



ANÁLISE CRÍTICA DA DISCIPLINA ELEMENTOS DE AERONAVE E DINÂMICA DE VÔO (PME2553) DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA EPUSP

Adson Agrico de Paula – adson@ita.br

Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Divisão de Engenharia Aeronáutica - Departamento de Projeto de Aeronaves
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50
CEP: 1228-900 – São José dos Campos – SP

Universidade de São Paulo
Escola Politécnica da USP (EPUSP) - Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Prof. Mello Moraes, 2231
CEP: 05508-900 – São Paulo – SP

Resumo: *A EPUSP possui em seu curso de engenharia mecânica a ênfase em aeronáutica nos últimos dois semestres do curso. Com o intuito de contribuir de forma decisiva para melhoria no processo de ensino-aprendizagem da disciplina elementos de aeronave e dinâmica de voo (PME2553) da ênfase em aeronáutica, este trabalho tem por objetivo fazer uma análise crítica da disciplina nos vários aspectos de sua estrutura como objetivos da disciplina, projeto pedagógico, bibliografia e estratégias pedagógicas. Dessa forma, serão indicadas possíveis deficiências e sugestões de melhoria no processo pedagógico.*

Palavras-chave: *Ensino, Engenharia aeronáutica, Aerodinâmica, Projeto, Ferramentas pedagógicas*

1. INTRODUÇÃO

O interesse natural de estudantes de engenharia pela aeronáutica e, em particular, pela aerodinâmica, possibilita características singulares no processo de ensino-aprendizagem que envolve disciplinas acadêmicas que abordam este tema (figura 1). Desvendar cientificamente como as “maravilhosas máquinas voadoras” voam, é a motivação imanente e inicial dos estudantes de engenharia. O desejo infantil agora se transforma em potencial de aprendizagem do presente.

Neste sentido, cabe ao educador ter consciência deste potencial juvenil que tem sobre seu controle e transformá-lo em ação educacional. Ensinar aerodinâmica é uma grande oportunidade pedagógica para despertar o conhecimento que está remanescente na curiosidade

natural das pessoas. Estimular a curiosidade passo a passo, a medida que se aprofunda no mundo da aeronáutica, bem como o prazer pelo despertar científico ao desvendar os segredos do voo, é a base pedagógica para educação em aerodinâmica e aeronáutica.



Figura 1 - O fascínio pela avião que vem desde o primeiro voo do 14-bis até os dias atuais com o super jumbo A380.

Há de se destacar também, como oportunidade pedagógica no ensino de aerodinâmica e aeronáutica, a capacidade de disseminar a cultura aeronáutica tanto em uma instituição acadêmica como em seu corpo discente. Neste sentido, o ensino de aerodinâmica na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), entre outros objetivos, visa criar a cultura aeronáutica na escola. Considerando que o Brasil é referência em tecnologia aeronáutica e a missão da EPUSP é de formar engenheiros de concepção para o desenvolvimento tecnológico do país, o educador tem a possibilidade de germinar na escola a cultura aeronáutica para que se forme uma massa crítica preparada para dar suporte aos desafios da engenharia aeronáutica nacional.

Neste contexto de importância do ensino de aerodinâmica em uma escola de engenharia, a disciplina Elementos de Aeronaves e Mecânica de Vôo (PME2553) ministrada no Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo enfatiza seu conteúdo em aspectos que garantam ao estudante o contato e a familiarização com conceitos fundamentais de aerodinâmica, tais como camada limite e sustentação, bem como aspectos basilares que envolvem o projeto aerodinâmico de aeronaves. Aspectos estes, que se desenvolvem relacionando-se com questões de baixa e alta velocidade da aeronave para o projeto. Adicionalmente, a abordagem multidisciplinar conduzida durante a totalidade do curso dá uma visão da realidade prática do projeto no âmbito da engenharia aeronáutica na indústria.

No intuito de contribuir de forma decisiva para melhoria no processo de ensino-aprendizagem da disciplina PME2553, este artigo tem por objetivo fazer uma análise crítica da disciplina nos vários aspectos de sua estrutura como os objetivos, projeto pedagógico, bibliografia e estratégias pedagógicas. Dessa forma, serão indicadas possíveis deficiências e sugestões de melhoria no processo pedagógico.



2. CONTEXTUALIZAÇÃO DA DISCIPLINA PME2553 NO PROJETO PEDAGÓGICO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Deve-se entender que o projeto pedagógico envolve uma esfera maior que a disciplina. Ele engloba toda a instituição. É antes de tudo um projeto político de como será formado o homem da instituição considerada. Essa compreensão fica evidenciada em (MASETTO, 2003):

“Dizemos que o projeto pedagógico é um projeto político porque estabelece e dá sentido ao compromisso social que a instituição de ensino superior assume com a formação do profissional e de pesquisadores cidadãos que, na sociedade em que vivem, trabalhando como profissionais ou pesquisadores ou cientistas, desenvolvem sua participação e seu compromisso com a transformação da qualidade de vida dessa sociedade”

Nesta seção será contextualizada a disciplina Elementos de Aeronaves e Dinâmica de Vôo no projeto pedagógico do Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, bem como será feita uma análise crítica ao projeto pedagógico da instituição.

O estudante do curso de engenharia mecânica realiza disciplinas obrigatórias até o oitavo semestre. A partir do nono semestre o aluno irá conduzir sua formação pela opção de uma das várias ênfases que existem para complementação da formação do engenheiro. A ênfase do curso é escolhida pelo aluno na forma de um bloco fechado de disciplinas. Existem as ênfases em *Engenharia Aeronáutica, Automobilística, Bioengenharia e Energia* (disciplinas relacionadas à termodinâmica). O bloco de disciplinas de aeronáutica é composto pelas seguintes disciplinas PME2557 (*Aerodinâmica*), PME2556 (*Dinâmica dos Fluidos Computacional*), PME2554 (*Introdução às Estruturas Aeronáuticas*) e PME2553 (*Elementos de aeronave e dinâmica de vôo*). É neste contexto que se insere a disciplina PME2553.

Dessa forma, o projeto pedagógico do curso de engenharia mecânica estabelece em um curto espaço de tempo (dois semestres) a formação de alunos na ênfase aeronáutica. Essa estratégia pedagógica dificulta as possibilidades de formação com cultura e embasamento aeronáutico.

Por mais que se façam esforços através de planejamento de disciplinas no sentido de formar o estudante com uma visão aeronáutica, se necessita muito mais do que uma ação pontual em disciplinas. O projeto pedagógico deve estabelecer visão e atuação ampla. Neste sentido, ficam aqui algumas sugestões para o projeto pedagógico da ênfase em aeronáutica:

- Existência de um projeto pedagógico específico para ênfase em aeronáutica e um representante legal
- Maior interação das disciplinas (multidisciplinaridade)
- Obrigatoriedade da realização de maior número de disciplinas do bloco
- Implementação de novas disciplinas no bloco de aeronáutica (mecânica de voo, desempenho, manutenção de aeronaves, etc..)



- Maior fomento da cultura aeronáutica na escola através da interação entre alunos, professores e profissionais da indústria. O plano pedagógico de prover mecanismos para esse fomento (estágios, bolsas de iniciação científica, acordos indústria-universidade, etc.)

3. PLANEJAMENTO DA DISCIPLINA

3.1 Conteúdo, Objetivos e Nome da Disciplina

Na ementa da disciplina PME25553 disponível no sistema de graduação *júpiter* da Universidade de São Paulo os objetivos da disciplina são praticamente uma cópia do nome da mesma, ou seja, apresentar os elementos básicos de aeronaves e dinâmica de voo. Essa descrição dos objetivos na rede *júpiter* não deixa de forma clara os objetivos da disciplina.

De forma a melhor alinhar o conteúdo da disciplina com o plano pedagógico, extra-oficial o educador estabeleceu novos objetivos, em sala de aula, que são os seguintes:

- Dar ao aluno formação sólida em aerodinâmica e projeto, através do entendimento de conceitos fundamentais de aerodinâmica e o exercício de abordagens de engenharia e interdisciplinaridade do projeto, para que ele possa atuar em projeto aerodinâmico de aeronaves e áreas de aeronáutica interdisciplinares como mecânica de vôo, cargas, estruturas e performance.

Não há justificativas para existência da disciplina no *sistema júpiter*. Assim, justificativas para a existência da disciplina também foram estabelecidas:

- Com o avanço tecnológico e computacional a engenharia alcançou robustez na rapidez de análises e condução de projeto. No entanto, a formação sólida do engenheiro em conceitos físicos fundamentais e o entendimento das características de cada tipo de projeto ainda é peça fundamental para que o projeto tenha êxito. Caso o homem não seja bem formado, de nada vale a tecnologia e poderemos estar caminhando em falso em um projeto. Neste sentido, é exatamente por a engenharia aeronáutica ter suas características próprias que sempre haverá a necessidade da boa formação aerodinâmica do engenheiro para atuar de forma científica, com bom senso e critério desde a atuação como estagiário até um chefe de engenharia no setor aeronáutico.

Após estabelecermos claramente os objetivos e justificativas da disciplina PME2553, fica como sugestão de melhoria do objetivo da disciplina a oficialização do novo objetivo e da justificativa do curso no *sistema júpiter*.

Adicionalmente como melhoria dos objetivos, poderia-se estabelecer objetivos específicos dividindo os objetivos em cognitivos e afetivos seguindo a Taxonomia de (BLOOM, 1956), como sugestão destes objetivos poderíamos citar o seguinte:



Objetivos cognitivos:

- Estabelecer um forte embasamento conceitual em aerodinâmica e projeto aerodinâmico
- Conduzir o aluno ao entendimento da interdisciplinaridade do projeto aerodinâmico com outras áreas

Objetivos Afetivos:

- Estimular a percepção da necessidade de um sólido embasamento para se desenvolver a engenharia tecnológica
- Desenvolver o pensamento crítico e reflexivo no projeto aerodinâmico, sendo estendido para o projeto geral de engenharia
- Desenvolver a percepção da necessidade de constante atualização educacional e tecnológica para vida profissional
- Conscientizar da necessidade de uma postura ética e profissional

Outra sugestão de melhoria seria a mudança de nome da disciplina para “*Fundamentos de Aerodinâmica e Projeto Aerodinâmico*” que resume melhor os objetivos da disciplina.

Um aspecto que deve ser ressaltado é que a disciplina em tese envolve aerodinâmica e dinâmica de voo que são dois ramos relacionados, mas segregados da aeronáutica. Na prática a disciplina aborda majoritariamente o conteúdo em aerodinâmica. Essa é a justificativa para se mudar o nome da disciplina. Aqui surge uma oportunidade para a implementação de uma disciplina que tenha apenas enfoque em dinâmica de voo. Dessa forma, a implementação da disciplina, além de satisfazer de forma mais completa o pacote de ênfase em aeronáutica, eliminará qualquer responsabilidade da disciplina PME2553 em abordar conceitos de mecânica de vôo.

3.2 Método de Avaliação

O método de avaliação pondera avaliações de caráter teórico e prático, visto que o conteúdo da disciplina busca o entendimento dos conceitos teóricos de aerodinâmica e projeto aerodinâmico, bem como o entendimento prático dos mesmos. Com este objetivo, a disciplina estabelece a seguinte avaliação:

$$M=(0.65*PT + 0.35*PP)$$

Onde,



PT - Prova Teórica

PP – Projeto Prático

No ano de 2011 , devido à implementação de algumas ferramentas pedagógicas novas a avaliação mudou no seguinte sentido:

$$M = (0.30 * PT + 0.35 * PP + 0.25 * EC + 0.1 * MC)$$

Onde,

PT - Prova Teórica

PP – Projeto Prático

EC – Participação e realização de resenha do Estudo de Caso

MC - Mapa Conceitual

A modificação na avaliação possibilitou diversificação maior na avaliação do aluno no processo de ensino-aprendizagem. A avaliação do aluno em diferentes situações, possibilita ao educador um melhor entendimento do mesmo no processo de absorção e potencializarão do conhecimento.

A forma de avaliação no sistema júpiter só considera avaliação teórica na disciplina. Assim, aqui vale mais uma crítica com relação à ementa oficial do curso. A modificação da forma de avaliação para a aplicada em 2011 e sua oficialização no *sistema júpiter*.

3.3 Pré-requisito para a disciplina

A ementa disponível no *sistema júpiter* estabelece apenas a necessidade de se cursar a disciplina PME2230 (*Mecânica dos fluídos I*). Como possível melhoria na absorção do conteúdo da disciplina PME2553 e um melhor direcionamento das aulas expositivas para se alcançar o objetivo do conteúdo, é sugerido incluir como pré-requisito obrigatório para disciplina PME2553 a disciplina PME2557 (*Aerodinâmica*). A realização da disciplina PME2557, por parte do aluno, estabelecerá, previamente, conceitos de aerodinâmica que proporcionarão base sólida para o desenvolvimento pleno da disciplina PME2553. Dessa forma, a obrigatoriedade da disciplina PME2557, como pré-requisito, evitará que o professor tenha que muitas vezes aprofundar conteúdos iniciais de aerodinâmica, visto que alguns alunos não realizaram a matéria. Esse conhecimento prévio do aluno evitará que o professor divirja do objetivo principal da disciplina. Este fato contribuiria para que a disciplina se desenvolvesse em maior detalhe nos conceitos de projeto aerodinâmico.



3.4 Estratégias pedagógicas

Durante os vários anos da existência da disciplina PME2553 (desde 2003) as principais estratégias pedagógicas para aprendizagem são baseadas em aulas expositivas e realização de projetos conceituais de aeronaves.

As aulas expositivas são realizadas em um único dia, semanalmente, com duração de 220 minutos tendo um intervalo de 10 minutos. As aulas são estruturadas no sentido de se estudar um tema central por aula. São utilizadas apresentações de PowerPoint e a lousa como auxílio. Há enfoque no ensino de conceitos e aplicação prática com exemplos da indústria.

A realização de projeto conceituais de aeronaves se estabelece dividindo os alunos em grupos de projeto enfocando diferentes aeronaves como comerciais, militares e planadores. O educador dá o suporte técnico ao projeto disponibilizando bibliográfica, ábacos de cálculo e atuando na orientação. No final do curso, há um relatório de projeto e uma apresentação a ser feita.

Uma análise crítica das estratégias pedagógicas cabe na disciplina PME2553, primeiramente no que tange ao material de PowerPoint em sala de aula. Observa-se que o material é extenso. Este material ao mesmo tempo que serve de estudo, também é utilizado nas aulas expositivas. Seria interessante que o material seja melhorado e que dele se origine uma apostila de estudo, mais estruturada, que ajudaria o aluno como texto básico. Originário desta apostila teria-se um material de PowerPoint mais apropriado para apresentação em sala de aula o que ajudaria na melhora do processo expositivo.

Deve-se também aventar a possibilidade de multiplicação das ferramentas pedagógicas, pois afinal educar é experimentar. Ferramentas como estudo de caso, visitas técnicas, contato com profissionais e mapa conceitual, são referenciadas como possibilidades pedagógicas por (MASETTO, 2003) e devem ser experimentadas para melhoria do curso.

Neste sentido, em 2011, foram testadas algumas inovações pedagógicas que podem ser encontradas, em detalhe, na seguinte monografia (PAULA & FREIRE, 2011). As seguintes ferramentas foram implementadas na disciplina no ano de 2011:

- Estudo de caso
- Estruturação de aulas
- Mapa conceitual

Dados os resultados satisfatórios da implementação de novas ferramentas pedagógicas análise crítica aqui sugere para o curso PME2553 a implementação de apostila como estratégias pedagógicas para o curso, estudo de caso e mapa conceitual.

3.5 Plano de aula

O plano de aula constitui na ferramenta fundamental para estruturar e conduzir a disciplina dentro de sala de aula e fora dela. Segundo Masetto (2003), o plano de aula é um documento de comunicação entre o professor e alunos:



“O plano da disciplina passa a ser um instrumento de trabalho e um documento de compromisso com a aprendizagem. Nele tudo está claro e combinado entre professor e alunos, permitindo que todos possam se orientar com segurança para os objetivos a serem perseguidos”

Neste sentido, a disciplina Elementos de Aeronave e Dinâmica de Vôo tem sua maior deficiência, visto que não há um plano de disciplina que estabeleça esta comunicação. O que há é um esboço de conteúdo por capítulo, mas bastante incipiente basicamente referenciando o tópico central de cada aula. Assim, cabe como sugestão a estruturação de um plano de aula detalhado.

3.6 Bibliografia

A bibliografia oficial da disciplina PME2553 se encontra na ementa disponível no sistema *júpiter* da Universidade de São Paulo. A seguir a bibliografia disponível na ementa oficial:

- Barnard, R. H. & Philpott, D. R. "Aircraft flight, a description of the physical principles of aircraft flight", Longman, 1991.
- Kuethe, A. M. & Chow, C-Y. "Foundations of Aerodynamics: bases of aerodynamic design", 4th ed., John Wiley & Sons, 1986.

Essa é uma primeira crítica à bibliografia do curso, visto que esta bibliografia não é mais utilizada e não foi atualizada pela corrente sistema. A bibliografia deve atual deve ser atualizada no site do sistema *júpiter*. Segue a atual bibliografia do curso:

- Torenbeek, Egbert. "Synthesis of Subsonic Airplane Design", Klumer Academic Publishers, 1982.
- Anderson, J. D. "Fundamentals of Aerodynamics", Second Edition, McGRAW-HILL International Editions, 1991.
- Lan, C. E & Roskan, J. "Airplane Aerodynamics and Performance", DARcorporation Publisher, 1997.
- Roskan, J. " Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Controls ", DARcorporation Publisher, 1997.



As seguintes referências bibliográficas se justificam, no seguinte sentido da formação do estudante:

- *Fundamentals of Aerodynamics*. Dar ao estudante as bases da aerodinâmica de baixa e alto velocidade. O que possibilita o estudo aprofundado do projeto aerodinâmico.
- *Airplane Aerodynamics and Performance e Synthesis of Subsonic Airplane Design*. Dar ao estudante o embasamento do projeto aerodinâmico de aeronaves. As duas referências proporcionam aos estudantes duas visões dos maiores projetistas de projeto aerodinâmico.
- *Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Controls*. Dar ao estudante o embasamento de dinâmica do voo.

As referências bibliográficas se mostram satisfatórias para o conteúdo da disciplina. No entanto, algumas modificações na estrutura das referências bibliográficas poderiam ser implementadas no sentido de encurtar e aprofundar o caminho do aluno a uma base sólida. Podemos citar as seguintes modificações:

- *Estabelecer a bibliográfica Básica e a Complementar*. Deve-se estabelecer além de uma bibliográfica básica, que é a corrente, a bibliografia complementar que dará possibilidade do estudante se aprofundar em temas específicos.
- *Estabelecer bibliografias por capítulos*. A bibliográfica por capítulos orienta e direciona melhor o aluno nos diferentes temas que contemplam o conteúdo da disciplina.
- *Estabelecer bibliografias de pesquisa*. Devem ser inseridas bibliográficas de pesquisa que podem contemplar artigos científicos, vídeos temáticos, páginas de empresas aeronáuticas, universidades que contemplem cursos de engenharia aeronáutica, etc.... Todos estes recursos bibliográficos adicionais iram capacitar o aluno no sentido da pesquisa e análise crítica da disciplina.

4. CONCLUSÃO

A aerodinâmica definitivamente estabelece fascínio no estudante de engenharia e assim fica evidente, até mesmo pela experiência do autor, a oportunidade pedagógica para transformar motivação em ato de aprendizagem. A disciplina Elementos de Aeronave e Dinâmica de Vôo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo dá oportunidade ao



estudante de engenharia de transformar sua curiosidade natural por aerodinâmica em um entendimento prático da engenharia aeronáutica.

Este trabalho teve por objetivo compreender as características e objetivos específicos desta disciplina e através de uma análise crítica potencializar as oportunidades do processo de ensino-aprendizagem. Neste sentido, o projeto pedagógico da ênfase em aeronáutica da Escola Politécnica deve ser aperfeiçoado para que se tenha a efetivação da cultura aeronáutica na escola. Nas questões que envolvem o planejamento da disciplina há algumas ações que sendo implementadas contribuirão decisivamente para melhoria do curso. Podemos destacar como ações positivas neste sentido o estabelecimento de bibliografia básica e complementar, modificações no sistema júpiter de graduação coerentes com o que é apresentado em sala de aula, mudança do nome da disciplina para “*Aerodinâmica e Projeto Aerodinâmico*”, novo pré-requisito para se cursar a disciplina, exclusão do conteúdo de mecânica de vôo da disciplina e primordialmente o estabelecimento de um plano de aula detalhado. Adicionalmente, as ferramentas pedagógicas sugeridas aqui e implementados no curso mostram-se bastante efetivas (PAULA & FREIRE, 2011) no sentido de motivar os alunos e trazer o mesmo para a realidade mais próxima do projeto de aeronaves.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos professores Aquiles e Nakao da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo por contribuírem fortemente na formação pedagógica do autor e no apoio da realização deste artigo. Também ficam os agradecimentos aos alunos da disciplina Tecnologia em Ensino de Engenharia (PEA5900) por proporcionarem rica experiência relacionada à implementação de novas estratégias pedagógicas e assim dando suporte para melhoria do ensino da disciplina Elementos de Aeronaves e Dinâmica de Voo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLOOM, Benjamin Samuel. *Taxonomy of educational objectives: The Classification of educational goals*. David McKay Company, 1956.

MASETTO, Marcos Tarciso. T. *Competência pedagógica do professor universitário*, 4^a reimpressão. Summus Editorial, 2003.

PAULA, Adson Agrico; FREIRE, Cesar Monzu. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, EPUSP. *Desenvolvimento de novas ferramentas didáticas para ensino de mecânica dos fluidos e elementos de aeronaves*, 2011. Monografia



CRITICAL ANALYSIS OF THE COURSE ELEMENTS OF AIRCRAFT AND FLIGHT DYNAMICS (PME2553) FROM MECHANICAL ENGINEERING SCHOOL OF THE EPUSP

***Abstract:** The EPUSP has in its bachelor of science in mechanical engineering an emphasis in aeronautical engineering in the last two semesters. In order to contribute decisively to improve the teaching-learning process on course elements of the discipline of aircraft and flight dynamics (PME2553), this work aims to make a critical analysis of the course in the various aspects of its structure such as objectives of the course, pedagogical project, teaching strategies and bibliography. Thus, it will be indicated possible shortcomings and suggestions for improvement in the educational process.*

***Key-words:** Education, Aeronautical engineering, Aerodynamics, design, Pedagogical tools*