



A HISTÓRIA DA MECÂNICA E SEU PAPEL NA FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO

Antonio Carlos Bannwart

Departamento de Energia

Euclides de Mesquita Neto

Departamento de Mecânica Computacional

Franco G. Dedini

Departamento de Projeto Mecânico

Rubens Caram

Departamento de Engenharia de Materiais

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Faculdade de Engenharia Mecânica - FEM

Cx. P. 6122 – 13083-970 – Campinas, SP - Brasil

***Resumo.** Este trabalho descreve uma iniciativa, em fase experimental, de uma disciplina em "História da Mecânica". A proposta é apresentar, em uma única disciplina, a evolução das idéias das ciências mecânicas, químicas e elétricas sob uma perspectiva histórica. Procura-se seguir uma abordagem tanto quanto possível factual, visando mostrar aos alunos como se chegou aos princípios fundamentais da mecânica. Além disso, propõe-se também apresentar uma pequena história das invenções mecânicas, com o fim de elucidar as relações entre ciência e tecnologia. Os alunos foram chamados a participar da disciplina, montando e testando pequenos experimentos e máquinas, bem como realizando pesquisa bibliográfica histórica acerca dos mesmos. Apresentamos aqui a estrutura da disciplina em sua primeira versão, a sistemática de aulas e trabalhos adotada, e os resultados da avaliação feita pelos alunos.*

***Palavras-chave:** Ensino de engenharia, Currículo e formação do engenheiro, História da Mecânica.*

1. INTRODUÇÃO

A motivação subjacente à idéia de se tentar criar um curso com elementos de História da Mecânica para alunos no início de uma graduação em Engenharia Mecânica salta à vista de todos nos dias de hoje. Embora mudanças de padrão tecnológico tenham acontecido regularmente ao longo da história, a velocidade com que estas mudanças têm ocorrido nos últimos anos e a perspectiva de sua aceleração no futuro próximo colocam a questão de como ensinar e educar de forma que os alunos, os engenheiros, enfim as pessoas, não se tornem

rapidamente obsoletas no que tange à sua formação profissional, à sua capacidade de intervir no mercado de trabalho e também na sociedade.

A visão que informa esta experiência é a idéia de que os engenheiros necessitam possuir um conhecimento técnico operativo, ou seja, devem ser capazes de manipular as ferramentas e técnicas atualmente disponíveis e utilizadas na prática de engenharia. Mas também é necessário entender que estas mesmas ferramentas têm sido alteradas ou substituídas com rapidez crescente. Assim, quanto mais próxima a formação dos engenheiros for da prática cotidiana da engenharia, maior é o risco de obsolescência precoce do profissional. Se por um lado o engenheiro necessita ser capaz de manipular e operar as ferramentas do cotidiano, também é verdade que ele necessita ser criativo e capaz de alterar estas mesmas ferramentas, e freqüentemente ser capaz de realizar alterações radicais em métodos, técnicas e processos. Isto só é viável se o profissional perceber mais do que as ferramentas práticas do cotidiano. É necessário que o profissional possua uma mobilidade nas técnicas, conceitos e princípios sobre os quais a prática de engenharia está construída.

A atividade de educar e formar um engenheiro passa por esta tarefa dupla. De um lado fornecer elementos para a execução da prática da engenharia cotidiana, de outro fornecer os elementos que viabilizem uma mobilidade criativa que deve estar embasada em métodos e princípios mais perenes, não sujeitos à obsolescência existente na atual dinâmica da indústria e do mercado.

Embora o conhecimento tecnológico tenha se ampliado exponencialmente nos últimos anos, as leis da física que regem os fenômenos e os processos tecnológicos são constituídas ou decorrentes de um número limitado de princípios, que no âmbito da mecânica (física) clássica, são perenes. Fornecer mobilidade criadora aos estudantes e engenheiros é fornecer uma visão da engenharia como construída a partir de uma base perene constituída de poucos princípios unificadores e também ensiná-los a aplicar estes princípios criativamente.

Estes princípios que formam o corpo da mecânica clássica, e que não são passíveis de tornarem-se obsoletos são, em geral, o resultado de uma longa e intrincada história cultural. Os princípios são concisos e conceitualmente bastante fortes mas a compreensão destes e a capacidade de aplicá-los é freqüentemente um processo trabalhoso e difícil. Os autores deste trabalho entendem que uma compreensão da história do surgimento destes princípios, de um entendimento das questões, desafios e problemas colocados aos pesquisadores do passado e cuja solução desembocou na criação dos princípios da mecânica clássica, além de fornecer uma visão unificadora que possibilita superar a aparente fragmentação atual do conhecimento técnico, permitem também ao aluno se apropriar com mais facilidade dos conceitos envolvidos nos princípios e, eventualmente, ganhar uma visão mais abrangente da graduação que estão cursando.

Esta é a visão compartilhada pelos autores desta experiência de disciplina de graduação, cuja dinâmica envolveu ainda outros aspectos além de uma exposição da história dos conceitos. A exposição, em uma disciplina, da histórica da evolução dos conceitos das ciências mecânicas, elétricas e químicas foi realizada com auxílio de filmes didáticos, em particular da série "Mechanical Universe" do Caltech. Além das aulas sobre evolução dos conceitos foi apresentada uma breve história das invenções mecânicas, na tentativa de iniciar um entendimento das relações entre ciência e tecnologia.

Outra iniciativa que foi incorporada ao curso foi o desenvolvimento, pelos alunos, de pequenos experimentos ou máquinas que tiveram algum significado histórico. A idéia era levar os estudantes a fazerem uma pesquisa bibliográfica a respeito do experimento ou máquina a ser reproduzida bem como levá-los a tentar um entendimento dos princípios subjacentes ao funcionamento dos mesmos. Estas máquinas e experimentos foram construídos e apresentados no final do curso no âmbito de uma pequena feira.

Na seqüência estão apresentados em mais detalhes a estrutura da disciplina, a dinâmica das aulas, um relato dos projetos e da feira realizada no final do curso e uma discussão sobre a avaliação que os alunos fizeram desta proposta de disciplina.

2. ESTRUTURA DA DISCIPLINA

Conceber uma linha de conduta, ou melhor, uma estrutura que permitisse introduzir a graduandos em engenharia uma perspectiva histórica dos eventos e fatos que culminaram no estabelecimento da história da mecânica, mostrou-se uma tarefa pouco simples. Habitado a examinar eventos concretos e de forma cartesiana, o aluno ou mesmo o profissional das ciências exatas não se utiliza, freqüentemente, de uma visão filosófica dos fatos, nem tampouco tem clara ou valoriza a perspectiva histórica que, envolvendo conceitos científicos, resultou no desenvolvimento tecnológico. Em geral, esse aluno está ciente de conceitos técnicos, mas falta-lhe uma visão de conjunto, muitas vezes possível a partir da visão histórica que proporcionou tal descoberta ou progresso científico.

O estabelecimento dessa conduta revelou-se complexo à medida que o relato e discussão de temas poderia seguir, individualmente ou não, uma abordagem cronológica dos fatos, ou uma descrição dos fatos em função de sua relevância, ou ainda, a introdução de personagens históricos ligados a eventos científicos importantes. Apesar de considerarmos que a escolha de uma única dessas abordagens poderia atingir, parcialmente ou não, os propósitos da disciplina, constatamos que o tratamento dos temas somente poderia ser completo com a combinação dos três aspectos.

Em vista dessas considerações, optou-se por uma estrutura que partisse das teorias introduzidas pelos gregos há mais de 2.000 anos, abordasse os progressos experimentados no século XV, que resultaram na concepção da mecânica clássica e que terminasse na mecânica moderna, definida como quântica, atualmente aceita. Dadas essas considerações, a estrutura concebida foi seguinte:

1. Dos gregos a Copérnico;
2. As descobertas científicas de Galileo;
3. A descoberta do cálculo por Newton e Leibniz;
4. Desenvolvimento das leis de conservação: quantidade de movimento linear, quantidade de movimento angular, energia;
5. Desenvolvimento da termodinâmica: descoberta da 2ª lei da termodinâmica,
6. e extensão da conservação da energia - trabalhos de Sadi Carnot e Joule;
7. A mecânica clássica na visão do contínuo: conceito de tensor e expressão das leis de conservação, trabalhos de Euler e Cauchy;
8. Desenvolvimento do eletromagnetismo: Gauss, Oersted, Ampère, Faraday, Weber;
9. Ondas mecânicas e eletromagnéticas – equações de Maxwell;
10. Evolução posterior: relatividade e mecânica quântica (dualidade onda-partícula);
11. Pequena história das invenções mecânicas.

Em geral, a descoberta ou explicação de um fenômeno é resultado de esforços incessantes, conjugados com sucesso e fracasso. Na história da mecânica, esse fato também é verdadeiro. Uma nova concepção de mecânica foi iniciada com a revolução provocada por Copérnico que, ao retirar a Terra do centro do Universo e colocá-la sob a influência do Sol, desprezou a antiga astronomia Aristotélica, concebida quase 2.000 anos antes. Essa nova forma de observar o universo, onde leis mecânicas bastante precisas regem os fenômenos, permitiu que Newton estabelecesse os princípios da mecânica clássica. Certamente, um fato importante no

estabelecimento desses princípios foi a conclusão de Galileo, que os corpos caem no vácuo com a mesma aceleração, independente de suas massas, o que gerou um nova maneira de observar a natureza.

A tentativa de explicar uma série de fenômenos foi limitada, inicialmente, pela falta de ferramentas matemáticas que permitissem não apenas avaliar fenômenos, como também prevê-los. Essa necessidade acabou por inserir o “cálculo”, descoberto por Newton e Leibniz, dentro da história, o que foi motivo de muita controvérsia.

O princípio que dita que a energia nunca é criada ou destruída, mas transformada, pode ser visto como um evento impulsionador do progresso das ciências mecânicas. Associados a esses princípios seguiram-se outros princípios fundamentais, ligados à conservação da matéria, à conservação da quantidade de movimento linear, à conservação da quantidade de momento angular, à conservação da carga elétrica e às restrições da 2ª Lei da Termodinâmica.

Embora a conservação da energia mecânica já fosse conhecida desde a época de Newton, a forma atualmente aceita do princípio de conservação da energia (ou Primeiro Princípio da Termodinâmica) só foi descoberta em 1840 por Joule, que mostrou que o calor é uma forma de transferência de energia equivalente a trabalho. Por ser um princípio de conservação, o Primeiro Princípio autoriza a total conversão de calor em trabalho e diversos outros processos que ferem a experiência cotidiana. Mas já em 1824, Carnot havia demonstrado a impossibilidade de converter integralmente calor em trabalho em qualquer máquina cíclica, por melhor que fosse.

Da mesma forma que a melhor roda d'água seria aquela capaz de elevar a água de volta a sua altura original, Carnot mostrou que a melhor máquina a vapor seria aquela reversível. A eficiência dessa máquina está irremediavelmente limitada pela necessidade de rejeitar calor a um segundo corpo, mais frio, e só o restante é convertido em trabalho. Este é o Segundo Princípio da Termodinâmica.

O estabelecimento da mecânica clássica não era suficiente para compreender a natureza. Assim, ocorreram as descobertas de Faraday sobre os campos elétrico e magnético, de Franklin sobre a carga elétrica, ou de Ampère, Gauss e Maxwell sobre o campo magnético. Da mesma forma que a descoberta da máquina a vapor engendrara a Revolução Industrial e o desenvolvimento da termodinâmica, a descoberta do eletromagnetismo mostra um importante exemplo da transformação de alguns experimentos e teorias em uma indústria de grande escala, que surgiu graças às ações de pioneiros como Edison.

Pode-se afirmar que a primeira revolução das ciências mecânicas foi iniciada por Copérnico sobre a mecânica do Universo. A segunda revolução foi estimulada pelas descobertas de Bohr sobre a constituição da matéria, que resultaram na proposição do modelo atômico. Apesar do conceito de átomo ter surgido na antiga Grécia, apenas no século XX o mesmo foi melhor compreendido. Essa compreensão é fundamentada, principalmente, nos conceitos de dualidade onda-partícula, estudados pelo próprio Bohr, por Einstein, Heisenberg e Schrödinger. Nessa nova mecânica, partículas podem ter o comportamento de ondas e ondas podem comportar-se como partículas.

3. DINÂMICA DAS AULAS E CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO

Despertar o interesse dos alunos, antes de tudo foi um desafio aos responsáveis pela disciplina. O início desse processo envolveu a divulgação da idéia de uma disciplina de caráter histórico, feita através de um primeiro contato com potenciais alunos, onde foi relatada a motivação e exibido um filme de relevância nos estudos das ciências mecânicas. Essa iniciativa resultou em um número de interessados superior ao previsto.

A abordagem utilizada na aulas foi basicamente a mesma empregada por ocasião da divulgação, ou seja, a apresentação de um filme sobre o tema escolhido, seguida de uma palestra sobre o assunto, que servia como estímulo a discussões envolvendo alunos e professores. Os temas das aulas, em alguns casos envolviam mais de um filme ou mesmo mais de uma aula.

Associado às aulas, aos alunos foram propostos projetos que permitissem reproduzir uma máquina ou experimento que tivesse tido relevância na evolução das ciências mecânicas. A finalização desses projetos e da própria disciplina consistiu da apresentação desses experimentos em paralelo a sessões de painéis sobre os mesmos, na forma de uma pequena feira. Além disso, os alunos foram requisitados a apresentar uma pesquisa bibliográfica sobre o projeto escolhido, aplicações e outras informações de caráter histórico. A avaliação dos alunos foi feita com base na frequência às aulas e na apresentação dos projetos.

4. A ELABORAÇÃO DOS PROJETOS

Para fortalecer o envolvimento dos alunos com a disciplina, ficou claro que deveriam participar fisicamente da elaboração dos projetos. A questão básica seria exatamente que tipo de projetos seriam adequados e qual o envolvimento desejável e/ou possível dos alunos. Os professores desta disciplina se reuniram previamente e estabeleceram aqueles que seriam os parâmetros básicos de cada projeto, resultando nos valores descritos a seguir:

- Simplicidade material e funcional
- Valor histórico do objetivo
- Representatividade nas áreas da Mecânica
- Capacidade de despertar interesse
- Ênfase no princípio de funcionamento e não na réplica da máquina original

Os projetos podiam ser desenvolvidos por até dois alunos e deveriam conter os seguintes itens:

- a) Título, autor, orientador e data
- b) Resumo
- c) Pesquisa bibliográfica (histórica) mostrando diferentes tipos de dispositivos e suas aplicações; seus inventores e outras informações de caráter histórico
- d) Descrição do dispositivo e seu princípio de funcionamento
- e) O modelo em escala reduzida da máquina /experimento construído, previamente testado e funcionando sem problemas
- f) Referências bibliográficas

O modelo deveria ser simples porém cuidadosamente construído e testado, caso contrário não participaria da feira.

Foram propostos 12 projetos para um total de 22 alunos, estabelecendo-se que projetos mais complexos seriam elaborados por grupos maiores. Alguns dos projetos realizados e exibidos na feira são apresentados a seguir.

Turbina a vapor de Heron. Depois de 150 a.C., o Egito Ptolomaico entrou em decadência, tornando-se uma província romana em 30 a.C. Pode-se deduzir que Heron deve ter nascido em torno de 20 a.C. com o eclipse da Lua em Alexandria, descrito em seus trabalhos, visível, em 62 a.C.. O invento que o tornou famoso consiste em uma esfera oca, na qual estão presos dois

tubos recurvados. Fervendo a água contida na esfera, o vapor escapa pelos tubos, e a esfera gira rapidamente como resultado da lei agora chamada de ação e reação. Trata-se de um processo primitivo de converter a energia do vapor em movimento, e o aparelho pode ser chamado máquina a vapor.

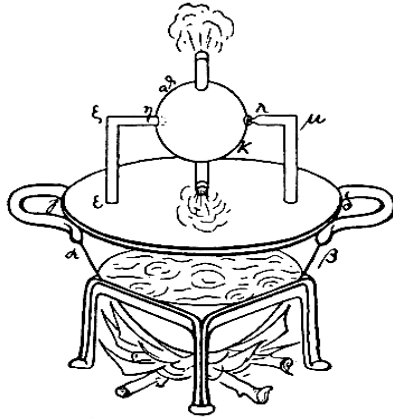


Figura 1 - Turbina a vapor de Heron

Bússola Mecânica Chinesa (Carroça apontadora do Sul). Com poucas referências a Carroça Apontadora do Sul ou Bússola Mecânica apresenta-se como um dos grandes enigmas da ciência. Construída possivelmente entre 3000 a.C. e 1000 a.C., na China, envolve os conceitos do engrenamento e da construção de diferenciais. Como aconteceu em geral com os grandes descobrimentos chineses, o desenvolvimento desta bússola mecânica é tradicionalmente atribuído a um dos primeiros imperadores. Uma descrição construtiva provável foi publicada no livro “The Characteristics of Mechanical Engineering Systems”, de Roy Holmes, publicado em 1977. Esta forma construtiva serviu de base para a construção do modelo mostrado na Fig. 2.

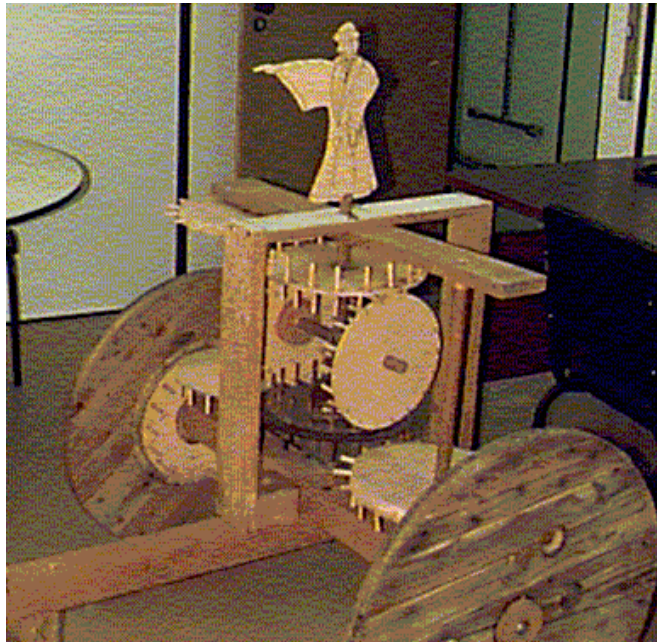


Figura 2 - Bússola mecânica construída durante a disciplina.

Bomba de Parafuso ou Bomba de Arquimedes. Tem seu nome em homenagem àquele que primeiro o descreveu. Supõe-se atualmente que este sistema elevatório de água era usado muito tempo antes do período clássico grego, mas foi Arquimedes que o descreveu pela primeira vez em seus tratados aos quais se referiram Diodorus Siculus e Ateneus. Na forma mostrada na Fig. 3, foi descrita por Vitruvius e utilizada desde Roma até o final da Idade Média, principalmente para a drenagem de navios e minas.

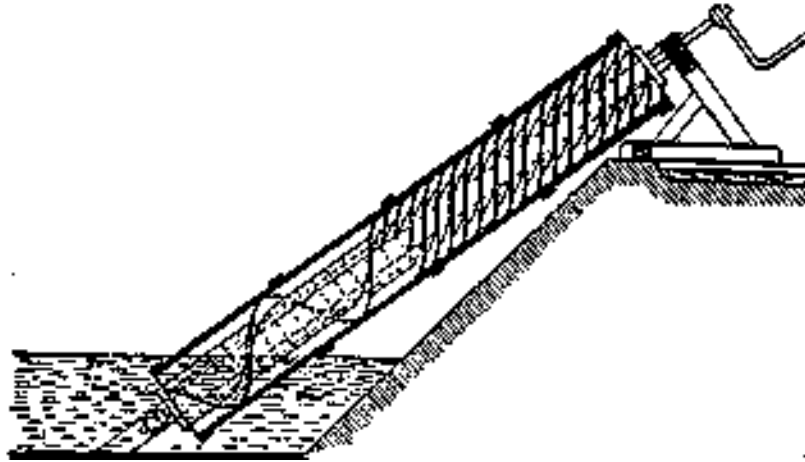


Figura 3 - O Parafuso de Arquimedes.

Fonte de Heron. Esta fonte é também atribuída a Heron de Alexandria. Trata-se de um dispositivo de efeito atmosférico, que, segundo a descrição de Agostino Ramelli (1531-1608), era utilizado como elemento de adorno em festas e jardins, exalando perfumes colocados na água. A Fig. 4 mostra uma versão dessa fonte, construída pelos alunos e apresentada na feira.



Figura 4 – Modelo da Fonte de Heron.

Além destes projetos, foram propostos outros 8, a saber:

- Mecanismo de escape de relógio de Leonardo da Vinci
- Guindaste acionado a martelos de Leonardo da Vinci
- Motor de cilindro oscilante
- Fundamentos dos motores elétricos
- Experimento de Galileu das rampas inclinadas
- Gerador elétrico
- Máquina a vapor de Newcomen
- Mecanismo regulador de Watt (“governador”)

5. AVALIAÇÃO DA DISCIPLINA PELOS ALUNOS

Acreditamos que em toda disciplina, e particularmente numa disciplina em fase experimental de implantação como esta, torna-se muito importante obter dos alunos uma avaliação dos aspectos que auxiliaram ou prejudicaram a assimilação das idéias e conceitos abordados durante o curso.

Com esse objetivo, próximo ao final do curso foi solicitado a cada um dos alunos um comentário anônimo de caráter geral sobre a disciplina, bem como sugestões no sentido de aprimorá-la para as próximas vezes em que for ministrada. Foram coletadas as respostas de 15 dos 22 alunos, e um resumo dos principais comentários é a seguir apresentado.

De uma forma geral, a avaliação foi bastante positiva, tendo o curso contribuído para dar aos alunos uma visão geral das ciências mecânicas e sua evolução histórica. Um aspecto bastante elogiado foi a elaboração e execução dos projetos de máquinas/experimentos pelos alunos, com temas geralmente bem escolhidos e motivadores. Através desses projetos, os alunos puderam também ter uma real noção das dificuldades envolvidas na montagem e funcionamento de um dispositivo, ainda que simples, o que invariavelmente requer espírito crítico e criatividade.

No âmbito das críticas, além do atraso no início das aulas devido a alguns problemas com a infra-estrutura, foi citada a excessiva quantidade de material referente à teoria, apresentado na forma de vídeos da série “Mechanical Universe” (Caltech), em detrimento das aulas destinadas à avaliação do andamento dos projetos. Além disso, o recurso sistemático aos vídeos teria tornado as aulas cansativas e desmotivantes.

Como sugestões de melhoria da disciplina, foram feitas as seguintes:

- Diminuir a quantidade de aulas de vídeo e editar melhor esse material;
- Usar mais o recurso da aula expositiva e debate com os alunos;
- Aumentar o número de aulas voltadas para o acompanhamento dos projetos;
- Focar a disciplina em máquinas ou autores, sem a pretensão de abrangência;
- Apresentação de seminários pelos alunos.

Assim, as sugestões apresentadas são no sentido de uma maior participação dos alunos na disciplina, através de discussões e seminários, além do projeto em si. Essa participação é sem dúvida bastante positiva para o aprendizado e deverá ser incentivada nas próximas oportunidades em que a disciplina for oferecida.

REFERÊNCIAS

- Baron, M. E., 1969, The Origins of the Infinitesimal Calculus, Dover.
- Bixby, W., 1964, The Universe of Galileo and Newton, Harper & Crest.
- Boyer, C. B., 1949, The History of the Calculus and Its Conceptual Development, Dover.
- De Camp, 1993, The Ancient Engineers, Barnes & Noble Books.
- Dugas, R., 1988, A History of Mechanics, Dover.
- Goodstein, D., 1988, Filmes da série "Mechanical Universe", Caltech.
- Holmes, 1977, The Characteristics of Mechanical Engineering Systems, A. Wheaton & Co..
- Mokyr, J., 1990, The Lever of Riches, Oxford Univ. Press.
- Ramelli, A., 1976, The Various and Ingenious machines of Agostino Ramelli, Dover.
- Ronan, C. A., 1987, História Ilustrada da Ciência, Jorge Zahar Ed..
- Usher, A. P., 1982, A History of Mechanical Inventions, Dover.

HISTORY OF MECHANICS AND ITS ROLE IN THE ENGINEERING EDUCATION

Antonio Carlos Bannwart

Departamento de Energia

Euclides de Mesquita Neto

Departamento de Mecânica Computacional

Franco G. Dedini

Departamento de Projeto Mecânico

Rubens Caram

Departamento de Engenharia de Materiais

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Faculdade de Engenharia Mecânica - FEM

Cx. P. 6122 – 13083-970 – Campinas, SP - Brasil

***Abstract.** This work describes a first trial, in experimental stage, of a course on “History of Mechanics”. The aim of this course is to present, at once, the evolution of mechanical, chemistry and electric engineering fields under a historical perspective. The plan is to follow, as much as possible, a factual approach in order to shed some light on the relations between science and technology. The students are asked to take part of this course, building machines or experiments, as well as searching for historical information related to the projects. Here, we present the first version of the course structure, the class methodology, the projects selected, and, finally, the evaluation of the course done by the students.*

Key-words: Engineering education, curriculum, history of mechanics.