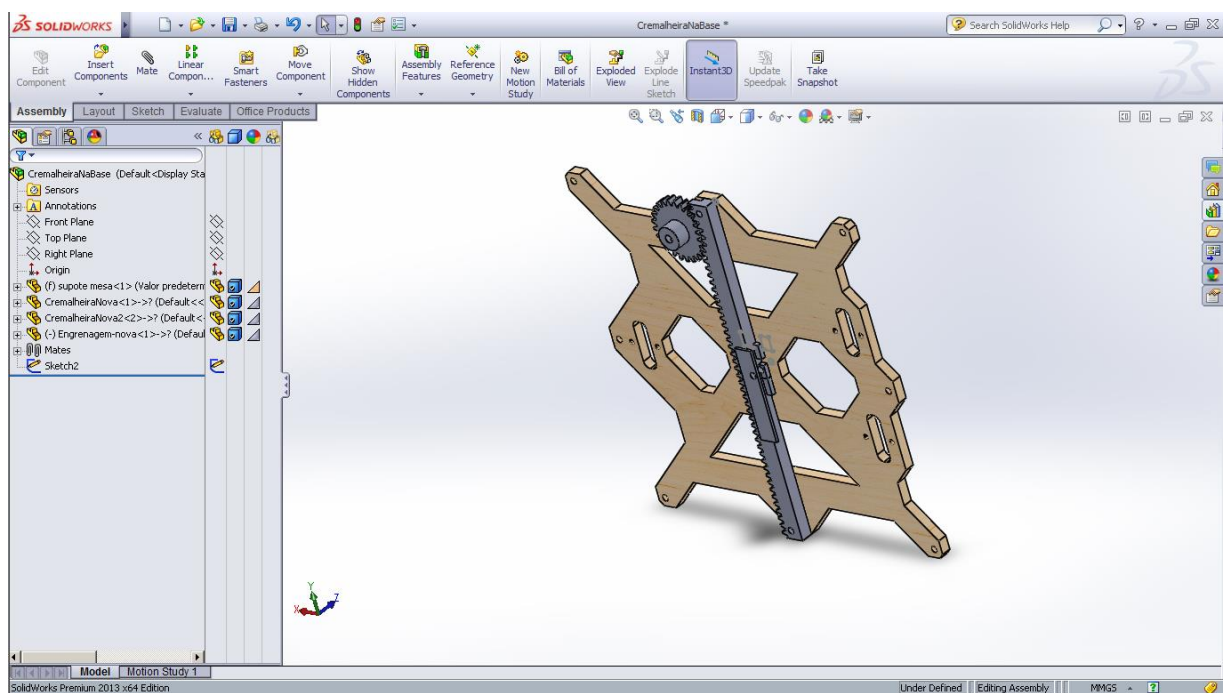


Figura 1 - Projeto no software SolidWorks ®

Fonte: Autoria própria

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral:

Descrever a concepção, projeto, fabricação e realização de testes preliminares de um mecanismo cremalheira/pinhão fabricado em uma impressora 3D, tendo como matéria prima, um material polimérico termoplástico.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Eliminar sistema de correia da impressora 3D;
- Eliminar problemas por aquecimento e dilatação do sistema antigo;
- Projetar sistema cremalheira/pinhão que atenda as solicitações da máquina;
- Checar o novo sistema garantindo uma precisão melhor do que o antigo;
- Buscar a auto fabricação do próprio produto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 KAIZEN

Kaizen é uma palavra de origem japonesa que significa melhoria contínua (kai = mudança; zen = melhorar). A palavra surgiu por volta dos anos 50, mais especificamente quando os japoneses retomaram as idéias do modelo administrativo de Taylor. A filosofia por ele criada, chamada de “Taylorismo”, não precisa ser aplicada necessariamente na organização, podendo também ser utilizada na vida pessoal e profissional. Esta ferramenta, em síntese, objetiva reduzir os desperdícios, tornar o processo mais produtivo e buscar novos produtos. Aplicando-a de forma correta é possível atingir uma estabilidade financeira e emocional, assim como um clima empresarial agradável. (Imai, 1986)

Segundo Martin e Osterling (2007), no contexto do processo produtivo atual, Kaizen tem como base a adoção de abordagens orientadas por processos, a melhoria do desempenho nas dimensões: qualidades, custos e prazo. A padronização no intento de manter os ganhos, a tomada de decisões com base em dados, a consideração do processo seguinte como um cliente e, por fim, a utilização do gerenciamento visual para que se possa compartilhar problemas com todos os envolvidos no processo.

Os chamados eventos Kaizen, emanam desta mesma filosofia. Todavia, são atividades utilizadas pelas organizações para angariar, de forma rápida, expressivas melhorias. Contam, pois, com o poder criativo de uma equipe de colaboradores para planejar e implementar novos métodos de realizar determinado trabalho (Manos, 2007), sendo que os benefícios oriundos do Kaizen podem ser de natureza quantitativa ou qualitativa.

A metodologia do Kaizen vem sendo muito aplicada para melhorar o desempenho das organizações. Como exemplo, no Brasil, a Mercedes Benz já realizou centenas de eventos deste condão e obteve significativa redução de tempos de ciclo, de custos, setups entre outros benefícios. (Smadi, 2009)

2.2 INÍCIO DAS MÁQUINAS DE PROTOTIGEM

A Prototipagem Rápida (PR), segundo Santos (2006), surgiu há mais de 20 anos, sendo utilizada para a fabricação de protótipos feito apenas de material com base em polímero e tendo como objetivo a comunicação e a inspeção. Ressalta-se que a PR é uma expressão que abrange tecnologia de produção de peças de precisão diretamente de modelos CAD (PHAM

and GAULT 1998). Com os protótipos impressos através da PR, torna-se possível o teste e o manuseio do objeto, possibilitando também que os envolvidos no projeto tirem suas dúvidas de forma mais rápida e obtenham um expressivo ganho de tempo.

A utilização do polímero, enquanto material, limitava essa tecnologia. Contudo, novos estudos foram realizados para a descoberta de outros materiais capazes de serem utilizados na PR, um exemplo recente é com a utilização de titânio para confecção de próteses para área biomédica. Tal transição é o ponto culminante de uma série de evoluções no que diz respeito a materiais e processos, combinados com redução de custos. (CAMPBELL et al, 2012)

A partir desses estudos, máquinas com capacidade de usar diferentes materiais de base foram de fato criadas. Karasinski (2013), em uma publicação de infográfico, enumerou os materiais que, atualmente, podem ser utilizados como material base para o produto, como: polímeros tais como copolímero de ABS, metais e compósitos.

Assim, com o avanço dos estudos, as peças fabricadas nas máquinas de prototipagem rápida ganharam uma grande precisão, bem como tornou-se possível a utilização da impressora no próprio local projetado, sem que fossem necessários outros processos para auxiliar na conclusão. A prototipagem rápida passou então a se chamar Manufatura Aditiva (MA).

2.2.1 Manufatura aditivada (MA)

Diversos trabalhos sobre a MA foram publicados recentemente. Thrimurthulu et al, (2004), Brajlilih et al, (2011) e Mellor et al, (2012) tratam em seus trabalhos sobre diversos assuntos que dizem respeito MA, como exemplo, os diferentes tipos de materiais já impressos, as diferentes formas de impressão no processo e a qualidade superficial dos diferentes tipos de materiais impressos.

O MA pode ser definido como sendo um processo de fusão de material e adição por *layers*. As *layers* são colocadas uma sobre a outra por diversos modos de processo e fusão, até que se consiga o objeto acabado.

Considerando a diversidade de materiais que podem ser impressos, surgiram diferentes tipos de máquinas para atender a demanda, assim como processos com peculiaridades diferentes na fabricação do produto final. Pham e Gault (1998), inclusive, usaram seu trabalho para explicar os diferentes tipos de MA existentes, construíram o fluxograma apresentado na Figura 2, para a melhor compreensão do processo.

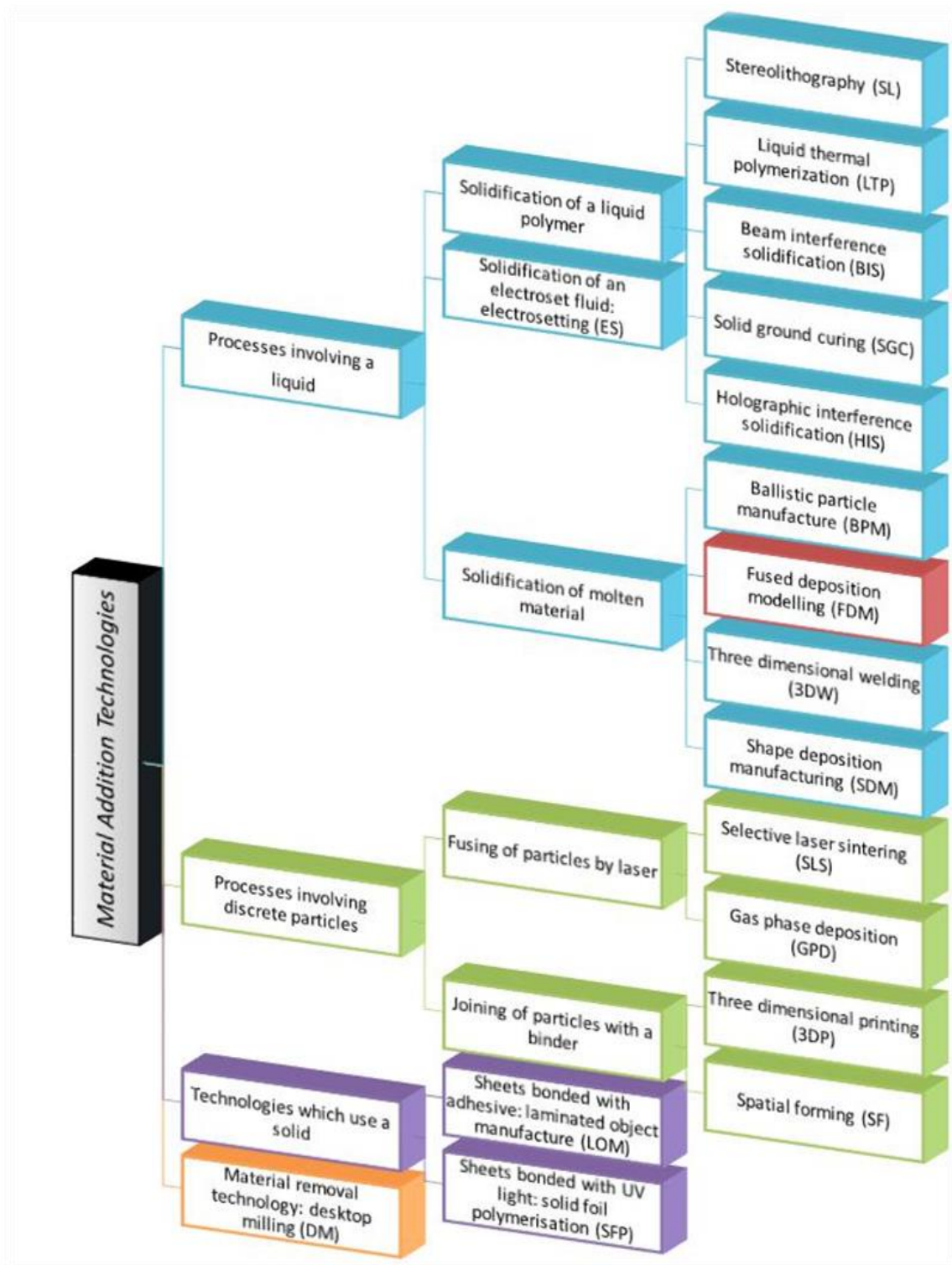


Figura 2 - Tecnologias de adição de material

Mellor *et al*, (2012) e Campbell *et al*, (2012) revelam que existe um grande número de tecnologias já aplicadas comercialmente por empresas. Como algumas das mais utilizadas pode-se citar a *stereolithography (SL)* pela 3D systems, a *fused deposition modelling (FDM)*

pela Stratasys.

Para que se possa obter peças através da MA, alguns processos devem ser observados. Gibson *et al*, (2010) em seu livro publicado, mostra as etapas para a obtenção de peças com MA:

- Projeto em software CAD;
- Conversão para formato STL;
- Transferência do formato STL para a máquina;
- Ajustes da máquina;
- Impressão;
- Remoção da peça da máquina;
- Limpeza.

No projeto em CAD, são os desenhos feitos em computador, cujas medidas são informadas no programa e as figuras em 3D são geradas. SolidWorks, Solid Edge, Inventor são programas CAD mais frequentes para esse tipo de tarefa. O formato STL é formado, em muitas vezes existentes, pelos próprios programas de CAD. Tal formato é uma extensão de arquivo que possui as informações da peça 3D repartidas em finas *layers*.

Os ajustes são realizados de máquina para máquina, em razão dos diferentes processos de impressão envolvidos. Nesta etapa de ajustes, programas particulares de cada máquina criam códigos que definem a sua movimentação, e a sua impressão propriamente dita. As últimas etapas, as quais exigem processos manuais, são a remoção da peça e a limpeza.

2.2.2 Áreas de utilização:

Com a vasta gama de materiais que hoje podem ser impressos, as aplicações de objetos em três dimensões de impressão por MA são inimagináveis. Campbell *et al*, (2012), exemplificou algumas das áreas também beneficiadas:

- Os fabricantes automotivos utilizam-se da MA pois ela é capaz de ajudar os novos produtos a chegar ao mercado de uma forma mais rápida e previsível.
- As empresas aeroespaciais interessam-se na tecnologia da MA pois ela é capaz de obter produtos imensamente complexos e de alto desempenho.

- As indústrias médicas estão especialmente interessadas nesta tecnologia em razão da facilidade em que os dados de imagens médicas 3D podem ser convertidos em objetos sólidos.

Murugesan *et al*, (2012) defende que uma das vantagens deste sistema é que ele pode ser tido como um mecanismo de prototipagem de mesa em um escritório de design, considerando que os materiais utilizados são baratos, não-tóxicos, não possuem cheiro e são ambientalmente corretos.

Outrossim, há no mercado uma grande variedade de cores e materiais que podem ser usados no processo, como o plástico ABS, o ABS da classe médica (MABS) e os elastômeros.

2.2.3 Copolímero ABS

O ABS (acrilonitrila butadieno estireno, em inglês “acrylonitrile butadiene styrene”) é um copolímero composto pela combinação acrilonitrila, butadieno e estireno. A fórmula química do ABS é $(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$, cuja representação encontra-se na Figura 3.

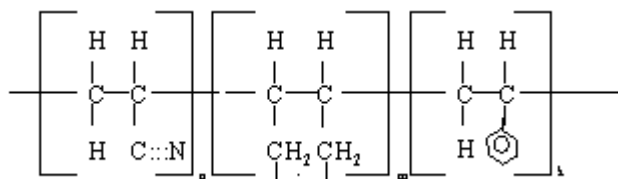


Figura 3 – Fórmula química do ABS

Fonte: Disponível em <www.pnt-eg.com>. Acesso em 05/06/2015

Para melhor destacar algumas especificidades dos componentes de sua composição: a acrilonitrila é um monômero sintético que é produzido a partir do hidrocarboneto propileno e amoníaco; o butadieno é obtido pela desidrogenação do butano, sendo o componente responsável pela resiliência do produto; e o estireno é o componente responsável pela processabilidade e rigidez, sendo produzido pela desidrogenação do etilbenzeno, que é um hidrocarboneto aromático obtido da reação do etileno com obenzeno (INNOVA, 2013; ADIPLAST)

As propriedades do ABS podem ser variadas de acordo com proporção dos componentes na fórmula. Isso dependerá da utilização final do produto para que o ABS se destina. As formas usuais de processamento do ABS, pode-se ser através de: moldação por injeção e extrusão (RESINEX, 2014).

O copolímero ABS forma um material termoplástico rígido e leve, mostrado na

Figura 5, possui flexibilidade e resistência na absorção do impacto. Pode assumir diversas formas e cores por meio da moldagem térmica em altas temperaturas e adição de pigmentos. No que tange à coloração, o ABS pode reproduzir cores bastante vívidas e saturadas, variando nas suas propriedades de reflexão e refração da luz (ADIPLAST, 2014).

Pode-se elencar como características do ABS a ótima resistência química, assim como a resistência a altas e baixas temperaturas, à tração, à flexão e ao impacto; a rigidez, a estabilidade dimensional e boas propriedades elétricas; a facilidade do processamento, permitindo a alta produtividade; e a possibilidade de incorporação de aditivos e cargas (ADN PLÁSTICOS, 2013).

A utilização do plástico ABS é muito difundida em diversos produtos, sejam eles da indústria, do comércio ou das próprias residências. À título exemplificativo, cita-se a utilização em brinquedos, bens de consumo, telefones, capacetes de segurança, painéis interiores de automóveis, pilares e carcaças para espelho dos automóveis, cobertura para tratores, interiores para frigoríficos, carcaças para aparelhos de cozinha, aspiradores, impressoras e aparelhos de ar condicionado (RESINEX, 2014). O ABS pode ser comercializado em forma de *pellets* conforme a Figura 4.

Em relação aos custos de produção, a produção de um quilo de ABS requer o equivalente a aproximadamente dois quilos de petróleo para as matérias-primas e energia gastas na produção do plástico. Ressalte-se, por fim, que a utilização do ABS é econômica e eficaz, o que o torna um produto altamente desejável no mercado (ADIPLAST, 2014).



Figura 4 – Copolímero ABS

Fonte: Disponível em <www.ecoassist.com.br>. Acesso em 01/05/2015

2.3 ELEMENTOS DE MÁQUINA

Um projeto de máquina sempre surge com nítido objetivo de satisfazer uma necessidade, seja ela industrial, comercial, ou mesmo para lazer. Decorre da habilidade de alguém ou de um grupo para materializar uma ideia, transformando-a em um projeto de mecanismo que se destina a executar uma tarefa específica, de acordo com a necessidade em voga (SHIGLEY, 1984).

Dessa forma, importante se faz o estudo detalhado das partes de um projeto de máquina, mais especificamente a forma como é montado, e o tamanho e localização das partes componentes, como engrenagens, parafusos, molas, arruelas, porcas, mancais, entre outras. O projeto em si passa por várias revisões ao longo do tempo, sendo que idéias melhores substituem as iniciais até que se escolha aquela que parece mais conveniente, conhecida pela metodologia do Kaizen, de melhoria continua.

Verifica-se que os elementos de máquinas podem ser classificados em grupos, conforme sua função. Dentre os vários elementos de máquinas existentes, pode-se citar os alguns elementos como, parafusos, porcas e arruelas; os elementos de transmissão, como correias e polias, cremalheiras e pinhão; e os elementos de apoio, como mancais, guias e rolamentos (MELCONIAN, 2008).

Existem algumas características ou considerações que influenciam quando da seleção de um elemento de máquina. Nesse sentido, pode-se elencar a resistência, a confiabilidade, a utilidade, o custo e peso. A escolha e o dimensionamento dos elementos de máquina exige do projetista conhecimentos básicos, como: Conhecimentos sobre a resistência dos materiais e conceitos de mecânica aplicados, a parte econômica do projeto, assim como ter conhecimento sobre os processos de fabricação; Conhecimentos sobre o dimensionamento, que se trata da determinação das dimensões de um elemento de máquina de forma que seja hábil a resistir e a garantir o bom funcionamento da peça ou do equipamento, durante o trabalho a ser executado. (SHIGLEY, 1984)

2.3.1 Cremalheira e pinhão

A cremalheira é um dispositivo mecânico de formato reto que auxilia na realização de movimento vertical e horizontal, bem como permite o transporte de diversas cargas. De outra banda, o conjunto pinhão/cremalheira consiste em um sistema em que a coroa (que é própria cremalheira) tem um diâmetro infinito, tornando-se reta. Os dentes, por sua vez,

podem ser retos ou inclinados, dependendo das necessidades e variáveis envolvidas no projeto (MELCONIAN, 2008).

Seu dimensionamento se parece com as engrenagens cilíndricas retas ou helicoidais, o problema, contudo, é que a cremalheira é linear, e não circular como a maioria dos sistemas. O conjunto pinhão/cremalheira (Figura 5) denota o conhecimento sobre as cargas e as solicitações que o sistema de transmissão estará submetido, isto para que se possa optar pelo melhor dimensionamento dos elementos (SHIGLEY, 1984).

Para determinação do módulo da cremalheira, foram utilizados gráficos da velocidade em função da força tangencial de acordo com o material do catálogo da empresa espanhola Koom.

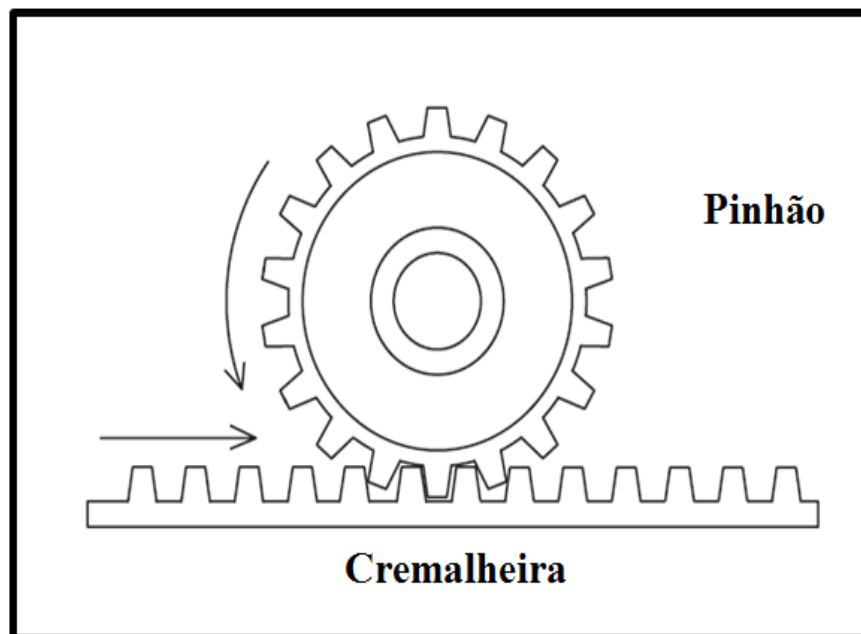


Figura 5 – Engrenamento por dentes retos

Fonte: Transmissão e transformação de movimento (Clube da Eletrônica/Mecânica)

2.3.2 Dimensionamento do pinhão e a cremalheira

O sistema pinhão/cremalheira consiste em um dispositivo mecânico projetado para funcionar por longos períodos de trabalho, sempre mantendo sua funcionalidade. Para que se possa realizar um projeto desse condão, é necessário o emprego da ciência em conjunto com toda a criatividade e arte inerente à engenharia (SHIGLEY, 1984).

Utilizando-se o modelo de dentes retos, mostrado na Figura 6, facilita-se a realização do dimensionamento e também se tem a vantagem de permitir grandes relações de transmissão. Por outro lado, há uma desvantagem na utilização desses modelos, qual seja, a

geração de ruídos excessivos quando submetidos a altas rotações. Já a engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais é apropriada para cargas e velocidade elevadas (LOPES; GALDINO, 2013. p. 128).

Na Equação 1, é usada para se calcular o espaço percorrido pelo pinhão e, relação à cremalheira em uma rotação completa:

$$e = \pi \cdot d \quad (1)$$

Sendo,

e = espaço percorrido em uma rotação do pinhão

d = diâmetro primitivo do pinhão.

O diâmetro primitivo (d), por sua vez, é obtido através do produto entre o módulo do engrenamento (m) e o número de dentes (z), conforme a equação 2 (LOPES; GALDINO, 2013. p. 129).

$$d = m \cdot Z \quad (2)$$

Colocando a equação 2 na equação 1, consegue-se o espaço percorrido em uma volta:

$$e = \pi \cdot m \cdot Z \quad (3)$$

Para o melhor entendimento do espaço percorrido em uma volta, temos a ilustração apresentada na Figura 6 (LOPES; GALDINO, 2013. p. 129):

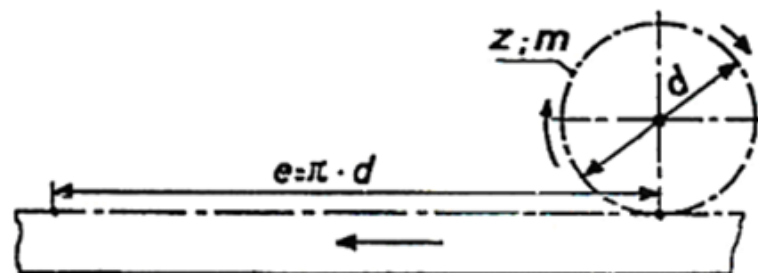


Figura 6 - Deslocamento da cremalheira em uma volta do pinhão

Fonte: Disponível em <<http://elearning.iefp.pt>> . Acesso em 10/02/2015

Os dados para verificação das distâncias de montagem do conjunto pinhão/cremalheira, segundo o catálogo da Koom, permitem que o encaixe seja o melhor possível, visto que é necessário respeitar a distância entre o eixo do pinhão e a base da cremalheira. Essa dimensão depende do módulo, do diâmetro, do eixo e se o pinhão é reto ou helicoidal. Também, existe uma distância correta e específica para cada pinhão, conforme indicado na Figura 7 (LOPES; GALDINO, 2013. p. 129-130):

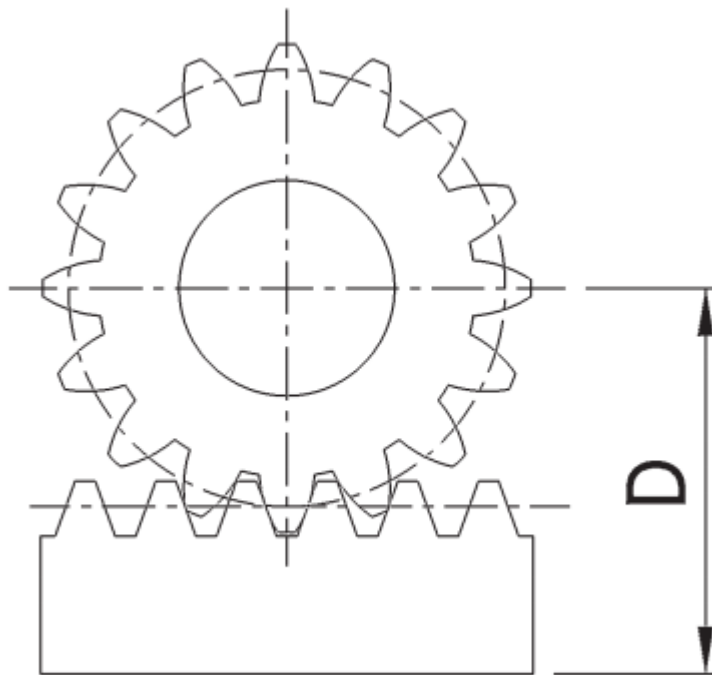


Figura 7 - Distância entre o eixo e a base da cremalheira
Fonte: Catálogo da Koom

A Tabela 1 expõe a relação entre a cota D, o número de dentes do pinhão e o módulo do engrenamento para pinhão com dentes retos, com base no catálogo Koom (LOPES; GALDINO, 2013. p. 130).

Tabela 1 - Escolha da distância entre eixo e base da cremalheira

Z	DIMENSÕES DA COTA "D"						
	Módulo do Pinhão com dentes retos (m)						
	2	3	4	5	6	8	10
18	-	62	81	104	-	157	195
20	-	65	85	109	125	165	205
22	-	68	89	114	131	173	215
24	50	71	93	119	137	181	225
26	52	74	97	124	143	189	235
28	54	-	-	129	149	197	-
30	56	-	-	-	155	-	-
32	58	-	-	-	161	-	-

Fonte: Catálogo Koom

2.3.3 Dimensionamento da cremalheira de dentes retos

A função da cremalheira é realizar a transformação de um movimento circular, gerado por um motor (rpm), que será transmitido por um pinhão em movimento retilíneo (LOPES; GALDINO, 2013. p. 131).

O primeiro passo para o dimensionamento de uma cremalheira é definir a velocidade linear máxima desejada para o projeto. Para tanto, utiliza-se a equação 4 (HALLIDAY, 2012), devendo ser incluído o espaço percorrido (ΔS) e o intervalo de tempo desejado (Δt), para que se possa completar esse espaço com a velocidade máxima (LOPES; GALDINO, 2013. p. 131).

$$v = \Delta S / \Delta t \quad (4)$$

Depois de se obter a velocidade máxima, *mister* determinar a aceleração (a) do sistema para que ele possa sair do repouso e atingir essa velocidade máxima. Para isso, a utilização da equação 5 (Hibbeler, 2011). Novamente o projetista deverá avaliar qual o melhor intervalo de tempo (Δt) para essa variação de velocidade (Δv) (LOPES, José Carlos Leite; GALDINO, Luciano, 2013. p. 131).

$$a = \Delta v / \Delta t \quad (5)$$

Na próxima etapa, é fazer um estudo das forças que estão envolvidas nessa transmissão. Devem ser consideradas, inicialmente, duas opções: a força tangencial horizontal (ilustrada na Figura 8) e/ou a força tangencial vertical. (LOPES; GALDINO, 2013. p. 131).

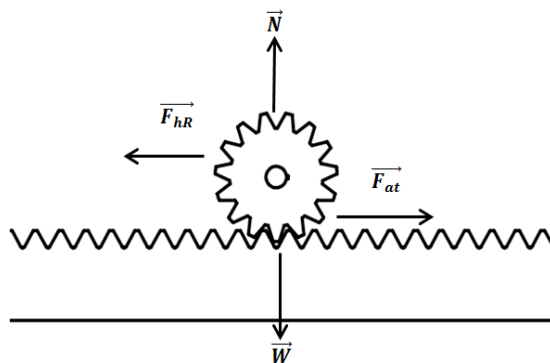


Figura 8 - Força tangencial horizontal
Fonte: Autoria própria

Um exemplo de aplicação verificada para força tangencial horizontal está ilustrado na Figura 9.



Figura 9 - Aplicação em portão automático
Fonte: RLG - Indústria e Equipamentos de Segurança Ltda.

A força tangencial horizontal real é definida a partir da segunda lei de Newton, e depende da força de atrito, da força peso e da força normal, como se observa na figura 8 (LOPES; GALDINO, 2013. p. 133).

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (6)$$

Onde: m= massa a ser movida (kg), a= aceleração linear (m/s)

Assim, substituindo as forças envolvidas na equação 6, tem-se:

$$F_{hR} - F_{at} = m \cdot a$$

Como a força de atrito é coeficiente de atrito multiplicado pela normal, a força normal igual a força peso, (=) e a força peso por m.g, então obtém-se a equação que determina a força horizontal real , na Equação 7 (LOPES; GALDINO, 2013. p. 134):

$$F_{hR} - \mu \cdot m \cdot g = m \cdot a$$

$$F_{hR} = m \cdot (g \cdot \mu + a) \quad (7)$$

F_{hR} = Força horizontal real (N)

Em um primeiro momento são calculadas as forças tangencias reais e, logo após, devem ser realizados os cálculos para conhecer a força tangencial corrigida. Para isso, deve-se adotar um fator de segurança, o qual oscila entre 1,5 e 3. Esse fator está relacionado em função do tempo que o equipamento é utilizado e o tipo de carga que o mesmo está submetido, conforme demonstrado na Tabela 2 (LOPES; GALDINO, 2013. p. 134).

Tabela 2 – Fator de segurança

TEMPO DE TRABALHO	TIPO DE CARGA		
	Uniforme	Moderada	Severa
Ocasional (1/2 hora)	1,5	1,8	2,3
Intermediário (3 horas)	1,8	2	2,5
8 a 10 horas	2	2,25	2,8
24 horas	2	2,5	3

Fonte: Catálogo Koom

Escolhendo o coeficiente de segurança adequado, basta multiplicá-lo pelos valores das forças reais. Assim, obtém-se as forças tangencias verticais corrigidas (equação 9) (LOPES, José Carlos Leite; GALDINO, Luciano, 2013. p. 134).

$$F_{hc} = F_{ht} \cdot K \quad (9)$$

Sendo,

F_{hc} : Força tangencial horizontal corrigida (N)

Com todos os valores das forças corrigidas e da velocidade é possível selecionar o módulo adequado, conforme figuras 7, 8 e 9. (LOPES; GALDINO, 2013. p. 135).

A análise é realizada cruzando a força tangencial (eixo x) com a velocidade linear (eixo y), sendo que o ponto de intersecção marca o módulo de transmissão. (LOPES; GALDINO, 2013. p. 135).

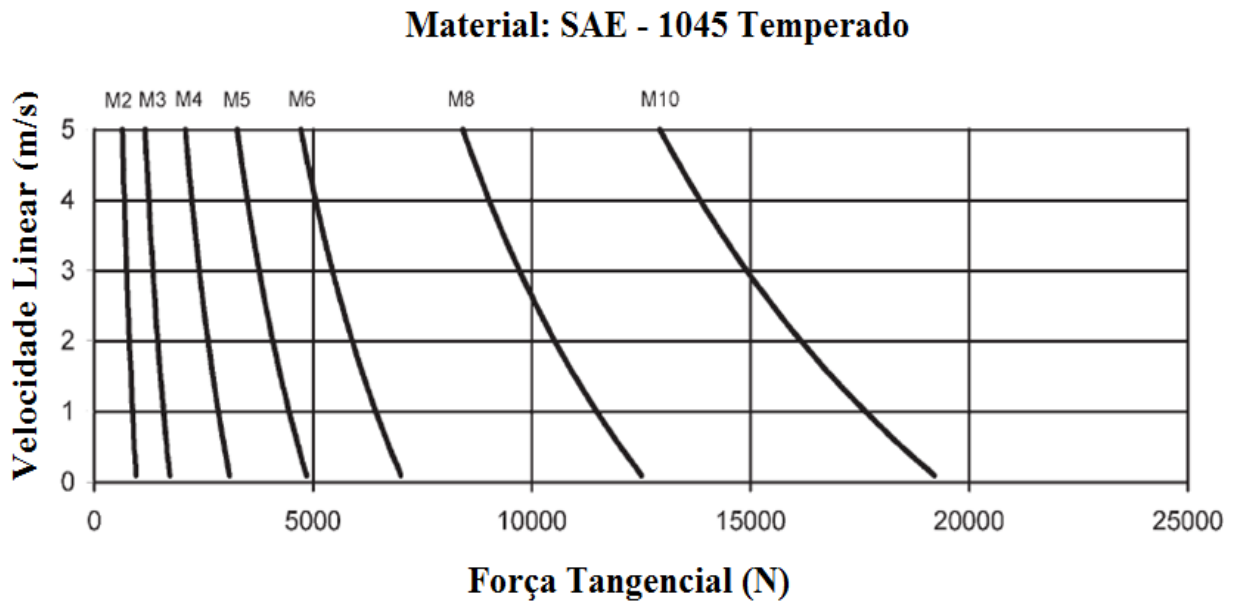


Figura 10 - Módulo em função da velocidade e da força tangencial para o aço sae 1045

Fonte: Catálogo da Koom

Após, com o valor do módulo já determinado, resta consultar a Tabela 1 e selecionar o número de dentes que o pinhão deve possuir e, conseqüentemente, o valor da distância do centro do pinhão à base da cremalheira. A largura da cremalheira deve possuir, no mínimo, a mesma largura que será definida no dimensionamento do pinhão através da análise do critério de desgaste e também da resistência da flexão no pé do dente (LOPES; GALDINO, 2013. p. 136).

Para se auferir o diâmetro primitivo do pinhão é preciso tão somente utilizar a equação 2, pois agora já se tem os valores do módulo e do número de dentes (LOPES; GALDINO, 2013. p. 136).

De acordo com os ensinamentos de Melconian (2008 apud LOPES; GALDINO, 2013. p. 136), o torque (MT) é definido como a produto da força tangencial (F) pelo raio (R). Como o raio é metade do diâmetro primitivo (d) e sabendo que existe uma perda de rendimento (n) na transmissão pinhão/cremalheira, o torque pode então ser obtido através da equação 10.

$$MT = d.F/2. \pi \quad (10)$$

A potência mecânica (P) para fazer com que o mecanismo funcione de forma correta pode ser determinada por meio da equação abaixo. (LOPES; GALDINO, 2013. p.136).

$$P = F \cdot v \quad (11)$$

Já a rotação (n) é calculada pela equação 12:

$$n = 30 \cdot P / \pi \cdot MT \quad (12)$$

Tendo em vista que já se tem os valores do diâmetro primitivo do módulo e do número de dentes, o critério de desgaste fica resumido, pois falta apenas determinar a largura do pinhão, que será a mesma para a cremalheira. Para tanto, utiliza-se a equação 13 (MELCONIAN, 2008 apud LOPES; GALDINO, 2013. p. 137).

$$y = bd \quad (13)$$

Onde: b = largura do pinhão/cremalheira, e d = Diâmetro primitivo do pinhão

O valor de y, segundo Melconian (2008 apud LOPES; GALDINO, 2013. p. 128), depende de como o pinhão estará apoiado. Para engrenagem apoiada o valor de y deve ser < 1,2 e para engrenagem em balanço o valor de y deve ser < 0,75.

Cabe agora analisar o critério de resistência à flexão do dente para averiguar se as dimensões do pinhão não estão subdimensionadas. Para isso deve-se calcular a tensão máxima no pé do dente, expressa pela equação 14, e comparar o resultado com a tensão admissível do material utilizado (LOPES; GALDINO, 2013. p. 137).

$$\sigma_{m\acute{a}x} = F \cdot q \cdot \phi b \cdot m \ll \bar{\sigma}_{mat} \quad (14)$$

Destaque-se que, se a tensão máxima de flexão no pé do dente for menor que a tensão admissível do material, o pinhão estará aprovado. Caso o resultado seja maior do que a tensão admissível, o pinhão deverá ser redimensionado. As grandezas que podem ser redimensionadas são a largura e o módulo. Recomenda-se, se possível, redimensionar a largura, pois a alteração desta não irá interferir em outras grandezas, sendo apenas necessário recalcular por meio da equação 15, e depois testar novamente a razão b/d, conforme equação 14 (LOPES; GALDINO, 2013. p. 137).

$$b = F \cdot q \cdot \bar{\sigma}_{mat} \cdot m \quad (15)$$

Na hipótese de não ser possível redimensionar a largura por limitações do projeto, então se deve redimensionar o módulo através da equação 16. Contudo, alterando-se o módulo, automaticamente deverá ser alterado o diâmetro primitivo, modificando, por consequência, os valores do torque, potência e rotação, que também deverão ser testados novamente à razão b/d, conforme equação 14 (LOPES; GALDINO, 2013. p. 137).

$$m = F \cdot q \cdot \bar{\sigma}_{mat} \cdot b \quad (16)$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS:

3.1 PROCESSO DE DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FUNDIDO – DESCRIÇÃO:

O processo Deposição de Material Fundido (FDM) encontra-se na Figura 11. O processo FDM foi patenteado por Crump (1992). Ele explica que a composição do maquinário é, basicamente, uma cabeça de deposição móvel, cujo suplemento de material solidifica a uma temperatura predeterminada. Ademais, a base movimenta-se de acordo com os eixos X, Y e Z, sendo que tal movimentação composta é capaz de criar componentes 3D por meio da deposição do material por camadas.

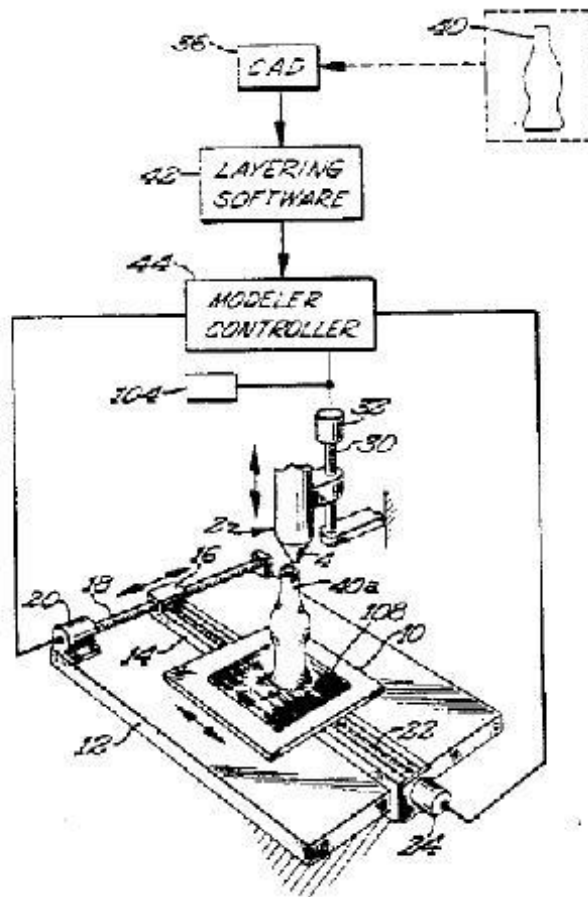


Figura 11 - Método para a criação de objetos 3D
Fonte: (CRUMP 1992)

O FDM trata-se de um entre os diversos processos existentes para a criação de impressos em 3 dimensões. Assim como todos os outros processos, ele apresenta algumas particularidades.

Gibson *et al*, (2010) explica que o processo para impressão de FDM origina-se dos seguintes passos:

- Carregamento do material;
- Derretimento do material;
- Aplicação de pressão para forçar o material a sair pelo bocal;
- Extrusão;
- Impressão de acordo com um caminho predeterminado e de uma forma controlada;
- União do material a si mesmo ou de materiais de construção secundários, para formar uma estrutura sólida coerente;
- Inclusão de estruturas de suporte para auxiliar recursos de geometria complexa.

Os materiais impressos pelos processos FDM são polímeros como ABS, acrílico, PLA, entre outros. Para serem impressos, estes materiais são fabricados em filamentos de diferentes cores e enrolados em forma de rolos cilíndricos, conforme se observa na Figura 12.



Figura 12 – Filamentos ABS para impressão 3D
Fonte: www.frenteirasemfim.com.br acesso em 25/04/2015

Como no primeiro passo explicado por Gibson (2010), os filamentos são acoplados à máquina FDM, sendo que a ponta é levada ao cabeçote da extrusora. Os três próximos passos são executados pelo cabeçote extrusor, o qual aquece o material até 0.5°C acima do ponto de fusão. Isso faz com que o material se solidifique 0.1 segundos após a extrusão, soldando-se com as outras camadas já extrudadas. (PHAM *et al* 1998).

Já na impressão, que pode ser subdividida em outras duas etapas:

1^a – Movimento nos eixos X e Y juntamente com a extrusão. Aqui, as velocidades de movimento dos eixos assumem papel de grande importância. Se muito rápida, exige-se do cabeçote uma extrusão maior e, se muito lenta, pode-se ocasionar na aglomeração de material.

2^a – Movimento ou do cabeçote ou da base de impressão no eixo Z. Esta distância deve ser igual ou um pouco superior do que largura das camadas impressas.

E esse processo se comporta de forma repetitiva, formando *layers* na peça. A inclusão de materiais de apoio se dá, algumas vezes, de forma manual e, de outras, pelos próprios bicos injetores.

A Figura 13 mostra os eixos, o cabeçote da extrusora, os materiais de apoio e o filamento explicado na quinta etapa proposta por Gibson.

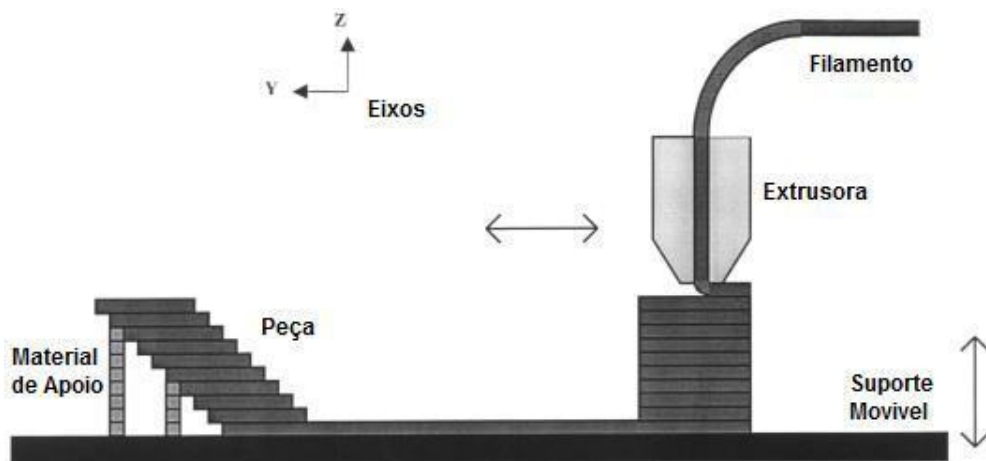


Figura 13 – Modelo de deposição por fusão
 Fonte: PHAN (1998) editado.

Os passos supracitados, portanto, são particularidades do processo de MA por FDM.

3.2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO:

O projeto tem início com o dimensionamento do sistema, através do embasamento teórico apresentado na revisão bibliográfica, obtém-se os valores necessários para dar início

ao projeto em CAD, propriamente dito.

Com todo dimensionamento necessário começasse o processo de *design* na ferramenta CAD, nesse caso foi utilizado o software SolidWorks 2013. O primeiro item a ser projetado é o pinhão, é necessário colocar os dados conseguidos de forma teórica nessa etapa, são utilizados: módulo de engrenamento, diâmetros, número de dentes, ângulo de pressão, forma de fixação no motor, com isso, consegue-se o objeto proposto, conforme Figura 14. Todos os dados necessários para fabricação do objeto, são obtidos de forma exclusiva para necessidade e condições de processamento da impressora 3d, a maneira de obter esse entendimento, foi de tentativa e erro, observando a qualidade do material e a dificuldade para derretimento do polímero na formação dos dentes. Para o caso particular desse sistema, é acrescentado um ressalto vazado para fixação no motor.

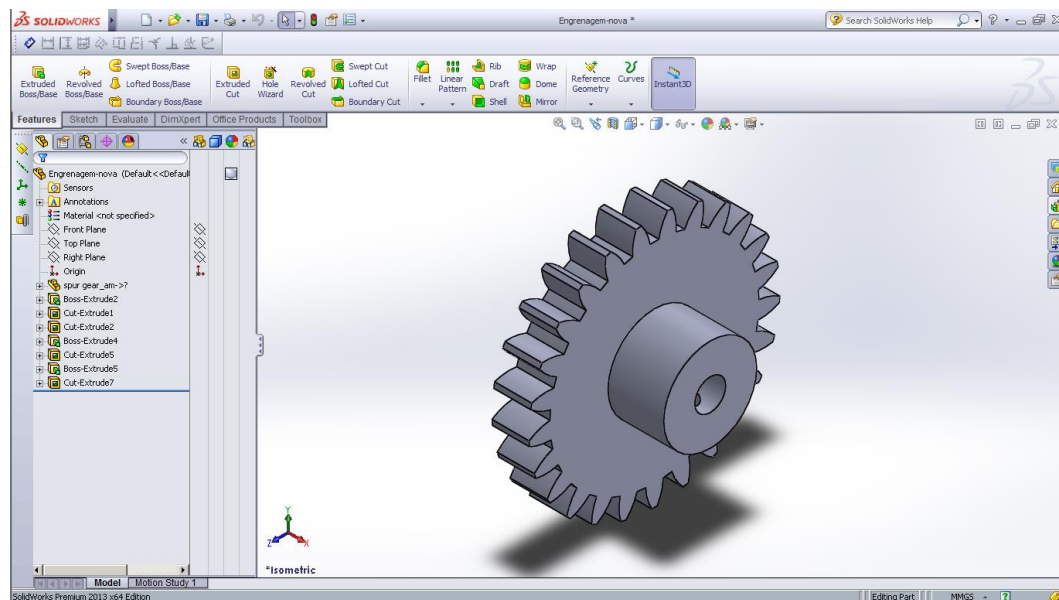


Figura 14 – Pinhão na plataforma do software

Fonte: Autoria própria

Com o projeto do pinhão finalizado, dá-se sequência ao segundo item a ser confeccionado, a cremalheira. Da mesma forma que aconteceu com o pinhão, a cremalheira necessita dos *inputs* de valores teóricos para dar início ao projeto. Dimensionando com todos esses itens: quantidade de dentes, módulo de engrenamento, comprimento, a cremalheira é formada no software. A Figura 15 ilustra o produto final projetado.

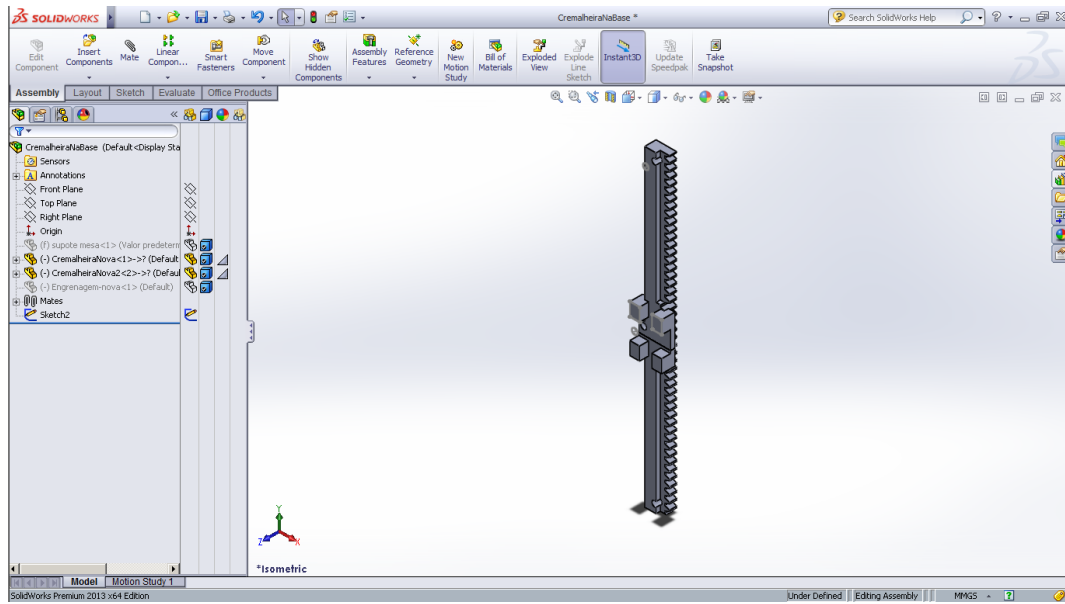


Figura 15 - Cremalheira na plataforma do CAD

Fonte: Autoria própria

Para efeito de teste e simulação do sistema na máquina, é montado todo o mecanismo em uma mesa virtual, com as mesmas características e dimensões da qual será montada fisicamente, 250mm de comprimento com 7mm de espessura e uma largura de 6mm, mostrado na Figura 16. Com isso, pode-se realizar testes estáticos e dinâmicos, afim de prever erros que possam ocorrer no projeto real.

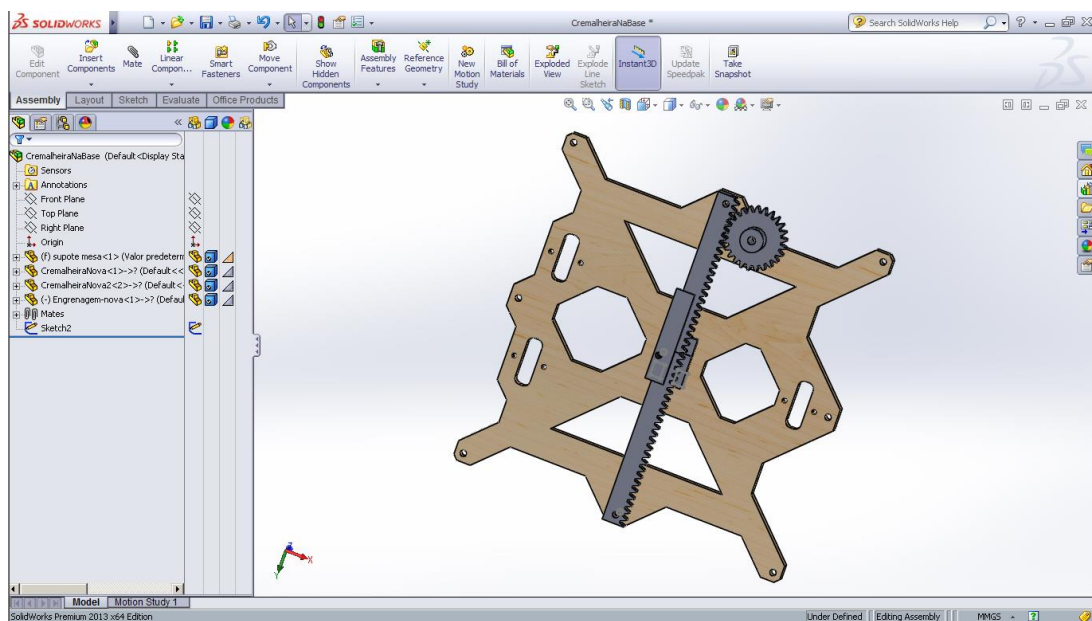


Figura 16 – Conjunto montado

Fonte: Autoria própria

3.3 OBTENÇÃO DAS PEÇAS IMPRESSAS PELA IMPRESSORA 3D:

Com todos os projetos finalizados, é feita a transferência do desenho para máquina de prototipagem por camadas, sendo que o software se ajustará para fornecer a melhor maneira de fabricação para esse caso. Durante a impressão das peças em ABS, utiliza-se um fator de preenchimento de 30%, o que corresponde que a peça não será maciça, e um preenchimento de 100% na região dos dentes, os quais serão necessários os maiores esforços mecânicos. Esses parâmetros são setados em vista de uma possível deformação e curvamento da peça, por problemas de resfriamento, pelo fato de resfriar um local da peça e o outro ainda possuir uma temperatura elevada, devido ao tempo de preenchimento necessário. As Figuras 17,18 e 19 mostram a sequência de fabricação do pinhão, e a Figura 20 a cremalheira.

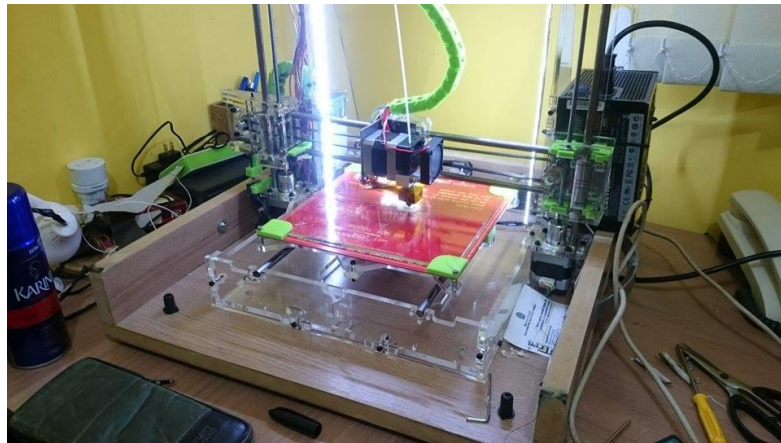


Figura 17 – Início do processo de fabricação
Fonte: Autoria própria

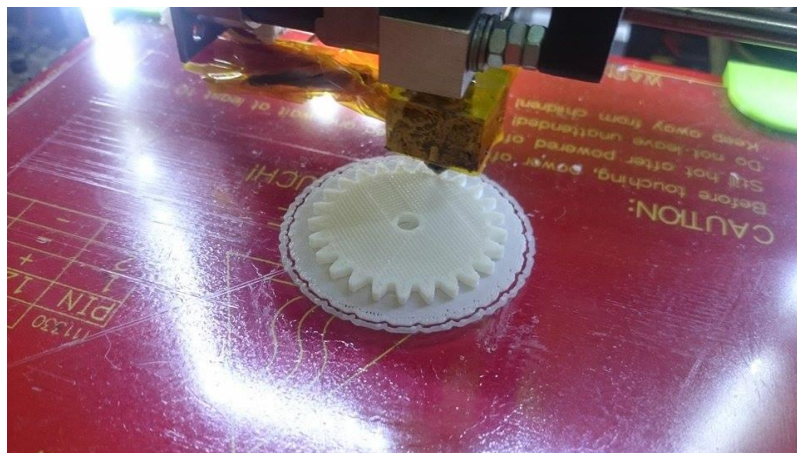


Figura 18 – Obtendo forma
Fonte: Autoria própria



Figura 19 – Objeto finalizado
Fonte: Autoria própria

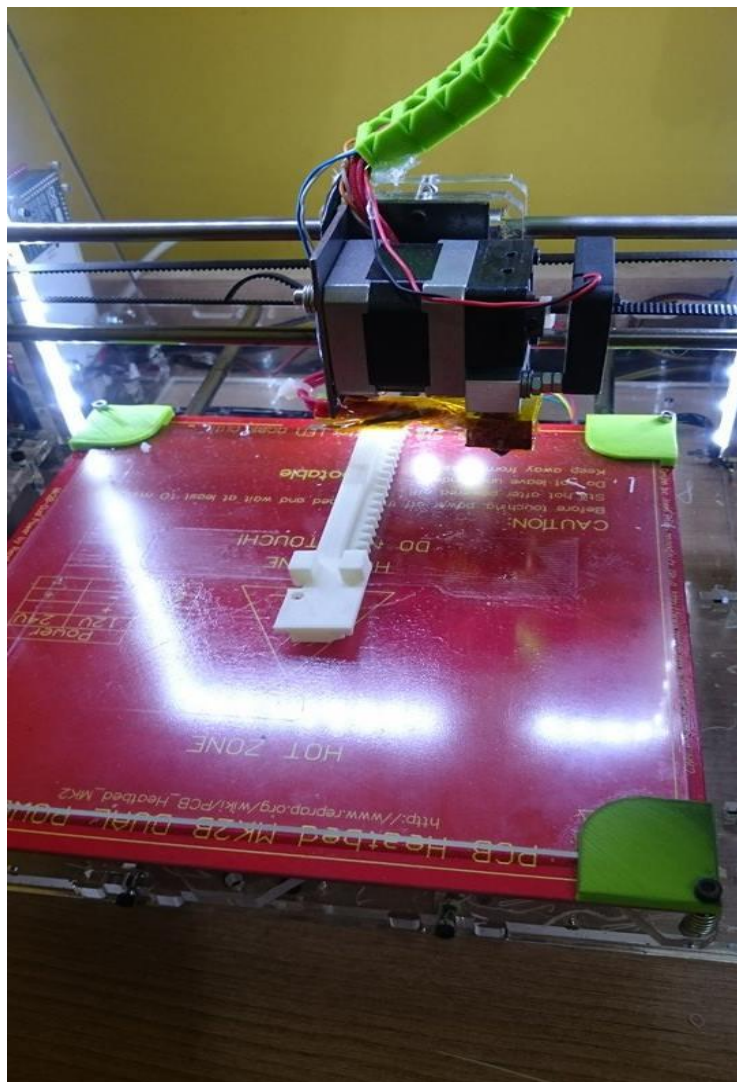


Figura 20 – Cremalheira acabada
Fonte: Autoria própria

3.4 INSTALAÇÃO DO SISTEMA PROJETADO E IMPRESSO:

Com todos os itens fabricados, ou seja, impressos, pode-se dar início a instalação e fixação na mesa da impressora. A fixação do pinhão acontece por meio de um furo com diâmetro de 6mm, o qual é encaixado no eixo do motor. Feito isso, um pino é fixado verticalmente em um furo de 2mm, a fim de travar o movimento na horizontal do pinhão

Para fixação da cremalheira, ocorre primeiramente com um encaixe sobre dois rebaixos vazados na mesa, o qual no projeto foi feito dois resalto na cremalheira para conseguir encaixe exatamente nesse ponto. A outra união fixada é por meio de parafuso com diâmetro de 4mm, mais porca. As Figuras 21, 22, 23 e 24 representam o processo de fixação do mecanismo.



Figura 21 – Fixação na base
Fonte: autoria própria

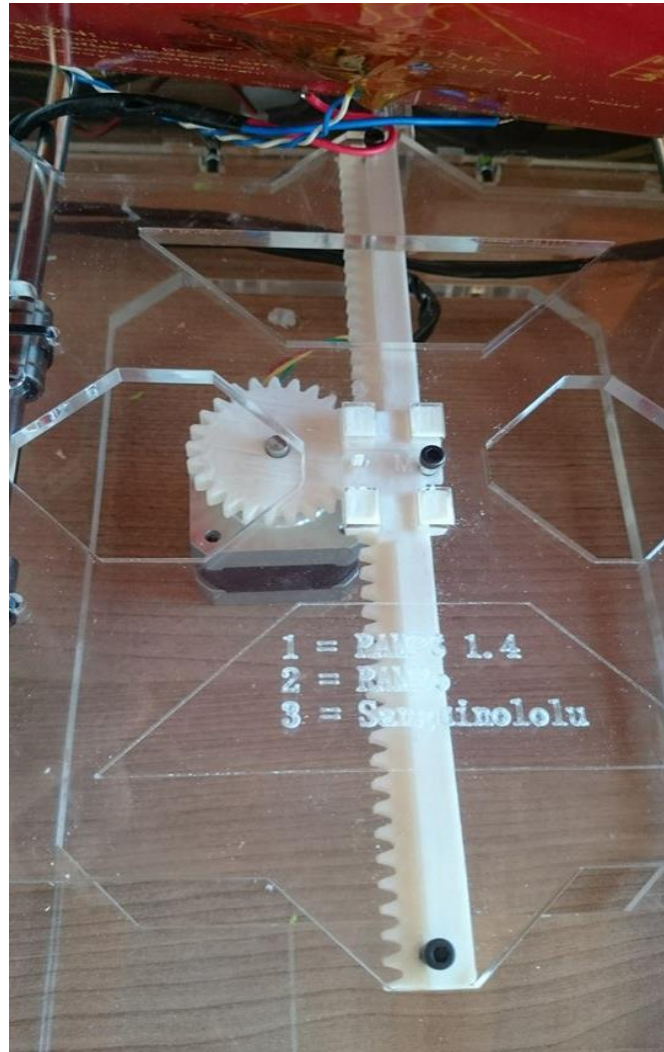


Figura 22 - Sistema pronto para ser testado
Fonte: Autoria própria



Figura 23 – Curso final da mesa
Fonte: Autoria própria

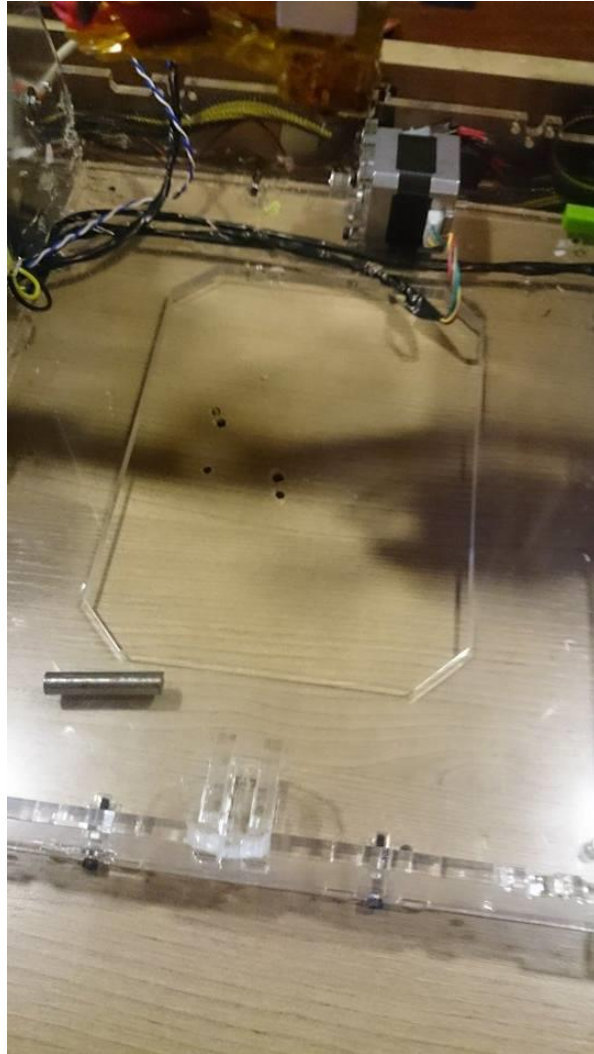


Figura 24 - Fixação do motor na mesa de madeira
Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho foi demonstrado como deve ser o procedimento para se dimensionar cremalheiras de dentes retos juntamente com os respectivos pinhões, indicando os cálculos e baseando-se em dados de uma empresa espanhola Koom, fabricante de sistemas de transmissão. Na Figura 25, está demonstrado a o projeto final durante a execução.

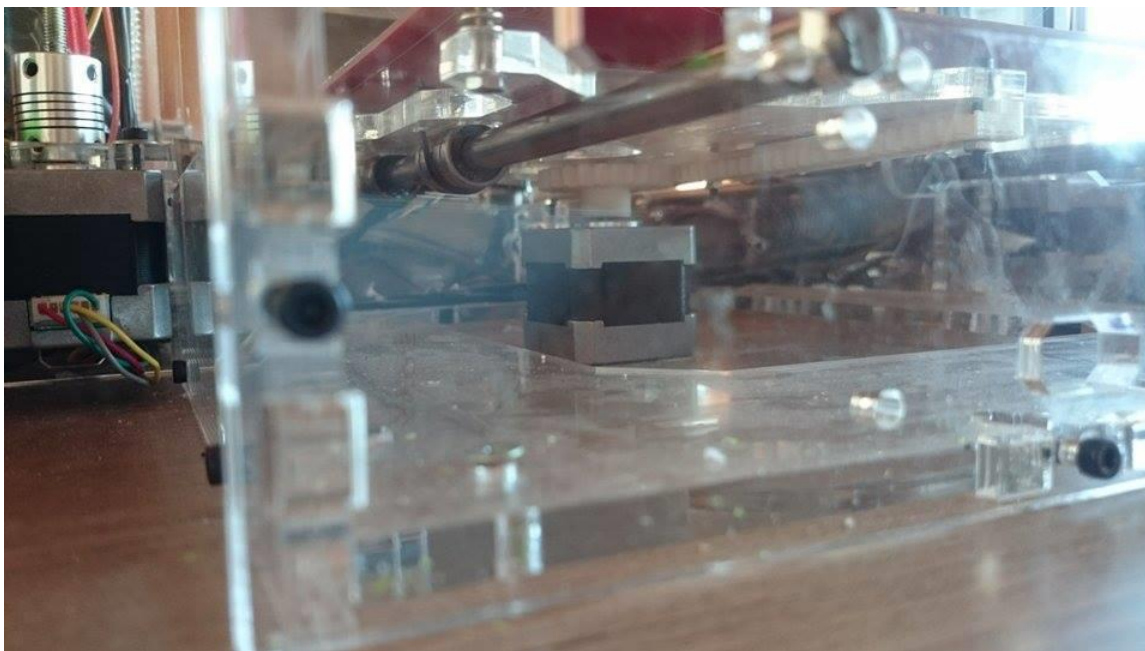


Figura 25 - Sistema instalado e em funcionamento
Fonte: Autoria própria

Com o sistema montado e funcionando corretamente, pode-se observar que atendeu os objetivos do trabalho. No entanto, problemas que não foram levados em conta surgiram no funcionamento do mecanismo. A alteração do local de instalação do motor trouxe consigo uma vibração alta, aumentando ruído do sistema e tendo algumas trepidações. A utilização do copolímero ABS, por ser um material mais rígido em relação ao utilizado na correia dentada, ajudou ainda mais na vibração do sistema. A possibilidade de instalação de *by step* em baixo do motor, em contato com a madeira, pode ser uma maneira de resolver uma parte da vibração do sistema.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho de Conclusão de Curso foi realizada a descrição da concepção, projeto, e construção junto com testes preliminares de um sistema cremalheira e pinhão, para utilização em mesa de movimento para impressoras 3D.

O presente trabalho atendeu as necessidades e objetivos proposto para início do mesmo, porém, com algumas restrições e necessidade de mudanças e melhorias. As considerações técnicas de projeto e as características construtivas dos componentes tornam o equipamento versátil, qualificando-o para a realização dos esforços e trabalhos necessários para fabricação de objetos.

Os itens propostos nos objetivos foram todos atendidos, são eles: substituição do sistema antigo de correia dentada; movimentação e precisão, com qualidade de acabamento no sistema novo montado; e a autoprodução do sistema. Porém com as alterações realizadas, e mudanças de locais de algumas peças, problemas de vibração e ruído ficaram presente no novo projeto.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros propõem-se o estudo e entendimento:

- Das tensões nos dentes da engrenagem.
- Da vibração no sistema, bem como criar um sistema para amortizar esse problema (Verificar a causa raiz sendo vibração do motor, e ou propriedades mecânicas do ABS).
- Minimizar ruídos durante o funcionamento do equipamento.

REFERÊNCIAS

ABS. ADN Plásticos, 2013. Disponível em <<http://www.adnplasticos.com.br/abs.html>>. Acesso em 9 jun. 2015.

ABS – ACRILONITRILO-BUTADIENO-ESTIRENO. Resinex. Disponível em <<http://www.resinex.pt/tipos-de-polimeros/abs.html>>. Acesso em 15 jul. 2015.

ABS E SAN. Innova, 2007. Disponível em <<http://www.innova.ind.br/menu/15/produtos-e-servicos/abs-e-san.html>>. Acesso em 10 jun. 2015.

ACRILONITRILA BUTADIENO ESTIRENO. Wikipédia, 2015. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Acrilonitrila_butadieno_estireno>. Acesso em 10 jun. 2015.

ARAUJO C. A. C.; RENTES A. F. A metodologia kaizen na condução de processos de mudança em sistemas de produção enxuta. Revista Gestão Industrial. 2(2), 133-142, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR ISO 5167-1: **Medição de Vazão de Fluidos por meio de Instrumentos de Pressão** – Parte 1: Placas de Orifícios, Bocais e Tubos de Venturi Instalados em Seção Transversal Circular de Conduitos Forçados, 1994.

BEER, F. P. & Johnston Jr., E. R. – **Resistência dos Materiais** - 4ª Ed. - São Paulo: Editora MacGraw-Hill do Brasil, 2007.

BRAJLIH, Tomaz et al. **Speed and accuracy evaluation of additive manufacturing machines**. Rapid prototyping journal, v. 17, n. 1, p. 64-75, 2011.

BUDYNAS, Richard G., MISCHKE, Charles R., SHIGLEY, Joseph E. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2005.

CALLISTER, William D. Jr. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

CAMPBELL, Ian; BOURELL, David; GIBSON, Ian. **Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age**. Rapid Prototyping Journal, v. 18, n. 4, p. 255-258, 2012.

CRUMP, S. Scott. **Apparatus and method for creating three-dimensional objects**. U.S. Patent n. 5,121,329, 9 jun. 1992. Editora MacGraw-Hill do Brasil, 2007.

EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA. Engrenagens - Conceitos básicos. Disponível em: <<http://2000pt.net/educacaotecnologica/engrenagens.pdf>> Acesso em 20 jan. 2015.

EITEL, Elisabeth. The future of additive manufacturing: additive manufacturing proliferated years ago because of its usefulness in building prototypes. Machine Design 7 Mar. 2013: 52+. Academic OneFile. Web. 29 jan. 2015.

FABRICIO, Márcio Minto; MELHADO, Silvio Burrattino. **Analysis of integrated product development process in building projects**: case studies.

GIBSON, Ian; ROSEN, David W.; STUCKER, Brent. **Additive manufacturing technologies**: rapid prototyping to direct digital manufacturing. Springer, 2010.

GORNI, Antonio Augusto. **Introdução à prototipagem rápida e seus processos**. Revista Plástico Industrial, p. 230-239, 2007.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de física**. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 88p

HIBBELER, Russell Charles. **Dinâmica: mecânica para engenharia**. 12 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. 504p

_____, Russell Charles - **Resistência dos materiais** - 5ª Ed. - São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

IEFP. Transformação de movimento circular em movimento de translação retilíneo contínuo. Disponível em: <http://elearning.iefp.pt/pluginfile.php/47218/mod_resource/content/0/CDrom/Estudo/Mecanica/D_Transmissao_de_Movimento/frame_12.htm> Acesso em 27 dez. 2014.

IMAI, Masaaki. **Gemba Kaizen Estratégia e Técnicas do Kaizen no Piso de Fábrica** – São Paulo. Instituto IMAM. 2007. 3ª edição.

_____. **Kaizen A estratégia para o sucesso competitivo**, 1ª Ed., Instituto IMAM, 1986.

KARASINSKI, Vinicius. Como funciona uma impressora 3D? [Ilustração]. Disponível em <<http://www.tecmundo.com.br/impressora-3d/38826-como-funciona-uma-impressora-3d-ilustracao-.htm>>. Acesso em 22 dez 2014.

KOOM Transmission de Precisión; 2007; Catálogo delas transmisiones por cremallera Piñón. Disponível em: <<http://www.mecapedia.uji.es/catalogos/engranaje/spitkoom.1.pdf>> Acesso em 28 dez 2013.

LOPES, José Carlos Leite; GALDINO, Luciano. Dimensionamento do sistema cremalheira-pinhão de dentes retos. **Revista Augusto Guzzo**. São Paulo, n. 12, p. 127-139, 2013.

MELCONIAN, Sarkis. Elementos de máquinas. 9. ed. rev. São Paulo: Érica, 2008.

MELLO, Carlos Henrique Pereira et al. **Conceptual design of components of an industrial oven through the integration between the reverse engineering and DFMA**. *Gestão & Produção*, v. 17, n. 3, p. 497-511.

MELLOR, Stephen; HAO, Liang; ZHANG, David. Additive Manufacturing: A Framework for Implementation. Exeter, UK. Available at: www.medifas.net, 2012.

MIRALLES, Carlos Eduardo. **Desenvolvimento Integrado de Produtos e suas Aplicações**. Piracicaba, São Paulo: 5a Mostra Acadêmica da UNIMEP, 23 a 25 de Outubro de 2007.

MURUGESAN, K. et al. **Comparative Evaluation of Dimension and Surface Detail Accuracy of Models Produced by Three Different Rapid Prototype Techniques**. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, v. 12, n. 1, p. 16-20, 2012.

OBJET1000, Build full-scale prototypes in multiple materials. Disponível em <<http://www.stratasys.com/3d-printers/design-series/precision/objet1000>>. Acesso em 17 jan. 2014.

OHNO, T. O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala, Ed. Bookman, 1997.

PHAM, D. T.; GAULT, R. S. **A comparison of rapid prototyping technologies.** International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 38, n. 10-11, p. 1257-1287, 1998.

RLG - Indústria e Equipamentos de Segurança Ltda.; Movimentador deslizante de cremalheira; Disponível em: <<http://www.rlg.ind.br/horizontal.html>> Acesso em 29 jan. 2014.

SALGADO, Eduardo Gomes et al. **Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos.** Gestão e Produção, v. 16, n. 3, p. 344-356, 2009.

SARDÁ, Prof. Alexandre Augusto Pescador; Engrenagens. Disponível em: <<ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM129/Prof.%20Pescador/Engrenagens1.pdf>> Acesso em 27 dez 2013.

SHIGLEY, Joseph Edward, Tradução de CARVALHO, Edival Ponciano de. **Elementos de máquinas.** Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1984.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da Pesquisa e Elaboração da Dissertação, 3^a Ed., Laboratório de Ensino a Distância da Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Operations Management, Ed. Prentice Hall, 2007.

THRIMURTHULU, K.; PANDEY, Pulak M.; VENKATA REDDY, N. **Optimum part deposition orientation in fused deposition modeling.** International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 44, n. 6, p. 585-594, 2004.

THYSSEN KRUPP MATERIALS IBÉRICA. Aceros de Construcción. Disponível em: <http://www.thyssenkrupp-materials-iberica.es/htm/pdf_aconstruccion.pdf> Acesso 27 jan. 2014.

VINODH, S. et al. Agility through CAD/CAM integration, Journal of Manufacturing Technology Management, 20(2), 197-217, 2009.

WMH Herion; Partofyour drive. Disponível em: <http://www.apexdyna-brasil.com.br/images/content/pdf/definicoes_tecnicas/Rodas%20dentadas%20-%20WMH%20Herion.pdf> Acesso em 06 jan. 2014.