



# COBENGE

2019

XLVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia e II Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da ABENGE

17 a 20 SETEMBRO de 2019

Fortaleza - CE

"Formação por competência na engenharia no contexto da globalização 4.0"

## ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE MECANISMOS ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE BANCADA EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO

*Primeiro Autor – e-mail\**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento\**

*Endereço \**

*CEP – Cidade – Estado\**

*Segundo Autor – e-mail\**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento\**

*Endereço \**

*CEP – Cidade – Estado\**

*Terceiro Autor – e-mail\**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento\**

*Endereço \**

*CEP – Cidade – Estado\**

*\* Como as avaliações serão às cegas, os nomes/dados dos autores não deverão constar na versão para a submissão. Caso não seja atendida essa determinação o artigo será desclassificado. Aqueles artigos que obtiverem aprovação deverão ser reenviados com tais informações.*

**Resumo:** Esta pesquisa científica visa suprir uma necessidade acadêmica que é aproximar o conteúdo teórico apresentado em sala de aula dos desafios encontrados na indústria, local onde os futuros engenheiros irão exercer suas atividades diárias. Também deverá estimular o aluno proporcionando uma melhoria no processo de aprendizagem na área de Engenharia, através de solução de problemas unindo análise computacional com práticas laboratoriais. Por esta razão, foi proposto o desenvolvimento de uma bancada didática de transmissão mecânica (usando engrenagens) de baixo custo, para compor a estrutura de laboratórios já disponíveis na Universidade Iguçu. Deseja-se demonstrar através de softwares e experimentos a necessidade de se aprender a teoria (modelos matemáticos), sendo ela aplicada a problemas da vida cotidiana e a problemas industriais. Para isto, foram desenvolvidas quatro configurações distintas para a bancada a fim de demonstrar a necessidade de se especificar corretamente os componentes de um sistema para uma determinada tarefa. A realização deste trabalho visa uma melhoria no rendimento e comprometimento do aluno, pois os acadêmicos visualizarão na prática os resultados dos cálculos realizados em sala de aula. É de suma importância capacitar e desafiar o aluno a aplicar os conhecimentos obtidos na faculdade em seu local de trabalho e realizar uma análise crítica ao ser confrontado com um problema de engenharia. Esta pesquisa também visa capacitar o aluno a analisar resultados experimentais e teóricos de um projeto de engenharia.

**Palavras chave:** Cinemática, Dinâmica, Mecanismos, Protótipos e Bancadas educacionais.

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:



## 1 INTRODUÇÃO

Mecanismos mecânicos tem sido objeto de estudo e uso em diversas aplicações, devido à necessidade de transmitir e controlar movimento, torque e esforços para realização de trabalho. (Norton, 2010).

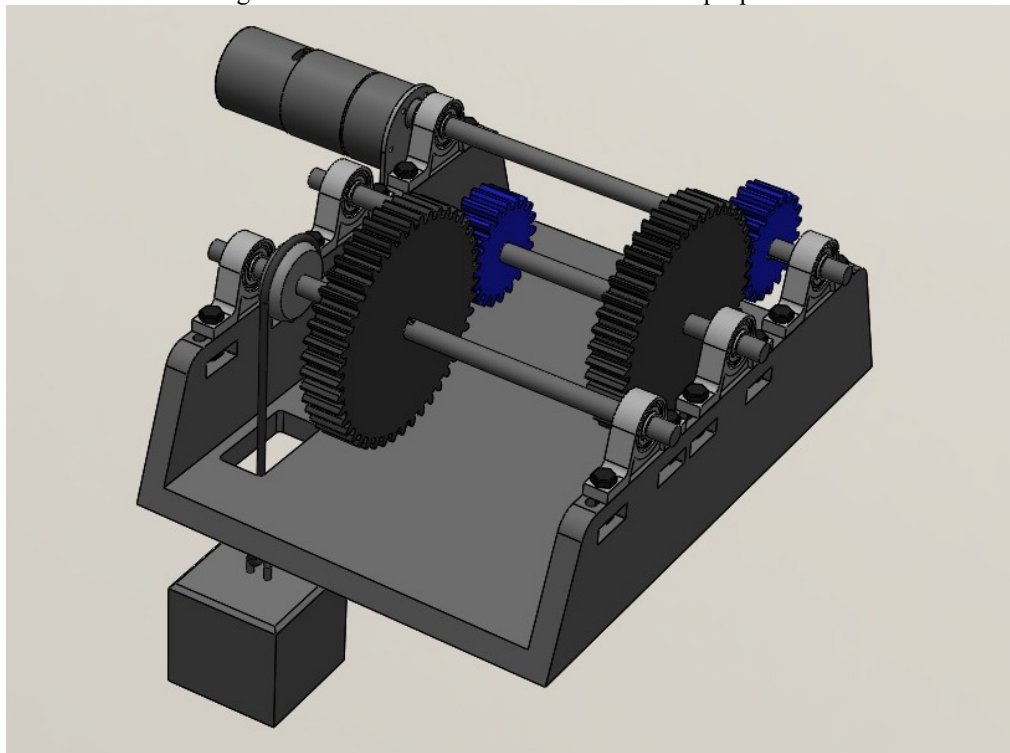
Geralmente as máquinas recebem energia mecânica de um motor elétrico que por sua vez transfere energia através de um movimento circular. Uma das formas de transformar movimentos circulares em movimentos lineares é através de mecanismos. Eles também são utilizados para restringir movimentos e controlar e limitar a posição, deslocamento, velocidades e acelerações. (Dicker, Pennock, Shigley, 2003).

Também há necessidade de aumentar ou diminuir a rotação de saída do motor que irá alimentar um mecanismo, permitindo o controle do torque a ser transmitido para realização de uma determinada tarefa. Para isto, podemos utilizar um conjunto de engrenagens, que irá proporcionar este aumento ou redução do torque para acionamento do mecanismo.

## 2 MATERIAL

Esse artigo científico tem por objetivo projetar, construir e testar uma bancada didática para transmissão de energia e movimento. O projeto terá quatro configurações distintas, com intuito de realizar o içamento de blocos com diferentes pesos, através da utilização de diferentes velocidades, sendo acionado por um motor elétrico para geração de rotação e acionamento das engrenagens, conforme apresentado na Figura 1. Estudo essencial para o entendimento e aplicação de Mecanismos, que são peças fundamentais no funcionamento de máquinas e equipamentos.

Figura 1: Modelo da bancada de mecanismos proposta.



## 2.1 Tipo de engrenagem

Após analisar os principais tipos de engrenagens, viu-se que seria necessária a utilização de engrenagens que tivessem baixo custo de fabricação e confiabilidade de operação. Também foi levada em consideração, que não fosse necessário a mudança de angulação entre os eixos do trem de engrenagens, ou seja, todas as engrenagens ficarão paralelas ao eixo e à bancada. Devido estes fatos, foram selecionadas as engrenagens cilíndricas de dentes retos para utilização como ele de transmissão de movimento.

As engrenagens foram projetadas no *Autodesk Inventor Student* e fabricadas através de impressão 3D, método que há uma diminuição significativa no custo. As engrenagens terão 16 mm de espessura, 0.33 mm de folga nos dentes e módulo de 2 mm.

## 2.2 Motor

O motor é parte crucial do projeto, pois é o instrumento que gera a rotação e a potência transmitida por cada engrenagem. O motor interfere diretamente no desenvolvimento do projeto de trem de engrenagem, por conseguinte, a escolha do motor demandou bastante atenção e tempo. Foi selecionado o micro motor com caixa de redução AK555/11.1PF12R83CE-V2. Esse motor possui torque de aproximadamente 1.088 NM, e velocidade angular de 83 rotações por minuto.

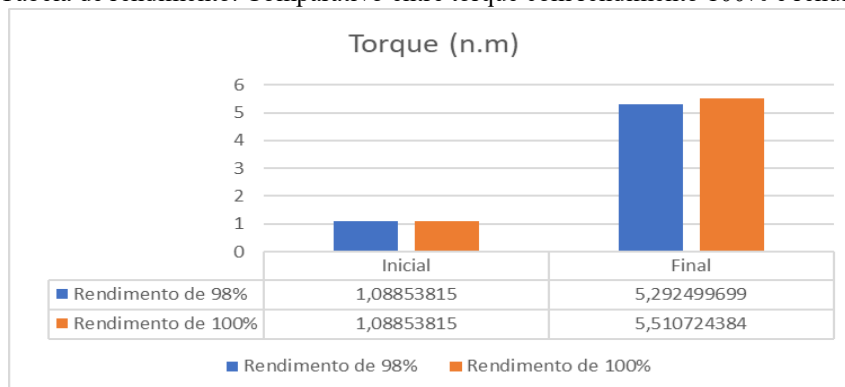
## 2.3 Rendimento

O par de engrenagens usinado possui rendimento de 96% a 98%. Apesar da perda de 2% eficiência possa parecer pequena, é um fator que deve ser considerado. Pois com 2% de perda a cada par de engrenagens, a perda acumulada no final do sistema pode ser significativa e influenciar no projeto na escolha do motor que acionará o sistema ou até mesmo no torque de uso na saída. (Mott, Robert L., 2015)

Os sistemas de engrenagens têm uma perda de eficiência, devido ao rendimento que elas apresentam. Um par de engrenagens usinadas tem um rendimento de 98%, ou seja, uma perda de apenas 2% no torque.

A imagem a seguir demonstra graficamente a diferença causada no torque pelo rendimento de 98% para um rendimento de 100% na configuração do trem de engrenagens responsável pelo içamento do bloco de 3 kg de massa. Sendo utilizado um par de engrenagens com 94 mm de diâmetro externo e um par com diâmetro externo de 44 mm.

Tabela 1 – Tabela de rendimento. Comparativo entre torque com rendimento 100% e rendimento 98%



Fonte: Próprio autor

### 3 FÓRMULAS

#### 3.1. Fórmulas referentes ao motor

Inicialmente temos que fazer a conversão de Rotações por minuto para radianos por segundo, que é utilizado no sistema internacional como medida para velocidade angular.

$$1 \text{ rpm} = \frac{2\pi}{60} \text{ rad/s} \quad (3.1)$$

#### 3.2. Fórmulas referentes ao bloco

##### a. Velocidade de subida do bloco

$$\text{VelocidadeDeSubidaDoBloco} = \frac{\text{AlturaBancada}}{\text{TempoDeSubida}} \quad (3.2.1)$$

##### b. Peso Bloco

$$\text{PesoBloco} = \text{MassaBloco} * \text{Gravidade} \quad (3.2.2)$$

##### c. Aceleração de subida do bloco

$$\text{AceleraçãoSubidaBloco} = \frac{\text{VelocidadeDeSubidaDoBloco}}{\text{TempoDeSubida}} \quad (3.2.3)$$

##### d. Tração

É dado pela soma entre peso do bloco (item 3.2.2.) e o produto entre Aceleração de subida do bloco (item 3.2.3.) e a massa do bloco.

$$\text{Tração} = \text{PesoBloco} + (\text{AceleraçãoSubidaBloco} * \text{MassaBloco}) \quad (3.2.4)$$

#### 3.3. Fórmulas Referentes ao momento torsor

##### e. Fórmula de determinação de Distância de Tração

É dada pelo comprimento total do eixo menos a espessura de engrenagem e uma distância mínima pré-determinada de 2 cm da borda do eixo (distância de fim de curso).

$$\text{DistânciaTração} = \text{ComprimentoEixo} - 0.02 - 0.016 \quad (3.3.1)$$

##### f. Fórmula do momento torsor

Constitui se pelo produto entre a tração (item 3.2.4.) e a distância da tração (item 3.3.1.).

$$\text{MomentoTorsor} = \text{Tração} * \text{DistânciaTração} \quad (3.3.2)$$

### 3.4. Fórmulas referentes às engrenagens

#### g. Velocidade Angular

É dado pela relação de proporção entre os tamanhos das engrenagens e sua unidade de medida é rad/s:

$$VelocidadeAngularEngrenagem2 = \frac{Vel.AngularEngrenagem1 * RaioPrimitivo1}{RaioPrimitivo2} \quad (3.4.1.)$$

Quando as engrenagens estão ligadas por meio de um eixo, a velocidade angular da engrenagem dois é dada por:

$$VelocidadeAngularEngrenagem2 = VelocidadeAngularEngrenagem1 \quad (3.4.1.)$$

#### h. Carga transmitida

É a força que a engrenagem consegue transmitir à engrenagem posterior, sendo calculado pela divisão da potência transmitida pelo produto entre o raio primitivo e a velocidade angular (item 3.4.1.), tendo como unidade de medida de força (n). A fórmula de cálculo é dada por:

$$CargaTransmitida = \frac{PotênciaTransmitida}{RaioPrimitivo * VelocidadeAngular} \quad (3.4.2.)$$

#### i. Torque

É definida como o produto da força aplicada em relação a um determinado ponto, ou apoio, pela distância que separa o ponto de aplicação dessa força ao ponto. Sua unidade dimensional é n\*m e a sua fórmula é dada por:

$$Torque = CargaTransmitida * RaioPrimitivo \quad (3.4.3.)$$

#### j. Potência Transmitida

A potência transmitida é o trabalho, energia gerada pela aplicação de uma força ao longo de um trajeto, que a engrenagem está transmitindo por segundo. Esse cálculo faz-se necessário apenas na engrenagem motora, ou seja, na engrenagem que está diretamente relacionada, por meio do eixo, com o motor. Nas engrenagens subseqüentes, a potência transmitida será equivalente a potência transmitida pela engrenagem motora multiplicado pelo rendimento (98%).

Por conseguinte, podemos concluir que a potência transmitida é o produto entre o torque (item 3.4.3.) (n\*m) e a velocidade angular (item 3.4.1.) (rad/s), gerando assim uma unidade de medida equivalente à potência, ou seja, watt (w).

$$PotênciaTransmitida = Torque * VelocidadeAngular \quad (3.4.4.)$$

### 3.5. Cálculo referente ao eixo e cilindro de correção de velocidade

#### k. Velocidade linear do eixo

A velocidade linear é encontrada a partir da velocidade angular. Utilizamos a velocidade angular (item 3.4.1.) Multiplicada pelo raio do eixo, em metros.

$$VelocidadeLinear = VelocidadeAngular * Raio \quad (3.5.1.)$$

#### l. Fórmula de raio de eixo

O cálculo do raio de eixo é dado pela raiz cúbica da divisão entre o dobro do torque (item 3.4.3.) atuante no eixo e o produto entre PI e a tensão admissível do aço.

$$RaioEixo = \left( \frac{2 * Torque}{\pi * TensãoAdmissível} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.5.2.)$$

#### m. Raio Do Cilindro de correção de velocidade

$$R5 = \frac{VelocidadeDeSubidaDoBloco * RaioEixo}{VelocidadeLinearEixo} \quad (3.5.3.)$$

## 4. RESULTADOS

O sistema direto de transmissão de força, com todas as engrenagens conectadas por contato entre os dentes, não é recomendado para aplicação, pois necessitaria de engrenagens com diâmetros muito grandes para alcançar o torque necessário para içar o bloco de massa.

Será construída uma bancada capaz de obter, quatro configurações distintas. Sendo essas configurações capazes de levantar blocos de 3 kg; 2 kg; 1,5 kg e 1 kg. Optou se, por utilizar um sistema de transmissão por meio de um sistema composto, onde há um eixo conectando um par de engrenagens a outro par de engrenagens.

### 4.1. Primeira configuração de trem de engrenagens

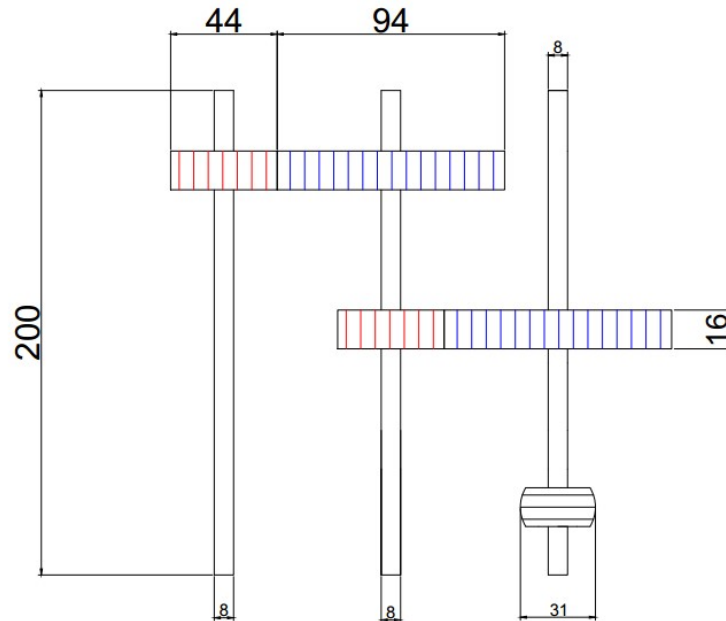
A primeira configuração de trem de engrenagens tem que ser capaz de erguer um bloco de 3 kg de massa. Utilizando o método de sistema de transmissão por um sistema composto, e a maior engrenagem necessária, para levantar o bloco por 1,2 metros de altura, em apenas 45 segundos, tem somente 94 mm de diâmetro externo.

Será colocado um objeto cilíndrico ao final do sistema para enrolar o fio que puxará o bloco e esse cilindro também terá como função ajustar a velocidade com que esse bloco subirá. Esse cilindro será chamado de "cilindro de correção de velocidade" e terá 31 mm de diâmetro.

Tabela 2 – Característica e configurações da bancada

Altura da bancada	1,2	Metros
Tempo de subida	45	Segundos
Velocidade de subida	0,03	m/s
Aceleração	0,000593	m/s <sup>2</sup>

Figura 2 - Ilustração primeira configuração de engrenagens.

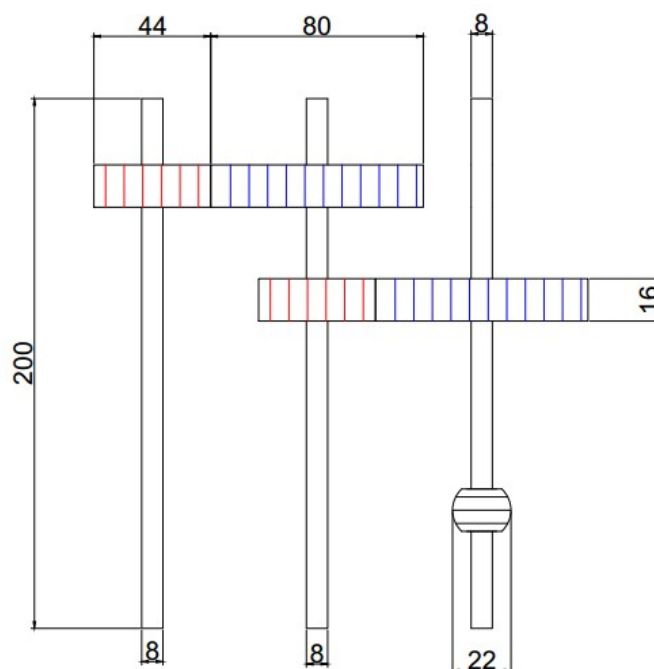


Fonte: Próprio autor

#### 4.2. Segunda configuração de trem de engrenagens

A segunda configuração de trem de engrenagens tem que ser capaz de erguer um bloco de 2 kg de massa. Nesta configuração a engrenagem terá 80 mm de diâmetro externo, para fazer o içamento do bloco por 1,2 metros de altura, em apenas 45 segundos. Nesta configuração o “cilindro de correção de velocidade” terá 22 mm de diâmetro.

Figura 3 - Ilustração da segunda configuração de engrenagens.

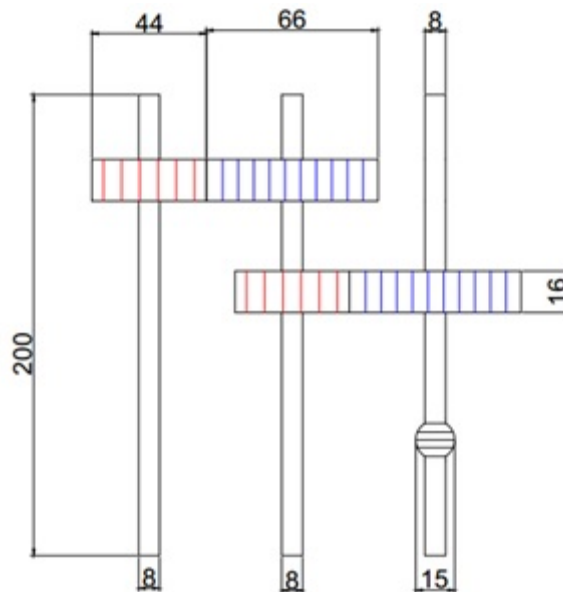


Fonte: Próprio autor

### 4.3. Terceira configuração de trem de engrenagens

A terceira configuração de trem de engrenagens tem que ser capaz de erguer um bloco de 1,5 kg de massa. Nesta configuração a engrenagem terá 66 mm de diâmetro externo, para fazer o içamento do bloco por 1,2 metros de altura, em apenas 45 segundos. Nesta configuração o "cilindro de correção de velocidade" terá 15 mm de diâmetro.

Figura 4 - Ilustração da terceira configuração de engrenagens.

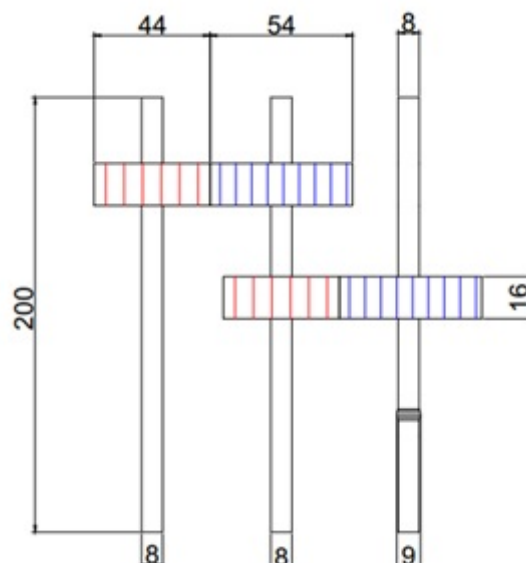


Fonte: Próprio autor

### 4.4. Quarta configuração de trem de engrenagens

Esta configuração terá as mesmas características da terceira configuração, porém será utilizada no içamento de um bloco com 1,0 kg de massa.

Figura 5 - Ilustração da quarta configuração de engrenagens.



Fonte: Próprio autor



Para fabricação da bancada foram detalhadas as peças e equipamentos necessários, bem como suas quantidades, apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Lista de material para fabricação da bancada.

Item	Descrição / Especificação	Quantidade
Motor	AK555/11.1PF12R83CE-V2	01
Eixo	SAE 1045 – $\phi$ 8 mm x 200 mm	03
Engrenagem	$\phi$ 44 mm	02
Engrenagem	$\phi$ 54 mm	02
Engrenagem	$\phi$ 66 mm	02
Engrenagem	$\phi$ 80 mm	02
Engrenagem	$\phi$ 94 mm	02
Mancal de Rolamento	Kp08 x $\phi$ 8 mm	06
Parafuso sextavado	Classe 5.8 - M4 x 25 mm	12
Chaveta DIN 6885	SAE 1020 – 2,0 x 1,0 x 16 mm	04
Cilindro de correção de velocidade	6061 - T6 $\phi$ 9 x $\phi$ 8 x 16 mm	01
Cilindro de correção de velocidade	6061 - T6 $\phi$ 15 x $\phi$ 8 x 16 mm	01
Cilindro de correção de velocidade	6061 - T6 $\phi$ 22 x $\phi$ 8 x 16 mm	01
Cilindro de correção de velocidade	6061 - T6 $\phi$ 31 x $\phi$ 8 x 16 mm	01
Cabo de aço galvanizado	$\phi$ 3/32" x 1300 mm	01
Bloco	3 kg	01
Bloco	2 kg	01
Bloco	1,5 kg	01
Bloco	1 kg	01
Caixa de madeira	200 x 250 x 150 mm	01

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente projeto teve por objetivo atender uma demanda específica de ensino nas disciplinas de Dinâmica e Mecanismos e de outras disciplinas de áreas correlatas ao grau de saber. A utilização de aulas expositivas, práticas de laboratório e de metodologias de ensino ativo, aproximam a correlação entre os conhecimentos teóricos e práticos. A partir disto, a bancada experimental de mecanismos irá colaborar para que o futuro engenheiro enfrente os desafios técnicos da profissão, pois a mesma permite arranjos e seleção de peças que possibilitam a obtenção de resultados diferentes, sendo, portanto possível solução de problemas em situações diferentes.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem a Universidade Iguazu pelo apoio no desenvolvimento deste projeto.

## REFERÊNCIAS

Mott, Robert I., Elementos de Máquina Em Projetos Mecânicos - 5ª Ed., Pearson. 2015



Norton, R. L. Cinemática e Dinâmica de Mecanismos, McGraw-Hill. 2010.

Jr. Dicker J. J., Pennock G. R., Shigley J. E. Oxford University Press, 2003.

Flores, P., Gomes, J. Cinemática e Dinâmica de Engrenagens 1. Aspectos gerais sobre engrenagens. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, publicação interna, Guimarães, Portugal, 2014a.

Flores, P., Gomes, J. Cinemática e Dinâmica de Engrenagens 2. Engrenagens cilíndricas de dentes retos. Universidade do Minho, Escola de Engenharia, publicação interna, Guimarães, Portugal, 2014b.

Flores, P., Claro J. P. C., Cinemática de Mecanismos. Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Guimarães. Portugal, 2007.

Gall J. V., Streda V. E., Dal Molin A., Desenvolvimento de uma bancada didática de transmissões mecânicas. 3. SIEF (Semana Internacional das Engenharias da FAHOR), FAHOR, Horizontina, 2013.

Lima C. M., De Sá D. T., Benchimol E. P. Desenvolvimento de uma bancada experimental utilizada para cinemática de mecanismo, Universidade Federal do Pará, Semana de Engenharia UFPA. 2012.

## STUDY OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF MECHANISMS THROUGH THE CONSTRUCTION OF LOW COST EXPERIMENTAL BENCH

**Abstract:** *This scientific research aims to meet an academic need that is to approximate the theoretical content presented in the classroom of the challenges found in the industry, where future engineers will perform their daily activities. It should also stimulate the student by providing an improvement in the learning process in the Engineering area, through solving problems by joining computational analysis with laboratory practices. For this reason, it was proposed the development of a low-cost didactic mechanical transmission (using gears and pulleys) to compose the structure of laboratories already available at the Iguazu University. It is desired to demonstrate through software and experiments the need to learn theory (mathematical models), being applied to problems of daily life and industrial problems. For this, four different configurations were developed for the workbench in order to demonstrate the need to correctly specify the components of a system for a given task. The accomplishment of this work aims at an improvement in the performance and commitment of the student, since the students will visualize in practice the results of the calculations realized in classroom. It is paramount to empower and challenge the student to apply the knowledge gained in college to their workplace and perform a critical analysis when faced with an engineering problem. This research also aims to enable the student to analyze experimental and theoretical results of an engineering project.*

**Key-words:** *Kinematics, Dynamics, Mechanisms, Prototypes and Educational Benches*