

CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE SISTEMA DE TRANSMISSÃO EPICICLOIDAL POR MEIO DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

Clauber Roberto Melo Marques – clauber.marques@satc.edu.br

Carolina Resmini Melo Marques – carolina.melo@satc.edu.br

Anderson Daleffe – anderson.daleffe@satc.edu.br

Daniel Fritzen – daniel.fritzen@satc.edu.br

Joélson Vieira da Silva – joelson.silva@satc.edu.br

Faculdade SATC

Rua Pascoal Meller, 73

88805-380 – Criciúma – SC

Resumo: *Este trabalho apresenta uma alternativa de abordagem dos assuntos compreendidos pela disciplina de Mecanismos e Sistemas Mecânicos no curso de Engenharia Mecatrônica. A proposta de construção de um protótipo de sistema de transmissão epicicloidal fez parte da utilização da ABP (Aprendizagem Baseada em Problemas) e visou a união dos conceitos multidisciplinares estudados durante o curso. A caixa de transmissão com engrenagens planetárias foi desenvolvida de forma a obedecer a uma concepção didática que pudesse atender além da graduação, também ao ensino técnico. A performance da caixa de transmissão foi avaliada de acordo com sua eficácia na transmissão e atendimento à relação de transmissão determinada. Este artigo tem por objetivo relatar o desenvolvimento do projeto, avaliando as soluções propostas pelos alunos, as características construtivas e os passos para o correto dimensionamento do protótipo. Numa observação geral dos resultados apresentados, verificou-se que a atividade trouxe experiências singulares para cada aluno, resultando num crescimento de sua aprendizagem, pois, a união dos conhecimentos multidisciplinares teóricos e práticos contribuem para a formação profissional do acadêmico.*

Palavras-chave: ABP. Ensino de Graduação. Engrenagens planetárias.

1 INTRODUÇÃO

A disciplina de Mecanismos e Sistemas Mecânicos aborda diferentes tipos de mecanismos aplicados à transmissão de movimentos e força, assim como suas características, aplicações, processos de fabricação e, principalmente, o dimensionamento dos mesmos. Essa ementa, tem por finalidade capacitar o acadêmico a idealizar projetos de dispositivos mecânicos, sistemas de transmissão de potência, sistemas de transmissão de movimentos, etc., analisando as necessidades de cada sistema e prevendo os tipos de falhas.

No empenho de se encontrar alternativas que despertem o interesse do acadêmico aliada ao estímulo pela inovação, as ferramentas de metodologias ativas despontam como uma opção. E dentre elas, a aprendizagem baseada em problemas (ABP) ganha destaque, propiciando ao aluno desenvolver sua capacidade crítica e oportunidade de solucionar um problema autêntico ou simulado, dentro de uma determinada situação. Esse método oferece ainda, suporte ao conteúdo debatido em sala de aula.

Diante disso, o presente trabalho busca fazer uma análise de aplicação dessa metodologia na disciplina de Mecanismos e Sistemas Mecânicos no curso de Engenharia Mecatrônica da faculdade SATC.

Fundamentado nessa proposição, foi proposto aos alunos a elaboração de um projeto que envolvesse os assuntos presentes na ementa do curso, como sistemas de transmissão, cálculo de relação de transmissão aplicados a trens de engrenagens planetários bem como a utilização dos conhecimentos adquiridos durante o curso como a utilização de software CAD para modelamento.

Este estudo discute sobre a construção de um protótipo de caixa de transmissão com dois estágios, utilizando trens de engrenagens planetárias, com a finalidade de demonstrar as etapas de dimensionamento, projeto e montagem. Foi adotado este mecanismo, que mesmo de forma simplificada, envolve uma série de conceitos estudados na disciplina.

Os protótipos desenvolvidos, posteriormente serão utilizados como ferramentas didáticas para aplicação em aulas aplicadas ao conceito deste tipo de sistema de transmissão e relações de transmissão.

Será apresentada na seção 2, a ABP e sua aplicabilidade na terceira fase da disciplina de Mecanismos e Sistemas Mecânicos no curso de Engenharia Mecatrônica da faculdade SATC. Na seção 3, será apresentado as características dos sistema de transmissão por engrenagens e os trens de engrenagem planetários. Na seção 4 são apresentados os resultados obtidos com o protótipo das caixas de redução, na Seção 5, as considerações finais e por fim, as referências bibliográficas.

2 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS APLICADA A DISCIPLINA DE MECANISMOS E SISTEMAS MECÂNICOS

A metodologia de ensino e aprendizagem ABP ou PBL (do inglês, *Problem Based Learning*) foi adotada inicialmente na Universidade de McMaster localizada no Canadá (SALES *et al.*, 2013).

A ABP é caracterizada por ser um método centralizado no aluno, onde o professor atua como intermediador, tutor da discussão e trabalhando em grupos pequenos. A integração entre o tutor e o grupo pequeno de alunos fortalece os conceitos técnicos, além de produzir habilidades interpessoais e melhorar a relação entre professores e alunos (RIBEIRO, 2016).

A estrutura da ABP segue as seguintes etapas (SOUZA, 2011 e CORRÊA *et al.* 2013):

1. Esclarecimento: Leitura da situação-problema e elucidação dos termos ou expressões desconhecidas que geram dúvidas. Nesta etapa, as dúvidas são esclarecidas.
2. Definição do problema: Identificação e definição do problema proposto, e formulação do melhor caminho para a busca da solução, sem procurar sua causa e consequência.
3. Análise do problema: nesta etapa o grupo discute suas ideias, compartilhando conhecimentos prévios e apresentando informações consideradas relevantes para entendimento do problema.
4. Resumo das etapas anteriores: comparação entre as ideias para resumir a discussão, considerando os problemas encontrados. Reunindo os conhecimentos prévios do grupo e esquematizando as hipóteses levantadas.
5. Formulação dos objetivos de aprendizagem: nesta etapa é feita a identificação dos assuntos que podem ser usados para a resolução do problema, de acordo com os estudos das etapas anteriores. Cada aluno pode apontar algum interesse pessoal ou investigar algum assunto específico.
6. Estudo individual ou busca de informações: análise individual sobre os assuntos levantados na etapa anterior. O professor pode recomendar uma bibliografia básica, mas o aluno deve buscar outras fontes de informação e compartilhá-las com o grupo.
7. Discussão em grupo: reunião das informações obtidas para resolver a problemática, estruturando a solução de acordo com os conhecimentos adquiridos na fase individual.

O professor deve estar presente para intervir e auxiliar caso exista algum ponto questionável ou interpretação equivocada.

Essa ferramenta da Metodologia Ativa foi idealizada para que o educando tenha oportunidade de desenvolver a sua habilidade de investigação, praticando-a de forma sistemática e metódica. Isso lhe permite aprender a trabalhar em grupo cooperativo e atingir os resultados da pesquisa de forma satisfatória e complementando sua aprendizagem individual (SOUZA E DOURADO, 2015).

O legado mais significativo da ABP, é a capacidade de conceder ao aluno, competências, habilidades e atitudes que vão além de compreender novos conteúdos e compreensão de fenômeno físicos ou sociais. A sociedade laboral do século XXI exige atitudes como o trabalho em grupo, proatividade, busca de soluções criativas, admitir a falta de conhecimento sobre um assunto e pesquisar para a descoberta deste, e estudar para aprender e não para obter a nota (CASTELAN, 2018).

Na “Figura 1”, podemos observar os elementos vinculados às práticas pedagógicas orientados como metodologia ativas de ensino. Essas qualidades se inter-relacionam e são indissociáveis no ambiente de ensino guiado pelo método ativo (DIESEL, 2016).

Figura 1: Características das metodologias ativas de ensino



Fonte: Diesel, 2016

Na Faculdade SATC a metodologia do ABP vem sendo implementada gradualmente, baseada nas conclusões observadas por estudos que mostram a necessidade de uma mudança no modo de ensino. No momento em que a revolução digital nos permite o acesso onipresente à informação, e a mera retransmissão de conhecimentos já não faz mais sentido dentro da sala de aula, o conhecimento memorizado abre espaço para a busca e construção do conhecimento para a resolução de problemas.

3 PRINCÍPIO E CONCEITO DE TRENS DE ENGRENAGEM

Nos mecanismos, a transmissão ou transformação de movimento pode ser realizada de duas formas distintas, nomeadamente por contato direto ou por ligação intermédia (FLORES E CLARO, 2007). No primeiro caso, o movimento é promovido pelo contato entre as superfícies dos órgãos motor e movido. Neste grupo incluem-se, por exemplo, os sistemas de transmissão por rodas de atrito, as engrenagens e os mecanismos do tipo came-seguidor.

Vários são os critérios que permitem classificar as engrenagens mais comumente utilizadas em máquinas e mecanismos. Um dos principais critérios de classificação das engrenagens tem a ver com a disposição relativa dos eixos das rodas (CUNHA, 2008). Assim, três grupos podem ser distinguidos, são eles:

- Engrenagens cilíndricas, quando os eixos de rotação são paralelos,
- Engrenagens cónicas, quando os eixos de rotação são concorrentes,
- Engrenagens torsas, quando os eixos de rotação não são coplanares.

Um segundo critério, utilizado na classificação das engrenagens, é o que considera a forma dos dentes. Costumam distinguir-se os seguintes tipos (HENRIOT, 1979):

- Engrenagens de dentes retos,
- Engrenagens de dentes helicoidais,
- Engrenagens de dentes espirais.

Por fim um terceiro critério de classificação das engrenagens é o que considera a posição relativa dos centros instantâneos de rotação. Assim, conforme o centro instantâneo de rotação se situe, ou não, entre os eixos de rotação das rodas, as engrenagens podem ser:

- Exteriores
- Interiores

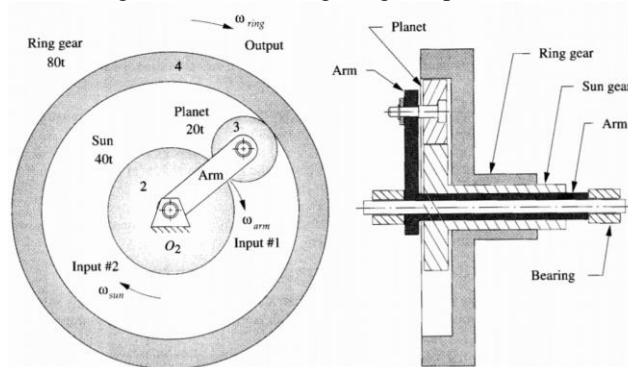
Em geral, as engrenagens interiores permitem distâncias menores entre os eixos das rodas. Ao contrário das engrenagens exteriores, nas engrenagens interiores, as rodas dentadas rodam no mesmo sentido. As rodas com dentado interior são normalmente utilizadas em sistemas de engrenagens planetárias, quando há limitação de espaço ou quando se pretende proteger os dentes (JUVINALL E MARSHEK, 2006).

Trem de engrenagem são duas ou mais rodas dentadas que estão interligadas entre si. O trem de engrenagem simples é aquele onde cada eixo têm somente uma engrenagem, este modelo usualmente é utilizado tanto para pequenas relações de transmissão quanto para relações maiores, identificam-se por terem pelo menos um par de engrenagens que são transportadas pelo mesmo eixo (MESQUITA, 2016).

Já os trens de engrenagem epicíclicos, ou mais conhecidos como planetários, possuem uma ou mais engrenagens que são montadas em eixos, movimentando-se relativamente ao sistema. Este sistema possui mais que um grau de liberdade, compondo sistemas com várias entradas e saídas, exemplificando as transmissões automáticas de automóveis e bicicletas (NORTON, 2012). Os trens epicíclicos, possuem inúmeras vantagens sobre os trens convencionais, dentre elas podemos citar a obtenção de razões de trem maiores em pacotes menores, a reversão garantida e saídas simultâneas, concêntricas, bidirecionais. Na "Figura 2" temos o modelo de um trem de engrenagens epicicloidial, onde o mesmo possui uma engrenagem anel, acoplada a engrenagem planetária, onde a planetária é utilizada como sendo um membro de saída de

movimento. Podemos observar que a engrenagem solar e a engrenagem anelar e o braço estão todos como eixos concêntricos vazados, onde cada um deles pode ser acessado para utilização da sua velocidade angular e torque, tanto na entrada como na saída (NORTON, 2013).

Figura 2: Trem de engrenagem epicicloidal



Fonte: Norton, 2013

Os trens de engrenagem epicicloidal tem grande aplicação na construção de redutores de velocidades. De uma forma ampla redutores de engrenagem tipo planetários são sistemas com uma ou mais engrenagens, chamadas de planetas, girando em torno de uma engrenagem central chamada sol. Os planetas são montados sobre uma gaiola ou porta planetas que podem girar em relação ao sistema sol, o sistema planetário pode incorporar também uma engrenagem com dentes internos à carcaça denominada engrenagem externa, que engrena com os planetas (ANDRADE SÓ, 2009).

Geralmente essa forma construtiva é escolhida, pois proporciona:

- Alta capacidade de transmissão de torque;
- Grandes relações de redução;
- Construção compacta;
- Equipamento robusto;
- Permite combinações com outros redutores.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO EPICICLOIDAL

A opção por esse equipamento surgiu da necessidade de demonstrar na prática, os conceitos de transmissão de movimento e potência, aplicação de trens de engrenagem planetária, cálculo da relação de transmissão deste tipo de trem de engrenagens e outros conteúdos vistos na disciplina em questão e também visando a integração de conteúdos trabalhados isoladamente em outras disciplinas.

Primeiramente foram definidos os grupos, tendo duas equipes composta com 3 integrantes e uma equipe composta com 4 integrantes, em uma turma com 10 alunos. Seguindo os conceitos da ABP, foi proposto aos alunos a fabricação de um protótipo de sistema de transmissão com dois estágios utilizando engrenagens epicicloidal (planetárias). O protótipo não teve dimensionamento máximo ou mínimo estipulado, ficando a critério da equipe definir o dimensionamento com base nas relações de transmissão aplicadas. O material base de fabricação dos protótipos foi definido como MDF, ficando a critério da equipe a escolha e utilização de outros materiais na construção dos protótipos.

Além dos dados do projeto, os acadêmicos receberam um cronograma estabelecendo as fases do projeto e lista de materiais.

O cronograma estabeleceu o prazo para apresentação dos projetos, que deveria ser encerrado no final do semestre. Os alunos tiveram então o prazo aproximado de um mês para conclusão do trabalho, de forma que ainda sobrassem duas semanas para eventuais correções ou melhorias.

Semanalmente cada equipe apresentava o andamento dos trabalhos, expondo as dificuldades encontradas, e discutidas pela classe com reflexões mediadas pelo professor. Na fase inicial do debate, incentivando a troca de experiências e ativação de conhecimentos prévios dos alunos, observou-se a importância das competências adquiridas em outras disciplinas.

Ainda na fase preliminar foram abordados temas discutidos nas disciplinas de metrologia, desenho técnico, e software de CAD, estabelecendo ligações que contribuíram como ferramentas e como recursos para dar fundamentação às hipóteses levantadas para resolver a problemática proposta.

Esse conhecimento prévio também serviu como fundamento no confronto de novas ideias e na busca por conhecimentos ainda não discutidos, mas que seriam indispensáveis no projeto, como levantamento das características de movimentação, relação de transmissão, dimensionamento e processos de fabricação. Essa aprendizagem interdisciplinar e cooperativa foi essencial no prosseguimento da metodologia empregada,

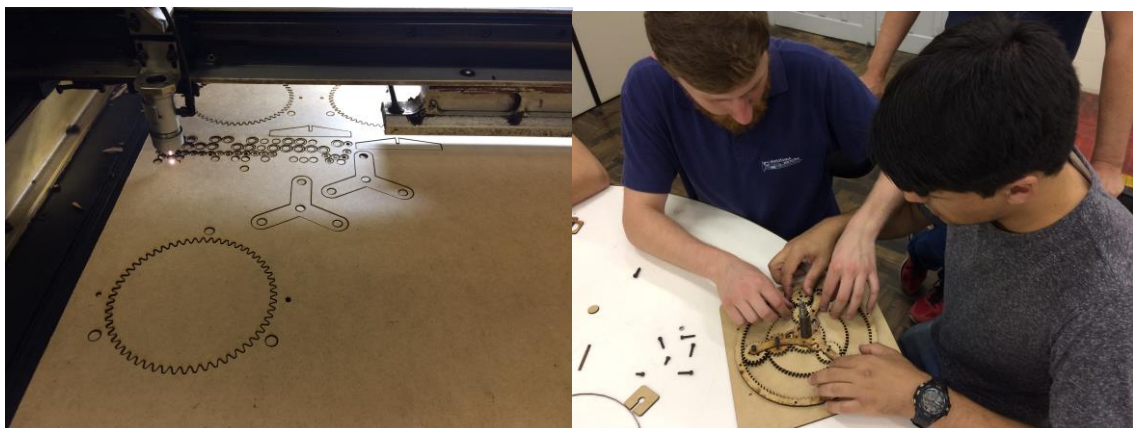
Após a argumentação, cada grupo fazia uso da literatura disponível e passou a esboçar os primeiros traços para colocar em prática suas idealizações.

Na fase do dimensionamento do conjunto, as equipes seguiram os seguintes passos:

- Estabelecer a relação de transmissão;
- Estabelecer as condições de montagem;
- Realizar o dimensionamento das engrenagens;
- Elaborar os desenhos técnicos e simular o funcionamento via *softwares*;
- Dimensionamento do sistema de acionamento mecânico;

No desenvolvimento do protótipo, as equipes fizeram uso de software CAD 3D para elaboração dos desenhos técnicos, simulação de montagens e validação dos dimensionamentos. Isso permitiu um progresso significativo do detalhamento do projeto para então realizar o corte laser no laboratório de prototipagem da Faculdade SATC, o PRONTO 3D, conforme podemos observar na “Figura 3”.

Figura 3: Corte a laser das peças em MDF e montagem dos protótipos



Fonte: Do autor

A relação de transmissão foi decisão de cada equipe, baseando-se nas velocidades de entrada e saída, considerando uma velocidade determinada na entrada e tendo como uma necessidade de rotação pré-estabelecida pela equipe como saída.

Para o desenvolvimento dos cálculos da relação de transmissão primeiramente foi aplicado a equação geral das velocidades de acordo com a "Equação (1)", "Equação (2)" e "Equação (3)" dependendo da forma construtiva de cada projeto:

$$-\frac{N_s}{N_r} = \frac{W_r - W_c}{W_s - W_s} \quad (1)$$

Onde:

N_s = numeros de dentes SOLAR
 N_r = numeros dentes ANELAR
 W_r = velocidade angular ANELAR
 W_c = velocidade angular BRAÇO
 W_s = velocidade angular SOLAR

$$b = \frac{N_s}{N_r} \quad (2)$$

Onde:

b = razão basica
 N_s = numeros de dentes SOLAR
 N_r = numeros dentes ANELAR

$$W_r + (b - 1)W_c - bW_s = 0 \quad (3)$$

Onde:

b = razão basica
 W_r = velocidade angular ANELAR
 W_c = velocidade angular BRAÇO
 W_s = velocidade angular SOLAR

De posse dos dados da relação de transmissão necessária para atender a redução/ampliação proposta pela equipe, foi então necessário o dimensionamento das engrenagens. Primeiramente dimensionou-se as engrenagens solar e planetária definindo diâmetro primitivo, passo, espessura, diâmetro interno, diâmetro externo, e altura dos dente. Posteriormente dimensionou-se a engrenagem externa (coroa) também se obtendo diâmetro primitivo, passo, espessura, diâmetro interno, diâmetro externo, e altura dos dente.

Com os valores calculados foi possível realizar o projeto em software CAD para as devidas simulações e encaminhamento para fabricação das engrenagens por corte a laser no laboratório de prototipagem da faculdade SATC.

Com as peças já fabricadas iniciou-se a montagem, cada equipe pode então executar conforme o planejamento cada etapa definida para esta operação. Ocorreram nesta etapa averiguações de problemas no projeto não previstas antecipadamente, necessitando da retificação do projeto bem como a fabricação de novas peças.

Após a finalização, foram realizados alguns testes de desempenho com o equipamento em funcionamento para avaliação do comportamento de sua estrutura, confirmação da capacidade de transmissão, atendimento da relação de transmissão estipulada e possíveis correções e melhorias.

Como resultado foram obtidas três concepções de sistemas de transmissão diferentes, conforme mostra a “Figura 4”.

Figura 4: Protótipos finalizados



Fonte: Do autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia de ensino ABP empregada na formação do acadêmico simulando situações de problemáticas do cotidiano industrial, tanto para projeto quanto para processos de fabricação, se mostrou bastante pertinente no ensino da disciplina de Mecanismos e Sistemas Mecânicos.

O protótipo proposto, embora de caráter didático-pedagógico, envolveu uma série de conceitos que incentivaram os acadêmicos a desenvolver um equipamento funcional e que atendesse as características definidas no início do projeto, sendo desta forma um projeto personalizado.

A atividade se mostrou ainda bastante interessante mesmo após o projeto finalizado, onde os alunos puderam observar sugestões de melhorias e algumas correções, trocar experiências e relatar as facilidades, dificuldades e métodos transcorridos durante a execução do projeto. Ainda a atividade se mostrou uma excelente ferramenta para motivar e exercitar o trabalho em equipe, assim como discussões e aplicação de técnicas como o *brainstorming*.

Os protótipos construídos ficaram à disposição para aprimoramentos, pesquisa e atividades voltadas à formação acadêmica e técnica, bem como para a utilização em novos ABP's de outras disciplinas, sobretudo, na área de sistemas de transmissão.

Visto o resultado e a interação dos acadêmicos com a atividade proposta, nota-se a importância de diferentes metodologias no processo ensino-aprendizagem, visando uma formação de forma abrangente bem como o desenvolvimento de competências relacionadas ao perfil do egresso.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Faculdade SATC pelo apoio na elaboração do projeto e no envio do artigo ao Cobenge 2019.

REFERÊNCIAS

ANDRADE SÓ, Augusto C., **Aumento da Confiabilidade Através de Técnicas Preditivas em Redutores Planetários com Baixa Rotação de Saída**, Araraquara, Power Motion do Brasil Ltda., 2009.

CASTELAN, Jovani.; BARD, Rosimere. Implementação das metodologias ativas de aprendizagem nos cursos presenciais de graduação. **Revista Vincci**, Criciúma, v.3, n.1, p. 2-22, 2018.

CORRÊA, N. R. *et al.* Experiência baseada em problemas na disciplina ciência dos materiais do curso de engenharia ambiental. In: XLI - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. ABENGE. 2013, Gramado. **Anais**.

CUNHA, L.V. **Desenho Técnico**. 14ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian. 2008

DIESEL, Aline; MARCHESAN, Michele R.; MARTINS, Silvana. N. Metodologias Ativas de Ensino na Sala De Aula: Um Olhar de Docentes da Educação Profissional Técnica de Nível Médio. **Revista Signos**. Lajeado, n. 1, p. 153-169, 2016.

FLORES, P., CLARO, J.C.P. **Cinemática de Mecanismos**. Edições Almedina, Coimbra. 2007

HENRIOT, G. **Traité Théorique et Pratique des Engrenages**. Editora Dunod. 1979

JUVINALL, R.C., MARSHEK, K.M. **Fundamentals of Machine Component Design**. John Wiley and Sons, New York. 2006

MESQUITA, Vinícius do Amaral; MILLI, Giovanni Vitor. **Projeto de Caixa de Transmissão por Engrenagens do Tipo Epicicloidal Para Veículo Baja SAE**. Vitória. 2016

NORTON, R.L. **Machine Design**. Pearson Education, New York. 2013

NORTON, R.L. **Design of Machinery: Na Introductio to the Syntesis and Analysis of Mechanisms and Machines**. McGrawhill, 5ª edição. 2012

RIBEIRO, Bruno. C. D. **O método de ensino Problem Based Learning e suas aplicações no curso de engenharia bioquímica da escola de engenharia de Lorena**. 53 f. Monografia. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena. USP: Lorena, 2016.

SALES, André B.; DEL, Arthur de M.; SALES, Márcia B. Avaliação da Aplicação da Aprendizagem Baseada em Problemas na Disciplina de Interação Humano e Computador de curso de Engenharia de Software. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v.11, n.3, 2013.

SOUSA, Sidnei O. Aprendizagem baseada em problemas (PBL – Problem-based learning): **estratégia para o ensino e aprendizagem de algoritmos e conteúdos computacionais**. 29 f. Tese (Mestrado). Faculdade de ciências e tecnologia UNESP. 2011

SOUZA, Samir C; DOURADO Luis. Aprendizagem baseada em problemas (PBL): Um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo, **HOLOS**, Rio Grande do Norte, vol. 5, n. 31, 2015.

CONSTRUCTION OF A PROTOTYPES OF EPICICLE TRANSMISSION SYSTEMS THROUGH PROBLEM-BASED LEARNING

Abstract: *This paper presents an alternative approach to the subjects included in the Mechanics and Mechanical Systems discipline in the course of Mechatronics Engineering. The proposed construction of a prototype of epicycle transmissions systems was part of the use of the PBL (Problem Based Learning) and aimed at the union of the multidisciplinary concepts studied during the course. The gearbox with planetary gears was developed in order to obey a didactic concept that could meet beyond graduation, also to technical education. The performance of the transmission box was evaluated according to its efficiency in the transmission and attendance to the determined transmission ratio. This article aims to report the development of the project, evaluating the solutions proposed by the students, the constructive characteristics and the steps for the correct sizing of the prototype. In a general observation of the presented results, it was verified that the activity brought unique experiences for each student, resulting in a growth of their learning, because, the union of the multidisciplinary theoretical and practical knowledge contribute to the professional formation of the academic.*

Keywords: *PBL. Undergraduate teaching. Planetary gears.*