



Instituto Politécnico
de Castelo Branco
Escola Superior
de Tecnologia

Projeto e fabrico de um protótipo de um componente da indústria automóvel por impressão 3D

Roberto Costa

Orientadores

Armando Ramalho

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Julho/2024

Composição do júri

Presidente do júri

Professor Doutor, Armando Lopes Ramalho

Professor Coordenador, Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco

Arguente 1

Professor Doutor, Luís Miguel Pedroso de Moura Correia

Professor Adjunto, Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco

Arguente 2

Professor Doutor, Paulo Jorge Sequeira Gonçalves

Professor Coordenador, Escola Superior de Tecnologia de Castelo Branco

Dedicatória

Dedico este trabalho de conclusão de curso a todos os professores que compartilharam seu conhecimento e orientação ao longo desta jornada acadêmica. À minha família, pelo amor incondicional e apoio constante. Aos amigos que estiveram ao meu lado, tornando cada desafio mais leve. E, acima de tudo, dedico este trabalho a mim mesmo, como símbolo de perseverança, dedicação e crescimento pessoal. Que este seja apenas o primeiro passo de uma jornada repleta de conquistas e realizações.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho. Primeiramente, agradeço ao meu orientador professor Armando Ramalho, pela orientação, paciência e insights valiosos ao longo deste processo. Suas orientações foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também aos professores Armando Ramalho, Luís Correia, Luís Neto, Paulo Gonçalves, cujo conhecimento e experiência enriqueceram minha formação acadêmica e inspiraram meu pensamento crítico.

Minha gratidão se estende à minha família por seu amor incondicional, apoio emocional e encorajamento constante. Suas palavras de incentivo foram um combustível essencial para minha motivação.

Aos meus amigos, agradeço por estarem ao meu lado durante os momentos desafiadores e por compartilharem alegrias e conquistas ao longo desta jornada. Suas conversas, risadas e apoio mútuo foram uma fonte de energia positiva.

Por fim, expresso meu agradecimento a todas as pessoas cujas contribuições, diretas ou indiretas, ajudaram a moldar este trabalho. Cada conversa, conselho e recurso compartilhado foram inestimáveis.

Que este trabalho possa contribuir de alguma forma para o avanço do conhecimento em nossa área e inspirar futuras pesquisas. Obrigado a todos que fizeram parte desta jornada.

Resumo

Este projeto consiste no design e fabricação de um protótipo de um componente da indústria automóvel utilizando tecnologia de impressão 3D. A impressão 3D oferece uma abordagem inovadora e eficiente para a produção de peças automóveis, permitindo a criação de componentes personalizados com geometrias complexas e materiais específicos. O objetivo foi testar a viabilidade do uso do Tough PLA, um material termoplástico, como alternativa para substituir componentes tradicionais.

Inicialmente, o projeto envolveu a fase de design, na qual foram utilizados softwares de modelagem 3D como Patran e o Nastran para criar o modelo do componente, levando em consideração os requisitos de desempenho, resistência e integração com outros sistemas do veículo. Após a conclusão do design, foram realizadas simulações computacionais através do método de elementos finitos para verificar a viabilidade e otimizar a geometria do componente.

Em seguida, o processo de fabricação foi realizado utilizando uma impressora 3D industrial, que deposita camadas sucessivas de material para construir o componente desejado. Foi selecionado o Tough PLA materiais para garantir a durabilidade e o desempenho do componente, levando em conta os requisitos de resistência mecânica e tolerâncias dimensionais.

Este projeto contribui para o avanço da indústria automóvel , apresentando uma alternativa inovadora e eficiente para o projeto e fabricação de componentes personalizados. Além disso, destaca o potencial da impressão 3D como uma tecnologia disruptiva na produção de peças de alta qualidade e desempenho para veículos.

Palavras chave

Impressão 3D; Tough PLA; Elementos Finitos.

Abstract

This project consists of the design and manufacture of a prototype of an automotive component using 3D printing technology. 3D printing offers an innovative and efficient approach to the production of automotive parts, allowing the creation of customized components with complex geometries and specific materials. The objective was to test the feasibility of using Tough PLA, a thermoplastic material, as an alternative to replace traditional components.

Initially, the project involved the design phase, in which 3D modeling software such as Patran and Nastran were used to create the model of the component, taking into account the requirements for performance, resistance and integration with other vehicle systems. After the design was completed, computer simulations were performed using the finite element method to verify the feasibility and optimize the geometry of the component.

The manufacturing process was then carried out using an industrial 3D printer, which deposits successive layers of material to build the desired component. Tough PLA materials were selected to ensure the durability and performance of the component, taking into account the requirements for mechanical resistance and dimensional tolerances.

This project contributes to the advancement of the automotive industry by presenting an innovative and efficient alternative for the design and manufacture of customized components. In addition, it highlights the potential of 3D printing as a disruptive technology in the production of high-quality and high-performance parts for vehicles.

Keywords

3D printing; Tough PLA; Finite elements.

Índice geral

Agradecimentos.....	VI
Resumo.....	VII
Abstract.....	VIII
Índice geral.....	IX
Índice de figuras.....	XI
Índice de símbolos.....	XII
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento do Projeto.....	1
1.2. Estrutura do relatório.....	2
2. Características e aspectos importantes sobre o encosto de cabeça.	4
2.1. Tipos de encostos de cabeça	5
2.2 Normas e regulamentações da União Europeia.....	6
1. Regulamento da UNECE nº 25.....	6
2. Diretiva 74/408/CEE	6
3. Regulamento (UE) 2018/858	6
a) Regulamentações Específicas em Portugal.....	6
2.3. Caraterísticas do encosto de cabeça.....	8
2.3.1 Por que o Polietileno não é Amplamente Utilizado no Fabrico Aditivo? ...	8
2.3.2 Tough PLA	9
2.3.3 AÇO.....	11
Composição e Produção.....	11
Tipos de Aço	11
3. Processo de simulação e fabricação	13
3.1. Software patran/nastran	13
3.1.1. Método dos elementos finitos	14
3.1.2. Tipos de Análise	15
3.1.3. Breve história do MEF.....	16
3.1.4. Exemplo de aplicação do MEF	17
3.2 Processo de malhagem do encosto de cabeça no Patran/Nastran	22
3.2.1 Malha tetraédrica.....	22

Benefícios e Desafios.....	22
3.3 Corte.....	25
3.4 Criação do contacto.....	26
3.5 Condições de deslocamento	28
3.6 Multi-Point Constraint (MPC).....	29
3.7 Aplicação de força.....	31
4. Análise de resultados.....	33
5. Impressora 5S Ultimaker	38
5.1 Software Cura	39
6. Conclusão.....	42
7. Trabalhos Futuros.....	43
Bibliografia	44

Índice de figuras

Figura 1- imagem do protótipo do encosto de cabeça de um Ford S max.	7
Figura 2- imagem do protótipo da zona de substituição impactada.	7
Figura 3- imagem inicial do encosto de cabeça no software	12
Figura 4- Consola curta: malha de elementos finitos e acção exterior [10]. .	18
Figura 5- Consola curta: malha deformada representada sobre a estrutura indeformada[10].	19
Figura 6- Consola curta: tensões principais e respectivas direcções [10].	19
Figura 7- Consola curta: campo de deslocamentos verticais [10].	20
Figura 8- Consola curta: campo de tensões normais segundo um eixo vertical [10].	21
Figura 9- imagem da malhagem do tubo do encosto de cabeça.....	23
Figura 10- imagem da malhagem do apoio do encosto de cabeça.	23
Figura 11- imagem da malhagem do parafuso do encosto de cabeça.	24
Figura 12- imagem da Peça cortada.	25
Figura 13- imagem do contacto entre o tubo e o apoio.	27
Figura 14- imagem do contacto entre o parafuso e o apoio.	27
Figura 15- imagem da zona sem deslocamento em X.	28
Figura 16- imagem da zona sem deslocamento em XYZ.....	28
Figura 17- imagem das ligações RBE2(lateral).	30
Figura 18- imagem das ligações RBE2(frontal).	30
Figura 19- Determinação da altura e lados do encosto de cabeça [6].	31
Figura 20 - Pormenores dos traçados e das medições efetuadas durante os ensaios [6].	31
Figura 21- imagem com força distribuída aplicada.....	32
Figura 22- primeira Análise da tensão de Von-Mises.....	33
Figura 23- resultado da primeira análise da tensão segundo a component Y34	
Figura 24- resultado da primeira análise do displacement translacional ,Y component.....	34
Figura 25- primeira análise contact stresses normal.....	35
Figura 26- Segunda análise contact stresses normal.	35
Figura 27- Segunda análise da tensão segundo a component Y.	36
Figura 28- Segunda análise do displacement translacional ,Y component.....	36
Figura 29- Segunda análise contact stresses normal.	36
Figura 30- imagem da impressora ultimaker.	38
Figura 31- Janela no software Cura onde se podem alterar as propriedades de impressão.....	40
Figura 32- imagem do apoio no software cura.....	40
Figura 33- imagem do apoio impresso.	41
Figura 34- imagem do apoio impresso.	41

Índice de símbolos

ν = coeficiente de Poisson.

μ = coeficiente de atrito.

T_g = Temperatura de Transição Vítrea, °C

T_i = Temperatura de impressão, °C

σ_u = Tensão máxima ou tensão de ruptura

F_t = força total, N.

E = módulo de Young ou módulo de elasticidade, Pa.

Lista de tabelas

Tabela 1-tabela com características das componentes.....	8
Tabela 2-tabela com as características do PLA	9
Tabela 3-tabela com as propriedades do PLA.....	10
Tabela 4 -Vantagens e desvantagens do PLA	10
Tabela 5- tabela com as propriedades do aço	12

1. Introdução

O presente projeto final visa aprofundar os conhecimentos teóricos obtidos ao longo da Licenciatura em Engenharia Industrial, mais especificamente na área de caracterização mecânica de materiais, resistência dos materiais e fabrico assistido por computador, recorrendo a ferramentas de simulação.

O trabalho baseia-se na impressão de um encosto de cabeça usado nos automóveis que na maioria das vezes são fáceis de se partirem devido ao material, design inadequado, uso indevido e qualidade do fabricante que quando aplicados a uma força em que o material não consiga suportar devido as aspectos que serão citados durante o trabalho e para que possam ser substituídos após se partir por conta também da falta de peças sobresselentes que os fabricantes não disponibilizam.

1.1. Enquadramento do Projeto

O enquadramento do projeto visa contextualizar a relevância e a necessidade do desenvolvimento do protótipo de um componente automotivo, especificamente um encosto de cabeça de Ford S Max , utilizando impressão 3D. Este projeto é inserido em um cenário onde a indústria automóvel está cada vez mais voltada para a inovação, buscando novas tecnologias que possam melhorar a eficiência, segurança e personalização dos veículos.

1. Indústria Automóvel e Inovação

A indústria automóvel é uma das principais impulsionadoras de inovações tecnológicas. Com a crescente demanda por veículos mais seguros, confortáveis e ambientalmente sustentáveis, há uma busca constante por novos materiais, métodos de produção e técnicas de design. A impressão 3D tem se destacado como uma tecnologia emergente na fabricação de peças automóvel , oferecendo vantagens como a rapidez na prototipagem, redução de custos e a possibilidade de criar designs complexos que seriam inviáveis com métodos de fabricação tradicionais.

2. Importância do Encosto de Cabeça

O encosto de cabeça é um componente essencial para a segurança dos ocupantes de um veículo. Sua função principal é prevenir lesões no pescoço e na cabeça em caso de colisões, especialmente em acidentes traseiros. Para cumprir essa função, o encosto de cabeça deve ser projetado e fabricado conforme rigorosos padrões de segurança, garantindo que ele resista às forças geradas em situações de impacto.

3. Uso de Impressão 3D

A impressão 3D permite a criação de protótipos rápidos e funcionais, o que é vital para o desenvolvimento de novos produtos na indústria automóvel . Com esta

tecnologia, é possível testar diferentes designs e materiais antes de se comprometer com a produção em massa. No caso deste projeto, o uso de Tough PLA, um material conhecido por suas boas propriedades mecânicas, é explorado para garantir que o encosto de cabeça prototipado seja resistente e durável e que quando partido possam ser substituíveis .

Simulação Computacional

Antes de fabricar fisicamente o protótipo, o uso de simulações computacionais, como análises de elementos finitos (FEA), permite avaliar o desempenho do design em condições que simulam o uso real. Isso reduz o risco de falhas e a necessidade de múltiplos protótipos físicos, economizando tempo e recursos. As simulações também ajudam a garantir que o design cumpre com as regulamentações de segurança exigidas pela indústria.

Relevância Acadêmica e Industrial:

Este projeto não só contribui para o avanço acadêmico ao aplicar tecnologias de ponta em um problema real da indústria, como também oferece insights valiosos para as empresas automóbiles , que podem utilizar essas tecnologias para melhorar seus processos de design e fabricação. A colaboração entre a academia e a indústria, exemplificada por este projeto, é crucial para a formação de engenheiros preparados para os desafios contemporâneos do mercado de trabalho.

Assim, o enquadramento do projeto demonstra sua relevância tanto para o desenvolvimento tecnológico quanto para a melhoria da segurança e eficiência na indústria automível , destacando o papel da inovação na criação de soluções que atendam às demandas atuais e futuras do setor.

1.2. Estrutura do relatório

Tendo em vista o cumprimento de todos os objetivos anteriormente descritos neste trabalho, o presente relatório encontra-se dividido em 7 capítulos.

O capítulo 1 contextualiza a relevância do projeto no cenário atual da indústria automível e o uso da impressão 3D como uma tecnologia inovadora para a produção de componentes automotivos.

O capítulo 2 descreve os diferentes tipos de encostos de cabeça, suas funções, normas e regulamentações, e as características específicas do encosto utilizado no projeto.

O capítulo 3 apresenta detalhes sobre o uso de software de simulação (Patran/Nastran) para o design do protótipo e a aplicação do Método dos Elementos Finitos (MEF) para avaliar o desempenho estrutural e as condições de carregamento.

O capítulo 4 descreve os resultados obtidos a partir das simulações de elementos finitos e testes práticos, destacando as tensões geradas e os deslocamentos do componente sob diferentes condições de carga.

O capítulo 5 explica o processo de impressão do protótipo utilizando a impressora 3D Ultimaker S5 e o software Cura, detalhando os parâmetros de impressão, materiais utilizados, e as etapas de monitoramento e pós-processamento.

O capítulo 6 resume os resultados obtidos e discute a viabilidade da utilização da impressão 3D para fabricação de componentes automotivos, propondo direções para futuros desenvolvimentos e pesquisas.

O capítulo 7 sugere melhorias e inovações para trabalhos futuros, como o estudo de novos materiais, aperfeiçoamento de técnicas de simulação e exploração de novas aplicações para a tecnologia de impressão 3D.

2. Características e aspectos importantes sobre o encosto de cabeça.

Neste trabalho o encosto de cabeça não foi o principal objeto de estudo mas sim o apoio que o compõe e que muitas das vezes tem a tendência de que partir no caso de acidentes.

O principal objetivo do encosto de cabeça é oferecer suporte à cabeça e ao pescoço do ocupante do veículo, ajudando a manter uma postura confortável durante a viagem. Isso é particularmente importante em viagens longas, onde o cansaço pode aumentar o risco de lesões no pescoço. Em caso de colisão, o encosto de cabeça ajuda a reduzir o movimento da cabeça para frente, minimizando o risco de lesões no pescoço, como o "chicote" cervical. Ele age como uma barreira que impede que a cabeça do ocupante se mova excessivamente para trás, protegendo a coluna cervical.

Os encostos de cabeça são regulamentados por padrões de segurança específicos em muitos países. Esses padrões estabelecem requisitos para a altura, largura e distância do encosto de cabeça em relação à cabeça do ocupante, garantindo sua eficácia na prevenção de lesões em caso de colisão. Eles são projetados ergonomicamente para se ajustarem à forma da cabeça e do pescoço do ocupante, proporcionando um suporte eficaz e confortável. Geralmente apresentam contornos suaves e acolchoados para minimizar pontos de pressão e desconforto.

São frequentemente revestidos com materiais duráveis e confortáveis, como tecido, couro ou vinil. Os materiais utilizados devem ser resistentes ao desgaste e fáceis de limpar para garantir uma longa vida útil e manter um aspecto atraente ao longo do tempo.

Os encostos de cabeça estão disponíveis em uma variedade de designs e estilos para atender às preferências estéticas e funcionais dos fabricantes de veículos e dos consumidores. Eles podem variar em forma, tamanho, cor e recursos adicionais, como ajustes de altura e inclinação [1].

2.1. Tipos de encostos de cabeça

- **Encostos de Cabeça Ajustáveis**

Permitem ajustes em altura e, em alguns casos, em inclinação, para acomodar melhor diferentes tamanhos e preferências de ocupantes, são comuns na maioria dos veículos moderno que retrata o nosso caso em específico como podemos ver na figura 1 e 2.

- **Encostos de Cabeça Ativos**

Projetados para se moverem automaticamente em resposta a uma colisão traseira, avançando para reduzir a distância entre a cabeça do ocupante e o encosto, oferecem proteção adicional contra lesões de chicote.

- **Encostos de Cabeça Fixos**

Não oferecem ajuste de altura ou inclinação, são encontrados em veículos mais antigos ou em alguns modelos de baixo custo [2].

2.2 Normas e regulamentações da União Europeia

1. Regulamento da UNECE nº 25

A União Europeia adotou o Regulamento nº 25 da Comissão Econômica para a Europa das Nações Unidas (UNECE), que especifica os requisitos de construção, instalação e eficiência dos encostos de cabeça em veículos automóveis. Este regulamento aplica-se tanto aos encostos de cabeça integrados como aos removíveis e ajustáveis.

2. Diretiva 74/408/CEE

Esta diretiva do Conselho da Comunidade Europeia estabelece requisitos mínimos de resistência para os encostos de cabeça dos assentos dianteiros e traseiros. Define testes de impacto específicos para avaliar a eficácia dos encostos de cabeça na prevenção de lesões no pescoço durante colisões traseiras.

3. Regulamento (UE) 2018/858

Estabelece a homologação de veículos a motor e dos seus componentes, incluindo os encostos de cabeça, assegurando que cumpram os padrões de segurança estabelecidos pela UE [2].

a) Regulamentações Específicas em Portugal

- **Inspecções Periódicas Obrigatórias (IPO)**

Durante as inspeções periódicas obrigatórias, os veículos em Portugal são avaliados quanto à conformidade dos seus componentes de segurança, incluindo os encostos de cabeça. A ausência de encostos de cabeça ou o mau funcionamento dos mesmos pode resultar na reprovação do veículo na inspeção.

- **Regulamento do Código da Estrada**

O Código da Estrada em Portugal exige que todos os veículos estejam equipados com dispositivos de segurança aprovados, incluindo encostos de cabeça. As infrações relacionadas com a ausência ou mau estado dos encostos de cabeça podem resultar em multas e outras penalidades [2].

As figuras 1 e 2 representam as peças do encosto de cabeça que serão objeto de análise no presente estudo.



Figura 1- imagem do protótipo do encosto de cabeça de um Ford S max.



Figura 2- imagem do protótipo da zona de substituição impactada.

2.3. Características do encosto de cabeça

Para uma melhor avaliação do nosso encosto de cabeça dividiu-se o encosto de cabeça em partes fundamentais que o compõe que são:

- Tubo
- Apoio
- Parafuso
- Braçadeira

Sendo cada uma das partes é representada por um tipo de material como podemos ver na tabela abaixo.

Tabela 1- tabela com características das componentes.

Características das componentes	Tubo	Apoio	Parafuso	Braçadeira
material	Aço	Polietileno	Aço	Aço
Altura (mm)	225	50	15	40
largura (mm)	160	55	11	50
Diâmetro (mm)	5	0.5	5	5

Quando se opta pelo uso do processo de fabrico aditivo (impressão 3D) e a escolha de material recai sobre o PLA (Ácido Polilático) em vez do polietileno, algumas considerações importantes devem ser feitas, dado que o polietileno não é comumente utilizado na impressão 3D.

2.3.1 Por que o Polietileno não é Amplamente Utilizado no Fabrico Aditivo?

O polietileno, especialmente em suas formas mais comuns como o polietileno de alta densidade (PEAD), tem uma baixa temperatura de fusão e uma alta tendência a se contrair durante o resfriamento, o que pode causar deformações nas peças impressas. Isso o torna difícil de usar em processos como o FDM (Modelagem por Deposição Fundida) [3].

2.3.2 Tough PLA

O PLA é um termoplástico biodegradável, obtido a partir de substâncias como o amido de milho, as raízes de tapioca ou a cana-de-açúcar [4].

As propriedades do PLA variam muito com as condições de impressão. Foi verificado que a pigmentação usada para dar cor ao PLA, influencia as propriedades mecânicas do mesmo, sendo que o PLA natural (sem pigmentação) apresenta os melhores resultados. Foi apurado igualmente que a percentagem de cristalinidade é afetada pela pigmentação, sendo o PLA natural a apresentar o menor valor [5].

Dado que o PLA é derivado, essencialmente, de açúcares, ao ser impresso liberta um aroma “semi doce”, e que não é considerado desagradável. Este fato torna-se relevante (na escolha do material), tendo em conta que os outros plásticos ao serem extrudidos libertam um cheiro a “plástico queimado”. O fato de ser derivado de açúcares, faz com que o PLA seja um plástico mais “amigo do ambiente”, em comparação com os outros que são derivados do petróleo [6].

O PLA quando é derretido, torna-se muito mais fluido do que a maioria dos outros plásticos. Combinando esta propriedade com um bom processo de arrefecimento, é possível obter detalhes (como cantos pontiagudos) com muito boa qualidade (em comparação com outros plásticos). O PLA é mais popular em impressoras domésticas e naquelas com propósitos educacionais [6].

Ele é amplamente utilizado em diversas aplicações devido às suas propriedades ecológicas e versatilidade. Sendo ele o material mais resistente a flexão, tensão de ruptura, e modelo de elasticidade quando comparado com materiais como PETG e o ABS premium.

Tabela 2- tabela com as características do Tough PLA [7].

Característica do PLA	
Biodegradabilidade	O PLA se degrada em condições específicas, como em compostagem industrial, onde a combinação de calor, umidade e microrganismos facilita sua decomposição.
Recursos Renováveis	É produzido a partir de fontes vegetais, o que o torna uma alternativa mais sustentável em comparação com plásticos tradicionais derivados de petróleo.
Biocompatibilidade	Devido à sua origem natural e propriedades não tóxicas, o PLA é adequado para aplicações médicas, como suturas, implantes e dispositivos médicos.
Propriedades Mecânicas	O PLA tem boas propriedades mecânicas, incluindo rigidez e transparência, embora tenha menor resistência ao calor em comparação com alguns plásticos convencionais.

Tabela 3- tabela com as propriedades do filamento PLA [7]

Material	PLA
E(GPa)	1.82
ν	0.35
Ti	190 °C a 230 °C
Tg	60 °C
σ_u	45 MPa
Precisão	± 0.02 mm
Densidade	1.24g/cm ³

Tabela 4- Vantagens e desvantagens do uso do Tough PLA [7]

Vantagens	<p>Sustentabilidade: Derivado de fontes renováveis e biodegradável.</p> <p>Segurança: Não tóxico e biocompatível.</p> <p>Estética: Boa transparência e brilho, adequado para embalagens atraentes.</p>
Desvantagens	<p>Resistência ao Calor: Menor resistência ao calor em comparação com plásticos como o PET.</p> <p>Degradação Limitada: A biodegradação eficiente do PLA geralmente requer condições específicas de compostagem industrial, não se decompondo facilmente em aterros sanitários ou no ambiente natural sem essas condições.</p>

2.3.3 AÇO

O aço é uma liga metálica composta principalmente de ferro e carbono, com outros elementos presentes em quantidades menores, como manganês, cromo, níquel, entre outros. É um dos materiais mais utilizados no mundo devido às suas propriedades versáteis e ao seu custo relativamente baixo. Neste trabalho o tipo não foi feita a análise e estudo do tipos de aço porque o que mais importou foi o apoio que sera à nossa base de estudo[3].

Composição e Produção

Composição Básica: O aço é composto principalmente de ferro (Fe) e carbono (C), com o teor de carbono variando geralmente entre 0,02% e 2,14%.

1. Elementos de Liga: Além do carbono, outros elementos podem ser adicionados para conferir propriedades específicas, como:
 - Cromo (**Cr**): Aumenta a resistência à corrosão.
 - Níquel (**Ni**): Melhora a tenacidade e a resistência à corrosão.
 - Manganês (**Mn**): Aumenta a dureza e a resistência ao desgaste.
 - Molibdênio (**Mo**): Aumenta a resistência ao calor e a dureza.
 - Vanádio (**V**): Melhora a dureza e a resistência ao desgaste.
2. Processo de Produção: O aço é produzido em fornos de oxigênio básico ou em fornos elétricos a arco, onde o minério de ferro é combinado com carbono (carvão coque) e fundido. Impurezas são removidas e elementos de liga são adicionados para obter a composição desejada[8].

Tipos de Aço

1. **Aços Carbono:**
 - **Baixo Carbono:** Menos de 0,3% de carbono, usado em produtos onde é necessário um material fácil de conformar e soldar.
 - **Médio Carbono:** 0,3%-0,6% de carbono, usado em componentes que requerem um equilíbrio entre força e ductilidade.
 - **Alto Carbono:** 0,6%-1,4% de carbono, usado em ferramentas e aplicações que necessitam alta dureza.
2. **Aços Liga:** Contêm elementos de liga além do carbono, como cromo, níquel e vanádio, para melhorar propriedades como resistência à corrosão, tenacidade e resistência ao calor.
3. **Aços Inoxidáveis:** Contêm pelo menos 10,5% de cromo, o que proporciona uma resistência superior à corrosão. São usados em utensílios de cozinha, equipamentos médicos e na construção civil.

4. **Aços Ferramenta:** Projetados para fabricação de ferramentas. Contêm altos teores de carbono e elementos de liga como tungstênio e molibdênio para aumentar a dureza e a resistência ao desgaste [8].

Neste trabalho foi desprezada a análise e estudo do aço porque o estudo baseou-se apenas no Tough PLA.

Tabela 5- tabela com as propriedades do aço [9].

Material	Aço
E(GPa)	210
ν	0.30

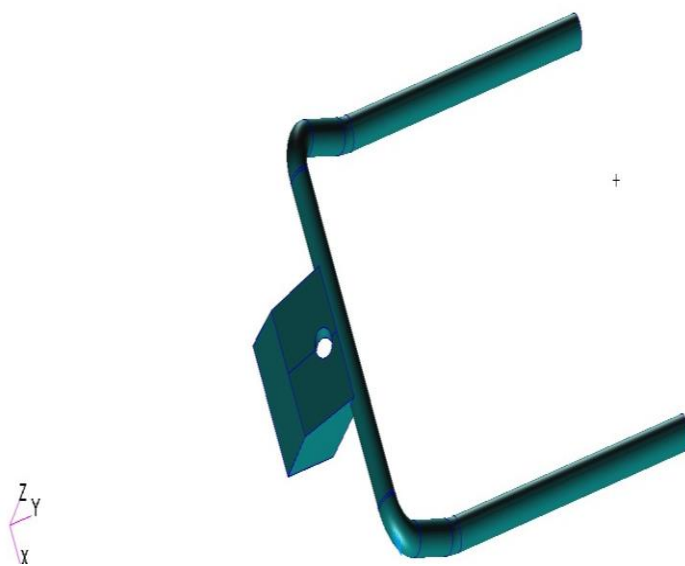


Figura 3- imagem inicial do encosto de cabeça no software

3. Processo de simulação e fabricação

Neste terceiro capítulo vão ser apresentados todos os pormenores relativamente à fabricação do encosto de cabeça.

Em primeiro lugar foram executados os desenhos do encosto de cabeça no software Fusion 360 na qual me foi fornecido visando a dar continuidade no projecto , que estão em anexo neste relatório em formato digital. Em seguida esses mesmos desenhos foram transferidos para o software Patran/Nastran , onde foram especificadas os tipos de materiais que o constituem.

3.1. Software patran/nastran

Patran é um software de pré e pós-processamento amplamente utilizado para Análise de Elementos Finitos (FEA). Ele oferece uma variedade de ferramentas para criar modelos de análise prontos para uso, incluindo modelagem sólida, geração de malha, configuração de análise e pós-processamento. O Patran é compatível com vários solucionadores, como MSC Nastran, Marc, Abaqus, LS-DYNA, ANSYS e Pam-Crash.

Por outro lado, o MSC Nastran é um aplicativo multidisciplinar de análise estrutural usado por engenheiros para realizar análises estáticas, dinâmicas e térmicas em domínios lineares e não lineares. Ele também inclui recursos de otimização estrutural automatizada e análise de fadiga incorporada.

Em resumo, o Patran é usado para preparar e analisar modelos de elementos finitos, enquanto o MSC Nastran é um solucionador de elementos finitos que realiza as análises propriamente ditas [10].

No caso o software primeiramente foi usado para montar o nosso encosto de cabeça de um ford S max , tendo como foco principal a zona mais afetada pelo impacto que naposteriormente malhado e depois feita a análise de elementos finitos.

3.1.1. Método dos elementos finitos

O Método dos Elementos Finitos (MEF) apresenta actualmente um nível de desenvolvimento que permite a sua utilização pela generalidade dos projectistas de estruturas. Enquanto que no passado muitos dos utilizadores do MEF estavam também envolvidos na respectiva programação em computador, verifica-se hoje em dia que a quase totalidade dos projectistas de estruturas apenas se preocupa com a utilização do correspondente software e com a interpretação dos resultados obtidos. Devido à grande complexidade associada ao desenvolvimento de modernos programas de computador dispendo de uma interface gráfica intuitiva, o desenvolvimento de software tem sido cada vez mais restringido às empresas especializadas. Por este motivo, o utilizador programador quase desapareceu, dando lugar ao mero utilizador.

Perante um problema de análise de estruturas e dispendo de um software intuitivo, é perfeitamente acessível a um projectista a obtenção de resultados credíveis, mesmo quando não tem acesso à fonte do código computacional ou quando desconhece as características do modelo que está a utilizar.

No âmbito da Engenharia de Estruturas, o Método dos Elementos Finitos (MEF) tem como objectivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria arbitrária sujeito a acções exteriores. Este tipo de cálculo tem a designação genérica de análise de estruturas e surge, por exemplo, no estudo de edifícios, pontes, barragens, etc. Quando existe a necessidade de projectar uma estrutura, é habitual proceder-se a uma sucessão de análises e modificações das suas características, com o objectivo de se alcançar uma solução satisfatória, quer em termos económicos, quer na verificação dos pré-requisitos funcionais e regulamentares. As técnicas descritas nesta publicação apenas correspondem à fase de análise do comportamento de uma estrutura cuja geometria, materiais e acções são a priori conhecidos [10].

3.1.2. Tipos de Análise

Quando surge a necessidade de resolver um problema de análise de uma estrutura, a primeira questão que se coloca é a sua classificação quanto à geometria, modelo do material constituinte e acções aplicadas. O modo como o MEF é formulado e aplicado depende, em parte, das simplificações inerentes a cada tipo de problema. Referem-se em seguida alguns aspectos que é necessário ter em consideração na fase que antecede a análise de uma estrutura.

- **Análise dinâmica ou estática**

As acções sobre as estruturas são em geral dinâmicas, devendo ser consideradas as forças de inércia associadas às acelerações a que cada um dos seus componentes fica sujeito. Por este motivo, seria de esperar que a análise de uma estrutura teria obrigatoriamente de ter em consideração os efeitos dinâmicos. Contudo, em muitas situações é razoável considerar que as acções são aplicadas de um modo suficientemente lento, tornando desprezáveis as forças de inércia. Nestes casos a análise designa-se estática.

- **Análise não linear ou linear**

Na análise de uma estrutura sólida, é habitual considerar que os deslocamentos provocados pelas acções exteriores são muito pequenos quando comparados com as dimensões dos componentes da estrutura. Nestas circunstâncias, admite-se que não existe influência da modificação da geometria da estrutura na distribuição dos esforços e das tensões, i.e., todo o estudo é feito com base na geometria inicial indeformada. Se esta hipótese não for considerada, a análise é designada não linear geométrica. É também frequente considerar que, ao nível do material que constitui a estrutura, a relação entre tensões e deformações é linear. Nos casos em que esta simplificação não é considerada, é necessário recorrer a algoritmos específicos de análise não linear [10].

3.1.3. Breve história do MEF

Em [11] encontra-se uma descrição detalhada da evolução do método dos elementos finitos ao longo do tempo. Em [12] é efectuado o seu enquadramento com outros métodos da mesma família. Apresenta-se em seguida apenas uma breve referência às principais fases do desenvolvimento do MEF. Na generalidade dos casos, é muito difícil definir a data em que determinado avanço do conhecimento foi efectuado. No caso particular do MEF, é referido por vários autores que a publicação mais antiga em que é utilizada a designação “elemento finito” é o artigo [14], que data de 1960 e tem como autor Ray Clough. Anteriormente eram já conhecidas algumas técnicas que vieram a ser incorporadas no MEF, sem este aparecer ainda com as principais características que hoje em dia possui. Os grandes passos do desenvolvimento do MEF, que o conduziram ao formato que actualmente apresenta maior aceitação, foram dados na década de 60 e início da de 70. Inicialmente os elementos finitos mais comuns eram os triangulares e os tetraédricos, passando-se mais tarde a dar preferência aos quadriláteros e aos hexaedros.

Ao contrário de outros métodos que eram utilizados no passado, o MEF só tem utilidade prática se se dispuser de um computador digital. Este requisito é devido à grande quantidade de cálculos que é necessário realizar, nomeadamente na resolução de grandes sistemas de equações lineares. Assim se compreende que o rápido desenvolvimento do MEF tenha praticamente coincidido com a generalização da utilização de computadores nos centros de investigação. Com a proliferação de micro-computadores ocorrida no final da década de 80 e na década de 90, o MEF chega finalmente às mãos da generalidade dos projectistas de estruturas [10].

3.1.4. Exemplo de aplicação do MEF

Apresenta-se em seguida um exemplo de aplicação do MEF, que consiste na análise de uma estrutura do tipo consola curta de pequena espessura, sujeita às acções indicadas na Figura 4. Nestas condições pode-se admitir que se trata de um meio contínuo, sujeito a um estado plano de tensão [15]. Na Figura 4 está representada a malha utilizada, que é constituída por 92 elementos finitos quadriláteros, sendo cada um destes elementos definido por 8 nós. Encontram-se também assinalados os 10 nós que estão ligados ao meio exterior.

Depois de completada a análise da estrutura pelo MEF, fica-se a conhecer os valores aproximados dos deslocamentos e das tensões instaladas. Na Figura 5 está representada a malha deformada pela acção das forças aplicadas à estrutura. Para permitir uma melhor visualização dos deslocamentos, estes são multiplicados por um factor de ampliação. Como referência, é também representada a malha original indeformada. Com o tipo de visualização utilizado na Figura 6 é possível ter uma percepção imediata dos locais em que as tensões principais apresentam maiores valores, bem como da trajectória das tensões dentro da estrutura. Neste tipo de representação cada segmento de recta está orientado segundo uma direcção principal de tensão e a sua grandeza é proporcional ao valor da correspondente tensão normal. A cor verde indica que se trata de uma tracção e à cor vermelha está associada uma compressão. Na Figura 7, o valor da componente vertical do vector deslocamento é representado, em cada ponto, por intermédio de uma codificação por cores. Consultando a escala lateral, fica-se a conhecer a ordem de grandeza do deslocamento vertical em qualquer ponto da estrutura.

Na Figura 6, o tipo de visualização gráfica coincide com o da Figura 7, tratando-se também da representação de um campo escalar por intermédio de uma codificação por cores. O campo representado na Figura 8 é o das tensões normais σ_y , sendo y o eixo vertical. Esta componente do tensor das tensões é sempre perpendicular a facetas horizontais [10].

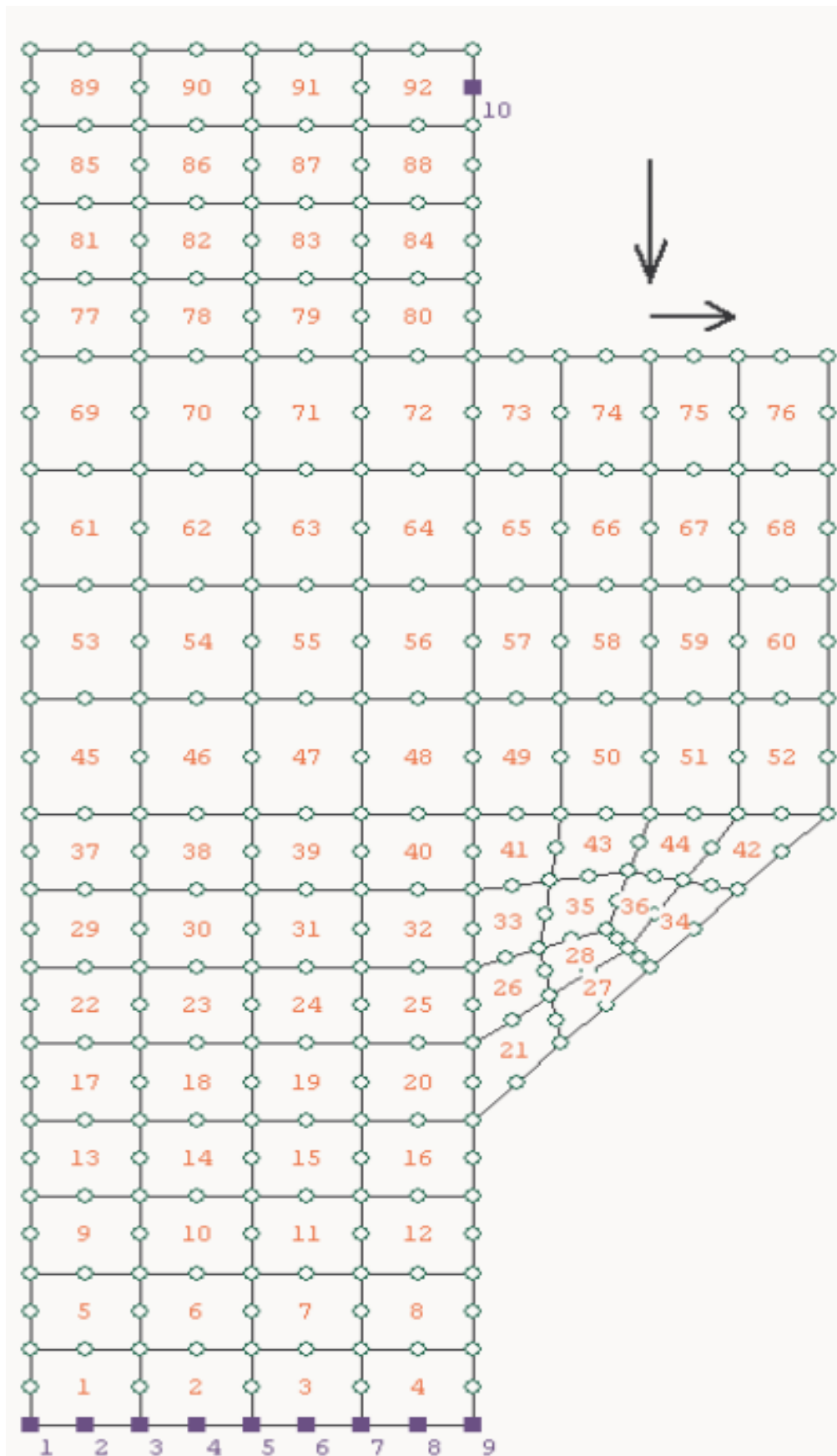


Figura 4- Consola curta: malha de elementos finitos e acção exterior [10].

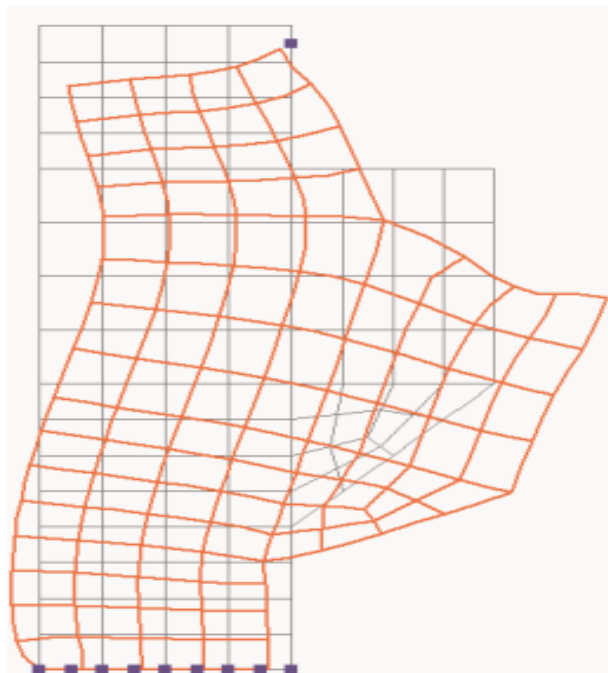


Figura 5- Consola curta: malha deformada representada sobre a estrutura indeformada[10].

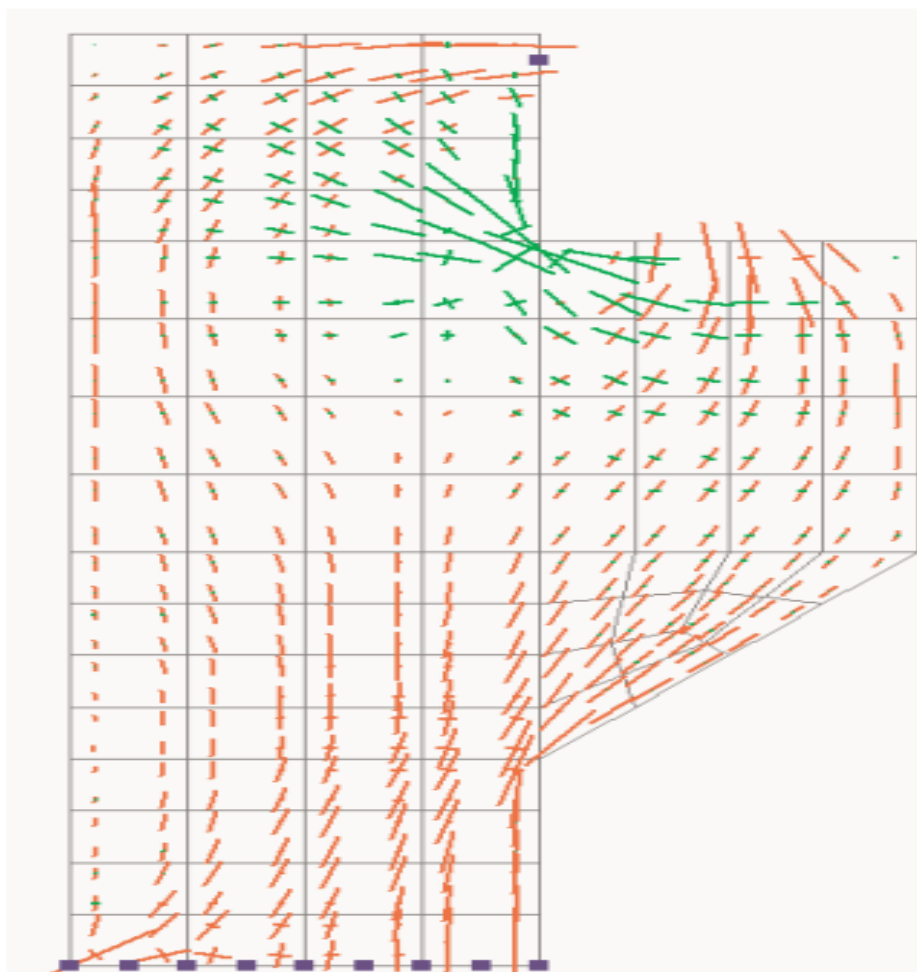


Figura 6- Consola curta: tensões principais e respectivas direcções [10]..

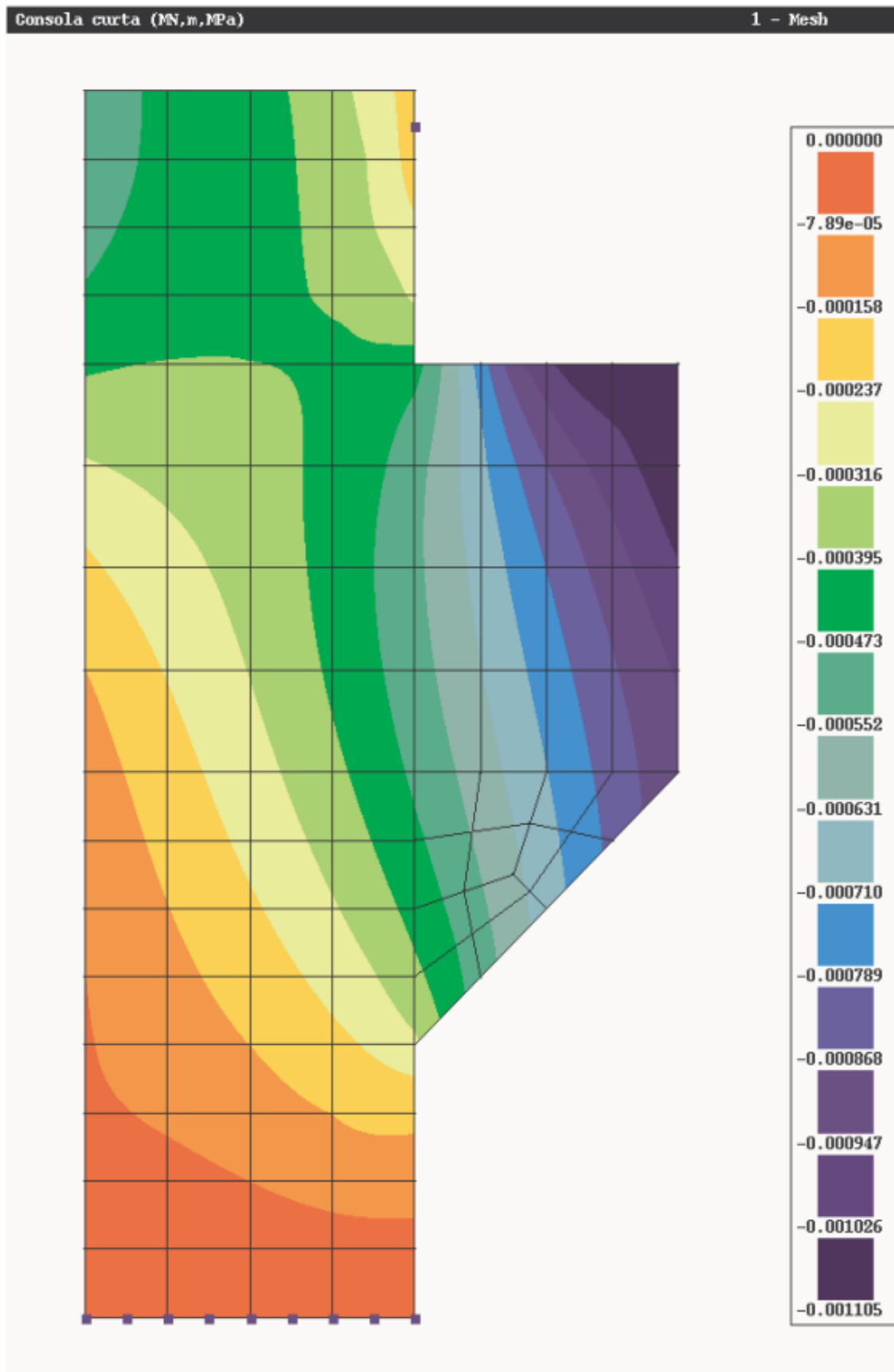


Figura 7- Consola curta: campo de deslocamentos verticais [10].

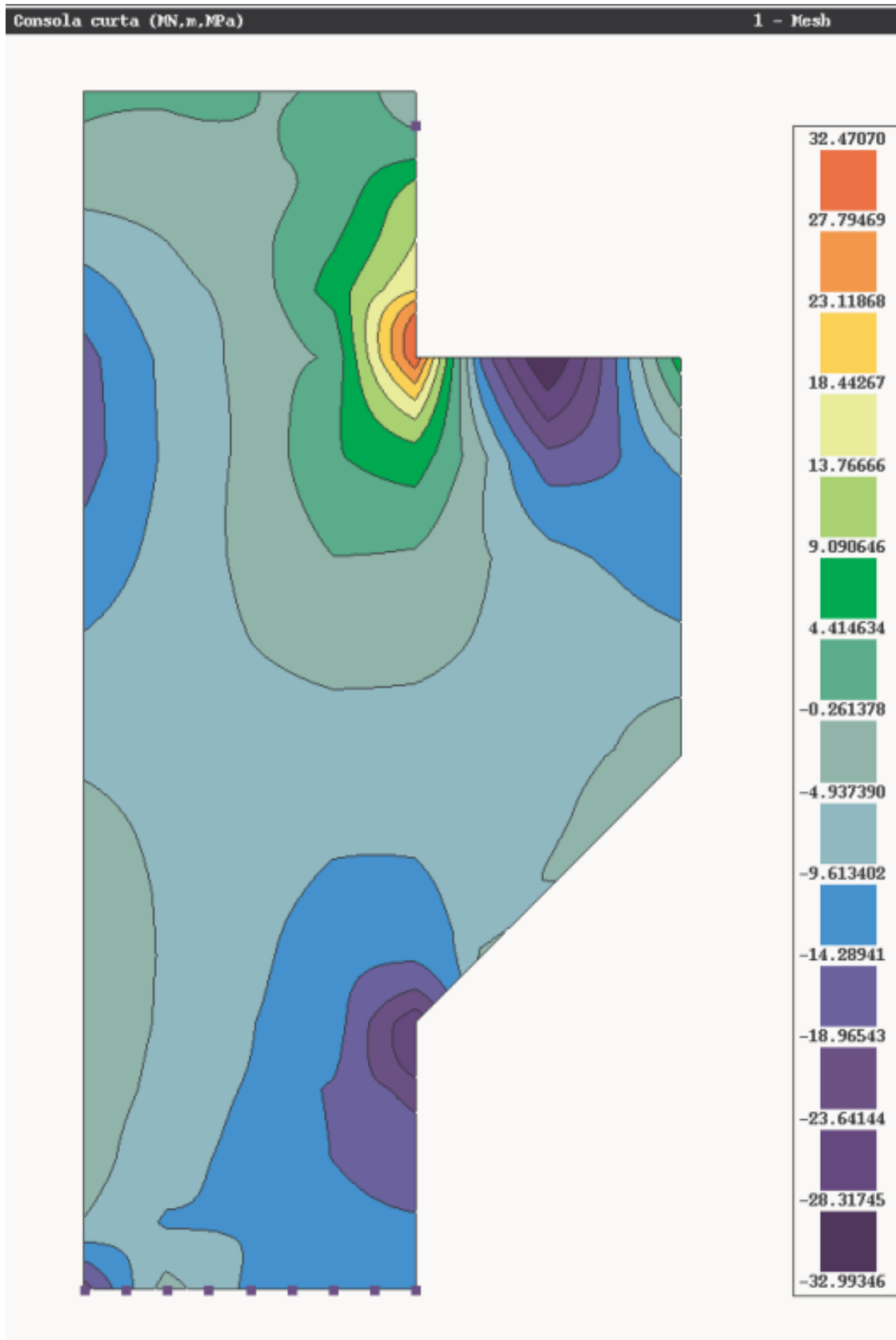


Figura 8- Consola curta: campo de tensões normais segundo um eixo vertical [10].

3.2 Processo de malhagem do encosto de cabeça no Patran/Nastran

A malhagem de uma peça no software Patran/Nastran envolve a criação de uma grade (ou malha) de elementos finitos que representam a geometria da peça, sendo que para isso foi necessário fazer a malhagem das peças separadamente. Esse processo é fundamental na análise por elementos finitos (FEA) para simular o comportamento físico de estruturas e componentes sob diferentes condições de carga, temperaturas e outras influências. O primeiro passo foi importar a geometria da peça que foi desenhada diretamente no Patran, de seguida escolheu-se tipo de elemento a ser usado na malha como elementos 3D (volumes) sendo eles de tipo tetraédricos como podemos ver nas figuras 9, 10 e 11, podendo depender da complexidade da geometria e dos requisitos de análise.

De seguida fez-se ajustes e refinamento da malha para garantir que a simulação gera-se resultados precisos. Isso incluiu a modificação da densidade da malha em regiões críticas e a melhoria da qualidade dos elementos para evitar elementos deformados ou mal condicionados.

3.2.1 Malha tetraédrica

A malha tetraédrica é uma técnica de discretização usada em modelagem computacional, especialmente na área de elementos finitos, onde uma estrutura complexa é dividida em elementos geométricos menores para facilitar a análise. Essa técnica é particularmente útil em geometrias tridimensionais complexas, onde a geração de malhas hexaédricas pode ser difícil ou impraticável. A principal característica da malha tetraédrica é que cada elemento é um tetraedro, uma forma geométrica com quatro faces triangulares que para gerar mais nós usou-se o Tet4, para que fosse gerado mais nós não danificando a sua geometria. Esses tetraedros são conectados para formar uma malha que representa a geometria original de maneira aproximada.

Benefícios e Desafios

- **Benefícios:**

- A malhagem precisa é crucial para obter resultados de simulação precisos e confiáveis.
- O uso de ferramentas como Patran/Nastran facilita a análise de estruturas complexas e a avaliação de diferentes cenários de carga e condição.

• **Desafios:**

- Gerar uma malha que balanceie precisão e eficiência computacional pode ser desafiador, especialmente para geometrias complexas.
- O refinamento excessivo da malha pode levar a tempos de computação elevados, enquanto uma malha grosseira pode resultar em baixa precisão nos resultados.

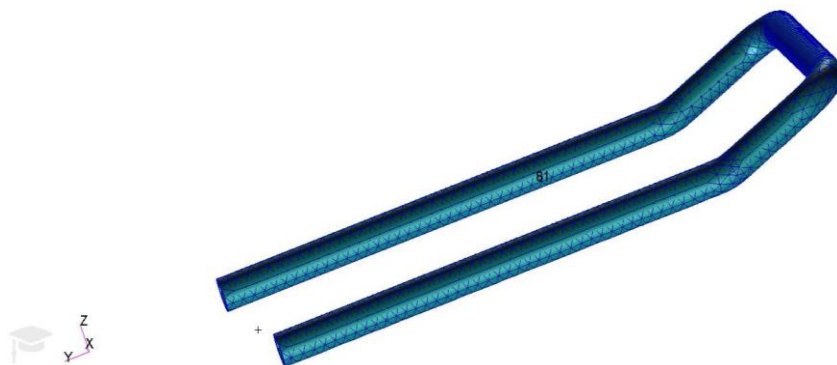


Figura 9- imagem da malhagem do tubo do encosto de cabeça

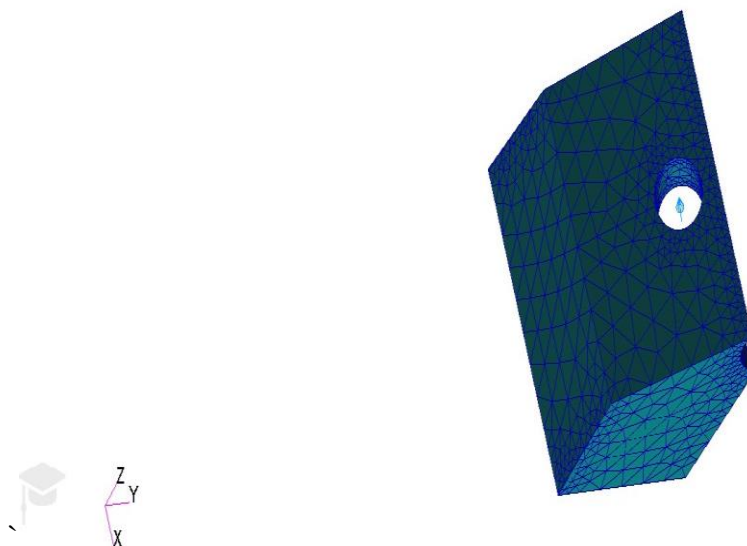


Figura 10- imagem da malhagem do apoio do encosto de cabeça.

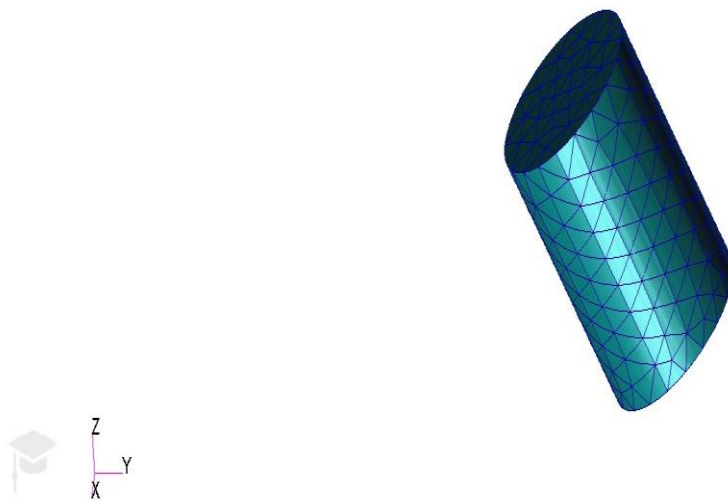


Figura 11- imagem da malhagem do parafuso do encosto de cabeça.

3.3 Corte

Após a malhagem da peça decidiu-se trabalhar apenas com a metade da peça devido ao número de nós existentes e pelo esforço computacional que iria apresentar no programa dificultando assim a sua execução, sendo assim foi necessário fazer o corte simétrico do nosso encosto de cabeça para isso foi criado um ponto-plano no no parafuso e de seguida foi feito um corte em cada uma das componentes da nossa peça apresentado na figura 12.

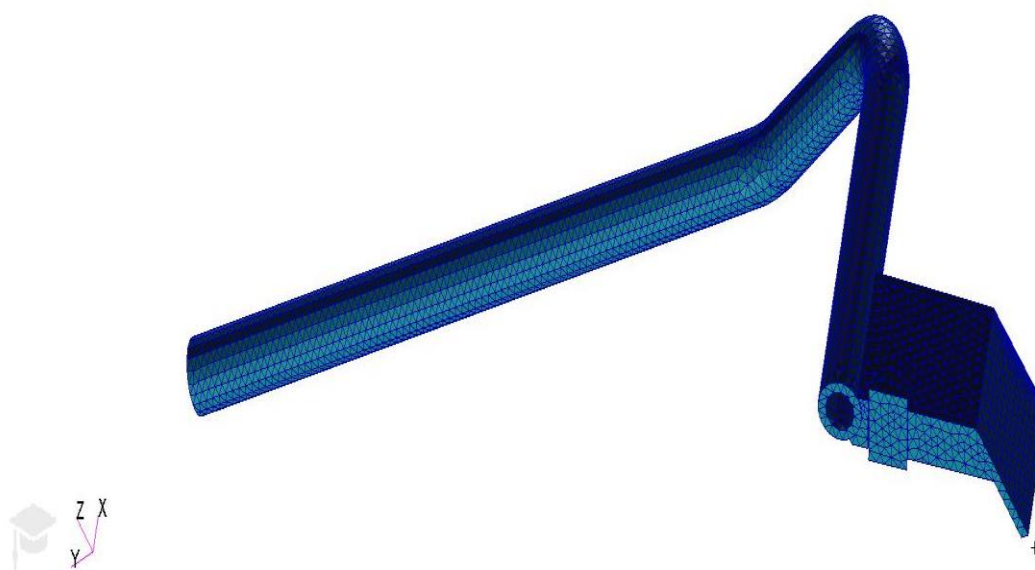


Figura 12- imagem da Peça cortada.

3.4 Criação do contacto

Estando o corte já feito surge a necessidade de se colocar as propriedades de cada uma das componentes no software bem como a definição do material de cada um dos sólidos já referidos nas tabelas 1,5 e 6, bem como o contacto existente entre as peças representado na figura 13 e 14. Certificou-se de que as peças estavam modeladas e que a geometria estava pronta para receber a definição de contato. De seguida foi criado um contacto para *element uniform* que indica que o contato será aplicado uniformemente em todos os elementos definidos com a opção *Body Pairs* que define um par de corpos para o contato.

Contactos criados:

- Tubo e o apoio.
- Parafuso e o apoio.

Para isso utilizou-se um coeficiente de atrito [7] de $\mu = 0,492$.

Bem como outras configurações já projectadas pelo software que são usadas para definir como as superfícies dos corpos entrarão em contato durante a simulação. Elas cobrem aspectos como tolerância de distância, fricção, Tensões limites (de elasticidade, de cedência, ou de rotura), e o comportamento do contato (rigidez, colagem, etc.). Uma vez configuradas corretamente, o Nastran usará essas propriedades para calcular as interações de contato entre as superfícies durante a análise.

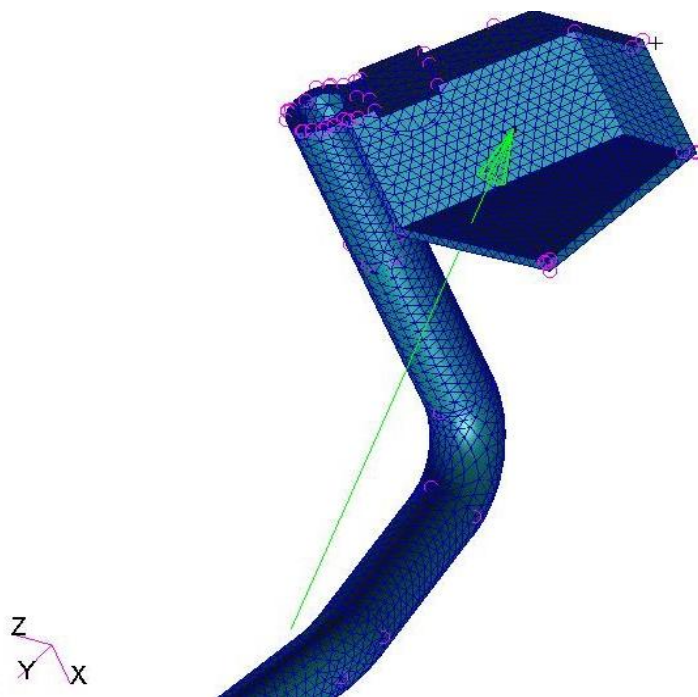


Figura 13- imagem do contacto entre o tubo e o apoio.

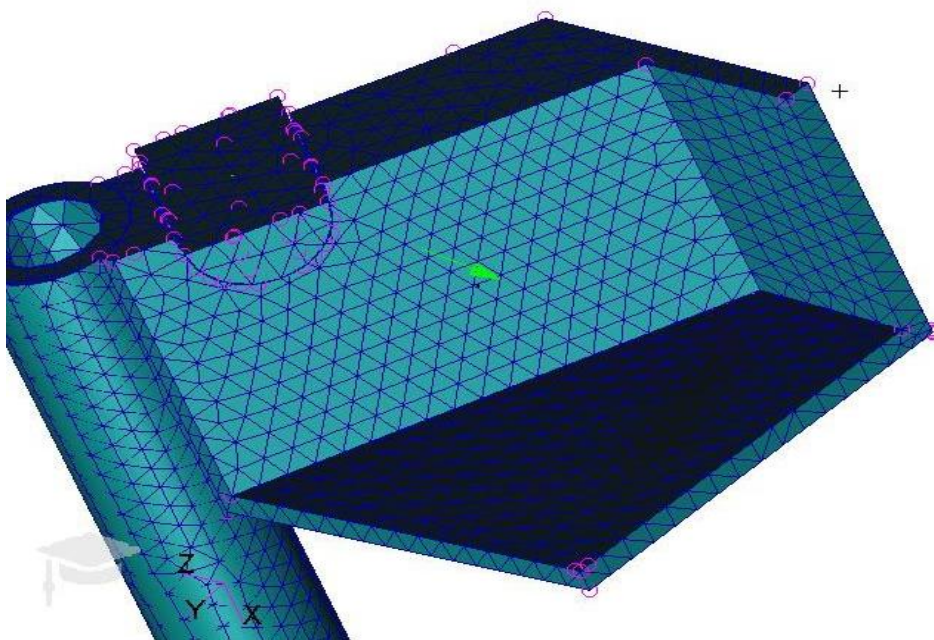


Figura 14- imagem do contacto entre o parafuso e o apoio.

3.5 Condições de deslocamento

Da modo geral a maior parte dos encostos de cabeça dos carros se encontram inseridos dentro do banco de forma a que possa desempenhar de forma eficaz a sua devida função, para isso foi também necessário demonstra esse mesmo deslocamento no software para ter resultados baseados em acontecimentos reais, criando algumas restrições de deslocamento como:

- Na zona de baixo do tubo não se move em XYZ.
- Na região onde aconteceu o corte do parafuso e do apoio não se move no eixo X.

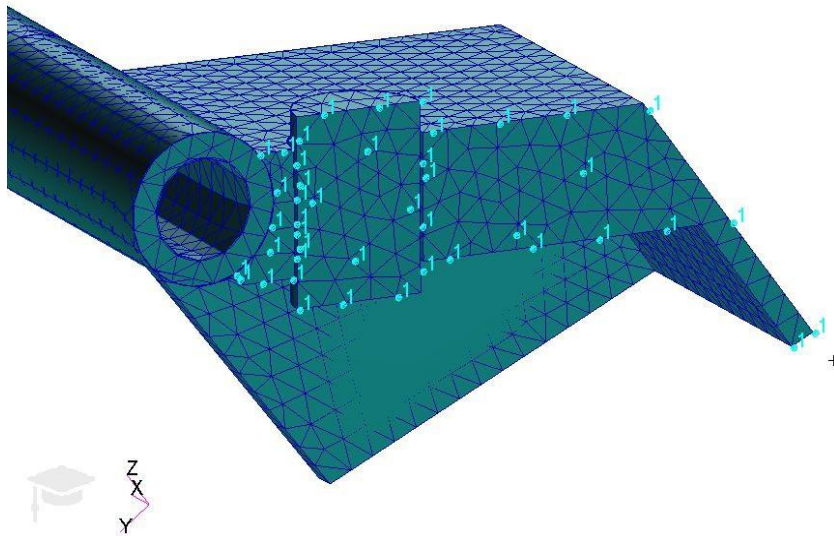


Figura 15- imagem da zona sem deslocamento em X.

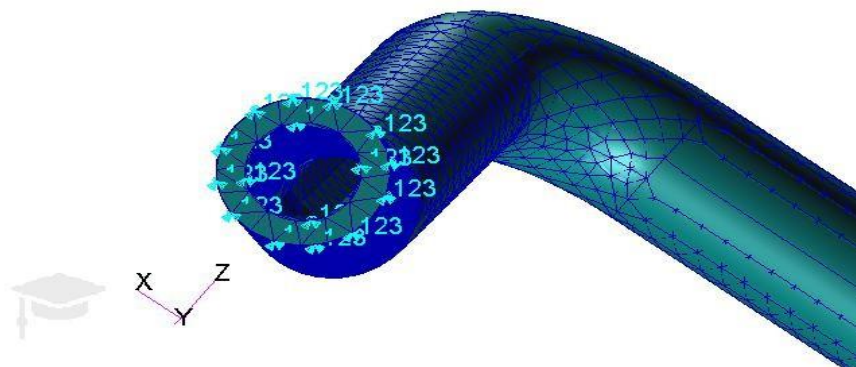


Figura 16- imagem da zona sem deslocamento em XYZ

3.6 Multi-Point Constraint (MPC)

O MPC é um elemento amplamente utilizado em análises de elementos finitos, especialmente no software Nastran. Ele é um tipo de Multi-Point Constraint (MPC), que conecta diferentes nós em uma estrutura de forma rígida, impondo uma relação linear entre os graus de liberdade dos nós envolvidos.

No MPC criou-se um RBE2 de modo a poder simular a existência de uma chapa que os interliga ao parafuso e também a ligação existente entre tubo e a restante parte não desenhada existente no apoio.

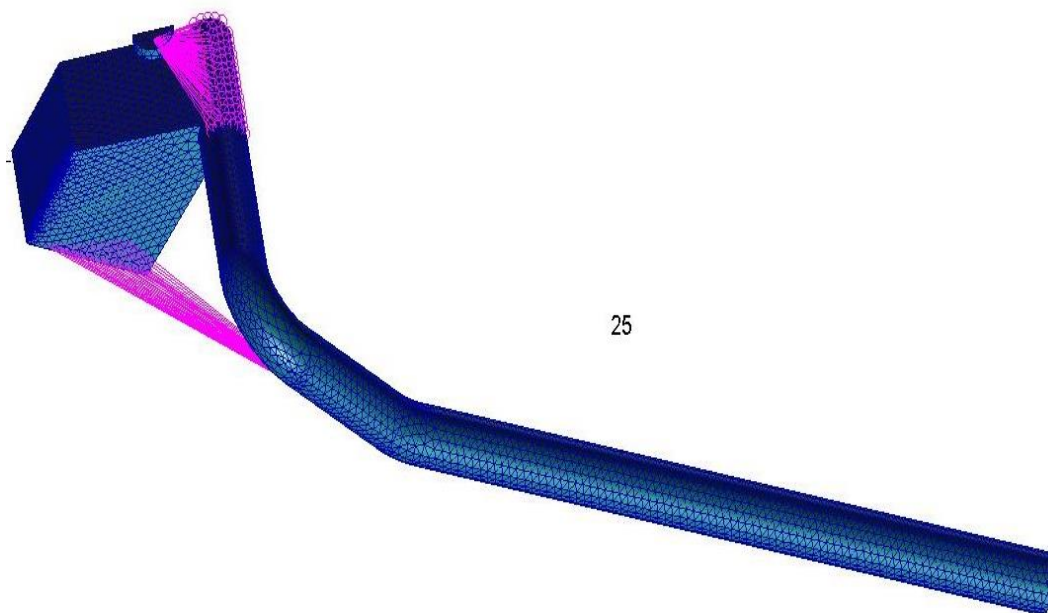
O RBE2 (Rigid Body Element Type 2) é um tipo de elemento de corpo rígido usado em simulações de elementos finitos (FEA). Ele é amplamente utilizado em softwares de análise estrutural, para conectar nós de uma malha de forma rígida, garantindo que esses nós se movam como um corpo rígido, ele impõe uma condição de rigidez absoluta como podemos ver nas figuras abaixo entre os nós conectados. Isso significa que não há deformação relativa entre os nós do RBE2; eles se movem e giram juntos como se estivessem rigidamente conectados [10].

Usos comuns:

- **Modelagem de juntas rígidas:** O RBE2 foi utilizado para modelar articulações ou suportes onde se assume que não há flexibilidade.
- **Distribuição de cargas:** É utilizado para distribuir cargas de forma uniforme entre vários nós.
- **Simplificação de modelagem:** Pode ser usado para simplificar partes do modelo onde a rigidez é desejada.

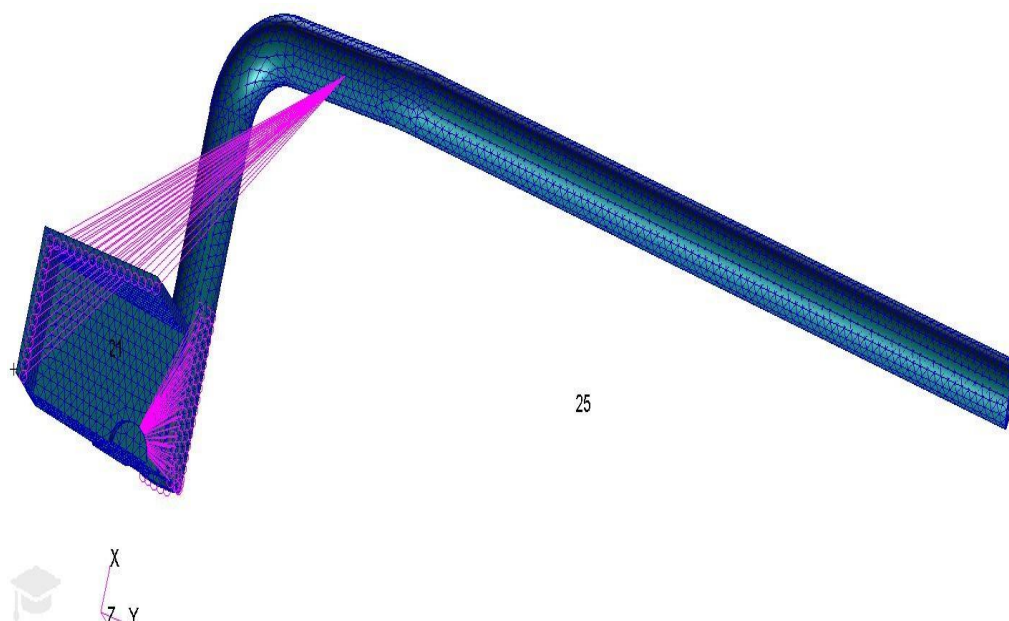
Para este trabalho criou-se 3 ligações MPC(RBE2) que são:

1. O criar dois solidos um acima e outro abaixo do tubo proximo a conexao com o apoio de seguida imprimi-los no tubo para que fosse criada uma lista que os pudesse,os retirar os numeros de nós existentes e só de seguida os colocariamos no RBE2 para conect-los ambos as faces do parafuso.
2. Criou-se o terceiro RBE2 de modo a fazer a simplicacao da nossa modelagem onde mediu-se a distancia do ponto de contato entre o apoio e tubo que foi de *18.5 cm* e se fez a as ligacoes com os nos existentes na ponta de baixo do apoio.



25

Figura 17- imagem das ligações RBE2(lateral).



25

Figura 18- imagem das ligações RBE2(frontal).

3.7 Aplicação de força

Para saber área onde aplicar a força no nosso trabalho foi feito as seguintes medições e análises entre os quais:

- Altura do banco = 72 mm
- Distância do assento do banco até o centro do encosto = 63 mm

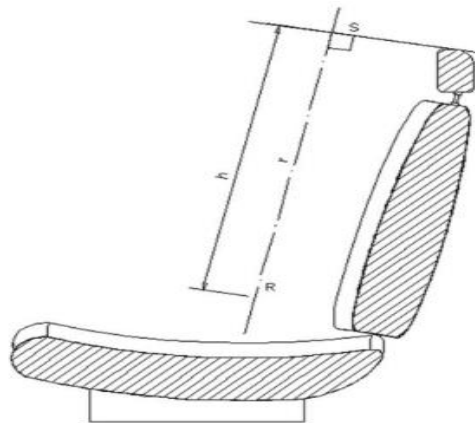


Figura 19- Determinação da altura e lados do encosto de cabeça [6].

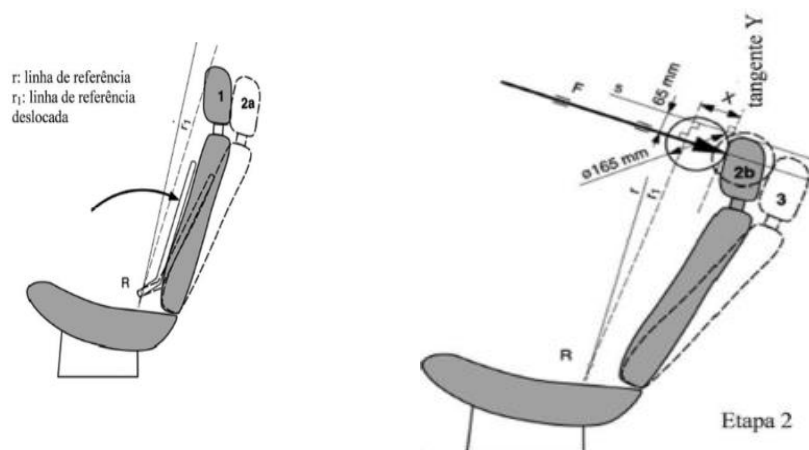


Figura 20 - Pormenores dos traçados e das medições efetuadas durante os ensaios [6].

1. : Posição inicial sem carga.

2a. : Posição deslocada aplicando ao dorso do manequim um momento de 373 Nm em torno do ponto R, definindo assim a posição da linha de referência deslocada r1.

2b. : Posição deslocada aplicando à esfera de 165 mm uma força F que produza um momento de 373 Nm em torno do ponto R, mantendo no seu lugar a linha de referência deslocada r1

3. : Posição após a deslocação provocada pela força F aumentada para 890 N [2].

Sendo assim visto que no nosso software trabalhamos apenas a metade do encosto de cabeça o mesmo aplicou-se a força demonstrada pela literatura apresentada acima.

$$F_{aplicada} = \frac{F_{total}}{2}$$

$$F_{aplicada} = \frac{890 N}{2}$$

$$F_{aplicada} = 445 N$$

A força de 890N refere-se a força de impacto de um acidente o que faz com que normalmente as peças se partam.

Já força de 445 N foi aplicada como Total Load na direcção do eixo Z com a força aplicada para baixo sendo assim acompanhada com o sinal negativo -445 N. A "Total Load" é a soma vetorial de todas as cargas aplicadas em um modelo. Essas cargas podem ser distribuídas de várias formas, como forças concentradas em nós, pressões aplicadas a superfícies, cargas térmicas, entre outras. Saber a "Total Load" é crucial para garantir que o modelo esteja balanceado, verificar se as cargas aplicadas estão corretas, e comparar com as expectativas reais de carregamento. Isso ajuda a evitar erros de modelagem que podem resultar em resultados de análise imprecisos.

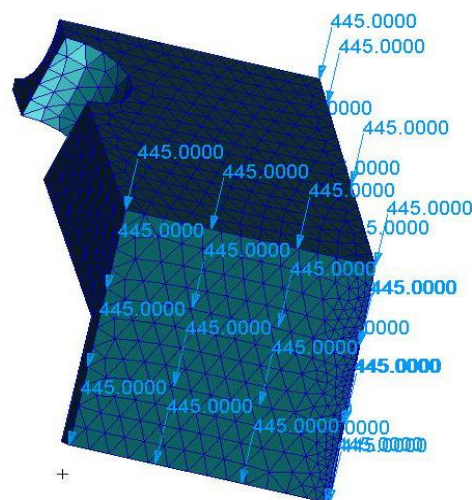


Figura 21- imagem com força distribuida aplicada

4. Análise de resultados

Neste capítulo foram feitas três análises para duas situações com forças diferentes foi feita a análise implícita não linear que foram:

1. Análise com uma carga total de 445 N em Z.
2. Análise com uma carga total de 147 N em Z.

A solução do tipo *implicit nonlinear* (implícita não linear) é uma abordagem utilizada em análises de elementos finitos (FEA) para resolver problemas estruturais que envolvem comportamentos não lineares. Esses comportamentos podem surgir devido a várias fontes, como grandes deformações, não linearidade do material (por exemplo, plasticidade), ou condições de contorno não lineares (como contato entre superfícies).

Neste projeto foi analisado 3 tipos de resultados que são:

- tensões de elementos
- deslocamentos
- Contato

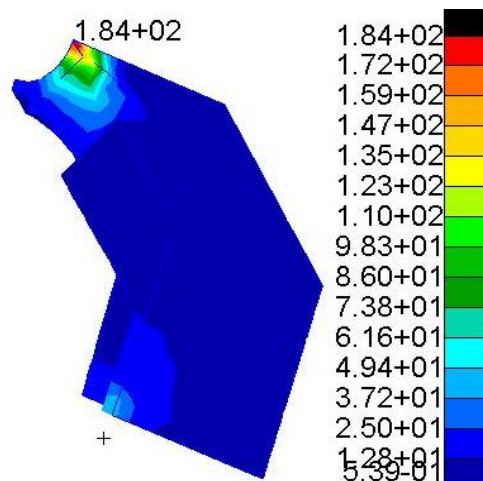


Figura 22- primeira Análise da tensão de Von-Mises

Tensão de *Von-Mises* : é um critério utilizado na análise estrutural de elementos finitos (FEA) para determinar quando um material começa a ceder ou falhar sob carga complexa. A tensão de *Von-Mises* é uma medida escalar da intensidade da tensão no material e ajuda a prever a falha estrutural [10].

As cores na imagem representam diferentes níveis de tensão, onde geralmente:

- Cores frias (azul, verde) indicam regiões de baixa tensão.

- Cores quentes (amarelo, laranja, vermelho) indicam regiões de alta tensão, próximas ao limite de resistência do material.

A Figura mostra como o "apoio" reage a uma carga específica de 445 N na direção Z. Regiões em vermelho indicam áreas que estão mais próximas do ponto de falha. Se essas áreas excederem a tensão de ruptura do material (45 MPa para o Tough PLA) tabela 3, o projeto deve ser revisado para evitar falhas que como pode-se ver na imagem a tensão máxima gerada foi de 184 MPa figura 21, o que chega à ser cerca de 4 vezes mais quando comparado com a tensão de ruptura do material, sendo assim necessário serem feitas novas análises.

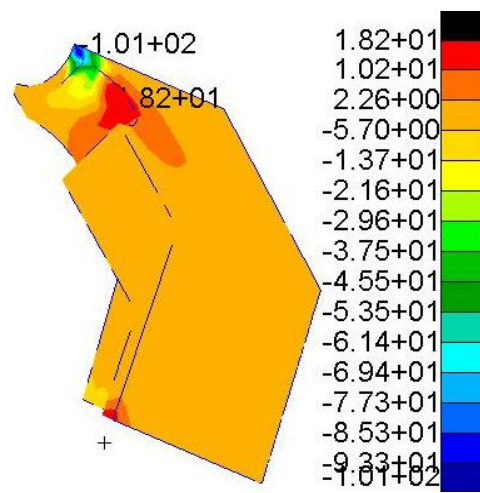


Figura 23- resultado da primeira análise da tensão segundo a component Y

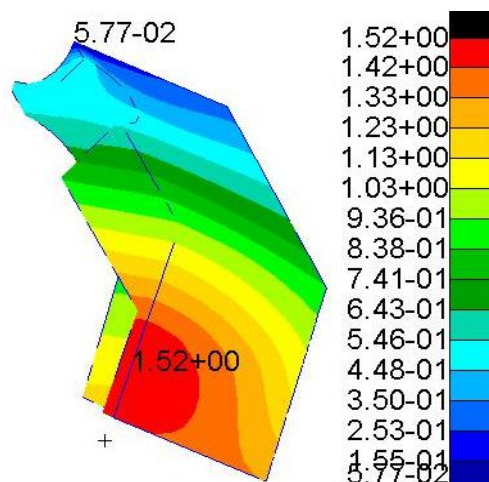


Figura 24- resultado da primeira análise do displacement translacional ,Y component

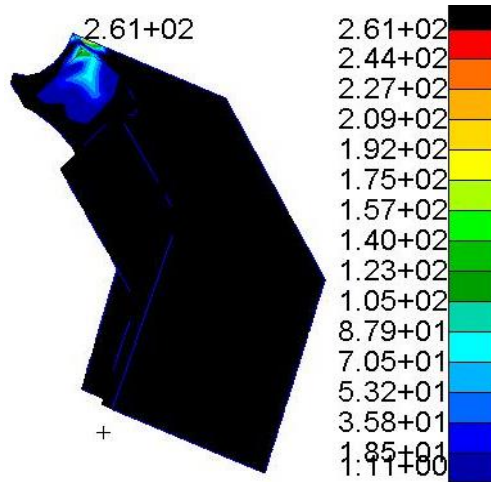


Figura 25- primeira análise contact stresses normal.

Para a segunda análise foram feitos vários ensaios no software de modo a que chegássemos a um valor de tensão próximo ao valor da tensão de ruptura do material sendo assim o valor de força reduzido de 445 N para 147 N na direcção Z , que gerou por consequência um valor tensão máxima de $43,6\text{ MPa}$ figura 25, valor esse que é considerado fiável quando comparado com a primeira análise.

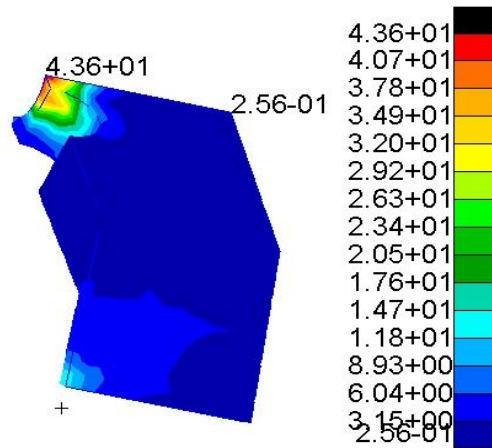


Figura 26- Segunda análise contact stresses normal.

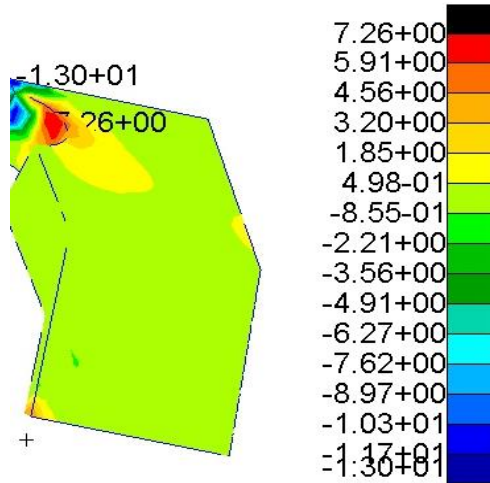


Figura 27- Segunda análise da tensão segundo a component Y.

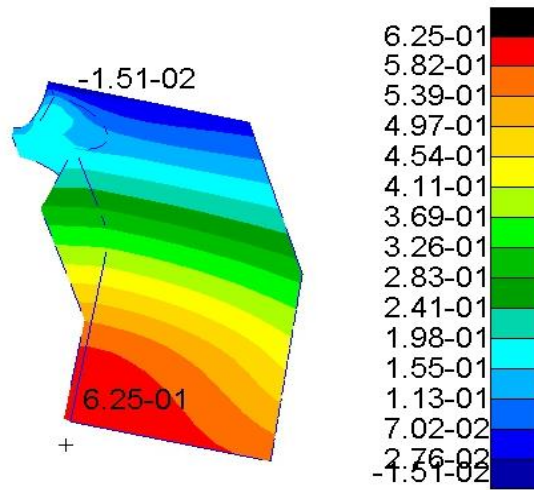


Figura 28- Segunda análise do displacement translacional ,Y component.

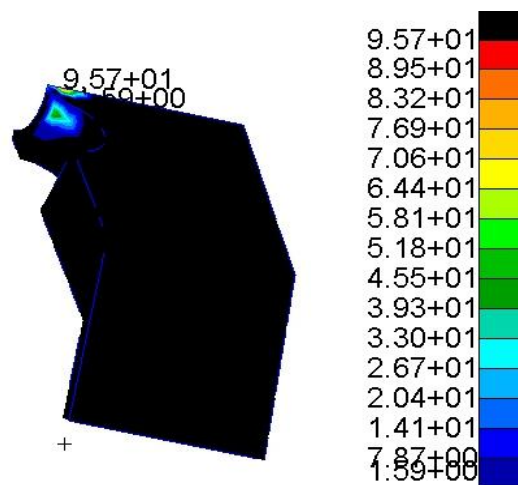


Figura 29- Segunda análise contact stresses normal.

A principal diferença entre as duas análises é a distribuição e a magnitude das tensões. A primeira análise mostra uma concentração maior de tensões e áreas mais extensas de risco, enquanto a segunda análise, com menor carga, resulta em tensões mais moderadas e localizadas, dentro dos limites de segurança.

Análise de Tensões e Segurança Estrutural

Os resultados das simulações de elementos finitos (FEA) indicaram que o encosto de cabeça, quando submetido a uma carga de 445 *N*, apresentou tensões de Von-Mises que excedem significativamente o limite de resistência do material (45 *MPa* para o Tough PLA). A tensão máxima observada foi de 184 *MPa*, aproximadamente quatro vezes acima do limite seguro, sugerindo que o design original está sujeito a falhas estruturais sob essas condições de carga.

Com a redução da carga para 147 *N*, a tensão de Von-Mises máxima foi reduzida para 43.6 *MPa*, o que está próximo, mas ainda ligeiramente abaixo do limite de resistência do material. Esta situação indica que o encosto de cabeça pode ser seguro sob cargas moderadas, porém, muito próximo do ponto crítico de falha.

Análise de Deslocamentos

A análise de deslocamento também revelou diferenças marcantes entre as duas cargas. Sob uma carga de 445N, o encosto de cabeça apresentou um deslocamento significativo, o que poderia comprometer sua integridade estrutural e funcionalidade durante o uso normal ou em situações de impacto. Por outro lado, com a carga reduzida de 147 *N*, o deslocamento foi mais controlado e dentro de limites aceitáveis, indicando uma maior estabilidade da estrutura.

Tensões Normais de Contato

As tensões normais de contato entre as diferentes partes do encosto de cabeça também demonstraram uma variação considerável. Com a carga de 445 *N*, os pontos de contato estavam sob pressão elevada, aumentando o risco de desgaste ou falha nas junções. Com a carga de 147 *N*, as tensões de contato foram significativamente reduzidas, sugerindo que o encosto de cabeça teria uma maior durabilidade sob condições menos severas.

5. Impressora 5S Ultimaker

A impressão de Tough PLA numa impressora Ultimaker S5, figura 29, é um processo relativamente simples e eficiente. A Ultimaker S5 é uma impressora 3D de alto desempenho conhecida pela sua precisão e qualidade de impressão.

Para imprimir o provete na Ultimaker S5 teve que se seguir algumas etapas básicas:

1. **Preparação do modelo:** Fez-se A importacao em STL da geometria do encosto de cabeça no software patran/nastran que é compatível com a Ultimaker S5.
2. **Configuração do software de impressão:** Utilizou-se o software Cura para definir os parâmetros de impressão, como a altura da camada, velocidade de impressão, e direção da impressão (se axial ou transversal), etc.
3. **Início da impressão:** transferiu-se o ficheiro para a impressora Ultimaker S5 usando uma pen USB, selecionou-se o arquivo na tela da impressora, limpou-se a base (onde o provete ia ser impresso) e aplicou-se uma cola de batom para garantir a aderência do Tough PLA à base e iniciou-se a impressão.
4. **Monitoramento:** Durante o processo, a impressão foi monitorada regularmente para garantir que tudo estava a correr conforme o esperado.
5. **Pós-processamento:** Após a impressão ser concluída, removeu-se o provete da base com cuidado e recorreu-se a uma lixa fina para tirar os excessos, alisar as superfícies e colocar à medida pretendida.



Figura 30- imagem da impressora ultimaker.

5.1 Software Cura

O software Cura é uma solução popular de fatiamento utilizada na impressão 3D. Este software converte modelos 3D em instruções compreensíveis pela impressora 3D, gerando camadas fatiadas que são impressas uma a uma.

O Cura é um software de código aberto desenvolvido pela Ultimaker, mas também é compatível com várias outras impressoras 3D disponíveis no mercado. Ele oferece uma interface intuitiva e recursos avançados para ajustar as configurações de impressão de acordo com as necessidades do utilizador.

Algumas das principais características do software Cura incluem:

- Importação de modelos 3D: O Cura permite importar arquivos 3D nos formatos mais comuns, como STL, OBJ, AMF e 3MF.
- Configurações de impressão: Ele oferece uma ampla gama de opções de configuração, como velocidade de impressão, temperatura do bico, espessura de camada, densidade de preenchimento, suportes, entre outros como é visível na figura 24. Essas configurações podem ser ajustadas de acordo com as especificações do modelo e do material de impressão.
- Visualização de camadas: O Cura permite visualizar as camadas fatiadas do modelo, facilitando a identificação de possíveis problemas antes de iniciar a impressão.
- Geração de suportes: Quando necessário, o Cura pode gerar automaticamente estruturas de suporte para modelos com partes suspensas ou sobreposições complexas.
- Simulação de impressão: O software também possui uma função de simulação que permite ao utilizador visualizar como a impressão ocorrerá, identificando áreas problemáticas ou possíveis colisões com suportes.
- Gestão de perfis: O Cura permite salvar perfis personalizados com configurações específicas de impressão, para que possam ser reutilizados em projetos futuros.

O Cura é amplamente utilizado na comunidade de impressão 3D devido à sua confiabilidade, recursos avançados e ao fato de ser uma opção gratuita e de código aberto. Ele está disponível para download no site oficial da Ultimaker e é compatível com os sistemas operativos Windows, macOS e Linux.

As especificações utilizadas neste software para impressão do apoio foram:

O apoio foi impresso no plano XY, usando o perfil de qualidade fina, um bico de impressão AA de 0,4 mm, preenchimento de 100%, altura de camada de 0,15/0.10 mm, temperatura do bico de 215 °C, temperatura da placa de construção de 60 °C,

velocidade de impressão de 45,0 mm/s., dados estes que foram retirados com base ao manual da impressora Ultimaker.

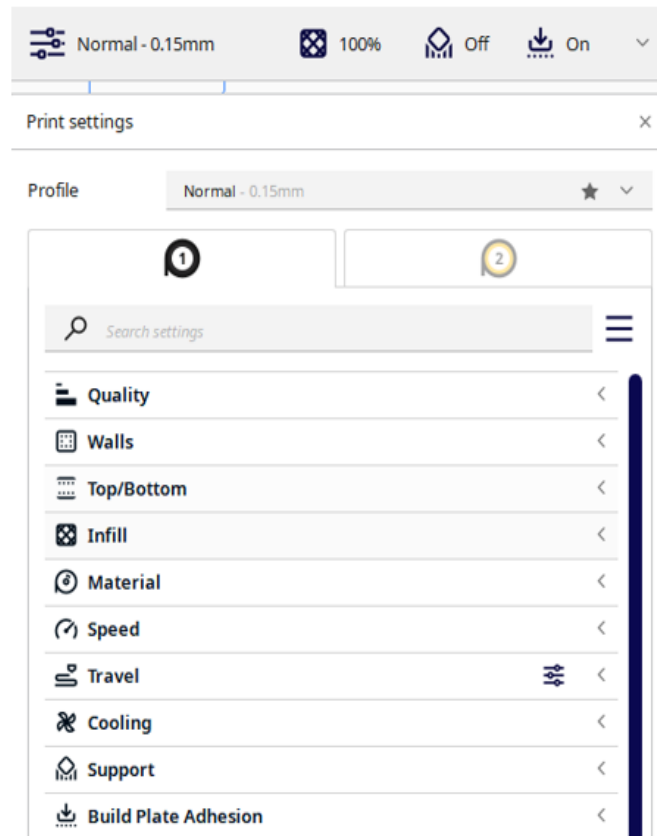


Figura 31- Janela no software Cura onde se podem alterar as propriedades de impressão.

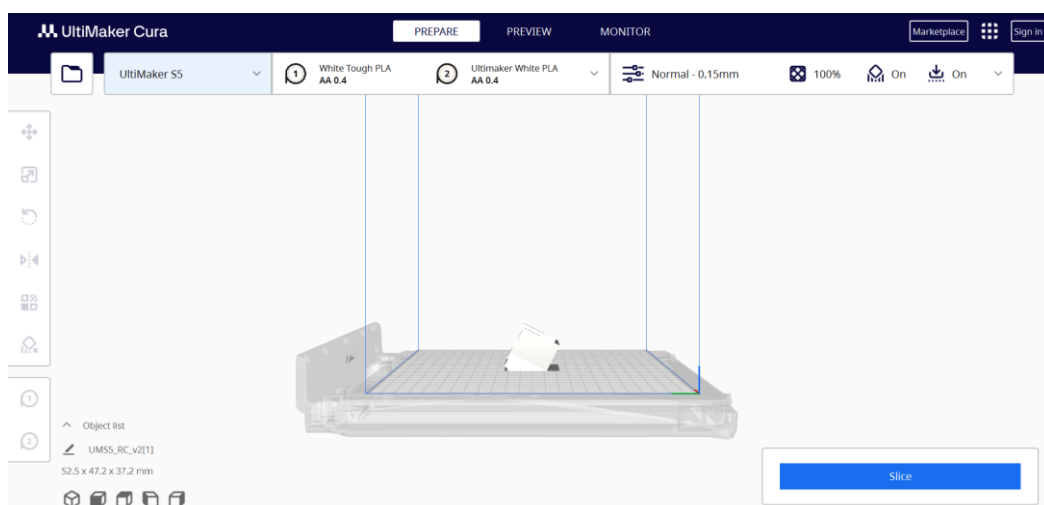


Figura 32- imagem do apoio no software cura.



Figura 33- imagem do apoio impresso.



Figura 34- imagem do apoio impresso.

6. Conclusão

O projeto apresentado demonstrou o potencial da tecnologia de impressão 3D na fabricação de componentes automotivos, especificamente um encosto de cabeça. Ao longo do trabalho, foi possível observar a eficácia dessa tecnologia na criação de protótipos personalizados, capazes de atender a requisitos de design complexos e normas de segurança rigorosas. A escolha do material Tough PLA para a fabricação do protótipo mostrou-se adequada, garantindo a resistência mecânica necessária para suportar condições de uso realistas podendo suportar um valor total de 147 *N* da carga de serviço que mantém a integridade estrutural, porém não suportou a força total inicial de 445 *N*, o que serviria de elemento de substituição com o uso do PLA para as futuras indústrias automóveis.

Através da combinação de simulações computacionais e testes físicos, foi possível validar o desempenho do encosto de cabeça prototipado, confirmando sua viabilidade para aplicação na indústria automóvel. Este projeto não apenas cumpriu seus objetivos iniciais, mas também abriu caminho para futuras explorações e inovações no uso de impressão 3D em outras partes do veículo, contribuindo para a evolução contínua das práticas de fabricação automóvel.

Para projetos futuros, a continuidade do trabalho pode envolver a exploração de novos materiais que possam oferecer ainda mais resistência ou propriedades especiais, como maior flexibilidade ou resistência ao calor. Além disso, o aprofundamento nas técnicas de simulação pode melhorar ainda mais a precisão na previsão do comportamento dos componentes sob diferentes condições de uso. Este projeto, portanto, serve como um ponto de partida promissor para a integração de tecnologias emergentes na produção automóvel, incentivando a inovação contínua na busca por veículos mais seguros e eficientes.

7. Trabalhos Futuros

Em termos de parâmetros de impressão, seria interessante estudar a influência da velocidade de impressão e a anisotropia e correspondentes critérios de falha, para se saber a partir de que magnitude, os movimentos são tão rápidos que afetam a qualidade da deposição de material, bem como a aplicação das forças na peça para a visualização das deformações. Avaliar como as descobertas e desenvolvimentos deste projeto podem ser aplicados a outras áreas além dos encostos de cabeça, como componentes estruturais ou de segurança em outros setores da indústria automóvel ou mesmo em outras indústrias, como a aeroespacial ou a de dispositivos médicos.

Buscar colaborações com outras disciplinas, como engenharia de materiais, ergonomia, e ciência de dados. A integração de conhecimentos de diferentes áreas pode levar a inovações mais robustas e soluções que atendam a múltiplas necessidades simultaneamente.

Investir na criação de protótipos mais avançados utilizando técnicas de manufatura aditiva e modelagem digital. Testes de campo e feedback de usuários reais podem ser usados para iterar rapidamente e melhorar os designs.

Incorporar práticas de design sustentável, considerando o ciclo de vida completo dos produtos desenvolvidos, desde a seleção de materiais até o fim de vida útil e reciclagem. Projetos futuros podem explorar materiais mais ecológicos e processos de fabricação que reduzem a pegada de carbono.

Utilizar tecnologias digitais como a simulação computacional, big data e inteligência artificial para otimizar os processos de design e produção. Ferramentas como a análise de elementos finitos (FEA) e a machine learning podem prever falhas e sugerir melhorias antes da fabricação.

Trabalhar na obtenção de certificações e na adesão a novas normas que possam surgir. A participação em comitês internacionais e a contribuição para a formulação de novos padrões podem colocar a pesquisa na vanguarda do setor.

Identificar mercados emergentes e adaptar os desenvolvimentos do projeto para atender às necessidades específicas desses mercados. A adaptação cultural e regulamentar será essencial para garantir o sucesso em diferentes regiões.

Incorporar os resultados e as metodologias do projeto em programas de educação e formação, preparando uma nova geração de engenheiros e designers capacitados para enfrentar desafios futuros com base nos conhecimentos adquiridos.

Bibliografia

- [1.]- Knaufautomotive: <https://knaufautomotive.com/pt-br/encostos-de-cabeca-ativos-para-automoveis/> (Acedido em 24/07/24).
- [2.]- Jornal Oficial ISSN 1977-0774 L 266 da União Europeia
- [3.]- Machinemfg: <https://www.machinemfg.com/pt/> (Acedido em 22/08/2024).
- [4.]- Ceresana: <http://www.ceresana.com/en/market-studies/plastics/bioplastics/> (Acedido em 21/07/24).
- [5.] B. Wittbrodt, J. M. Pearce, "The Effects of PLA Color on Material Properties of 3-D Printed Components" Additive Manufacturing, Volume 8, pp. 110-116, 2015.
- [6.] ProtoParadigm: <http://www.protoparadigm.com/news-updates/the-difference-between-abs-and-pla-for-3d-printing/> (Acedido em 21/07/24).
- [7.]- Acido polilático: <https://material-properties.org/pt-br/acido-polilatico/> (Acedido em 30/07/24).
- [8.]- Caracteristicas.pt: <https://caracteristicas.pt/aco/> (Acedido em 1/07/24).
- [9.]- Ramalho, Armando; Freitas, Dino; Almeida, Henrique. "The anisotropy and friction effect in the design of 3D printed PLA parts – a case study". Materials Today: Proceedings (2023) – Article in press.
- [10.]- Álvaro F. M. Azevedo. - Metodo dos elementos finitos Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- [11.]- Timoshenko, S. P.; Goodier, J. N.- Theory of Elasticity, Third Edition, McGraw-Hill, 1988.
- [12]- Cook, R. D.;Malkus, D. S.; Plesha, M. E.;Witt, R. J.- Concepts and Applications of Finite Element Analysis, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2002
- [13]- Zienkiewicz, O. C.; Taylor, R. L.- The Finite Element Method, Fourth Edition, McGraw-Hill, 1988.
- [14]- Clough, R. W. - The Finite Element in Plane Stress Analysis, Proc. 2nd ASCE Conf. on Electronic Computation, Pittsburgh, Pa., September 1960.
- [15]- Azevedo, A. F. M. - Mecânica dos Sólidos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996.