



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
DIRETORIA GERAL DO CAMPUS JOÃO PESSOA
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

MURILO FERNANDO SILVA E SILVA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DIDÁTICO DE CAIXA DE
MARCHAS MANUAL UTILIZANDO IMPRESSÃO 3D**

JOÃO PESSOA

2026

MURILO FERNANDO SILVA E SILVA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DIDÁTICO DE CAIXA DE
MARCHAS MANUAL UTILIZANDO IMPRESSÃO 3D**

Projeto de TCC apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Paraíba do Instituto Federal de João Pessoa.

Orientador: Me. Erick Zambrano Cordeiro.

JOÃO PESSOA

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP
Biblioteca Nilo Peçanha – IFPB, *Campus* João Pessoa

S586p Silva, Murilo Fernando Silva e.

Projeto e construção de um protótipo didático de caixa de marchas manual utilizando impressão 3D / Murilo Fernando Silva e Silva. – 2026.

53 f. : il.

TCC (Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Departamento de Ensino Superior / Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica, 2026.

Orientador: Prof^o Me. Erick Zambrano Cordeiro.

1. Engenharia de automóvel. 2. Caixa de marchas manual.
3. Transmissão automotiva. 4. Manufatura aditiva. I. Título.

CDU 629.331(043)

MURILO FERNANDO SILVA E SILVA

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DIDÁTICO DE CAIXA DE MARCHAS MANUAL
UTILIZANDO IMPRESSÃO 3D**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC) submetido a Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica, do Instituto Federal da Paraíba (IFPB), como parte dos requisitos institucionais para a obtenção do Título de **ENGENHEIRO MECÂNICO**.

Aprovado em 08 de fevereiro de 2026.

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Me. ERICK ZAMBRANO CORDEIRO

Instituto Federal da Paraíba –
Orientador

Profa. Dra. MICHELLINE NERY AZEVEDO LIMA

Instituto Federal da Paraíba
Examinador

Prof. Dr. GILVAN VIEIRA DE ANDRADE JUNIOR

Instituto Federal da Paraíba
Examinador

Documento assinado eletronicamente por:

- **Erick Zambrano Cordeiro**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/02/2026 11:34:05.
- **Gilvan Vieira de Andrade Junior**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/02/2026 11:43:34.
- **Michelline Nery Azevedo Lima**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 27/02/2026 16:09:43.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 27/02/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código 841643
Verificador: 7cbaca28bf
Código de Autenticação:



AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por conceder-me força, fé, sabedoria e discernimento ao longo de toda a minha trajetória acadêmica, tornando possível a realização deste trabalho e a conclusão desta importante etapa da minha formação profissional.

Dedico esta monografia aos meus pais, José Francisco da Silva e Eliana Lustosa da Silva, pelo amor incondicional, pelo apoio constante e por nunca medirem esforços para que eu pudesse alcançar meus objetivos, pelo apoio incondicional, pelos ensinamentos, pelos sacrifícios silenciosos e pela confiança depositada em mim, mesmo diante das dificuldades, expresse minha eterna gratidão. Aos meus irmãos, Jhonatan Dafne Rodrigues da Silva e José Victor Rodrigues da Silva, e a todos os meus familiares, agradeço pela presença, incentivo e compreensão durante toda a graduação, especialmente nos momentos mais desafiadores, que exigiram resiliência e superação.

Aos amigos, em especial Alana da Silva Sousa, Alexandre Miguel Martins Silva Bezerra e Kaynnan Luiz da Silva Araújo que caminharam ao meu lado durante a universidade, deixo meu sincero agradecimento pelas contribuições diretas e indiretas, pelo companheirismo, pelas trocas de conhecimento e pelo apoio fundamental ao longo do desenvolvimento e da conclusão deste trabalho.

Agradeço, de forma especial, ao meu professor orientador, Prof. Me. Erick Zambrano Cordeiro, pela orientação dedicada, pela disponibilidade, pelos ensinamentos técnicos e acadêmicos e pelas contribuições fundamentais ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho. Seu acompanhamento foi essencial para o amadurecimento do projeto e para a consolidação dos conhecimentos aplicados nesta pesquisa.

Expresse também minha gratidão à Prof.^a Dra. Michelline Nery Azevedo Lima, coordenadora do curso, pelo apoio institucional, pela dedicação à formação acadêmica dos discentes e pelo compromisso constante com a qualidade do ensino oferecido, contribuindo significativamente para o desenvolvimento da graduação em Engenharia Mecânica.

Agradeço, ainda, a toda a equipe do Laboratório de Prototipação do IFPB (Lampião Maker), pelo suporte técnico e pela disponibilização da infraestrutura necessária para a execução deste trabalho. Em especial, agradeço aos coordenadores do projeto, Prof. Dr. Gilvan Vieira de Andrade Junior e à Prof.^a Dra. Nadja da Nóbrega Rodrigues, pelo incentivo, pela confiança e pelo apoio fundamental para que o protótipo fosse desenvolvido e concluído da melhor forma possível.

Por fim, expresse minha gratidão a todos os professores, doutores e servidores do Instituto Federal da Paraíba (IFPB) - Campus João Pessoa, que, com dedicação e compromisso, contribuíram para a construção do meu conhecimento acadêmico e profissional, ensinando-me a valorizar o ensino, a pesquisa e a tecnologia como ferramentas essenciais para o desenvolvimento do país e da sociedade.

RESUMO

A caixa de marchas manual é um dos principais componentes do sistema de transmissão veicular, sendo responsável por adequar o torque e a velocidade do motor às diferentes condições de operação do veículo. Entretanto, a compreensão do seu funcionamento interno pode ser dificultada pela complexidade construtiva e pela limitação de recursos didáticos que possibilitem a visualização direta de seus componentes. Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo projetar e construir um protótipo didático de uma caixa de marchas manual, utilizando técnicas de manufatura aditiva, com a finalidade de auxiliar o processo de ensino e aprendizagem. O protótipo foi desenvolvido com engrenagens e coroas produzidas por impressão 3D em PLA, bem como eixos também fabricados por meio de impressão 3D utilizando o mesmo material. A carcaça do sistema é composta por laterais e base em MDF, enquanto as faces frontal e traseira são confeccionadas em acrílico, permitindo a visualização do conjunto em funcionamento. A metodologia adotada compreendeu pesquisa bibliográfica, modelagem em ambiente CAD, fabricação dos componentes, montagem e testes funcionais.

Palavras-chave: Caixa de marchas manual; Transmissão automotiva; Manufatura aditiva.

ABSTRACT

The manual gearbox is one of the main components of the vehicle transmission system, being responsible for adjusting the engine torque and speed to different vehicle operating conditions. However, understanding its internal operation can be challenging due to its constructive complexity and the limited availability of didactic resources that allow direct visualization of its components. In this context, this work aims to design and build a didactic prototype of a manual gearbox using additive manufacturing techniques, with the purpose of supporting the teaching and learning process. The prototype was developed with gears and ring gears produced by 3D printing in PLA, as well as shafts also manufactured through 3D printing using the same material. The system housing consists of side panels and a base made of MDF, while the front and rear faces are made of acrylic, allowing visualization of the assembly during operation. The adopted methodology included bibliographic research, CAD modeling, component manufacturing, assembly, and functional testing.

Keywords: Manual gearbox; Automotive transmission; Additive manufacturing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Engenheiro Alemão Karl Benz.....	13
Figura 2 - Bertha Benz em seu Motor Wage.....	14
Figura 3 - Tração Dianteira.....	15
Figura 4 - Tração Traseira.....	16
Figura 5 - Tração Integral.....	16
Figura 6 - Componentes de um sistema de transmissão.....	17
Figura 7 - Embreagem.....	17
Figura 8 - Caixa de mudanças.....	18
Figura 9 - Eixo articulado.....	18
Figura 10 - Diferencial.....	19
Figura 11 - Semi-Árvore.....	19
Figura 12 - Transmissão Manual.....	22
Figura 13 - Componentes de uma caixa de mudanças manual.....	23
Figura 14 - Caixa de mudanças de marchas manual.....	25
Figura 15 - Transmissão Automática.....	26
Figura 16 - Interior de uma caixa de mudanças automática.....	27
Figura 17 - Funcionamento da caixa de transmissão automática.....	28
Figura 18 - Transmissão CVT.....	29
Figura 19 - Componentes da Transmissão CVT.....	29
Figura 20 - Corrente de elos de placa e engrenagens cônicas.....	30
Figura 21 - Funcionamento da mudança de marchas.....	30
Figura 22 - Fluxograma da metodologia do projeto.....	31
Figura 23 - Impressora 3D.....	34
Figura 24 - Inventor.....	35
Figura 25 - Fatiador 3D.....	35
Figura 26 - Ferramentas de corte e acabamento.....	38
Figura 27 - Modelo tridimensional do protótipo.....	39
Figura 28 - Engrenagens e coroas.....	40
Figura 29 - Eixos com chavetas.....	41
Figura 30 - Garfos seletores de marchas.....	41
Figura 31 - Sincronizadores.....	42
Figura 32 - Conjunto de componentes impressos.....	42
Figura 33 - Estrutura da caixa de marchas.....	43
Figura 34 - Montagem da base estrutural e posicionamento dos eixos.....	44
Figura 35 - Montagem das engrenagens e mecanismos de seleção de marchas.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Materiais e especificações utilizadas na construção do protótipo.....	33
Tabela 2 - Resumo geral de caracterização e parâmetros de impressão.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEAARP	Associação de Engenharia Arquitetura e Agronomia de Ribeirão Preto
CAD	Computer-Aided Design (Projeto ou Desenho Assistido por Computador)
CVT	Continuously Variable Transmission
MDF	Medium Density Fiberboard
PLA	Ácido Polilático
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
FDM	Fused Deposition Modeling

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 TRANSMISSÃO AUTOMOTIVAS: PRINCÍPIOS E FUNCIONALIDADE.....	13
3.1 História do automóvel e os primeiros sistemas de transmissão.....	13
3.2 Sistema de transmissão automotiva.....	14
3.3 Tipos de configurações de transmissão automotiva.....	15
3.4 Componentes de transferência de torque e potência.....	17
3.4.1 Embreagem.....	17
3.4.2 Caixa de mudanças.....	18
3.4.3 Eixo Articulado.....	18
3.4.4 Diferencial.....	18
3.4.5 Semi-árvore.....	19
4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO.....	20
4.1 Relação de transmissão.....	20
5 SISTEMA DE TRANSMISSÃO AUTOMOTIVA.....	22
5.1 Transmissão manual.....	22
5.1.1 Caixa de marchas.....	22
5.1.2 Funcionamento da caixa de marchas manual.....	24
5.2 Transmissão automática.....	26
5.2.1 Principais componentes.....	26
5.2.2 Funcionamento da caixa de marchas automática.....	27
5.3 Transmissão continuamente variável (CVT).....	28
5.3.1 Principais componentes.....	29
5.3.2 Funcionamento da caixa de marchas CVT.....	29
6 METODOLOGIA.....	31
6.1 Revisão bibliográfica.....	31
6.2 Desenvolvimento do protótipo.....	32
6.2.1 Materiais utilizados.....	32
6.2.2 Ferramentas e equipamentos utilizados.....	33
6.2.2.1 Impressora 3D.....	33
6.2.2.2 Software de modelagem CAD (Autodesk Inventor).....	34
6.2.2.3 Ferramentas de corte e acabamento.....	38
6.3 Modelagem tridimensional do sistema de transmissão.....	39
6.3.1 Fabricação das peças do sistema de transmissão.....	39
6.3.1.1 Engrenagens e coroas.....	40
6.3.1.2 Eixos com chavetas.....	40
6.3.1.3 Garfo seletor de marchas.....	41
6.3.1.4 Sincronizadores.....	42

6.3.1.5 Conjunto de componentes impressos.....	42
6.3.1.6 Estrutura da caixa de marchas.....	43
6.4 Montagem do protótipo.....	44
6.4.1 Testes e avaliação do funcionamento do protótipo.....	46
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

Nos veículos automotores, a caixa de transmissão de força constitui um elemento fundamental do conjunto mecânico, sendo responsável por transmitir a potência produzida pela combustão da mistura ar-combustível no interior do motor até as rodas motrizes. A adequada distribuição dessa potência é essencial para garantir desempenho, eficiência e segurança durante a condução. Atualmente, a indústria automobilística dispõe de diversas configurações de sistemas de transmissão, dentre as quais destacam-se a transmissão manual, a transmissão automatizada, a transmissão automática convencional e a transmissão continuamente variável (Continuously Variable Transmission – CVT) (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL – SENAI, 2002).

Cada uma dessas configurações apresenta particularidades construtivas e operacionais que influenciam diretamente o comportamento dinâmico do veículo. Aspectos como consumo de combustível, durabilidade dos componentes, conforto ao dirigir e tempo de resposta entre o motor e as rodas são significativamente afetados pelo tipo de transmissão adotado (SENAI, 2001; 2002). Em virtude dessas diferenças, observa-se que ainda existem incertezas por parte dos condutores quanto à eficiência e à adequação de cada sistema às suas necessidades específicas de condução.

Dentre os componentes do sistema de transmissão, a caixa de marchas manual destaca-se por possibilitar a variação da relação entre torque e velocidade, permitindo que o motor opere em faixas adequadas de rotação e proporcionando melhor aproveitamento da potência disponível. Apesar de sua ampla utilização e relevância, a compreensão do funcionamento interno desse mecanismo pode representar um desafio para estudantes de Engenharia Mecânica, sobretudo devido à complexidade construtiva e à dificuldade de visualização dos componentes internos e do processo de engrenamento durante a troca de marchas.

Nesse contexto, o emprego de protótipos didáticos mostra-se uma alternativa eficiente para complementar o ensino teórico, promovendo uma melhor assimilação dos conceitos relacionados aos sistemas de transmissão mecânica. Aliado a isso, o avanço das tecnologias de manufatura aditiva, em especial a impressão 3D, tem possibilitado a fabricação de componentes mecânicos com baixo custo, elevada flexibilidade de projeto e facilidade de reprodução, tornando viável a construção de modelos funcionais voltados para fins educacionais.

Dessa forma, este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo didático de uma caixa de marchas manual, concebido a partir da aplicação dos conhecimentos adquiridos ao longo da graduação em Engenharia Mecânica, especialmente nas áreas de projeto mecânico, manufatura e operação de maquinários. O protótipo utiliza engrenagens produzidas por impressão 3D em material polimérico PLA, bem como eixos e chavetas também fabricados por meio de impressão 3D utilizando o mesmo material. A carcaça do sistema é composta por laterais e base em MDF, enquanto as faces frontal e traseira são confeccionadas em acrílico, permitindo a visualização do funcionamento interno do conjunto. Além de consolidar os aprendizados acadêmicos, o projeto visa disponibilizar uma bancada didática capaz de auxiliar no processo de ensino-aprendizagem do funcionamento das transmissões manuais automotivas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver um protótipo didático de uma caixa de marchas manual, utilizando técnicas de manufatura aditiva, com a finalidade de demonstrar de forma prática e visual o funcionamento desse sistema de transmissão, contribuindo como ferramenta auxiliar no processo de ensino-aprendizagem em Engenharia Mecânica.

2.2 Objetivos específicos

- Estudar os princípios de funcionamento e os principais componentes de uma caixa de marchas manual automotiva;
- Projetar os elementos mecânicos do protótipo em ambiente de modelagem tridimensional (CAD);
- Fabricar as engrenagens e eixos do sistema por meio de impressão 3D utilizando material polimérico do tipo PLA;
- Montar o protótipo e avaliar sua aplicabilidade como bancada didática para o ensino de sistemas de transmissão mecânica.

3 TRANSMISSÃO AUTOMOTIVAS: PRINCÍPIOS E FUNCIONALIDADE

3.1 História do automóvel e os primeiros sistemas de transmissão

Entende-se por automóvel todo veículo que se move por meio de uma forma de propulsão, seja essa a vapor, elétrico ou propulsão interna (ASSOCIAÇÃO DE ENGENHARIA ARQUITETURA E AGRONOMIA DE RIBEIRÃO PRETO - AEAARP, 2016).

O primeiro veículo motorizado a ser produzido com propósito comercial foi um carro com apenas três rodas. Este foi produzido, em 1885, pelo engenheiro alemão Karl Benz (Figura 1) e possuía um motor a gasolina. Chamado de motorwagen (carro motorizado), as primeiras unidades foram produzidas pela empresa do inventor, a Benz & Co., na cidade alemã de Mannheim. Com sistema de arranque a manivela, este primeiro automóvel tinha potência de 0,8 cv, podendo atingir 18 km/h. Ele registrou seu automóvel em 1886, e este ano passou para a história como o ano da invenção do carro moderno.

Figura 1 - Engenheiro Alemão Karl Benz



Fonte: Mercedes-Benz Group (2026)

Simon (2013), conta que a esposa de Karl, Bertha Benz, usou a máquina criada pelo marido (Figura 2) para realizar uma viagem de 106 quilômetros, sendo essa considerada a primeira realizada por um transporte motorizado.

Figura 2 - Bertha Benz em seu Motor Wage



Fonte: Mercedes-Benz Group (2026)

A partir desses acontecimentos, a indústria automotiva passou a avançar significativamente rumo à produção em larga escala de veículos. Com a adoção de processos industriais mais eficientes, o automóvel consolidou-se como um dos principais meios de transporte utilizados mundialmente. Estima-se que, atualmente, existam mais de 1,6 bilhão de veículos em circulação ao redor do planeta, evidenciando a relevância e o impacto desse setor na mobilidade moderna (OICA, 2025).

Embora os automóveis apresentem diferentes características construtivas, estéticas e funcionais, todos compartilham a mesma finalidade básica de locomoção, a qual é viabilizada por sistemas mecânicos fundamentais. Entre esses sistemas, destaca-se o sistema de transmissão, responsável por conduzir a potência gerada pelo motor até as rodas motrizes, possibilitando o movimento do veículo. Apesar de exercerem a mesma função, os sistemas de transmissão podem assumir diferentes configurações e tecnologias, variando de acordo com o tipo de veículo, aplicação e nível de desempenho desejado. Essas diferentes soluções serão abordadas ao longo deste trabalho, com o objetivo de apresentar e compreender os principais sistemas de transmissão utilizados na indústria automotiva.

3.2 Sistema de transmissão automotiva

O sistema de transmissão automotiva é o conjunto de componentes responsáveis por transmitir a potência do motor até as rodas motrizes. De forma geral, esse sistema é composto pela embreagem, caixa de marchas, eixo de transmissão, diferencial e semi-eixos, podendo variar conforme a configuração do veículo.

A principal função do sistema de transmissão é permitir que o motor opere dentro de uma faixa adequada de rotação, independentemente da velocidade do veículo. Além disso, o

sistema deve absorver variações de carga, inverter o sentido de rotação (marcha a ré) e possibilitar um ponto neutro.

De modo geral, o sistema de transmissão é constituído por elementos semelhantes, os quais operam de acordo com os princípios físicos que regem a dinâmica veicular. Esses sistemas podem ser classificados em diferentes categorias, destacando-se a transmissão mecânica, a transmissão automatizada e a transmissão automática, conforme o tipo de acionamento e controle empregado.

3.3 Tipos de configurações de transmissão automotiva

As transmissões automotivas podem ser classificadas conforme a forma como a potência gerada pelo motor é distribuída às rodas motrizes, definindo a configuração de tração do veículo. As principais configurações empregadas na indústria automobilística são a tração dianteira, a tração traseira e a tração integral.

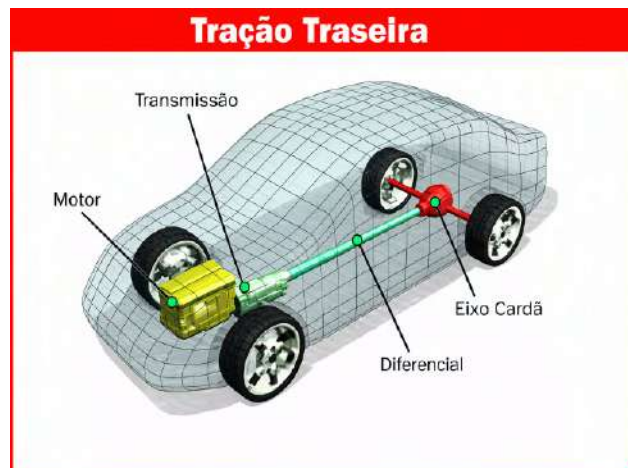
Figura 3 - Tração Dianteira



Fonte: Proimports SP (2020)

Na tração dianteira (Figura 3), a potência é transmitida diretamente às rodas dianteiras, que acumulam as funções de tração e direção. Essa configuração caracteriza-se por um conjunto motor-transmissão mais compacto, menor massa total e melhor aproveitamento do espaço interno, sendo amplamente utilizado em veículos de passeio.

Figura 4 - Tração Traseira



Fonte: Proimports SP (2020)

Na tração traseira (Figura 4), a potência do motor é conduzida às rodas traseiras por meio de um eixo de transmissão longitudinal. Nesse arranjo, as rodas dianteiras atuam apenas na direção, enquanto as traseiras realizam a tração, proporcionando melhor distribuição de cargas e maior capacidade de transmissão de torque.

Figura 5 - Tração Integral



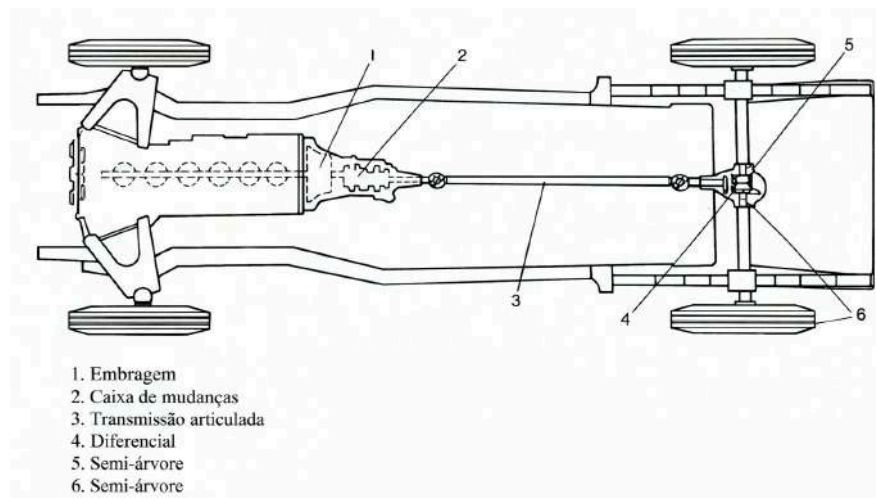
Fonte: Proimports SP (2020)

Já na tração integral (Figura 5), a potência é distribuída entre os eixos dianteiro e traseiro, permitindo que todas as rodas participem da tração. Essa configuração oferece maior estabilidade e aderência, sendo indicada para veículos que operam em condições de baixa aderência ou terrenos irregulares.

3.4 Componentes de transferência de torque e potência

O sistema de transmissão de um veículo é constituído por diversos componentes cuja função principal é conduzir e adequar a potência gerada pelo motor até as rodas motrizes. Esses elementos atuam de forma integrada, garantindo a transferência eficiente de torque e velocidade necessários ao movimento do veículo. Conforme ilustrado abaixo (Figura 6), são apresentados os principais componentes do sistema de transmissão.

Figura 6 - Componentes de um sistema de transmissão

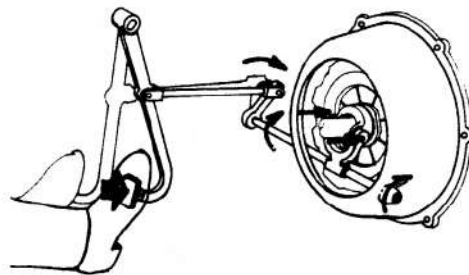


Fonte: Seduc (2011)

3.4.1 Embreagem

A embreagem (Figura 7) é um componente fundamental do sistema de transmissão, responsável por realizar o acoplamento e o desacoplamento entre o motor e a caixa de marchas. Sua função principal é permitir a interrupção temporária da transmissão de torque, possibilitando a partida do veículo e a troca de marchas de forma suave e controlada.

Figura 7 - Embreagem

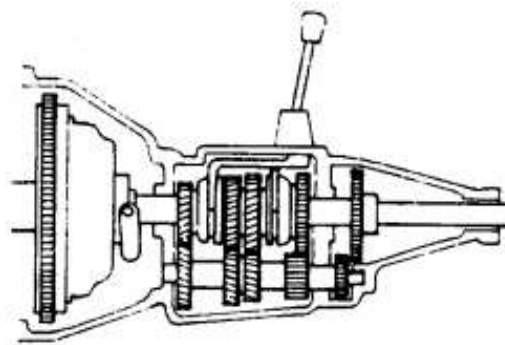


Fonte: Seduc (2011)

3.4.2 Caixa de mudanças

A caixa de mudanças (Figura 8), também conhecida como caixa de marchas, é o componente do sistema de transmissão responsável por modificar a relação entre torque e velocidade transmitidos do motor às rodas. Por meio do engrenamento de diferentes pares de engrenagens, esse sistema permite adequar o funcionamento do motor às diversas condições de operação do veículo, como partida, aceleração e deslocamento em regime constante.

Figura 8 - Caixa de mudanças

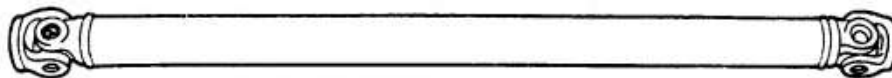


Fonte: Seduc (2011)

3.4.3 Eixo Articulado

O eixo articulado (Figura 9) é responsável por conduzir o movimento rotacional da árvore secundária da caixa de mudanças até o diferencial, permitindo variações angulares e longitudinais ao longo da transmissão, por meio do uso de juntas universais e elementos elásticos.

Figura 9 - Eixo articulado



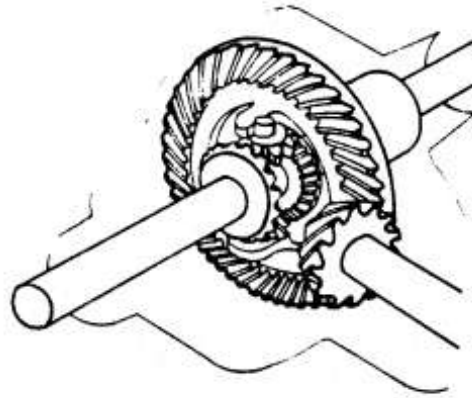
Fonte: Seduc (2011)

3.4.4 Diferencial

O diferencial (Figura 10) é um componente essencial do sistema de transmissão, responsável por transmitir o torque proveniente da caixa de mudanças às rodas motrizes, permitindo que elas girem a velocidades angulares diferentes. Essa função é fundamental,

especialmente durante curvas, quando a roda externa percorre uma trajetória maior que a roda interna.

Figura 10 - Diferencial

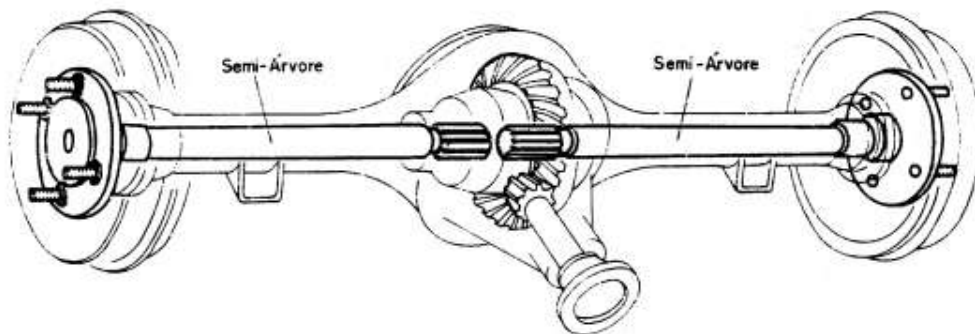


Fonte: Seduc (2011)

3.4.5 Semi-árvore

A semi-árvore (Figura 11) é um componente do sistema de transmissão responsável por conduzir o torque do diferencial até as rodas motrizes. Ela atua como elo final da cadeia de transmissão, garantindo que a potência distribuída pelo diferencial seja efetivamente aplicada ao movimento do veículo.

Figura 11 - Semi-Árvore



Fonte: Seduc (2011)

4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O princípio de funcionamento de uma transmissão automotiva baseia-se na variação da relação entre torque e velocidade, de modo a atender às diferentes condições de operação do veículo. Por meio do engrenamento de diferentes pares de engrenagens, é possível multiplicar o torque transmitido às rodas em baixas velocidades ou priorizar maiores velocidades com menor torque, conforme a marcha selecionada.

Nas transmissões manuais, esse processo ocorre pela seleção mecânica das marchas, permitindo ao condutor controlar diretamente o regime de funcionamento do motor e a entrega de potência às rodas.

O movimento de rotação do motor é então transmitido, conforme a relação de marcha selecionada, pela seguinte sequência: motor, embreagem, caixa de mudanças, transmissão articulada, diferencial, semi árvores e rodas motrizes.

4.1 Relação de transmissão

A relação de transmissão Eq. (1) é um parâmetro fundamental para a análise do funcionamento da caixa de mudanças, pois define a relação entre a rotação e o torque de entrada e de saída de um sistema de engrenagens. Esse valor pode ser determinado a partir do número de dentes das engrenagens envolvidas no engrenamento, conforme a Equação:

$$i = \frac{Z_c}{Z_p} \quad (1)$$

Em que:

i é a relação de transmissão;

Z_c é o número de dentes da engrenagem coroa;

Z_p é o número de dentes da engrenagem pinhão.

Quando o número de dentes da coroa é igual ao do pinhão, a relação de transmissão é igual a 1, caracterizando um sistema do tipo *Direct Drive*, no qual não há variação de torque ou velocidade entre a entrada e a saída.

Relações de transmissão maiores que 1 indicam sistemas redutores, nos quais ocorre redução da velocidade de rotação e aumento do torque transmitido. Por outro lado, relações menores que 1 caracterizam sistemas multiplicadores, responsáveis pelo aumento da velocidade de rotação e redução do torque. Dessa forma, as diferentes relações de transmissão

explicam o comportamento do veículo durante as trocas de marchas, permitindo adequar torque e velocidade às diversas condições de operação.

Se duas engrenagens encontram-se em engrenamento, o movimento é transmitido de forma solidária, sem deslizamento relativo entre os dentes. Sendo R_1 e R_2 os raios primitivos de duas engrenagens, ω_1 e ω_2 as velocidades angulares e N_1 e N_2 o número de dentes das mesmas, têm-se a seguinte relação Eq. (2) (Shigley et al., 2005):

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (2)$$

As relações de transmissão das marchas foram obtidas a partir da contagem dos dentes das engrenagens dos eixos primário e secundário, e posteriormente calculadas através da Eq. (1). Os valores obtidos para as relações foram comparados com dados de modelos automotivos comerciais. A partir das relações de transmissão obtidas e do perfil da roda do veículo é possível calcular a velocidade que o veículo atinge de acordo com a rotação de entrada do sistema. Sendo ω_1 a rotação do motor (entrada do sistema), ω_2 a rotação de saída do sistema no diferencial Eq. (3), $\frac{N_2}{N_1}$ a relação de transmissão de uma marcha e $\frac{N_{12}}{N_{11}}$ a relação de transmissão do diferencial, pode-se calcular a rotação de saída do sistema:

$$\omega_2 = \frac{N_{12}}{N_{11}} \frac{N_2}{N_1} \omega_1 \quad (3)$$

A velocidade linear do veículo Eq. (4) depende do perfil do pneu.

$$V = \omega_2' * R \quad (4)$$

O torque proveniente do motor passa pela caixa de mudanças antes de continuar para as semi-árvores e as rodas. Ao passar pela caixa a transferência de torque é multiplicada pela relação de engrenamento de cada uma das marchas, mais a do diferencial, como mostra a Equação (5):

$$\tau_{marcha} = \tau_{motor} * i_m * i_{dif} * \eta_t \quad (5)$$

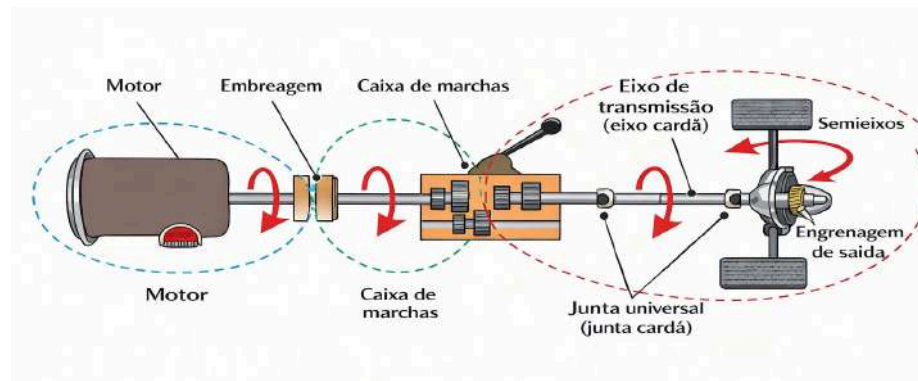
Onde, τ_{motor} é o valor do torque proveniente do motor, para cada valor de rotação, i_m é a relação das marchas, i_{dif} é a relação do diferencial e η_t é a eficiência mecânica do sistema de transmissão (diferencial, caixa de mudanças, eixos, etc.). A eficiência mecânica de um sistema constituído por engrenagens é alta se comparada com outros mecanismos que desempenham a mesma função, sendo assim, esse valor não deve ser negligenciado para os cálculos de performance dinâmica e quanto ao consumo de combustível (GENTA, 2009; MORELLO, 2009).

5 SISTEMA DE TRANSMISSÃO AUTOMOTIVA

5.1 Transmissão manual

Dentre os diferentes sistemas de transmissão veicular, a transmissão manual destaca-se por sua simplicidade construtiva, eficiência mecânica e ampla aplicação, sendo o foco principal deste trabalho. A transmissão manual (Figura 12) é caracterizada pelo controle direto do condutor sobre a seleção das marchas, por meio do acionamento do pedal de embreagem e da alavanca de mudanças. Nesse sistema, o desacoplamento temporário entre o motor e a caixa de mudanças permite a seleção da marcha desejada, enquanto o posterior acoplamento progressivo da embreagem garante uma transmissão suave do torque.

Figura 12 - Transmissão Manual



Fonte: Adaptado de Britannica; The Art of Manliness (2025)

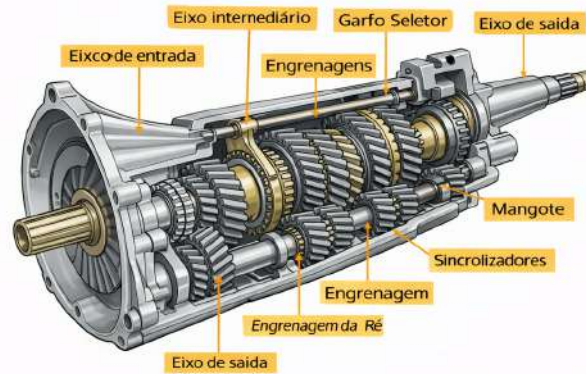
A variação das relações de transmissão ocorre por meio do engrenamento de diferentes pares de engrenagens, possibilitando adequar torque e velocidade às condições de operação do veículo.

5.1.1 Caixa de marchas

A caixa de marchas é o conjunto mecânico responsável por variar a relação de transmissão entre o motor e as rodas motrizes. Sua função é adequar a rotação e o torque do motor às diferentes condições de operação do veículo, como partida, aceleração, subida e velocidade de cruzeiro. É nesse conjunto (Figura 13) que ocorrem as trocas de marchas. Ao alterar a relação entre as engrenagens, torna-se possível ajustar o torque e a rotação transmitidos às rodas, de acordo com a resistência ao movimento do veículo. Dessa forma, nas marchas iniciais obtém-se maior torque para vencer a inércia e cargas elevadas, enquanto nas

marchas finais a transmissão fornece menor torque, porém permitindo o alcance de maiores velocidades.

Figura 13 - Componentes de uma caixa de mudanças manual



Fonte: *Manual Transmission Diagram*, The Engineers Post (2025) (adaptado)

O movimento rotacional proveniente do motor é transmitido inicialmente ao eixo de entrada, que está acoplado à embreagem. Esse eixo conduz a potência até o eixo intermediário, no qual estão fixadas engrenagens que permanecem em constante engrenamento com as engrenagens do eixo de saída.

As engrenagens possuem diferentes números de dentes, permitindo diversas relações de transmissão. Dessa forma, marchas mais baixas fornecem maior torque às rodas, enquanto marchas mais altas permitem maiores velocidades com menor torque.

Os sincronizadores têm a função de igualar a rotação entre a engrenagem selecionada e o eixo de saída antes do engate, garantindo trocas de marchas suaves, sem choques ou ruídos excessivos. O acionamento dessas engrenagens é feito pelos garfos seletores, que deslocam os sincronizadores de acordo com o comando do motorista.

O mangote (ou luva deslizante) faz parte do conjunto do sincronizador e é responsável por realizar o acoplamento efetivo da engrenagem escolhida ao eixo de saída. Já a engrenagem da ré possui uma configuração específica, normalmente com uma engrenagem intermediária adicional, que inverte o sentido de rotação do eixo de saída, permitindo o movimento do veículo para trás.

Por fim, o eixo de saída transmite o movimento rotacional já ajustado ao restante do sistema de transmissão, como o eixo cardan e o diferencial, que levam a potência até as rodas motrizes.

5.1.2 Funcionamento da caixa de marchas manual

O funcionamento da transmissão manual tem como principal objetivo adequar o torque e a velocidade fornecidos pelo motor às condições de deslocamento do veículo. Esse sistema permite a seleção manual das relações de transmissão por meio do engate de diferentes conjuntos de engrenagens, possibilitando maior controle do desempenho e da eficiência do veículo.

No ponto morto (neutro), nenhuma engrenagem de marcha está efetivamente acoplada ao eixo secundário. Nessa condição, embora o motor esteja em funcionamento e o eixo primário receba movimento, o torque não é transmitido às rodas, permitindo que o veículo permaneça parado mesmo com o motor ligado.

Ao engatar a primeira marcha, ocorre o acoplamento de um conjunto de engrenagens com alta relação de transmissão, caracterizada por uma engrenagem motora menor acionando uma engrenagem movida maior. Essa configuração resulta em maior torque e menor velocidade, sendo ideal para a partida do veículo e para situações que exigem maior força, como subidas ou arrancadas com carga.

Na segunda marcha, a relação de transmissão é reduzida em comparação à primeira. O torque transmitido ao eixo de saída diminui, enquanto a velocidade aumenta de forma proporcional. Essa marcha é utilizada durante a transição entre a arrancada e o regime de cruzeiro, proporcionando um equilíbrio entre força e velocidade.

Ao engatar a terceira marcha, a relação de transmissão torna-se ainda menor, com engrenagens de dimensões mais próximas. Nessa condição, o sistema passa a fornecer menor torque e maior velocidade, sendo adequada para deslocamentos contínuos e estáveis. Observa-se, portanto, que à medida que as marchas superiores são engatadas, ocorre a redução do torque transmitido e o aumento da velocidade do veículo.

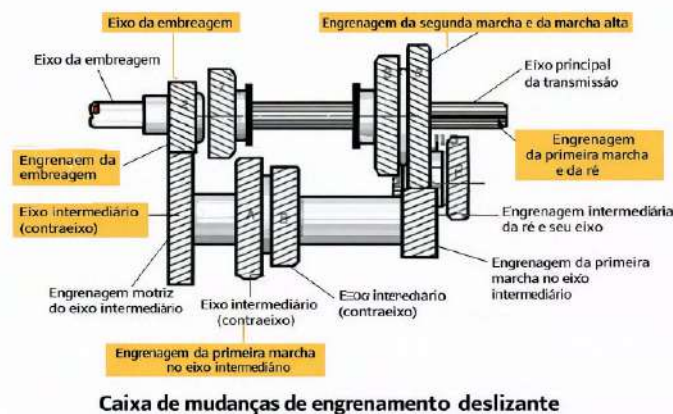
A marcha à ré apresenta um funcionamento distinto das demais, pois utiliza uma engrenagem intermediária, responsável por inverter o sentido de rotação do eixo de saída. Dessa forma, o veículo passa a se deslocar para trás. Assim como a primeira marcha, a ré possui uma alta relação de transmissão, fornecendo elevado torque e baixa velocidade, o que garante maior controle durante manobras.

De modo geral, a transmissão manual evidencia claramente a relação torque \times velocidade, na qual marchas mais baixas proporcionam maior torque e menor velocidade, enquanto marchas mais altas oferecem menor torque e maior velocidade. Esse princípio é

fundamental para a compreensão do funcionamento do sistema de transmissão e para a análise do desempenho veicular.

Posteriormente, a ilustração a seguir (Figura 14) demonstra o funcionamento de uma caixa de mudanças por engrenamento deslizante. Nesse sistema, o movimento proveniente do motor é transmitido ao eixo da embreagem, que aciona o eixo intermediário, mantendo as engrenagens em constante rotação. A seleção das marchas ocorre pelo deslocamento axial das engrenagens sobre o eixo principal, promovendo o engate direto entre os pares de dentes correspondentes à marcha desejada. Cada engrenamento estabelece uma relação de transmissão específica, alterando torque e velocidade na saída. No caso da marcha à ré, uma engrenagem intermediária adicional é inserida no conjunto, invertendo o sentido de rotação do eixo de saída.

Figura 14 - Caixa de mudanças de marchas manual



Fonte: *Manual Transmission Diagram*, The Engineers Post (2025) (adaptado)

O processo de passagem de marchas em uma caixa de mudanças por engrenamento deslizante ocorre de forma totalmente mecânica e direta. Ao acionar o comando de marchas, o motorista desloca os garfos seletores, que movimentam axialmente as engrenagens ao longo do eixo principal. Esse deslocamento faz com que a engrenagem correspondente à marcha desejada entre em contato direto com a engrenagem do eixo intermediário.

Para que o engate ocorra corretamente, é necessário que as engrenagens possuam rotações próximas, pois esse tipo de transmissão não utiliza sincronizadores. Caso haja diferença significativa de velocidade entre os componentes, podem ocorrer ruídos ou dificuldade de engate. Após o acoplamento, a engrenagem selecionada passa a transmitir o torque do motor, estabelecendo a relação de transmissão específica daquela marcha. Na

passagem para outra marcha, o processo se repete, com o desacoplamento da engrenagem anterior e o engate da nova relação.

5.2 Transmissão automática

A transmissão automática é um sistema responsável por variar a relação de transmissão de forma contínua e autônoma, dispensando a atuação direta do condutor no processo de troca de marchas. Esse sistema (Figura 15) opera a partir da interação entre componentes mecânicos e hidráulicos, como o conversor de torque e os conjuntos de engrenagens planetárias, que ajustam automaticamente o torque e a velocidade transmitidos às rodas conforme as condições de operação do veículo. Dessa forma, a transmissão automática proporciona trocas de marcha mais suaves, maior conforto na condução e melhor adaptação às variações de carga e regime de rotação do motor.

Figura 15 - Transmissão Automática



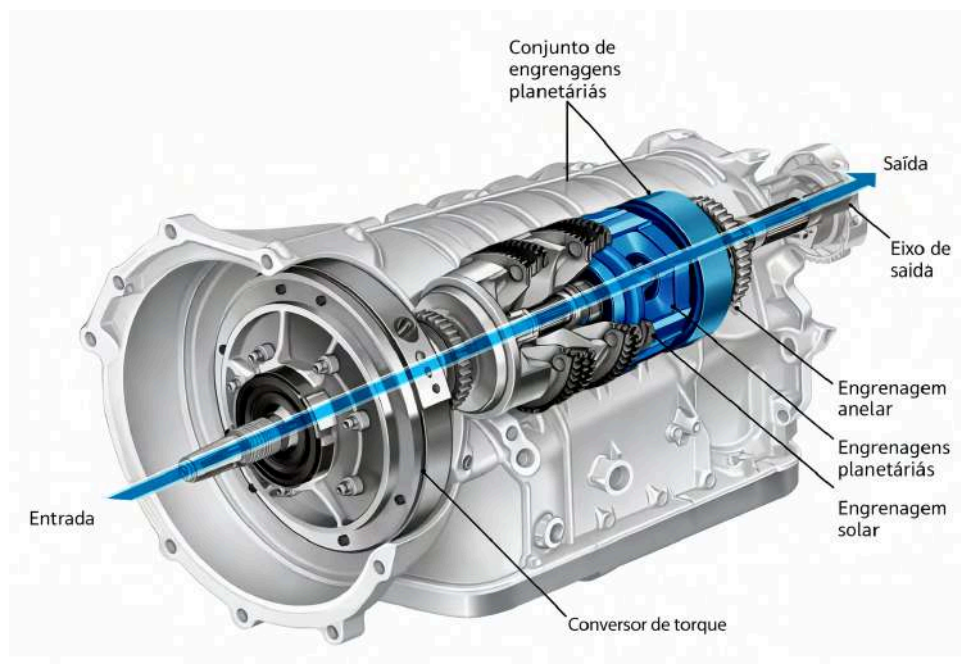
Fonte: McCar (2026)

5.2.1 Principais componentes

A transmissão automática (Figura 16) é composta por um conjunto de elementos mecânicos, hidráulicos e, em sistemas mais modernos, eletrônicos, responsáveis por realizar a variação das relações de transmissão sem a intervenção direta do condutor. O principal componente desse sistema é o conversor de torque, que substitui a embreagem presente na transmissão manual. Esse dispositivo permite a transmissão gradual do torque do motor para a caixa de marchas, possibilitando partidas suaves e evitando o desligamento do motor em baixas rotações.

Outro componente fundamental é o conjunto de engrenagens planetárias, responsável por fornecer as diferentes relações de transmissão dentro da caixa. Esse conjunto é formado basicamente por engrenagem solar, engrenagens planetárias, porta-planetária e engrenagem anelar, permitindo diversas combinações de redução e multiplicação de torque em um espaço compacto. Além disso, a transmissão automática conta com embreagens multidiscos e freios, acionados hidráulicamente, que controlam o travamento e a liberação dos elementos do sistema planetário.

Figura 16 - Interior de uma caixa de mudanças automática



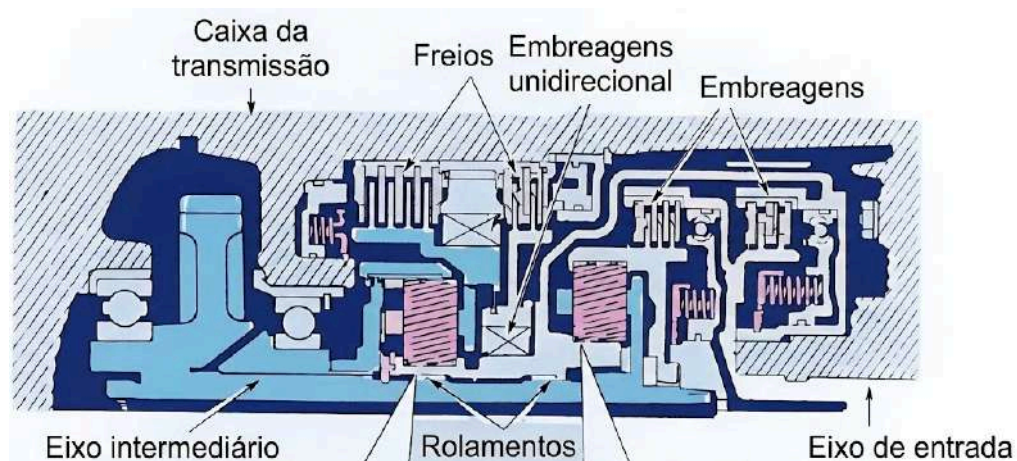
Fonte: Cars (2019) (adaptado)

5.2.2 Funcionamento da caixa de marchas automática

O funcionamento da transmissão automática baseia-se na interação entre o conversor de torque, o sistema de engrenagens planetárias e o circuito hidráulico de controle (Figura 17). Inicialmente, o conversor de torque transmite o movimento do motor para a caixa de marchas por meio do fluido hidráulico, permitindo a multiplicação do torque em situações de partida e aceleração. À medida que o veículo ganha velocidade, o sistema ajusta a relação de transmissão de forma progressiva, garantindo maior eficiência energética e conforto ao condutor.

As trocas de marchas ocorrem automaticamente por meio da atuação das embreagens e freios internos, que são acionados conforme parâmetros como velocidade do veículo, rotação do motor e carga aplicada. Esse processo é controlado por válvulas hidráulicas ou por uma unidade eletrônica de controle, dependendo do tipo de transmissão. Como resultado, as mudanças de marcha acontecem de forma suave, contínua e praticamente imperceptível, proporcionando uma condução mais confortável quando comparada à transmissão manual.

Figura 17 - Funcionamento da caixa de transmissão automática



Fonte: SENAI (2025)

5.3 Transmissão continuamente variável (CVT)

A transmissão continuamente variável (CVT - *Continuously Variable Transmission*) é um sistema de transmissão que permite a variação contínua da relação de transmissão, sem a utilização de marchas fixas. Esse sistema é composto, principalmente, por duas polias de diâmetro variável, uma motriz e outra movida, conectadas por uma correia metálica ou corrente de alta resistência (Figura 18). A alteração do diâmetro efetivo das polias ocorre de forma automática, em função das condições de carga e rotação do motor, possibilitando que o conjunto opere sempre em uma faixa de funcionamento próxima à condição ideal de torque ou eficiência. Como resultado, a transmissão CVT proporciona maior suavidade nas acelerações, melhor aproveitamento energético e redução do consumo de combustível quando comparada às transmissões convencionais com engrenagens escalonadas.

Figura 18 - Transmissão CVT



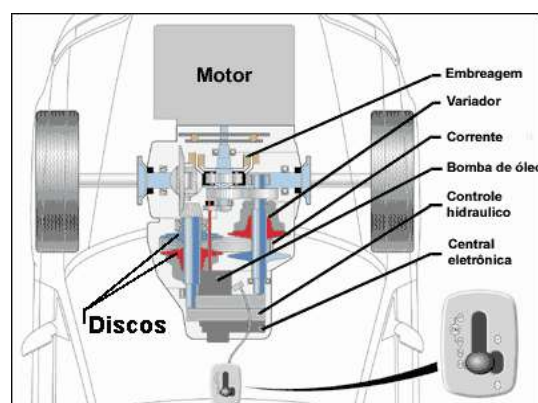
Fonte: Unicamp (2026)

5.3.1 Principais componentes

A transmissão continuamente variável (CVT) apresenta uma configuração distinta das transmissões convencionais, pois não utiliza engrenagens fixas para definir as relações de marcha. Seus principais componentes são duas polias de diâmetro variável, denominadas polia primária (ligada ao motor) e polia secundária (ligada ao sistema de transmissão final), interligadas por uma correia metálica ou corrente especial de alta resistência (Figura 19).

Cada polia é composta por dois cones móveis, cujo afastamento ou aproximação altera o diâmetro efetivo de contato da correia. Além disso, o sistema CVT conta com atuadores hidráulicos ou eletrônicos responsáveis pelo controle preciso da posição das polias, garantindo a variação contínua da relação de transmissão conforme as condições de operação do veículo.

Figura 19 - Componentes da Transmissão CVT



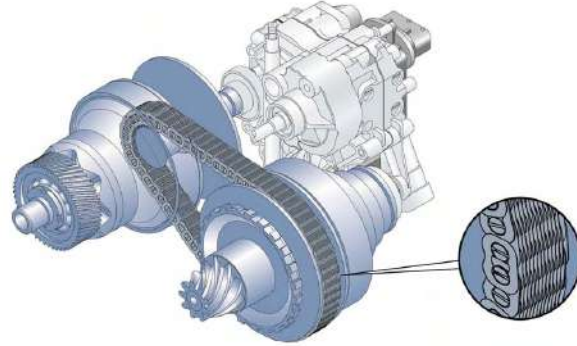
Fonte: Unicamp (2026)

5.3.2 Funcionamento da caixa de marchas CVT

O funcionamento da transmissão CVT baseia-se na variação contínua da relação de transmissão, sem a presença de marchas discretas. Quando a polia primária apresenta diâmetro menor e a polia secundária maior, obtém-se uma relação equivalente a uma marcha

reduzida, adequada para partidas e situações de maior torque (Figura 20). À medida que a velocidade do veículo aumenta, o sistema ajusta gradualmente o diâmetro das polias, resultando em uma relação mais longa, favorecendo maior velocidade com menor rotação do motor.

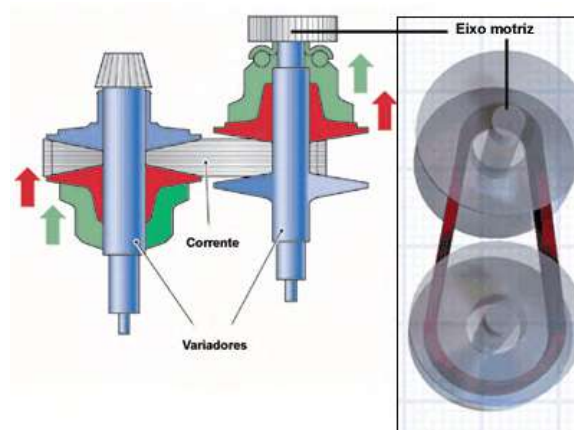
Figura 20 - Corrente de elos de placa e engrenagens cônicas



Fonte: Unicamp (2026)

Esse tipo de transmissão permite que o motor opere constantemente em sua faixa de maior eficiência, otimizando o consumo de combustível e proporcionando uma condução extremamente suave, sem trancos ou interrupções típicas das trocas de marcha convencionais (Figura 21). Dessa forma, a CVT destaca-se por seu conforto operacional e eficiência energética, sendo amplamente utilizada em veículos de passeio modernos.

Figura 21 - Funcionamento da mudança de marchas

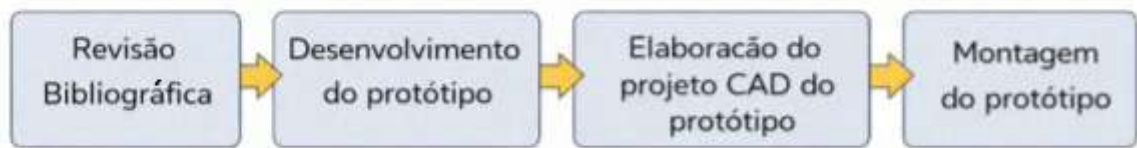


Fonte: Unicamp (2026)

6 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia adotada para o desenvolvimento e a construção do protótipo didático de uma caixa de marchas manual. As etapas metodológicas foram organizadas de forma sequencial, permitindo uma melhor compreensão do processo desde o embasamento teórico até a montagem final do sistema. O fluxograma a seguir (Figura 22) apresenta a metodologia utilizada neste trabalho, destacando as principais fases do projeto.

Figura 22 - Fluxograma da metodologia do projeto



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

A partir das etapas apresentadas no fluxograma, os procedimentos metodológicos são descritos de forma detalhada nos subtópicos a seguir, abordando desde a revisão bibliográfica até a montagem do protótipo didático da caixa de marchas manual.

6.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica constituiu a etapa inicial deste trabalho, sendo essencial para o embasamento teórico do projeto e da construção do protótipo didático da caixa de marchas manual. Foram consultados livros, artigos científicos, materiais técnicos e apostilas relacionadas aos sistemas de transmissão automotiva, com foco no funcionamento das caixas de mudanças manuais e de seus principais componentes.

Os estudos analisados abordam conceitos como transmissão de torque, relações de engrenamento, funcionamento das engrenagens, eixos, sincronizadores, embreagem e diferencial. Essas referências possibilitaram a compreensão do comportamento mecânico do sistema e da interação entre seus componentes, além de auxiliar na definição da configuração do protótipo a ser desenvolvido.

Com base no levantamento bibliográfico, foi possível orientar as decisões de projeto, incluindo a escolha dos materiais, a definição das dimensões e a modelagem dos componentes em ambiente CAD, assegurando coerência técnica e alinhamento com os sistemas reais utilizados na indústria automotiva.

6.2 Desenvolvimento do protótipo

O desenvolvimento do protótipo didático da caixa de marchas manual foi conduzido a partir de etapas bem definidas, compreendendo a modelagem tridimensional do sistema de transmissão e a fabricação dos componentes físicos. Essas etapas foram fundamentais para garantir o correto funcionamento do conjunto, bem como a representação adequada dos princípios de operação de uma caixa de marchas manual automotiva.

O objetivo desta fase foi transformar o projeto conceitual em um modelo físico funcional, respeitando as relações geométricas entre engrenagens, eixos e mecanismos de seleção de marchas. Dessa forma, buscou-se assegurar que o protótipo apresentasse comportamento coerente com o sistema real, aliado à finalidade didática proposta.

6.2.1 Materiais utilizados

Para a construção do protótipo didático da caixa de marchas manual, foram selecionados materiais e ferramentas que atendessem aos critérios de baixo custo, facilidade de fabricação, disponibilidade e resistência mecânica compatível com a proposta didática do projeto. A escolha dos materiais também levou em consideração a possibilidade de visualização do funcionamento interno do sistema, bem como a viabilidade de reprodução do protótipo em ambientes acadêmicos.

O material empregado na manufatura dos componentes foi o PLA (Ácido Polilático), polímero termoplástico biodegradável obtido a partir de fontes renováveis. O PLA apresenta temperatura de fusão relativamente baixa (aproximadamente 180–220 °C), baixa contração térmica e reduzida tendência ao empenamento, características que favorecem a estabilidade dimensional durante o processo de impressão por FDM.

Do ponto de vista mecânico, o PLA apresenta bom módulo de elasticidade e elevada rigidez, sendo adequado para a fabricação de engrenagens, suportes e eixos submetidos a esforços moderados em aplicações de caráter didático. Sua facilidade de processamento também reduz a incidência de falhas como deformações geométricas e variações dimensionais, contribuindo para a precisão dos encaixes entre componentes.

Em comparação com outros materiais utilizados em impressão 3D, como o ABS (maior resistência térmica e ao impacto), o PETG (boa resistência mecânica e maior tenacidade) e o Nylon (elevada resistência ao desgaste e à fadiga), o PLA apresenta processamento mais simples e menor exigência de controle térmico, tornando-se a alternativa mais adequada para

a finalidade do projeto, considerando desempenho mecânico, custo e estabilidade dimensional.

As ferramentas e equipamentos utilizados foram fundamentais para as etapas de modelagem, fabricação, montagem e ajustes do sistema de transmissão. A seguir, são apresentados os principais materiais e ferramentas empregados no desenvolvimento do protótipo.

A Tabela 1 apresenta os materiais utilizados na construção do protótipo, bem como suas respectivas quantidades, especificações técnicas e aplicações no sistema. A utilização de uma tabela visa organizar e sintetizar as informações referentes aos materiais empregados, proporcionando maior clareza e objetividade na descrição dos componentes do protótipo, sem a necessidade de detalhamento individual ao longo do texto.

Tabela 1 - Materiais e especificações utilizadas na construção do protótipo

MATERIAL	QUANTIDADE	ESPECIFICAÇÃO	APLICAÇÃO
Filamento PLA	2 kg	PLA Plus, diâmetro 1,75 mm	Fabricação das engrenagens, eixos, garfos seletores e demais componentes do sistema de transmissão
Placas de MDF	3 unidades	Espessura de 18 mm	Base estrutural e suporte do protótipo
Placas de Acrílico	3 unidades	Espessura de 2 mm	Carcaça e proteção do sistema, permitindo visualização dos componentes internos
Rolamentos	10 unidades	Rolamento rígido de esferas, modelo 6205 ZZ (25 × 52 × 15 mm)	Redução de atrito e suporte à rotação dos eixos

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

6.2.2 Ferramentas e equipamentos utilizados

6.2.2.1 Impressora 3D

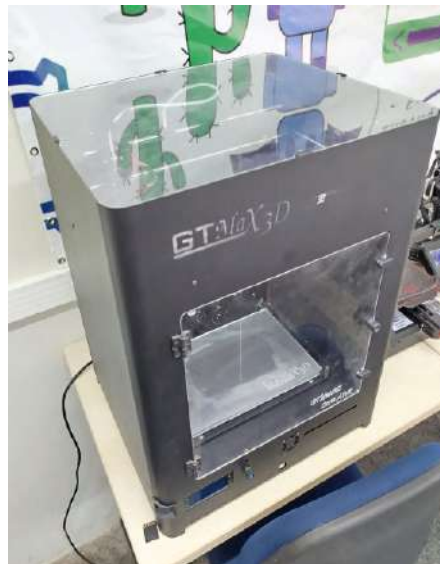
A fabricação dos componentes do protótipo foi realizada por meio de uma impressora 3D da marca GTMax3D, baseada na tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling). Esse processo consiste na extrusão controlada de material termoplástico fundido através de um bico aquecido, com deposição sucessiva de camadas ao longo dos eixos coordenados (X, Y e Z), até a obtenção da geometria tridimensional previamente modelada.

A impressora utilizada possui estrutura metálica com câmara parcialmente fechada, característica que contribui para maior estabilidade térmica durante o processo de fabricação, reduzindo variações dimensionais e possíveis defeitos como empenamento e delaminação. O equipamento apresenta ainda controle preciso de temperatura do bico extrusor e da mesa aquecida, fatores determinantes para a qualidade superficial e a integridade estrutural das peças.

A escolha desse equipamento fundamentou-se na sua confiabilidade operacional, repetibilidade dimensional e adequação à produção de componentes mecânicos com tolerâncias compatíveis à aplicação didática proposta.

O funcionamento da impressora 3D durante o processo de fabricação é apresentado abaixo (Figura 23).

Figura 23 - Impressora 3D



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

6.2.2.2 Software de modelagem CAD (Autodesk Inventor)

O desenvolvimento tridimensional do protótipo foi realizado por meio do software Autodesk Inventor, ferramenta CAD amplamente utilizada na área de engenharia mecânica para modelagem paramétrica de componentes e conjuntos mecânicos.

O Inventor possibilita a criação de peças com controle dimensional preciso, definição de restrições geométricas e montagem de conjuntos com análise de interferências, recursos fundamentais para o projeto de sistemas de transmissão.

No presente trabalho, o software foi empregado para modelagem das engrenagens, eixos, carcaça e demais elementos estruturais da caixa de marchas, permitindo simulação de

encaixes, verificação de alinhamento e organização do conjunto mecânico antes da etapa de fabricação.

A utilização do ambiente paramétrico possibilitou ainda ajustes dimensionais rápidos e consistentes, otimizando o desenvolvimento do protótipo e reduzindo retrabalho na etapa de manufatura. Segue abaixo a imagem do software utilizado para modelagem (Figura 24).

Figura 24 - Inventor



Fonte: Autodesk (2026)

6.2.2.3 Software Fatiador 3D

Para a preparação dos modelos digitais para fabricação, foi utilizado o software Creality Print (Figura 25), responsável pelo processo de fatiamento (*slicing*) dos arquivos tridimensionais. O fatiamento consiste na conversão do modelo CAD em código G (*G-code*), linguagem interpretada pela impressora 3D para controle dos movimentos dos eixos, velocidade de extrusão e parâmetros térmicos durante a impressão.

Figura 25 - Fatiador 3D



















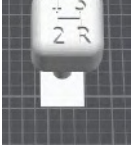
Fonte: Creality (2026)

No software, foram definidos parâmetros como altura de camada, densidade de preenchimento, velocidade de impressão, temperatura do bico extrusor e da mesa aquecida, bem como estratégias de suporte e aderência à mesa.

A correta configuração desses parâmetros foi essencial para garantir precisão dimensional, qualidade superficial e integridade estrutural das peças produzidas. Os valores adotados encontram-se detalhados na Tabela 2, que apresenta o quadro geral com os parâmetros operacionais utilizados na construção do projeto.

Tabela 2 - Resumo geral de caracterização e parâmetros de impressão

CARACTERIZAÇÃO				PARÂMETROS DE IMPRESSÃO			
Ilustração	Peça	Material	Dimensão (mm)	Velocidade (mm/s)	Preenchimento	Temperatura (°C)	Tolerância
	Eixo Principal	PLA PLUS	24.40 x 24.48 x 205.50	250	50% Retilíneo	220	0,049
	1° Marcha Eixo-Principal	PLA PLUS	87.99 x 87.99 x 25.00	200	20% Retilíneo	220	0,049
	2° Marcha Eixo-Principal	PLA PLUS	115.95 x 115.78 x 25.00	200	20% Retilíneo	220	0,049
	3° Marcha Eixo-Principal	PLA PLUS	136.00 x 136.00 x 25	200	20% Retilíneo	220	0,049
	Ré Eixo Principal	PLA PLUS	87.99 x 87.99 x 25.00	200	20% Retilíneo	220	0,049
	Eixo Secundário	PLA PLUS	24.50 x 24.50 x 225.50	250	50% Retilíneo	220	0,049
	1° Marcha Eixo - Secundário	PLA PLUS	147.96 x 147.83 x 40.00	200	20% Retilíneo	220	0,049
	2° Marcha Eixo - Secundário	PLA PLUS	119.99 x 119.99 x 40.00	200	20% Retilíneo	220	0,049

	3º Marcha Eixo - Secundário	PLA PLUS	99.94 x 99.73 x 40.00	200	20% Retilíneo	220	0,049
	Ré Eixo Secundário	PLA PLUS	119.99 x 119.99 x 40.00	200	20% Retilíneo	220	0,049
	Eixo Ré	PLA PLUS	25.00 x 24.95 x 105.00	250	50% Retilíneo	220	0,049
	Ré Eixo Ré	PLA PLUS	69.34 x 69.93 x 22.00	200	20% Retilíneo	220	0,049
	Eixo Garfo	PLA PLUS	14.23 x 14.26 x 175.00	250	40% Retilíneo	220	0,049
	Garfo	PLA PLUS	162.11 x 165.72 x 160.00	150	40% Retilíneo	220	0,049
	Guia	PLA PLUS	115.00 x 114.96 x 35.00	200	20% Retilíneo	220	0,049
	Chavetada	PLA PLUS	79.97 x 79.97 x 40.00	200	20% Retilíneo	220	0,049
	Manopla	PLA PLUS	50.00 x 59.00 x 132.00	150	30% Retilíneo	220	0,049

Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

6.2.2.3 Ferramentas de corte e acabamento

Para a fabricação e ajuste dos componentes do protótipo, foram utilizadas ferramentas de corte e furação compatíveis com os materiais empregados, como MDF, acrílico e peças produzidas por manufatura aditiva.

Os cortes das chapas foram realizados em bancada de corte apropriada, garantindo estabilidade durante o processo e melhor controle dimensional das peças.

A furação foi executada com furadeira de bancada, assegurando alinhamento e perpendicularidade dos furos destinados à fixação de eixos e elementos de união. Foram utilizadas brocas helicoidais de aço rápido (HSS), selecionadas conforme o diâmetro nominal dos componentes de fixação.

Os ajustes finais foram realizados com ferramentas manuais, como limas, para remoção de rebarbas e correção de pequenas interferências, contribuindo para o adequado encaixe e acabamento do conjunto.

Figura 26 - Ferramentas de corte e acabamento

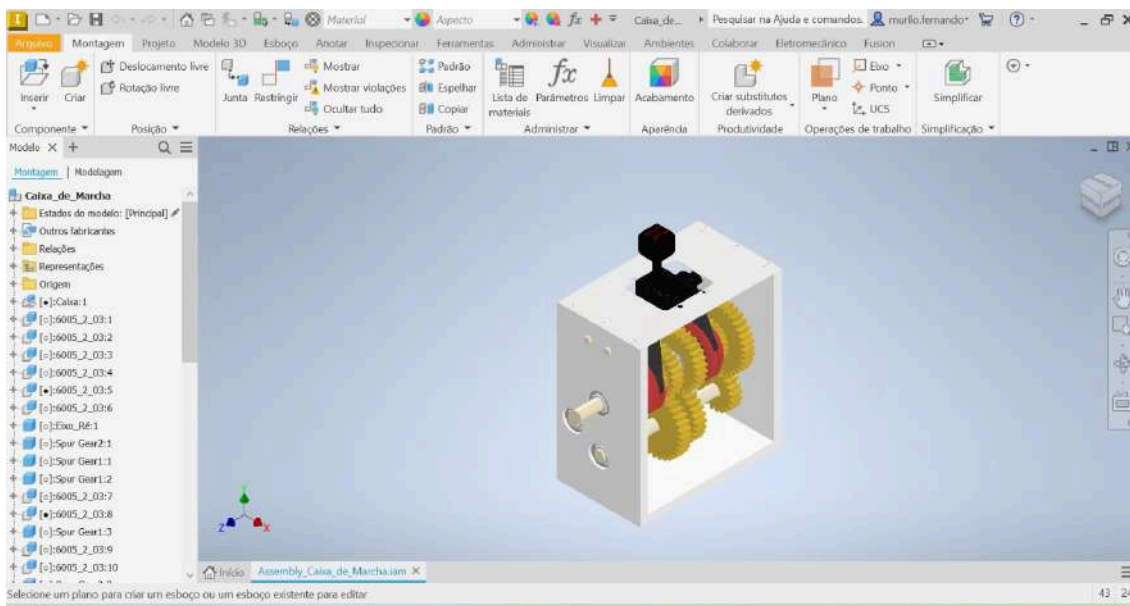


Fonte: Elaborado pelo Autor

6.3 Modelagem tridimensional do sistema de transmissão

A modelagem tridimensional do protótipo foi realizada em ambiente CAD, por meio do software Autodesk Inventor (Figura 27). Nessa etapa, foram desenvolvidos os modelos das engrenagens, coroas, eixos com chavetas, garfos seletores, sincronizadores e da estrutura da caixa de marchas, respeitando as dimensões e relações geométricas necessárias ao correto funcionamento do sistema de transmissão.

Figura 27 - Modelo tridimensional do protótipo



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

A utilização do software CAD possibilitou a visualização completa do conjunto ainda na fase de projeto, permitindo a análise do alinhamento dos eixos, do engrenamento das engrenagens e da existência de possíveis interferências entre os componentes. Além disso, essa etapa viabilizou ajustes dimensionais prévios à fabricação, contribuindo para a redução de falhas e retrabalho durante a construção do protótipo.

6.3.1 Fabricação das peças do sistema de transmissão

A fabricação das peças do sistema de transmissão foi realizada após a conclusão da modelagem tridimensional, garantindo que todas as dimensões e relações geométricas estivessem previamente definidas. Essa etapa teve como objetivo materializar os componentes projetados em ambiente CAD, assegurando o correto funcionamento do protótipo didático e a fidelidade aos princípios de operação de uma caixa de marchas manual.

Os componentes móveis do sistema foram produzidos por meio de manufatura aditiva, processo de fabricação no qual a peça é construída pela deposição sucessiva de camadas de material até atingir sua forma final. Para isso, utilizou-se impressão 3D com filamento PLA. A escolha desse método possibilitou a produção de geometrias complexas, com boa precisão dimensional e baixo custo, atendendo às necessidades didáticas do projeto.

6.3.1.1 Engrenagens e coroas

As engrenagens e coroas foram fabricadas por impressão 3D em PLA, respeitando o número de dentes, o módulo e a largura definidos na etapa de projeto (Figura 28). Durante o processo de fabricação, foram adotados parâmetros de impressão adequados para garantir resistência mecânica suficiente e bom acabamento superficial, fatores essenciais para um engrenamento eficiente e operação suave do sistema.

Após a impressão, as engrenagens passaram por inspeção visual e verificação dimensional, assegurando o correto encaixe entre os dentes e a compatibilidade com os eixos correspondentes.

Figura 28 - Engrenagens e coroas



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

6.3.1.2 Eixos com chavetas

Os eixos do sistema de transmissão foram fabricados por impressão 3D em PLA, já incorporando as chavetas necessárias para a fixação das engrenagens (Figura 29). Essa solução permitiu a transmissão do movimento rotacional de forma solidária entre os componentes, evitando escorregamentos durante o funcionamento do protótipo.

Após a fabricação, os eixos foram ajustados e testados individualmente, verificando-se o alinhamento, o encaixe das engrenagens e a livre rotação dentro da estrutura da caixa de marchas.

Figura 29 - Eixos com chavetas

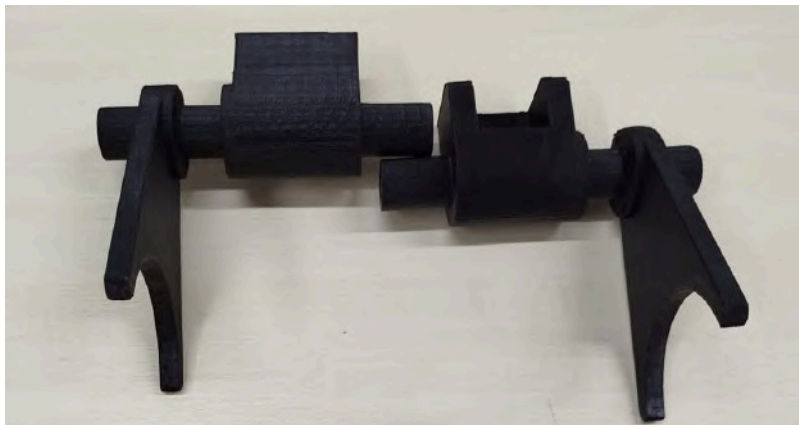


Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

6.3.1.3 Garfo seletor de marchas

Os garfos seletores de marchas foram produzidos por impressão 3D em PLA, conforme o modelo tridimensional desenvolvido (Figura 30). Esses componentes são responsáveis por promover o deslocamento axial das engrenagens, permitindo a seleção das diferentes marchas do sistema.

Figura 30 - Garfos seletores de marchas



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Durante a fabricação, buscou-se garantir precisão dimensional e resistência suficiente para suportar os esforços gerados durante a operação manual do protótipo. Após a impressão, os garfos foram ajustados para assegurar movimento suave e correto posicionamento das engrenagens durante as trocas de marcha.

6.3.1.4 Sincronizadores

Os sincronizadores foram igualmente fabricados por impressão 3D em PLA, sendo projetados para simular o funcionamento do mecanismo de sincronização presente em caixas de marchas manuais automotivas (Figura 31). Embora o protótipo possua finalidade didática, esse componente foi incluído para representar de forma mais fiel o processo de equalização das rotações entre engrenagens durante a troca de marchas.

Após a fabricação, os sincronizadores foram verificados quanto ao encaixe e ao correto deslocamento axial, garantindo compatibilidade com os eixos e engrenagens do sistema.

Figura 31 - Sincronizadores



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

6.3.1.5 Conjunto de componentes impressos

Após a fabricação individual de todos os componentes móveis do sistema de transmissão, foi realizada uma verificação conjunta das peças impressas. Essa etapa permitiu avaliar o encaixe entre engrenagens, eixos, garfos seletores e sincronizadores, assegurando que o conjunto estivesse apto para a etapa de montagem final. A seguir é apresentado o conjunto completo dos componentes fabricados (Figura 32) para a etapa de montagem do protótipo.

Figura 32 - Conjunto de componentes impressos



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

6.3.1.6 Estrutura da caixa de marchas

A estrutura da caixa de marchas foi confeccionada a partir de chapas de MDF (Figura 33), empregadas nas laterais e na base do protótipo, proporcionando rigidez estrutural e facilidade de montagem. As faces frontal e traseira foram produzidas em acrílico, permitindo a visualização do funcionamento interno do sistema.

Com base nas dimensões definidas em projeto, foi elaborado um gabarito para marcação dos contornos e pontos de furação nas chapas, garantindo padronização e alinhamento dos componentes. Esse procedimento possibilita a reprodução da estrutura utilizando ferramentas convencionais disponíveis em ambiente escolar.

Os cortes foram realizados a partir da marcação prévia do gabarito, e as furações executadas com furadeira de bancada, assegurando perpendicularidade e posicionamento adequado dos eixos e elementos de fixação. Ajustes finais foram realizados manualmente para garantir o correto encaixe e estabilidade do conjunto.

As placas foram cortadas e ajustadas de acordo com as dimensões definidas no projeto, garantindo o correto posicionamento e fixação dos eixos e demais componentes internos.

Figura 33 - Estrutura da caixa de marchas



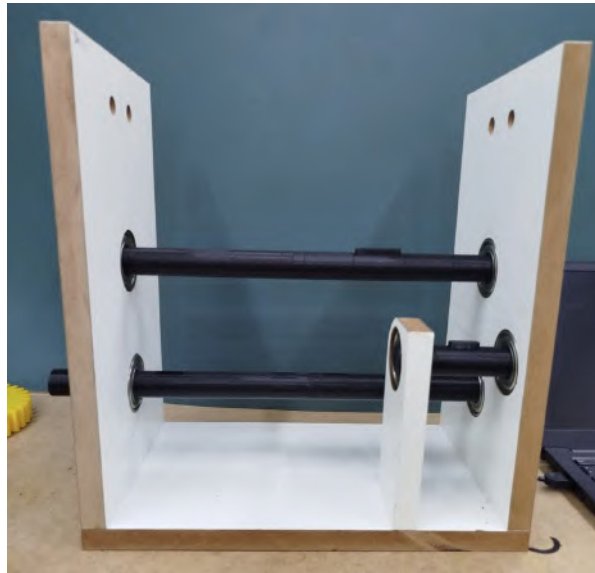
Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

6.4 Montagem do protótipo

Após a fabricação e os ajustes dimensionais dos componentes, iniciou-se a etapa de montagem do sistema de transmissão. Esse processo teve como objetivo integrar todos os elementos do protótipo, garantindo o correto alinhamento dos eixos, o engrenamento adequado das engrenagens e a livre movimentação dos mecanismos internos.

Inicialmente, realizou-se a montagem da estrutura base do protótipo, com a fixação dos eixos primário e secundário na carcaça, assegurando o posicionamento correto e o paralelismo entre os componentes rotativos (Figura 34).

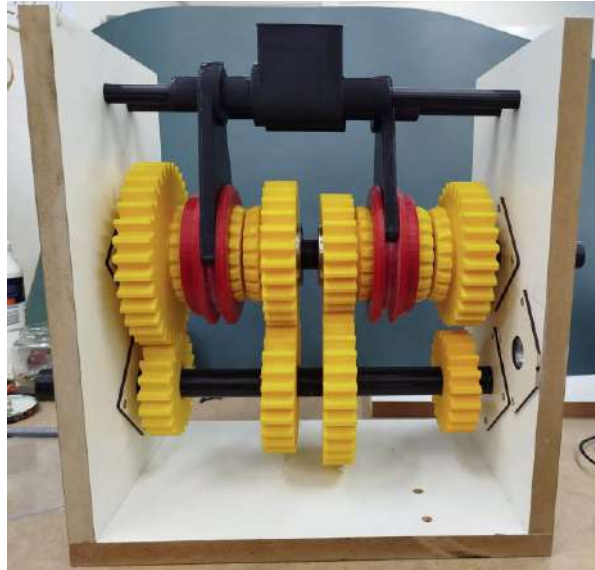
Figura 34 - Montagem da base estrutural e posicionamento dos eixos



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Na sequência, foram instaladas as engrenagens, sincronizadores e garfos seletores, permitindo a simulação das passagens de marcha e a verificação do funcionamento do conjunto interno da caixa de mudanças (Figura 35). Nessa etapa, foram realizados ajustes finos para evitar interferências e garantir o engrenamento adequado.

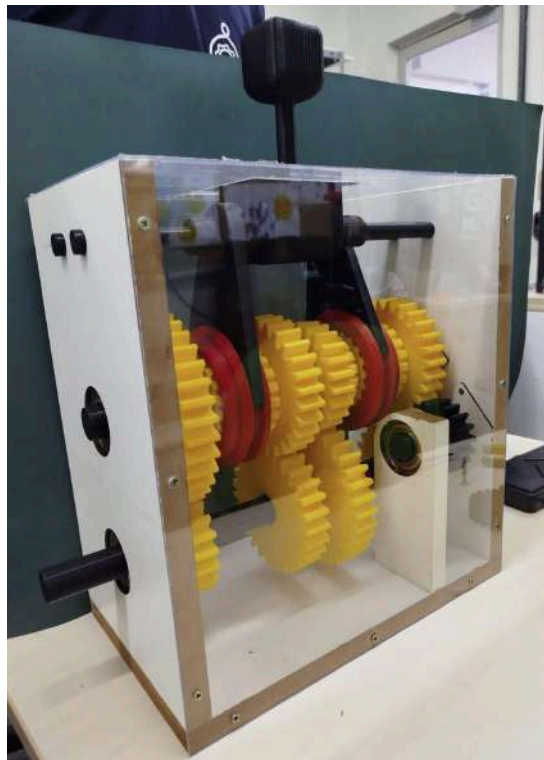
Figura 35 - Montagem das engrenagens e mecanismos de seleção de marchas



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Por fim, procedeu-se à montagem completa do protótipo (Figura 36), com a fixação das faces frontal e traseira, possibilitando a visualização interna do sistema. O conjunto finalizado foi submetido a testes manuais, confirmando o correto funcionamento das marchas e a eficiência do protótipo como bancada didática.

Figura 36 - Protótipo de caixa de marchas totalmente montado



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

6.4.1 Testes e avaliação do funcionamento do protótipo

Após a finalização da montagem do sistema de transmissão, o protótipo foi submetido a testes funcionais com o objetivo de verificar a coerência entre o projeto proposto e o comportamento mecânico observado durante a operação. Considerando o caráter didático do protótipo, os ensaios realizados não visam à avaliação de desempenho sob carga real, mas sim à análise do funcionamento cinemático e da interação entre os componentes do sistema.

Os procedimentos de teste consistiram no acionamento manual do conjunto, possibilitando a observação direta do engrenamento entre as engrenagens, do funcionamento do mecanismo de seleção e engate das marchas e da movimentação relativa dos eixos primário e secundário. Durante esse processo, foram avaliados critérios como continuidade do movimento, ausência de interferências entre componentes, alinhamento dos eixos e comportamento dos elementos responsáveis pela seleção das marchas, tais como garfos seletores e sincronizadores.

Adicionalmente, foram realizadas inspeções visuais com o intuito de identificar a presença de folgas excessivas, desalinhamentos ou travamentos que pudessem comprometer o funcionamento do sistema. Quando identificadas não conformidades, foram efetuados ajustes mecânicos pontuais, assegurando que o protótipo apresentasse condições adequadas de operação antes da etapa de apresentação e análise dos resultados. Dessa forma, os testes realizados permitiram validar o protótipo como uma ferramenta funcional e apropriada para fins de demonstração e ensino de sistemas de transmissão mecânica.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos testes funcionais realizados no protótipo didático da caixa de marchas manual, foi possível analisar o comportamento do sistema de transmissão, bem como verificar sua aplicabilidade como ferramenta de apoio ao ensino dos princípios de funcionamento desse tipo de mecanismo. De modo geral, o protótipo demonstrou-se capaz de representar de forma clara a transmissão de movimento entre os eixos, o engrenamento das engrenagens e o processo de mudança de marchas, atendendo aos objetivos propostos neste trabalho.

Durante a operação do protótipo, observou-se que a mudança de marchas ocorre por meio do deslocamento controlado dos mecanismos de seleção, promovendo o engrenamento de diferentes pares de engrenagens e, conseqüentemente, a alteração da relação de transmissão do sistema. Esse comportamento permitiu demonstrar, de forma prática e visual, como a seleção das marchas influencia diretamente a relação entre torque e velocidade transmitidos, evidenciando o princípio fundamental de funcionamento de uma caixa de marchas manual. Marchas com maior relação de transmissão resultaram em maior torque disponível na saída e menor velocidade de rotação, enquanto marchas com menor relação de transmissão proporcionaram aumento da velocidade de saída e redução do torque, reproduzindo qualitativamente o comportamento observado em transmissões automotivas reais.

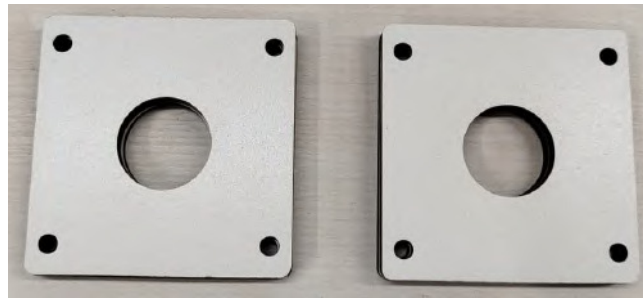
Entretanto, durante os testes iniciais, foi identificado um problema relacionado ao funcionamento dos rolamentos ao longo dos eixos. Observou-se que os rolamentos apresentavam deslocamento axial durante a operação, passando a correr ao longo dos eixos em vez de permanecerem corretamente posicionados. Esse deslocamento compromete o alinhamento dos conjuntos rotativos e dificultava o engrenamento adequado das marchas, uma vez que pequenas variações na posição dos eixos interferiam diretamente na interação entre as engrenagens.

Com o objetivo de solucionar esse problema, foi realizada a prototipação de mancais fixos (Figura 37), os mancais foram inicialmente modelados em ambiente CAD, com dimensões definidas conforme o diâmetro externo dos rolamentos e os pontos de fixação na estrutura da caixa de marchas.

A partir do modelo dimensional, foi elaborado um gabarito de referência para marcação dos furos e contornos em chapas de MDF. Esse gabarito permitiu a padronização das peças e possibilitou sua reprodução utilizando ferramentas convencionais disponíveis em ambiente escolar.

Os cortes foram realizados a partir da marcação prévia do gabarito, e os furos executados com furadeira de bancada, garantindo alinhamento e perpendicularidade adequados para o correto assentamento dos rolamentos. Ajustes finais foram feitos manualmente para assegurar encaixe preciso e estabilidade estrutural do conjunto.

Figura 37 - Mancais prototipados para fixação dos rolamentos



Fonte: Elaborado pelo autor (2026)

Após a instalação dos mancais, os testes funcionais foram retomados, sendo possível observar uma melhora significativa na estabilidade do sistema e na qualidade do engrenamento das marchas. O movimento dos eixos tornou-se mais uniforme, e o processo de mudança de marchas passou a ocorrer de forma mais suave e previsível, permitindo uma demonstração ainda mais eficiente do funcionamento do sistema de transmissão.

Além de solucionar a limitação identificada, a implementação dos mancais contribuiu para o aprimoramento do caráter didático do protótipo, uma vez que possibilitou evidenciar, na prática, a importância dos elementos de apoio e posicionamento em sistemas mecânicos rotativos. Assim, os resultados obtidos demonstram que o protótipo desenvolvido é capaz de representar de maneira clara os princípios de funcionamento de uma caixa de marchas manual, incluindo o processo de mudança de marchas e a relação entre torque e velocidade, consolidando-se como uma ferramenta eficaz para fins educacionais.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo projetar e construir um protótipo didático de uma caixa de marchas manual, com a finalidade de auxiliar o processo de ensino e aprendizagem dos princípios de funcionamento dos sistemas de transmissão automotiva. A partir do desenvolvimento do projeto, foi possível aplicar conceitos teóricos de mecânica e sistemas de engrenagens de forma prática, contribuindo para uma melhor compreensão da relação entre torque, velocidade e mudança de marchas.

Os resultados obtidos demonstraram que o protótipo desenvolvido atende ao objetivo proposto, permitindo a visualização clara do engrenamento das engrenagens, do funcionamento do mecanismo de seleção de marchas e da variação da relação de transmissão. A utilização de técnicas de manufatura aditiva mostrou-se adequada para a construção do protótipo, proporcionando baixo custo, facilidade de fabricação e possibilidade de reprodução, características relevantes para aplicações didáticas.

Durante o desenvolvimento e os testes do protótipo, foram identificadas limitações inerentes ao processo de prototipação, como a necessidade de ajustes mecânicos para garantir o correto alinhamento dos componentes. A identificação do deslocamento axial dos rolamentos e a posterior implementação de mancais fixos evidenciaram a importância do processo iterativo de projeto, no qual a análise dos resultados permite a melhoria contínua do sistema.

Por fim, conclui-se que o protótipo da caixa de marchas manual se apresenta como uma ferramenta eficaz para o ensino de sistemas mecânicos e transmissões automotivas, possibilitando a associação entre teoria e prática. Como trabalhos futuros, sugere-se a realização de melhorias estruturais, a aplicação de materiais com maior resistência mecânica e a implementação de sistemas de acionamento motorizado, de modo a ampliar as possibilidades de análise e aprofundar o estudo do comportamento do sistema sob diferentes condições de operação. Dessa forma, o trabalho contribui para o ensino de sistemas de transmissão, oferecendo uma alternativa didática acessível e tecnicamente fundamentada para a compreensão do funcionamento de caixas de marchas manuais.

REFERÊNCIAS

BOSCH. **Automotive Handbook**. 9. ed. Stuttgart: Robert Bosch GmbH, 2014.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Projeto de engenharia mecânica de Shigley**. 9. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2011.

CROLLA, D. A. **Automotive Engineering: Powertrain, Chassis System and Vehicle Body**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2009.

ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA. **Manual transmission**. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/manual-transmission>. Acesso em: 14 nov. 2026.

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – UNICAMP. **Transmissão continuamente variável – CVT**. Disponível em: <https://sites.fem.unicamp.br/~sergio1/graduacao/EM335/Temas/CVT/hondaudi.htm>. Acesso em: 20 nov. 2026.

GENTA, Giancarlo. **Motor vehicle dynamics: modeling and simulation**. Singapore: World Scientific, 2009. Disponível em: books.google.com.br. Acesso em: 25 nov. 2025.

JUVINALL, R. C.; MARSHEK, K. M. **Fundamentals of Machine Component Design**. 5. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012.

MACEDO, Tiago Simino. **Modelagem e simulação do circuito hidráulico de uma transmissão automática convencional para análise de falhas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) — Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: https://lanship.ufsc.br/site/wp-content/uploads/2018/03/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Macedo_2017.pdf. Acesso em: 29 jan. 2026.

MCCAR. **Transmissão automática**. Disponível em: <https://mccar.com.br/transmissao-automatica/>. Acesso em: 20 nov. 2026.

MERCEDES-BENZ GROUP. **Benz & Bertha Benz**. Disponível em: <https://tendimag.com/2018/08/29/benz-bertha-benz/>. Acesso em: 10 dez. 2026.

MERCEDES-BENZ GROUP. **Gallery of Legends Karl Benz**. Disponível em: <https://group.mercedes-benz.com/company/tradition/founders-pioneers/carl-benz.html>. Acesso em: 10 nov. 2026.

MORELLO, Lorenzo *et al.* **The automotive chassis: volume 1 – components design**. Dordrecht: Springer, 2009. Disponível em: books.google.com.br. Acesso em: 25 nov. 2025.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OICA – ORGANISATION INTERNATIONALE DES CONSTRUCTEURS D’AUTOMOBILES. **Statistics**. Disponível em: <https://oica.net/category/statistics/>. Acesso em: 29 jan. 2026.


PROIMPORTS SP. **Tração dianteira e tração traseira: no que se diferenciam entre si e da tração integral**. 2020. Disponível em:

<https://proimportssp.com.br/tracao-dianteira-e-tracao-traseira-no-que-se-diferenciam-entre-si-e-da-tracao-integral/>. Acesso em: 10 dez. 2026.

SANTANA, Antônio Carlos da Silva Júnior. **Análise técnica e comparativa de caixa de câmbio manual e automática**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Automotiva) — Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/191885>. Acesso em: 10 jan. 2026.

SECRETARIA DA EDUCAÇÃO DO ESTADO DO CEARÁ (SEDUC-CE). **Manutenção automotiva: sistema de transmissão mecânica**. 2011. Disponível em: https://www.seduc.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/37/2011/10/manutencao_automotiva_sistema_de_transmissao_mecanica.pdf. Acesso em: 20 dez. 2026.

THE ENGINEERS POST. **Manual Transmission: Diagram, Parts, Working & Types**. Disponível em: <https://www.theengineerspost.com/manual-transmission/>. Acesso em: 7 jan. 2026.

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC

Assunto:	TCC
Assinado por:	Murilo Silva
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:


- **Murilo Fernando Silva e Silva, DISCENTE (202111140020) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA - CAMPUS JOÃO PESSOA**, em 05/03/2026 18:24:28.

Este documento foi armazenado no SUAP em 05/03/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1790962

Código de Autenticação: 1cfec07ef



	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

Trabalho de Conclusão de Curso

Assunto:	Trabalho de Conclusão de Curso
Assinado por:	Michelline Nery
Tipo do Documento:	Anexo
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência:	Documento Original

Documento assinado eletronicamente por:

- **Michelline Nery Azevedo Lima, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCSBEM-JP**, em 28/04/2026 16:53:42.

Este documento foi armazenado no SUAP em 28/04/2026. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1847232

Código de Autenticação: 0b8d191b24

