



Projeto e desenvolvimento de um sistema de fixação rápido
para dentes de placas dentárias com fins pedagógicos

André Eduardo Rodrigues Pereira

UMinho | 2013



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

André Eduardo Rodrigues Pereira

Projeto e desenvolvimento de um sistema de
fixação rápido para dentes de placas dentárias
com fins pedagógicos

outubro de 2013



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

André Eduardo Rodrigues Pereira

Projeto e desenvolvimento de um sistema de
fixação rápido para dentes de placas dentárias
com fins pedagógicos

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Filipe Samuel Silva

outubro de 2013

DECLARAÇÃO

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Guimarães, ___/___/_____

Assinatura: _____

Agradecimentos

Quero agradecer aos meus pais todo o esforço que fizeram por mim e pelo apoio prestado ao longo de todos os anos de estudo que agora culminam neste projeto.

À minha irmã pelos incentivos e pelos conselhos sempre sábios que me deu, ao meu irmão pelo exemplo de força de vontade para superar obstáculos.

Aos meus amigos que de uma forma ou outra me ajudaram ao longo destes anos, a quem devo também um agradecimento especial.

Quero agradecer também ao Professor Filipe Samuel Silva pela orientação e esclarecimentos dados ao longo destes meses, bem como ao Engenheiro Paulo Silva pelas horas ganhas nas modelações e pelas dicas e informações sempre úteis que me forneceu.

Resumo

Projeto de um Sistema de Fixação Rápido para dentes de placas dentárias com fins pedagógicos

Os modelos de ensino dentários são uma réplica à escala real da dentição e mandíbulas humanas, que são fundamentais para a formação de indivíduos na área da medicina dentária. A utilização de modelos dentários é portanto indispensável para os estudantes aprenderem a fazer um correto diagnóstico e para a determinação do plano de tratamento ortodôntico mais adequado a cada paciente.

Tendo em conta o processo moroso de extração das réplicas dos dentes, foi pensado criar um sistema de fixação que garantisse a mesma fixação mas que não implicasse o uso de ferramentas adicionais para a sua remoção.

Através dos ficheiros fornecidos pela empresa “*Denteduco*”, foram recriados os novos modelos de ensino dentário com recurso ao programa *SolidWorks*, elaborando assim, algumas versões do modelo final, ficando sempre a empresa responsável pela aceitação dos modelos elaborados.

Com o decorrer do processo de criação 3D, os modelos dentários foram evoluindo na maneira como foram pensados e criados, quer a nível de detalhe quer a nível da forma final, havendo significativas diferenças entre as etapas do projeto.

A solução final surge depois de várias etapas onde se definiu qual o sistema de fixação adequado e sua validação, qual o processo de fabrico e os materiais a usar para o novo projeto.

Palavras-chave: Placa dentária; dentes; Mandíbula; Maxila; Sistema fixação rápido; Fixação por atrito; Processo fabrico; Injeção em Moldes; Produção rápida; Polímeros; Termoplásticos; Termoendurecíveis; Elastómeros; Modelação 3D; SolidWorks;

Abstract

Quick Fastening System for teeth dental plaque for teaching purposes.

The dental teaching models are a real replica of human jaws and teeth which are crucial for training individuals in the field of dentistry. The using of a dental model is therefore essential to students learn how to do a correct diagnose and determination of a treatment plan for each patient.

Regarding the long process of the teeth replicas extraction, was designed to create a new fastening system that guarantees de same fixture but do not involve the use of additional tools for their removal.

Through the files provided by “*Denteduco*” company, were re-created the new teaching dental models by using *Solid Works* program, making some versions of final idea, always getting the company responsible for the acceptance of the models developed.

In the course of the process of creating 3D dental models have evolved in the way they were designed and created, whether the level of detail both in terms of the final form, with significant differences between the stages of the project.

The final solution comes after several steps which set on the proper attachment system and its validation, where the manufacturing process and the materials to use for the new project.

Key words: Dental Plaque; Teeth; Jaw; Quick Fastening System; Fixing system friction; Injection Molding; Rapid Prototyping; Polymers; Thermoplastic; Thermoset; Elastomers; 3D Modeling; SolidWorks;

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo.....	iii
Abstract	iv
Índice.....	v
Índice de figuras.....	vii
Índice de tabelas.....	ix
1. Introdução.....	1
2. Objetivo.....	3
3. Estado da arte	4
4. Sistemas de fixação propostos	7
4.1 Sistema de fixação por encaixe e rotação	7
4.2 Sistema de fixação com base em Cartões SD	9
4.3 Sistema fixação com recurso ao um aro.....	12
4.4 Sistema de fixação por íman	14
4.5 Sistema de fixação por atrito.....	15
5. Processos de fabrico	17
5.1 Extrusão	17
5.2 Injeção em moldes.....	20
5.3 Moldação por Centrifugação.....	24
5.4 Moldação por Sopro.....	25
5.5 Prototipagem Rápida.....	26
5.5.1 Processos de Produção Rápida.....	27
6. Polímeros.....	29
6.1 Termoplásticos	30

6.2 Termoendurecíveis	31
6.3 Elastómeros	31
7. Análise de Dados.....	32
7.1 Análise dos sistemas de fixação pensados	33
7.2 Protótipo do encaixe.....	35
7.3 Método de produção.....	38
7.4 Seleção de Materiais	41
8. Modelação	45
8.1 Alterações Efetuadas	51
8.2 Resultado Final	54
9. Conclusões	56
10. Referências	57
Anexo I.....	58

Índice de figuras

Figura 1. Dentes aparafusados (2).....	4
Figura 2. Peças constituintes do Sistema KAVO (1).	5
Figura 3. Sistema de fixação KAVO (1).....	6
Figura 4. Sistema de fixação por Rotação.....	7
Figura 5. Vista em corte do Sistema de fixação SD 1.....	9
Figura 6. Vista em corte do Sistema de fixação SD 2.....	10
Figura 7. Sistema de fixação por Aro	12
Figura 8. Vista em corte do sistema de fixação por Íman.....	14
Figura 9. Sistema de fixação atrito visto em corte.	15
Figura 10. Tipos de perfis que se obtém por Extrusão (18).....	18
Figura 11. Imagem em corte da rosca de uma Extrusora (18).	18
Figura 12. Imagem do pistão numa máquina de Injeção em Moldes.....	20
Figura 13. Imagem em corte do Pistão roscado atualmente usado (15).....	21
Figura 14. Tempo de Duração das várias etapas da Injeção em Moldes (15).....	22
Figura 15. Máquina de Moldação por Centrifugação (18).....	24
Figura 16. Sequencia para Moldação por Sopro (18).	25
Figura 17. Garrafas de água obtidas por Moldação por Sopro (19).....	25
Figura 18. Esquema do funcionamento do sistema SL.....	27
Figura 19. Esquema do sistema de modelação por extrusão de plástico.	28
Figura 20. Diagrama da divisão dos Polímeros (15).....	29
Figura 21. Diagrama para obtenção do novo produto.....	32
Figura 22. Dente Maquinado na máquina CNC existente no laboratório.....	35
Figura 23. Protótipo criado pela empresa Denteduco	36
Figura 24. Equipamento CNC existente no Laboratório.....	37
Figura 25. Dente feito por Modelação de Sólidos.....	45
Figura 26. Maxila feita por Modelação de Sólidos.....	46
Figura 27. Dente obtido através de Modelação de Superfícies.....	47
Figura 28. Osso obtido por Modelação de Superfícies.	48
Figura 29. Forma como foi obtida a gengiva através da Modelação de Superfícies.	49
Figura 30. Gengiva obtida por Modelação de Superfícies.....	50

Figura 31. Dente com magnético na base.	51
Figura 32. Dente com magnético em corte.	51
Figura 33. Base alterada com encaixe para os magnéticos.	52
Figura 34. Sistema de encaixe da articulação sem parafuso.	53
Figura 35. Nova articulação montada na base.	53
Figura 36. Vista dos dentes modelados com as posições já definidas.	54
Figura 37. Imagem do Conjunto.	54
Figura 38. Vista explodida do conjunto.	55
Figura 39. Vista em corte do Conjunto	55
Figura 40. Componentes existentes na Mandíbula.	59
Figura 41. Componentes existentes na Mandíbula	60

Índice de tabelas

Tabela 1. Vantagens e Desvantagens da fixação por Rotação.	8
Tabela 2. Vantagens e Desvantagens do Sistema de fixação SD1.....	10
Tabela 3. Vantagens e Desvantagens do Sistema de fixação SD2.....	11
Tabela 4. Vantagens e Desvantagens do Sistema de fixação por Aro.	13
Tabela 5. Vantagens e Desvantagens do Sistema de fixação por Íman.	14
Tabela 6. Vantagens e Desvantagens Sistema de fixação por Atrito.....	16
Tabela 7. Características dos termoplásticos de estrutura amorfa e cristalina.....	31
Tabela 8. Somatório das Vantagens e Desvantagens dos sistemas de Fixação. ...	33
Tabela 9. Defeitos que impossibilitam a aplicação do sistema de Fixação.	34
Tabela 10. Resultados dos testes manuais.....	36
Tabela 11. Capacidade de reprodução das formas orgânicas.....	38
Tabela 12. Preço por peça para amortização do investimento Inicial.....	40
Tabela 13. Propriedades da Poliamida (5).	41
Tabela 14. Propriedades da Melamina (5).	42
Tabela 15. Valores em <i>Shore A</i> para as durezas sensitivas.....	43
Tabela 16. Propriedades do Elastómero (9).	44

1. Introdução

Este trabalho tem como finalidade a criação de um sistema de fixação para dentes de placas dentárias com fins pedagógicos, que seja capaz de substituir os métodos de fixação existentes tanto por recurso a parafusos existentes em marcas como *Frasaco* e *Nissin*, ou como o método mais recente abordado pela *Kavo* que faz uso de um sistema de encaixe por clique para garantir a posição do dente.

Tendo em conta o objetivo que foi proposto, foram pensados vários sistemas de fixação para os dentes que pudessem substituir e simplificar os que existem no momento, através da observação de vários objetos existentes ao nosso redor. Após tal processo de adaptação ao problema proposto chegamos à análise comparativa com a fixação roscada e por clique e de quais seriam as suas vantagens e desvantagens como nos mostra o capítulo 4 onde são explicados a sua proveniência e o seu funcionamento. Posteriormente foi necessário pensar quais os processos de fabrico que mais se usam para a fabricação de peças em materiais poliméricos como se explica no capítulo 5 deste documento.

Depois de abordados estes temas, era tempo de escolher o novo sistema de fixação mais adequado ao projeto. No capítulo 7 é feita uma análise quantitativa de que resultou o abandono dos sistemas que mostrassem mais desvantagens do que vantagens e, ainda nesse mesmo capítulo, foi realizada uma análise qualitativa dos defeitos onde a presença de um deles seria fator de eliminação. Em conclusão do dito capítulo 7, são escrutinados, o método ou métodos de fabrico que seriam capazes de produzir as formas orgânicas pretendidas e é ainda realizada uma pequena análise dos custos de cada processo como fator de desempate para a escolha do processo de fabrico mais indicado ao projeto.

Depois de definido o processo de fabrico, a escolha do polímero foi baseada nas suas características mecânicas e também na possibilidade de este ser usado nas peças a fabricar pelo processo de fabrico determinado.

Estas escolhas têm influência na modelação 3D, no que concerne ao método de fixação, pois tal levará à alteração da raiz do dente bem como a mandíbula e maxila onde se situará a outra parte do sistema de fixação criado. O processo de fabrico também tem influência neste capítulo de modelação pois em função do processo

escolhido serão necessárias alterações no modelo 3D para satisfazer as necessidades que o processo em si possa envolver. Podemos ver as modelações finais no capítulo 8.

O último capítulo da tese diz respeito às conclusões onde se explica em que medida os objetivos foram alcançados ao longo deste projeto.

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi a criação de um sistema de fixação rápido para dentes de uma placa dentária com fins pedagógicos; um sistema mais simples, capaz de evitar o uso de ferramentas extra para o seu manuseamento, de manter a mesma fixação que os modelos existentes, que não use elementos roscados e que seja capaz de imitar o ato cirúrgico o mais fielmente possível através do uso dos fórceps dentários para extração dos dentes.

Durante todo o processo de aprendizagem, os alunos de medicina dentária usam os modelos existentes da boca humana para simularem todos os diagnósticos possíveis, como todos os procedimentos passíveis de serem executados nos utentes. Estes modelos com fins pedagógicos recorrem como forma de fixação dos dentes a elementos roscados o que determina a necessidade de uma ferramenta extra para a sua remoção.

Tendo em mente o número de vezes que os todos estes procedimentos podem ser executados, durante o processo de aprendizagem do aluno ao longo do seu percurso académico, surgiu necessidade de criar um sistema de fixação rápido para os dentes nas placas dentárias com fins pedagógicos, tornando estes modelos mais práticos que os existentes. Este sistema elimina o uso de uma ferramenta adicional para a extração e fixação dos dentes.

3. Estado da arte

Os modelos de ensino dentários são uma réplica à escala real da dentição e mandíbulas humanas, que são fundamentais para a formação de indivíduos na área da medicina dentária. É com eles que os futuros dentistas, durante a sua formação, têm contacto com uma réplica da anatomia bucal, simulando nela os vários tipos de tratamento possíveis.

A utilização de modelos dentários é portanto indispensável para os estudantes aprenderem a fazer um correto diagnóstico e para a determinação do plano de tratamento ortodôntico mais adequado a cada paciente.

Os modelos que existem atualmente sofrem um desgaste bastante rápido, resultante do desaperto e aperto frequente de dentes para substituição. Para além disto são pouco práticos pois exigem que o utente mantenha sempre em sua posse uma chave de fendas e, de cada vez que é necessário trocar um dente tem que se retirar o modelo da posição em que se encontra, perdendo-se tempo e rotinas de trabalho.

Existem várias empresas que fabricam estes tipos de modelos dentários, em que não varia muito a forma de fixação dos dentes. Os modelos mais usuais recorrem ao aparafusamento.

Os modelos existentes que usam o aparafusamento como forma de fixação tem como base um mecanismo simples de fixação. Estes usam o binário de aperto aplicado ao parafuso para fixar o dente à base. Um exemplar desses dentes está presente na figura 1.



Figura 1. Dentes aparafusados (2).

Podemos encontrar os modelos que também usam o aparafusamento como método de fixação em marcas como *Frasaco* ou *Nissin*.

O modelo que a marca *Kavo* produz tem outro princípio de funcionamento e a sua forma de fixação não recorre a elementos roscados. Estes modelos produzidos pela empresa alemã é composto por 6 componentes distintos como mostra a figura 2.

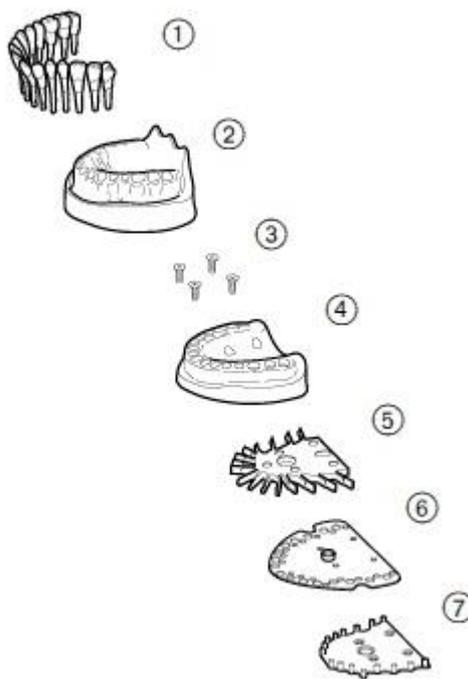


Figura 2. Peças constituintes do Sistema KAVO (1).

No modelo *Kavo*, os dentes tem um entalhe na sua raiz que permite a sua fixação que é garantida por uma placa inserida em toda a estrutura da placa dentária. Esta placa possui uma espécie de lamelas onde na sua extremidade contem uns pequenos pinos. Serão estes pinos que entrarão no entalhe que existe no dente com o intuito de os fixar. O grande avanço deste sistema consiste na facilidade de encaixe e remoção dos dentes a qual advém da capacidade de deformação no domínio elástico do material em que é feito, que possibilita que a lamela ceda sem partir. Seja enquanto o dente é recolocado seja na simulação do tratamento efetuado, o aluno com o auxílio dos fórceps de extração, facilmente o retirará, como mostra a figura 2.

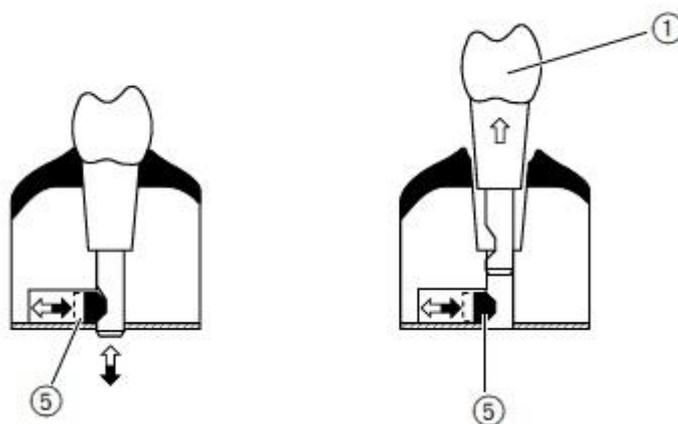


Figura 3. Sistema de fixação KAVO (1).

Postos estes dois modelos atualmente existentes no mercado, foi lançado o desafio para a criação de um sistema de fixação que fosse mais simples que os anteriores quer no número de peças a fabricar ou na forma de fixação usada. A capacidade de fixação, como é de esperar, tem de ser na mesma garantida pelo novo sistema.

Até a data estes são os modelos atualmente existentes no mercado.

4. Sistemas de fixação propostos

Com base na observação dos objetos que nos rodeiam, constatamos que existem diversos sistemas de fixação para os mesmos objetos. Então com o intuito de encontrar um novo sistema de fixação, o ponto de partida foi a observação dos diversos sistemas de fixação que os objetos têm. Várias ideias de transportar os métodos de fixação para os dentes da placa com fins pedagógicos foram visualizadas, e depois de uma aceitação e reflexão prévia da sua potencial eficiência, foram efetuados alguns esboços em papel. Foram por fim, como conclusão do processo de aceitação, elaborados modelos 3D para cada um dos sistemas de fixação pensados. Nos subcapítulos seguintes são explicados os diferentes sistemas que de algum modo, foram pré-aceites como exequíveis, explicitando-se qual o princípio de funcionamento de cada um e, bem assim, as suas vantagens e desvantagens em relação aos sistemas de fixação atualmente existentes no mercado.

4.1 Sistema de fixação por encaixe e rotação

Um dos primeiros sistemas de fixação pensados foi um mecanismo básico como o da chave e fechadura que podemos observar nos mais diversos objetos. Alicerçando-nos neste princípio decidimos executar uma alteração na raiz do dente para que esta entrasse num orifício existente na mandíbula ou maxila e depois com um movimento de rotação se conseguisse a fixação pretendida como mostra a figura 4.

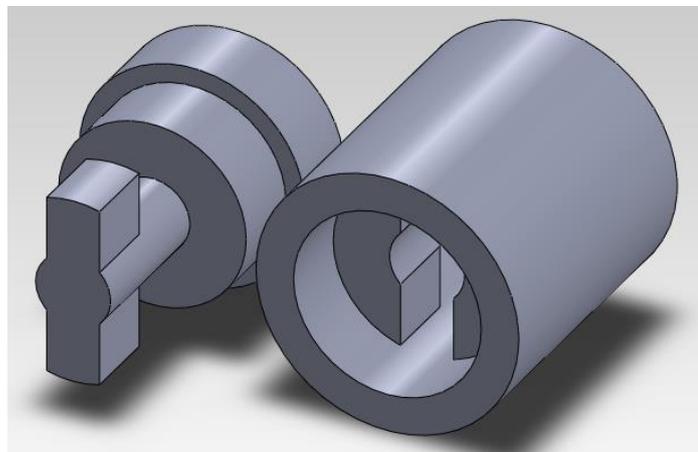


Figura 4. Sistema de fixação por Rotação

Este sistema acabaria por não ser adotado, por consequência das razões apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Vantagens e Desvantagens da fixação por Rotação.

Vantagens	Desvantagens
Construção simples	Impossível executar em todos os dentes
	Sistema de fixação auxiliar necessário
	Fixação aquém da pretendida
	Não reproduz fielmente extração com o uso dos instrumentos dentários

4.2 Sistema de fixação com base em Cartões SD

Uma outra forma de fixação foi transportada dos cartões SD que se podem observar em vários dispositivos eletrônicos. Com esta forma de fixação foram criados dois modelos, os quais diferem, essencialmente, na forma de remoção do dente, pois, como se pode verificar em cada cartão SD que existe, para garantir o encaixe basta apenas colocá-lo na ranhura e empurrá-lo, garantindo assim a fixação. Os dois sistemas de fixação diferem então, como já deixámos dito, no modo como é feita a extração dos dentes; no primeiro (SD1), a extração acontece com o uso de uma peça exterior ao sítio do encaixe que, quando pressionada solta o dente, como a figura 5 mostra; no segundo sistema de fixação (SD2) ele desprende-se da base caso volte a ser pressionado/empurrado, como se vê na figura 6.

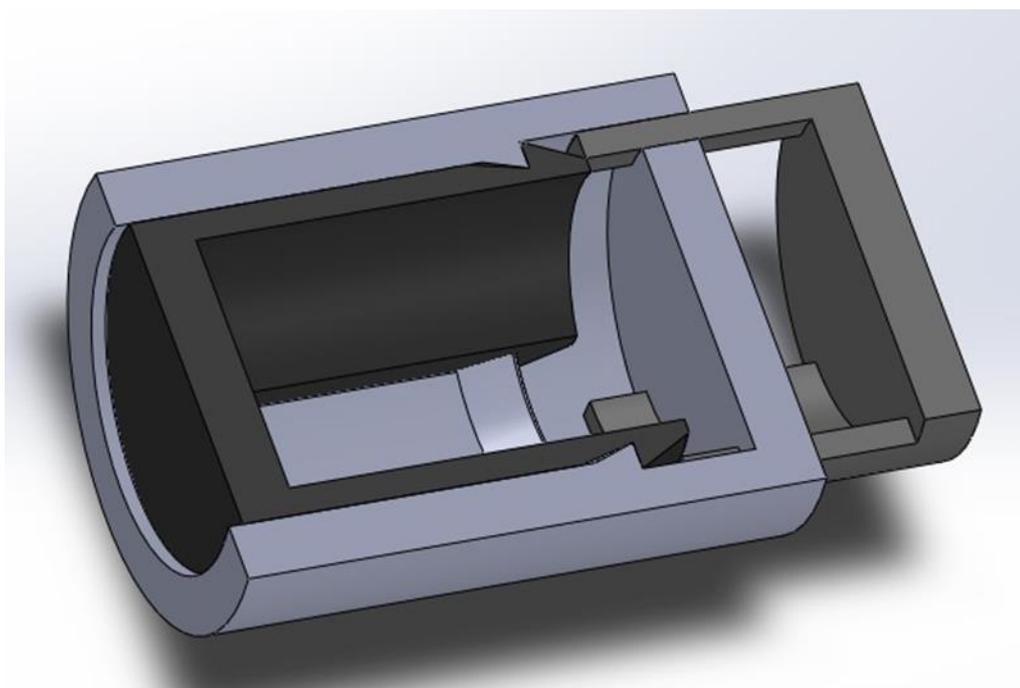


Figura 5. Vista em corte do Sistema de fixação SD 1.

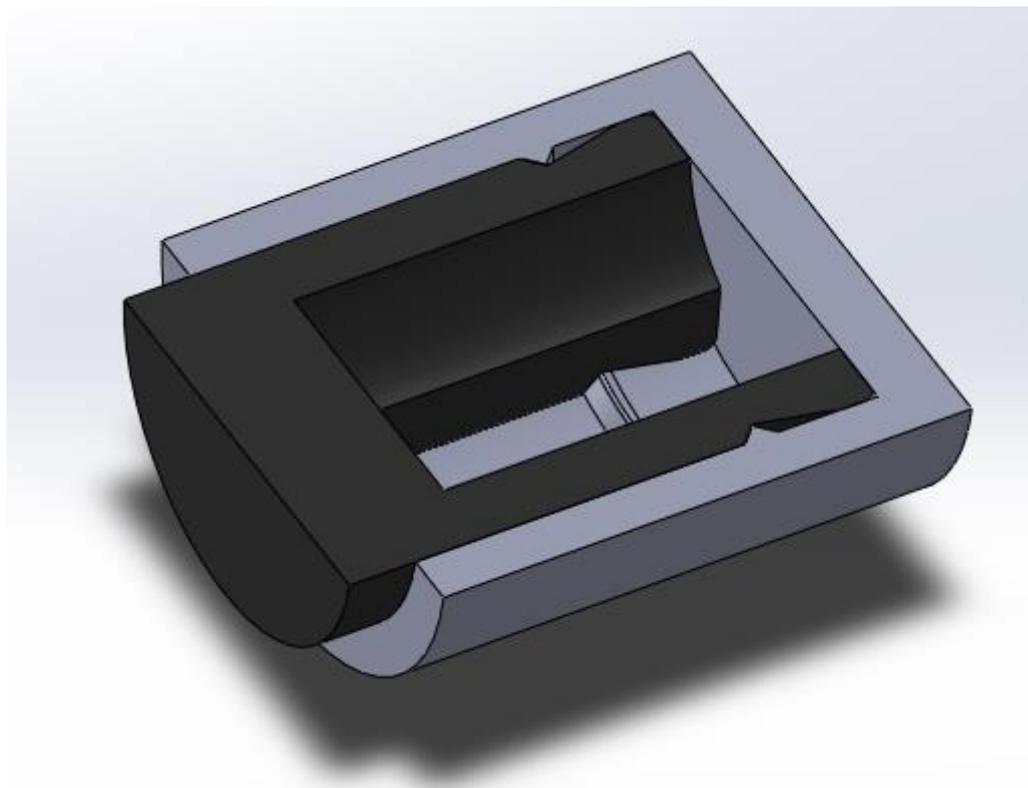


Figura 6. Vista em corte do Sistema de fixação SD 2.

Posteriormente com base na observação do funcionamento dos dois sistemas de fixação com base nos cartões SD, foram encontradas razões para que estes modos de fixação não fossem levados para a frente no projeto. As razões são expostas nas tabelas 2 e 3 para os dois sistemas de fixação.

Tabela 2. Vantagens e Desvantagens do Sistema de fixação SD1.

Sistema Fixação SD1	
Vantagens	Desvantagens
Fácil utilização	Sistema mais complexo de construir
	Não reproduz fielmente extração com o uso dos instrumentos dentários
	Sistema auxiliar para prisão do dente
	Sistema frágil devido ao clique

Tabela 3. Vantagens e Desvantagens do Sistema de fixação SD2.

Sistema de Fixação SD2	
Vantagens	Desvantagens
Fácil utilização	Mais complexo de construir
	Sistema frágil devido ao clique
	Não reproduz fielmente extração com o uso dos instrumentos dentários

4.3 Sistema fixação com recurso ao um aro

O sistema de fixação seguinte foi retirado dos elementos mecânicos chamados anéis de retenção, e estes elementos podem ser encontrados em veios, furos com a missão de não deixar avançar outro elemento mecânico que possa estar em serviço nos sítios acima referidos. Nos anéis de retenção é necessário exercer uma força de tração/compressão nas suas extremidades para aumentar/diminuir a sua distância e possibilitar a sua colocação consoante o sítio onde será solicitado. Transportando este modo de fixação para o projeto, os dentes neste caso deveriam possuir uma ranhura com uma forma definida, e o aro com uma forma aproximadamente elíptica deveria, na seção que fazia a prisão dos dentes, ter a mesma forma da secção. Para a colocação do aro seria necessária fazer uma força de compressão para juntar extremidades e colocar no sítio correto. Este sistema fica visualmente melhor explicado como mostra a figura 7.

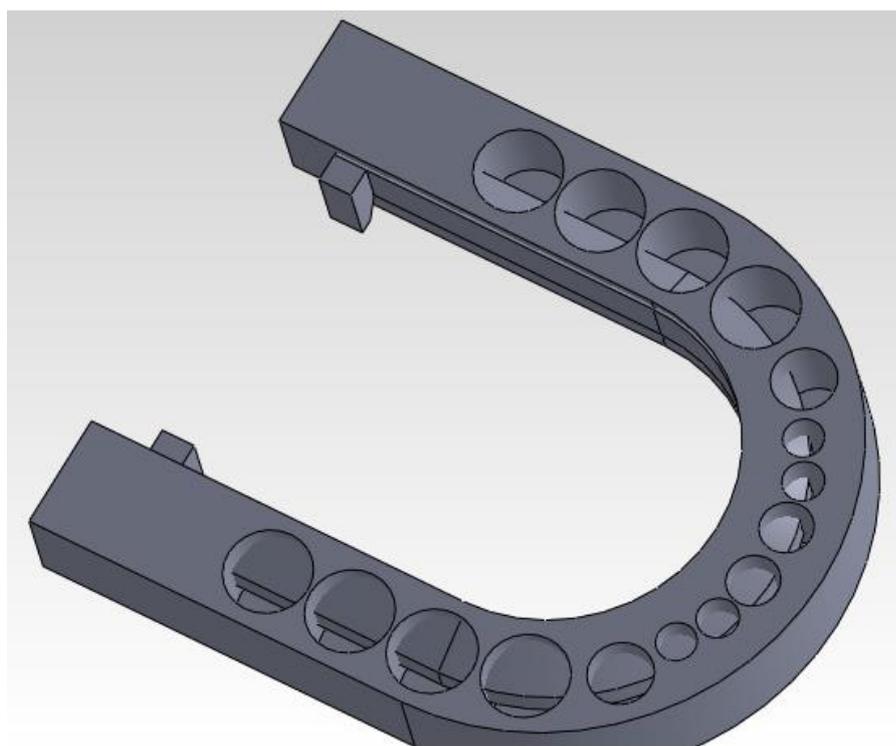


Figura 7. Sistema de fixação por Aro

Este sistema não passou também para fase seguinte do projeto pois, não obstante possuir tantas vantagens como desvantagens, como mostra a tabela 4, os principais requisitos do projeto não são satisfeitos

Tabela 4. Vantagens e Desvantagens do Sistema de fixação por Aro.

Vantagens	Desvantagens
Simple e prático	Impossível remover só um dente
Fácil construir	Não reproduz fielmente extração com o uso dos instrumentos dentários

4.4 Sistema de fixação por íman

Uma outra possibilidade seria o sistema de fixação fosse alcançado através de um íman. Este método de fixação seria muito simples de se contruir, sendo apenas necessário a colocação de um íman na base do dente e que no encaixe existisse outro com a polaridade contrária como exemplifica a figura 8.

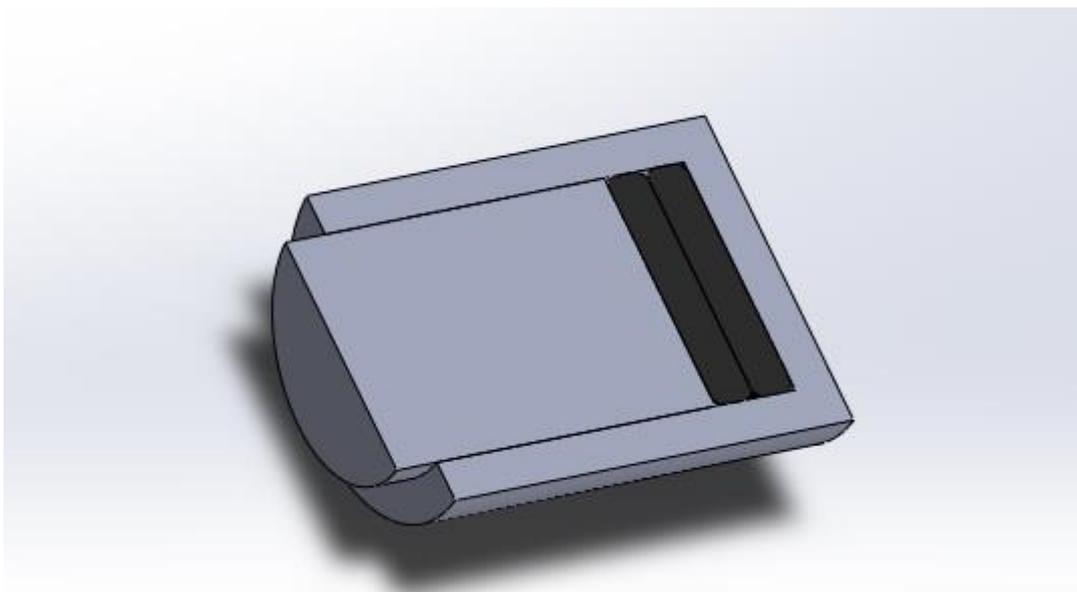


Figura 8. Vista em corte do sistema de fixação por Íman.

Este sistema por si só não chegaria para que fosse tido como principal sistema de fixação dos dentes à base. A tabela 5 mostra os principais prós e contras deste modo de fixação abordado.

Tabela 5. Vantagens e Desvantagens do Sistema de fixação por Íman.

Vantagens	Desvantagens
Fácil construir	Força do campo magnético pode não ser suficiente para a prisão dos dentes
Simple e prático	
Reproduz fielmente extração com o uso dos instrumentos dentários	

4.5 Sistema de fixação por atrito

Este sistema de fixação tem como princípio de funcionamento o atrito gerado entre a parede da base e com a raiz dos dentes. A fixação por atrito trouxe grandes vantagens ao projeto, entre as quais a desnecessidade de outra ferramenta ou sistema para garantir a fixação dos dentes e para ajudar na sua remoção, entre outras. O grande avanço está na raiz do dente, já que esta sendo aparentemente reta, não o é. A raiz possui uma inclinação de cerca de 3 graus que, como podemos ver na figura 9, garante a fixação. Na figura a inclinação está propositadamente exagerada para ser possível uma melhor visualização.

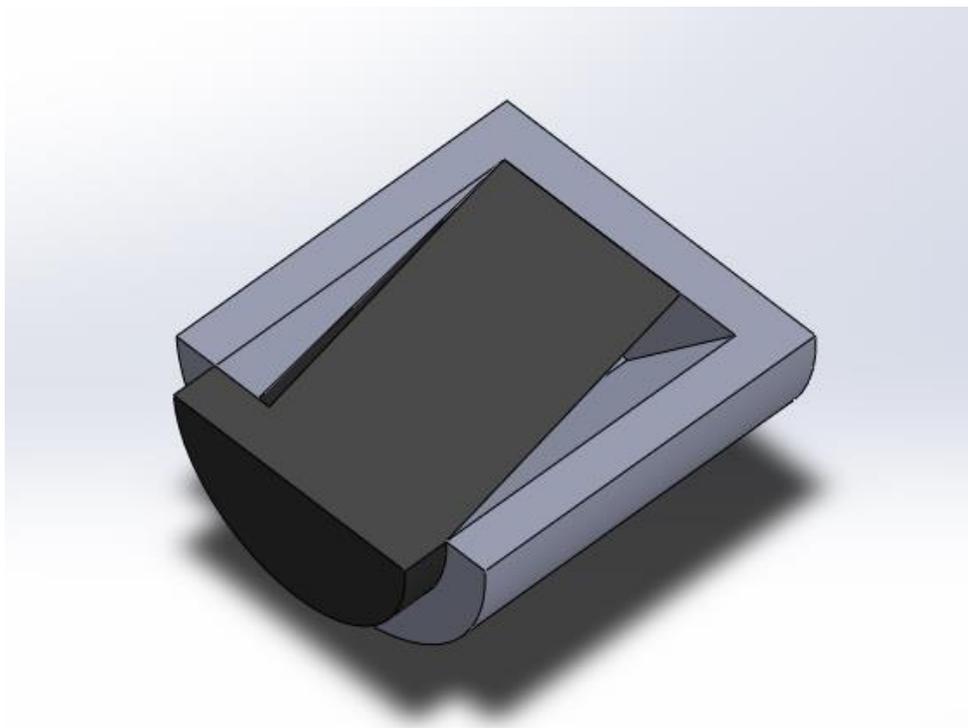


Figura 9. Sistema de fixação atrito visto em corte.

Como todos os sistemas de fixação pensados, também este possui vantagens e desvantagens como se pode ver na tabela 6, onde estes são discriminados quais são.

Tabela 6. Vantagens e Desvantagens Sistema de fixação por Atrito.

Vantagens	Desvantagens
Sistema simples e prático	Sistema passível de sofrer maior desgaste por contato dos componentes
Fácil construção	
Reproduz fielmente extração com o uso dos instrumentos dentários	

5. Processos de fabrico

Os materiais poliméricos possuem uma espantosa combinação de características químicas, físicas e elétricas, que combinadas formam a matéria-prima mais versátil à disposição do homem (6). Os produtos provenientes deste material podem ser obtidos através dos mais variados processos de fabrico à disposição, tais como a extrusão, injeção, calandragem e outros mais existentes na indústria. Os processos mais utilizados para a obtenção de produtos poliméricos são a extrusão e a injeção em moldes, pelo que aos mesmos será dada uma maior atenção neste capítulo, atenção essa que não se ficará pelo processo em si e seus potenciais produtos mas também apreciará o equipamento por eles utilizado.

Será também abordada a prototipagem, como todos os seus tipos de máquinas e modos de operação para a obtenção dos modelos. Este tipo de processo de fabrico foi usado na obtenção de modelos para validação dos passos dados durante o processo de construção da peça, mas também já se usa para a obtenção de produtos finais.

5.1 Extrusão

A extrusão de matéria-prima polimérica é o método de produção perfis de mais usado na indústria com base neste material. O processo de extrusão é uma forma de moldagem bastante antiga e não se tem muitos registos sobre a data exata do seu início. Além dos metais este processo de conformação pode ser utilizado em materiais cerâmicos e poliméricos.

A moldação por extrusão tem como essência e também como característica que a distingue dos outros processos a obtenção de perfis de secção transversal constante acabados ou muito próximo da sua forma final como mostra a figura 10.

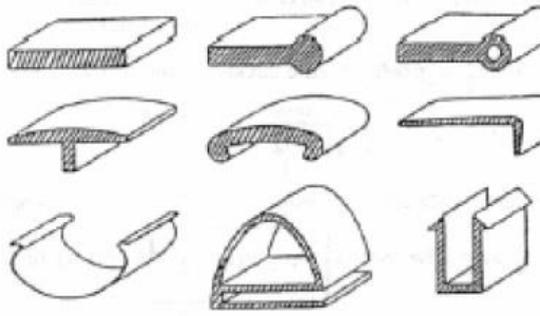


Figura 10. Tipos de perfis que se obtém por Extrusão (18).

Exemplos deste tipo de produtos são barras, fitas, tubos ou mangueiras.

Este processo é em tudo idêntico ao dos metais mas realiza-se a temperaturas mais baixas. O processo de extrusão é realizado por um equipamento conhecido como extrusora. A figura 9 mostra a vista em corte de uma extrusora de uma rosca. Este processo tem características próprias, tais como:

- Depois de sair do molde a peça extrudada deve ser arrefecida abaixo da temperatura de transição vítrea, de modo a assegurar a estabilidade dimensional.
- O arrefecimento é geralmente feito com jato de ar ou com um sistema de arrefecimento a água
- A energia calorífica absorvida pelo material é devida as permutas térmicas entre a matéria e o cilindro aquecido, acrescida pela energia derivada do atrito, e assim como a libertada pela compressão do material entre o parafuso e a cabeça de extrusão.

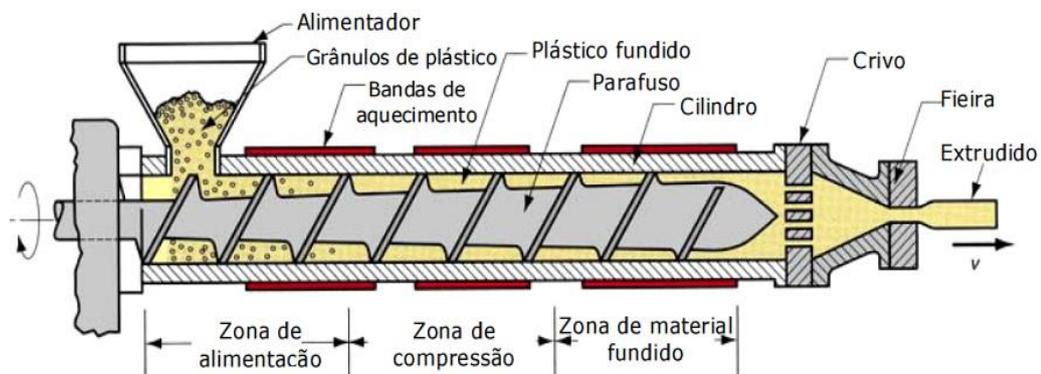


Figura 11. Imagem em corte da rosca de uma Extrusora (18).

O polímero na forma de grãos ou em pó é alimentado, através do funil de alimentação, para o canhão ou cilindro que está aquecido. O movimento da rosca promove o transporte do polímero, levando-o até à matriz. Durante este deslocamento, o material é progressivamente aquecido e plastificado, homogeneizado, comprimido e finalmente é forçado a sair, através do orifício da matriz. À medida que o polímero flui através da matriz, o material adquire a forma a secção transversal. Desta maneira, quando o polímero deixa a matriz, a sua forma corresponderá aproximadamente a secção transversal desta.

5.2 Injeção em moldes

Outro dos processos de fabrico de peças em polímero mais comum é a moldação por injeção em moldes. Este processo foi copiado do mesmo método que existe para a fundição por injeção em moldes para metais sendo primeira máquina patenteada nos Estados Unidos da América, em 1872. Este processo foi sofrendo melhoramentos ao longo das décadas seguintes, sendo que foi na década de 1950 que o desenvolvimento da máquina - que já jogava com a particularidade de funcionar com polímeros fundido – chegou ao estágio que mais se aproxima das que existem atualmente. Naturalmente, há que sublinhar, que as máquinas de hoje contêm tecnologia de controlo muito superior às existentes na época.

A moldação por injeção é um processo de transformação de materiais poliméricos que consiste na plasticização do material (inicialmente sólido em forma de grânulos), de modo a poder ser injetado sobre pressão para dentro de um molde com a forma da peça que se pretende. Uma vez dentro do molde, o material é arrefecido até ganhar rigidez, dando-se posteriormente a ejeção do produto moldado.

As primeiras máquinas existentes funcionavam sobre o movimento de um pistão onde os grânulos caíam na camara onde são aquecidos por condução e empurrados para dentro do molde. Contudo esta máquina possui desvantagens na produção contínua de peças consistentes.

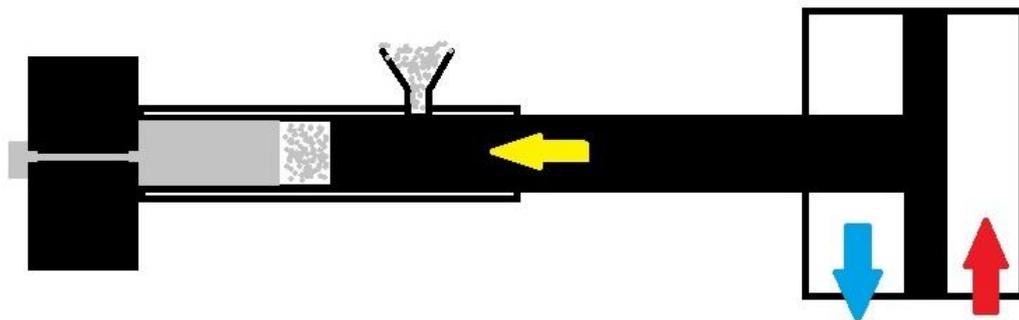


Figura 12. Imagem do pistão numa máquina de Injeção em Moldes.

As desvantagens esta máquina são:

- Há pouca mistura e homogeneização do polímero fundido.

- É difícil medir de forma precisa o tamanho quantidade fundido vazado. Como a medição é feita com base no volume, qualquer alteração na densidade do material vai alterar o peso do fundido vazado.
- Quando o pistão está a comprimir material com varias formas (desde grânulos a polímero fundido) a pressão na boca de injeção pode variar consideravelmente por cada ciclo.
- A presença do torpedo causa a perda de pressão.
- As propriedades de escoamento do polímero fundido são sensíveis à pressão, então como a pressão é variável, há um incremento da variação do enchimento do molde.

Algumas desvantagens desta máquina podem ser ultrapassadas com a pré-plasticização do polímero.

Esta máquina embora já ultrapassada tecnologicamente, ainda se usa em moldações onde é necessário um volume elevado de polímero fundido.

Na vanguarda da tecnologia os sistema de injeção da máquina já não usa processo anterior. Esta tem a denominação de Máquina de Parafuso Alternado. Este tipo de máquina foi um avanço tremendo no designe da máquina, pois o parafuso dentro da camara aquecida, executa uma dupla função. Por um lado ele roda para transportar, fundir e pressurizar o material na camara, como enquanto não esta a rodar, ser capaz de empurrar o fundido para a camara como um pistão.

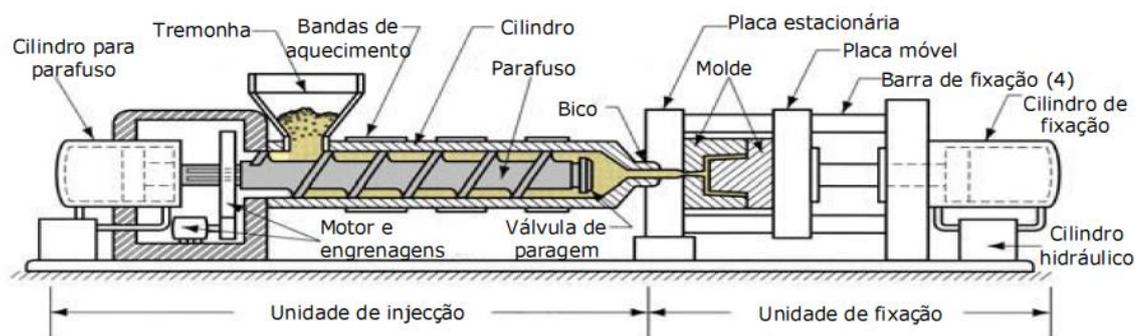


Figura 13. Imagem em corte do Pistão roscado atualmente usado (15).

Este tipo de processo de fabrico tem como etapas:

- Depois de o molde fechar, o parafuso (sem estar em rotação) empurra o polímero fundido no molde arrefecido. O ar que se situa dentro do molde

vai saindo através de pequenos orifícios nas extremidades que mais longe se situam no caminho que o fluido tem.

- Quando a cavidade enche, o parafuso continua a empurrar o fundido para manter a pressão. Isto tem como consequência empurrar um fundido extra para compensar o efeito de encolhimento quando este arrefece.
- Assim que a porta de entrada do fundido fica fria, não pode entrar mais fundido no molde, e o parafuso começa a voltar para trás. Nesta fase o parafuso começa a rodar e extrair em plástico novo a partir da tremonha. Nesta fase o parafuso começa a rodar e extrair plástico novo a partir do reservatório. Este é transportado para a frente do parafuso, mas como a cavidade do molde é cheia com plástico, o efeito é para empurrar o parafuso para trás. Isto prepara o próximo tiro acumulando a quantidade desejada de fundido na frente do parafuso. Desde um ponto pré-estabelecido no tempo, o parafuso para de rodar e a máquina fica à espera para a solidificação do sistema de moldagem e um corredor para ser completada.
- Quando a moldação arrefeceu até uma temperatura que o fundido se encontra sólido o suficiente para manter a forma, o molde abre e a peça é retirada. O molde fecha e recomeça o processo.



Figura 14. Tempo de Duração das várias etapas da Injeção em Moldes (15).

Tal como todos os processos de fabrico apresenta as suas vantagens e desvantagens, e este não foge a essa regra. Nas linhas seguintes apresentam-se essas características.

Vantagens:

- É um processo com alta taxa de produtividade;
- Custo relativamente baixo por peça;
- As peças requerem pouco ou nenhum acabamento;
- Grandes volumes de peças podem ser produzidos;

Desvantagens:

- Moldes são de elevado custo comparados com outros processos que os usam também;
- Baixa margem de lucro devido a grande competição no mercado.

A injeção em moldes é um dos processos de fabrico mais utilizados pela indústria na produção de peças com base em materiais poliméricos. Em quase tudo o que nos rodeia podemos encontrar objetos que são obtidos através deste método de fabrico ou que possuam um componente obtido do mesmo, sendo meros exemplos, seringas, refletores e telemóveis.

5.3 Moldação por Centrifugação

A moldação por centrifugação é um processo de moldação que se usa exclusivamente para a obtenção de produtos com simetria de revolução, em particular cilindros. Esta técnica é usada para a obtenção de peças grandes, baldes do lixo, brinquedos, bolas de futebol.

O princípio de funcionamento desta técnica de moldação consiste na entrada de uma quantidade pré-medida de pó dentro do molde. O molde é aquecido num forno enquanto roda em torno de dois eixos. O pó é empurrado contra as paredes do molde amolecendo sem fundir como mostra a figura 15.

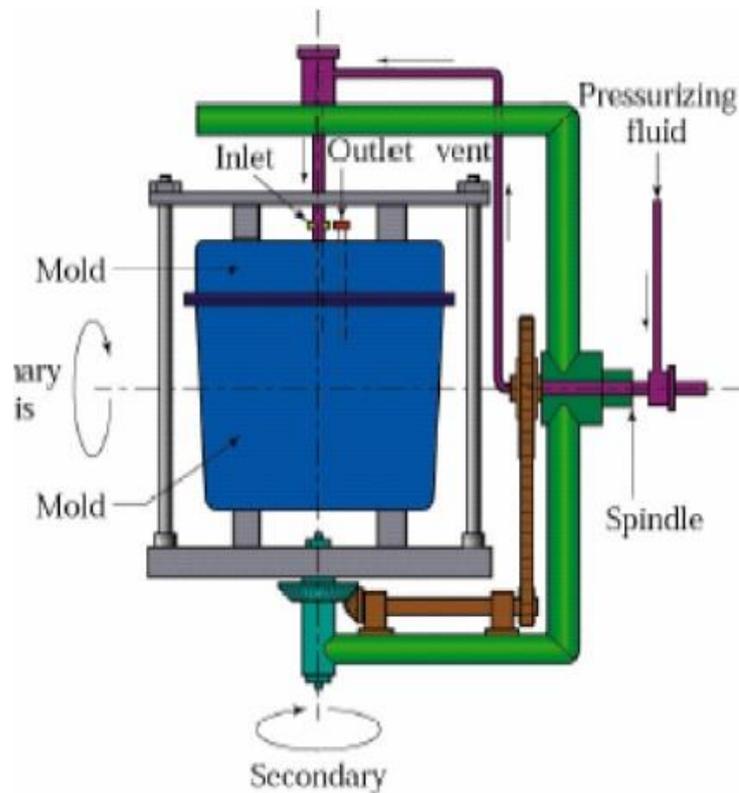


Figura 15. Máquina de Moldação por Centrifugação (18).

5.4 Moldação por Sopros

A moldação por sopro gera produtos ocos por meio da expansão de tubos de plástico quente que estão presos entre as mandíbulas do molde. O molde é fechado, prendendo as extremidades do cilindro e injeta-se ar comprimido que força o plástico contra as paredes do molde. Diferentes processos de moldação por sopro oferecem vantagens de acordo com o material utilizado, as necessidades de desempenho e a quantidade de produção. Este processo é limitado aos termoplásticos, polietileno de elevada densidade, polipropileno, PVC, PET. O processo é descrito na figura 16.

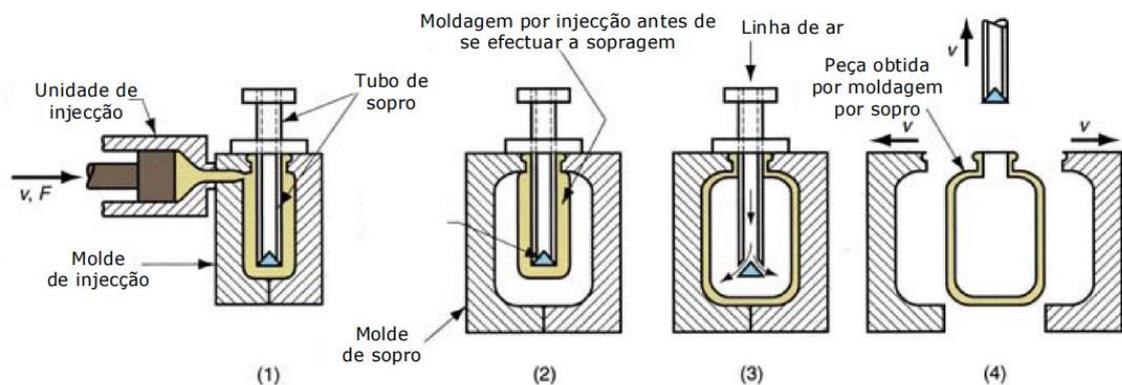


Figura 16. Sequencia para Moldação por Sopros (18).

Os plásticos são usados para fabricar grande variedade de peças moldadas por sopro, incluindo garrafas para produtos domésticos e higiene pessoal, laticínios e refrigerantes, pequenas embalagens para produtos industriais ou químicos, tanques de combustível, latas de gasolina, tanques grandes, tambores e painéis de automóveis.



Figura 17. Garrafas de água obtidas por Moldação por Sopros (19).

5.5 Prototipagem Rápida

A necessidade de dar uma resposta rápida às solicitações do mercado devido à globalização dos vários setores da indústria levou a que as empresas quisessem colocar novos produtos no mercado no menor espaço de tempo (“time to market”), sendo assim uma forma de serem mais competitivas e agressivas comercialmente.

Com o advento dos sistemas CAD/CAM, aumento de capacidade de modelação 3D e mais recentemente tecnologias de Prototipagem Rápida, trouxeram uma maior capacidade de redução do time to market. Estas tecnologias foram as mais determinantes para o funcionamento das novas empresa quando novos desafios são colocados.

Inicialmente as tecnologias de prototipagem rápida podem induzir um custo direto acrescido no projeto mas traduzem-se, a final, em ganhos na segurança na equipa de trabalho na realização de um novo produto e consequentemente na redução do chamado “time to market”, podendo originar maiores lucros globais numa fase mais avançada.

Podemos dizer que estamos perante um processo de Prototipagem Rápida se:

- O processo se baseia em CAD 3D;
- O protótipo é criado quase, ficando pronto no espaço de algumas horas ou dias e é produzido por adição de camadas de material;
- O processo requer a utilização de operários especializados sendo praticamente ilimitado em termos de capacidade de geração de formas.

Nos processos de Prototipagem Rápida os modelos são obtidos através da sucessiva adição de material camada por camada, até se obter a forma final pretendida. Estas peças apresentam algumas irregularidades nas suas superfícies derivadas do processo em si. Estes defeitos podem ser atenuados através de um processo de acabamento.

Em todos os processos recorre-se a um desenho CAD 3D que é traduzido para um ficheiro .STL, em que as superfícies do modelo são convertidas em triângulos. O ficheiro .STL, ao ser introduzido no equipamento de Prototipagem Rápida, é por sua vez convertido num ficheiro SLI, o qual divide o modelo nas várias camadas de construção, utilizando o software da própria máquina (17).

Existem vários processos de Prototipagem rápida, e cada um apresenta vantagens e desvantagens. Consoante o projeto em si, a escolha do processo envolve fatores como propriedades físicas, mecânicas e estéticas exigidas ao protótipo, material a utilizar, disponibilidade das tecnologias e custos envolvidos e finalmente os prazos para a realização do protótipo.

5.5.1 Processos de Produção Rápida

Estereolitografia (SL ou SLA)

O protótipo é construído por fotopolimerização de uma resina epóxi líquida, usando um feixe laser. Como a resina é líquida e relativamente pouco viscosa, a complexidade dos modelos pode ser extremamente elevada (17).

Quando o protótipo é retirado da máquina, é sujeito a uma pós-cura que lhe vai dar a máxima resistência. Dependendo dos requisitos, estes modelos podem ser sujeitos a operação de acabamento melhorando assim o seu aspeto e funcionalidade. O processo é descrito na figura 18.

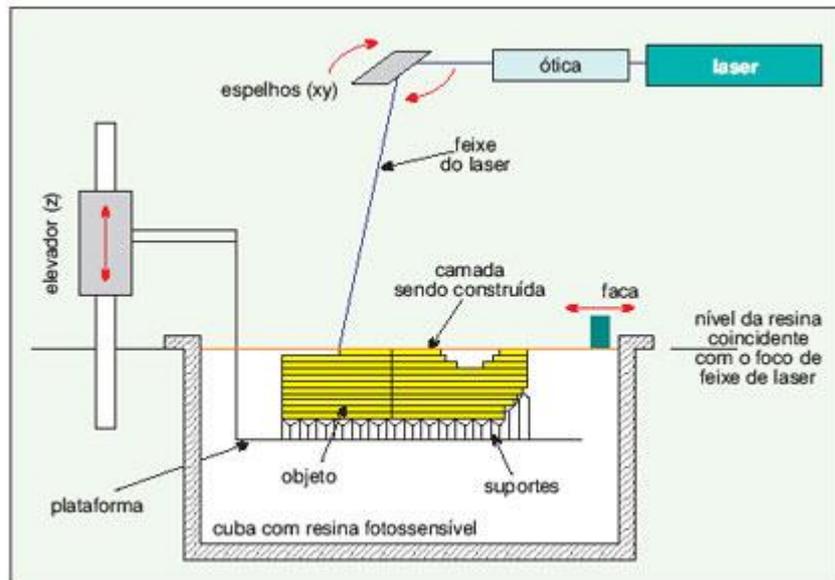


Figura 18. Esquema do funcionamento do sistema SL.

Fabricação de Objetos por Camadas (LOM)

Na camara de construção pré-aquecida é laminada uma camada de pó correspondente á espessura das camadas de construção. Um feixe laser constrói os modelos fundindo as interfaces dos pós, obtendo-se desta forma uma estrutura sólida parcialmente porosa. O pó é removido da máquina, sendo sujeito a operações de grenalhagem e/ou impregnações para aumento da resistência mecânica do modelo e melhoria da qualidade superficial (17).

Impressão tridimensional

Os modelos são construídos a partir de um material em pó ligado por intermédio de um ligante líquido. O jato de ligante é aplicado através de cabeças de impressão idênticas as utilizadas pelas impressoras de jato de tinta. A peça é retirada em verde de máquina ficando o pó não aglutinado pelo ligante solto. O modelo sofre numa segunda fase, um tratamento térmico para aumentar a sua resistência (17).

Modelação por Extrusão de Plástico

Consiste na deposição de uma material termoplástico, o qual é fornecido á cabeça extrusora através de uma bobine de fio. As máquinas mais recentes possuem cabeças extrusoras que se movem magneticamente a elevada velocidade, permitindo a construção dos modelos rapidamente (17). A figura 19 ajuda na descrição do processo.

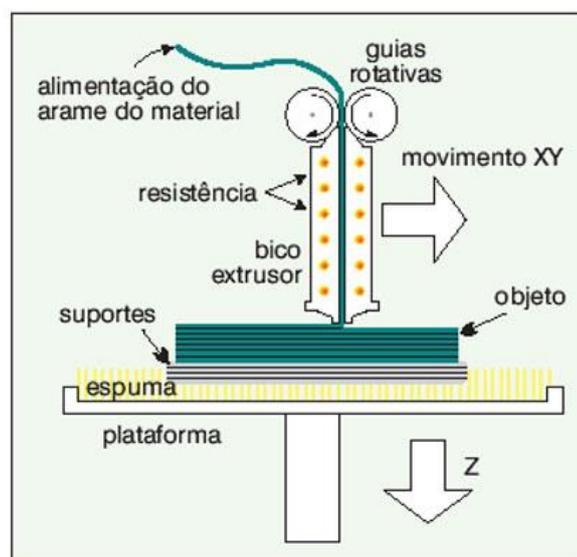


Figura 19. Esquema do sistema de modelação por extrusão de plástico.

6. Polímeros

Há anos que a indústria de plásticos se vem esforçando por produzir materiais que pudessem genuinamente, ser usados em aplicações de engenharia (14). Nas últimas décadas, a aplicação deste material tem vindo a aumentar drasticamente, inclusive em áreas de aplicação que eram amplamente exclusivas dos metais, tais como a indústria automóvel e aeroespacial.

Para dar corpo a este projeto é necessário fazer uma seleção dos materiais possíveis, que melhor servissem todos os requisitos do projeto e sem alterar em muito as características do produto final. No sentido de não alterar essas características, foi mantida a opção pelos polímeros. Estes materiais, podem ter origem natural, onde são formados á base de, proteínas, polissacarídeos e latex ou de origem sintética, sendo então fabricados pelo homem como podemos ver na figura 20.

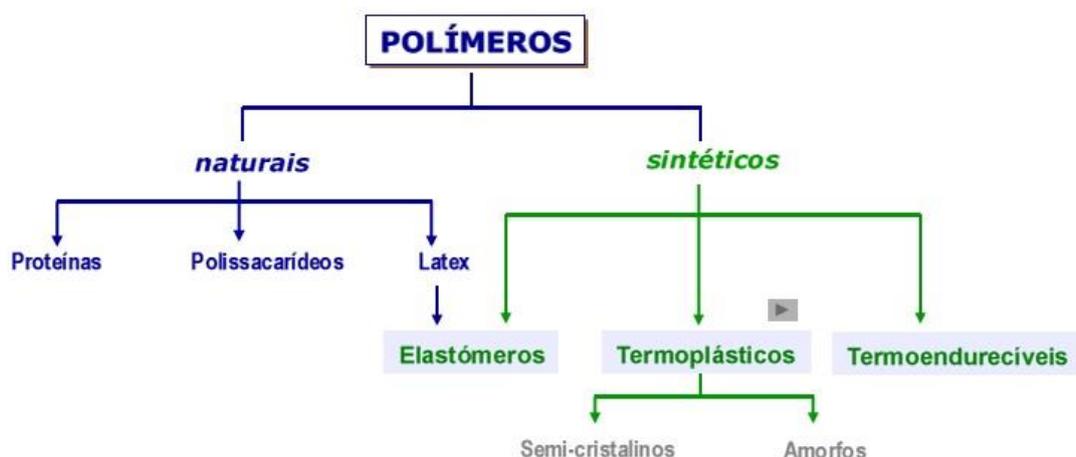


Figura 20. Diagrama da divisão dos Polímeros (15).

Os Polímeros são materiais constituídos por macromoléculas que contem uma cadeia central de átomos unidos por ligações covalentes, ou vulgarmente conhecidos como plásticos.

Os Polímeros apresentam as seguintes características:

- Baixa densidade
- Podem ser transparentes ou opacos
- Podem ser flexíveis ou rígidos
- Podem ter qualquer tipo de cor

-
- Tem baixa permeabilidade
 - Podem alterar as suas características mecânicas adicionando aditivos.
 - Possibilidade de impressão
 - E tem uma alta gama de temperaturas de fusão.
 - Fácil soldabilidade

E tem como pontos de vantagem em relação a outros materiais as seguintes características:

- Baixo peso
- Baixa temperatura de processamento
- Baixo custo de produção
- Pode adquirir diversas formas, cores e tamanhos
- E tem uma variação das suas características mecânicas com a variação da temperatura

Este material está dividido em três tipos, com características próprias. São polímeros termoplásticos, termoendurecíveis e elastómeros.

6.1 Termoplásticos

Os polímeros termoplásticos têm como características atômicas serem constituídos por cadeias lineares ou ligeiramente ramificadas e quando aquecidos tornam-se flexíveis recuperando a rigidez quando arrefecem.

Outras características dos termoplásticos são:

- Tem capacidade de fluir sobre a combinação adequada de pressão e temperatura.
- Dependendo da temperatura ambiente podem ser duros ou flexíveis
- Em temperaturas baixas são rígidos;

Dentro deste género de materiais podemos acrescentar uma subdivisão. Os termoplásticos podem ter uma estrutura cristalina ou amorfa. Consoante a estrutura apresentada, o termoplástico obtém características diferentes. Na tabela seguinte podemos ver algumas diferenças que a estrutura confere aos termoplásticos.

Tabela 7. Características dos termoplásticos de estrutura amorfa e cristalina.

Estrutura Amorfa	Estrutura Cristalina
Ampla gama de amolecimento	Ponto de fusão bem definido
Baixa resistência à Fadiga e Desgaste	Elevada resistência à Fadiga e Desgaste
Baixa resistência Química	Elevada resistência Química
Normalmente transparentes	Normalmente opacos
Baixa contração volumétrica	Elevada contração volumétrica

6.2 Termoendurecíveis

Os polímeros termoendurecíveis e elastómeros são atómicamente constituídos por cadeias ligadas entre si, sendo também insensíveis à temperatura podendo ser rígidos ou muito flexíveis.

Os polímeros termoendurecíveis têm como características:

- Não se deformam
- Não fundem
- São resistentes à temperatura

6.3 Elastómeros

No caso dos elastómeros ou borrachas tem como suas características não fundir nem dissolver (pode acontecer quando em contacto com solventes). Estes têm um grau muito elevado de elasticidade e deformam-se mesmo para tensões muito pequenas.

7. Análise de Dados

Depois de recolhida toda a informação quanto aos parâmetros do projeto era necessário fazer um raciocínio quanto ao caminho a escolher tendo por base os conceitos apresentados nos capítulos anteriores. Deste modo, e de forma sequencial, teríamos de escolher a forma/sistema de fixação mais adequado para a realização do projeto, analisar o binómio da escolha do material em conjunto com o seu processo de fabrico do qual se poderá obter a melhor relação entre os custos inerentes à sua realização, o preço do equipamento a adquirir, e o preço de cada peça fabricada. Com esta linha de raciocínio foram analisados todos os dados obtidos e foram dados os passos seguintes para elaboração do novo sistema de fixação como mostra o Diagrama a seguir apresentado na figura 21.

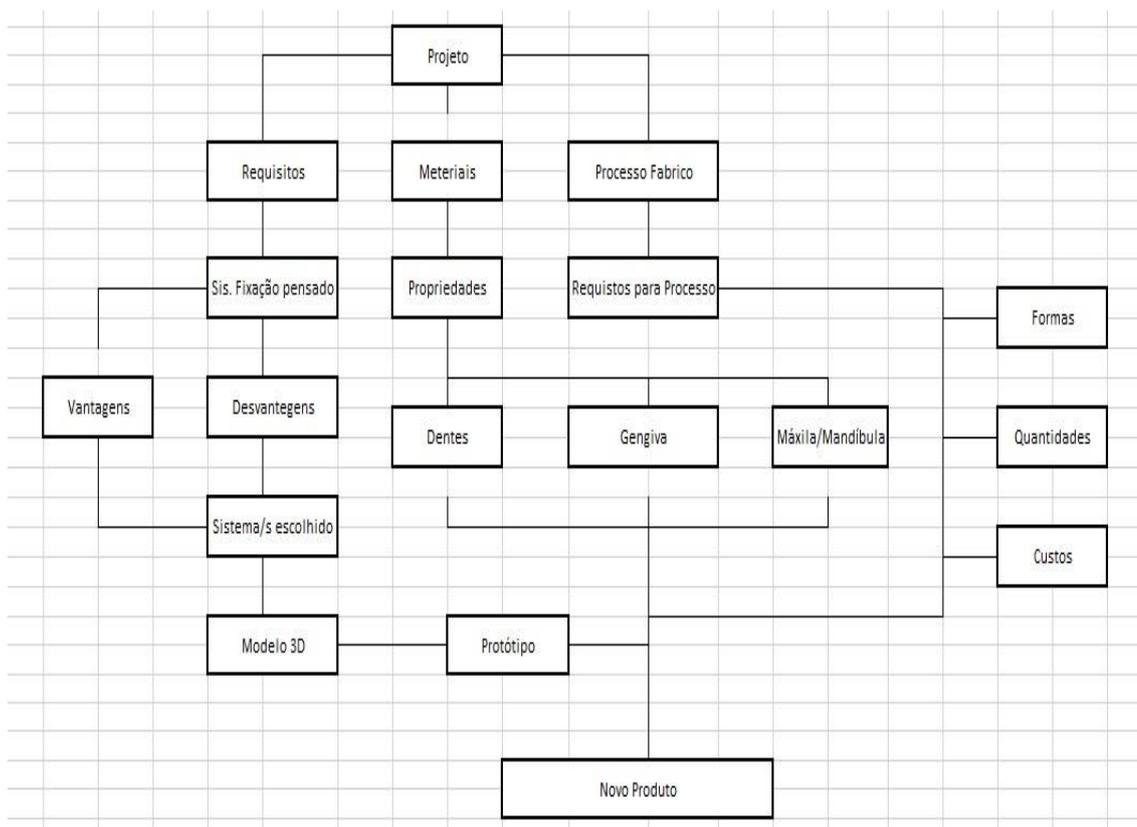


Figura 21. Diagrama para obtenção do novo produto.

7.1 Análise dos sistemas de fixação pensados

Numa fase inicial do projeto, ainda só com as ideias dos sistemas de fixação pensados e com uns esboços 3D para perceção do funcionamento dos mesmos foram aparecendo as qualidades e defeitos de cada método de fixação. Ao longo da observação destes pequenos desenhos 3D verificaram-se qualidades essenciais para o projecto, tais como a simplicidade e a eficiência mas também defeitos que se revelaram uma desvantagem crítica para o projeto (impossibilidade da reprodução fiel do método de extração com o uso dos instrumentos dentários).

Para uma melhor avaliação de cada sistema de fixação, foi feita uma tabela de valores com o somatório de todas as vantagens e desvantagens que cada sistema de fixação como mostra na tabela 8.

Tabela 8. Somatório das Vantagens e Desvantagens dos sistemas de Fixação.

Sistemas de fixação		
	Σ Vantagens	Σ Desvantagens
Fixação por rotação	1	4
Fixação SD1	1	4
Fixação SD2	1	3
Fixação por aro	2	2
Fixação íman	3	2
Fixação Atrito	3	1

Depois de construída esta tabela de valores seria possível verificar, de uma forma linear, qual o método ou métodos de fixação que mais garantias davam para cumprir os requisitos estabelecidos. De facto, por análise direta da tabela 8, poderíamos afirmar que

os sistemas de fixação mais capazes seriam o de *Fixação por aro*, de *Fixação por Íman* e os que funcionavam com *Fixação por atrito*.

Depois de esta análise quantitativa realizada foram reduzidas para 3 hipóteses de sistemas de fixação, as formas de prosseguir com o projeto, e lendo a tabela anterior poderíamos afirmar que os dois últimos modos de fixação seriam, os sistemas de fixação de eleição.

Analisando as particularidades de cada sistema de fixação escolhido, ou seja, as suas vantagens e desvantagens, teríamos de passar a uma análise qualitativa. Como foi dito mais acima, existem desvantagens que por si, seriam suficientes para eliminar da escolha, um sistema de fixação.

Tabela 9. Defeitos que impossibilitam a aplicação do sistema de Fixação.

Tabela de Defeitos			
	Necessidade sistema fixação auxiliar	Não reproduz fielmente extração com o uso dos instrumentos dentários	Impossibilidade de remoção de um só dente
Fixação Aro	-	X	X
Fixação Íman	X	-	-
Fixação Atrito	-	-	-

Para diferenciar qualitativamente os sistemas de fixação apresentados foi elaborada uma tabela onde fossem discriminados os defeitos capazes de, pela sua existência, eliminar os modos de fixação para os restantes sistemas da análise quantitativa. Assim por leitura da tabela 9, acima apresentada, poderemos concluir que, o sistema de fixação de eleição, por exclusão de partes será a Fixação por atrito.

Escolhido o modo de fixação seria agora necessário criar um pequeno protótipo que simulasse sistema de fixação para comprovar a viabilidade do sistema escolhido.

7.2 Protótipo do encaixe

Com o método de fixação por atrito definido como método a usar para a execução do projeto, era necessário validar o sistema escolhido. Para isso era necessário criar alguns protótipos que fisicamente validassem os pressupostos teóricos inerentes ao método de fixação escolhido. No caso da fixação por atrito seria necessário testar, primeiro, se a inclinação de 3 graus dada à “raiz” do dente seria necessária para garantir a fixação do dente, se com os instrumentos de extração de dentes era possível realizar a tarefa de extração e, por fim, analisar se havia muito desgaste na raiz com sucessivas extrações.

Para comprovar o sistema foram desenhados os primeiros modelos da raiz do dente mais o seu encaixe e depois com o recurso a uma máquina CNC existente no laboratório foi contruído o protótipo funcional. A figura 22 mostra um dente feito com o equipamento CNC no laboratório.

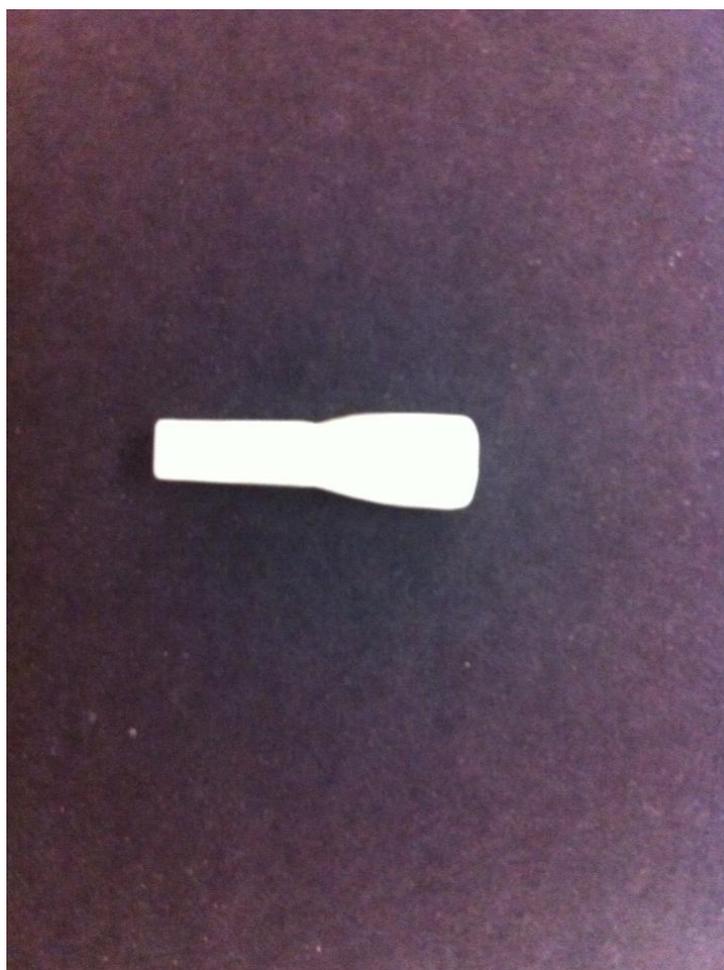


Figura 22. Dente Maquinado na máquina CNC existente no laboratório.

Após alguns modelos funcionais contruídos foram testados manualmente através da colocação e remoção dos dentes. Este teste aos dentes foi repetido cerca de 200 vezes para cada. Com base neste foram retiradas algumas notas presentes na tabela 10.

Tabela 10. Resultados dos testes manuais.

Teste Realizado Manualmente			
	Desgaste	Força	Aperto conjunto
Base	Nenhum	Mantém	Diminui ligeiramente
Dente	Algum	Diminui ligeiramente	

Após a observação dos testes realizados manualmente ao protótipo de encaixe dos dentes, podemos concluir que os dentes sofrem um ligeiro desgaste, o que origina uma ligeira perda da força do aperto, que por sua vez faz com que o conjunto perca ligeiramente a sua capacidade. De salientar que esta ligeira perda de força não é suficiente para que os dentes saiam do seu lugar. Para combater esta ligeira perda de aperto devido as sucessivas tentativas de colocação e remoção dos mesmos, foram implantados pequenos ímanes na base dos dentes e do encaixe para manter a posição. Estes ímanes não são considerados como sistemas de fixação auxiliar pois, o atrito é suficiente para o fazer, apenas são usados como garantia para manter a posição correta dos dentes em relação a base.



Figura 23. Protótipo criado pela empresa Denteduco

Equipamento CNC

O equipamento de controlo numérico computacional existente no laboratório (CNC) tem com princípio de funcionamento ser um processo subtrativo de material, ao contrário dos outros processos aditivos subjacentes aos métodos usados na prototipagem. A figura 24 mostra o equipamento.

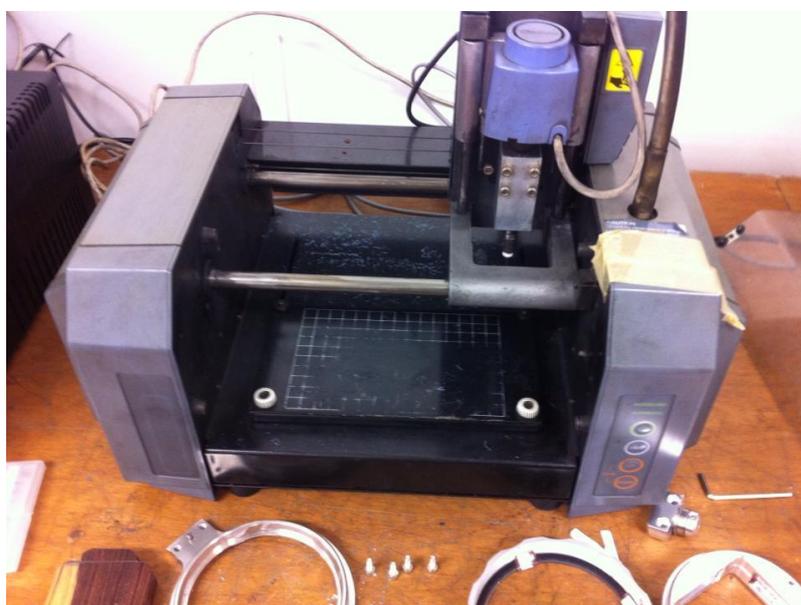


Figura 24. Equipamento CNC existente no Laboratório

Este processo inicia-se com a elaboração do desenho da peça a construir pela máquina CNC, que depois é passado para a linguagem que a máquina usa para efetuar as operações seguintes. Depois disto, é feita a calibração da máquina, isto é, é definido a posição onde o material está, é definido os zeros e também as suas dimensões do material lá colocado. Depois de calibrada a máquina inicia o processo de arranque de material passagem por passagem, até a peça atingir a forma final desejada.

7.3 Método de produção

Depois de estar definido e aprovado o método de fixação a usar neste projeto era essencial definir qual o processo de fabrico mais adequado para a produção deste novo produto, quer a nível de forma como de custo do processo em si.

Por análise dos processos de fabrico existentes podemos verificar que, para otimização do processo, quanto a custos como a formas produzidas, eles diferenciam-se uns dos outros. Os custos podem variar neste campo porque pode entrar o investimento inicial no equipamento, a quantidade a produzir e por consequência do fator anterior o preço de produção que cada peça têm. Quanto às formas, os processos abordados são maior parte deles limitados, apenas produzem determinadas formas pré-estabelecidas. As peças a fabricar não possuem formas geométricas, contém formas naturais do corpo humano, e na tabela seguinte vemos quais os processos de fabrico capazes de reproduzir tais formas.

Tabela 11. Capacidade de reprodução das formas orgânicas.

Processos de Fabrico					
Capacidade de reprodução da forma.	Sopro	Injeção	Centrifugação	Extrusão	Prototipagem Rápida
	Não	Sim	Não	Não	Sim

Através da leitura da tabela 11 podemos concluir que os processos de fabrico capazes de reproduzir as formas pretendidas são a Produção Rápida e Injeção por Moldes. Entre estes dois processos sairá aquele que será usado para o fabrico dos componentes.

Para uma análise mais completa foram comparados os custos de produção para cada tipo de processo de moldação, tendo como intenção uma produção de exemplares na ordem de 5000 peças completas e cerca de 20000 dentes para este novo produto.

Para se efetuar essa análise de custo, de forma muito simples, temos de ter em atenção o número de peças pretendidas e às implicações que vêm da adoção de cada processo. Como ambos os processos podem facilmente produzir essa quantidade de

peças foi calculado o preço médio que cada peça tinha de ter para amortizar o investimento inicial, ficando assim com uma pequena ideia dos valores envolvidos.

Pegando no processo de Produção Rápida, apenas existirá o investimento inicial para a aquisição da máquina. Sabendo que uma máquina industrial de impressão 3D por extrusão de filamento de plástico, *Projet 3500 HDMax* custa cerca 62500 € (20) fazendo a divisão com a soma de total de peças a produzir, dá o preço que cada peça teria que custar para amortizar o preço do investimento inicial na máquina.

$$\text{Preço médio por peça} = \left(\text{Investimento} / \text{numero total peças} \right)$$

$$PMP = \left(62500 / 25000 \right)$$

$$PMP = 2.5€$$

Para a produção rápida o custo médio por peça seria de 2.5 €, e com esse valor abateríamos o valor do investimento inicial.

Para o processo de Injeção em moldes o investimento inicial é muito maior que na prototipagem rápida. Neste caso teremos o investimento inicial de 50000 € pela máquina e mais 40000 € para todos os moldes necessários, dando um investimento inicial de 90000€. Usando a fórmula anterior podemos calcular o preço médio por peça.

$$PMP = \left(90000 / 25000 \right)$$

$$PMP = 3.6 €$$

Para a injeção o preço médio por peça para amortizar o investimento inicial seria de 3.6 €.

Tabela 12. Preço por peça para amortização do investimento Inicial.

Preços Amortização		
	Injeção em Moldes	Produção Rápida
Investimento inicial	90000 €	5000 €
Número de peças	25000 Unidades	25000 Unidades
PMP	3.6 €	0.2 €

Por comparação de dados obtidos na tabela 12 podemos dizer que o processo de produção mais adequado ao número de peças pretendidas é o de Produção Rápido.

Este método de produção não foi o usado porque entretanto a empresa tinha já adquirido o equipamento de injeção por moldes. A escolha deste processo fez com que os modelos desenhados tivessem ângulos que permitissem a saída das peças do molde quando fossem fabricadas.

7.4 Seleção de Materiais

Mandíbula e Maxila

Para o fabrico da maxila e mandíbula o polímero escolhido têm de respeitar algumas características, entre as quais, ser rígida e suportar as cargas que fixam os dentes a si.

A opção caiu sobre um polímero termoplástico com bastante recurso em projetos de Engenharia, Nylon 6 ou poliamida como também pode ser conhecido. Este Polímero tem boa capacidade para suportar cargas, resiste bem ao impacto a elevadas temperaturas, boa resistência química e abrasão tem elevada dureza. A tabela 13 mostra algumas das propriedades da poliamida.

Tabela 13. Propriedades da Poliamida (5).

Termoplástico				
Poliamida (Nylon 6)				
Propriedades	Unidades Métricas		Valores unidades US	
Densidade	1.13 *10 ³	Kg/m ³	70.5	lb/ft ³
Modulo Elasticidade	2.95	GPa	420	ksi
Resistência tração	100	MPa	14500	psi
Alongamento	60	%	60	%
Resistência Flexão	91	MPa	13000	psi
Dilatação térmica (20 °C)	66*10 ⁻⁶	°C ⁻¹	37*10 ⁻⁶	in/(in* °F)
Condutividade Térmica	0.25	W/ (m*K)	1.73	BTU*in/(hr*ft ² *°F)
Temperatura de transição vítrea	50	°C	122	°F
Temperatura de trabalho máxima	110	°C	230	°F
Resistividade Elétrica	10 ⁴ -10 ⁷	Ohm*m	10 ⁶ - 10 ⁹	Ohm*cm
Constante dielétrica	4.5	-	4.5	-

Dentes

A principal característica que o polímero escolhido para o fabrico dos dentes necessita de ter é, quando os alunos, ao praticarem com os instrumentos necessários para a arte e com o aumento de temperatura espectral no ponto de trabalho, estes não se deformem e apenas que sofram o desgaste provocado pelo atrito entre a ferramenta e a superfície do dente.

Para satisfazer as características que os dentes necessitavam de ter, foi adotado o uso da melamina, que pertence a família dos plásticos termoendurecíveis e tem como principal características uma elevada dureza pode suportar o ligeiro aumento de temperatura no ponto de trabalho, pois consegue manter as suas propriedades até 150 °C como mostra a tabela 14.

Tabela 14. Propriedades da Melamina (5).

Termoendurecível				
Melamina Formaldeído (MF)				
Propriedades	Unidades Métricas		Valores unidades US	
Densidade	1.55 *10 ³	Kg/m ³	96.8	lb/ft ³
Modulo Elasticidade	12	GPa	1800	ksi
Resistência a tração	65	MPa	9500	Psi
Alongamento	0.6	%	0.6	%
Resistência à Flexão em Rendimento	140	MPa	20000	Psi
Resistência à compressão	240	MPa	35000	Psi
Dilatação térmica (20 °C)	29*10 ⁻⁶	°C ⁻¹	16*10 ⁻⁶	In/(in* °F)
Temperatura máxima trabalho	150	°C	300	°F

Gengiva

Para a o fabrico da gengiva era necessário que este material imitasse o comportamento da gengiva humana, tanto em forma como em elasticidade. O tipo de

polímero que mais se assemelha a este tipo de requisitos são os elastómeros ou borrachas, logo a opção por este tipo de polímeros foi imediata.

Para termos a borracha com as características da gengiva humana, esta tinha que ser macia. Para determinar se a borracha se enquadra neste requisito temos de verificar se a sua dureza estava dentro dos parâmetros para ser considerada macia. A dureza nas borrachas é medida pela penetração de uma esfera rígida num provete normalizado, em condições previamente normalizadas. Na tabela 15 é feita a comparação para entre a dureza sensitiva e a dureza em *Shore A*, determinando assim a gama de valores de dureza que a borracha deverá ter.

Tabela 15. Valores em *Shore A* para as durezas sensitivas.

Durezas	
Dureza Sensitiva	Dureza <i>Shore A</i>
Muito macia	Inferior a 40
Macia	40-60
Média	60-75
Duro	75-90
Muito Duro	90-100

Por observação da tabela podemos aferir que a borracha para ser macia deverá possuir uma dureza entre os 40 e 60 *Shore A*. O material escolhido foi visto no catálogo *ExxonMobil Chemical* e trata-se de termoplástico vulcanizado com a dureza dentro dos parâmetros estipulados como pode demos verificar na tabela 16, bem como mais algumas características da borracha.

Tabela 16. Propriedades do Elastômero (9).

<i>Santoprene 101-45W255</i>	
Densidade	0.980 g/cm ³
Dureza	Shore A 48
Alongamento	400 %

Além dos requisitos mecânicos que eram exigidos dos materiais estes foram escolhidos também por poderem ser usados no método de fabrico estipulado no capítulo anterior, ou seja, Injeção em Moldes.

8. Modelação

Para projetar as diferentes componentes do modelo ortodôntico, foram necessárias diferentes amostras, dos vários componentes constituintes da placa com fins pedagógicos. Essas amostras, são digitalizações 3D dos vários componentes, dentes, gengivas, mandíbula e maxila, fornecidas pela empresa “Denteduco”, que foram posteriormente corrigidas no Software Magics e depois alteradas no SolidWorks.

As digitalizações fornecidas continham erros nas superfícies, desde descontinuidades, superfícies com relevos inexistentes que necessitavam de ser corrigidos, e com o recurso ao Software Magics as superfícies foram corrigidas e convertidas numa extensão que permitisse serem alteradas no SolidWorks.

Com as superfícies corrigidas e estando numa fase inicial da modelação, foi adotado o método de “modelação de sólidos”. Este tipo de modelação permite criar sólidos com diversos tipos de formas não lineares. Do ponto de vista estético este tipo de modelação dava resultados satisfatórios, a semelhança entre a digitalização dada e a modelação criada era boa, mas no caso da modelação dos dentes esse grau de semelhança não era suficiente, pois estes componentes têm obrigatoriamente de ser, iguais à digitalização exceto na raiz que teria de ser alterada para receber o novo sistema de encaixe.

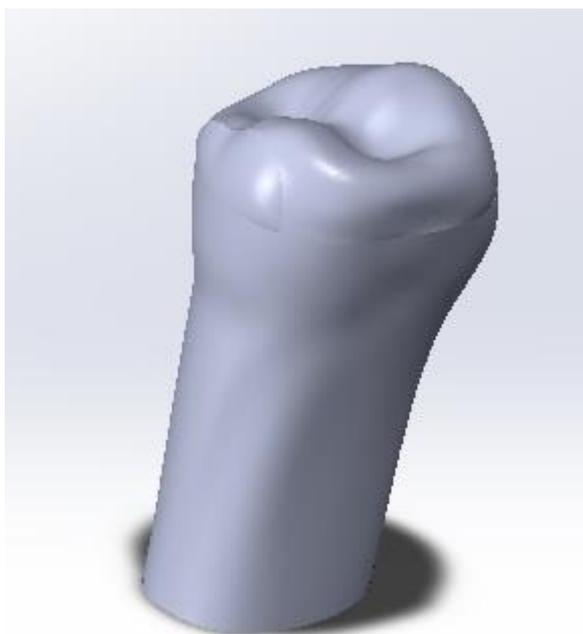


Figura 25. Dente feito por Modelação de Sólidos.

Numa fase mais adiantada, quando se avançou para a modelação do “osso” e da gengiva, a modelação revelou-se mais complicada, primeiro ao nível da própria modelação: era necessário criar vários planos onde se construía o desenho gerado pela interceção do plano em questão, com a superfície do osso ou gengiva, sendo que este processo era repetido as vezes necessárias para criar um conjunto de desenhos que possibilitava a construção do sólido; depois ao nível do detalhe, pois os sólidos criados eram semelhantes às digitalizações originais, mas não com o detalhe exigido gerando erros inerentes do próprio processo escolhido para a sua criação.



Figura 26. Maxila feita por Modelação de Sólidos.

Com as primeiras digitalizações, veio também com um grande problema, tanto o osso, os dentes e a gengiva vieram com uma origem diferente uns dos outros, o que quando se iniciou o processo de montagem dos sólidos uns com os outros gerava um grande problema na sua colocação pois, não havia referencias, e por mais parecido que estivessem, havia grande probabilidade de não estarem corretamente postos.

Vendo que, recorrendo à Modelação de Sólidos, o processo de criação dos modelos 3D era complicado, moroso e de semelhança ainda aquém do aceitável, este processo foi abandonado.

Em favor de uma montagem sem qualquer problema, foram pedidas novas digitalizações, onde todos os componentes tinham a mesma origem, facilitando assim

todo esse processo, mesmo tendo necessidade de promover algumas alterações nos vários componentes para satisfazer os objetivos propostos.

Foi então abordado outro tipo de modelação, Modelação de Superfícies, permitindo a criação de uma “folha” exatamente igual, com as mesmas curvaturas, mesmo tamanho que as superfícies originalmente existentes, para a sua criação. No final deste processo se as superfícies estiveram sem erros, são fechadas numa única, e tendo a semelhança desejada, é transformada em sólido numa versão final.

O início do processo nesta modelação, foi como na anterior, os dentes, o osso e posteriormente a gengiva. Os dentes modelados foram criados através das novas digitalizações fornecidas e como foi descrito o processo anteriormente foram feitas algumas cópias com várias células incluídas para formar uma superfície. Depois de as várias células existentes serem copiadas e transformadas em superfície única, se necessário, houvesse alguma superfície irregular, procedia-se a sua correção, criando uma nova obedecendo as tangências das suas células circundantes. Depois da repetição deste processo para os vários dentes existentes, as várias superfícies transformadas numa única e completamente fechada e sem erros, era finalmente transformada em sólido.

Os novos dentes criados comparados com os obtidos por Modelação de Sólidos, têm um grau de semelhança muito superior como se vê na figura 27. Depois deste passo foi necessário alterar a base do dente para levar o novo sistema de encaixe rápido.

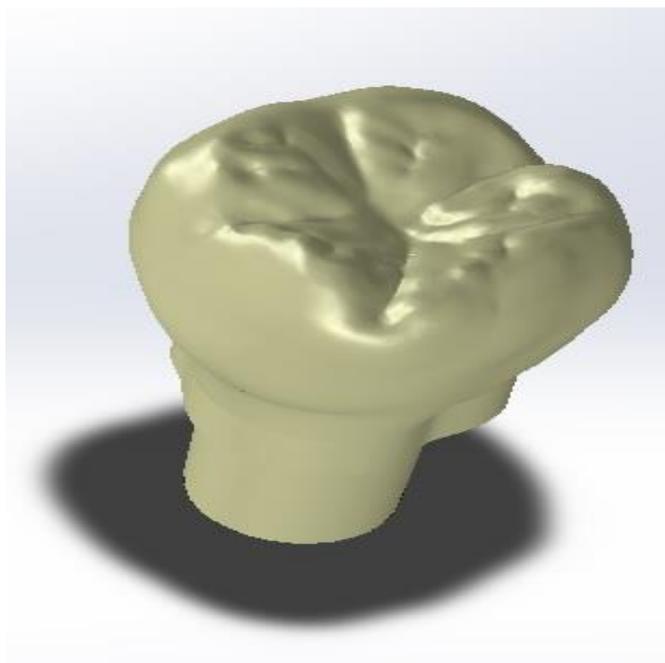


Figura 27. Dente obtido através de Modelação de Superfícies.

Segue-se a modelação do maxilar ou mandíbula, ambos foram obtidos da mesma forma. As superfícies da modelação foram copiadas das existentes na digitalização, mas apenas nas zonas onde os dentes vão permanecer quando ser der a montagem. As restantes foram ligeiramente alteradas para facilitar no processo de fabrico.

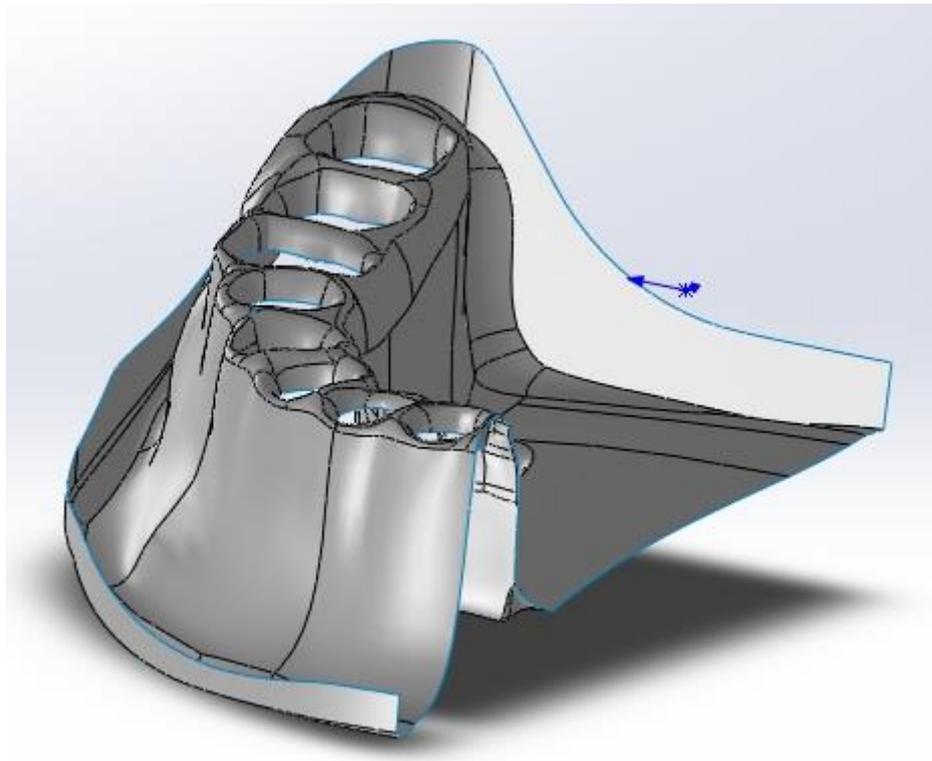


Figura 28. Osso obtido por Modelação de Superfícies.

Para a modelação das superfícies da gengiva foi um processo mais arduo. Sabendo das alterações promovidas no osso, logo se chegou a conclusão que a simples copia das superfícies da gengiva não serviria. Em determinados pontos a superfície exterior da gengiva entrava no interior do osso, logo não poderia ser dessa maneira. Para resolver este problema, todas as superfícies do exterior do osso, foram copiadas ficando assim com as superfícies da base da gengiva. As superfícies onde os dentes são colocados são exatamente iguais ao ficheiro da digitalização da gengiva, logo toda essa parte ficaria concluída, restando apenas a parte interior e exterior da gengiva. Para fazer as partes exteriores da gengiva foi necessário acrescentar mais processos na sua elaboração, bem como muito mais trabalho de preenchimento de espaços entre as várias

superfícies criadas. As superfícies usadas para a nova parte exterior foram obtidas através do comando offset, a uma distância de 0.5 mm do original.

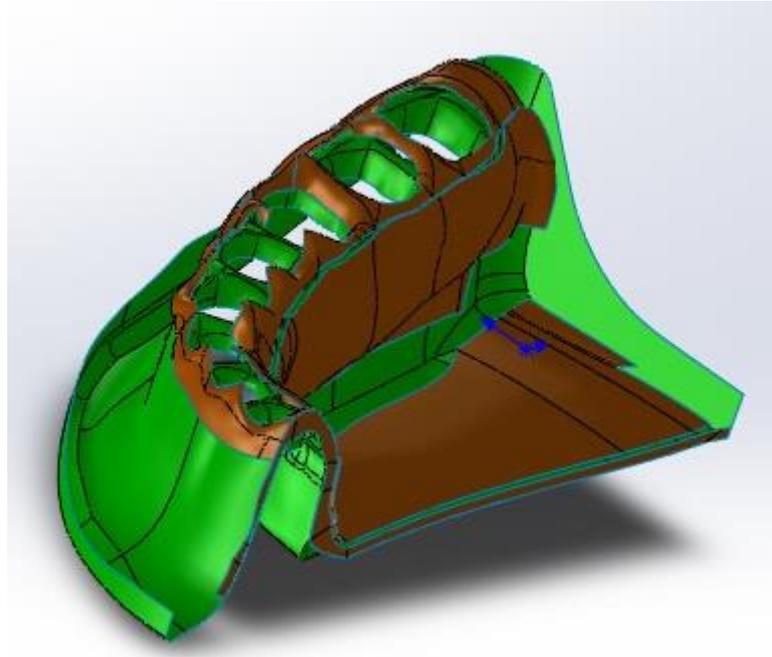


Figura 29. Forma como foi obtida a gengiva através da Modelação de Superfícies.

Posteriormente foram deslocados ou afastados para dar uma semelhança o mais natural possível em relação à boca humana. Como ao distanciarmos as superfícies criadas através do offset, houveram falhas entre elas, esses espaços foram completados manualmente obedecendo sempre a tangencias entre si. O passo seguinte foi a união das superfícies das que daria as gengivas. O último passo foi ter atenção as espessuras da parede pois como será fabricado num elastómero tem de obedecer a uma espessura mínima para não rasgar no processo de desamoldação.

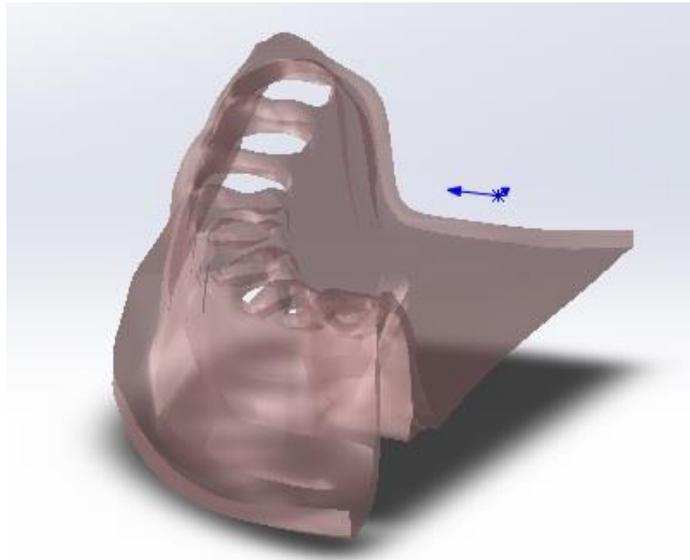


Figura 30. Gengiva obtida por Modelação de Superfícies.

8.1 Alterações Efetuadas

Alteração na raiz do dente

Uma das alterações necessárias para a execução do projeto, é a alteração da raiz do dente. Anteriormente a raiz do dente era composta por um orifício onde era apertado um elemento roscado para se proceder a sua fixação. Assim a raiz do dente foi recriada e foi modificada para uma forma de paralelepípedo com uma ligeira inclinação, cerca de 3 graus, para provocar atrito entra a raiz e a parede onde este se encaixará. Na sua extremidade ficará um ímã que ajudará na sua fixação. As raízes dos dentes, tendo formas parecidas são diferentes, pois como na boca humana, um dente só tem uma posição.



Figura 31. Dente com magnético na base.

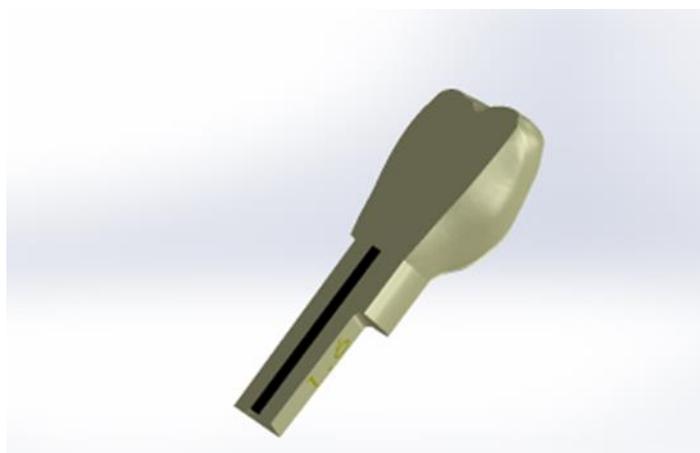


Figura 32. Dente com magnético em corte.

Alteração base de Encaixe dos dentes

Ao contrário dos modelos originais, onde o dente batia numa mesa na base de encaixe e pelo apertar o elemento roscado contra a mesa garantia a fixação, este para cada raiz do dente terá o seu orifício com forma única, onde só o seu respetivo dente encaixará no seu sítio, onde haverá um elemento magnético com a polaridade oposta ao do dente que ajudará a fixar. Estes orifícios foram todos desenhados de raiz com o propósito do novo sistema de encaixe.

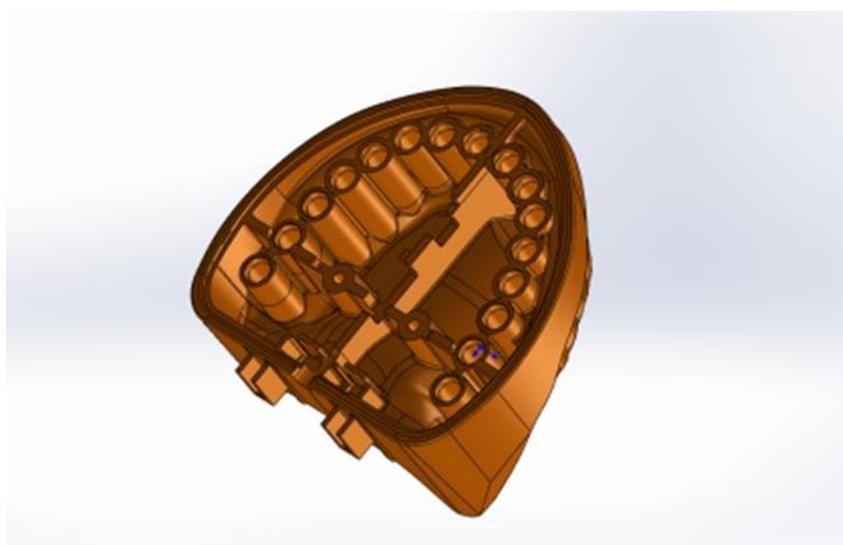


Figura 33. Base alterada com encaixe para os magnéticos.

Alteração dos Sistema de articulação

O sistema de articulação das placas existentes no mercado são aparafusadas a base. Não sendo uma das exigências pedidas para o projeto, optou-se por também, inovar neste capítulo. O método de fixação da articulação foi alterada para uma em que não fosse necessário aparafusar. Foi posta de forma para que seja fixada através do atrito entre componentes.

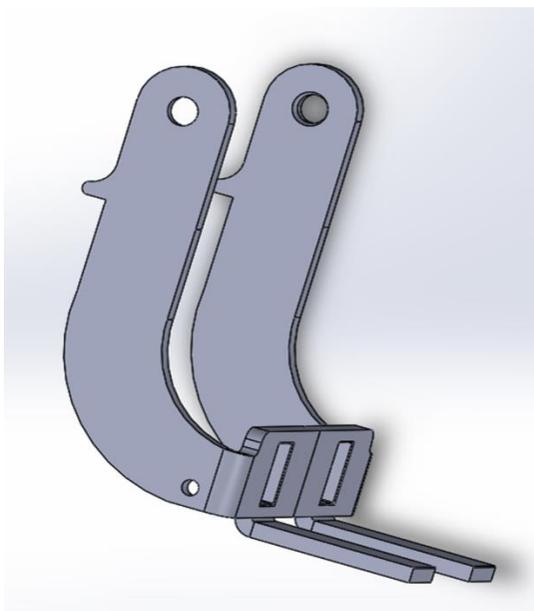


Figura 34. Sistema de encaixe da articulação sem parafuso.

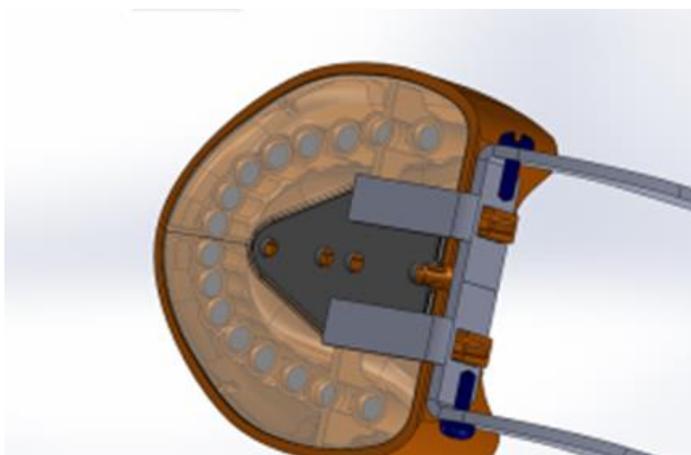


Figura 35. Nova articulação montada na base.

8.2 Resultado Final

Para uma melhor visualização do resultado final da modelação 3D apresentam-se nas imagens seguintes, algumas vistas, entre as quais os dentes modelados (figura 34), uma imagem do conjunto tanto montado (figura 35) como em vista explodida (figura 36) e uma imagem em corte onde se pode verificar todo o todos os componentes bem como o novo sistema de fixação aplicado (figura 37).

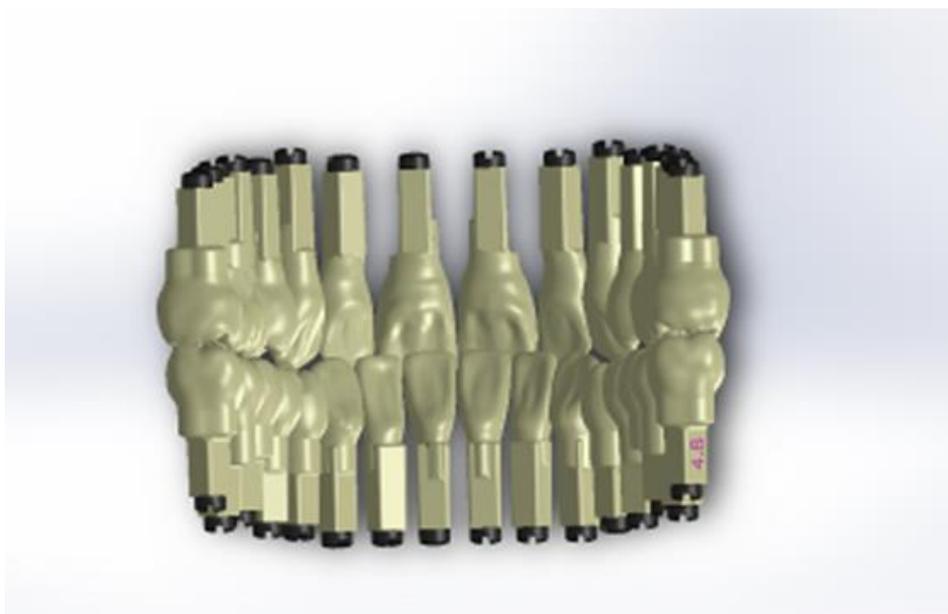


Figura 36. Vista dos dentes modelados com as posições já definidas.

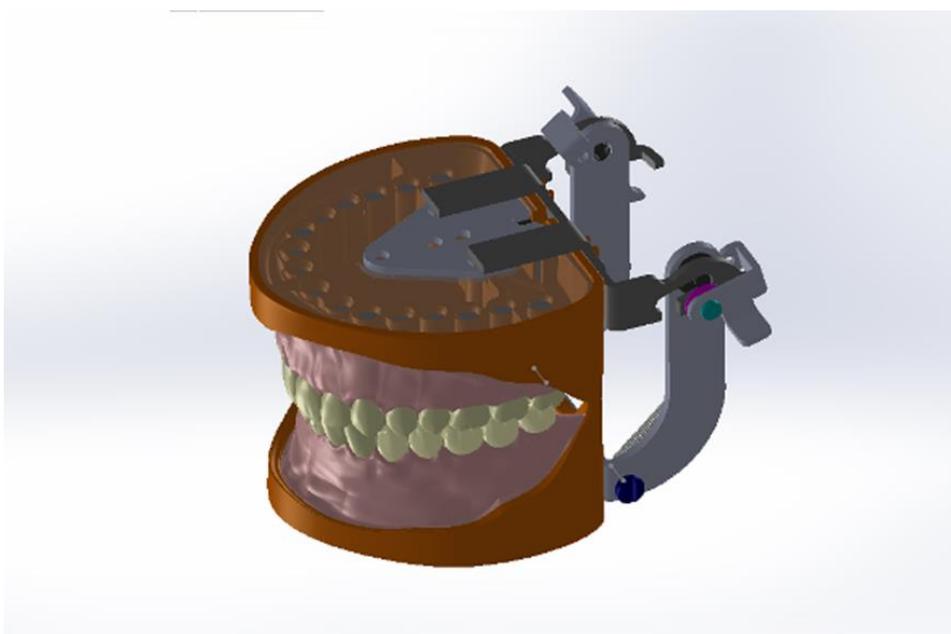


Figura 37. Imagem do Conjunto.

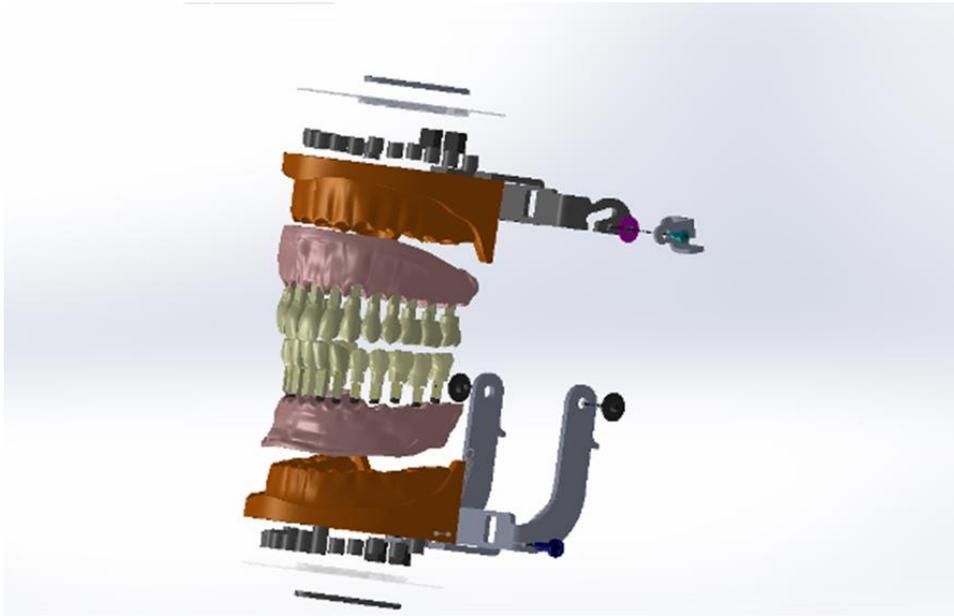


Figura 38. Vista explodida do conjunto.

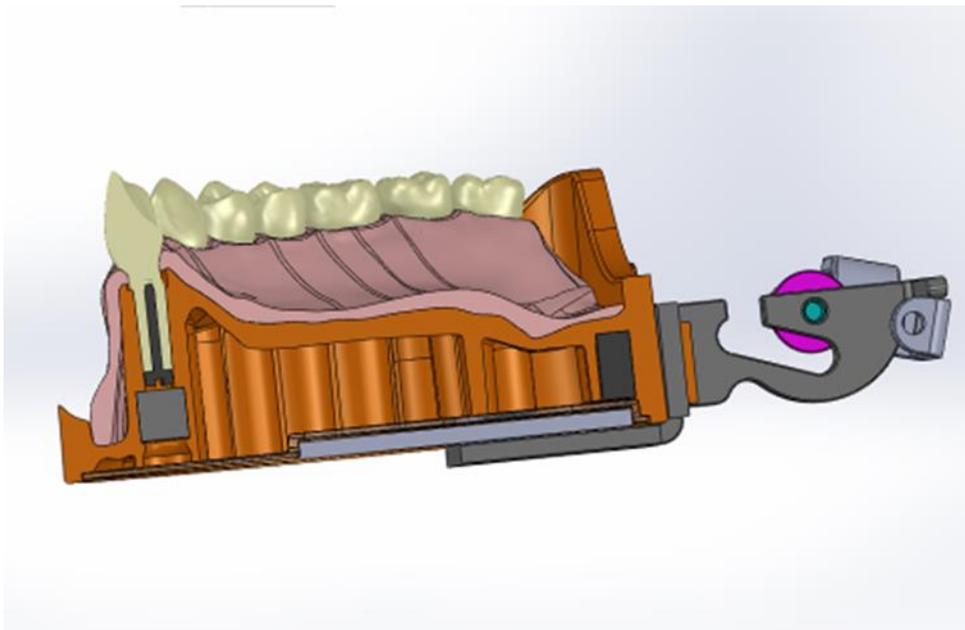


Figura 39. Vista em corte do Conjunto

9. Conclusões

Os modelos dentários são usados pelos alunos de Medicina da especialidade para durante todo o seu trajeto de aprendizagem poderem treinar todas as técnicas existentes para o tratamento dos seus futuros pacientes.

Tendo como objetivo criar um novo sistema de fixação para os dentes de placas dentárias com fins pedagógicos que não fizesse uso de elementos roscados, e por consequência o uso de instrumentos extra para fixar ou remover os dentes, e que o novo sistema de fixação fosse capaz de com os fórceps dentários imitar a técnica de extrair os dentes.

Estes pressupostos foram conseguidos neste projeto. O novo sistema de fixação é capaz de manter o dente na sua posição com a mesma capacidade que os modelos atualmente existentes através do atrito entre os componentes como foi verificado pelo teste manual realizado. Com o novo sistema de fixação a troca de dentes é feita de forma rápida, permite a extração do dente com o uso dos fórceps dentários, e não é necessário nenhuma ferramenta extra para executar a tarefa.

Os processos de fabricos mais aconselháveis seriam os de Produção Rápida, que tinham vantagem económica devido ao menor investimento inicial. Mesmo sendo o menos aconselhado, foi o processo por Injeção em Moldes o escolhido, devido à aquisição prévia desse equipamento por parte da empresa. Por consequência disso, os materiais escolhidos para o fabrico das peças tinham de poder ser usados na Injeção em Moldes.

10. Referências

- [1] <http://www.kavo.com>, acessido em 11/07/13
- [2] <http://www.frasaco.com>, acessido em 11/07/13
- [3] <http://www.nissin-dental.net>, acessido em 11/07/13
- [4] <http://www.machinetools.com>, acessido em 18/11/13
- [5] <http://www.substech.com>, acessido em 23/11/13
- [6] Principals of Polymeric Processing – Tdomor Gogos.
- [7] Plastics engineering third edition – R. J. Crawford.
- [8] Injection molding handbook – Dominick V. Rosato, P.E.; Donald V. Rosato, Ph.D.
- [9] <http://www.exxonmobilchemical.com>, acessido em 24/11/13
- [10] Polymer Data Handbook – James E. Mark, University of Cincinnati.
- [11] Plastic Materials, seventh Edition – J.A. Brydson.
- [12] Industrial Polymers, specialty Polymers, and their Applications – Manas Chanda, Salil K. Roy.
- [13] Plastic Materials and Processes – Charles A. Harper, Edward M. Petrie.
- [14] O papel dos Plásticos em Engenharia – R. J. Crawford.
- [15] Técnicas de Manufatura 2, Módulo Polímeros, Universidade do Minho – Carla I. Martins 2010/2011 pdf aulas.
- [16] <http://www.dupont.com>, acessido em 24/11/13
- [17] A Prototipagem Rápida na Industria Nacional – F. Jorge Lino, Departamento de Engenharia Mecânica da FEUP & Rui J. Neto, Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Porto – obtido em www.fe.up.pt, acessido em 25/08/13
- [18] Pdf de aulas sobre Processos de fabrico de Polímeros – obtido em <http://in3.dem.ist.utl.pt>, acessido em 29/09/13
- [19] <http://gpmultisopro.ind.br>, acessido em 03/11/2013
- [20] <http://www.3dsystems.com>, acessido em 04/11/2013
- [21] <http://www.moldesinjecaoplasticos.com.br>, 04/11/2013

Anexo I

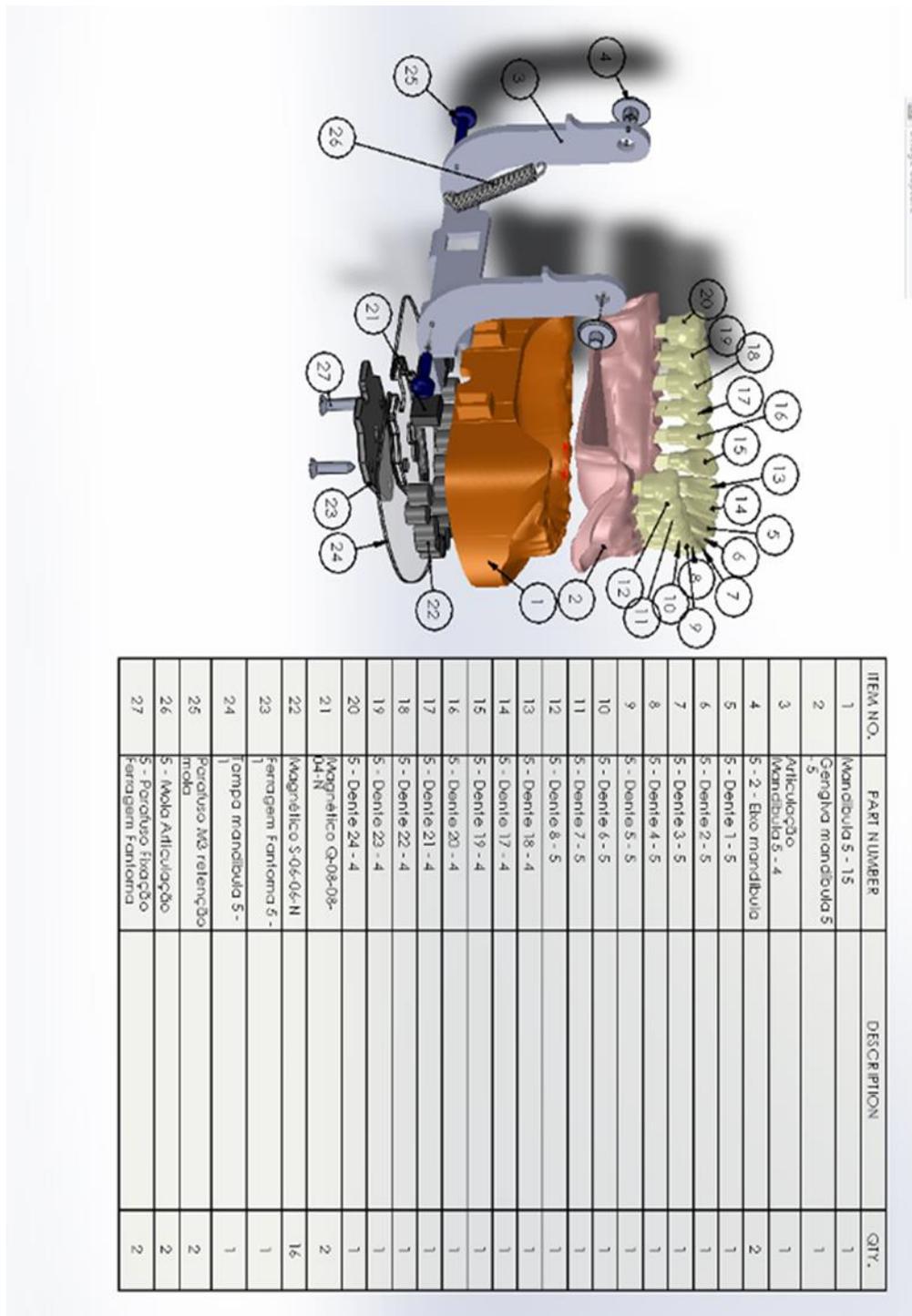


Figura 40. Componentes existentes na Mandibula.

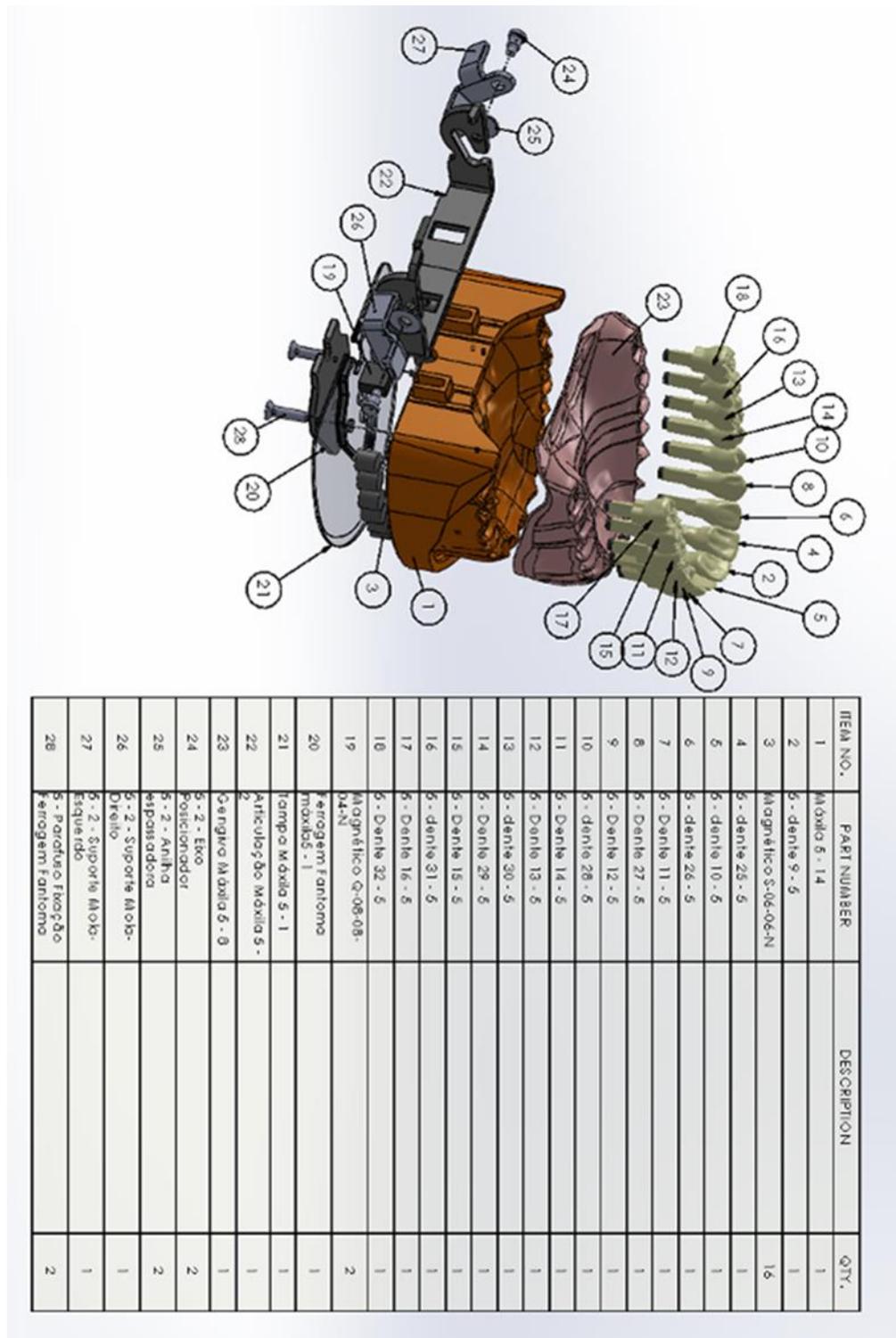


Figura 41. Componentes existentes na Mandíbula