

Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG
Curso de Engenharia Mecânica

MATEUS NOLÊTO DOS SANTOS
TIAGO CARVALHO DE ARAÚJO

DIMENSIONAMENTO DE BANCADA DIDÁTICA DE ELEMENTOS DE
MÁQUINAS AUTOMATIZADA

Publicação Nº 4

Goianésia - GO
2023

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, MATEUS NOLÊTO; ARAÚJO, TIAGO CARVALHO.

Dimensionamento de bancada de elementos de máquinas automatizada [Goiás] 2023 xi, 98P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Mecânica, 2023).

ARTIGO – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Mecânica

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| 1. Bancada Didática | 2. Elementos de Máquinas |
| 3. Dimensionamento | 4. Ferramenta de Ensino |
| I. ENM/FACEG | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

NOLÊTO, M..D.S; ARAÚJO, T. C. Dimensionamento de Bancada Didática de Elementos de Máquinas Automatizada. Artigo, Publicação XX 2023/2 Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, Goianésia, GO, 22p. 2023.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Mateus Nolêto Dos Santos; Tiago Carvalho de Araújo.

TÍTULO DO TRABALHO DO ARTIGO: Dimensionamento de Bancada Didática de Elementos de Máquinas Automatizada.

GRAU: Bacharel em Engenharia Mecânica ANO: 2023

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Mateus Nolêto Dos Santos

Mateus Nolêto Dos Santos
76380-000 – Goianésia/GO - Brasil

Tiago Carvalho de Araújo

Tiago Carvalho de Araújo
76300-000 – Ceres/GO - Brasil

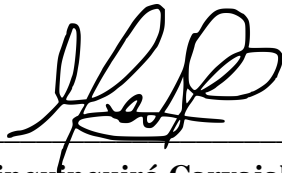
**MATEUS NOLÊTO DOS SANTOS
TIAGO CARVALHO DE ARAÚJO**

**DIMENSIONAMENTO DE BANCADA DIDÁTICA DE ELEMENTOS DE
MÁQUINAS AUTOMATIZADA**

Publicação Nº 4

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, EM FORMA DE ARTIGO,
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA FACEG**

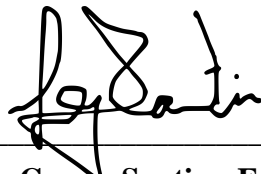
Aprovados por:



Dra. Marinés Chinququirá Carvajal Bravo Gomes - FACEG

Alessandro Morais Martins

Me. Alessandro Morais Martins - FACEG



Dra. Lauriane Gomes Santin - FACEG

**Goianésia - GO
2023**

DIMENSIONAMENTO DE BANCADA DIDÁTICA DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS AUTOMATIZADA

Mateus Nolêto Dos Santos¹

Tiago Carvalho De Araújo²

Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes³

RESUMO

As bancadas didáticas de elementos de máquinas são ferramentas essenciais para a formação prática de engenheiros mecânicos. Elas permitem a aplicação dos conhecimentos teóricos em problemas reais e simulam situações profissionais. A criação de uma bancada didática de elementos de máquinas oferece aos alunos de engenharia mecânica a oportunidade de aplicar os conhecimentos teóricos em problemas práticos, utilizando uma ferramenta de ensino acessível e contextualizada. O trabalho proposto tem como objetivo desenvolver uma bancada de elementos de máquinas de baixo custo, para promover a formação prática de alunos do curso de engenharia mecânica. A bancada visa proporcionar uma maior compreensão dos conceitos teóricos relacionados aos elementos de máquinas, além de simular situações reais encontradas no campo profissional. As etapas do projeto incluem o desenho e esquematização da bancada, o dimensionamento dos elementos de máquinas, seleção de materiais e o dimensionamento da bancada. A bancada dimensionada contou com diversos elementos: rodas dentadas, polias, engrenagens retas e cônicas. Os resultados obtidos com o dimensionamento dos componentes da bancada garantem seu desempenho confiável e seguro.

Palavras-chave: bancada didática, elementos de máquinas, dimensionamento.

¹ Mateus Nolêto Dos Santos (FACEG). E-mail: mateusnolet07@gmail.com

² Tiago Carvalho De Araújo (FACEG). E-mail: tiago_carvalho.a@hotmail.com

³ Dra. Marinés Chiquinquirá Carvajal Bravo Gomes. E-mail: marines.gomes@docente.evangelicagoianesia.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A engenharia mecânica é uma área que busca aplicar os conhecimentos matemáticos, científicos e de materiais para desenvolver e melhorar novas tecnologias. O engenheiro trabalha com a aplicação dos conhecimentos científicos e simulações computacionais para elaborar novos produtos, criar projetos de forma mais rápida e precisa sem desconsiderar os fatores econômicos. Para o engenheiro, é imprescindível saber utilizar os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação na resolução de problemas práticos presentes tanto nos diversos segmentos industriais quanto na sociedade (WICKERT; LEWIS., 2015).

O engenheiro mecânico deve saber utilizar as principais tecnologias básicas em condições próximas as simuladas no mundo real. Para que o profissional da engenharia venha exercer seu papel dentro das expectativas mínimas esperadas, necessita-se de uma formação com um forte embasamento prático dos conhecimentos nas diversas áreas da engenharia mecânica (CAVALETTI; OLIVEIRA., 2018).

Nessa linha de pensamento, as máquinas e mecanismos são sistemas que necessitam da utilização dos elementos mecânicos, esses, por sua vez, são classificados em cinco grandes grupos, sendo eles de fixação, apoio, transmissão, de vedação e elementos elásticos. Todos esses componentes, quando interligados, desenvolvem uma função bem específica definida na fase inicial do projeto. Segundo (NORTON, 2013), o dimensionamento de um projeto mecânico com elementos que trabalham em conjunto não deve ignorar as tolerâncias dimensionais ou suas interferências, uma vez que, a alteração de um desses componentes ocasionará em uma nova reavaliação do projeto.

Baseando-se na importância do conhecimento prático para o desenvolvimento do aluno do curso de engenharia mecânica, o presente trabalho busca contribuir para formação prática desse profissional, realizando um projeto de dimensionamento de uma bancada didática com elementos de máquinas, voltada para área de sistemas de transmissão. Com esse trabalho, objetiva-se alcançar melhores resultados na compreensão do assunto de elementos de máquinas, além de simular situações reais presentes no mundo profissional.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesse capítulo será realizada uma revisão literária abordando a definição de projetos mecânicos, uma breve abordagem sobre a importância dos elementos de máquinas, a apresentação de três bancadas didáticas, não automatizadas, confeccionadas para o estudo das falhas ocasionadas pelos efeitos provenientes da vibração

2.1 PROJETO MECÂNICO

De acordo com (BAZZO, 2000), um projeto pode ser entendido como um plano de execução devidamente elaborado para se alcançar objetivos dentro de metas pré-estabelecidas levando em conta orçamento e tempo; é o desenvolvimento de um conjunto de atividades que precede a execução de um produto, sistema, processo ou serviço.

Um projeto mecânico tem início quando há a identificação de uma necessidade básica, seja ela uma necessidade puramente técnica, que abrange um mercado específico ou uma necessidade básica humana. Para a concepção de um determinado projeto, o engenheiro projetista deve levar em consideração um conjunto de requisitos do sistema que será desenvolvido, tais como: (WICKERT; LEWIS., 2015).

- desempenho funcional: O que o produto projetado deve realizar;
- impacto ambiental: Durante a produção, quais impactos podem ser gerados ao ambiente e qual a vida útil do sistema;
- manufatura: Abrange as limitações de recursos e materiais;
- problemas econômicos: Orçamento para desenvolvimento do produto, custos, preço e lucro;
- preocupações ergonômicas: Diz respeito aos fatores humanos, estética e adequação ao uso;
- problemas globais: Mercados internacionais, necessidades e oportunidades;
- problemas no ciclo de vida: Aborda as questões sobre o uso, manutenção e obsolescência programada;
- fatores sociais: Impactos sociais, urbanos e culturais;

O desenvolvimento de um projeto em qualquer área da engenharia segue etapas que possam viabilizar a concepção de um produto de maneira eficiente, econômica e segura. Para tanto, os passos utilizados na preconcepção de um projeto serão: identificação de uma necessidade, definição do problema, coleta de informações, concepção, avaliação, especificação da solução e por último a comunicação, etapa essa onde deve-se apresentar o projeto desenvolvido (BAZZO; PEREIRA., 2006).

2.3 ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Todas as máquinas ou estruturas tanto grandes quanto pequenas, são formadas por uma montagem de partes individuais, fabricadas separadamente, e unidas para produzir o componente completo. (COLLINS, 2019).

Os elementos de máquinas são componentes fundamentais que compõem e possibilitam o funcionamento de máquinas e equipamentos mecânicos. Com eles é possível transmitir, controlar, direcionar ou transformar movimentos dentro de um sistema mecânico. (FRANCESCHI, 2014).

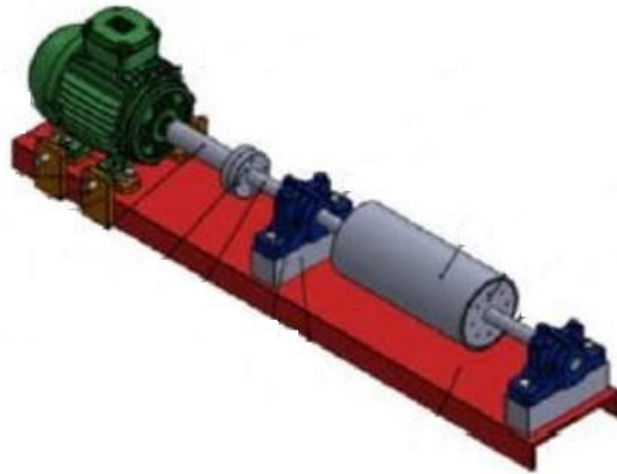
2.2 PROJETOS DE BANCADAS DIDÁTICAS

2.2.1 Bancada para teste e estudos de vibrações em máquinas rotativas

Segundo a bancada projetada por (CAVALCANTE, 2017), tem o intuito de analisar as vibrações mecânica, proporcionar o estudo dinâmico das máquinas, simular o alinhamento e verificar os efeitos decorrentes da vibração. O que se infere dessa bancada é que ela totalmente voltada para o estudo prático e não se trata de uma bancada de cunho comercial. A bancada foi desenvolvida, a priori, tanto no software de desenho CAD quanto no SolidWorks; nesse último caso, objetivo foi simular a operação dinâmica da bancada bem como prever suas funcionalidades.

A bancada apresentada é composta por um motor elétrico, um acoplamento, dois mancais de rolamento, um elemento dotado de furos, que objetiva realizar o balanceamento do sistema, e um dispositivo de desalinhamento. A bancada em questão não é automatizada, pois não retorna valores com torque, temperatura de operação e amplitude das vibrações. Na figura 1 apresenta-se um desenho pré-concebido da bancada.

Figura 1: Desenho em perspectiva de bancada



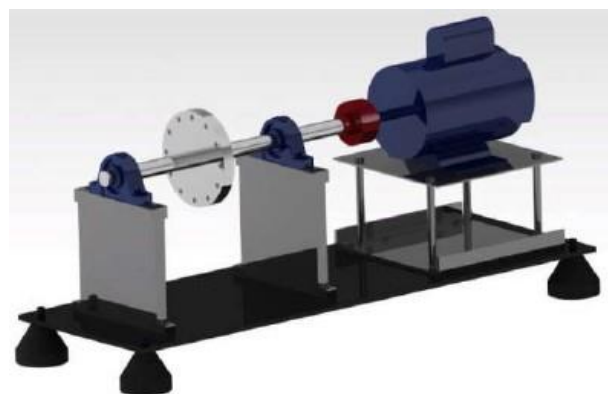
Fonte: (CALVACANTE, 2017).

2.2.2 Bancada didática para análise de vibração em manutenção preditiva

A bancada proposta por (LIMA, 2014), propõe o estudo da indução controlada dos principais defeitos frequentes nos mais variados equipamentos que se constituem de partes móveis rotativas, tais como, desalinhamento, desbalanceamento e falhas em rolamentos. A bancada teve início a partir da modelagem na ferramenta CAD, especificamente, utilizando o *software Catia*.

O projeto é composto por dois mancais de rolamento, um volante de inércia, onde são inserido as massas para desbalanceamento. Já na parte do desalinhamento, é realizado regulagens no suporte do motor conforme podem ser vistos na figura 2.

Figura 2: Perspectiva de bancada



Fonte: (LIMA, 2014)

Apesar de toda aplicabilidade da bancada para o estudo e análise didático-experimental, é possível concluir que se trata de uma bancada sem um sistema de automatização, dificultando a coleta de dados e precisão dos resultados.

2.2.3 Bancada para detecção de falhas em rolamentos utilizando análise de vibrações

Essa bancada foi desenvolvida especificamente para falhas ocorridas em rolamentos. É composta por duas polias, um eixo, uma correia, um motor elétrico, mancais de teste, mancais de suporte, célula de carga e uma base de aço utilizada como estrutura de sustentação da bancada conforme a figura 3.

Figura 3: Bancada didática experimental



Fonte: (FINOTTI, 2015)

De acordo com o autor (FINOTTI, 2015), a bancada tem o intuito de identificar e definir o espectro de frequência do sistema na partida inicial da bancada, quando encontra-se em perfeitas condições de uso e operação. Logo em seguida, induzir falhas nos rolamentos da bancada e identificar as modificações decorrentes no espectro da frequência para que com isso seja possível a identificação das falhas ocasionadas.

A bancada apresenta alguns pontos negativos, pois, devido os usos recorrentes haverá desgastes significativos o que impossibilitará a partida sem a presença de falhas no sistema, o que gerará resultados imprecisos. Vale ressaltar, que a bancada acima não apresenta dispositivos automáticos de coleta de dados. Além disso, a bancada se torna um meio inconveniente para uso em estudos práticos devido a sua robustez.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

No processo de dimensionamento da bancada de elementos de máquinas, foi de suma importância realizar uma cuidadosa seleção dos materiais a serem utilizados, verificando se seriam capazes de suportar o torque gerado pelo motor. Essa escolha teve que levar em consideração critérios como durabilidade, resistência e estabilidade, buscando assegurar a qualidade e o desempenho adequado da bancada. Seguindo esse caminho, o projeto inicial da bancada envolveu os seguintes materiais:

- 1 Motor elétrico trifásico de 1800 RPM;
- Inversor de frequência CFW 10 e
- Mesa de 1050x1100x750 mm.

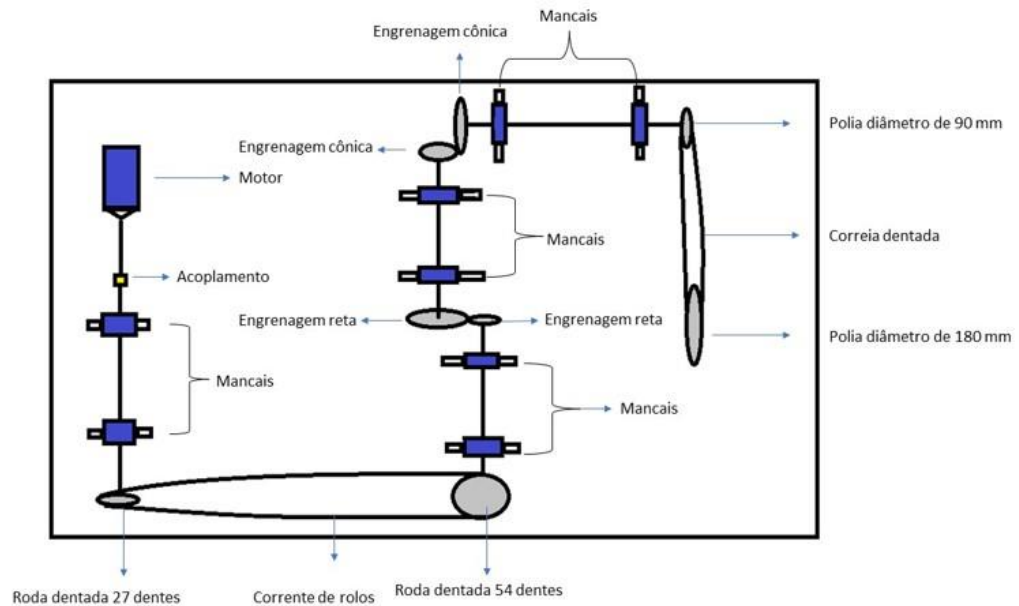
A partir desses elementos foram realizados os cálculos de todos os elementos de máquina presente na bancada. Entre esses elementos tem-se: eixos, rodas dentadas com correntes, polias, engrenagens retas e cônicas. A formulação é mostrada nos resultados, junto com os cálculos realizados.

Para o desenho da bancada didática com todos os elementos foi utilizado o *software Inventor e Solidworks*, onde toda concepção dos elementos da bancada foram confeccionados no *Inventor* e a montagem da bancada realizada no *Solidworks*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foi desenhado um esboço da bancada completa com todos os elementos, como mostra a Figura 4.

Figura 4 Esboço inicial da bancada



Fonte (Próprio autor, 2022)

O funcionamento tem o seguinte fluxo de potência:

- a) A partir do motor, um eixo deve transmitir o torque até um par de rodas dentadas com correntes, nas quais obtêm-se a primeira redução de potência.
- b) No segundo eixo, saindo da segunda roda dentada, conectará para um par de engrenagens retos, localizados no centro da bancada.
- c) A terceira parte do sistema tem-se um par de engrenagens cônicas, utilizadas para a mudança de direção nos eixos.
- d) E por último um sistema de polias, com a finalidade de reduzir a potência.

Com o sistema de bancada elaborada, a seguir foram realizados todos os cálculos de dimensionamento dos elementos mais importantes: eixos, rodas dentadas, polias, engrenagens retas e cônicas.

Para verificar se os eixos suportam as cargas geradas pelo sistema, foi realizado o dimensionamento que permitiu encontrar o torque gerado pelo motor no eixo, o que possibilitou obter o valor do diâmetro mínimo necessário ao eixo. Esse valor foi obtido considerando as características do motor elétrico trifásico de 1800 rpm e 0,75 kW. A partir das equações a seguir, foi estabelecida, inicialmente, a relação entre a potência do motor, o torque e a velocidade angular, conforme expresso na Equação (1) obtida de Melconian (2002).

$$P = T \cdot \omega \quad (1)$$

Onde:

P = Potência do motor em Watts

T = Torque do motor em N.m

ω = Velocidade angular do motor em Rad/s

Para que equação anterior pudesse ser aplicada, foi necessário trabalhar com rotação do motor em rad/s, para isso, utilizou-se a seguinte Equação (2) conforme sugerido por Melconian (2002):

$$\omega = \frac{(2\pi \text{ rad}) \cdot (1800 \text{ rev/min})}{60} = 188,5 \text{ rad/s} \quad (2)$$

Com a conversão da velocidade angular do motor, foi possível voltar a Equação (1) manipula-lá de maneira a encontrar o torque gerado pelo motor nos eixos:

$$T = \frac{P}{\omega} \quad (1)$$

$$T = \frac{0,75 \cdot 10^3 \text{ W}}{188,5 \text{ rad/s}} = 3,98 \text{ N.m}$$

Adotando um fator de segurança igual 2 e conhecendo a tensão de cisalhamento crítica do aço SAE 1010, 230MPa, foi possível determinar a tensão de resistência ao cisalhamento do aço. Com esse valor e o resultado obtido do torque ao qual o eixo estará sujeito, determinou-se o diâmetro mínimo à confecção de um eixo que suporte as cargas do sistema. Para isso, aplicou-se a Equação (3) do Melconian (2002).

$$\tau = \frac{\tau_{cr}}{n_{se}} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{230 \text{ MPa}}{2} = 115 \text{ MPa}$$

Onde:

τ = Tensão de cisalhamento máxima

τ_{cr} = Tensão de cisalhamento crítica

n_{se} = Fator de segurança do eixo

$$d = \sqrt{\frac{16T}{\pi\tau}}$$

(4)

$$d = \sqrt[3]{\frac{(16) \cdot (3980 \text{ N} \cdot \text{mm})}{\pi(115 \text{ MPa})}} = 5,60 \text{ mm}$$

d = Diâmetro do eixo

Finalizando a parte de dimensionamento dos eixos, partiu-se para dimensionamento da corrente adequada ao sistema e que fosse ideal para o conjunto de rodas dentadas que foram escolhidas, a primeira contendo 27 dentes e a segunda 54 dentes. Com essas informações referentes as rodas dentadas calcularam-se a relação entre elas utilizando a Equação (5), Melconian (2002).

$$R = \frac{Z_1}{Z_2}$$

(5)

$$R = \frac{27}{54} = 0,5$$

R = Relação entre as rodas dentadas do sistema;

Z₁ = Roda dentada motora;

Z₂ = Roda dentada movida.

Com o valor da relação encontrada, obteve-se a velocidade angular de saída, ou seja, a velocidade presente na roda dentada movida no sistema Melconian (2002):

$$\omega_s = \omega_e \cdot R$$

(6)

$$\omega_s = \left(188,5 \frac{\text{Rad}}{\text{s}}\right) \cdot (0,5) = 94,25 \text{ Rad/s}$$

ω_s = Velocidade angular de saída;

ω_e = Velocidade angular de entrada;

A partir do resultado da relação entre as rodas dentadas, foi preciso calcular o valor da velocidade periférica que estaria presente na corrente utilizando a Equação (7), Melconian (2002):

$$v_p = \frac{z_1 \cdot t \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad (7)$$

$$v_p = \frac{27 \cdot 12 \text{ mm} \cdot 1800 \text{ rev/min}}{60 \cdot 1000} = 9,72 \text{ m/s}$$

Onde:

t = Passo da corrente escolhida;

n_1 = Rotação em RPM do motor;

Foi considerado também no dimensionamento da corrente os fatores de operação ao qual ela estaria sujeita. De acordo com Melconian (2002), esses fatores foram:

- $k_s = 1$ Operação com carga constante e operação intermitente;
- $k_l = 1,3$ Lubrificação periódica;
- $k_{po} = 1,0$ Linha de centro horizontal com inclinação inferior ou igual a 45° ;

Com as condições de operação da bancada obteve-se o fator de operação (MELCONIAN, 2002):

$$k = k_s \cdot k_l \cdot k_{po} \quad (8)$$

$$k = 1 \cdot 1,3 \cdot 1 = 1,3$$

Foi necessário também obter a carga de ruptura da corrente, essa carga foi obtida utilizando a Equação (9) (MELCONIAN, 2002):

$$F_T = \frac{P}{v_p} \quad (9)$$

$$F_T = \frac{0,75 \cdot 10^3 \text{ W}}{9,72 \text{ m/s}} = 77,2 \text{ N}$$

Onde:

P = Potência do motor em Watts;

Com isso, considerando a corrente de rolos como a corrente adotada para esse projeto e um passo de 12 mm e a rotação de 1800 rpm, obteve-se o coeficiente de segurança na tabela 1 (MELCONIAN, 2002):

Tabela 1: coeficientes de segurança

Passo	RPM da Engrenagem Menor								
	50	200	400	600	800	1000	1200	1600	2000
Cor. de rolos 1/2" – 5/8"	7,0	7,8	8,6	9,4	10,2	11,0	11,7	13,2	14,8
3/4" – 1/4"	7,0	8,2	9,4	10,3	11,7	12,9	14,0	16,3	--
1 1/4" – 1 1/2"	7,0	8,6	10,2	13,2	14,8	16,3	19,5	--	--
Cor. Dentadas 1/2" – 5/8"	20,0	22,2	24,4	28,7	29,0	31,0	33,4	37,8	42,0
3/4" – 1/4"	20,0	23,4	26,7	30,0	33,4	36,8	40,0	46,5	53,5

Fonte: (MELCONIAN, 2002)

O próximo passo foi realizar o dimensionamento que permitiu obter a quantidade de elos necessários a corrente adotando a Equação (10) conforme sugerido por Melconian (2002).

$$y = \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \frac{2c}{t} + \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{t}{c} \quad (10)$$

$$y = \frac{27 + 54}{2} + \frac{2 * 400}{12} + \left(\frac{54 - 27}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{12}{400} = 108 \text{ elos}$$

c = distância entre centros que será adotada no projeto

Utilizando o valor do número de elos obtidos, multiplicou-se pelo passo da corrente adotada chegando a valor do comprimento da corrente. Equação (11), (MELCONIAN, 2002):

$$l = y \cdot t \quad (11)$$

$$l = (108 \text{ elos}) \cdot (12 \text{ mm}) = 1296 \text{ mm}$$

l = comprimento da corrente.

Além das etapas mencionadas, houve a necessidade de realizar o dimensionamento das engrenagens de dentes retos que fazem parte do sistema. Para isso, foi essencial estabelecer a relação entre o número de dentes da engrenagem motora e a engrenagem movida. Para esse trabalho, adotou-se uma engrenagem de 40 dentes para a motora e uma de 80 dentes para a movida conforme apresentado. Esta relação foi fundamental para que fosse verificado se

realmente haveria uma redução da metade da velocidade de entrada na saída. A seguinte Equação (5) é utilizada para esse cálculo (MELCONIAN, 2002):

$$R = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (5)$$
$$R = \frac{40}{80} = 0,5$$

Através da relação encontrada e objetivando-se a redução da metade da velocidade de entrada, verificou-se através da seguinte Equação (6) a velocidade angular de saída (MELCONIAN, 2002):

$$\omega_s = \omega_e \cdot R \quad (6)$$
$$\omega_s = 94,25 \frac{Rad}{s} \cdot 0,5 = 47,13 \text{ Rad/s}$$

Por meio das definições dos números de dentes da engrenagem motora e da engrenagem movida, foi possível consultar catálogos de fornecedores e obter as especificações técnicas a respeito das engrenagens, para esse trabalho, adotou-se as informações contidas no A.T.I Brasil. Essas especificações são mostradas a seguir (ATIBRASIL, 2017):

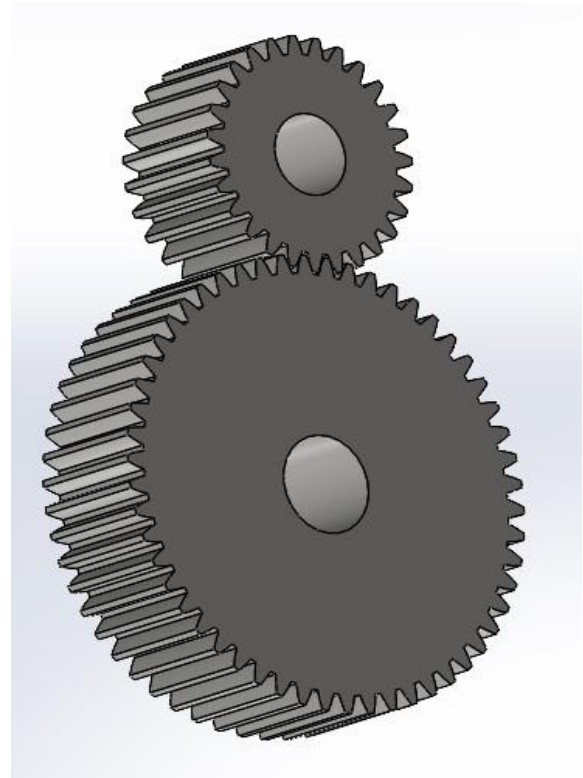
Engrenagem Motora:

- Diâmetro externo = 42 mm.
- Diâmetro primitivo = 40 mm.
- Diâmetro do furo = 20 mm.
- Ângulo de pressão = 20°.
- Módulo = 1.

Engrenagem Movida:

- Diâmetro externo = 82 mm.
- Diâmetro primitivo = 80 mm.
- Diâmetro do furo = 40 mm.
- Ângulo de pressão = 40 mm.
- Módulo = 1.

Figura 5: Engrenagens de dentes retos



Fonte (Próprio autores, 2023)

Vale ressaltar que a velocidade de entrada nesse ponto difere da velocidade de entrada fornecida pelo motor, uma vez que, a mesma já sofreu uma redução no sistema de transmissão por corrente e rodas dentadas. Além disso, será necessário realizar a usinagem do eixo para o caso da engrenagem de dentes retos acionadora.

Outro componente essencial presente na bancada são as engrenagens cônicas, que desempenham um papel crucial devido a não apenas reduzir a velocidade angular recebida, mas também transmitir um movimento vertical para um movimento na horizontal. O dimensionamento dessas engrenagens seguiu o mesmo método utilizado para calcular as engrenagens de dentes retos. Nesse sentido, a Equação (5) de Melconian (2002) foi empregada:

$$R = \frac{Z_1}{Z_2} \quad (5)$$

$$R = \frac{16}{32} = 0,5$$

A velocidade angular de saída, resultante das engrenagens de dentes cônicas, pode ser calculada empregando o mesmo método utilizado para as engrenagens de dentes retos. No

entanto, é necessário considerar uma nova velocidade angular de entrada, como indicado na Equação (6) de Melconian (2002):

$$\omega_s = \omega_e \cdot R \quad (6)$$

$$\omega_s = 47,13 \frac{Rad}{s} \cdot 0,5 = 23,57 \text{ Rad/s}$$

Utilizando novamente as informações da A.T.I Brasil, verificou-se as características técnicas das engrenagens cônicas adotadas no dimensionamento desse trabalho (ATIBRASIL, 2017)

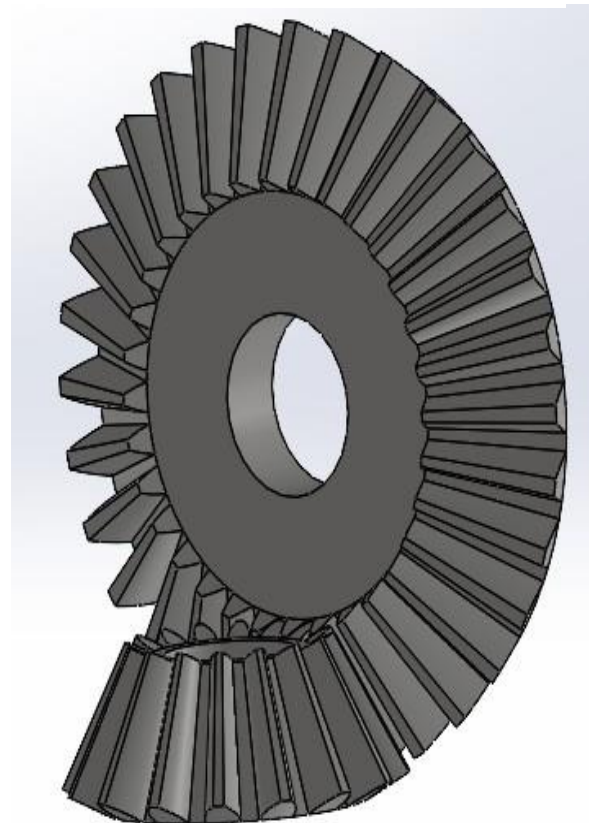
Engrenagem Motora:

- Diâmetro externo = 64 mm.
- Diâmetro primitivo = 50 mm.
- Diâmetro do furo = 40 mm
- Ângulo entre eixos = 90°
- Ângulo de pressão = 20°.

Engrenagem Movida:

- Diâmetro externo = 115 mm.
- Diâmetro primitivo = 100 mm.
- Diâmetro do furo = 40 mm.
- Ângulo entre eixos = 90°.
- Ângulo de pressão = 20°.

Figura 6: Engrenagens de dentes cônicos



Fonte (Próprio autores, 2023)

Outro dimensionamento crucial para a bancada foi a definição do diâmetro adequado as polias presentes na bancada, essas polias constituem o último sistema de redução do projeto.

Para isso, definiu-se o diâmetro desejado para a maior polia do sistema e a partir desse diâmetro, da fórmula de relação e buscando uma redução da metade da velocidade angular presente na entrada, obteve-se o diâmetro da polia menor (MELCONIAN, 2002):

$$R = \frac{Z_1}{Z_2}$$

$$0,5 = \frac{Z_1}{180 \text{ mm}}$$

$$z_1 = 180 \cdot 0,5 = 90 \text{ mm}$$
(5)

Para obter a velocidade angular final, utilizou-se novamente a seguinte Equação (6) (MELCONIAN, 2002):

$$\omega_s = \omega_e \cdot R$$

$$\omega_s = 23,57 \frac{\text{Rad}}{\text{s}} \cdot 0,5 = 11,8 \text{ Rad/s}$$
(6)

Para que todos os elementos da bancada, os quais serão suportados pelos eixos, recebessem a transmissão de movimentos geradas, foi necessário realizar o dimensionamento das chavetas. Essas são responsáveis por realizarem a ligação de um elemento ao eixo. Para esse dimensionamento, considerou-se o maior torque gerado no sistema e também a polia, por se tratar do elemento de maior diâmetro da bancada. A partir desses dados, foi possível realizar o dimensionamento das chavetas considerando os casos mais extremos.

Para determinar se a chaveta suportaria o torque gerado e também as cargas se adotou-se um valor arbitrário para a largura da polia de 25mm, o torque calculado anteriormente 3,98 N.m ou 3980 N.mm e as características do aço ABNT 1020 no qual será confeccionada a chaveta.

Ao empregar o aço ABNT 1020, que possui uma tensão de escoamento de 350MPa, determinou-se a tensão de escoamento da chaveta. Essa tensão é calculada como sessenta por cento da tensão de escoamento do aço, utilizando a Equação (13) conforme apresentada por Barbosa (2011)

$$\tau_e = 0,6 \cdot \tau_a$$

$$\tau_e = 0,6 \cdot 350 = 210 \text{ Mpa}$$
(13)

Onde se tem:

τ_e = tensão de escoamento
 τ_a = tensão de escoamento do aço

A partir da tensão de escoamento, calculou-se o valor da tensão admissível considerando um fator de segurança igual a 2, conforme as Equação (14), (BARBOSA, 2011).

$$\tau_{ad} = \frac{\tau_e}{s} \quad (14)$$

$$\tau_{ad} = \frac{210}{2} = 105 \text{ MPa}$$

τ_{ad} = tensão admissível

s = fator de segurança

Seguindo as etapas de dimensionamento das chavetas foi necessário obter a força tangencial cisalhante (BARBOSA, 2011).

$$F = \frac{T}{R} \quad (15)$$

$$F = \frac{3980 \text{ N. mm}}{25 \text{ mm}} = 159,2 \text{ N}$$

Onde:

F = Força tangencial

T = Torque

R = Raio do eixo

Utilizando a maior polia da bancada adotou-se um valor 25 mm para a largura da chaveta e com isso, utilizando a Equação (16) da tensão admissível, é possível obter o valor da largura da área cisalhante (BARBOSA, 2011).

$$\tau_a = \frac{F}{A} \quad (16)$$

A partir da reorganização da equação obtém-se:

$$A = \frac{F}{\tau_a} \quad (16)$$

Onde a área cisalhante pode ser definida pelo produto da largura da polia pela base e obtida seguindo as etapas abaixo (BARBOSA, 2011).

$$b \cdot l = \frac{F}{\tau_a} \quad (16)$$

$$25 \cdot b = \frac{159,2 \text{ N}}{105 \text{ N/mm}}$$

$$b = 25 \cdot \left(\frac{159,2 \text{ N}}{105 \text{ N/mm}} \right) = 38 \text{ mm}$$

O último passo no dimensionamento da chaveta envolve a determinação da tensão de esmagamento, integrando todas as informações previamente calculadas conforme as Equações (17) apresentadas por Barbosa (2011)

$$\tau_e = \frac{F}{(b - 0,6 \cdot b) l} \quad (17)$$

$$\tau_e = \frac{159,2 \text{ N}}{(0,4 \cdot 38 \text{ mm}) 25 \text{ mm}} = 0,42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ ou } 0,42 \text{ MPa}$$

Segundo os cálculos, a tensão admissível do material no qual será confeccionado a chaveta é menor que a tensão de esmagamento, o que evidencia que uma chaveta com as dimensões que foram arbitrariamente adotadas no início não suportariam as cargas geradas e falharia. Com isso, é necessário redimensionar a chaveta a partir da tensão admissível, portanto, utiliza-se novamente a Equação (17) evidenciando a largura da chaveta de acordo com que é apresentada por Barbosa (2011).

$$350 = \frac{159,2 \text{ N}}{(b - 0,6 \cdot b) 25 \text{ mm}} \quad (17)$$

$$350(0,4b \cdot 25) = 159,2 \text{ N}$$

$$350 \cdot 10b = 159,2 \text{ N} \quad (17)$$

$$b = \frac{159,2 \text{ N}}{3500 \text{ N}} = 0,046 \text{ mm}$$

A partir do redimensionamento, agora considerando a tensão admissível, é possível determinar o valor ideal no qual a chaveta suportará a tensão de esmagamento. Optar por uma chaveta com uma base de 0,046 mm e uma largura de 25 mm revela-se uma escolha ideal para

o projeto da bancada. Essas dimensões tornam a chaveta não apenas adequada, mas também aplicável a toda a bancada, proporcionando a capacidade de suportar o maior torque gerado durante o funcionamento do sistema. As escolhas dos demais itens da bancada, como os mancais e correia, levou-se em consideração a aplicação em conjunto dos mesmos com os demais elementos. Para os eixos que suportariam maior peso, por exemplo, utilizou-se os mancais P206 para os demais P204. A correia foi definida de acordo com a distância estabelecida entre as polias e seus diâmetros.

Após um rigoroso processo de dimensionamento da bancada de elementos de máquinas, chegamos as conclusões cruciais que sustentam o projeto. Inicialmente, ao calcular o torque gerado pelo motor no eixo, obtive-se um valor que indicou a necessidade de um diâmetro mínimo do eixo de 5,60 mm o que permitiu a escolha de um diâmetro de 40 mm para a confecção dos eixos. A escolha do material para o eixo, o aço SAE 1010, foi fundamentada nas características mecânicas desse material, que proporcionam a resistência necessária para suportar o torque sem comprometer a integridade da bancada.

Para o dimensionamento da corrente, levando em consideração as especificações das rodas dentadas selecionadas, calculou-se a relação entre elas e determinou-se a velocidade periférica na corrente. Além disso, incorporamos fatores de operação, como operação intermitente, lubrificação periódica e inclinação da linha de centro, para garantir que a corrente seja robusta o suficiente para as condições de operação da bancada.

Ao considerar a carga de ruptura da corrente e aplicar os fatores de segurança apropriados, chegou-se a uma seleção adequada da corrente de rolos, com um passo de 12 mm, capaz de suportar as demandas do sistema com segurança. O comprimento da corrente foi calculado com base na quantidade de elos necessários, proporcionando uma configuração confiável para a transmissão de potência.

Além disso, para as engrenagens de dentes retos, o dimensionamento se baseou na relação entre o número de dentes da engrenagem motora e da engrenagem movida, garantindo uma transmissão eficaz e suave de potência mecânica. O mesmo procedimento foi seguido tanto para as engrenagens cônicas quanto para as polias, assegurando que a relação entre os dentes e os diâmetros fossem cuidadosamente consideradas no projeto do sistema.

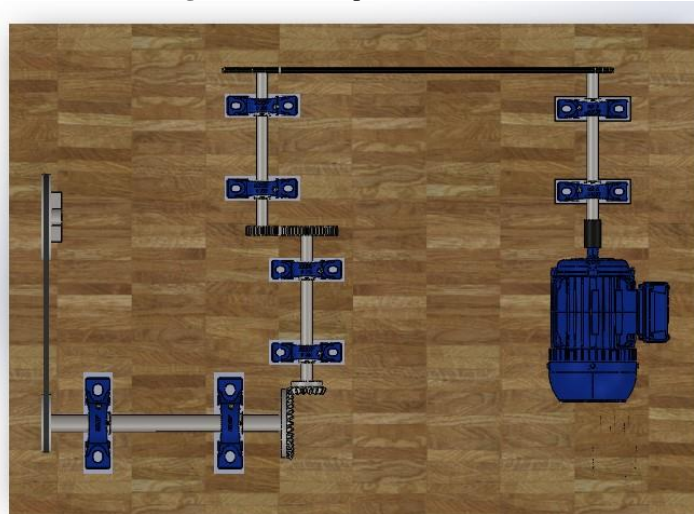
Por fim, a seleção dos materiais para a bancada, que inclui o motor elétrico, acoplamento flexível, mancais de rolamento, rodas dentadas, engrenagens e outros componentes, levou em conta critérios de durabilidade, resistência e estabilidade. O aço SAE 1010 foi escolhido como o material para o eixo devido às suas propriedades mecânicas adequadas.

O projeto final da bancada conta com os seguintes elementos:

- 1 Motor elétrico trifásico de 1800 RPM;
- 1 Acoplamento flexível;
- 1 Polia com diâmetro 90 mm;
- 1 Polia com diâmetro 180 mm;
- 4 Eixos com diâmetro 40 mm;
- 6 Mancais de rolamento P204;
- 2 Mancais de rolamento P206;
- Roda dentada com 27 dentes;
- Roda dentada com 54 dentes;
- Engrenagens de dentes retos com 27 dentes;
- Engrenagens de dentes retos com 54 dentes;
- Engrenagens cônicas com 16 dentes;
- Engrenagens cônicas com 32 dentes;
- Mesa de 1050x1100x750 mm;
- Inversor de frequência CFW 10;

Como parte da apresentação do projeto da bancada didática de elementos de máquinas, a seguir temos algumas figuras dos desenhos da bancada. Esses desenhos representa uma etapa fundamental do processo de design e dimensionamento da bancada. A figura 7 evidencia a parte superior da bancada.

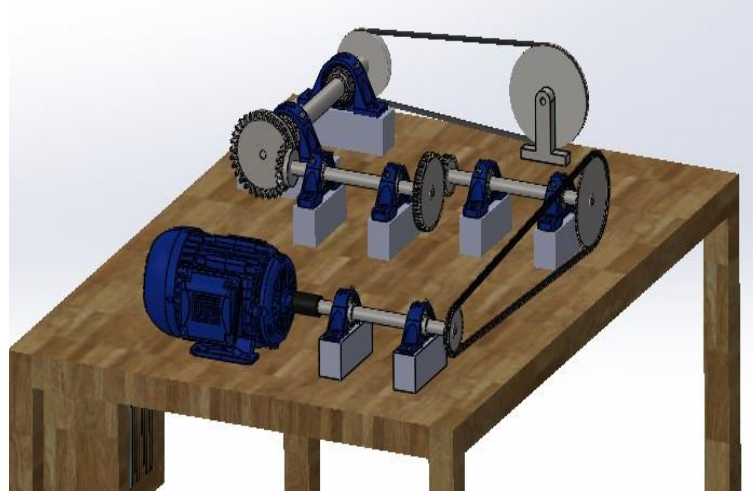
Figura 7: vista superior da bancada



Fonte: (Próprio autores, 2023)

Na figura 8, o desenho está configurado de maneira a proporcionar a vista lateral da bancada dando uma outra perspectiva de visualização do projeto.

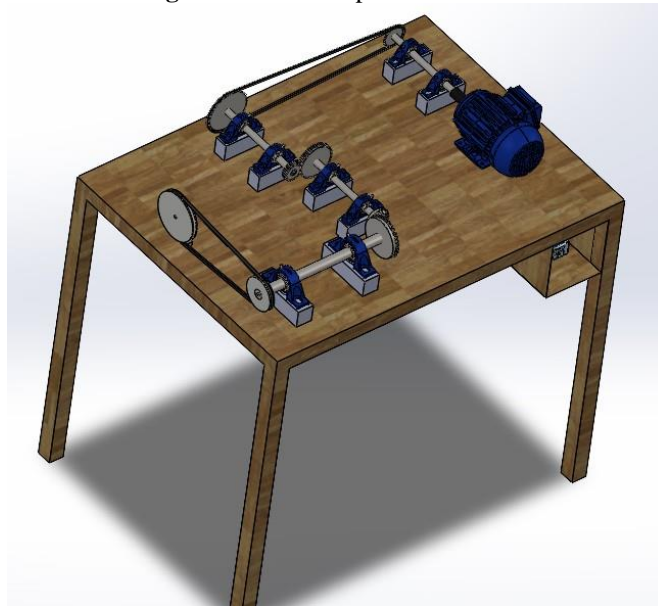
Figura 8: vista lateral da bancada



Fonte: (Próprio autores, 2023)

Por último, a figura 9 apresenta a bancada de maneira a possibilitar ao máximo a visualização de todos os elementos presentes, inclusive o inversor de frequência acoplado na bancada.

Figura 9: vista completa da bancada



Fonte: (Próprio autores, 2023)

Em resumo, o dimensionamento preciso de todos os componentes da bancada, incluindo eixos, correntes e engrenagens, aliado à seleção criteriosa dos materiais, assegura que a bancada

de elementos de máquinas seja capaz de operar com eficiência e confiabilidade, atendendo aos requisitos de potência e desempenho. Esse processo de dimensionamento foi essencial para demonstrar o funcionamento da bancada.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento da bancada didática de elementos de máquinas emerge como um marco significativo na formação prática de engenheiros mecânicos. A criação desta bancada proporciona uma valiosa oportunidade para os alunos do curso de engenharia mecânica aplicarem seus conhecimentos teóricos em um contexto prático, simulando situações reais encontradas no campo profissional.

A importância das bancadas didáticas de elementos de máquinas na formação acadêmica não pode ser subestimada. Elas desempenham um papel fundamental na integração entre a teoria e a prática, permitindo que os estudantes desenvolvam habilidades práticas, compreendam conceitos complexos de engenharia e estejam preparados para enfrentar desafios do mundo real.

O objetivo principal deste projeto foi dimensionar uma bancada de elementos de máquinas de baixo custo, tornando-a acessível a instituições de ensino e, ao mesmo tempo, de alta qualidade para a formação prática dos alunos. As etapas envolvidas para a realização do dimensionamento da bancada, foram abordadas com cuidado e precisão.

Os resultados obtidos por meio do dimensionamento minucioso dos componentes da bancada garantem que ela atenda aos requisitos de desempenho, proporcionando um funcionamento confiável e seguro. Isso reforça sua utilidade como ferramenta de ensino para a aplicação dos princípios teóricos em cenários práticos, preparando os alunos para os desafios que enfrentarão em suas futuras carreiras como engenheiros mecânicos.

A criação desta bancada didática de elementos de máquinas representa um passo significativo na promoção da educação prática e na formação de engenheiros mecânicos competentes. Além disso, ela oferece uma contribuição valiosa para a capacitação de profissionais aptos a enfrentar os desafios do mundo da engenharia, destacando-se como uma ferramenta pedagógica eficaz para aprimorar a qualidade da formação em engenharia mecânica.

REFERÊNCIAS

ATIBRASIL. Catálogo de Componentes para Transmissão - Outubro de 2017. Disponível em: <https://www.atibrasil.com.br/img/cms/Catalogos/CAT%C3%81LOGOCOMPONENTE SPARATRANSMISSAO-OUT-2017.pdf>>. Acesso em: 19 de outubro de 2023.

BARBOSA, J. P. **Elementos de Máquinas, 1ª edição**. São Paulo: IFES, 2011

BAZZO, A.W.; PEREIRA, L.T.V. **Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos**. 1 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006

CAVALETTI, Jose Augusto.; OLIVEIRA, Anderson de. **Dimensionamento mecânico de um equipamento de transmissão para fins didáticos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado de Engenharia Mecânica) – Universidade Alto Vale do Rio do Peixe, Caçador, 2018

COLLINS, Jack A. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas, 2ª edição**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2019

FINOTTI, T.F. **Deteção de falhas em rolamentos através de análise de vibrações**. Goiânia, GO. 2015.

FRANCESCHI, A. D; ANTONELLO, M. G. **Elementos de Máquinas, 1ª edição**. Santa Maria: e-Tec, 2014.

LIMA, I.A.M. **Proposição de uma bancada didática para análise de vibração em manutenção preditiva**. Brasília, DF. 2014.

MELCONIAN, Sarkis.; **Elementos de máquinas**. 3 ed. São Paulo: Érika Ltda, 2002.

NORTON, Robert L.; **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

WICKERT, J.; LEWIS, K. **Introdução à Engenharia Mecânica**. 3 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.