PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS

Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências e Matemática

A FÍSICA DO HELICÓPTERO: Uma Oficina Interdisciplinar e Contextualizada para o Ensino Médio

Charles Simões Lacerda

Belo Horizonte

2015

Charles Simões Lacerda

A FÍSICA DO HELICÓPTERO: Uma Oficina Interdisciplinar e Contextualizada para o Ensino Médio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciência e Matemática, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial a obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Adriana Gomes Dickman

Belo Horizonte

2015

FICHA CATALOGRÁFICA
Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Pereira, Charles Simões
P436f A física do helicóptero: uma oficina interdisciplinar e contextualizada para o ensino médio / Charles Simões Lacerda. Belo Horizonte, 2015.
156 f. : il.

Orientadora: Adriana Gomes Dickman
Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática

1. Física - Estudo e ensino (Ensino médio) - Montes Claros (MG). 2. Helicópteros - Estudo e ensino (Ensino médio) - Montes Claros (MG). 3. Aprendizagem por atividades. 4. Professores - Formação. 5. Jogos educativos. 6. Didática. 7. Abordagem interdisciplinar do conhecimento na educação. 8. Comunicação na educação. 9. Ciência - Brasil - História. I. Dickman, Adriana Gomes. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

CDU: 53:37.02

Ficha catalográfica elaborada por Fernanda Paim Brito - CRB 6/2999

Charles Simões Lacerda

A FÍSICA DO HELICÓPTERO: Uma Oficina Interdisciplinar e Contextualizada para o Ensino Médio

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciência e Matemática, da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial a obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física.

Adriana Dickman – Orientadora – PUC Minas

Lev Vertchenko – PUC Minas

Ana Lúcia Lopes Corrêa – CEFET - MG

Belo Horizonte, 22 de maio de 2015

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar aqui a minha gratidão, a todos que contribuíram direta e indiretamente a realização deste trabalho, especialmente:

A DEUS, pelo dom da vida e pela iluminação em todos os momentos e fases que passei até este presente momento.

A minha esposa, Sirley, pelo apoio incondicional desde o início do processo, dando-me suporte em todos os momentos adversos.

A Prof.ª Dr.ª Adriana Gomes Dickman pela inestimável ajuda no processo de orientação, mostrando-se extremamente comprometida, sincera e atenciosa quanto à construção deste trabalho, onde ressalto a humanidade apresentada em seus comentários que para mim foram de grande valia.

Aos colegas de mestrado, professores e funcionários da PUC-Minas e as escolas que receberam a proposta desta oficina e aos integrantes da 3ª CoRpAer, em especial ao Comando e aos colaboradores diretos da oficina: 3º Sargento Elton Novaes (copalestrante) e Subtenente Tarcízio Simões pela produção da arte, fotografia e recursos multimídia.

A minha mãe, Maria das Graças Simões, aos meus irmãos e ao tio José Zilmar.

Aos meus filhos, minha inspiração.

RESUMO

Neste trabalho foi elaborada uma oficina temática direcionada ao Ensino Médio que se caracterizou por fomentar o enfoque interdisciplinar e a contextualização dos saberes via o referencial CTS, através de um aparato tecnológico de múltiplo emprego na sociedade: o Helicóptero. A discussão dos aspectos científico, tecnológico e social serviu para apontar a existência de uma integração entre elementos das disciplinas de Física, Matemática, Química, Biologia e Geografia. As estratégias usadas na aplicação da oficina foram: questionário de sondagem (pré-teste), palestras, demonstrações, discussões, apresentação de solução de problemas, simulação (recurso multimídia) e a tarefa de elaborar uma redação sobre o tema. O desenvolvimento das atividades propostas foi efetivado com a participação alunos, professores e da direção da escola onde foi ministrada a oficina. A atenção e participação dos estudantes em todas as atividades confirmaram a coerência e consistência das estratégias utilizadas na oficina.

Palavras-chave: Oficina, Helicóptero, Interdisciplinaridade, Contextualização, CTS.

ABSTRACT

In this work we elaborate a thematic workshop to high school students characterized by an interdisciplinary approach and knowledge contextualization via the CTS frame, through a technological apparatus of multiple employment in society: the helicopter. The discussion of the scientific, technological and social aspects contributed to point out the interrelation of the subjects of Physics, Mathematics, Chemistry, Biology and Geography. The strategies used in the workshop application were: survey questionnaire (pre-test), lectures, demonstrations, discussions, troubleshooting presentation, simulation (multimedia resource) and the task of writing an essay on the subject. The development of the proposed activities was accomplished with the participation of students, teachers and the school board, where the workshop took place. The attention and effective participation of the students in all activities confirmed the coherence and consistency of the strategies used during the workshop.

Keywords: Workshop, Helicopter, Interdisciplinarity, Contextualization, CTS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Significado da tecnologia 33
Figura 2: Momentos da primeira oficina registrados na reportagem da TV local. 45
Figura 3: Palestra ministrada pelo autor e pelo mecânico do Helicóptero. 46
Figura 4: Segundo momento realizado no hangar da 3ªCoRpAer. 47
Figura 5: Palestra ministrada pelo autor e pelo mecânico do Helicóptero. 48
Figura 6: Segundo momento da palestra: uma das turmas visita o hangar da 3ªCoRpAer. 49
Figura 7: Os quarenta educandos finalistas do concurso de redação: hangar da 3ªCoRpAer. . 50
Figura 8: Os quatro primeiros colocados entre os finalistas do concurso de redação. 51
Figura 9: Aluna menciona as adaptações no corpo como causa do voo. 53
Figura 10: Respostas de um aluno do terceiro ano. 55
Figura 11: Respostas de um aluno do terceiro ano. 58
Figura 12: Origens da Polícia Militar e do Radiopatrulhamento aéreo 61
Figura 13: Área de responsabilidade e emprego operacional do helicóptero 61
Figura 14: Emprego do Helicóptero 62
Figura 15: Emprego do Helicóptero 62
Figura 16: Emprego do Helicóptero. 62
Figura 17: Sementes Giratórias. 63
Figura 18: Explanação sobre as Sementes Giratórias. 64
Figura 19: Hélice de Da Vinci. 65
Figura 20: Precursores do Helicóptero. 66
Figura 21: Precursores do Helicóptero. 67
Figura 22: Momento da oficina: demonstração de voo virtual. 67
Figura 23: Precursores do Helicóptero. 68
Figura 24: Flettner F-1 Kolibri, Bell 47 e ao lado o voo virtual apresentado aos educandos. . 68
Figura 25: Besouro rola-bosta. 69
Figura 26: Modelos de helicópteros utilizados em fins civis e militares. 70
Figura 27: Ilustração do diagrama de forças que atuam na aeronave em voo 71
Figura 28: Efeito Coanda ocorrendo em uma superfície curva de uma colher. 72
Figura 29: Teorema Bernoulli. 73
Figura 30: Instantes da explicação dos fenômenos através de vídeos. 74
Figura 31: O funcionamento da máquina e a comparação com o avião. 75
Figura 32: O funcionamento da máquina e a comparação com o avião. 75

Figura 33: Analogia entre o fogão a gás e os reatores. 76
Figura 34: Reator TURBOMECA ARRIEL 1D1 77
Figura 35: Funcionamento de um motor de carro. 77
Figura 36: Explanação sobre o funcionamento de um reator. 78
Figura 37: Elementos de ações aerodinâmicas no voo do helicóptero. 79
Figura 38: Explicação do mecanismo do batimento. 80
Figura 39: Apresentação e discussão da orientação espacial. 81
Figura 40: Painel de instrumentos e sua divisão. 82
Figura 41: Voo por instrumentos. 82
Figura 42: O Rádio e o ADF. 83
Figura 43: O ajuste do rádio e a alteração do ADF. 83
Figura 44: Mudança de direção e alinhamento com o sinal da pista. 84
Figura 45: Outros sistemas de navegação. 84
Figura 46: Distribuição da cartilha da ANAC. 85
Figura 47: Tela final do primeiro momento 85
Figura 48: Imagens de Montes Claros, sede da 3ªCoRpAer. 86
Figura 49: Professores e alunos frente a frente com a máquina. 87
Figura 50: Pilotos. 87
Figura 51: Recursos Humanos. 88
Figura 52: Imagens de Montes Claros, sede da 3ª CoRPAer. 88
Figura 53: Rotina e treinamento dos integrantes da companhia. 89
Figura 54: Emprego do Bambi Bucket. 90
Figura 55: Os quatro primeiros colocados entre os finalistas do concurso de redação. 92
Figura 56: Letícia em três momentos durante a cerimônia de premiação. . 92
Figura 57: O professor de Física da escola recebendo o certificado e a capa do DVD 93
Figura 58: Reportagem da seção educação do Jornal Norte de Minas. 94
Figura 59: Comentários para divulgação de um artigo na mídia eletrônica. 95
Figura 60: Divulgação da oficina na mídia eletrônica. 95
Figura 61: Comentários sobre a oficina por militares dos estados do Ceará e Rio de Janeiro. 96
Figura 62: Comentários sobre a oficina por civis direcionados a educação. 96
Figura 63: Terminologia de um perfil aerodinâmico. **Erro! Indicador não definido.**
Figura 64: Ângulo de ataque de um perfil aerodinâmico. **Erro! Indicador não definido.**
Figura 65: Deformação do fluxo de ar através do perfil aerodinâmico. 118
Figura 66: Componentes da resultante aerodinâmica. 118

Figura 67: Componentes do helicóptero. 119
Figura 68: Rotor principal 120
Figura 69: Empenagem 120
Figura 70: Pá do rotor de cauda. 121
Figura 71: As quatro forças que atuam em um helicóptero em voo horizontal. 122
Figura 72: Vistas superior e inferior da pá de um rotor 123
Figura 73: O Gradiente de Sustentação. 124
Figura 74: Especificações da pá. 125
Figura 75: Balanceamento das Pás do rotor do AS-350 B2 Esquilo. 126
Figura 76: Força centrífuga atuando nas pás do rotor. 127
Figura 77: Exemplo de Arrasto Induzido sobre o AS-350 B2 Esquilo. 128
Figura 78: A inclinação da força de Sustentação em relação à horizontal. 128
Figura 79: Diagrama de forças na pá durante o voo horizontal. 129
Figura 80: Um par de forças que atuam em um helicóptero em voo Pairado. 130
Figura 81: Fluxo de ar gerado pelas pás do rotor. Onde 131
Figura 82: Alteração da posição do ângulo de ataque da pá devido à torção da pá. 132
Figura 83: As partes do motor do modelo de helicóptero AS 350B2 ESQUILO. 134
Figura 84: Envergadura da pá do AS 350B ESQUILO. 134
Figura 85: Divisão do disco do rotor. 137
Figura 86: Divisão do disco do rotor. 138
Figura 87: Fluxo de ar atuando em uma autorrotação em voo horizontal. 139
Figura 88: Alteração geométrica das zonas do disco do rotor. 140
Figura 89: Arqueamento da pá. 141
Figura 90: STARFLEX. 141
Figura 91: Conjunto de elementos de junção da com a STARFLEX. 142
Figura 92: Força Normal (sustentação) e o batimento da pá. 143
Figura 93: Batimento do rotor de cauda. 144
Figura 94: Helicóptero do corpo de Bombeiros de Belém. 145
Figura 95: O Trem de Pouso e seus dispositivos absorvedores. 146
Figura 96: Sistema massa-mola acoplado ao rotor. 147
Figura 97: Sistema massa-mola com uma nova massa e mola acopladas. 148
Figura 98: Sistema ressoador acoplado aos assentos dos pilotos. 149
Figura 99: Sistema ressoador acoplado ao rotor. 149
Figura 100: Ações de torque dos rotores. 150

Figura 101: Vista de um rotor traseiro/curvatura do perfil aerodinâmico. 151
Figura 102: Condições das forças de torque rotacional. 152
Figura 103: Certificado dado a Direção e a Professores. 155
Figura 104: Modelo de Certificado dado aos alunos. 156

LISTA DE SIGLAS

3ªCoRpAer – Terceira Companhia de Radiopatrulhamento Aéreo

ADF – Direcionador Automático de Localização

ANAC – Agencia Nacional de Aviação Civil

BtlRpAer – Batalhão de Radiopatrulhamento Aéreo

CEDUC – Centro Educacional de Montes Claros

CTP – Caixa de Transmissão Principal

CTS – Ciência Tecnologia e Sociedade

IFR- Navegação por instrumentos

LDB – Lei das Diretrizes e Bases

MCU – Movimento Circular Uniforme

NDB – Farol Não Direcional

NACA – Modelo de Perfil Aerodinâmico

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

PCN + - Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais

PCNEM – Parâmetro Curricular Nacional para o Ensino Médio

VFR- Navegação Visual

LISTA DE UNIDADES

m : metro

s : Segundo

m/s : Metro por segundo

km/h : Quilômetro por hora

m/s^2 : Metro por segundo ao quadrado

kg : Quilograma

kg/s : Quilograma por segundo

kgm^2 : Quilograma-metro-quadrado

kgm^2/s : Quilograma-metro-quadrado por segundo

N : Newton

N. m : Newton- metro

rd/s : radiano por segundo

J : Joule

kJ : Quilo-Joule

W : Watts

Hz : Hertz

rpm : Rotações por minuto

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Aspectos da abordagem de CTS 36
Quadro 2: Exemplos da natureza das respostas dadas pelos alunos referentes a primeira pergunta. 52
Quadro 3: Exemplos da natureza das respostas dadas pelos alunos referentes a segunda pergunta. 54
Quadro 4: Exemplos da natureza das respostas dadas pelos alunos referentes a segunda pergunta. 55
Quadro 5 : Exemplos da natureza das respostas dadas pelos alunos referentes a quarta pergunta. 56
Quadro 6 : Exemplos da natureza das respostas dadas pelos alunos referentes a quinta pergunta. 57

SUMÁRIO

1. Introdução 18

1.1 Motivação 24

1.1.1 Um Relato, Tema gerador e o CTS 24

2. Referencial Teórico 26

2.1 Um breve histórico e o currículo com ênfase em CTS 26

2.2 Características do enfoque CTS 29

2.2.1 Caráter da ciência e o enfoque CTS 30

2.2.2 Tecnologia e o enfoque CTS 32

2.2.3 Sociedade e o enfoque CTS 34

2.2.4 Interações ciência – tecnologia – sociedade 36

2.3 Estratégias de ensino no enfoque CTS 37

2.4 Nossa proposta e o enfoque CTS 38

3. Metodologia 42

3.1 Instrumentos de pesquisa (questionário e redação) 43

3.2 Elaboração da oficina 44

3.3 População pesquisada 47

3.4 A aplicação da proposta 48

3.5 Análise dos dados coletados 51

3.5.1 As perguntas e a análise das respostas. 51

3.6 Análise dos resultados 59

4. Produto educacional: Oficina interdisciplinar e contextualizada 60

4.1 Carta endereçada a professores 60

4.2 Integrantes e a Parceria 60

4.3 A oficina: o seu primeiro momento 60

4.4 A oficina: o seu segundo e terceiro momentos 86

4.4.1 O concurso de redação e o terceiro momento. 90

4.5 A oficina: Divulgação e o reconhecimento do trabalho 93

5. Considerações Finais 97

REFERÊNCIAS 100

APÊNDICES 111

APÊNDICE A - GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS 111

APÊNDICE B – A FÍSICA DO HELICÓPTERO 115

1. Teoria de Sustentação Aerodinâmica 115

2. A dinâmica do voo do helicóptero. 119

2.1) Voo em deslocamento horizontal. 122

2.2) Voo Pairado 129

2.3) O fenômeno da Autorrotação 133

2.3.1) Autorrotação Vertical 136

2.3.1) Autorrotação em voo horizontal 139

2.4) O fenômeno do Batimento 140

2.5) Ressonâncias 144

2.5.1) Ressonância no Solo e a função dos Amortecedores 144

2.5.2) Dispositivos Ressonadores 146

2.6) Uma análise da função do rotor anti-torque. 150

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS 153

APÊNDICE D - MODELOS DOS CERTIFICADOS 155

(PÁGINA DE FICHA CATALOGRÁFICA)

1. Introdução

Não se trata de uma novidade que o ensino das ciências exatas (Física, Química e Matemática) passa por uma de crise de valor no sentido de que o aprendizado destas disciplinas se contrapõe ao meio do qual fazem parte os educandos. O imediatismo e a superficialidade de informações que se apresentam por via das mídias eletrônicas (redes sociais, grupos, etc.) bem como o manuseio de aparatos eletroeletrônicos com o simples objetivo do entretenimento, podem induzi-los a "pensar" que é desnecessário o aprendizado de regras e fenômenos que demandam de tempo e dedicação, que possivelmente não serão usados em seu cotidiano imediatamente. É bem verdade que não são somente estes os únicos distratores responsáveis a promover o desinteresse por estas disciplinas, mas, é notório que o ensino das ciências exatas tenha se tornado alvo de repulsa de grande parte dos educandos ao analisarmos alguns questionamentos proferidos por eles de maneira geral como: "Porque devo estudar isso? Em que isto irá influenciar em minha vida? Para que serve isso?" Estas perguntas são comuns no ambiente escolar, mais precisamente no Ensino Médio, (referindo-se aqui aos estudantes do ensino regular) uma vez que é próprio desta fase da vida o querer questionar sobre mundo a sua volta. Nesta faixa etária os jovens começam a se deparar com a possibilidade de inserção no mercado de trabalho, onde alguns inclusive já se encontram. É também neste período em que eles terão de decidir sobre qual será o objetivo a ser alcançado em busca de uma profissão técnica ou superior.

Ricardo e Freire (2007), em seu estudo exploratório sobre a concepção dos alunos referente à disciplina de Física no ensino médio, baseados na linha dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), comentam:

> O ensino médio como etapa final da educação básica exige que se dê sentido aos saberes trabalhados já nesse nível de ensino e não em etapas posteriores, que para muitos não ocorrerão. Todavia, os desafios não param por aí, pois os processos cada vez mais globais colocam os jovens diante de um cenário de expectativas e incertezas e com exigências cada vez maiores em relação às qualificações de emprego. (RICARDO; FREIRE, 2007, p.259).

Porém, deve-se examinar atentamente o quadro que se apresenta em contraste a citação, uma vez que os questionamentos apresentados pelos educandos delatam um problema crônico pelo qual passa a educação: a falta de significado e utilidade dos conceitos que são

apresentados no processo de ensino e aprendizagem. Gera-se então a possibilidade deste justificar, segundo seu senso "crítico-imediato" o porquê deste desinteresse tamanho à inércia educacional que o cerca. Sobre o sentido do aprendizado na área, os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) deixam claro uma proposta para o ensino médio que,

> [...] sem ser profissionalizante, efetivamente propicie um aprendizado útil à vida e ao trabalho, no qual as informações, o conhecimento, as competências, as habilidades e os valores desenvolvidos sejam instrumentos reais de percepção, satisfação, interpretação, julgamento, atuação, desenvolvimento pessoal ou de aprendizado permanente, evitando tópicos cujos sentidos só possam ser compreendidos em outra etapa de escolaridade. (BRASIL, 1998, p.4).

Além disso, o educando vê-se num dilema, afinal há todo um mundo dinâmico e em constante transformação que ele vivencia no seu dia a dia que se opõe ao do ambiente escolar pronto e acabado. Freire ao elucidar a situação argumenta que:

> "O homem é homem e o mundo é histórico-cultural na medida em que, ambos inacabados, se encontram numa relação permanente, na qual o homem, transformando o mundo, sofre os efeitos de sua própria transformação." (FREIRE, 1977, p.76).

Vê-se então que para encaminhar a concretização do processo de ensino e aprendizagem em qualquer área de ensino, não se deve separar o homem (educando) do seu mundo vivencial. Os PCN+ (orientações educacionais complementares aos PCN) quando se referem, por exemplo, à disciplina de Física, dizem categoricamente que esta ganhou um novo sentido a partir das diretrizes apresentadas nos PCNEM. No aspecto do mundo vivencial os PCN+ afirmam:

> Para que todo o processo de conhecimento possa fazer sentido para os jovens, é imprescindível que ele seja instaurado por meio de um diálogo constante entre alunos e professores, mediado pelo conhecimento. E isto só será possível se estiverem sendo considerados objetos, coisas e fenômenos que façam parte do universo vivencial do aluno, seja próximo, como carros, lâmpadas ou televisões, seja parte de seu imaginário, como viagens espaciais, naves, estrelas ou o Universo. Assim devem ser contempladas estratégias que contribuam para esse diálogo. (PCN+, 1998, p.83).

De acordo à última frase da citação, as estratégias que virão a contribuir para esta relação dialógica entre professor e educando, possivelmente, não terão sua origem no método tradicional de ensino que na maioria das vezes em essência, se concentra por meio de aulas expositivas em que são priorizadas as soluções de exercícios repetitivos e cujo aprendizado é baseado em uma automatização ou memorização desvinculada de qualquer ação questionadora. Para que se estabeleça aqui um paralelo, em seu tratado sobre o problema da Razão na Filosofia Burguesa, Coutinho discorre sobre o que ocorre com a ação criadora humana quando se prioriza a repetição de determinadas ações:

> A burocratização ocorre quando determinados procedimentos práticos são coagulados, formalizados e repetidos mecanicamente, com isso empobrece-se a ação humana que é desligada de sua relação tanto com a realidade (transformada na práxis burocrática em simples objeto de manipulação) quanto com suas finalidades (cuja racionalidade ou irracionalidade a práxis burocrática não questiona). Esse caráter repetitivo da ação burocratizada bloqueia o contato criador do homem com a realidade, substituindo a apropriação humana do objeto por uma manipulação vazia de dados. (COUTINHO, 1972, p.27).

A apropriação de um saber jamais será alcançada através de uma mera exposição de regras e dados de forma sistemática e fragmentada. Esta prática não permite a interação do educando com o saber e, muito menos o aproxima da consciência sobre a importância que a escolarização possui no sentido de que irá lhe permitir, de modo autônomo, fazer uma leitura analítica de seu mundo. Freire em consonância afirma:

> Conhecer, na dimensão humana, que aqui nos interessa, qualquer que seja o nível em que se dê, não é o ato através do qual um sujeito transformado em objeto, recebe, dócil e passivamente, os conteúdos que outro lhe dá ou impõe. O conhecimento, pelo contrário exige uma presença curiosa do sujeito em face do mundo. Requer uma face transformadora sobre a realidade. Demanda uma busca constante. Implica em invenção e em reinvenção. Reclama a reflexão crítica de cada um sobre o ato mesmo de conhecer, pelo qual se reconhece conhecendo e, ao reconhecer-se assim, percebe "como" de seu conhecer e os condicionamentos a que está submetido o seu ato. (FREIRE, 1985, p.40).

No que diz respeito ao ensino de Física, alguns aspectos relevantes concernentes a esta problemática até aqui apresentada são tratados nos PCNEM:

> O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores e não só, mas também por isso, vazios de significado. Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que estas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas. Apresenta o conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como a de Galileu, Newton ou Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não resta mais nenhum problema significativo a resolver. Além disso, envolve uma lista de conteúdos demasiadamente extensa, que impede o aprofundamento necessário e a instauração de um diálogo construtivo (BRASIL, 2000, p.22).

Tais aspectos relatados impedem o despertar de um *sapere* educacional, que significa em última análise: aprender algo e extrair deste um sabor. Mas quais seriam as estratégias para provocá-lo? O Ensino Médio de modo geral está organizado num modelo multidisciplinar e independente, em que cada disciplina não aparenta possuir relações entre si e nem tampouco com a realidade do educando. Segundo Morin (2003) na missão de ensinar é necessário levar em consideração a desfragmentação dos saberes discutindo alguns aspectos essenciais:

> Fornecer uma cultura que permita distinguir, contextualizar, globalizar os problemas multidimensionais, globais e fundamentais, e dedicar-se a eles, preparar as mentes para responder aos desafios que a crescente complexidade dos problemas impõe ao conhecimento humano; preparar as mentes para enfrentar as incertezas que não param de aumentar, levando-as não somente a descobrirem a história incerta e aleatória do universo, da vida, da humanidade, mas também promovendo nelas a inteligência estratégica e a aposta em um mundo melhor. (MORIN, 2003, p.102).

É necessário que o ambiente escolar desperte no educando o interesse em estudar, investigar e a fazer indagações que o levem a introjetar à visão de que ciência não é um produto pronto e acabado e, sobretudo a detentora de toda a verdade, mas que se trata de uma construção humana que sofre influências diretas de seus criadores como também deixar claro, portanto que não há base para sustentação do argumento de neutralidade científica.

A Ciência, a Tecnologia e a Sociedade estão sempre passando por transformações tornando-se necessário promover no educando uma reflexão que o sensibilize a perceber que tais transformações podem gerar implicações diretas em seu meio de convívio a curto ou em

longo prazo de algum modo. Cabe então ao processo educacional propiciar o despertar de questionamentos críticos que lhe permitam a análise da viabilidade e aplicabilidade dos aparatos científicos e tecnológicos. Isto pode ser notado nas palavras de Bazzo (1998).

> É inegável a contribuição que a ciência e a tecnologia trouxeram nos últimos anos. Porém apesar desta constatação, não podemos confiar excessivamente nelas, tornando-nos cegos pelo conforto que nos proporcionam cotidianamente seus aparatos e dispositivos técnicos. Isso pode resultar perigoso porque, nesta anestesia que o deslumbramento da modernidade tecnológica nos oferece, podemos nos esquecer de que a ciência e a tecnologia incorporam questões sociais, éticas e políticas (BAZZO, 1998, p.142).

O professor, portanto, tem um papel decisivo na articulação no que tange a discussão com os educandos sobre os avanços promovidos pela ciência e tecnologia, com o intuito de promover uma ótica transdisciplinar e contextualizada, ou seja, que os levem a ativar os saberes de tal modo que se possam estabelecer conexões entre o conhecimento alcançado e o exigido, com a finalidade de resolver situações-problema que estejam em conformidade com suas condições intelectuais, afetivas e contextuais (BRASIL, 2002). Em contrapartida, inserção do enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) nos currículos visa inicialmente provocar no educando esta visão crítica e questionadora sobre o mundo a sua volta. Em outras palavras, seria dizer que a apropriação dos saberes não ficará restrita somente à sala de aula, segundo Osório (2002, p.64):

> O enfoque educativo CTS tanto recupera os espaços críticos dessa relação conjunta ao desenvolver as implicações e os fins do desenvolvimento científico-tecnológico em um emaranhado social, político e ambiental, quanto se nos apresenta como um campo de análise propício para entender e educar o fenômeno tecno-científico moderno.

O método tradicional de ensino que permeia os ambientes educacionais até os dias de hoje é a aula expositiva, que consiste numa mera apresentação de leis, fenômenos e conceitos de produtos prontos e acabados que não necessitam de nenhum questionamento. Nas escolas particulares o professor se vê obrigado a cumprir conteúdos em prazos determinados para que os alunos possam “ver” toda a matéria que será cobrada em exames de ingresso ao ensino superior. Prioriza-se uma série de macetes e dicas de como resolver questões deixando-se de

lado a compreensão do objeto de estudo em questão. Já em instituições públicas percebe-se que a desmotivação gerada às vezes por péssimas condições de trabalho, questões salariais, a indisciplina em sala (embora este seja um problema em qualquer instituição de ensino Fundamental e Médio), entre outros, geram no docente uma total insatisfação com o sistema e por consequência uma estagnação no seu modo de ensinar. Segundo os PCNEM:

> Esse quadro não decorre unicamente do despreparo dos professores, nem das limitações impostas, pelas condições escolares deficientes. Expressa, ao contrário, uma deformação estrutural, que veio sendo gradualmente introjetada pelos participantes do sistema escolar e que passou a ser tomada como coisa natural. Na medida em que se pretendia ou propedêutico ou técnico, em um passado não muito remoto, o Ensino Médio possuía outras finalidades e era coerente com as exigências de então. "Naquela época", o ensino "funcionava bem", porque era propedêutico. Privilegiava-se o "desenvolvimento do raciocínio" de forma isolada, adiando a compreensão mais profunda para outros níveis do ensino ou para um futuro inexistente (BRASIL, 1998, p.23).

Tal quadro aqui apresentado não possibilita nenhuma reflexão sobre a influência ou emprego do saber em esferas políticas e sociais aos educandos. Cria-se uma espécie de separação entre o que se aprende na escola e o que se aprende na vida. Esta metodologia foge totalmente à preocupação a que se vincula o Ensino Médio atualmente, segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM), cujo objetivo é a formação de um sujeito que atue na sociedade enquanto cidadão. O currículo pelo qual o Ensino Médio deve procurar direcionar-se deve ser uma proposta que

> […] Promova o indivíduo, tanto em termos de desenvolvimento pessoal, quanto em termos do desenvolvimento social, quando ele poderá questionar e posicionar-se, por exemplo, quanto a hegemonia das nações que detêm o poder do conhecimento científico e tecnológico (GRISPUN, 1999, p.28).

Nesta perspectiva, este trabalho relata a elaboração de uma proposta de aula em que são reunidos mais de um saber incorporado, que possibilite ao educando uma nova concepção da divisão dos saberes. As atividades favorecem uma demonstração da interdependência, interação, comunicação entre as disciplinas e integração do conhecimento em um conjunto interdisciplinar harmonioso e significativo, como também uma disposição metódica que leve à percepção de disciplinas entrelaçadas num sistema lógico de conhecimentos com livre

acesso de um campo de saber para outro e que vise contemplar a transdisciplinaridade. Para esta tarefa de integração dos saberes, escolheu-se como base para o tema a apresentação e discussão de um aparato tecnológico de largo emprego na sociedade: o Helicóptero.

1.1 Motivação

Faremos aqui um breve relato sobre o que nos motivou a realização deste trabalho cujo tema foi definido a partir de um contexto que envolvia um problema social.

1.1.1 Um Relato, tema gerador e o CTS

Este relato trás um acontecimento ocorrido na CEDUC-Montes Claros (Centro Educacional de Montes Claros), uma escola particular (que no ano de 2014 passou a funcionar em outro endereço) localizada na Praça de Tecnologia, nº 77, bairro Alto São João, Montes Claros-MG, então no ano de 2008 onde o autor deste trabalho ministrava aulas de Física no Ensino Médio. Esta escola tinha como vizinha uma comunidade intitulada de "Cidade Cristo Rei" e apelidada pela população de bairros vizinhos de "feijão semeado". Dos grandes problemas que afligiam esta comunidade há muito tempo (inclusive afligem até os dias de hoje, 2015), podiam-se destacar o tráfico de drogas e os assaltos que ocorriam nos bairros próximos, cujo desfecho dos infratores tinha como endereço o interior desta comunidade. Isto porque o local é de difícil acesso, o que facilitava aos infratores a fuga da polícia.

As operações realizadas pela polícia para monitorar as imediações da comunidade geralmente incluíam a presença de um helicóptero, que sobrevoava a região para facilitar a indicação dos possíveis locais, onde durante uma perseguição poderiam se encontrar os infratores. Durante o ano de 2008 muitas destas operações vieram a coincidir com o horário das aulas, o que gerava um incômodo, pois os alunos ficavam a discutir sobre a presença da aeronave quando esta pairava sobre a escola ou mesmo em uma região próxima. Os alunos apelidaram o helicóptero da polícia de "Arroz" porque sempre estava "em cima do feijão".

Em uma destas ocasiões, durante uma aula, um dos alunos do primeiro ano me perguntou se era certo o helicóptero da polícia sobrevoar a escola durante o horário de aula

com policiais armados na porta do helicóptero prontos para atirar e também se esta ação não representava uma agressão aos cidadãos de bem que não tinham nada a ver com a situação. De imediato não respondi a pergunta, mas o indaguei a respeito de onde ele havia criado esta concepção de que a ação da polícia seria uma agressão ao cidadão de bem. Ele me respondeu que havia sido uma professora de História que havia dito que a ação dos policiais representava esta agressão porque as forças militares são um meio de controle da "máquina de governo". Após esta fala a sala se voltou exclusivamente para este assunto. Neste momento, vendo a possibilidade de uma discussão sobre o que seria o futuro tema deste trabalho, alguns alunos que sentiram a necessidade de participar daquela pequena conversa me fizeram perguntas, entre elas: O que faz o helicóptero voar? Qual o combustível que ele usa? Como se faz para se tornar piloto? Como a Física explica o voo do helicóptero? Quem inventou o helicóptero? Porque ninguém gosta da Polícia Militar?

Mas a verdade é que pude responder algumas perguntas por ter um conhecimento básico sobre aviação que é uma área que admiro desde criança. Mas as que se tratavam de um problema da sociedade e que necessitavam de conhecimento além da Física deixaram-me preocupado. Primeiro por não deter tal conhecimento sobre este assunto e segundo seria acarretar um possível desconforto por uma resposta de senso comum sobre estas questões que além de contradizer um colega de profissão de outra área do conhecimento, poderia influenciar a visão dos alunos diretamente.

E foi a partir daí que resolvi montar uma oficina sobre o Helicóptero e as Leis da Física cujo objetivo é promover uma discussão Interdisciplinar e Contextualizada, e para tanto utilizamos para concretizar esta tarefa o viés do CTS.

Nos próximos capítulos faremos um breve histórico do referencial adotado, caracterizando suas vertentes e quais suas relações com o tema a ser abordado. Discorreremos sobre a metodologia desenvolvida, a construção e aplicação do produto educacional, finalizando com as considerações finais e um apêndice contendo um glossário de termos técnicos, uma discussão sobre a física do helicóptero, um questionário de conhecimentos prévios e modelos de certificados.

2. Referencial Teórico

A sustentação teórica deste trabalho se baseia no enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) cuja abordagem dá suporte ao desenvolvimento de uma proposta de ensino interdisciplinar e contextualizada. Primeiramente é feita uma análise dos pressupostos teóricos da abordagem CTS no contexto da educação brasileira definindo o currículo com ênfase em CTS, seu histórico, elementos curriculares e suas estratégias de ensino. Apresentamos os conceitos básicos sobre ciência, tecnologia e sociedade e suas interações segundo o viés do CTS e naturalmente a nossa proposta via o enfoque CTS.

2.1 Um breve histórico e o currículo com ênfase em CTS

O período do pós-guerra trouxe inúmeras reflexões à humanidade relativa ao uso da ciência e tecnologia. O desenvolvimento científico e tecnológico rendeu grandes conquistas como a chegada do homem à Lua, o advento do computador, avanços nos meios de comunicação, produção e transportes, pesquisas em Nanotecnologia e Biotecnologia, entre outras inúmeras inovações. Em contrapartida, a produção de armas de destruição em massa, a contaminação dos solos e rios por aditivos agrícolas e resíduos industriais, geração de arsenais nucleares, a exploração exponencial de recursos naturais e o aquecimento global são demonstrações da face destrutiva de alguns de seus aparatos.

Esta problemática foi o foco de pesquisa e estudo de vários autores e tema de congressos pelo mundo. Os debates que se interpuseram entre as visões de benefícios e malefícios gerados pela ciência e tecnologia, segundo Lopes (1996, p.129-32) ainda proclamam o sucesso do conceito de autonomia e neutralidade da ciência e da tecnologia. Esta divulgação se dá principalmente pelos meios de comunicação, que apresentam seus pontos positivos e negativos, utilizando preferencialmente cientistas, políticos, engenheiros e legisladores que fazem apologia a um modelo tecnocrático-político. Este tipo de ação dá força a um sistema tipicamente consumista e dominador que distorce a realidade dos fatos exclusivamente na intenção de concretizar, acima de qualquer análise, seus interesses.

Portanto, é primordial que as instituições e grupos que regem a educação escolar e o ensino das ciências se posicionem de tal maneira a revelar a realidade encoberta pelo discurso da neutralidade da ciência e tecnologia que se apoia numa propaganda que anuncia o bem

comum a toda a sociedade. Porém a realidade é esta: nas ações descomedidas da exploração da natureza e dos progressos científicos e tecnológicos obtidos, uma minoria é que se beneficia. Neste cenário Alves (1968, p.20) afirma: "Ao invés de as necessidades humanas definirem as necessidades de produção - o que seria norma para uma sociedade verdadeiramente humana - são as necessidades do funcionamento do sistema que irão criar as falsas necessidades de consumo [...]".

A partir da década de 1960 as discussões sobre os impactos gerados pela exploração humana da natureza, organizadas pelos movimentos questionadores como o ecologista/ambientalista e da contracultura, formam os precursores das conferências mundiais sobre o meio ambiente. Na década de 70 (século XX), através da conferência de Estocolmo, lançaram-se as bases de uma legislação internacional do meio ambiente que abrangia desde a exploração dos recursos naturais à produção das armas nucleares.

Com a Rio 92 se materializa o conceito do chamado "desenvolvimento sustentável" que tem por objetivo resolver o impasse entre conservação e exploração do meio ambiente. Para Jickling (1992, p.5) este termo tem sido usado de maneira manipulativa e polissêmica uma vez que traz um consenso entre explorador e explorado. Por não possuir um critério definido quanto à sua aplicação, este termo contribuiu mais para manter uma lógica vigente do que realmente questioná-la e modificá-la. Segundo Rosa (1992, p.45), o desenvolvimento autossustentado representa

> uma síntese para responder a duas demandas sociais aparentemente divergentes. É uma resposta política não só às pressões para a preservação do meio ambiente e à preocupação com a conservação dos recursos naturais finitos, mas também a necessidade de aumentar a produção para abranger parcelas crescentes da população mundial excluídas dos benefícios da tecnologia moderna.

Mas o que se vê na prática é um aumento da exploração das populações menos favorecidas, em contraste ao discurso que diz que os avanços tecnológicos visam à melhoria das condições de vida da população no âmbito geral.

É neste retrato da realidade que Santos e Schneztler (1997) afirmam a necessidade de alfabetizar cientificamente o cidadão em ciência e tecnologia no contexto do mundo contemporâneo. Fourez (1995) destaca que não se trata de divulgar as admirações provocadas pelas conquistas científicas como os veículos de comunicação já apresentam, mas tornar

acessível às significações que permitam ao indivíduo como ator social a agir, compreender e decidir sobre o que está envolvido na fala dos especialistas.

Os currículos com ênfase no referencial CTS tem a alfabetização científica por principal proposta. Dentre os vários autores que tentam definir o que é o currículo com ênfase em CTS, Hofstein, Aikenhead e Riquarts (1988, p.358) dizem que sua caracterização se norteia pelo ensino das ciências numa conjuntura que permita ao educando integrar o conhecimento científico com o mundo social, suas experiências cotidianas e com a própria tecnologia. Segundo López e Cerezo (1996) a integralidade entre a educação científica, tecnológica e social e os saberes científicos e tecnológicos é desenvolvida em conjunto às discussões que reúnam suas características éticas, históricas, políticas e socioeconômicas.

No sentido do enfoque CTS o processo de ensino e aprendizagem passa a ter um significado bem diferente do que o adotado no ensino tradicional, em que a pedagogia imposta pelo professor acaba se tornando um instrumento de subserviência ao educando. Na ótica CTS, docente e educando devem agir juntos no sentido da construção e/ou produção do conhecimento científico no intuito de desmistificar a sua conotação de caráter peremptório e inatingível.

Ações de inserção do currículo CTS vêm sido promovidas desde a década de 70 (século XX) em vários países com a confecção de materiais didáticos e sua consequente aplicação e avaliação, bem como a promoção de cursos de formação de professores (SOLOMON; AIKENHEAD, 1994). Desde então pesquisas têm sido realizadas comprovando no âmbito geral que a introdução destes currículos promove benefícios aos estudantes (AIKENHEAD, 1994b).

Krasilchik (1987) ao debater a transformação gerada pela criação dos currículos de ciências no Brasil no período de 1950 a 1985, afirma que, na década de 70 (século XX), os mesmos passaram a admitir um olhar sobre a ciência como o resultado de um contexto econômico, político e social. Na década seguinte este olhar passou a ter como objetivo uma análise sobre as implicações ocasionadas pelo desenvolvimento científico e tecnológico sobre a sociedade.

Diversas propostas curriculares e de materiais didáticos direcionados à educação no Brasil foram construídos segundo esta linha. Com respeito às propostas curriculares podem-se citar: Proposta Curricular de Ensino de Química da CENP/SE do Estado de São Paulo (SÃO

PAULO, 1988), as recomendações para o currículo do magistério de Ciscato e Beltran (1991), Proposta Curricular de Química para o Ensino Médio para o Estado de Minas Gerais (MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 1998). Em se tratando dos materiais didáticos citam-se: o projeto Unidades Modulares de Química (AMBROGI *et al.,1987*), as propostas pedagógicas de LUTFI (1988 e 1992), a coleção de livros do Grupo de Pesquisa em Ensino de Química da USP –GEPEQ (1993,1995 e 1998), a coleção de livros de física do GREF (1990, 1991 e 1993), o livro de Química na Sociedade (MÓL; SANTOS, 2000) e o livro de Química, Energia e Ambiente (MORTIMER; MACHADO; ROMANELLI, 1999). Além disso, foi promovida em 1990, a Conferência Internacional de Ensino de Ciências para o século XXI: ACT - Alfabetização em Ciência e Tecnologia cujo tema principal se concentrou na educação científica para os cidadãos.

2.2 Características do enfoque CTS

O desenvolvimento da alfabetização científica e tecnológica é o principal objetivo do enfoque CTS no ensino médio de modo a propiciar ao educando a construção de conhecimentos, habilidades e valores que o levem a tomar decisões responsáveis sobre temas que envolvam a ciência e a tecnologia na sociedade de forma atuante (AIKENHEAD, 1994a; IGLESIA, 1995; HOLMAN, 1988; RUBBA; WIESENMAYER, 1988; SOLOMON, 1993b; YAGER, 1990; ZOLLER, 1982).

Segundo Bybee (1987), as propostas CTS apontam três objetivos gerais: (1) aquisição de conhecimentos, (2) emprego de habilidades, (3) desenvolvimento de valores. Com respeito aos conhecimentos e habilidades a serem incrementados, Hofstein, Aikenhead e Riquarts (1988) agregam: a autoestima, a comunicação escrita e oral, o pensamento lógico e racional para solucionar problemas, a tomada de decisão, o aprendizado colaborativo/cooperativo, a responsabilidade social, o exercício da cidadania, a flexibilidade cognitiva e o interesse em atuar em questões sociais. Neste panorama, McConnel (1982, p.13) salienta que

> A tomada de decisão pública pelos cidadãos em uma democracia requer: uma atitude cuidadosa, habilidades de obtenção e uso de conhecimentos relevantes, consciência e compromisso com valores e capacidade de transformar atitudes, habilidades e valores em ação. Todos esses passos podem ser encorajados se uma perspectiva de tomada de decisão for incorporada ao processo educacional.

Com certeza, o desenvolvimento de valores possui um papel de destaque uma vez que este está intimamente ligado aos interesses de natureza social, ou seja, as necessidades humanas: reciprocidade, solidariedade, respeito ao próximo, coletividade, responsabilidade social, dentre outros. Neste caso se produz um questionamento ao valor apregoado pelo capitalismo que se concentra no valor econômico acima dos demais. Um cidadão crítico e comprometido com a sociedade deve possuir a habilidade de fazer e, sobretudo disseminar este juízo de valor. De acordo com Bybee (1987), a estrutura conceitual dos cursos que seguem a linha CTS compõem-se pelos seguintes temas: conceitos científicos e tecnológicos, processos de investigação e interações entre ciência, tecnologia e sociedade.

A admissão do conhecimento científico e tecnológico dá ênfase a circunstâncias associadas ao interesse pessoal, cívico e cultural. O processo de investigação científica e tecnológica fornece subsídios para uma participação ativa do educando na aquisição de informações, solução de problemas e na tomada de decisão. A interação entre ciência, tecnologia e sociedade permite desenvolver valores e conceitos através da investigação de temas locais, políticas públicas e temas globais. Segundo esta linha considera-se vantajosa a discussão sobre como a ótica CTS define e apresenta a ciência, tecnologia e sociedade e suas inter-relações.

2.2.1 Caráter da ciência e o enfoque CTS

Filósofos e sociólogos têm buscado em suas visões analisar e despojar o chamado mito do cientificismo, que consiste numa crença de que a ciência pode resolver todos os problemas da humanidade. Esta ideologia contribuiu para submeter à ciência ao interesse do mercado. Chalmers (1994) procurando discutir as limitações e seus sentidos nas dimensões sociais e políticas analisou trabalhos de epistemólogos e filósofos da ciência tecendo uma crítica à pseudociência, ao método experimental e à objetividade científica ao julgar a ciência como uma atividade aberta e em constante transformação.

Latour e Woolgar (1997) posicionam-se de modo a considerar a tese pela qual a ciência não se fundamenta apenas por critérios racionais e cognitivos uma vez que estes são socialmente construídos pelos próprios participantes da investigação científica. Na avaliação

destes autores o conceito de progresso científico é problemático uma vez que não existe uma forma objetiva de avaliar se o progresso científico é verdadeiramente um reflexo do mundo e que, portanto, gera-se uma questão polêmica e passível de interpretação na sociologia e filosofia, pois a ciência apresenta características irracionais e relativistas. Segundo esta linha, pesquisas mostram que a compreensão da natureza da ciência é um elemento crucial para que o educando possa julgar suas implicações sociais (AIKENHEAD, 1985 e 1994ª; LAYTON; DAVEY; JENKINS, 1986; RAMSEY, 1993; SOLOMON, 1993b; STIEFEL, 1995). Fica claro então que existe a obrigação de se discutir no currículo as características associadas à filosofia, história e sociologia das ciências.

Solomon (1988) sugere que o curso de CTS deva remeter para o caráter temporário e incerto das teorias científicas. Tal postura fomentaria nos educandos uma compreensão no sentido de avaliar o emprego da ciência baseando-se nas colocações rebatidas por especialistas.

O CTS, segundo Rosenthal (1989), agrega à sua estrutura curricular temas associados aos estudos políticos das ciências, ou seja, que relatem questões sociais desmembradas da comunidade científica (crescimento populacional, efeitos da energia nuclear, preservação do meio ambiente) como também assuntos específicos ligados diretamente à comunidade científica no que se refere a aspectos da ciência quanto a sua epistemologia e filosofia.

Rosenthal (1989) expõe vários aspectos concernentes que podem ser discorridos nos currículos CTS referente a questões de gênese:

1. *filosófica* - que incluiria, entre outros, aspectos éticos do trabalho científico, o impacto das descobertas científicas sobre a sociedade e a responsabilidade social dos cientistas no exercício de suas atividades;

2. *sociológica* - que incluiria a discussão sobre as influências da Ciência e Tecnologia sobre a Sociedade e dessa última sobre o progresso científico e tecnológico; e as limitações e possibilidades de se usar a Ciência e a Tecnologia para resolver problemas sociais;

3. *histórica* - que incluiria discutir a influência da atividade científica e tecnológica na história da humanidade, bem como efeitos de eventos históricos no crescimento da Ciência e da Tecnologia;

4. *política* - que passa pelas interações entre a Ciência a Tecnologia e os sistemas público, de governo e legal; a tomada de decisão sobre Ciência e Tecnologia; o uso político da Ciência e Tecnologia; Ciência, Tecnologia, defesa nacional e políticas globais;

5. *econômica* - com foco nas interações entre condições econômicas e a ciência e a tecnologia, contribuições dessas atividades para o desenvolvimento econômico e industrial, tecnologia e indústria, consumismo, emprego em Ciência e Tecnologia;

6. *humanística* - aspectos estéticos, criativos e culturais da atividade científica, os efeitos do desenvolvimento científico sobre a literatura e as artes, e a influência das humanidades na Ciência e Tecnologia.

Com efeito, o enfoque CTS apresenta em seus currículos uma descrição da ciência que transcende os aspectos da natureza da investigação científica e acepção dos conceitos científicos diferenciando-se do ensino que se resume apenas em denotar nomes científicos a seres vivos ou apenas descrever processos físicos e químicos que estejam envolvidos na natureza ou em aparatos tecnológicos.

2.2.2 Tecnologia e o enfoque CTS

De acordo o dicionário Tecnologia significa: Ciência cujo objeto é a aplicação do conhecimento técnico e científico para fins industriais e comerciais (*in Dicionário Priberam da Língua Portuguesa* [em linha], 2008-2013). Em linhas gerais refere-se ao conhecimento articulado que permite modificar e manipular o mundo. Esta interpretação vai ao encontro da linha de pensamento atual que se revela em um conceito de que Ciência e Tecnologia são termos indissociáveis. Tal afirmação acaba por induzir uma explicação equivocada, no sentido de que a tecnologia é nada mais do que ciência aplicada.

Segundo Vargas (1994), a tecnologia consiste em um conjunto de atividades humanas, associadas ao sistema de símbolos, instrumentos e máquinas, visando à construção de obras e a fabricação de produtos por meio de conhecimento sistematizado.

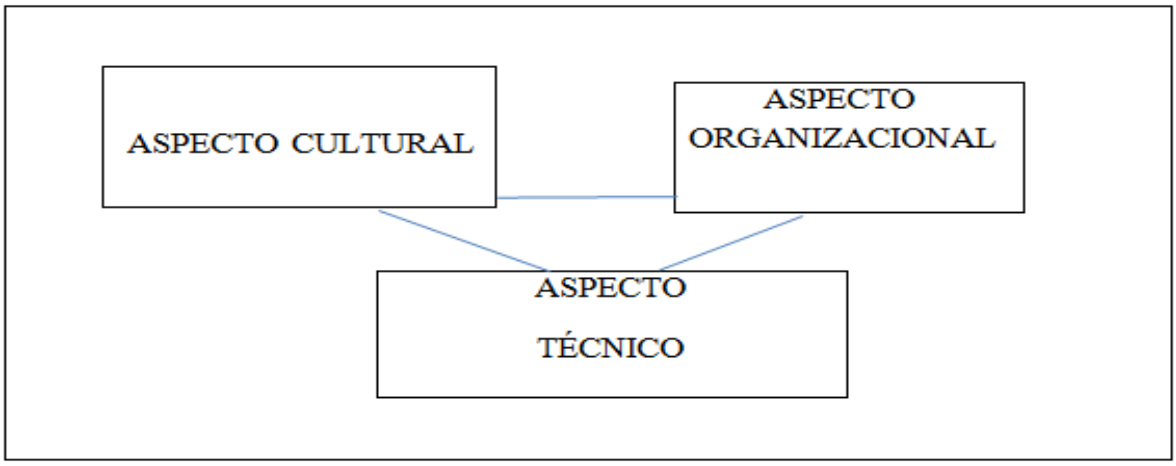


Figura 1: Significado da tecnologia

Fonte: PACEY, 1990, p. 19.

O diagrama mostrado na figura 01 concebe exatamente as características da prática tecnológica, a saber,

1. aspecto *técnico*: conhecimentos, habilidades e técnicas; instrumentos, ferramentas e máquinas; recursos humanos e materiais; matérias primas, produtos obtidos, objetos e resíduos;

2. aspecto *organizacional:* atividade econômica e industrial; atividade profissional dos engenheiros, técnicos e operários da produção; usuários e consumidores; sindicatos;

3. aspecto *cultural*: objetivos, sistema de valores e códigos éticos, crenças sobre o progresso, consciência e criatividade.

Comumente a tecnologia é sintetizada apenas em sua dimensão técnica, deixando à parte suas dimensões organizacionais e culturais, evidenciando o porquê a maioria dos cidadãos não nota a sua dependência dos sistemas sócio-políticos, dos valores e ideologias das culturas às quais pertence. Tal juízo é primordial para que se percebam quais são as interferências que a tecnologia gera em seu meio de convívio, bem como a agir de modo consciente perante suas ações.

Segundo Acevedo Diáz (1996) a alfabetização tecnológica, dentro do enfoque CTS, levanta e promove a análise destas dimensões da prática tecnológica. Neste sentido Fleming (1989) argumenta que

> Uma pessoa letrada tecnologicamente tem o poder e a liberdade de usar esse poder para examinar e questionar os problemas de importância em sócio-tecnologia. Algumas dessas questões poderiam ser: as ideias de progresso por meio da tecnologia, as tecnologias apropriadas, os benefícios e custos do desenvolvimento tecnológico, os modelos econômicos envolvendo tecnologia, as decisões pessoais envolvendo o consumo de produtos tecnológicos e como as decisões tomadas pelos gerenciadores da tecnologia conformam suas aplicações (FLEMING, 1989, p.393-394).

Na esperança de promover uma formação que permita ao cidadão a compreensão da influência da tecnologia no procedimento humano e atitudes que venham favorecer um desenvolvimento tecnológico sustentável, é indispensável o debate sobre os valores envolvidos nas decisões (LAYTON, 1988). A partir do reconhecimento dos valores é possível compreender as demandas da sociedade e qual a ética envolvida na aplicação responsável da tecnologia (BOOF, 1996).

Por meio desta ótica, o ensino deve ir além de apresentar as demonstrações de natureza puramente conceitual ou explicações sobre o funcionamento de aparatos tecnológicos. Com efeito, um cidadão deve possuir competências e habilidades que lhe possam servir de suporte para saber manusear e lidar com novas tecnologias. Contudo, apenas isto não basta, haja vista que a falta de um senso crítico que o permita avaliar e decidir sobre o uso ou a tomar ações conscientes a respeito de novas tecnologias contribui para a manutenção de um processo de dominação do indivíduo pelos ideais de mercado que visam ao lucro em detrimento a qualquer valor que não seja o econômico.

2.2.3 Sociedade e o enfoque CTS

O termo sociedade faz referência a diversos seguimentos como: reunião de pessoas unidas pela origem ou por leis, Estado social, união de pessoas ligadas por ideias ou por algum interesse comum, alta sociedade, sociedade civil, sociedade da informação, este último aparece em vigor como um termo da modernidade.

Os currículos com enfoque CTS se distinguem por desenvolver temas que envolvam ciência ou tecnologia e que não são compreendidos com respeito ao ponto de vista social de forma imediata (AIKENHEAD, 1994ª; RAMSEY, 1993; RUBBA, 1991; THIER, 1985). De

acordo com Ramsey (1993) um tema social deve partir das próprias atividades da ciência ou da tecnologia englobando uma problemática que seja evidenciada em conjuntos de diferentes crenças e valores. Este autor apresenta três critérios para identificação de um tema social relacionado à ciência e tecnologia:

(1) Se for, de fato, um problema de natureza controvertida, ou seja, se existem opiniões diferentes a seu respeito;
(2) Se o tema tem significado social;
(3) Se o tema, em alguma dimensão, é relativo à ciência e à tecnologia.

Há também os chamados temas globais que se caracterizam por serem analisados em uma dimensão que permita discuti-los além de contextos nacionais ou locais uma vez que são capazes de afetar a vida das pessoas em diferentes partes do mundo. A inclusão destes temas é levantada por alguns autores, como Merryfild (1991) que os identificam da seguinte maneira: (1) temas ambientais; (2) saúde e população; (3) questões econômicas; (4) transporte e comunicação; (5) alimentos e fome; (6) energia; (7) questões militares.

Parece não haver consenso quanto à escolha de temas globais ou regionais. Segundo Ramsey (1993), a sua importância deve estar entrelaçada ao grau de relevância social.

Freire deixou contribuições que servem para encaminhar a escolha de temas geradores, embora não venha diretamente da vertente a qual se direciona o CTS, ou seja, as problemáticas envolvidas na educação científica e tecnológica: "É na realidade mediadora, na consciência que dela tenhamos educadores e povo, que buscaremos o conteúdo programático da educação" (FREIRE, 1987, p.87). Segundo a visão freireana, deve-se iniciar a busca do tema a partir de relações que envolvam os homens com o mundo partindo de uma situação local e posteriormente para análise de problemas nacionais e regionais (FREIRE, 1996). Boof (1996) salienta que "O bem comum particular emerge a partir da sintonia e sinergia com a dinâmica do bem comum planetário e universal" (BOOF, 1996, p. 61). Em suma uma abordagem principiada em temas locais com um possível entrelaçamento global.

As áreas cujos temas são abordados via CTS foram assim dispostas por Towse (1986): (1) saúde; (2) alimentação e agricultura; (3) recursos energéticos; (4) terra, água e recursos minerais; (5) indústria e tecnologia; (6) ambiente; (7) transferência de informação e tecnologia; (8) ética e responsabilidade social. Enquanto que Bybee (1987) os dispõe da seguinte maneira: (1) qualidade do ar e atmosfera; (2) fome mundial e fontes de alimentos; (3) guerra tecnológica; (4) crescimento populacional; (5) recursos hídricos; (6) escassez de energia; (7) substâncias perigosas; (8) a saúde humana e a doença; (9) uso do solo; (10)

reatores nucleares; (11) animais e plantas em extinção; (12) recursos minerais. Estes temas apresentados podem ser trabalhados tanto localmente quanto globalmente.

2.2.4 Interações ciência – tecnologia – sociedade

O caráter multidisciplinar dos conteúdos abordados nos currículos com ênfase em CTS é evidenciado na proposta de se estabelecer relações que demonstrem as diferentes proporções dos saberes estudados, bem como as interações entre a ciência, tecnologia e sociedade. O quadro 1, elaborado por Mckavanagh e Maher (1982) exemplifica estas interações.

Quadro 1. Aspectos da abordagem de CTS

Aspectos de CTS	Esclarecimentos
1. Efeito da Ciência sobre a Tecnologia	A produção de novos conhecimentos tem estimulado mudanças tecnológicas.
2. Efeito da Tecnologia sobre a Sociedade	A tecnologia disponível a um grupo humano influencia sobremaneira o estilo de vida desse grupo.
3. Efeito da Sociedade sobre a Ciência	Por meio de investimentos e outras pressões, a sociedade influencia a direção da pesquisa científica.
4. Efeito da Ciência sobre a Sociedade	O desenvolvimento de teorias científicas pode influenciar a maneira como as pessoas pensam sobre si próprias e sobre problemas e soluções.
5. Efeito da Sociedade sobre a Tecnologia	Pressões públicas e privadas podem influenciar a direção em que os problemas são resolvidos e, em consequência, promover mudanças tecnológicas.
6. Efeito da Tecnologia sobre a Ciência	A disponibilidade dos recursos tecnológicos limitará ou ampliará os progressos científicos.

Fonte: McKAVANAGH e MAHER, 1982, p.72.

As discussões sobre o significado da ciência e tecnologia devem direcionar o educando a perceber algo além de suas aplicações no meio social e científico. Um estudo que

conduza ao mito da neutralidade científica foge ao propósito do enfoque CTS e, portanto a compreensão pretendida aos educandos deve buscar uma abordagem que contemple as dimensões sociais e que identifique quais são as motivações e interesses que podem propiciar os avanços tecnológicos e científicos.

2.3 Estratégias de ensino no enfoque CTS

A sequência apontada por Aikenhead (1994ª) em relação ao modo que se deve trabalhar a estrutura dos materiais de ensino com abordagem CTS é indicado para uma melhor organização de propostas de ensino, segundo pesquisas que apontam sua efetividade. A sequência de passos deve ser a seguinte:

(1º) introdução de um tema social;

(2º) análise da tecnologia relacionada ao tema social;

(3º) estudo do conteúdo científico definido em função do tema social;

(4º) estudo da tecnologia correlata em função do conteúdo apresentado;

(5º) discussão da questão social original.

A introdução do tema social deve induzir o educando a um despertar questionador, para mais a frente, após as discussões dos problemas sociais envolvidos neste tema, seja desenvolvida a capacidade de tomada de decisão. Estas discussões devem ser apresentadas de modo que as possíveis soluções destes problemas surjam em ambiente escolar, não com a visão do senso comum, mas sim a partir do estudo científico e de suas aplicações tecnológicas e naturalmente de suas consequências sociais.

Hofstein, Aikenhead e Riquarts (1988) apresentam algumas estratégias a serem usadas em CTS: palestras, demonstrações, sessões de discussão, solução de problemas, jogos de simulação e desempenho de papéis, fóruns e debates, projetos individuais e de grupo, redação de cartas a autoridades, pesquisa de campo e ação comunitária. Além de estudo de caso relacionado diretamente a problemas reais da sociedade (BYRNE; JOHNSTONE, 1988; HEATH, 1992; LAETER; LUNETTA, 1982), a construção de modelos de artefatos

tecnológicos (JAMIESON; MILLER; WATTS, 1993; SOLOMON, 1993[b]), debates em grupos sobre fatos históricos das ciências e uso de vídeos envolvendo questões científicas e tecnológicas (SOLOMON, 1989, 1993[b]). O desenvolvimento destas atividades pode ser efetivado através de trabalhos entre alunos, entre aluno e professor, pesquisas, apresentações orais, relatórios escritos (HEATH, 1992).

As sugestões metodológicas apresentadas visam contribuir para que os educandos possam desenvolver habilidades e atitudes que venham permitir uma tomada de decisão. Porém, alguns trabalhos alertam sobre a questão da tomada de decisão como um dilema, uma vez que esta se apresenta muito complexa levando-se em conta a análise do processo social (SOLOMON, 1991 e 1994). Neste sentido há uma necessidade de se discutir a problemática envolvida em possíveis atitudes a serem tomadas pelos alunos no ambiente escolar e no ambiente social, isto porque não existe uma correspondência direta entre a participação dos alunos em seu ambiente social da vida diária e as atitudes desenvolvidas via CTS (LAYTON, 1994; SOLOMON, 1991 e 1994; THOMAS, 1985).

2.4 Nossa proposta e o enfoque CTS

Segundo os PCNEM, um dos objetivos do Ensino Médio é contribuir para:

> A formação da pessoa, de maneira a desenvolver os valores e as competências necessárias à integração de seu projeto individual ao projeto da sociedade em que se situa; o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico, a preparação e a orientação básica para sua integração ao mundo do trabalho, com as competências que garantam seu aprimoramento profissional e permitam acompanhar as mudanças que caracterizam a produção do nosso tempo; o desenvolvimento das competências para continuar aprendendo, de forma autônoma e crítica, em níveis mais complexos de estudos. (BRASIL, 1999, p.23).

Fica claro que uma das inquietações a respeito do Ensino Médio se identifica com a atribuição que este grau de ensino deve satisfazer a sociedade. Esta linha de pensamento aparece claramente na proposta da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB).

Portanto, para que o educando possa realmente integrar a sociedade moderna e tecnológica de forma atuante, faz-se necessário que ele esteja a par das transformações que

ocorrem constantemente neste meio. A LDB enuncia, em seu artigo 36, que o Ensino Médio "[...] destacará a educação tecnológica, a compreensão do significado da ciência, das letras e das artes, o processo histórico de transformação da sociedade e da cultura, a língua portuguesa como instrumento de comunicação, acesso ao conhecimento e exercício da cidadania".

Para conceber um indivíduo que se aproprie destes saberes para o exercício da cidadania, é necessário que o Ensino Médio forneça condições ao educando que o levem a compreender a essência contextual da ciência e tecnologia no ambiente social. Logo, o saber adquirido sobre as concepções filosóficas e históricas da ciência tornam-se ferramenta fundamental para que se tenha uma visão clara das potencialidades e restrições do saber científico. Portanto, esta ferramenta dá possibilidade de se orientar quanto a sua tomada de decisão.

A concretização destas argumentações depende de um novo modelo de prática pedagógica, como sugere o próprio artigo 36 da LDB, sendo que a metodologia empregada e a forma de avaliação devem instigar o educando a tomar iniciativa para desenvolver a capacidade de adaptação a situações-problema das mais variadas formas, na intenção de gerar uma flexibilidade em suas futuras tomadas de decisão. Evidentemente que, se mantendo as práticas pedagógicas atuais, não haverá modo de alcançar a formação de um ator social segundo a pretensão discutida.

Os PCNEM declaram que não é preciso a criação de novos conteúdos ou de saberes, mas que a mobilização de várias disciplinas seja aplicada para resolução de uma situação-problema ou para análise e entendimento de um fenômeno qualquer. Neste sentido, a proposta foi instituir as três áreas de ensino (Linguagens, Códigos e suas Tecnologias, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, Ciências Humanas e suas Tecnologias) na tentativa de conciliar conhecimentos adjacentes para facilitar o trabalho em conjunto. Este encadeamento lógico da disposição das disciplinas tem por objetivo facilitar a desfragmentação dos saberes e motivar os professores a desenvolverem novas estratégias para o seu exercício pedagógico e tornar possível à comunicação e integralização das disciplinas.

Na concepção de Morin (2003) os maiores motivos de preocupação no que diz respeito à reformulação da prática do ensino são: compartimentalização dos saberes e a inabilidade de entrelaçá-los, sendo que a capacidade de relacionar e reunir são uma faculdade do ser humano que deve ser estimulada e não definhada.

As propostas de ensino para produzir um cidadão consciente do significado do exercício de sua cidadania devem ser conduzidas apontando para estratégias que considerem primeiramente os conhecimentos prévios do educando. Esta iniciativa permitirá a discussão sobre o envolvimento social do tema a ser discutido mesmo antes de apresentar sua caracterização na ótica científica dos saberes, ou seja, Física, Matemática, Química, Biologia, Geografia e História. Através do tema desenvolvido neste trabalho entende-se que há consonância entre os objetivos propostos pela LDB e relatados nos PCNEM com a forma de abordagem via CTS.

Contudo, há alguns problemas a serem enfrentados antes que se possa efetivar o uso do enfoque CTS na estrutura curricular do ambiente educacional. Conforme Santos e Mortimer (2000), antes de estabelecer o uso do enfoque CTS nos espaços educacionais, em especial no Ensino Médio, precisa-se considerar quais modelos curriculares podem ser aplicados àquela realidade local cujas necessidades se apresentam de maneira singular. Pode-se cometer um erro aplicando modelos curriculares de outros países, uma vez que estes podem divergir totalmente ou mesmo não atender as necessidades e particularidades de uma determinada localidade.

Outro grande problema está associado à formação de docentes capacitados a aplicar o enfoque CTS. Esta preocupação é relatada por autores como: Medina e Samartín (1990); Rubba e Harkness (1993); Rubba *et al.* (1996); Acevedo (2001); Osório (2002), Auler (2002) e Acevedo *et al.* (2004), que investigaram sobre o enfoque CTS com professores de diversos níveis. As suas investigações apontaram para uma realidade que evidencia a falta de preparo e conhecimento dos professores para com a abordagem CTS. Uma vez que no Brasil existem poucas instituições que possuem a linha de pesquisa voltada para a abordagem CTS, também serão poucos os docentes que possuem formação capacitada para aplicar esta abordagem.

Outro aspecto é a formação de professores e alunos que ainda se baseia num currículo que se utiliza da fragmentação dos saberes, portanto, nenhum dos dois possui direcionamento numa perspectiva interdisciplinar, o que torna essencial uma análise sistemática de como o enfoque CTS possa vir a ser aplicado no atual sistema de ensino.

Pensando nisso, este trabalho intencionou produzir uma oficina com estratégias que driblassem uma boa parte destas dificuldades por intermédio da proposta do viés CTS. Para tanto, contou-se com a participação efetiva de professores, alunos, direção e outras pessoas ligadas a instituições fora do ambiente escolar. Esta iniciativa em conjunto criou condições

para promover no educando a oportunidade de uma oficina interdisciplinar e contextualizada em que as discussões e atividades desenvolvidas permitiram a verificação dos laços e da integralidade existentes entre as disciplinas.

3. Metodologia

Para a organização da oficina foram necessários vários passos para que fosse possível chegar a um produto educacional que contemplasse os objetivos traçados no início deste trabalho.

Inicialmente procuramos 3ªCoRpAer (Terceira Companhia de Radiopatrulhamento Aéreo) sediada em Montes Claros-MG com o intuito de estabelecer uma parceria e buscar informações de aspectos técnico e científico referentes ao helicóptero , como também as que apontassem a forma de condução e ação da polícia no combate ao crime e ao tráfico, entre outras atividades que contassem com o apoio dessa máquina. Esta ação foi muito feliz porque era do próprio interesse desta corporação (Polícia Militar) que se fizesse um trabalho de integração entre ela, comunidade e escola, por isso, este contato foi visto por esta instituição com bons olhos, o que culminou em seu apoio incondicional.

Para a elaboração da oficina tomamos duas linhas: de Ramsey (1993), que afirma que um tema social deve ter origem nas próprias atividades da ciência ou da tecnologia e que esteja associado a uma problemática que se evidencia em conjuntos de diferentes crenças e valores, e de Aikenhead (1994ª) que direciona a sequência em relação ao modo que se deve trabalhar a estrutura dos materiais de ensino com abordagem CTS.

Após dois meses de estudo e ensaios em conjunto com os integrantes da 3ª CoRpAer, decidimos desenvolver uma oficina composta de algumas etapas que serão explicadas detalhadamente nas próximas seções deste trabalho. Várias oficinas foram realizadas entre os períodos de 2008 até 2014 onde ocorreram diversas transformações para que chegássemos a resultados considerados satisfatórios.

A partir da próxima seção faremos a descrição de todo o processo que envolveu a construção da última oficina, que foi realizada no ano de 2014, iniciada com o aconteceu o levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos em uma escola pública do estado de Minas Gerais.

3.1 Instrumentos de pesquisa (questionário e redação)

Os educandos trazem de fora do espaço escolar uma série de 'conhecimentos físicos' previamente construídos e que fazem uso no seu dia-a-dia para esclarecer fenômenos ou processos observados. Isto gera uma dificuldade para o professor em compreender as visões apresentadas pelos alunos uma vez que ele desconhece o fato sobre qual ótica foram gerados estes modelos intuitivos. Logo, para que seja estabelecido um diálogo pedagógico, torna-se necessário descobrir como se apresentam estes modos de "saber" adquiridos, pois consistem em uma peça fundamental para que se estabeleça um confronto entre estes modelos intuitivos alegados por eles e os elaborados pela ciência. Devem-se criar então estratégias para que os educandos possam revê-los e consequentemente despertar em suas mentes uma reflexão sobre o caráter limitante de suas ações analíticas sobre um fenômeno ou processo qualquer em relação ao proposto pela visão científica.

Para que tivéssemos uma noção de alguns modelos e concepções intuitivas dos educandos sobre o tema abordado nesta oficina, elaboramos um questionário cujas perguntas nos levaram, num primeiro momento, a tomar ciência de algumas ideias oriundas do senso comum ou mesmo de concepções geradas no ambiente escolar de forma errônea (isto será evidenciado na análise das respostas). Assim, foram questionados os mecanismos que propiciam o voo de algo mais "pesado que o ar" (expressão que é comumente usada no jargão aeronáutico), para que então, posteriormente, pudéssemos estabelecer o confronto de suas concepções iniciais com as informações que seriam adquiridas durante a oficina.

Este questionário foi composto por cinco perguntas (Apêndice C, p.150) que abordam de forma implícita o princípio do voo, a diferença entre asas rotativas e fixas e a questão da manobrabilidade, que para nós consistiam nos elementos fundamentais para estabelecermos durante a realização da oficina, o confronto das concepções intuitivas e científicas.

Após a realização da oficina tínhamos de sondar de que forma foram assimiladas e entendidas as novas concepções a respeito do tema pelos educandos. Para tanto, promovemos um concurso de redação envolvendo o tema discutido em que as quarenta melhores, do universo de alunos participantes, foram avaliadas por uma comissão formada por integrantes da escola e da 3ª CoRpAer, no intuito de premiara as três melhores.

3.2 Elaboração da oficina

A oficina foi composta basicamente de três momentos distintos, onde o primeiro aconteceu nas dependências da própria escola. Um ponto importante é que antes da realização da oficina primeiramente sempre buscamos, o apoio da direção, professores e funcionários. O segundo e terceiro momentos foram realizados na sede da 3ª CoRpAer onde contamos com todo o apoio de seus integrantes. Para todo processo gastamos em torno de quatro semanas que foram definidas segundo a disponibilidade da escola e da 3ª CoRpAer.

De início, na primeira semana, anunciamos aos educandos a nossa proposta e ratificamos todo o apoio recebido da direção e professores, para que então eles se motivassem a participar de todas as etapas, pois além do professor de Física, outros professores sempre se mostraram interessados em avaliar esta participação quando sugerida. Em sequência foi aplicado o questionário de sondagem de conhecimentos prévios e recolhido para análise das respostas.

Na segunda semana foi ministrada em seu primeiro momento, uma palestra cujo objetivo consistiu em intercalar a história e evolução do helicóptero sob os pontos de vista científico e tecnológico com as origens da Polícia Militar e da 3ª CoRpAer. Foram utilizados recursos audiovisuais, experimentais e materiais de apoio impressos, em que foi destacado o emprego do helicóptero nas mais variadas tarefas da esfera social, ressaltando as parcerias com outros segmentos de prestação de serviço envolvidos na sociedade. Neste primeiro momento que foi divulgado o concurso de redação cuja intenção foi reforçar a participação de todos os educandos no segundo momento da oficina que seria realizado na sede da 3ª CoRpAer.

Como já anunciado o segundo e terceiro momentos foram realizados na sede da 3ª CoRpAer cuja meta foi complementar o assunto tratado na palestra inicial de forma prática. No segundo momento, os educandos tiveram acesso às informações de todos dispositivos e recursos direto do helicóptero. Já ao término desta etapa de explicações, todos os educandos receberam um material contendo as regras para o concurso de redação e incluso um glossário (Apêndice A) referente a termos técnicos da linguagem apresentada e utilizada no meio aeronáutico. Após recolhidas e avaliadas as redações, os 40 educandos cujas redações foram consideradas as melhores, a direção e professores foram convidados a retornar à sede da 3ª

CoRPAer para participar do terceiro momento que se caracterizou por uma cerimônia de entrega de premiação às três melhores redações e de certificados de participação.

Este formato final da oficina foi alcançado após a realização de várias outras, as quais se apresentaram incompletas para se configurar realmente como produto que pudesse ser caracterizado como educacional. O projeto piloto (a primeira oficina) composta apenas de uma única fase, por exemplo, realizada em uma escola particular da cidade de Montes Claros-MG nos proporcionou um momento único que englobou desde o deslocamento da aeronave até a escola à participação da TV local. O helicóptero da polícia efetuou um pouso em um campo de futebol desta escola e ali permaneceu até que os alunos viessem vê-lo para receberem algumas orientações e explicações sobre a máquina. Estas explicações foram dadas pelos pilotos e componentes 3ª CoRpAer. Este momento ocorreu logo após a palestra inicial realizada em sala em conjunto com o autor deste trabalho. Assim, o ponto positivo a ser levantado em relação aos educandos de fato foi à chance de vivenciar a demonstração do que foi apresentado em plano teórico de forma imediata. A TV local esteve presente no evento documentando todos os detalhes do projeto para posteriormente exibir uma reportagem que foi ao "ar" no jornal da manhã do mesmo dia. Como mostrado na figura 02.

Figura 2: **Momentos da primeira oficina registrados na reportagem da TV local. A matéria foi exibida pelo jornal no mesmo dia da aplicação da oficina**.

Fonte: InterTV Grande Minas (afiliada a rede Globo) 2008.

Embora tenha despertado muito o interesse dos educandos, esta prática não pôde ser repetida porque o helicóptero da polícia sempre deve estar a serviço da corporação e logo se tornou inviável solicitar a sua presença nas escolas. Isto demandaria uma série de pedidos às autoridades envolvidas dentro da própria polícia, sem considerar que o combustível

aeronáutico é muito caro e para o caso desta aeronave o investimento é pago pelo Estado. Vale ressaltar também que próprio interesse da polícia e da TV, que atenderam aos pedidos, se manifestou por que este tipo de prática tratava-se de uma novidade e pôde ser utilizada pelos dois segmentos segundo as suas necessidades. Para a polícia representava uma forma de integração com a escola e, portanto reforçaria sua prestação de serviço à sociedade, e para a TV uma matéria com um bom conteúdo que inclusive serviu como a âncora para o seu jornal local do dia.

As oficinas que realizamos em outras escolas, geralmente em dois momentos, o primeiro na escola e outro sede do 3ª CoRpAer, se limitaram apenas à entrega de certificados a suas direções e a um serviço basicamente informativo aos educandos, ou seja, sem nenhum critério que permitisse uma avaliação. A figura 03 ilustra um momento da primeira palestra realizada em parceria com o mecânico de Helicóptero, Sargento Elton Novaes.

Figura 3: Palestra ministrada pelo autor e pelo mecânico do Helicóptero.

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2008.

A figura 04 registra a visita de alunos ao hangar 3ª CoRpAer para receberem informações e explicações sobre o helicóptero.

Figura 4: Segundo momento realizado no hangar da 3ªCoRpAer.

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2008.

Portanto, houve a necessidade de inserir elementos que modificassem a oficina a ponto de dar-lhe forma de um produto educacional. Através de leituras de artigos educacionais que mencionavam aulas com foco interdisciplinar e contextualizado foi possível escolher e adotar um referencial que desse suporte a nossa proposta: o CTS. As discussões das ideias sugeridas por professores e de integrantes da 3ª CoRpAer permitiu-nos chegar ao formato final da oficina apresentado no início desta seção.

3.3 População pesquisada

A oficina que escolhemos para descrever todo seu processo foi realizada no primeiro semestre do ano de 2014, na Escola Estadual Coronel Francisco Ribeiro situada na cidade de Coração de Jesus-MG. Esta escolha foi motivada devido ao fato de ter sido a mais recente oficina realizada e onde pela primeira vez promovemos um concurso de redação sobre o tema abordado.

Participaram da oficina 163 alunos entre primeiro (54), segundo (36) e terceiro anos (73). Cada turma foi dividida em grupos de no mínimo dois e no máximo três integrantes para aplicação do questionário de conhecimentos prévios. Para o processo incluímos todas as turmas do ensino médio, uma vez que o pré-requisito era possuir algum conhecimento básico sobre as três leis de Newton e, portanto aplicamos os mesmos questionários a todas as turmas. Para facilitar o trabalho e não tomar muito tempo dos horários de aula, o professor de Física

da referida escola é que sugeriu que organizássemos cada turma em grupos de no máximo três integrantes para que fossem respondidas as perguntas.

Esta estratégia permitiu, já de início, um confronto entre os próprios educandos de cada grupo quanto à divergência gerada pelas suas concepções intuitivas na hora de decidir qual resposta deveria ser redigida, uma vez que cada um deveria responder o seu questionário de maneira individual.

3.4 A aplicação da proposta

Após o parecer favorável da direção da referida escola, iniciamos os trabalhos com o apoio e presença do professor de Física que auxiliou em nossa apresentação a cada turma. Após a aplicação e preenchimento das respostas, os questionários foram recolhidos e conduzidos para uma avaliação. Esta avaliação dos conhecimentos prévios é que ditou a maneira de como iríamos conduzir as palestras na escola e na sede da 3ª CoRpAer.

A oficina em seu primeiro momento foi realizada na biblioteca da escola e ministrada pelo autor deste trabalho, pelo mecânico da aeronave Sargento Elton Novaes e pelo Subtenente Tarcísio Simões. Os detalhes deste momento que envolve desde a palestra ao concurso de redação serão discutidos na seção sobre a apresentação do produto. A figura 05 mostra o início da palestra realizada a uma das turmas da Escola Estadual Coronel Francisco Ribeiro.

Figura 5: **Palestra ministrada pelo autor e pelo mecânico do Helicóptero.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

O segundo momento desta oficina foi realizado no hangar da 3ªCoRpAer com objetivo de mostrar aos alunos, *in locu* todos os dispositivos e recursos da máquina de forma real e aplicada em complementação ao quadro teórico que foi apresentado no primeiro momento como podemos ver na figura 06.

Figura 6: Segundo momento da palestra onde uma das turmas visita o hangar da 3ªCoRpAer.

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

Após o segundo momento, os educandos deveriam entregar suas redações para a correção e análise da comissão. Feito isso, foram separadas as quarenta melhores avaliadas, em que todos estes alunos receberam um certificado de participação da oficina e os três primeiros colocados foram premiados com medalhas de honra ao mérito. Consideramos duas redações em terceiro lugar. Ao primeiro lugar foi destinado ainda um prêmio especial: um aeromodelo de um helicóptero (helimodelo). Abaixo na figura 07 uma foto que reúne os educandos finalistas do concurso, professores e integrantes da 3ª CoRpAer e o autor deste trabalho.

Figura 7: **Os quarenta educandos finalistas do concurso de redação no hangar da 3ªCoRpAer.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

A comissão julgadora do concurso de redação foi formada por quatro integrantes: um representante da 3ª CoRpAer , dois representantes da escola, o diretor e o professor de Física, e o autor deste trabalho.

O tema da redação desenvolvido foi: "Como se processa o voo do helicóptero e aplicabilidade deste aparato tecnológico na sociedade contemporânea". Os alunos deveriam desenvolver o texto em prosa e a redação deveria conter no mínimo 30 e no máximo 50 linhas. As instruções e critérios usados pela comissão julgadora do concurso são discutidos detalhadamente na seção de apresentação do produto. Mais uma vez por sugestão do professor de Física da escola, escolhemos, em vez de três, as quatro melhores redações, onde duas delas dividiram o terceiro lugar. O principal critério observado na construção do texto fazia menção ao caráter transitório e mutável da ciência e da tecnologia, linha que está presente na vertente dos currículos organizados via CTS. Os alunos deveriam destacar a evolução da máquina considerando aspectos históricos, científicos, tecnológicos e seu variado emprego na sociedade. O uso correto de termos técnicos também foi observado. Os educandos tiveram após a visitação no hangar da 3ª CoRpAer o tempo de uma semana e meia para entregarem suas redações. Após a entrega e correção das redações, uma cerimônia de entrega foi realizada nas dependências da3ª CoRpAer. Na figura 08 temos os quatro educandos cujas redações foram consideradas as melhores.

Figura 7: **Os quatro primeiros colocados entre os finalistas do concurso de redação, onde dois ocuparam o terceiro lugar.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

3.5 Análise dos dados coletados

Para analisarmos o conteúdo das respostas do questionário de conhecimentos prévios, utilizamos Bardin (2011) cuja técnica de categorização consiste em uma atribuição de valores aos elementos estruturantes que estão presentes nas respostas e identificados por apresentarem diferenças. A partir disso, faz-se um reagrupamento segundo o gênero (analogia) de cada elemento criando-se categorias que associam suas características comuns.

Faremos agora uma análise das perguntas do questionário e das respostas dos estudantes. Primeiro vamos apresentar cada pergunta, destacar qual o seu objetivo de sondagem e quais foram às respostas dos educandos, identificando os possíveis padrões presentes.

3.5.1 As perguntas e a análise das respostas.

1ª Pergunta: Porque a maioria das aves consegue voar?

O objetivo desta pergunta era verificar se os estudantes seriam capazes de perceber que apenas a condição de possuir asas não garante a propriedade do voo. Um total de 55% dos alunos (89 alunos aproximadamente) respondeu a esta questão argumentando apenas sobre o fato de possuir asas. 30% (49 alunos aproximadamente) se referiram a adaptações no corpo como ossos leves, penas nas asas e no rabo. Os 15% restantes (25 alunos aproximadamente) disseram que possuir penas e conseguir produzir impulso eram os mecanismos que propiciavam o voo. O quadro 2, abaixo denota a natureza das respostas dos alunos.

Quadro 2: Exemplos da natureza das respostas dadas pelos alunos referentes a primeira pergunta.

Categoria	Natureza das respostas dos alunos	Porcentagem
Asas	A capacidade de voo está ligada diretamente a condição de possuir asas.	55%
Adaptações	A capacidade de voo está diretamente ligada às adaptações no corpo com ossos leves e porosos e penas nas asas e no rabo.	30%
Penas/Impulso	Possuir penas e produzir impulso.	15%

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

Na figura 09 mostramos uma resposta de uma aluna fazendo referência às adaptações nos corpos das aves.

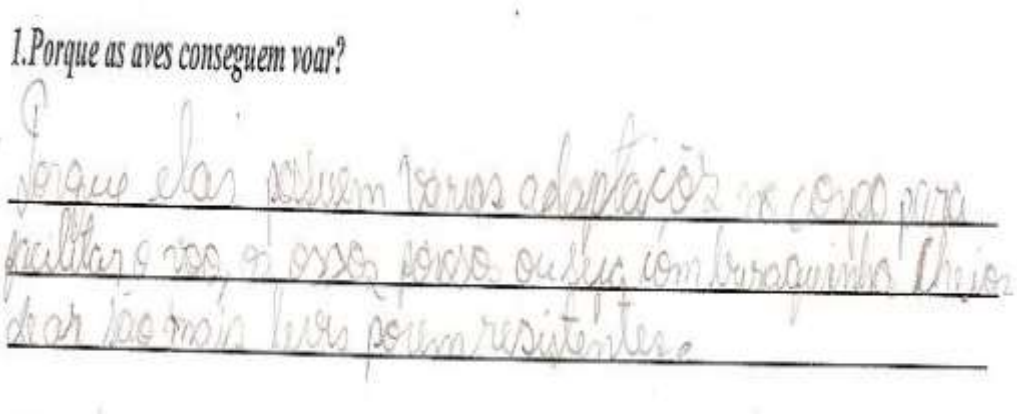


Figura 8: **Aluna menciona as adaptações no corpo como causa do voo**.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Da análise percentual percebe-se que a maioria associou a capacidade de voar diretamente com a presença das asas sem levar em conta que várias aves não a possuem. Em nenhum momento algum educando argumentou que o tamanho das asas seria um fator que pudesse justificar o voo. Nem mesmo os diversos formatos das asas foram lembrados. Aqueles que responderam sobre as adaptações no corpo intencionavam mostrar que aves são 'leves' e que por isso voam. Apenas os 15% restantes mencionaram um conceito associado à Mecânica estudada na escola, no caso o Impulso, porém sem estabelecer uma associação articulada entre o conceito e o voo e que algumas aves possuem asa e não voam.

A segunda e a terceira perguntas tinham por objetivo verificar se os educandos saberiam diferenciar o voo de asas rotativas (helicóptero) de asas fixas (avião) e o porquê da capacidade do helicóptero realizar o chamado voo pairado.

2ª Pergunta: Qual a diferença entre o voo de um avião e de um helicóptero?

Para esta pergunta identificamos três categorias identificadas. A primeira se referiu quanto ao espaço destinado à decolagem e que representou 8% (aproximadamente 13 alunos) das respostas. A segunda apontou para as diferenças entre as direções tomadas por cada um durante o voo, com 55% (aproximadamente 89 alunos) das respostas. A terceira fez alusão aos seus componentes estruturais, tamanho e 'peso' com 37% das respostas (aproximadamente 61 alunos). A natureza das respostas é mostrada no quadro 3, a seguir.

Quadro 3: Exemplos da natureza das respostas dadas pelos alunos referentes a segunda pergunta.

Categoria	Natureza das respostas dos alunos	Porcentagem
Direção	O helicóptero pode decolar na vertical e o avião apenas na horizontal.	55%
Estrutura	O tamanho, peso e componentes diferenciam o voo destes aparatos tecnológicos.	37%
Espaço	O avião precisa de muito espaço para decolar e o helicóptero não.	8%

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

3ª Pergunta: Porque o avião não pode pairar como os helicópteros?

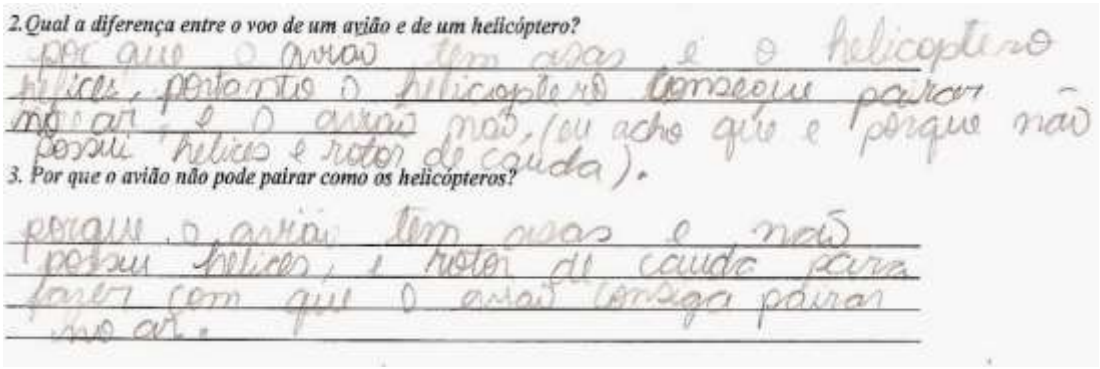
Novamente aqui, os alunos em sua grande maioria 91% (aproximadamente 148) apontaram as características do helicóptero em relação ao avião destacando a presença do rotor de cauda, tamanho e "peso" como as principais causas de sua propriedade de poder pairar para diferenciá-lo do avião. Apenas 9% dos alunos (aproximadamente 15) afirmaram que avião só poderia ficar no ar enquanto estivesse em movimento. O quadro 4 indica as duas categorias de respostas.

Quadro 4: Exemplos da natureza das respostas dadas pelos alunos referentes a segunda pergunta.

Categoria	Natureza das respostas dos alunos	Porcentagem
Dimensão/Peso/Rotor	Os alunos associaram peso, dimensões e a presença do rotor como responsáveis pelo voo pairado em comparação com o avião.	91%
Movimento	Os alunos responderam que o avião só permanecerá no ar durante a realização de um movimento.	9%

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

Na figura 10 mostram-se as duas respostas das questões 2 e 3 formuladas por um aluno do terceiro ano.


2. Qual a diferença entre o voo de um avião e de um helicóptero?

por que o avião tem asas e o helicoptero helices, portanto o helicoptero conseguiu pairar no ar e o avião não, (eu acho que é porque não possui helices e rotor de cauda).

3. Por que o avião não pode pairar como os helicópteros?

porque o avião tem asas e não possui helices, e rotor de cauda para fazer com que o avião consiga pairar no ar.

Figura 9: **Respostas de um aluno do terceiro ano.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Era de se esperar que as respostas sobre estas questões fossem muito difíceis para os educandos porque se exige um conhecimento sobre conceitos como asa fixa e asa rotativa. Na verdade, como ficou evidenciado na resposta do aluno na figura 10, em geral para eles, o

conceito de hélice e dos rotores principal e secundário do helicóptero representam a mesma coisa. De fato este conceito não é verdade, afinal os aviões também possuem hélices. O recurso utilizado na maioria das respostas denotou como motivo de diferenciação dos voos as dimensões, peso e presença do rotor anti-torque do helicóptero. Um detalhe interessante é que embora estivéssemos fazendo referência ao voo pairado na terceira pergunta, nenhum aluno apontou este tipo de voo como uma diferença. O que mais chamou a atenção foi o fato de apenas 13 alunos na segunda pergunta e 15 na terceira pergunta mencionarem que para voar, o avião precisa estar efetuando um deslocamento.

As duas últimas perguntas fizeram referência à função do rotor de cauda e sobre a versatilidade do helicóptero em relação ao avião quanto a realizar deslocamentos em pequenos espaços.

4ª Pergunta: Para que serve o rotor de cauda dos helicópteros (hélice traseira)?

A maioria dos educandos, 86% (aproximadamente 140) fez referência ao termo manter o equilíbrio e também permitir seu deslocamento. Apenas 14% dos alunos (aproximadamente 23) disseram que era para evitar o giro do corpo do helicóptero como podemos ver no quadro 5.

Quadro 5 : Exemplos da natureza das respostas dadas pelos alunos referentes a quarta pergunta.

Categoria	Natureza das respostas dos alunos	Porcentagem
Equilíbrio	Os alunos usaram o termo manter o equilíbrio e permitir seu deslocamento na horizontal.	86%
Contra giro	Os alunos associaram a presença do rotor de cauda como o responsável por impedir o giro do corpo da máquina em oposição ao giro do rotor principal.	14%

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

5ª Pergunta: Porque o helicóptero consegue ir para frente, para trás e para os lados em um curto espaço e o avião não?

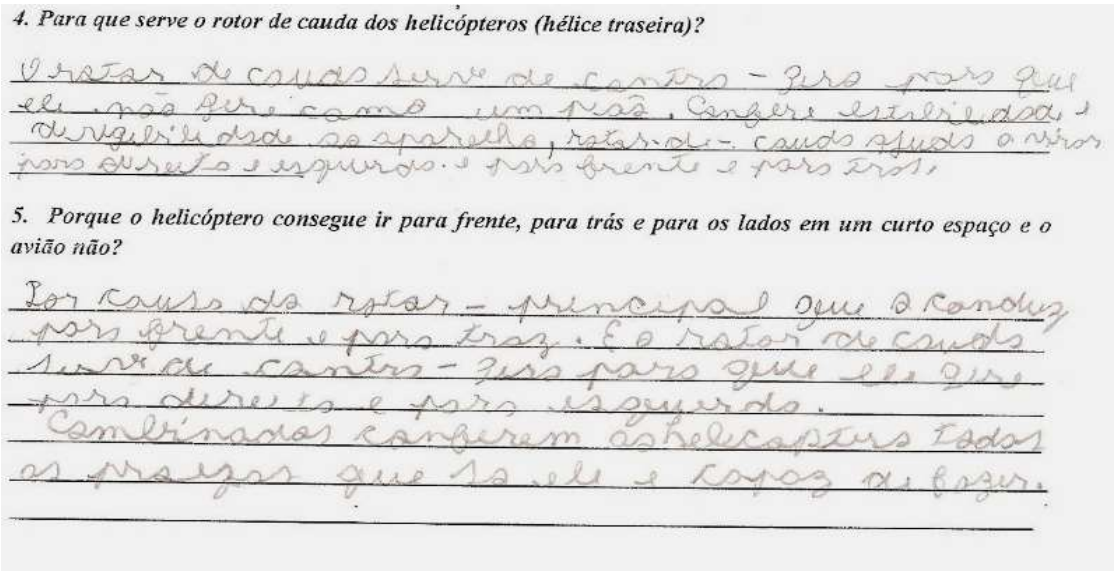
Os educandos voltaram a abordar também em maioria, 92% (aproximadamente 150), o tamanho, "peso" e seus componentes como responsáveis por sua capacidade de realizar estes movimentos em relação ao avião. Os outros 8% simplesmente não souberam responder ou deixaram a questão em branco. Veja o quadro 5.

Quadro 6 : Exemplos da natureza das respostas dadas pelos alunos referentes a quinta pergunta.

Categoria	Natureza das respostas dos alunos	Porcentagem
Tamanho/Peso/Componentes	Os alunos associaram peso, tamanho e componente estrutural como responsáveis pela versatilidade do helicóptero em relação ao avião.	92%
Não sei /Em branco	Não responderam.	8%

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

Na figura 11 mostramos uma resposta de um aluno que tentou diferenciar os papéis atribuídos ao rotor de cauda e ao rotor principal. A resposta é muito interessante, pois o educando soube a seu modo estabelecer relações entre o rotor de cauda e o principal e a dinâmica do voo do helicóptero.



4. Para que serve o rotor de cauda dos helicópteros (hélice traseira)?

O rotor de cauda serve de centro - giro para que ele não gire como um pião. Conserve estabilidade e desigualdade da aparelha, rotação - cauda ajuda a vários para direito e esquerda. e para frente e para trás.

5. Porque o helicóptero consegue ir para frente, para trás e para os lados em um curto espaço e o avião não?

Por causa do rotor - principal que a conduz para frente e para traz. E o rotor de cauda serve de centro - giro para que ele gire para direita e para esquerda.
Combinados conseguem os helicopteros todos os prazos que ta ele e capaz de fazer.

Figura 10: **Respostas de um aluno do terceiro ano.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Na quarta pergunta precisou-se usar o termo “hélice traseira” para facilitar o entendimento do educando. A resposta mais comum dada por eles sobre o rotor de cauda direcionou-se ao termo manter o equilíbrio, embora nenhuma das respostas apontasse qual era este tipo de equilíbrio: se estático, dinâmico ou ambos. Apenas 23 alunos mencionaram que o rotor servia para evitar o giro da aeronave. A quinta e última pergunta foi a única que apresentou respostas em branco ou que educandos afirmaram não saber responder. O fato de ser a última questão e já estar terminando o tempo disponível para realização desta etapa pode ter tido influência sobre esta circunstância. Novamente a maioria apontou seus componentes como o principal fator que confere ao helicóptero as propriedades de voo diferentes do avião.

À primeira vista as perguntas podem parecer repetitivas, mas cada uma faz menção a pequenos detalhes sobre as particularidades deste aparato tecnológico (o helicóptero) e possuem um papel fundamental para construção e desenvolvimento da linguagem a ser utilizada em todo processo desta oficina. De forma implícita, era também importante sondar se o educando seria capaz, em algum momento, de relacionar o conceito de movimento sob a ação de forças de uma maneira articulada, ou seja, saber identificar e associar os mecanismos que propiciam o voo e relacioná-los a conceitos de Física estudados na escola. Foi-nos perceptível neste primeiro momento que o conceito de voo formulado até então pelos educandos apresenta um padrão puro e simplesmente baseado em suas observações diárias. Em resumo, não souberam diferenciar hélice que é um dispositivo destinado a produzir tração,

de asa que é responsável em produzir sustentação, não distinguiram os conceitos de massa e peso e apenas alguns se propuseram a estabelecer uma associação entre a Terceira lei de Newton e os recursos da máquina, porém sem apresentar explicitamente a "consciência (domínio)" científica do que significava a aplicação desta lei na explicação do rotor anti-torque.

3.6 Análise dos resultados

O currículo de Física do estado de Minas Gerais não prevê o estudo da disciplina de hidrodinâmica no Ensino Médio e, portanto acaba por se tornar um conteúdo desobrigado de ser trabalhado, seja na rede particular ou pública. A partir desta premissa, o resultado da análise das respostas do questionário de conhecimentos prévios era de certo modo esperado, afinal os alunos não tinham visto até esta etapa de escolarização nenhum conceito incorporado a temas sobre reação aerodinâmica, Teorema de Bernoulli, Força de Sustentação, etc. Com isso, nossa preocupação se direcionou a criar nesta oficina mecanismos que permitissem trabalhar estes conceitos nunca antes visto pelos educandos de um modo interdisciplinar e contextualizado sem que, sobretudo fôssemos superficiais. Ricardo e Freire (2007) ao comentar as sugestões do PCN+ quanto ao novo modo de trabalhar a física no Ensino Médio, afirmam:

> Para isso, os Parâmetros Curriculares apontam para a necessidade de uma física escolar enriquecida pelo contexto, superando-se a apresentação de saberes fragmentados e orientados apenas para a resolução de exercícios idealizados. Nesse sentido, alertam que "a formalização matemática continua sendo essencial, desde que desenvolvida como síntese de conceitos e relações, compreendidos anteriormente de forma fenomenológica e qualitativa". (RICARDO; FREIRE, 2007, p.260).

No próximo capítulo faremos a apresentação do nosso produto que foi orientado pela sondagem das concepções espontâneas dos educandos.

4. Produto educacional: Oficina interdisciplinar e contextualizada

4.1 Carta endereçada a professores

Amigos Professores,

Esta oficina possui um enfoque interdisciplinar e contextualizado via CTS direcionada a alunos do ensino médio cujo tema explorado se refere a um aparato tecnológico de grande emprego: o Helicóptero. A sua estrutura pode ser adaptada a algum assunto que você(s) possa(m) abordar em sua prática de ensino de forma isolada ou em conjunto com outros colegas em algum tema de interesse. Os conteúdos tratados nesta oficina podem englobar professores de Matemática, Biologia, Química, Geografia, História e de Português (para analisar as redações) e Sociologia (para discutir o tema social), onde cada um poderá explorar o tema com o foco e profundidade segundo a sua necessidade.

4.2 Integrantes e a Parceria

Como esta oficina foi organizada em conjunto com a 3ª CoRpAer(terceira Companhia de Radiopatrulhamento Aéreo), engendramos estratégias que permitissem que a sua condução se apresentasse com discussões de vários assuntos ligados ao tema central. Ela foi ministrada simultaneamente pelo autor deste trabalho cuja responsabilidade consiste em discorrer sobre o tema nos aspectos dos saberes científicos e na realização de experimentos, pelo mecânico da aeronave Sargento Elton Novaes que discute sobre a história da corporação da Polícia Militar, da 3ªCoRpAer, do emprego do helicóptero na sua área de responsabilidade social e de conhecimentos estruturais da máquina e pelo Subtenente Tarcísio Simões que operou os recursos multimídia e audiovisuais, confeccionou a arte, fotografia e certificados.

4.3 A oficina: o seu primeiro momento

Iniciamos a oficina primeiramente falando das origens da Polícia militar e do Radiopatrulhamento aéreo de Minas Gerais destacando todo seu histórico, personagens importantes, recursos humanos, área de responsabilidade, emprego operacional e os

treinamentos em conjunto com outros seguimentos da polícia e instituições civis. Na figura 12 é retratada a figura do Alferes Tiradentes e da criação do Radiopatrulhamento Aéreo.

Figura12: **Origens da Polícia Militar e do Radiopatrulhamento aéreo**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Nossa intenção neste início da oficina partilhou da visão freireana, já citada neste trabalho, em que a busca pelo tema a ser apresentado é efetuado a partir de relações que envolvam os homens com o mundo em uma situação local. A razão pela qual o Radiopatrulhamento Aéreo de Minas Gerais foi criado deveu-se a crescente necessidade de dar respostas imediatas e em menor tempo em ocorrências de alta complexidade no meio social. A figura 13, mostra a área de responsabilidade da 3ª CoRpAer que compreende todo norte de Minas Gerais e também o emprego operacional da aeronave que englobam apoio aéreo noturno com o uso do farol de busca (ver glossário), Patrulhamento Ambiental, Policiamento diurno, trânsito urbano e rodoviário, transporte aeromédico, combate a incêndios florestais e urbanos com o uso do Bambi Bucket (ver glossário), assistência a calamidades evidenciados nas figuras 14 e 15.

Figura 11: **Área de responsabilidade e emprego operacional do helicóptero**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Foi mostrado o emprego deste aparato tecnológico nas mais variadas tarefas, demonstrando sua grande versatilidade.

Figura 12: **Emprego do Helicóptero**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Figura 13: **Emprego do Helicóptero**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Na figura 16, são apresentados alguns treinamentos em conjunto com outras organizações presentes em seguimentos militar e civil que permitem o uso do helicóptero em diversas tarefas.

Figura 14: **Emprego do Helicóptero.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Segundo Menezes (1977), o ensino de Física deve ser conduzido de maneira a considerar a compreensão fenomenológica dos fatos físicos pelos estudantes que é obtida pela análise e discussões de objetos e situações práticas reais. Sempre que possível deve-se direcionar a investigação para a experiência diária dos educandos, antecedendo a qualquer explicação ou generalização teórica. O objeto escolhido para fazer a ponte entre o plano fenomenológico e o teórico foi encontrado na natureza: a semente giratória. O seu uso tinha por finalidade permitir apresentar e discutir os conceitos de Asa Rotativa e Autorrotação.

Figura 15: **Sementes Giratórias.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Para contextualizarmos o objeto em questão, figura 17, recorremos à árvore *Sycamore tree* (Figueira). Esta árvore desenvolveu em sua semente um mecanismo que a permite ao desprender-se, afastar-se e pousar suavemente sobre o solo. O seu formato em aerofólio (asa) possui numa extremidade do corpo a semente e, portanto é o local onde se encontra a maior parte de sua massa e consequentemente o ponto mais provável para o seu centro de gravidade. Esta condição da semente torna favorável, durante a sua queda em contato com a massa de ar circundante, que se crie um fluxo de ar através da extensão de seu corpo, que passa a originar

uma reação aerodinâmica (força) que provoca seu giro como também uma pequena força de sustentação que reduz o módulo da força resultante na direção vertical para baixo. Este efeito é conhecido como Autorrotação. A figura 18 registra o momento da explicação destes conceitos durante a oficina em que alunos irão lançar a semente para o alto e observar do fenômeno. A estratégia da semente giratória nos permitiu entrelaçar e fazer uso de saberes provenientes de áreas distintas. Da Biologia exploramos o conceito de nome científico estudado em Classificação dos Seres e o Mecanismo de sobrevivência para perpetuação da espécie e no caso da Física os conceitos foram os de movimento de queda e de rotação, força, equilíbrio e momento de uma força.

Figura 16: **Explanação sobre as Sementes Giratórias.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

O enfoque CTS tem por um de seus objetivos a demonstração de que a Ciência e a Tecnologia são uma produção humana e, por conseguinte não constituem um produto pronto e acabado, mas que sofre transformações ao longo do tempo.

Explicamos adiante que a concepção da aeronave de asas rotativas é muito antiga, pois a primeira referência encontrada nos leva a Leonardo da Vinci, figura 19, por volta do ano de 1483. Considerado o melhor de seus desenhos e denominado *"La Hélice de Da Vinci"*, um

perfil aerodinâmico em formato de espiral previa o princípio básico do voo do helicóptero cujo nome deriva-se do grego *Helix:* helicoide e *Pteron:* asa. Em suas próprias palavras ele descreveu o que seria seu invento: *"*acho que se este instrumento como um parafuso for bem feito – isto é, feito de linho, cujos poros sejam fechados com goma - e for girando rapidamente, o mencionado parafuso fará suas espirais no ar e alçar-se-á ao alto*"*.

Figura 17: **Hélice de Da Vinci.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Demos prosseguimento discutindo que muito tempo após Leonardo da Vinci, houve precursores cujas teorias e demonstrações de voos livres durante o século XIX influenciaram diretamente engenheiros de vários países mostrando que seria possível construírem uma máquina voadora para transportar um homem. Embora fossem feitas muitas tentativas de se obter um aparato de grande tamanho para o transporte de pelo menos um tripulante, os resultados não foram satisfatórios. A falta de aparatos potentes e compactos numa época em que existiam somente os motores a vapor, que demandavam muito peso, volume e baixa potência atrasava a evolução do helicóptero. Porém no século XX, quando foram criados os primeiros motores a combustível fóssil (gasolina) e, portanto mais potentes, é que o sonho desta máquina voadora começou a se concretizar. Entre os anos de 1907 a 1939, a aventura

humana pela busca do voo com asas rotativas começou a tomar corpo. Dois personagens franceses, ambos no ano de 1907, direcionaram seus projetos de tal forma que obteriam os primeiros protótipos a se aproximar do que viria a ser o helicóptero. O projeto considerado mais próximo surgiu na França em 1924, idealizado por Étienne Oehmichen. A sua máquina possuía quatro rotores principais, cinco auxiliares para controle lateral, um para mudança de direção e duas hélices convencionais para deslocamento à frente. Um motor através de 13 sistemas de transmissão que com sua complexidade, realizou mais de mil voos com vários minutos de duração cada um. Na figura 20, mostramos os inventores e seus protótipos.

Figura 18: **Precursores do Helicóptero.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Seguindo-se nossa abordagem histórica, entre os anos de 1923 a 1927, *Juan de La Cierva* desenvolveu uma máquina considerada como o primo dos helicópteros atuais, o Autogiro. O aparato consistia em um avião comum adaptado a um rotor que era impulsionado pelo vento relativo resultante de seu movimento. A adição deste rotor mantinha a aeronave voando com uma velocidade de trinta milhas por hora (cerca de $55km/h$) o que possibilitava trazê-la em segurança para o solo caso ocorresse uma pane no motor. O princípio utilizado pelo autogiro é o mesmo da semente giratória, ou seja, a Autorrotação que atualmente é incorporada a todos os helicópteros. A figura 21 ilustra o inventor e o aspecto de um autogiro que se assemelha ao de um avião com adição de um rotor similar ao de um helicóptero, porém não motorizado.

Figura 19: **Precursores do Helicóptero.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Para explicarmos este aparato de um modo mais dinâmico, fizemos uso do Flyght-Simulator da Microsoft, figura 22, para exibir o desempenho da máquina sob a ótica de um voo virtual.

Figura 20: **Momento da oficina: demonstração de voo virtual através do programa da Microsoft.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Heirick Focke, em 1937, construiu o primeiro helicóptero realmente prático que basicamente possuía dois rotores laterais girando em sentido contrário e um motor radial de 160 HP de potência. O russo Igor Sikorski esteve presente em todas as etapas do desenvolvimento e aperfeiçoamento dos primeiros helicópteros, inclusive obteve financiamento para desenvolver um modelo viável para o uso funcional denominado VS-300 em 1939. Tão logo, outros inventores chegaram a resultados que permitiram que os esforços alcançassem modelos mais confiáveis e comerciais. Na figura 23, os primeiros helicópteros, seus inventores e a evolução do aparato.

Figura 21: **Precursores do Helicóptero.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Na figura 24 Flettner F-1 Kolibri**,** modelo alemão, que é considerado o primeiro helicóptero a ser produzido em massa e o Bell 47, modelo americano e primeiro a obter certificado comercial. Ao lado o voo virtual do Flettner F-1 Kolibri.

Figura 22: **Flettner F-1 Kolibri, Bell 47 e ao lado o voo virtual apresentado aos educandos.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Chegamos a um ponto do primeiro momento desta oficina em que os educandos já haviam notado que este aparato tecnológico possuía uma grande complexidade nos seus elementos. Para enfatizarmos esta visão, mais uma vez utilizamos um exemplo encontrado na natureza: o *Dichotomius schiffleri,* mais conhecido como besouro "rola-bosta", figura 25. Este nome vem do fato destes besouros recortarem bolotas de excrementos de vaca e rolarem-nas até a entrada do buraco que cavaram e em que depositaram os seus ovos.

Figura 23: **Besouro rola-bosta.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Mas e então, o que isto tem a ver com helicópteros? Há uma frase atribuída ao inventor Igor Sikorski, na qual ele dizia: *"*O besouro não pode voar, segundo as matemáticas. Mas o besouro ignora todas as matemáticas, faz pouco caso delas, e voa assim mesmo".

O inventor usou como exemplo o fato do inseto possuir asas pequenas e curtas e um enorme corpo para 'sustentar'. Durante seu voo, trombava em tudo que havia pela frente e ao cair tornava a subir e a voar. O que ele quis mostrar com este paralelo, é que mesmo com o projeto do helicóptero apresentando inúmeros problemas, dever-se-ia persistir até alcançar o objetivo.

Para o helicóptero chegar à maturidade desejada, foram necessários muitos anos de esforços e teimosia, pois a máquina possuía certas desvantagens como: a complexidade dos rotores, a grande perícia exigida a um piloto, o custo elevado comparado aos aviões e as

limitações de velocidade e altura máxima em que poderia chegar. Contudo a capacidade de decolar e aterrissar verticalmente, manter-se pairado sobre determinado ponto e não precisar de pistas de pouso como aviões tornaram-no uma máquina indispensável para o emprego das mais variadas tarefas nos setores civil e militar. Através de projetos e configurações variadas, o helicóptero se tornou uma máquina de múltiplo emprego. Na figura 26 são mostrados diversos modelos, onde cada um é usado para tarefas específicas: resgate aeromédico, transporte de cargas militares, transporte de passageiros, combate ao crime e empregado pelo exército.

Figura 24: **Modelos de helicópteros utilizados em fins civis e militares.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Ao terminarmos a abordagem histórica e evolutiva do helicóptero, nossa próxima etapa consistiu em expor e demonstrar os conceitos científicos e tecnológicos envolvidos na máquina de maneira qualitativa. Para que pudéssemos fazer entender como se processavam os mecanismos implicados ao voo, precisávamos antes, discutir alguns fenômenos físicos envolvidos na teoria aerodinâmica do voo. Optamos por começar pelo diagrama de forças que atuam em uma aeronave em voo, figura 27, e salientar os conceitos físicos que permitem explicá-las.

Figura 25: Ilustração do diagrama de forças que atuam na aeronave em voo e a trajetória do fluxo de ar através do perfil aerodinâmico.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

São quatro as forças que atuam em uma aeronave em voo: (1) Tração, que é explicada pelo princípio de ação e reação onde um propulsor (hélice ou turbina) age sobre a massa de ar ao redor da aeronave provocando seu deslocamento e consequentemente, segundo a Terceira Lei de Newton, o da aeronave, (2) Sustentação, é provocada por efeitos aerodinâmicos, que são explicados pelas leis de Newton, Efeito Coanda e Teorema de Bernoulli, sobre o aerofólio ou perfil aerodinâmico (asa no caso de um avião e pá rotativa no caso de um helicóptero), (3) Arrasto, provocado pela força de aderência entre o ar e a fuselagem da aeronave (superfície externa) e efeitos aerodinâmicos como os vórtices das correntes de ar gerados nas extremidades de sua geometria superficial e (4) o Peso, gerado pela atração gravitacional. Neste momento já foi possível definir a diferença dos conceitos de hélice e rotor aos educandos, que como mostrou o questionário de conhecimentos prévios, estes não foram capazes de fazer tal distinção, ou seja, a um mecanismo é atribuída apenas a produção de tração e a outro tanto tração como sustentação, o que veremos mais a frente no tratamento sobre a Física do Helicóptero.(Apêndice B)

O aerofólio quando submetido a uma corrente de ar, sofre efeitos que contribuem para a força de sustentação, a saber:

a) O Efeito Coanda ocorre quando um obstáculo é inserido em fluxo de um fluido. O seu escoamento próximo às superfícies limitantes, acompanhará as suas formas se as superfícies forem suavemente curvas. Caso o obstáculo possua curvas abruptas ou cantos, o escoamento não seguirá mais a superfície e formará vórtices turbulentos. (WELTNER; INGELMAN-SUNDBERG; ESPERIDIÃO & MIRANDA, 2001).

Podemos observar este efeito na figura 28 em que num experimento muito simples realizado com uma torneira aberta e uma colher vemos que a corrente de água segue a superfície convexa da colher quando se estabelece o contato entre ambas. Observe a mudança de direção na trajetória da corrente após o contato.

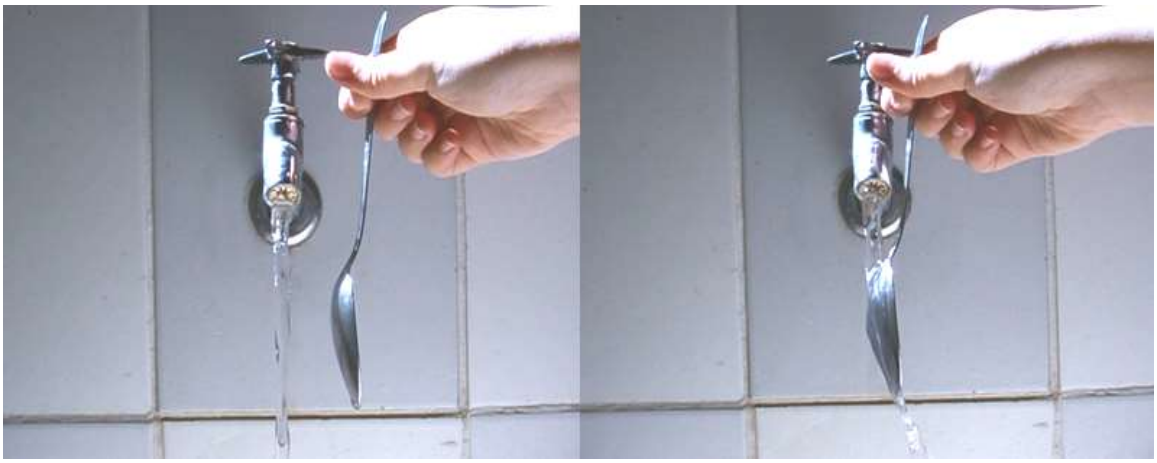


Figura 26: Efeito Coanda ocorrendo em uma superfície curva de uma colher.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

O Teorema de Bernoulli, que é tratado como o principal mecanismo para explicar a sustentação pela literatura (consulte qualquer livro que aborde hidrodinâmica), ocorre se um fluido estiver escoando em um estado de fluxo contínuo. A variação de pressão exercida pelo fluido em uma superfície frontal dependerá da diferença de velocidade (quadrado da diferença) de escoamento fluido. A variação da pressão dinâmica produzida pelo fluido é diretamente proporcional à diferença de quadrados das velocidades de escoamento.

Para exemplificarmos aqui este efeito de redução de pressão, em mais um experimento simples e “caseiro”, utilizamos um secador e duas latas vazias de refrigerante como mostra a figura 29.

Figura 27: Teorema Bernoulli. A redução de pressão nas superfícies entre as latinhas é provocada pela corrente de ar do secador quando esta, como mostra o efeito Coanda, adere às superfícies. A produção de uma força perpendicular às superfícies das latas é a causa da aproximação entre elas.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

A corrente de ar proveniente do secador ao atravessar o espaço entre as latinhas de “algum modo” reduz a pressão exercida pelo ar neste local perpendicularmente ás superfícies das latinhas. A pressão estática do ar nas laterais e entre as latinhas acaba por permanecer a mesma como mostra o teorema de Bernoulli. Portanto o encurvamento da corrente de ar do secador sobre a superfície das latinhas devido ao efeito Coanda gera uma componente centrípeta perpendicular à superfície de cada uma delas que ocasiona a aproximação. Procuramos não explicar como ocorrem as variações da pressão (gradientes de pressão) ao redor da latinha para facilitar o entendimento dos educandos. Podemos já comentar aqui que não é a equação de Bernoulli que explica o porquê de ocorrerem variações de pressões perpendiculares às superfícies das latinhas. Este assunto será discutido no Apêndice B. A figura 30, registra o momento da explicação dos experimentos.

Figura 28: Instantes da explicação dos fenômenos através de vídeos.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Há muitas controvérsias sobre qual mecanismo é o responsável pela sustentação aerodinâmica. As explicações mais comuns dadas nos livros de segundo e terceiro graus se referem ao tempo de trânsito igual de dois elementos infinitesimais de fluido que se movem através de um perfil aerodinâmico assimétrico, a ponto de acarretar uma diferença de pressão que é sugerida pela Equação de Bernoulli. Segundo artigos especializados, não existe nenhuma justificativa plausível para que esta afirmação seja verdadeira, haja vista que existem aviões (acrobáticos, por exemplo) cujo perfil aerodinâmico é praticamente simétrico, portanto não possibilitando tal efeito. Evitamos discutir este tema com os educandos, pois fugia ao propósito da oficina e ocasionaria dúvidas e dificuldades para o entendimento de nosso trabalho. Porém, deixamos claro a eles que mais de um efeito, combinados, é que produzem a força de sustentação. Uma discussão sobre estas controvérsias se encontra no Apêndice B sobre a Física do helicóptero.

Ao fazermos esta adução preliminar dos fenômenos físicos partimos para explicação do funcionamento da máquina e expomos as diferenças entre o voo do helicóptero e do avião, figura 31, ao caracterizar os dispositivos de comando de cada um bem como seus desempenhos de modo específico com o auxílio da apresentação do voo virtual. O significado de cada dispositivo com sua respectiva função está contido no glossário (ver Apêndice A).

Figura 29: **O funcionamento da máquina e a comparação com o avião.**

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

A figura 32 registra os momentos em que são explicados os mecanismos de funcionamento do avião e helicóptero. Durante os 'voos interativos' são expostos os mecanismos de voo de cada um mostrando-se as diferenças .

Figura 30: O funcionamento da máquina e a comparação com o avião.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Como já mencionado, uma das grandes dificuldades enfrentadas no desenvolvimento do helicóptero dizia respeito a um motor que produzisse a potência necessária para seu funcionamento. Durante a 2ª Guerra Mundial, o oficial aviador inglês, Frank Whittle**,** inspirado numa turbina a vapor, deu início à criação do motor a jato. No mesmo período, um engenheiro alemão, Hans Von Ohain**,** também desenvolvia estudos a este respeito, mas que não estavam dando certo. O projeto inglês, por razões burocráticas, sofreu atrasos em seu

desenvolvimento, contudo foi divulgado numa revista científica da época e chegou ao conhecimento do cientista alemão. Este, então, de certa forma, incorporou elementos do projeto inglês ao seu e o motor a jato alemão foi produzido, equipando o primeiro avião a jato do mundo. Para estabelecer outro paralelo recorremos a um exemplo de conhecimento de todos: o fogão a gás. O motor a jato ou turbo reator segue o mesmo princípio de funcionamento do fogão a gás como veremos na explicação da página 79. Na figura 33 ilustra-se a relação com o fogão a gás e os inventores do motor a jato ou turbo reator. Esta parte é interessante por que mostra como a ciência e a tecnologia vão evoluindo com contribuições de vários cientistas.

Figura 31: Analogia entre o fogão a gás e os reatores.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

O motor do helicóptero utilizado nesta palestra, figura 34, é conhecido como reator em alusão ao princípio da ação e reação. A sua potência é de aproximadamente 726 sHP, o equivalente a aproximadamente dez motores de um carro 1.0. Na figura 34 podemos ver o motor TURBOMECA ARRIEL 1D1 utilizado pelo helicóptero da 3ª CoRpAer .

Figura 32: Reator TURBOMECA ARRIEL 1D1

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Para facilitarmos o entendimento fizemos uma comparação entre o motor de um automóvel, figura 35 e o reator do helicóptero figura 34.

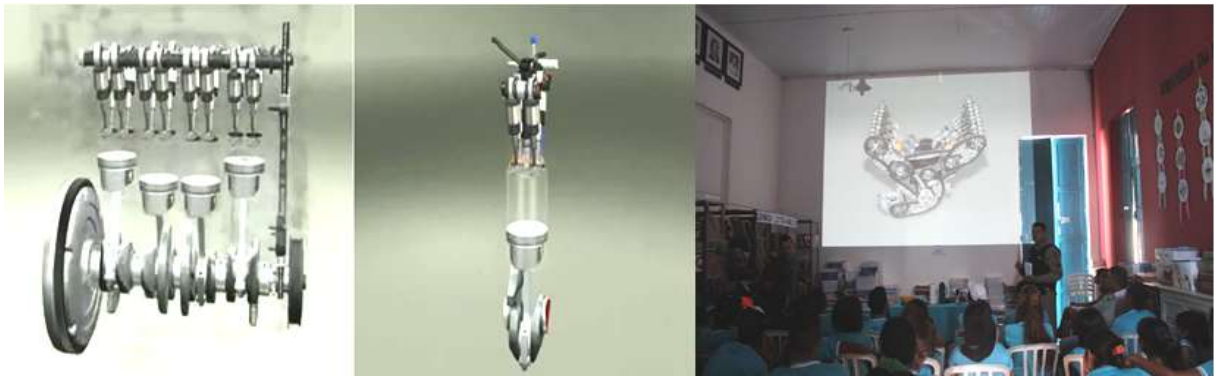


Figura 33: Funcionamento de um motor de carro.

Fontes: vídeo web, How engines Works. avi e arquivo pessoal, 2014.

Neste motor automotivo, o pistão no interior do cilindro, suga a mistura ar-combustível, comprimindo-a e após a explosão produzida pela vela de ignição, dá início ao ciclo de funcionamento. Num reator, o princípio é bem diferente. O ar é sugado pelo compressor na parte frontal do motor, como se pode ver na figura 36 e quando comprimido,

segue para a câmara de combustão, onde é misturado ao combustível, quando então essa mistura é inflamada pelas velas de ignição. Essa queima resulta num considerável aumento de volume do ar e combustível no interior da câmara. A expansão violenta encontra a turbina secundária fazendo-a girar. A força é transmitida a um eixo e daí para a caixa de redução que acionará os rotores da aeronave (ver figura 34). A relação com o fogão a gás é de que é necessária apenas uma única centelha para se iniciar o ciclo, assim como acionar a chama de um fogão. A turbina (conjunto de perfis) secundária é projetada de tal modo que quando acionada pela expansão dos gases, o seu movimento impede que este mesmo gás retorne a câmara de combustão.

Figura 34: Explanação sobre o funcionamento de um reator. A figura a direita mostra o ar em azul sendo sugado pela turbina primária para as câmaras de combustão cujo percurso encontra a turbina secundária até o escapamento.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Na linguagem aeronáutica usa-se dizer que os helicópteros são máquinas que voam “meio contrariadas”, pois seu sistema de asas rotativas provoca uma série de fenômenos aerodinâmicos que criam diversos problemas envolvendo ações de forças. Originada destes fenômenos, a ação destas forças demanda para o seu entendimento, o uso de saberes em Física e Matemática além do nível médio. Para os educandos, a nossa explicação se concentrou em apresentar os principais recursos de compensação aerodinâmica que estão resumidos na figura 37.

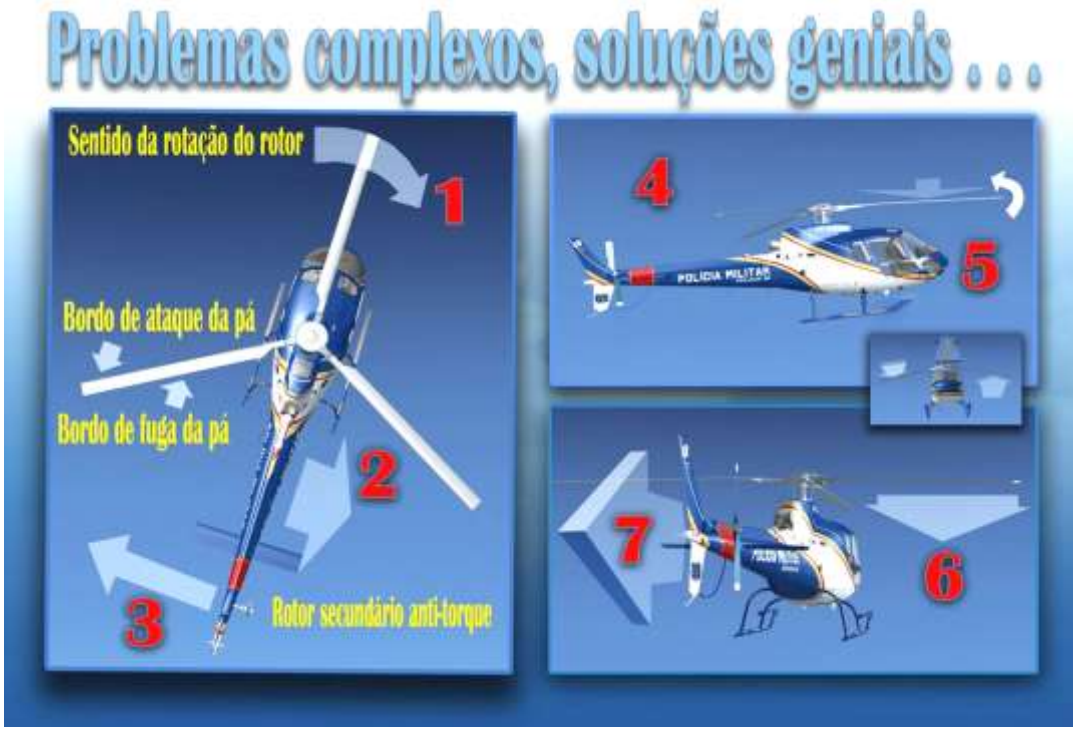


Figura 35: Elementos de ações aerodinâmicas no voo do helicóptero.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

O Rotor Principal (1), para este modelo de helicóptero, AS-350 B2-Esquilo (este é o modelo usado pela polícia e que foi empregado na oficina) é composto por três pás (asas ou aerofólios) ligadas a um eixo que é tracionado por um sistema interligado ao turbo reator. O sentido do giro das pás é da esquerda para a direita. O bordo de ataque é a extremidade que primeiro "encontra" a massa de ar e o bordo de fuga é a extremidade em que a mesma deixa de ter contato com a pá quando existe um movimento relativo entre ambas. O efeito aerodinâmico produzido pelo giro da pá possui algumas características diferentes em relação a um aerofólio de uma aeronave de asa fixa, como gradiente de sustentação, Batimento, em alguns casos a Autorrotação, força centrífuga, etc. Estas características serão discutidas com maior riqueza de detalhes mais a frente na no Apêndice B sobre a Física do Helicóptero.

As funções do Rotor Principal são de produzir a força de sustentação, tração e de direcionamento da aeronave. A fuselagem (corpo do helicóptero) tende a girar em sentido oposto (2) à rotação do rotor principal, fato que é explicado pela Terceira Lei de Newton. O rotor secundário anti-torque tem um papel de controlar a força de ação do Rotor Principal, conhecida como torque de reação, sobre a fuselagem. Este controle permite a coordenação dos movimentos do helicóptero na execução dos voos pairado e com deslocamento.

Há um recurso desenvolvido pelo inventor Igor Sikorski chamado de *Batimento*. Durante o desenvolvimento do helicóptero um problema surgiu quando a aeronave efetuava deslocamentos a certa velocidade, que sempre ocasionavam a sua queda. Este problema aparecia devido ao giro das pás do rotor. Quando o helicóptero voa horizontalmente, a pá que avança (5) desenvolve maior força de sustentação que a pá (4) que recua provocando o seu "tombamento". Isto se se deve ao vento relativo, pois a pá que se move da linha da cauda até a cabine helicóptero (7) vai de encontro à massa de ar no sentido do movimento da máquina, o que gera uma força de sustentação maior que a pá que recua (6) em sentido contrário. Um mecanismo de articulação instalado no disco do rotor principal, inventado por Sikorski, permite que quando ocorre a sustentação aumentada, que a pá bata (suba) para cima. Esse movimento para cima diminui a ação da pá sobre a massa de ar, a qual, por sua vez, diminui a quantidade de força de sustentação desenvolvida, equilibrando o sistema. Na figura 38, a explicação do batimento com o auxílio de um aeromodelo.

Figura 36: Explicação do mecanismo do batimento.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Estes são os principais, mas existem mais recursos de compensação aerodinâmica para que o voo aconteça com segurança e que não foram discutidos para não estender tanto a oficina.

O último assunto a ser exposto por nós nesta palestra aplicou-se a discussão sobre como efetivamente o piloto se orienta espacialmente no ar, figura 39. Existem duas regras básicas a seguir: o Voo Visual conhecido por VFR ou normas de voo visual e o Voo por Instrumentos conhecido por IFR ou normas de voo por instrumentos. A orientação é feita, levando-se em conta os pontos cardeais, latitude, longitude (geografia) e os polos magnéticos do planeta.

Figura 37: Apresentação e discussão da orientação espacial.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Toda aeronave possui um painel de instrumentos. Na figura 40 temos um painel de um avião Cessna 182, onde podemos ver em (01) Instrumentos do motor, (02) Instrumentos de voo e (03) Instrumentos de navegação.

Figura 38: Painel de instrumentos e sua divisão.

Fonte: Palestra "O Helicóptero e a terceira lei de Newton", 2014.

Em situações em que a visibilidade fica reduzida, como o voo noturno ou em condições climáticas adversas, figura 41, o piloto vê-se obrigado a usar o IFR. Numa navegação por instrumentos, o piloto sintoniza a frequência de uma estação de rádio AM não direcional conhecida por NDB (Non Directional Beacon) que é captada a bordo pelo ADF (Automatic Directional Fanding), cujo ponteiro se movimenta indicando de onde está vindo este sinal, permitindo assim, a orientação.

Figura 39: Voo por instrumentos.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Para melhor entendimento, novamente usamos o simulador a fim de representarmos uma situação de voo. Ao observar o painel, figura 42, a frequência do rádio está em $353Hz$ e o ponteiro do ADF aponta para a direita.

Figura 40: O Rádio e o ADF.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Ao consultar a carta de navegação o piloto verifica que a frequência da antena do aeroporto de seu destino é de $240Hz$. Então ele ajusta a frequência no rádio, figura 43, provocando a mudança de direção do ponteiro do ADF.

Figura 41: O ajuste do rádio e a alteração do ADF.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Em seguida o piloto direciona a aeronave para o sinal da antena, figura 44, para então seguir ao destino. Mudando a frequência para $240Hz$, o ADF buscará o sinal da antena que se localiza a alguns quilômetros do final da pista. Este é o meio mais simples de navegação.

Figura 42: Mudança de direção e alinhamento com o sinal da pista.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Há outros sistemas melhores e mais sofisticados que estão presentes em inúmeras aeronaves, tanto de asas fixas quanto de asas rotativas como podemos ver na figura 45.

Figura 43: Outros sistemas de navegação.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Eles exigem outros conhecimentos em aeronáutica e, portanto não foram discutidos nesta oficina. Para finalizarmos o primeiro momento da oficina, distribuímos uma cartilha sobre segurança de voo, figura 46, confeccionada pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil).

Figura 44: Distribuição da cartilha da ANAC.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

E convidamos a direção, professores e as turmas para participarem do segundo momento no hangar da 3ª CoRPAer. Na figura 46, a tela final de apresentação do primeiro momento.

Figura 45: Tela final do primeiro momento

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

4.4 A oficina: o seu segundo e terceiro momentos

No segundo momento, os educandos passam a conhecer a rotina, treinamento, os equipamentos e as atividades associadas ao emprego do helicóptero pela 3ª CoRpAer na segurança pública. Este momento é conduzido apenas pelos integrantes da companhia. Na figura 48, vistas aéreas da cidade de Montes Claros/MG, sede da 3ª CoRpAer.

Figura 46: Imagens de Montes Claros, sede da 3ªCoRpAer.

Fonte: Arquivo da 3ªCoRpAer , 2014.

Ao educando é esclarecido que a criação do **Batalhão de Radiopatrulhamento Aéreo (BtlRpAer)**, em Belo Horizonte/MG, bem como das companhias desconcentradas(descentralizadas), sucedeu-se em razão da crescente necessidade de dar respostas imediatas, ou em menor tempo, em ocorrências de alta complexidade na capital do estado, bem como nas cidades do interior. Para atender a esta demanda, foram criadas 03 (três) bases, sendo uma nesta cidade de Montes Claros/MG, a **3ª Cia de Radiopatrulhamento Aéreo (3ª CoRpAer)**, em hangar próprio localizado no aeroporto local, oficialmente inaugurada em 06 de setembro de 2006. As outras duas estão nas cidades de Uberlândia/MG e Juiz de Fora/MG. Após a recepção, a primeira informação técnica dada é sobre a aeronave modelo **AS-350 B2 Esquilo**, de codinome *Pégasus*, que é empregada na mais variadas ações operacionais executadas pela companhia. Na figura 49 mostra a visão interna da cabine da aeronave.

Figura 47: Professores e alunos frente a frente com a máquina.

Fonte: Arquivo pessoal, 2014.

Em sequência são apresentados os integrantes (da escala do dia): Pilotos, Tripulantes Operacionais, Técnico em Manutenção de Aeronaves, Técnicos de Apoio de Solo e o pessoal Administrativo mostrado nas figuras 50, 51 e 52.

Todos os integrantes da companhia são policiais militares, que passam a fazer parte do quadro de pessoal efetivo mediante aprovação em concurso interno que, preenchidos os requisitos exigidos no edital, concluem o curso escolhido e vão compor o quadro de pessoal das unidades do BtlRpAer.

Figura 48: Pilotos.

Fonte: Arquivo da 3ª CoRpAer , 2014.

Figura 49: Recursos Humanos.

Fonte: Arquivo da3ª CoRpAer , 2014.

Figura 50: Imagens de Montes Claros, sede da 3ª CoRPAer.

Fonte: Arquivo da 3ªCoRpAer, 2014.

Através de um vídeo institucional, os educandos passaram a conhecer como é a missão de prestação de serviços à sociedade pela 3ª Cia de Radiopatrulhamento Aéreo. A sua atuação prioriza todo o Norte, Nordeste e Noroeste do Estado de Minas Gerais e o emprego da aeronave *Pégasus* é direcionado a realizar ações de apoio em seguintes situações como: policiamento ostensivo diurno ou noturno, operações de choque, trânsito urbano e rodoviário, patrulhamento ambiental, resgates de feridos, transporte urgente para transplantes, combate a incêndios florestais, além das operações de defesa civil como sinistros e enchentes.

Houve também casos em que a companhia atuou em situações que envolvessem tremores de terra, como os ocorridos em nossa região nas cidades de Itacarambi e Miralta, onde o helicóptero foi o primeiro apoio público a chegar nestes locais e fora do estado, cuja participação ocorreu na calamidade pública ocorrida em Santa Catarina.

Por atender a ocorrências de características multivariadas, além de estarem sempre alerta, os integrantes da companhia praticam atividades físicas semanalmente, participam de treinamentos (figura 53) e cursos na intenção de adquirir e aprimorar competências e habilidades para enfrentar as diversas situações que possam se apresentar no dia-a-dia da sociedade.

Figura 51: Rotina e treinamento dos integrantes da companhia.

Fonte: Arquivo da 3ª CoRpAer , 2014.

Na figura 54, o treinamento de combate a incêndio com o uso do Bambi-Bucket.

Figura 52: Emprego do Bambi Bucket.

Fonte: Arquivo da3ª CoRpAer , 2014.

4.4.1 O concurso de redação e o terceiro momento.

A fim de promovermos uma maior integração entre a escola e a 3ª CoRpAer como também avaliarmos como nossa proposta foi absorvida pelos alunos, relembramos ao final do segundo momento o concurso de redação. Todos os participantes da oficina estariam convidados a participar do concurso, que continha as seguintes diretrizes:

TEMA: Como se processa o voo do Helicóptero e sua aplicabilidade na sociedade contemporânea.

REDAÇÃO

A sua dissertação deverá conter um mínimo de 30 e um máximo de 50 linhas cuja estrutura deve ser escrita em prosa.

AVALIAÇÃO

Aspectos a serem avaliados:

- Encadeamento lógico das ideias e criatividade para estabelecê-las;

- Descrição do voo através de argumentações envolvendo princípios e termos apropriados;
- O relato histórico e evolutivo do Helicóptero de acordo com a ideia de transformação e incompletude da ciência e da tecnologia, ou seja, que ciência e tecnologia não podem ser vistas como um produto pronto e acabado, mas em constante mudança.

CERTIFICADOS E PREMIAÇÃO

- Serão escolhidas as quarenta melhores redações em que todos os autores receberão um certificado de participação em uma cerimônia realizada no hangar da 3ª CoRpAer.
- Serão premiados os três primeiros lugares.
- A primeira colocação receberá um prêmio especial.

Todos os alunos receberam um glossário (Apêndice A) com o significado dos termos técnicos usados na oficina. Ao avaliarmos as redações percebemos a grande dificuldade de escrita de alguns educandos, que mesmo ao utilizar boas ideias sobre o tema em alguns trechos de seus textos, não conseguiram estabelecer de forma clara o seu encadeamento lógico. Um dado sobre o concurso é que cerca de 100 alunos enviaram suas redações para serem corrigidas, contudo encontramos deste universo apenas 20 redações com um bom nível de escrita, o que serviu de alerta para a direção e professores sobre o rendimento de seus educandos. Para critério de desempate das quatro melhores redações finalistas, o número de linhas foi determinante, pois realmente estavam muito bem escritas e qualquer uma delas poderia ser declarada vencedora. Estes alunos se destacaram por apresentarem, além de uma boa escrita, trechos de suas dissertações em que notadamente foram feitas pesquisas em outras fontes para o enriquecimento de suas ideias. O terceiro lugar foi dividido entre dois alunos por sugestão do professor de Física da escola. Como já afirmado, os quarenta alunos selecionados retornaram ao hangar da 3ª CoRpAer para participarem da cerimônia de premiação.

Figura 53: **Os quatro primeiros colocados entre os finalistas do concurso de redação, onde dois ocuparam o terceiro lugar, já com a premiação em mãos.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

A vencedora do concurso foi uma aluna do terceiro ano, Letícia Gabriele Carvalho Fernandes. Na figura 56, destacamos a vencedora e em seguida um trecho de sua redação.

Figura 54: **Letícia em três momentos durante a cerimônia de premiação. À direita o voo inaugural do seu helimodelo pilotado pelo autor.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

Este trecho foi escolhido porque ela estabeleceu um paralelo, embora não citado na oficina, de forma correta, sobre o fenômeno da autorrotação:

"Os helicópteros possuem a autorrotação, que em caso de pane do motor, permite que o rotor principal continue a girar apenas com o fluxo de ar que passa através das pás do rotor durante o seu deslocamento vertical para baixo, algo parecido com um cata-vento".

Para reconhecimento do apoio dado pela escola foram entregues pela companhia certificados para o professor e diretoria, também um DVD com todo o conteúdo e momentos da oficina realizada, figura 57.

Figura 55: **O professor de Física da escola recebendo o certificado e a capa do DVD contendo todo conteúdo da oficina e seus momentos.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

4.5 A oficina: Divulgação e o reconhecimento do trabalho

Mesmo antes do atual formato que se configurou esta oficina, os primeiros reconhecimentos de que nossa proposta de ensino pudesse estabelecer um saber integrado a uma realidade palpável, tomou forma através das divulgações feitas pelas próprias escolas, televisão, jornal impresso e mídia eletrônica. O Jornal do Norte de Minas publicou em sua seção sobre educação uma reportagem sobre a oficina realizada no Colégio Integral (escola particular) de Montes Claros-MG. Nesta reportagem são descritas as etapas da oficina e seus objetivos para o desenvolvimento de um ensino que permita que os educandos possam construir uma nova relação com a Física e a Matemática no sentido de criar uma visão concreta destes saberes com a realidade. E aponta a relação de parceria estabelecida entre a instituição Polícia Militar através da 3ª CORPAER com a comunidade através dos alunos. Veja a reportagem na figura 58.

Colaborar para que os alunos do ensino médio e fundamental construam uma nova relação com a matemática e a física, fazendo com que o conteúdo das disciplinas seja mais concreto e mais próximo da realidade. Este é o principal objetivo da parceria entre o Colégio Integral e a PMMG – Polícia Militar de Minas Gerais no projeto O helicóptero e a 3ª Lei de Newton.

Depois das palestras, alunos visitam o hangar da 3ª Cia do CORPAer/MG para aulas práticas sobre a 3ª Lei de Newton

Durante o projeto, os componentes da 3ª CORPAER – Companhia de radiopatrulhamento aéreo da PMMG, sediada em Montes Claros, explicam aos alunos como a física e a matemática são utilizadas na construção das aeronaves para que elas, sendo mais pesadas que o ar, possam voar. Além disso, através do projeto, os alunos conhecem a história da PMMG e como as aeronaves são utilizadas na atividade policial e na defesa civil de Minas Gerais e do Brasil.

Se didaticamente os alunos ganham com o projeto, que permite derrubar as barreiras e os pré-conceitos em relação à física e à matemática, a PMMG lucra por construir, através do projeto, uma ponte importante para a integração com a sociedade.

Os alunos que participaram do programa confirmam que as disciplinas antes bichos-papões agora ficaram mais simpáticas e até mais fáceis.

Fonte : Jornal Norte de Minas / Reportagem e foto : Ana Karienina

Figura 56: **Reportagem da seção educação do Jornal Norte de Minas.**

Fonte: Jornal Norte de Minas, 2010.

Um site especializado sobre pilotos divulgou este trabalho e permitiu que nossa proposta chegasse ao conhecimento de pessoas ligadas a organizações militares e civis de outros estados do Brasil, figura 59. Uma delas sugeriu que o site publicasse um artigo com detalhes da oficina.

Comentários Para "CORPAer/MG – Projeto "O helicóptero e a 3ª Lei de Newton""

Cap PM Leal disse:
julho 17, 2010 às 07:25 pm

Excelente Idéia!!!!! Os jovens são o nosso futuro... Haveria possibilidade de publicar este Projeto??? Meus parabéns à equipe!!!! Cap PM Leal (RO) Responder

CAP PMPE ROMILDO disse:
julho 17, 2010 às 10:39 pm

SÃO INICIATIVAS COMO ESSA, QUE TRAZEM A SOCIEDADE PRA PERTO DE NÓS, FAZENDO COM QUE SEJAMOS VISTOS COM AMIGOS. VOU MAIS ALÉM, E PORQUE NÃO CRIARMOS GRUPOS DE ESCOTEIROS-DO-AR EM NOSSO GRUPAMENTOS AÉREOS ??? PENSEM NISSO ! CAP PMPE ROMILDO - ASP92. Responder

Rodrigo Duton disse:
julho 18, 2010 às 08:28 am

BRILHANTE INICIATIVA!!! Os amigos da PMMG compreenderam o quão importante é trazer a sociedade para dentro dos quartéis, cultivando uma polícia de aproximação, e conseguiram fazer isso de forma única: através da demonstração do helicóptero da polícia. Essa incrível máquina de voar que é o helicóptero fascina inúmeras pessoas, principalmente crianças (fui "vítima" desse processo há 30 anos), e com certeza vai ajudar muito a garotada a quebrar barreiras antes intransponíveis junto a Física e a Matemática! Melhora o rendimento dos alunos e melhora a relação polícia-sociedade! Parabéns amigos da PMMG, essa iniciativa serve de exemplo para todas as Polícias do Brasil!!! Bons voos e BOAS AULAS!! Rodrigo Duton - CAP PMERJ / PCH Grupamento Aéro Marítimo (GAM)- PMERJ Responder

Figura 57: Comentários para divulgação de um artigo na mídia eletrônica.

Fonte: http://www.pilotopolicial.com.br, 2010.

Abaixo na figura 60, o site Piloto Policial e um trecho do artigo publicado.

Figura 58: Divulgação da oficina na mídia eletrônica.

Fonte: http://www.pilotopolicial.com.br, 2010.

Este site divulgou um resumo da oficina com o título da palestra " O helicóptero e a 3ª Lei de Newton". Esta divulgação rendeu elogios e sugestões de pessoas civis e militares de algumas partes do Brasil, figuras 61 e 62.

Comentários Para "Conheça o projeto "O helicoptero e a 3ª Lei de Newton" desenvolvido pelo CORPAer/PMMG"

Neilson (CIOPAER-CE) disse:
agosto 01, 2010 às 10:36 am

Parabéns aos companheiros do CORPAer pela bela iniciativa de aproximar a comunidade e a polícia usando o que nós conhecemos e fazemos bem. Responder

Rodrigo Duton disse:
agosto 04, 2010 às 12:55 am

Excelente iniciativa!! Creio que todas as unidades aéreas policiais do Brasil deveriam fazer o mesmo para que, em um futuro não muito distante, os futuros ex-alunos se recordem com carinho dos seus professores policiais... Certamente isso tornará as futuras gerações mais próximas da polícia, o que é louvável e benéfico para todos! Parabéns CORPAer PMMG!!! CAP PMERJ Rodrigo Duton - PCH Grupamento Aéreo e Marítimo (GAM) Responder

Figura 59: Comentários sobre a oficina, feito por militares dos estados do Ceará e Rio de Janeiro.

Fonte: http://www.pilotopolicial.com.br, 2010.

Sirley disse:
agosto 05, 2010 às 10:22 am

Parabéns ao professor,tenente e integrantes da 3ª COPAER. Motivar estudantes tem sido um grande problema na educação e vocês com esse tipo de trabalho certamente cativaram a atenção deles de forma prazerosa e criativa, interagindo a teoria com a prática. Responder

JOELMA COUTO. disse:
novembro 07, 2010 às 03:22 pm

maravilhosa iniciativa e temos que socializar com o mundo, para que isso seja exemplo para muitos orgãos públicos e para educadores. Parabéns e vou divulgar no meu blog esse projeto. abraços. Joelma Couto.
Responder

Figura 60: Comentários sobre a oficina por civis direcionados a educação.

Fonte: http://www.pilotopolicial.com.br, 2010.

5. Considerações Finais

Segundo (BRASIL, 2000), o ensino das Ciências Exatas (Matemática, Física e Química) tem sido marcado por práticas que se limitam a recitação de conceitos, leis e fórmulas de tal maneira que inviabilizam a criação de associações com o mundo vivencial por parte de alunos e professores. Em geral, desde o início da prática de ensino são priorizados apenas os aspectos teórico e abstrato, deixando de lado qualquer estratégia em que se possa estabelecer um paralelo a uma situação concreta e que, por conseguinte, permita construir um significado. Além disso, passa-se uma imagem de um conhecimento produzido e finalizado por mentes geniais que dispensam ações questionadoras. Portanto, justifica-se esta insistência em métodos memorizadores ou que automatizam a forma de aprender conceitos por meio da prática de exercícios, cujo contexto faz uso de fórmulas aplicadas em situações artificiais.

A partir deste panorama, nossa intenção foi elaborar uma oficina que fugisse do método tradicional aplicado no ensino médio e que permitisse aos alunos obter uma visão contextualizada dos saberes, como também os induzisse a perceber que existe uma integralidade entre os conhecimentos (HOFSTEIN; AIKENHEAD; RIQUARTS, 1988).

A oficina elaborada pretendeu fomentar o enfoque interdisciplinar, embora houvesse dificuldades para se concretizar esta meta uma vez que a participação efetiva de outros professores é comprometida pelo fato da oficina não ser um projeto da própia escola e não estar vinculada ao seu calendário escolar. A contextualização dos saberes via o referencial CTS através de um aparato tecnológico de múltiplo emprego na sociedade o helicóptero, foi o ponto principal para estabelecer os elos entre os diversos saberes tratados na oficina, o qual permitiu apontar a existência de uma integração entre as disciplinas de Física, Matemática, Química, Biologia, Geografia e História com direcionamento do enfoque CTS e aplicadas ao tema gerador.

As estratégias usadas na aplicação da oficina foram: questionário de sondagem (pré-teste), palestras, demonstrações, discussões, apresentação de solução de problemas (presentes na evolução do helicóptero), simulação (recurso multimídia) e a tarefa de elaborar uma redação sobre o tema. O desenvolvimento das atividades propostas foi efetivado com a participação alunos, professores e a direção da escola onde foi ministrada a oficina.

Na aplicação da proposta, investigamos por meio de questionário pré-teste os conhecimentos prévios dos alunos sobre os conteúdos relacionados ao voo do helicóptero. Ao analisarmos os resultados, percebemos que o conceito de voo estabelecido pelos educandos se mostrou referenciado apenas às suas observações diárias. Em síntese, eles não souberam

diferenciar o conceito de hélice e asa, ou de massa e peso. Este último par de conceitos nos mostrou que existe uma deficiência em saber e aplicar conceitos já estudados em uma situação real pelos educandos. Alguns até apresentaram uma associação entre a Terceira lei de Newton ao uso do rotor anti-torque, porém sem demonstrar uma articulação clara e conceitualmente sólida. Portanto apresentar as conexões entre este aparato tecnológico e o seu emprego na sociedade, permitindo-lhes observar, questionar e tirar suas próprias conclusões sobre as situações apresentadas nos aspectos científico, tecnológico e social e a tentativa de desenvolver nos educandos a alfabetização científica, como propõe o enfoque CTS (HOFSTEIN; AIKENHEAD e RIQUARTS, 1988), foram objetivos complementares almejados pela oficina.

Para que fosse possível avaliarmos como foram entendidas pelos educandos as ideias e os conteúdos da oficina, promovemos um concurso de redação sobre o tema, cuja diretriz propunha uma articulação entre os aspectos científico e tecnológico, com o uso correto e articulado dos termos destes elementos, associada à relevância do uso do aparato para a sociedade. O encadeamento e desenvolvimento lógicos das ideias deveria seguir uma linha que culminasse a revelar o caráter transitório presente na Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Após a realização de todo o processo de aplicação da oficina, verificamos que as estratégias escolhidas para realização de seus três momentos se mostraram satisfatórias para atrair a atenção e participação dos educandos em todo seu andamento. Isto ficou evidenciado no concurso de redação, que reuniu grande parte dos alunos que foram submetidos ao questionário de sondagem. A presença de todas as turmas no segundo momento no hangar da 3ª CoRpAer também foi um indicador de que o tema despertou o interesse dos educandos. Após a cerimônia de premiação, alguns educandos nos procuraram para buscar informações sobre o ingresso na carreira de pilotos civis e militares, como também na área de engenharia aeronáutica, o que denotou que a forma como a oficina foi conduzida induziu-os a sentirem o desejo de buscar uma carreira profissional.

Contudo, há uma série de ações que podem tornar a oficina mais próxima de atingir as metas propostas pelo CTS, como a discussão de benefícios e malefícios da ciência e tecnologia (LÓPES, 1996). Para tanto, deveríamos ressaltar os aspectos negativos do aparato, tais como: poluição do ar, grande custo de manutenção, o risco de acidentes, etc. Estes aspectos nos dariam subsídios para estabelecer o confronto entre os benefícios e malefícios deste aparato para a sociedade. Como se trata de uma atividade em construção, a oficina é passível de modificações, pois não é um produto pronto e acabado, como denota o próprio referencial.

O contato direto com a instituição Polícia Militar, promovido pela parceria do projeto, permitiu aos alunos apropriar-se de uma visão diferente daquela apresentada na motivação deste trabalho sobre a corporação, no sentido de testemunhar e comprovar que existem mais responsabilidades incumbidas a esta instituição cuja prestação de serviço à sociedade vai além do combate ao crime que configurou o aspecto social tratado nesta oficina

Embora este trabalho tente dar um enfoque aos saberes de modo interdisciplinar, é necessária à participação de professores de outras áreas, pois o conteúdo desta oficina é rico e com um planejamento adequado, pode-se alcançar esta meta. Assim, como sugestão para as próximas oficinas deveria haver a incorporação de professores de português na correção da redação, de professores de biologia na discussão do voo do besouro e da semente giratória, de professores de geografia na discussão dos aparelhos utilizados para navegação.

Este trabalho pode ser adaptado para o ensino superior no sentido de que este nível de escolaridade permite fazer uso de ferramentas matemáticas mais avançadas, permitindo inclusive a possibilidade de uma discussão rigorosa sobre os possíveis erros cometidos nas interpretações do mecanismo de sustentação aerodinâmica tratado no Apêndice B, por isso é nossa intenção dar continuidade ao seu desenvolvimento em artigos ou futuramente em um livro que descreva a ciência e tecnologia envolvidas no helicóptero.

Acreditamos também que a proposta da oficina possa ser utilizada para discutir outros temas, como a física de outros aparatos tecnológicos, ou até mesmo de fenômenos naturais.

Por fim a busca para melhoria da prática de ensino, neste atual quadro pelo qual a educação atravessa, faz-se necessário observar as mudanças que ocorrem em esferas científica, tecnológica e social como propõe o CTS. Como nas próprias palavras de Freire (1977) quando se refere que o homem transformando o mundo, sofre os efeitos de sua própria transformação, e é razoável considerar que a educação não está incólume a esta problemática.

REFERÊNCIAS

ACEVEDO DÍAZ, J.A. (1996) La tecnologia en las relaciones CTS: una aproximación al tema. Enseñanza de las Ciencias, v. 14, n.1, p.35-44.

ACEVEDO DÍAZ, J.A. La formación del professorado de enseñanza secundarias para la educación CTS: una cuestión problemática. Disponível em: <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo9.htm> Acesso em 17 dezembro de 2014.

ACEVEDO, J. A. D. A. La formación del profesorado de enseñanza secundarias para la educación CTS: una cuestión problemática. Disponível em: <http://www.campusoei.org/salactsi/acevedo9.htm>. Acesso em: 10 set. 2001.

_____.; ALONSO, Á. V.; MASSANERO, M. A. Progresos en la evaluación de actitudes relacionadas con la ciencia mediante el cuestionario de opiniones CTS. Disponível em: <http://www.campus-oei.org/salactsi/acevedo.htm>. Acesso em: 04 out. 2004.

AIKENHEAD, G. S. (1985). Collective decision making in the social context of science. *Science Education*, v. 69, n. 4.

_____. (1990). *Science-technology-society Science education development: from curriculum policy to student learning*. Brasília*:* CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE ENSINO DE CIÊNCIAS PARA O SÉCULO XXI*: ACT - Alfabetização em ciência e tecnologia*, 1; jun/1990.(Mimeogr.).

. (1994a). What is STS science teaching? In: SOLOMON, J., AIKENHEAD, G. *STS education:* international perspectives on reform. New York: Teachers College Press, p.47-59.

_____. (1994b). Consequences to learning science through STS: a research perspective In: SOLOMON, J., AIKENHEAD, G. *STS education*: international perspectives on reform. New York: Teachers College Press, p.169-186.

AMBROGI, A. *et al*. (1987) Unidades modulares de química. São Paulo: Hamburg.

ANGOTTI, J. A. (1991) Fragmentos e totalidades no conhecimento científico e no ensino de ciências. São Paulo: Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.

ANDERSON, D.; EBERHARDT, S. Como os Aviões Voam: uma Descrição Física do Voo. Física na Escola, v. 7, n.2, 2006. p[43]-51 .

ALVES, R. (1968) .Tecnologia e humanização. In : Revista Paz e Terra, II, n.8.

Autorotação: docx. Disponível em <pt.scribdscridbd.com/doc/252092856/autorrotação-2-docx#scribid> Acesso em: 09 de fevereiro de 2015.

AULER, D. Interações entre Ciência-Tecnologia-Sociedade no contexto da formação de professores de ciências. Florianópolis, 2002. Tese (Doutorado em Educação: Ensino de Ciências) - Universidade Federal de Santa Catarina.

BAZZO, W. A. Ciência, Tecnologia e Sociedade. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998.

BOFF, L. Ecologia: grito da terra, grito dos pobres, 2 ed. São Paulo: Ática,1996.

BYBEE, R. W., MAU, T. Science education and the Science-technology-society (STS) theme. Science Education, v. 71, n.5, p. 667-683,1987.

BYBEE, R. W., MAU, T. Science and tech nology related global problems: an international survey of Science educators. Journal of Research in Science Teaching, v. 23, n. 7, p. 599-618, 1986.

BRASIL. Ministério da Educação e dos Desportos. Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio), parte III – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Disponível em: www.mec.org.br.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática* (1º e 2º ciclos do ensino fundamental). v. 3. Brasília: MEC, 1997.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática.* (3º e 4º ciclos do ensino fundamental). Brasília: MEC, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio: bases legais/ Ministério da Educação – Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Médio e Tecnológica, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)*. Brasília: MEC, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias*. Brasília: MEC, 2002.

CISCATO, C. A. M., BELTRAN, N. O. (1991). *Química*: parte integrante do projeto diretrizes gerais para o ensino de 2º grau núcleo comum (convênio MEC/PUC-SP). São Paulo: Cortez e Autores Associados.

CHALMERS, A. F. A fabricação da ciência. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1994.

COUTINHO, Carlos Nelson. O Estruturalismo e a Miséria da Razão. 2 Ed. São Paulo : Editora Expressão Popular,2010.

DOS SANTOS, Wildson Luiz Pereira; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 1-23, 2000.

EASTLAKE, , Charles N. A visão de um engenheiro aeronáutico acerca da sustentação, Bernoulli e Newton Física na escola. Vol. 7, n. 2 (out. 2006), p. 52-57.

FERNANDES; C. S; MARQUES, C. A. Ciência, tecnologia e sociedade e a perspectiva Freireana de educação: possíveis convergências, 2009.

FLEMING, R. (1989). Literacy for a technological age. *Science Education*, v. 73, n. 4, p.391-404.

FREIRE, P. Extensão ou Comunicação? 8 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983.

FREIRE, P.; SHOR, I. Medo e Ousadia. 10 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1986.

FREIRE, P. Pedagogia do Oprimido. 17 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FOUREZ, G. A. Construção das Ciências: introdução à filosofia e à ética das ciências. São Paulo: EDUNESP, 1995.

GEPEQ – Grupo de Pesquisa para o ensino de Química. (1993/1995/1998). Interação e Transformação: química para o 2° grau. São Paulo: EDUSP. Vol. I, II e III. (livro do aluno: guia do professor).

GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Física 1: mecânica. São Paulo: EDUSP, 1990.

GRINSPUN, M. P. S. Educação tecnológica. In: GRINSPUN, M. P. S. (Org.). Educação tecnológica: desafios e perspectivas. São Paulo: Cortez, 1999. p. 25-73.

IGLESIA, P. M. (1995). Ciencia-Tecnología-Sociedad en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales. *Alambique dicáctica de las ciencias experimentales,* v. 2, n. 3, p.7-11.

HABERMAS, J. *La Science et la technique comme "idéologie*". Paris: Gallimard, 1973.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKE, Jearl. Fundamentos de física: mecânica. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

HEATH, P. A. (1992). Organising for STS teaching and learning: the doing of STS. *Theory intoPractice*, v. 31, n. 1, p.52-58.

HOFSTEIN, A., AIKENHEAD, G., RIQUARTS, K. Discussions over STS at the fourth IOSTE symposium. *International Journal of Science Education*, v. 10, n.4, p. 357-366,1988.

HOLMAN, J.Editor's introduction: Science-technology-society education. *International Journal of Science Education,* v.10, n.4, p.343-345.

JAPIASSU, H. *Um desafio à educação*: repensar a pedagogia científica. São Paulo: Letras & Letras, 1988.

JICKLING, B. Why I don't want my children to be educated for sustainable development. *Journal of Environmental Education*, v.23, n.4, 1992.

JAMIESON, I., MILLER, A., WATTS, A. G. (1993). Productions simulations. In: McCORMICK, R., MURPHY, P., HARRISON, M. (Eds.). *Teaching and learning technology*. Workingham: Addison-Wesley Publishing Company & The Open University. p.251-267.

KRASILCHIK, M. *O professor e o currículo das ciências*. São Paulo: EDUSP, 1987.

LAETER, J. R., LUNETTA, V. N. (1982). Environmental issues: a responsibility of science teachers. *The Australian Science Teachers Journal*, v. 28, n. 3, p.5-10.

LATOUR, B. *Ciência em ação*: como conseguir cientistas e engenheiros sociedade afora. São Paulo: UNESP, 2000.

LATOUR, B., WOOLGAR, S. *A vida de laboratório*: a produção dos fatos científicos. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1987.

LAYTON, D. Revaluing the in STS. *International Journal of Science Education*, v. 10, n.4, p. 367-378, 1988.

____. STS in the school curriculum: a movement overtaken by history? In: SOLOMON, J., AIKENHEAD, Glen. STS *education*: international perspectives on reform. New York: teachers College Press. P.32-44, 1994.

LAYTON, D., DAVEY, A., JENKINS, E. Science for especific social purposes (SSSP): perspectives on adult scientific literacy. Studies in Science Education, n. 13, p. 27-52, 1986.

LIEB, MICHAEL, Investigating Flight with a Toy,Helicopter Mount Benedictine High School, Elkhorn, NE; The Physics Teacher,Vol. 48, October 2010

LÓPEZ, J.L.L., CEREZO, J.A.L. Educación CTS em acción: enseñanza secundaria y universidad. In: GARCÍA, M. I. G., CEREZO, J. A. L., LÓPEZ, J. L. L. *Ciencia, tecnologia y sociedad*: uma introcucción al estúdio social de la ciência y la tecnologia. Madrid: Editorial Tecnos S. A.

LUTFI, M. (1988). *Cotidiano e educação em química*: os aditivos em alimentos como proposta para o ensino de química no segundo grau. Ijuí: UNIJUÍ. (1992). *Os ferrados e os cromados*: produção social e apropriação privada do conhecimento químico. Ijuí: UNIJUÍ.

Manual de Instrução para Piloto THP AS 350 B2, 2014.

Manual de Instrução de Mecânicos THM AS 350 B2, 2014.

McCONNELL, M.C. Teaching about Science, technology and society at the secondary school level in the United States: na education dilema for the 1980s. *Studies in Science Education*, n. 9, p. 1-32, 1982.

McKAVANAGH, C., MAHER, M. Challenges to Science education and the STS response. *The Australian Science Teachers Journal*, v. 28, n. 2, p. 69-73, 1982.

MEDINA, M.; SANMARTÍN, J. El programa Tecnología, Ciencia, Natureza y Sociedad. In: _____. **Ciencia, Tecnología y Sociedad**: estudos interdisciplinares en la universidad, en la educación y en la gestión pública. Barcelona: Anthropos, 1990. p. 114-121.

MERRYFIELD, M.M. Science-technology-society and global perspectives. *Theory into Practice*, v. 30, n. 4, p. 288-293, 1991.

RODRIGUES, L. E. M. J. Auto-rotação de helicópteros: um modelo analítico para o traçado do diagrama de altura versus velocidade . Exacta, São Paulo, 2006.

MÓL, G. de S.; e SANTOS W. L. P. dos (Coords.). *Química na Sociedade*, 2 ed. Brasília: Editora da UnB, 2000.

MORIN, E. A cabeça bem feita: repensar a reforma, reformar o pensamento. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, n. 4, p. 267-285, 1995.

MORTIMER, E. F., MACHADO, A. H., ROMANELLI, L.I. *Proposta curricular – Química*: fundamentos teóricos. Belo Horizonte: Secretaria de Estado da Educação de Minas Gerais, 1998.

MORTIMER, E. F., MACHADO, A. H., ROMANELLI, L.I. *Química, Energia e Ambiente*. Belo Horizonte: CECIMIG, 1999.

MORTIMER, E. F.; SANTOS, W. L. P. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem C-T-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 133-162, 2000.

OLIVEIRA, Pedro Magalhães. Sustentação aerodinâmica: denunciando os erros do mecanismo físico. Física na Escola, v. 10, n. 1, 2009.

OLIVEIRA, Moisés Alves de. Alfabetização Científica no clube de ciências do ensino fundamental: uma questão de inscrição. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 12, n. 2, p. 11-26, 2010.

OSORIO, C. O. M. La educación científica y tecnológica desde el enfoque en Ciencia, Tecnología y Sociedad: aproximaciones y experiencias para la educación secundaria. Revista Ibero-Americana de Educação, Madrid, n. 28, p. 61-81, 2002.

PACEY, A. *La cultura de la tecnologia*. Cidade do México: Fondo de Cultura Económico, 1990.

P.M. Oliveira, Sustentação Aerodinâmica - O Mecanismo Físico, disponível em http://dited.bn.pt/31619/2606/ 3184.pdf.

PINHEIRO, Nilcéia Aparecida Maciel; SILVEIRA, Rosemari Monteiro Castilho Foggiatto; BAZZO, Walter Antonio. CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE: A RELEVÂNCIA DO ENFOQUE CTS PARA O CONTEXTO DO ENSINO MÉDIO Science, Technology and Society: the importance of the STS view to high school context. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 1, p. 71-84, 2007.

RAMSEY, J. The Science education reform movement: implications for social responsibility. *Science Education*, v.77, n.2, p. 235-258, 1993.

RICARDO, Elio C., FREIRE, Janaína C.A., A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. Revista Brasileira de Ensino de Física. V. 29, n.2, 2007.

RODRIGUES, Luiz Eduardo Miranda José. Auto-rotação de helicópteros: um modelo analítico para o traçado do diagrama de altura versus velocidade. **Exacta, São Paulo**, 2006.

ROMANELLI, O. O. História da educação no Brasil (1930-1973). Petrópolis: Vozes, 1989.

ROSA, L. P. Por uma visão realista. *Teoria & Debate*, 17, p.41-5, 1992.

RUBBA, P. A. (1989). An investigation of the semantic meaning assigned to concepts affiliated with STS education and of STS instructional practices among a sample of exemplary science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 26, n. 8, p.687-702.

____. (1991). Integration STS into school science and teacher education: beyond awareness. *Theory into Practice*, v. 30, n. 4, p.303-315.

RUBBA, P. A.; HARKNESS, W. L. Examination of preservice and in-service secondary science teachers' beliefs about science-technology-society interactions. Science Education, v. 77, n. 4, p. 407-431, 1993.

RUBBA, P. A.; HARKNESS, W. L. Examination of preservice and in-service secondary science teachers' beliefs about science-technology-society interactions. Science Education, v. 77, n. 4, p. 407-431, 1993.

_____.; SCHONEWEG, C.; HARKNESS, W. L. A new scoring procedure for the views

on Science- Technology-Society instrument. International Journal of Science Education, London, v. 18, n. 4, p. 387-400, 1996.

RUBBA, P. A., WIESENMAYER, R. L. (1988). Goals and competencies for precollege STS education: recommendations based upon recent literature in environmental education. Journal of environmental Education, v. 19, n. 4, p.38-44.

ROSENTHAL, D.B. Two approaches to Science – technology – society (STS) education. *Science Education*, v. 73, n. 5, p. 581-589,1989.

RUBBA, P.A. Na investigation of the semantic meaning assigned to concepts affiliated wit STS education ando f STS instructional practices among a sample of exemplar Science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 26, n.8, p. 687-702, 1989.

RUBBA, P.A. y HARKNESS, W.L. (1993). Examination of Preservice and In-Service secondary Science teachers' beliefs about Science-Technology-Society interactions. *Science Education*, 77(4), 407-431.

SANTOS, W. L. P., SCHNETZLER, R. P. *Educação em Química*: compromisso com a cidadania. Ijuí: UNIJUÍ, 1997.

SOLOMON, J., AIKENHEAD, G. *STS education*: international perspectives on reform. New York: Teachers College Press, 1994.

SOLOMON, J. (1988). Science technology and society courses: Tools for thinking about social issues. *International Journal of Science Education,* v. 10, n. 4, p.379-387.

_____. (1989). The social construction of school science. In: MILLAR, R. (Ed.) *Doing science*: images of science in science education. London, New York, Philadelphia: The Falmer Press,p.126-136.

_____. (1991). The dilemma of science, technology and society education. In: FENSHAM, P. J.(Ed.) *Development and dilemmas in science education*. Barcombe: The Falmer Press, p.266-281.

_____. (1993a). Methods of teaching STS. In: McCORMICK, R., MURPHY, P., HARRISON, M. (Eds.). *Teaching and learning technology*. Workingham: Addison-Wesley Publishing Company & The Open University, p.243-250

_____. (1993b). *Teaching science, technology and society*. Buckingham: Open University Press.

_____. (1994). Toward a map of problems in STS research. In: SOLOMON, J., AIKENHEAD, G. *STS education*: international perspectives on reform. New York: Teachers College Press, p.187-193.

STIEFEL, B.M. La naturaliza de la ciência em los enfoques CTS. *Alambique didactica de las ciências experimentales*, v. 2, n.3, p. 19-29, 1995.

THIER, H. D. Societal issues and concerns a new emphasis for Science education. Science Education, v. 69, n.2, p. 155-162, 1985.

TIPLER, Paul Allen; MOSCA, Gene. Física para cientistas e engenheiros: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 1993.

THOMAS, I. D. (1985). Assessing student understanding of science - technology - society interactions. *The Australian Science Teachers Journal*, v. 31, n. 1, p.33-37.

TOWSE, P. J. Editorial. International Newsletter on Chemical Education – IUPAC, n. 2, p. 2-3. (Tradução de: *International Newsletter on Chemical Education* – IUPAC, n. 26, 1986).

VARGAS, M. Para uma filosofia da tecnologia. São Paulo: Alfa Omega, 1994.

YAGER, R. (1990). Science, technology, society: a major trend in science education. In: UNESCO. *New trends in integrated science teaching.* Bélgica: UNESCO, p.44-48.

WELTNER, K., INGELMAN-SUNDBERG, ESPERIDIÃO, A. S & MIRANDA, P. (2001). A Dinâmica dos Fluidos Complementada e a Sustentação da Asa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *23*(4), 429-443.

ZOLLER, U. (1982). Decision-making in future science and technology curricula. *European*

Journal of Science Education, v. 4, n. 1, p.11-17.

APÊNDICES

APÊNDICE A - GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS

Relacionamos abaixo denominações e termos técnicos atinentes ao conteúdo da palestra ministrada, para que sirvam de embasamento na construção do conteúdo da redação, a qual vocês farão para o concurso que participarão visando uma nova visita no hangar do Comando de Radiopatrulhamento Aéreo em Montes Claros.

(1) *AILERONS*: Peças móveis, localizadas no bordo de fuga das asas das aeronaves, destinadas ao controle lateral das mesmas (girar a asa para esquerdo-direita) em torno do eixo longitudinal;

(2) *ÂNGULO DE ATAQUE:* O ângulo de ataque é o ângulo entre a direção do movimento da asa e a secante que passa pelos pontos anterior e posterior mais distantes da linha média do seu perfil aerodinâmico. Ver figura 63.

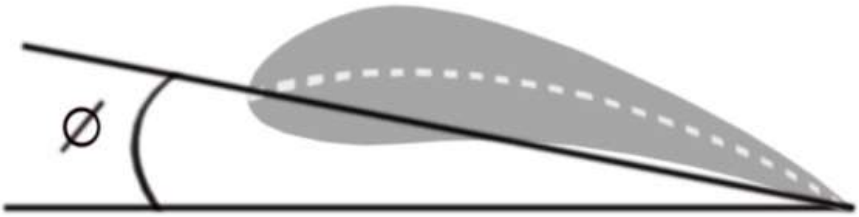


Figura 613: Ângulo de ataque de um perfil aerodinâmico.

Fonte: Adaptado de Weltner, Ingelman-Sundberg, Esperidião e Miranda, 2006.

(3) *ASAS/AEROFÓLIOS*: Corpo aerodinâmico, conhecido como Asa, nos aviões ou Pás, nos rotores dos helicópteros, destinados a criar uma força de reação quando em movimento relativo no ar circundante, para gerar a força de sustentação, semelhante às asas dos pássaros,

constituídas num formato peculiar, curvo em cima e quase reto embaixo, unidas pelo bordo de ataque e pelo bordo de fuga através de uma linha imaginária chamada corda.Ver figura 63.

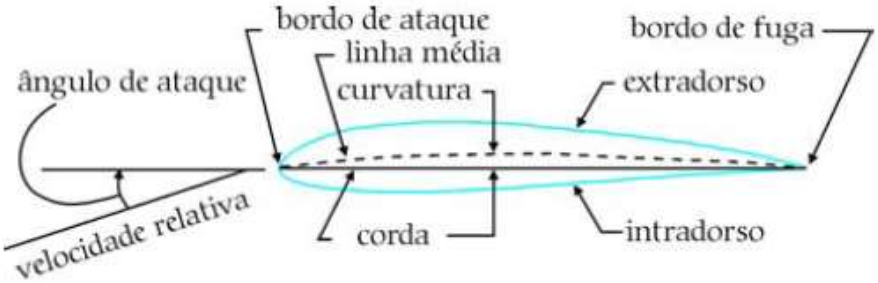


Figura 64: Terminologia de um perfil aerodinâmico.

Fonte: Eastlake, 2006.

(4) *BAMBI BUCKET*: Espécie de bolsa com capacidade de 540l, para recolher água em reservatórios/cursos d'água para operações de combate a incêndios;

(5) *BATIMENTO*: Movimento das pás, onde o giro destas geram duas forças: sustentação e força centrífuga. Desde que a força centrífuga permaneça essencialmente constante durante o voo, o ângulo de batimento varia com a quantidade de sustentação gerada pela pá do rotor. Quando o helicóptero voa horizontalmente, a pá que avança desenvolve mais sustentação que a pá que recua. Esta sustentação aumentada faz com que a pá bata para cima. Esse movimento para cima diminui o ângulo de ataque da pá, a qual, por sua vez, diminui a quantidade de sustentação desenvolvida, equilibrando a sustentação nos dois lados do disco do rotor.

(6) *COMANDO CÍCLICO*: Alavanca de controle acionada pela mão direita do piloto e que atua nos eixos lateral e longitudinal do helicóptero, permitindo seu direcionamento para frente e para trás, bem como para os lados;

(7) *COMANDO COLETIVO*: Tipo de controle que atua coletivamente na mudança de passo do rotor principal, sendo responsável pelo deslocamento vertical da aeronave, em síntese, a decolagem e o pouso;

(8) *DISCO DO ROTOR:* Disco gerado pela rotação das pás do rotor.

(9) *EIXOS DE CONTROLE*: São linhas imaginárias que atravessam as aeronaves, sendo:

- *Eixo longitudinal*: linha imaginária que atravessa a aeronave em seu comprimento, do nariz à cauda;
- *Eixo lateral*: Linha imaginária que liga uma extremidade à outra das asas das aeronaves;
- *Eixo vertical*: Linha imaginária que atravessa a aeronave no sentido vertical

(10) *ESTABILIZADOR HORIZONTAL*: Parte integrante da aeronave, geralmente localizada na cauda (parte fixa) dos aviões e helicópteros, destinados a dar estabilidade em torno desse eixo;

(11) *ESTABILIZADOR VERTICAL*: Parte integrante da aeronave, geralmente localizada na cauda (parte fixa) dos aviões e helicópteros, destinados a dar estabilidade em torno desse eixo;

(12) *FAROL DE BUSCA*: Equipamento usado nas aeronaves em apoio às operações terrestres noturnas, possuindo uma lâmpada xênon de 1600 W(watt) de potência, que fornece entre 30-40 milhões de candlepower (candela-força: unidade de medida básica do Sistema Internacional de Unidades para a intensidade luminosa equivalente a iluminação de uma vela);

(13) *FUSELAGEM*: É o corpo, propriamente dito, das aeronaves, onde se localiza a cabine de comando, a seção destinada aos passageiros e/ou carga;

(14) *GANCHO e CESTO*: Equipamento fixado na aeronave, ao qual se prende cargas externas, como é o caso do cesto, empregado em situações onde pessoas estejam isoladas e em situação de perigo (incêndios, pessoas perdidas ou feridas na mata, enchentes, retirada de pessoas de embarcações e ilhas, desde que próximo da orla, etc.). Essas situações podem ser variadas, salvaguardando as restrições de cada uma destas modalidades.

(15) *LEME*: Peça móvel, fixada no *bordo de fuga* (parte de trás dos estabilizadores verticais dos aviões), destinada a provocar a mudança de direção da aeronave (guinadas - virar à esquerda ou à direita);

(16) *MOTORIZAÇÃO*: Podem ser do tipo convencional (à pistão) ou à reação (jatos), numa explicação superficial:

- Motor a pistão: semelhante aos motores automotivos, nos quais um (ou mais) pistões se movimentam dentro dos cilindros no interior do bloco, pela expansão dos gases inflamados na combustão pelas velas de ignição, para cima e para baixo, girando um eixo de manivelas (virabrequim) e assim permitir que esse giro seja transmitido à hélice que irá tracionar a aeronave;

- Motor à reação: Tipo de motor, em formato tubular, que possui em seu interior um eixo que o atravessa longitudinalmente, ao qual se fixam vários conjuntos de pequenas pás com funções específicas sendo, as primeiras, denominadas de compressores e as posteriores, de turbinas. O ar, ao ser sugado pelo compressor, é conduzido até a câmara de combustão altamente comprimido e aquecido onde, ao ser injetado o combustível, (querosene de aviação), a mistura é inflamada pela vela de ignição, gerando uma massa de gases que saem com enorme pressão para trás, passando pelas pás da turbina que, ao absorverem esta energia, fazem girar o eixo dando início ao ciclo da reação que impulsiona a aeronave ou giram as hélices ou os rotores dos helicópteros.

(17) *NAVEGAÇÃO AÉREA POR NDB*: As aeronaves, quando se deslocam pelo espaço aéreo, seguem duas regras básicas: navegação visual (VFR) ou por instrumentos (IFR). Dos meios de navegação mais simples, o NDB (sigla para non-directional beacon) significa "marcador não direcional", a estação nada mais é do que uma baliza de sinais de rádio. As cartas de navegação informam qual a frequência do NDB da região, que é captada por um instrumento no painel da aeronave, o ADF (Automatic Directional Fanding), que sintoniza esta frequência fazendo com que o ponteiro aponte a direção de onde o sinal está sendo captado. O NDB determina uma posição relativa, não havendo a necessidade de a aeronave passar exatamente sobre um determinado ponto, mas sim uma referência de uma rota, sendo que esta situação é reportada como "passando no través" ou "passando sobre" quando se tratar de aeronave.

(18) *PEDAIS ANTI-TORQUE*: São responsáveis pelo controle lateral da aeronave, atuando na coordenação das curvas, alterando o passo das pás do rotor secundário (de cauda), permitindo o controle em torno do eixo vertical, possibilitando o giro para esquerda e/ou direita, além de atuar como rotor anti-torque (que impede a fuselagem de girar no sentido oposto ao rotor principal).

(19) *PROFUNDORES*: Peças móveis, fixadas nos *bordos de fuga* (parte de trás dos estabilizadores horizontais dos aviões), destinadas a provocar a mudança de direção da aeronave (subir/descer);

(20) *TREM DE POUSO*: É o conjunto de engrenagens, amortecedores, rodas e pneus sobre os quais as aeronaves pousam. Há ainda os casos, onde, em seu lugar, existem esquis (helicópteros em sua maioria) ou flutuadores (hidroaviões);

APÊNDICE B – A FÍSICA DO HELICÓPTERO

Certamente que quando nos deparamos com um helicóptero em voo, seja pairado ou em deslocamento horizontal, muito provavelmente nem imaginamos a complexidade científica e tecnológica que estão envolvidas neste aparato. Trataremos aqui de alguns fenômenos físicos que ocorrem na dinâmica do voo do helicóptero, bem como de alguns dispositivos de compensação aerodinâmica envolvidos nesta máquina, dando primeiramente algumas noções sobre a teoria de sustentação aerodinâmica.

1) Teoria de Sustentação Aerodinâmica: a controvérsia e uma breve explicação sobre a teoria de Sustentação.

Existem algumas controvérsias quanto a qual lei, princípio e teorema da física explicariam satisfatoriamente o mecanismo de sustentação do voo. A explicação mais comum difundida nos livros textos de Física aborda o princípio de Conservação de Energia (por exemplo, TIPLER; MOSCA, 2006, p.463-465) que através de uma demonstração, chega-se a equação de Bernoulli ou Teorema de Bernoulli (WETNER; INGELMAN-SUNDBERG; ESPERIDIÃO & MIRANDA, 2002). Logo, em sequência, para dar uma compreensão qualitativa, usa-se o Efeito Venturi para justificar a sustentação da asa, como afirmam Tipler e Mosca, 2006, a seguir:

> A asa de um avião é projetada de forma que o ar se desloque mais rapidamente em cima do topo da asa do que embaixo desta, fazendo com que a pressão na parte de baixo seja maior do que na de cima. Essa diferença de pressão provoca sobre a asa uma resultante de forças orientada para cima. (TIPLER; MOSCA, 2006, p.468).

Esta explicação é amplamente criticada por conter raciocínios irrelevantes segundo Weltner, Ingelman-Sundberg, Esperidião e Miranda, 2002. Eles afirmam que frases do tipo: "A forma da asa leva o ar a escoar assim", dissimulam a ausência de uma explicação sólida e lógica. Eles afirmam: "Podemos dizer que a explicação convencional encontrada na maioria dos livros textos para a sustentação da asa é incompleta, ou melhor, errada" (WETNER; INGELMAN-SUNDBERG; ESPERIDIÃO &MIRANDA, 2001, p.431).

Outros críticos a esta interpretação dada nos livros texto sobre a sustentação da asa (ANDERSON; EBERHARDT, 2006) problematizam sobre o que se denomina como "explicação popular":

> Decorre também da explicação popular o fato de que voos invertidos são impossíveis. Ela certamente não considera aviões de acrobacia, que têm asas simétricas (a parte superior e a parte inferior da asa tem o mesmo perfil) e muito menos como uma asa se ajusta às grandes variações de cargas quando sai de um mergulho ou faz uma curva acentuada. (ANDERSON; EBERHARDT, 2006, p.44).

Estes autores se propuseram a substituir o Teorema de Bernoulli pelas leis de Newton, por exemplo, quando sintetizam esta linha de raciocínio da seguinte forma:

> Por exemplo, um objeto sobre uma mesa exerce força sobre ela, e a mesa exerce uma força contrária que o mantém no lugar. A fim de criar sustentação, a asa precisa fazer algo com o ar. Aquilo que a asa faz com o ar é a ação, enquanto a sustentação representa a reação. (ANDERSON; EBERHARDT, 2006, p.45).

Segundo (EASTLAKE, 2006), em seu artigo sobre a sustentação aerodinâmica, podem-se usar as Leis de Newton ou o Princípio de Bernoulli para explicar satisfatoriamente a força de sustentação produzida pelas asas de uma aeronave. Contudo ele destaca que existem alguns raciocínios equivocados como, por exemplo, a igualdade dos tempos de

trânsito de dois elementos do fluxo de ar que atravessam um perfil aerodinâmico. Os raciocínios equivocados podem ter origem no uso demasiado de simplificações que geralmente estão presentes em explanações de modelos teóricos.

> A aerodinâmica como ensinada para engenheiros aeronáuticos não vê nisso qualquer controvérsia. Ambas as abordagens são corretas em todas as situações. Qual abordagem usar é apenas uma questão de conveniência em função do tipo de informação que se dispõe para a caracterização do particular padrão de fluxo do ar. A inabilidade deste ou daquele modelo em explicar a geração de sustentação é na verdade um problema de uso de versões destas leis que são demasiadamente simplificadas. Em outras palavras, a mensagem que vale a pena enfatizar é que um número exagerado de hipóteses simplificadoras pode estragar a precisão de um modelo teórico que é, em seus fundamentos, uma escolha correta e deveria funcionar muito bem. (EASTLAKE, 2006, p.52).

Um tratado minucioso sobre o assunto encontra-se no artigo de (WETNER; INGELMAN-SUNDBERG; ESPERIDIÃO & MIRANDA, 2001) cujo método matemático está além do escopo deste texto dirigido a leitores ou professores mais interessados a dar uma abordagem mais simples ao fenômeno. Para simplificar a discussão, opta-se como referência a proposta oferecida por Oliveira, 2009, que nos traz o seguinte alerta:

> Faça-se, já, uma nota em relação ao cuidado que se deve ter, para não cair em "falácias", nas diferenças de abordagens. *Mecanismo* da sustentação não é o mesmo que os *efeitos* da sustentação nem ainda a sua *quantificação*. Há que saber distingui-los, e o que está aqui em discussão é o mecanismo e não os seus efeitos ou quantificação. (OLIVEIRA, 2009, p.37).

O mecanismo de sustentação pode ser explicado de uma forma muito simples, deixando um pouco de lado as formulações matemáticas para cálculo das forças e as interpretações de alguns fenômenos aerodinâmicos. Podemos sintetizá-lo como a força de reação sobre o aerofólio provocada pelo ar. Quando a asa age sobre o ar, ou seja, quando há um movimento relativo entre o perfil aerodinâmico e o ar, provoca-se uma deformação sobre o fluxo do mesmo através de suas superfícies superior (extradorso) e inferior (intradorso) como podemos observar na figura 65.

Figura 62: Deformação do fluxo de ar através do perfil aerodinâmico.

Fonte: WETNER; INGELMAN-SUNDBERG; ESPERIDIÃO & MIRANDA, 2006.

Esta deformação é provocada pelas interações moleculares de adesão e escoamento do ar (considerado o ar como um fluido viscoso) cuja tendência é acompanhar a superfície geométrica do perfil. A denominação para este fenômeno é conhecida como efeito Coanda, em homenagem a Henri Coanda que observara este comportamento do fluxo de ar no princípio do século XX.

Uma vez que o ar sofre esta curvatura, pela Primeira Lei de Newton, sua massa deve sofrer ação de uma força que a faz experimentar uma aceleração radial, ou seja, uma força centrípeta. Pela Terceira Lei de Newton, a força de reação centrífuga atuará sobre o perfil, e é esta força resultante de reação que se denomina como a força de sustentação aerodinâmica. Na figura 66 são representadas as componentes de reação sobre o perfil aerodinâmico, cuja somatória representa a força de sustentação aerodinâmica.

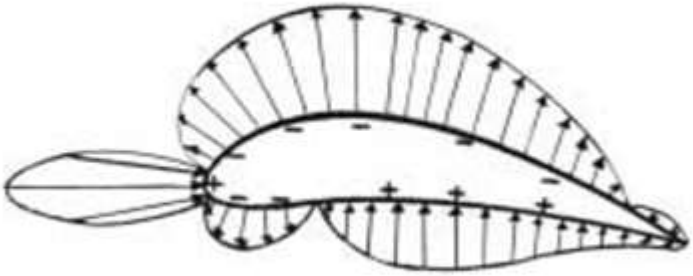


Figura 63: Componentes da resultante aerodinâmica.

Fonte: WETNER; INGELMAN-SUNDBERG; ESPERIDIÃO & MIRANDA, 2006.

Para resumirmos, segundo Oliveira,(2009): “A força de sustentação dinâmica é igual à reação centrífuga gerada na aceleração radial do volume de fluido viscoso escoado em torno de um perfil” (OLIVEIRA, 2009, p.39).

Caso algum leitor ou professor se interesse em informações com rigores matemáticos, há uma série de artigos nas referências que poderão auxiliá-los em futuros questionamentos que possam surgir devido a simplicidade desta explanação. Sugere-se consultar: WETNER; INGELMAN-SUNDBERG; ESPERIDIÃO & MIRANDA (2001), EASTLAKE (2006), ANDERSON; EBERHARDT (2006) e OLIVEIRA (2009).

2) A dinâmica do voo do helicóptero.

Antes de começarmos a tratar da Física do helicóptero vamos apresentar alguns de seus elementos, figura 67, que serão usados para a descrição de sua dinâmica de voo. O modelo, de helicóptero retratado na figura 67 é o mesmo que foi utilizado na oficina.

Figura 64: Componentes do helicóptero.

Fonte: Arquivo do autor, 2014.

O rotor principal é o dispositivo responsável por gerar a força de sustentação, como também permitir a translação do helicóptero. Seu sistema é constituído por: Pás (1) que são aerofólios, Cabeça do rotor (2) que é um dispositivo articulador da pá e o Mastro (3) que é um cilindro ligado a CTP (Caixa de Transmissão Principal) responsável pela transmissão de energia cinética ao conjunto do rotor, figura 68.

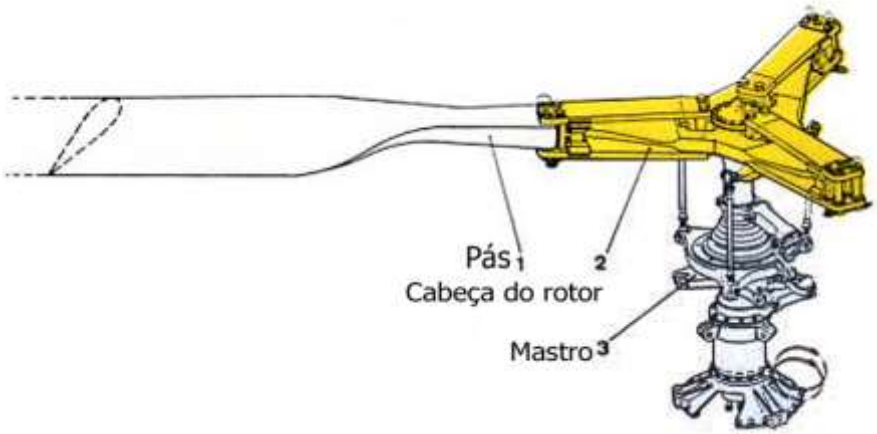


Figura 65: **Rotor principal**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

A Empenagem é um conjunto de elementos presentes ao final do cone de cauda, figura 69.

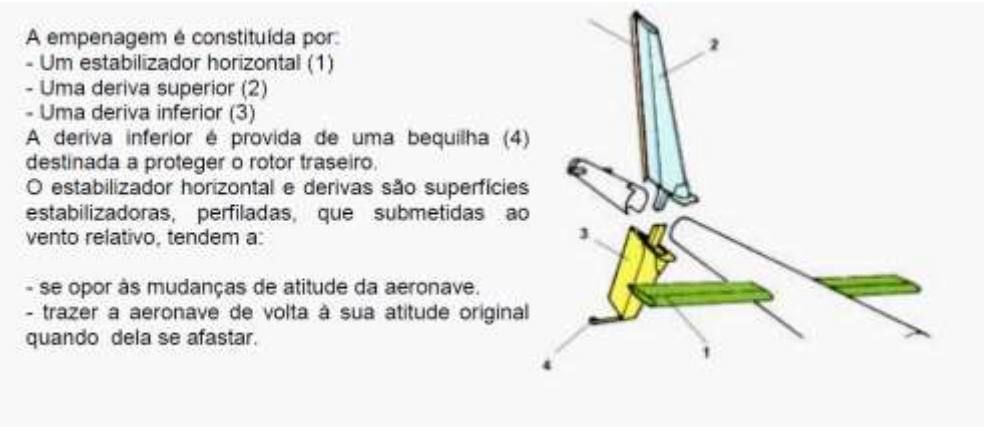


Figura 66: **Empenagem**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

O rotor traseiro, rotor de cauda ou rotor anti-torque, figura 70, é o sistema responsável por gerar o "empuxo" (como é denominado no jargão aeronáutico), que é a força produzida pelo giro da pá do rotor traseiro e assim definida por não se tratar de uma força de sustentação.

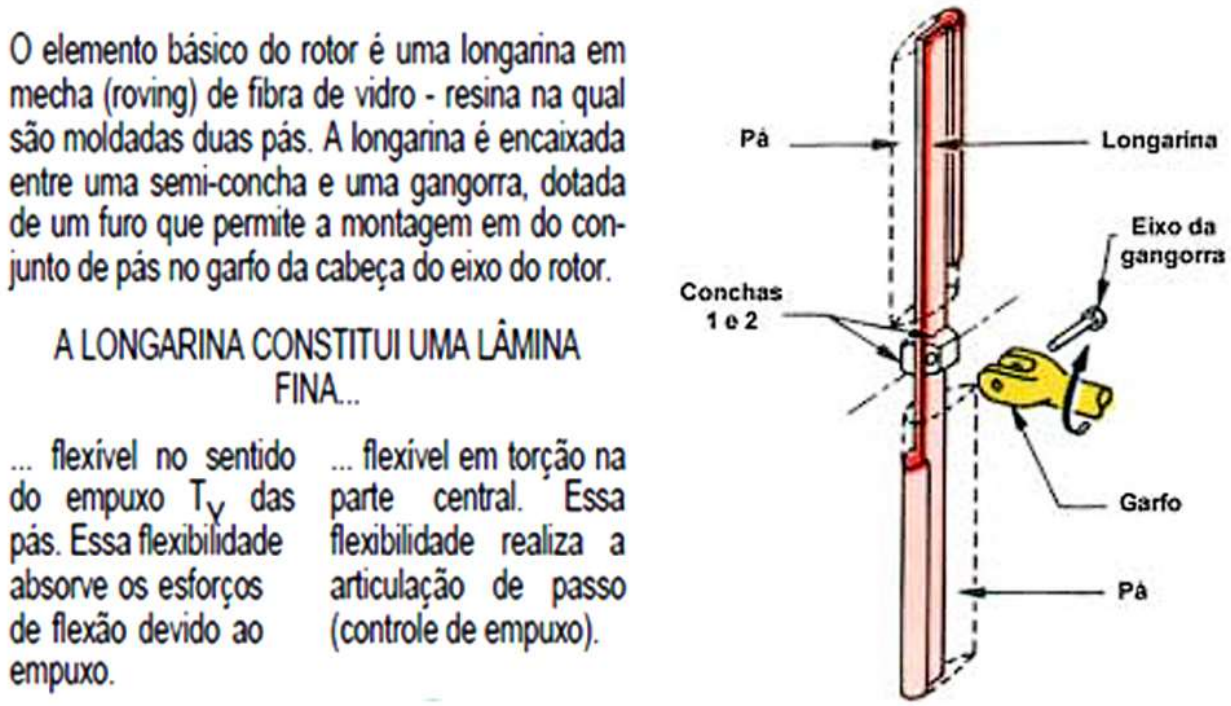


Figura 67: **Pá do rotor de cauda.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

Um dos problemas que logo se manifesta para impedir o voo controlado de um helicóptero se refere à lei de conservação do momento angular. Uma vez que o rotor gira em um sentido, o corpo do helicóptero tenderá a girar em sentido oposto de modo que a somatória dos torques rotacionais do sistema permaneça zero (lei da conservação do momento angular). Enquanto em contato com o solo, a força de atrito presente sobre a base dos Esquis impede que o corpo do helicóptero gire quando o rotor principal é acionado. Assim que o helicóptero decola, o rotor de cauda tem a função de produzir uma força com direção perpendicular ao plano que contém o rotor principal, gerando um binário para anular ou controlar a tendência de giro de seu corpo. Faremos uma explanação detalhada na seção sobre o rotor de cauda.

2.1) Voo em deslocamento horizontal.

De modo de similar ao avião, são quatro as forças que atuam em um helicóptero em voo em deslocamento horizontal. Estas forças são representadas pelos vetores: $\overrightarrow{F_L}$: vetor força de Sustentação (Lift), $\overrightarrow{F_W}$: vetor força Peso (Weight), $\overrightarrow{F_T}$: vetor força de Tração (Traction) e $\overrightarrow{F_D}$: vetor força de Arrasto (Drag). As forças estão representadas na figura 71.

Figura 68: **As quatro forças que atuam em um helicóptero em voo horizontal.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

A Força de Sustentação (F_L) é gerada pelo giro das pás do rotor do helicóptero que provoca a ação de cada perfil aerodinâmico sobre o chamado vento relativo. O vento relativo se refere a velocidade tangencial do fluxo de ar que passa pelo perfil da pá do helicóptero durante a sua rotação. Na figura 72 é perceptível a curvatura da pá onde nota-se que se trata de um perfil aerodinâmico.

Deve-se destacar porém que há algumas diferenças nos efeitos aerodinâmicos em relação ao aerofólio de um avião de asa fixa, usado na explicação do mecanismo de sustentação. A primeira é o Gradiente de Sustentação. Este fenômeno pode ser explicado usando-se as características da velocidade tangencial estudadas no MCU (Movimento Circular Uniforme). Quando a pá do rotor gira, a velocidade tangencial de um ponto da periferia depende da distância em relação ao centro de rotação (centro do rotor), figura 73.

Figura 69: Vistas superior e inferior da pá de um rotor onde é possível perceber a curvatura do perfil aerodinâmico.

Fonte: Arquivo do 3ª CoRpAer, 2014.

Por ser uma força de natureza centrípeta, a força de sustentação é diretamentamente proporcional ao quadrado da velocidade tangencial de um elemento do fluxo de ar que se desloca sobre a superficie da pá e, portanto ao afastarmos do centro de rotação a força de sustentação em cada ponto será tanto maior quanto maior for a distância ao centro do rotor como vemos na figura 73.

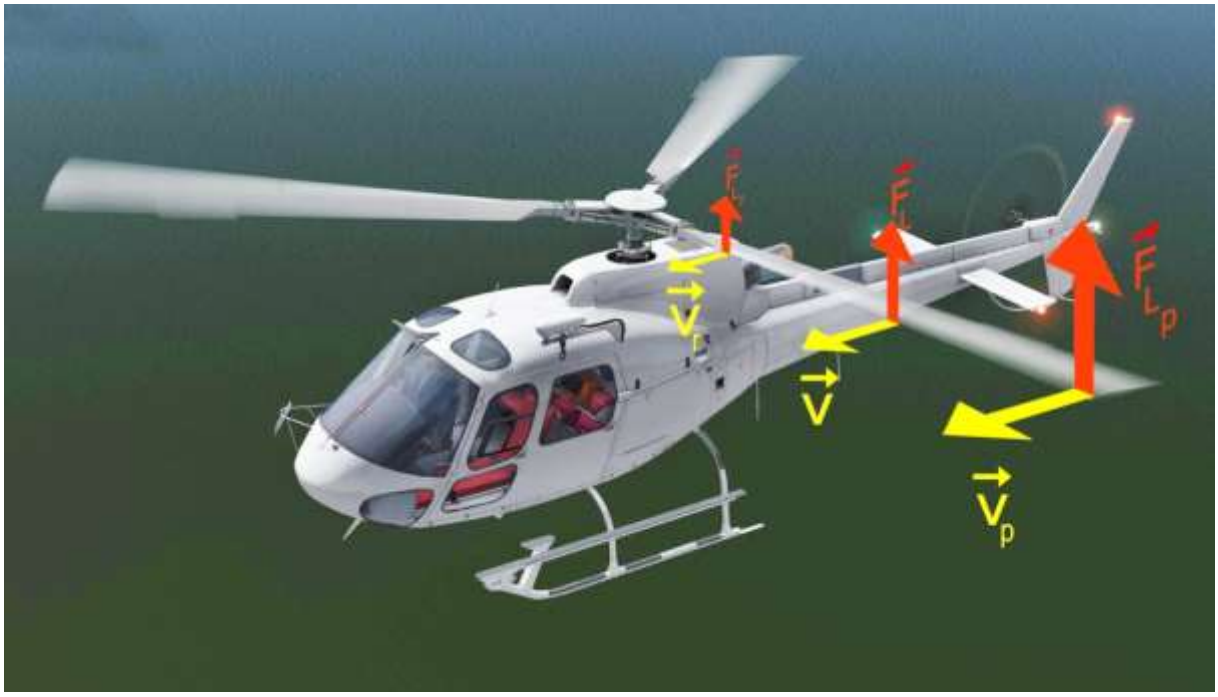


Figura 70: **O Gradiente de Sustentação. A força de sustentação varia a partir do centro de rotação.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

Se as velocidades tangenciais são maiores ao se afastar do centro de rotação, então é válida a seguinte afirmação: $\left|\overrightarrow{V_r}\right| < \left|\vec{V}\right| < \left|\overrightarrow{V_p}\right| \Leftrightarrow \left|\overrightarrow{F_{L_r}}\right| < \left|\overrightarrow{F_L}\right| < \left|\overrightarrow{F_{L_p}}\right|$. Esta situação acarreta um problema para a pá do rotor, pois a resultante do Gradiente de Sustentação acaba por defleti-la (arqueá-la) para cima durante o giro. Este problema foi resolvido modificando-se o formato original da pá, que era uniforme, adicionando-se uma torção ao longo de toda sua extensão (Gradiente de torção) e que gradualmente altera a posição do ângulo de ataque (ver Glossário-19) a partir do centro do rotor (ver o ângulo de torção figura 74). Contudo esta solução é ineficaz quando o helicóptero entra em movimento horizontal, fazendo necessário o recurso do Batimento como veremos mais a frente. O ângulo de ataque decresce a partir do centro do rotor até se tornar quase nulo na extremidade da pá. O objetivo desta intervenção é aumentar o módulo da força de sustentação nos pontos ao longo da pá onde a velocidade tangencial é menor, estabelecendo um equilíbrio com pontos onde esta velocidade é maior. Na figura 74 são dadas especificações da pá (o manual não considera algumas especificações do sistema internacional, por exemplo, a definição de peso em newtons).

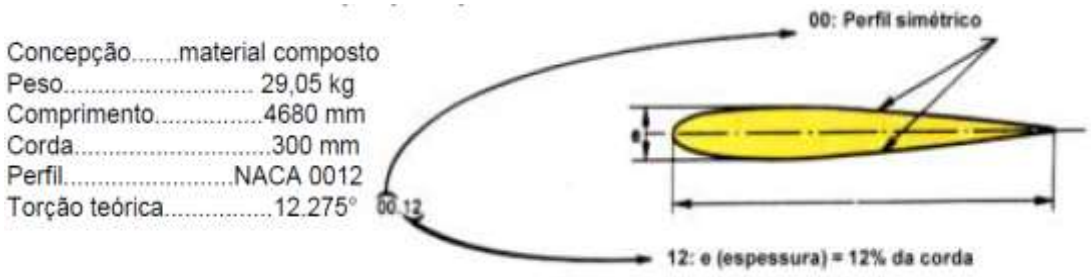


Figura 71: **Especificações da pá.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

Ainda sobre a força de sustentação gerada pelas pás, uma nota interessante é sobre o modelo do helicóptero utilizado na oficina, o **AS-350 B2 Esquilo,** que em seu manual, descreve também que as pás devem estar "balanceadas" para evitar uma série de efeitos nocivos, uma vez que os elementos constituintes do rotor principal são submetidos a grandes esforços e por isso o desbalanceamento pode provocar degastes na sua estrutura a ponto de tornar o controle aerodinâmico dificultoso.

Um rotor balanceado, gira para um passo (um ciclo completo de cada pá) e para uma velocidade de rotação estabelecida de tal maneira que os esforços aerodinâmicos de distribuição de cargas devem ser equivalentes. Quando o sistema entra em regime de giro, mesmo com a ação do gradiente de torção, o disco formado pelo rotor possui um raio um pouco menor do que o comprimento da pá a partir do centro do rotor, portanto cada pá possui uma pequena inclinação em relação ao plano horizontal, como vemos na figura 75.

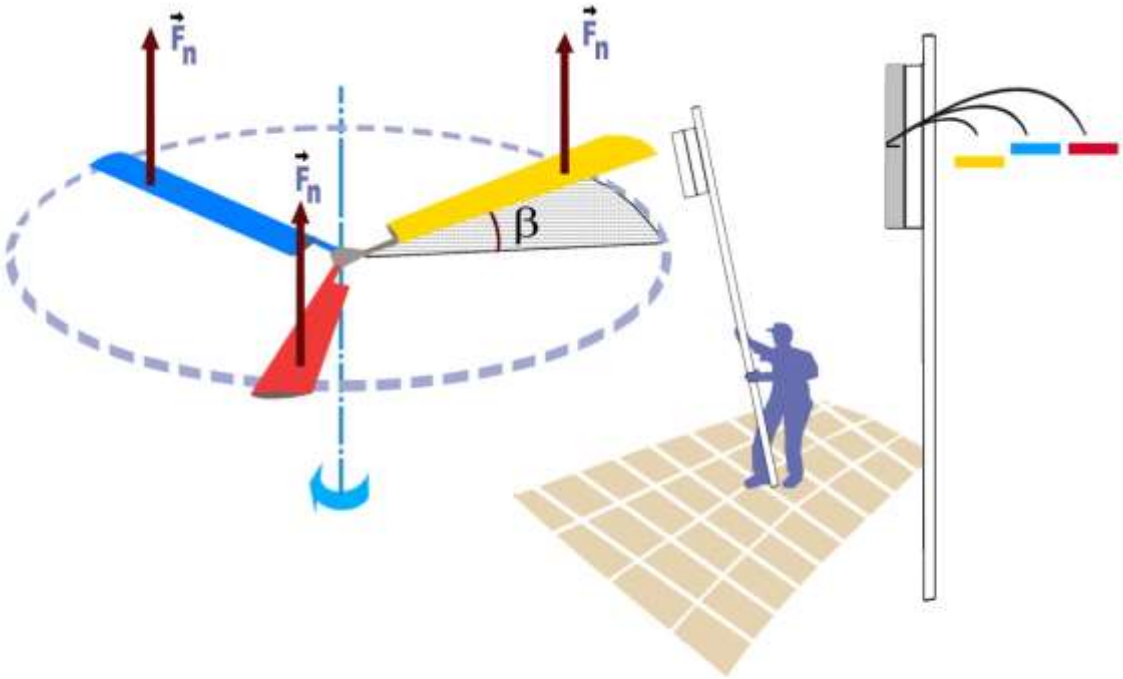


Figura 72: **Balanceamento das Pás do rotor do AS-350 B2 Esquilo.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

Se cada pá durante a sua trajetória seguir aproximadamente o mesmo ângulo de inclinação, estas estarão levantadas em relação ao plano horizontal de um mesmo valor, o que significa estarem submetidas a um mesmo módulo de força de sustentação (F_n) (o vetor força de sustentação é perpendicular à direção horizontal) como se vê na figura 75, em que cada pá deixa na bandeira de *tracking* (rastreamento) traços quase coincidentes. Como a pá está inclinada em relação à horizontal, conclui-se que deve existir uma força atuando sobre a pá cuja direção é paralela ao plano horizontal e o sentido é do centro do rotor para a extremidade da pá, ou seja, uma força de natureza centrífuga. Veja a figura 76.

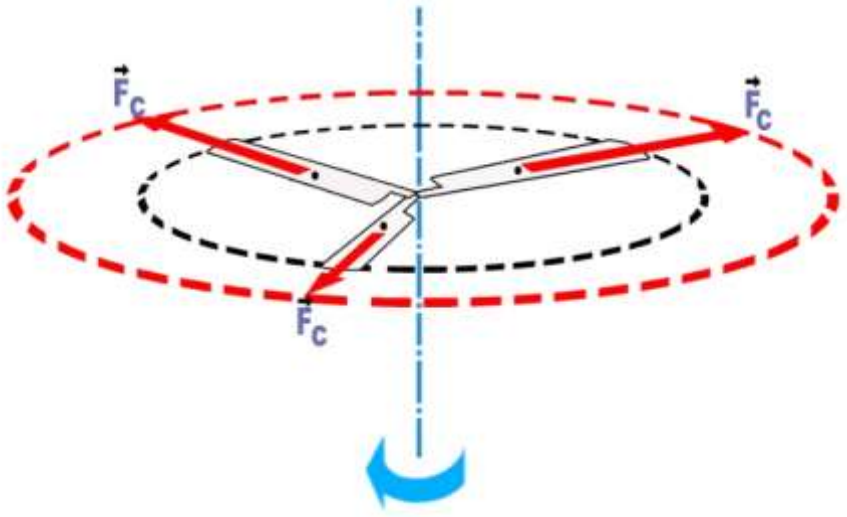


Figura 73: **Força centrífuga atuando nas pás do rotor.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

Um rotor é dito balanceado quando o módulo da força centrífuga de cada pá é igual. Reciprocamente se o sistema do rotor não estiver balanceado é por que o módulo da força centrífuga em cada pá não é igual. Para esta situação, os ângulos de inclinação das pás não serão próximos e a variação periódica do movimento das mesmas geram vibrações cujo nível é função da divergência entre o valor da força centrífuga de cada pá. Estas vibrações podem provocar a deterioração do sistema por fadiga, além de dificultar o controle do helicóptero. Cabe ao técnico verificar e ajustar os fatores de divergência antes que o helicóptero venha a entrar em operação.

As outras forças são Peso (F_W) que é gerado pela ação gravitacional, o Arrasto (F_D) que pode resultar da combinação de dois tipos: a) Arrasto Parasita: que vem da ação aderente (atrito) da corrente de ar sobre a fuselagem do helicóptero; b) Arrasto Induzido: que advém de fenômenos aerodinâmicos como vórtices (turbulência) e da ação defletora do rotor sobre o ar circundante.

Na figura 77 um exemplo do arrasto induzido e sua atenuação feita por um dispositivo denominado cantoneira:

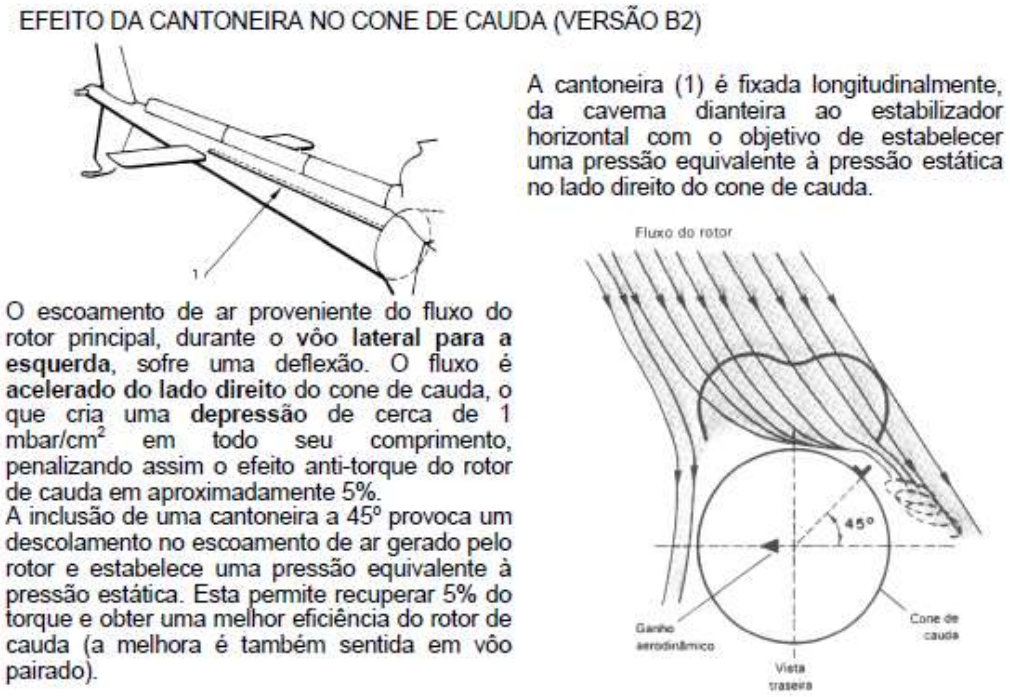


Figura 74: **Exemplo de Arrasto Induzido sobre o AS-350 B2 Esquilo.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

A força de Tração (F_T) é uma componente da força de Sustentação (F_L) produzida por uma inclinação desta em relação ao eixo horizontal. Veja a figura 78:

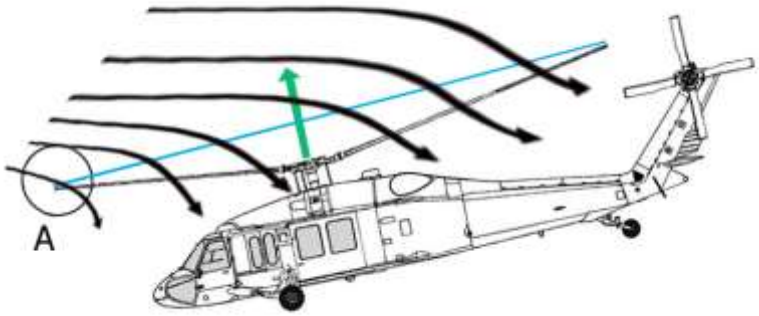


Figura 75: **A inclinação da força de Sustentação em relação à horizontal.**

Fonte: Adaptada de Guimarães - scribd, 2015.

No ponto “A”, figura 78, na extremidade da pá, traça-se o diagrama de forças que atuam na pá de um helicóptero em voo horizontal (figura 79):

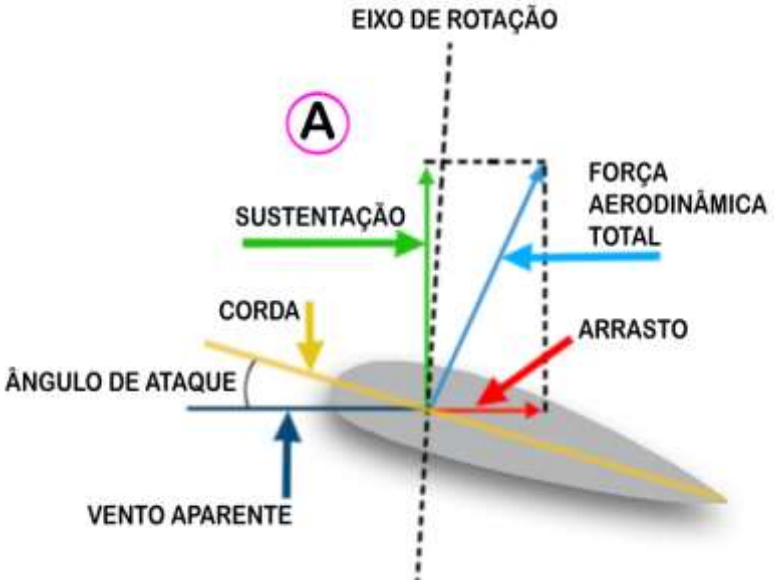


Figura 76: **Diagrama de forças na pá durante o voo horizontal.**

Fonte: Guimaraes - scribd, 2015.

Quando o vento aparente atinge o bordo de ataque da pá, o diagrama de forças pode ser traçado a partir do eixo de rotação, considerado como perpendicular à direção horizontal. Observe que a resultante aerodinâmica é proveniente das forças de sustentação e de arrasto. Nesta situação em voo horizontal, a componente horizontal da força de sustentação corresponde à tração que se opõe ao arrasto. Observe na figura 79 que a força de sustentação (LIFT) tem uma direção diferente do eixo de rotação.

2.2) Voo Pairado

O voo pairado é obtido quando a soma das forças que atuam no helicóptero for igual à zero. Analisemos agora as forças que atuam apenas na direção vertical. Para facilitar o entendimento consideremos apenas o Peso e a força de Sustentação e desconsideram-se as forças de arrasto induzido e arrasto parasita provocada pelo ar circundante de modo que se se tenha uma igualdade entre a força de tração e de arrasto. Em uma situação em que o helicóptero encontra-se em repouso em relação ao solo, ou seja, em voo pairado, figura 80, está representada a ação dos vetores força de sustentação $\overrightarrow{F_L}$ e do peso $\overrightarrow{F_W}$.

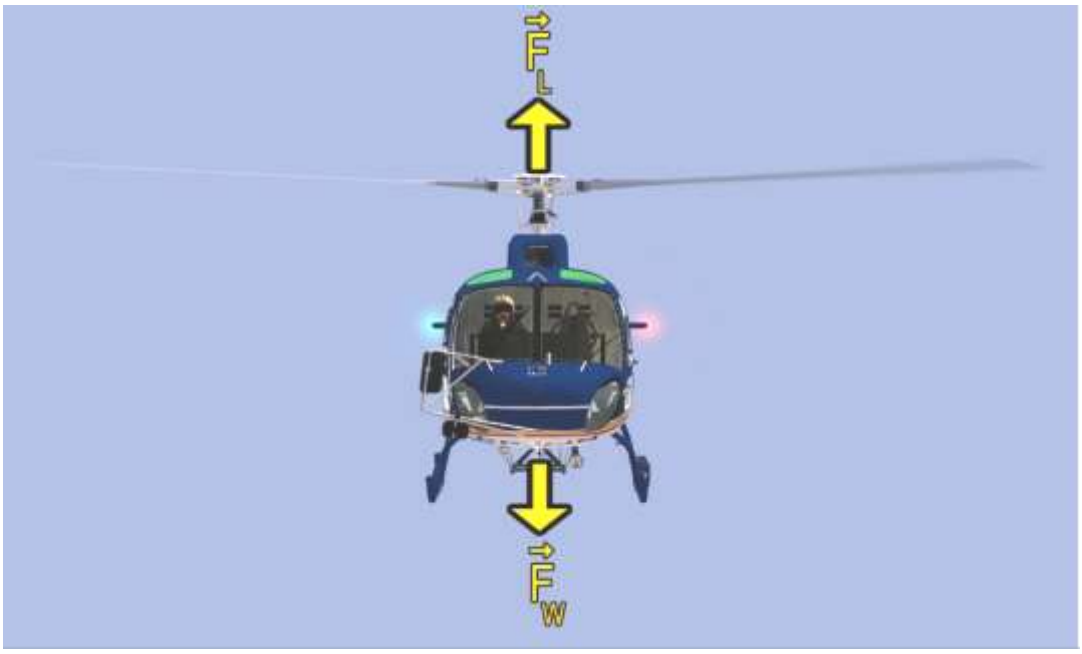


Figura 77: **Um par de forças que atuam em um helicóptero em voo Pairado.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

A pá do rotor de um helicóptero, quando em regime de giro, produz uma força defletora sobre a massa de ar ao seu redor, criando-se um fluxo descendente. Pela terceira lei de Newton exige-se que o ar, por sua vez exerça uma força de igual módulo para cima sobre as pás do rotor. Para um helicóptero pairar, a força exercida pelas pás do rotor sobre o ar deve ser igual em módulo ao seu peso. A partir destas suposições pode-se encontrar uma expressão para a frequência de rotação da pá do rotor, dado o peso do helicóptero a qual faremos uma explicação a seguir.

$$f = \sqrt{(m.g/(8\pi^3.\rho.\lambda^2.R^4)}\ [Hz]\ (1)$$

Na equação (1), m é a massa do helicóptero em kg, g é aceleração da gravidade em m/s^2, ρ é a densidade do ar em kg/m^3 , λ é um parâmetro denotado pela razão de fluxo do rotor que é uma grandeza adimensional e R é o raio da pá do rotor em m.

As pás do rotor de um helicóptero que paira geram um disco paralelo ao plano horizontal chamado de disco de sustentação. Este disco irá empurrar o ar gerando um fluxo descendente, figura 81.

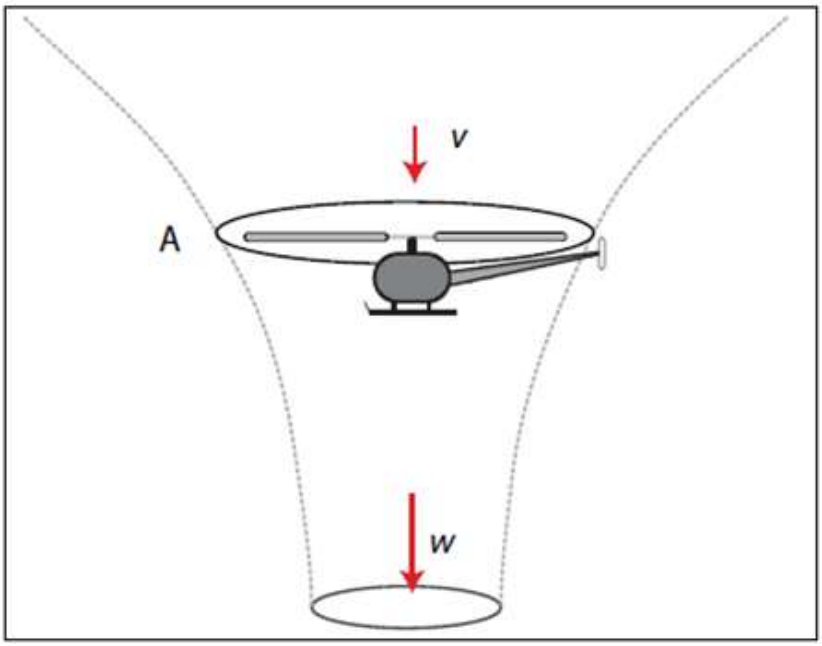


Figura 78: **Fluxo de ar gerado pelas pás do rotor. Onde**

Fonte: *LIEB, MICHAEL,* The Physics Teacher, Vol. 48, Outubro, 2010.

Vamos supor que seja suave a corrente de ar que flui através da área do disco do rotor e bem definida, ou seja, sem turbulências. O fluxo de massa de ar através do disco pode ser dado por:

$$dm/dt = \rho . A . v \; [kg/s] \; (2)$$

Na equação (2), dm/dt representa fluxo de ar que passa através da área do disco do rotor, ρ é a densidade do ar, A é a área varrida pela pá do rotor quando em movimento, e $v \; (m/s)$ é a velocidade do ar que se move para baixo, através da área acima do disco do rotor. A força exercida pelo rotor sobre a massa de ar pode ser dada pela derivada do momento linear:

$$F = dP/dt \; [N] \; (3)$$

Muito acima do helicóptero, o ar é considerado em repouso. Abaixo do helicóptero, atribuímos à velocidade do fluxo de ar a jusante por ω. Suponha que a corrente de ar é incompressível e sem viscosidade. Logo a força exercida pelo rotor é:

$$F = (dm/dt) . \omega [N] \; (4)$$

Pela lei da conservação de energia, o trabalho realizado pelo rotor $F.v$ (J) deve ser igual à taxa de variação da energia cinética sobre o fluido, $1/2 \ \ (dm/dt).\omega^2$, logo:

$$F.v = 1/2 \ (dm/dt).\omega^2 \ (5)$$

Dividindo-se (5) por (4) chega-se a $\omega = 2v$ e combinando a informação, a força que o helicóptero exerce através do rotor deve ser:

$$F = 2(dm/dt).v = 2\rho.A.v^2[N] \ (6)$$

A velocidade da ponta de uma pá do rotor é $w.R$, em que w representa a frequência angular do rotor na medida em que ocorre o seu giro. Em geral, a relação entre a velocidade v do ar através do plano da pá do rotor e a velocidade da ponta do rotor $w.R$ é complexa. O rotor de um helicóptero tem um ângulo de ataque da pá designado por α. A pá é torcida, a fim de manter o ângulo de ataque o mais constante possível ao longo de sua extensão. O ângulo de ataque é uma medida de distância a partir da soma dos vetores de v e $w.R$ como mostra a figura 82 .

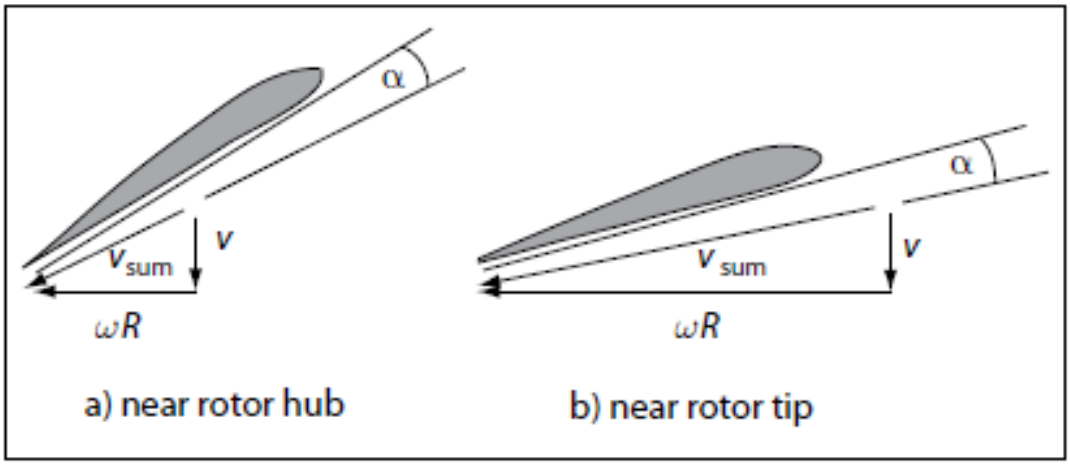


Figura 79: **Alteração da posição do ângulo de ataque da pá devido à torção da pá.**

Fonte: *LIEB, MICHAEL,* The Physics Teacher, Vol. 48, Outubro, 2010.

A velocidade do fluxo de ar v pela pá do rotor é relativamente constante. Mas a velocidade tangencial da pá do rotor aumenta com o raio. Perto do centro do rotor (*near rotor rub*), a superfície de sustentação do rotor deve estar a um grande ângulo em relação ao plano horizontal, definido pelo caminho do rotor, por causa das magnitudes relativas de v e $w.R$. Perto da ponta da pá do rotor r (*near rotor tip*) a inclinação é menor, e mais próxima à raiz da

pá a inclinação deve ser maior como vimos na figura 82. Se nos limitarmos para a situação em que um helicóptero paira, pode-se agora definir um parâmetro λ chamado de taxa de rotor ingresso. Por definição λ é a razão da velocidade do ar v através do plano do rotor para a velocidade da ponta do rotor $w.R$:

$$\lambda = v/w.R \ (7)$$

Usando esta equação para substituir v em (6), chegamos à expressão:

$$F = 2\rho.A.\lambda^2 w^2 R^2 [N] \ (8)$$

Onde w é a frequência angular, $w = 2.\pi.f$, e a área do disco do rotor $A = \pi.R^2$. Podemos agora relacionar a força necessária para um helicóptero sustentar o seu peso com a frequência da pá do seu rotor:

$$m.g = 8\pi^3.\rho.\lambda^2.R^4 f^2 \ (9)$$

Nota-se que a expressão indica que o peso suportado pelo helicóptero deve ser proporcional ao quadrado da frequência impressa pela pá do rotor.

2.3) O fenômeno da Autorrotação

Para manter-se em voo, o helicóptero precisa que as pás do rotor tenham certo regime de giro para produzir a força de sustentação necessária e, portanto o motor deve lhe fornecer a potência para tal. A potência transferida pelo motor ao sistema rotacional (rotor principal caixa de redução e rotor de cauda) do helicóptero é de aproximadamente $726sHP$ ou $542kW$ em voo estabilizado, podendo fornecer uma potência maior de $731sHP$, segundo o seu manual no caso de possuir uma carga $2500kg$ com 82% da potência destinados ao rotor principal, 8% à caixa de engrenagens e os 10% restantes ao rotor de cauda. Na figura 83 o corte esquemático do motor e a ampliação da caixa de engrenagens são mostradas.

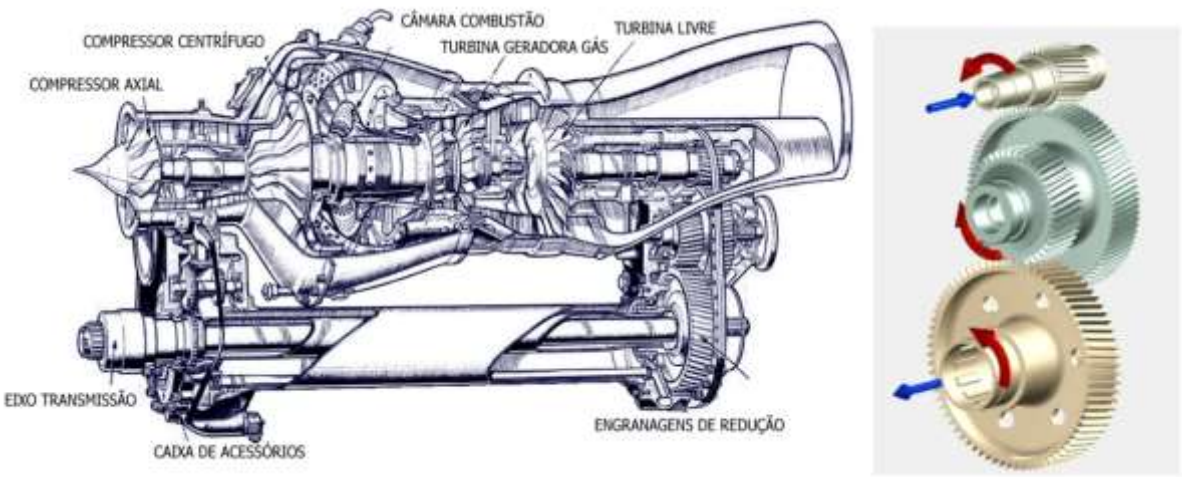


Figura 80: **As partes do motor do modelo de helicóptero AS 350B2 ESQUILO.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

Em caso de pane do motor, há um recurso que pode ainda manter o regime de rotação das pás a fim de possibilitar um voo perfeitamente controlado até o pouso. Esta situação é conhecida como Regime de Autorrotação. Para termos uma ideia de quanto de energia precisa-se para manter apenas o regime de giro das pás, vamos determinar primeiramente a inércia rotacional do conjunto das pás, cujo comprimento da pá é especificado na figura 84.

Figura 81: **Envergadura da pá do AS 350B ESQUILO.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

Ao consultar a tabela da figura 74, verifica-se que a massa da pá $29{,}05kg$ e seu comprimento de $4{,}68m$. Pode-se considerar cada pá como uma haste fina e uniforme (RESNICK, HALLIDAY e KRANE, p.247, 1996) em que seu eixo de rotação é a partir do centro do rotor principal. O momento de inércia de uma pá será dado por

$$I = 1/3 \times m \times L^2[kgm^2],$$

onde I é o momento de inércia, m é a massa da pá e L é o seu comprimento. Como são três pás de mesma massa e características geométricas idênticas, o momento de inércia total é dado pela somatória dos momentos das pás, portanto:

$$I_{total} = 3 \times (1/3 \times m \times L^2) = m \times L^2$$

Calculando-se

$$I_{total} = (29{,}05 \times (4{,}68)^2) = 636{,}26\ kgm^2.$$

O valor do momento de inércia nos permite calcular a quantidade de energia cinética rotacional que o sistema das pás deve possuir para manter a frequência de regime de giro em conformidade com a quantidade de força de sustentação necessária para manter o helicóptero no ar sob o controle do piloto. Neste modelo de helicóptero, figura 84, a frequência de giro das pás, segundo o Manual do AS-350 B2 2014, para um voo estabilizado é de $386rpm$ (revoluções por minuto). Pode-se determinar a energia cinética rotacional através do produto entre a somatória do momento de inércia e o quadrado da frequência angular de giro pela seguinte expressão

$$K = 1/2 \times I \times w^2[J],$$

onde K , em Joules, é a energia cinética rotacional e w é a frequência angular de giro das pás em rd/s. Logo

$$K = 1/2 \times (636{,}26) \times (2\pi \times 386/60)^2 = 519{,}80kJ.$$

A energia irá divergir do valor real porque se deve levar em conta os momentos de inércia do mastro do rotor principal, da CTP e dos eixos e engrenagens do motor e do rotor de cauda.

A autorrotação deve ocorrer apenas em casos extremos, pois esta prática gera danos aos componentes do helicóptero, isto por que a "queda livre" impõe um regime de esforço aos seus componentes superior ao imposto naturalmente pelo seu motor.

Uma vez que o helicóptero estiver em voo, a altitude permite-lhe transformar a energia potencial gravitacional que possui em energia cinética rotacional. Há dois tipos de autorrotação: vertical e horizontal que serão explicadas a seguir.

2.3.1) Autorrotação Vertical

Esta é uma situação que ocorre com a descida do helicóptero na direção vertical devida à perda de potência por pane do motor. A eficiência desta técnica irá depender da altitude e da velocidade vertical com que o helicóptero se encontra no momento. Para valores que divergirem dos estipulados para cada modelo de helicóptero as consequências além das avarias à aeronave, geram risco de morte eminente a tripulantes e/ou passageiros (RODRIGUES, 2006).

A autorrotação vertical deve ocorrer numa situação em que não haja deslocamento horizontal significativo (velocidade horizontal praticamente nula) e em uma atmosfera em ausência de fortes correntes de ar. A figura 85 representa a vista de cima do rotor, que para esta situação é dividido em três zonas. A chamada zona de tensão ou zona de hélice inicia-se na extremidade até um ponto que cubra uma coroa equivalente a 30% da área do rotor. A zona de autorrotação corresponde a 45% e a zona de perda ocupa os 25% da sua região correspondendo à área central do disco do rotor.

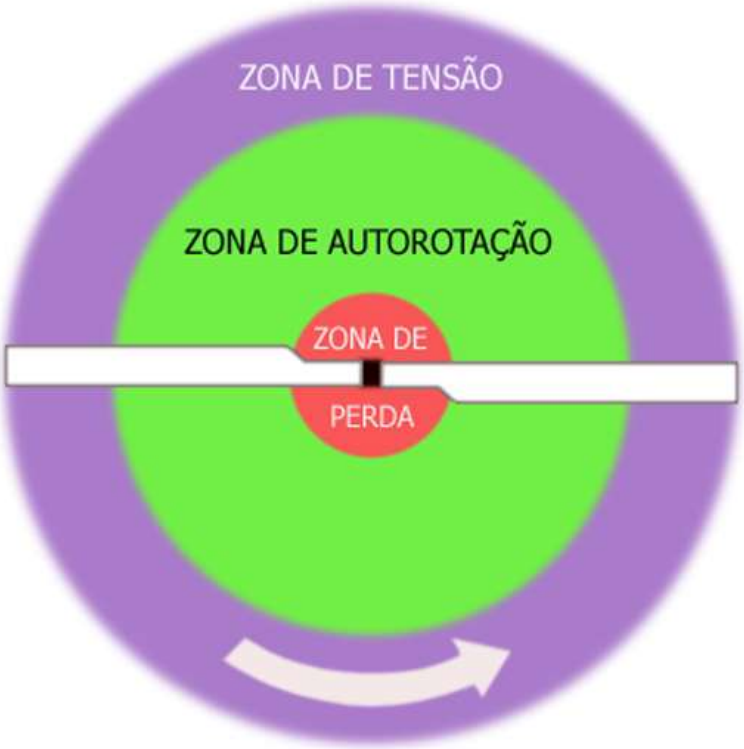


Figura 82: **Divisão do disco do rotor.**

Fonte: Adaptada de Guimaraes - scribd, 2015.

De acordo o diagrama, figura 86, a Resultante Aerodinâmica contribui para a autorrotação quando a sua direção coincide com o eixo de rotação, neste caso a partir do ponto B até o ponto D é definida a Zona de Autorrotação, isto porque nesta região praticamente não há produção de força de arrasto induzido. Mas quando esta resultante tem direção diferente a do eixo, a produção mais significativa de arrasto induzido, do ponto A até o ponto B, se encontra a Zona de Tensão. Este tipo de arrasto ocorre porque muito próximo à borda da ponta da pá, o ar deslocado para baixo tende a gerar turbulências quando vai de encontro a corrente de ar em ascensão causada pelo movimento em "queda livre" do helicóptero. A Zona de Perda ou Zona Morta, do ponto D até o ponto E, produz pouca força de sustentação, pois o valor da velocidade tangencial nesta região é baixo, e a proximidade com a ligação Cabeça do rotor (ver figura 68), que não apresenta a configuração de um perfil aerodinâmico, contribui mais para produção da força de arrasto.

A variação tangencial do vento relativo causa mudança na direção dos vetores das forças atuantes. O fluxo de ar em ascensão combina-se de tal forma a gerar diferentes configurações da ação da Resultante Aerodinâmica ao longo da Pá, ver figura 86.

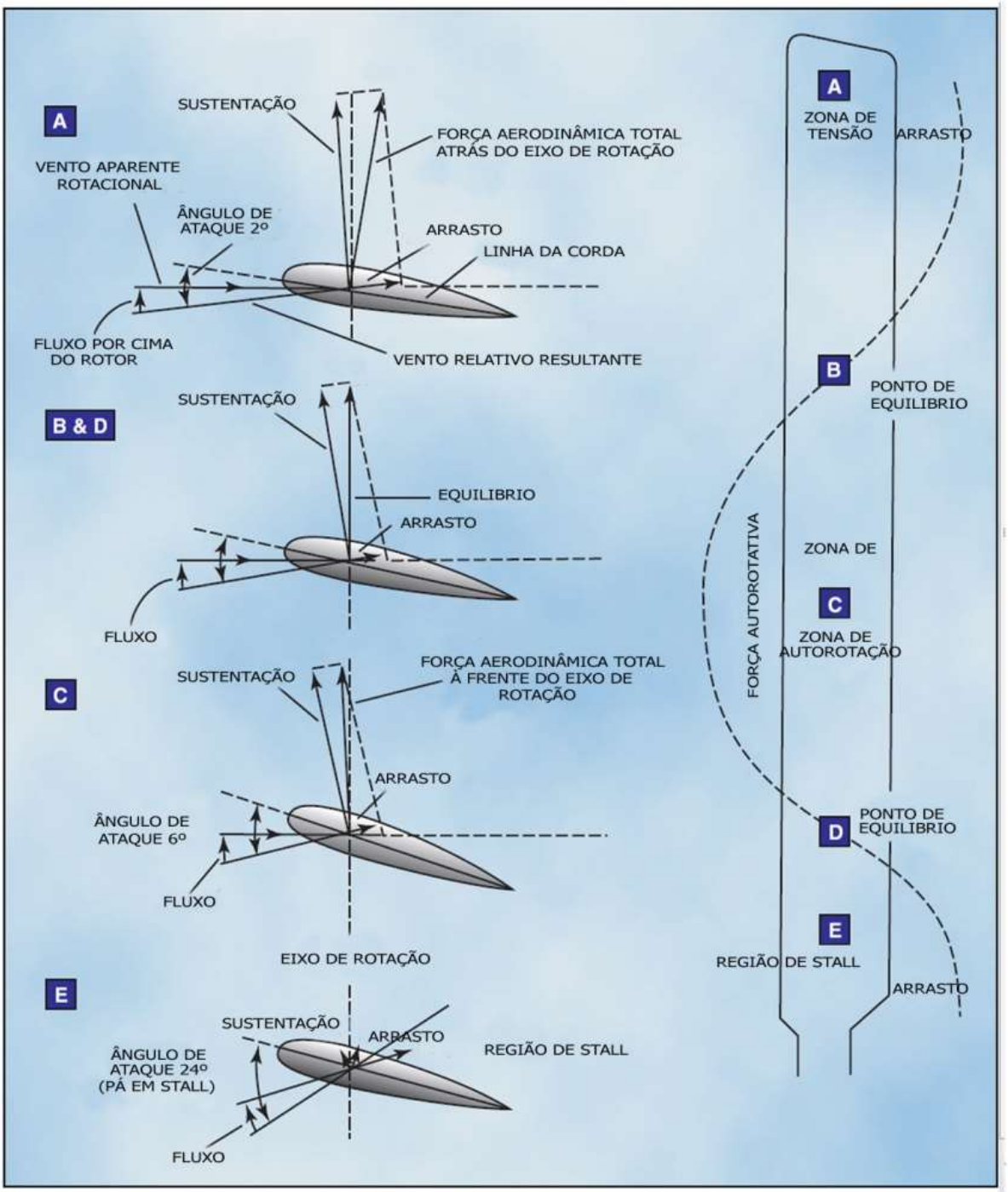


Figura 83: **Divisão do disco do rotor.**

Fonte :Adaptada de ROTORCRAFT FLYNG HANDBOOK, 2000.

2.3.1) Autorrotação em voo horizontal

Na autorrotação em voo horizontal os fenômenos aerodinâmicos são gerados da mesma forma que o da autorrotação vertical, porém o fluxo de ar que passa através do disco do rotor, figura 87, modifica a geometria das zonas de tensão, autorrotação e perda, figura 88. Acontece um estreitamento destas regiões onde a ação do vento relativo é menor. Este fenômeno ocorre porque a pá que avança vai de encontro ao fluxo de ar e, portanto há uma 'adição' da velocidade do fluxo de ar à velocidade da pá que avança e, portanto uma maior interação.

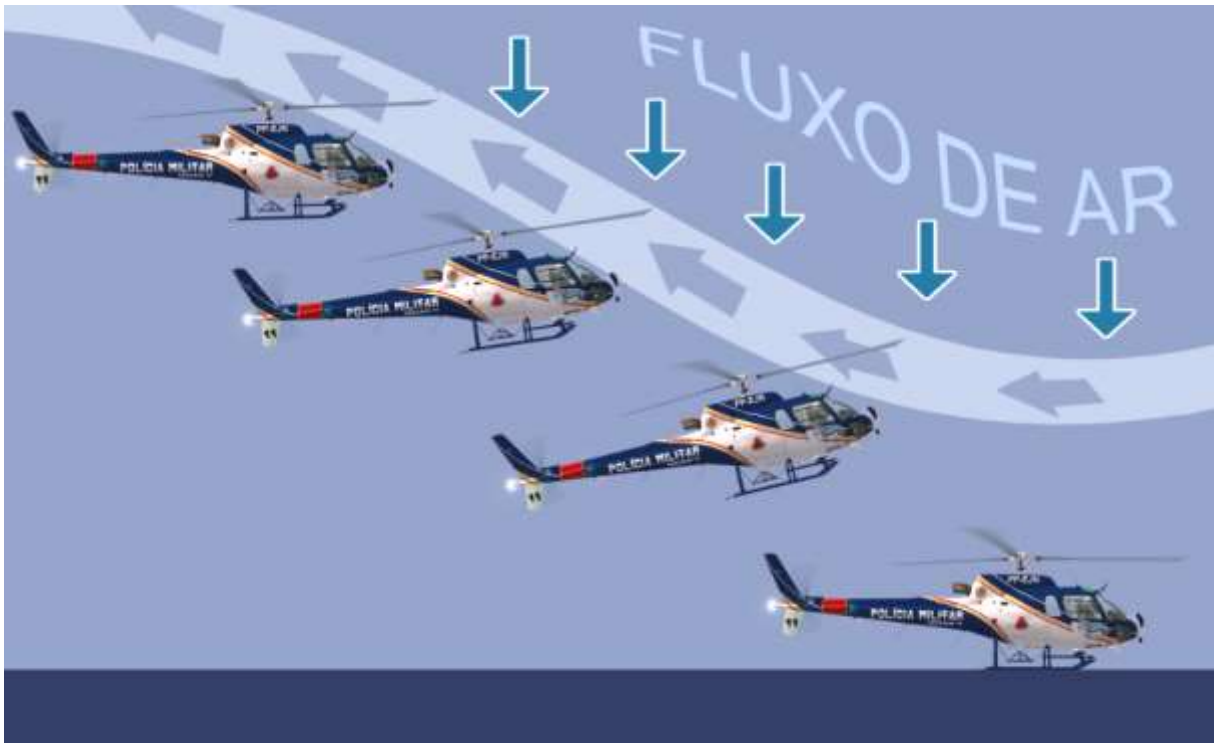


Figura 84: **Fluxo de ar atuando em uma autorrotação em voo horizontal.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

Figura 85: Alteração geométrica das zonas do disco do rotor.

Fonte: Guimaraes - scribd, 2015.

Existem outros detalhes para efetuar o pouso em autorrotação que são endereçados mais aos pilotos e logo não serão discutidos neste trabalho. Sugere-se ler o artigo de Rodrigues (2006).

2.4) O fenômeno do Batimento

Durante o giro do rotor quando o helicóptero está em movimento horizontal, a corrente de ar que vai de encontro às suas pás tem uma interferência direta na magnitude da força de sustentação gerada em seus perfis aerodinâmicos. Ao voar horizontalmente, a pá que avança desenvolve mais força de sustentação porque recebe a corrente de ar em sentido contrário ao seu movimento, ou seja, com um vento relativo de maior módulo em relação à pá que recua. A força de sustentação é maior então na pá que avança e por isso provoca um arqueamento na sua geometria. Na figura 89 simulam-se as três situações de arqueamento da pá, apenas para a visualização do efeito. A pá que é flexível, quando o helicóptero está pousado fica envergada para baixo. Assim que o rotor é acionado, toda sua extensão tende a ficar paralela ao solo devido às ações centrífugas e de torção das pás. Por último quando em voo horizontal a pá que avança tende a estar arqueada para cima, porém o mecanismo de

batimento impede este arqueamento. O Batimento foi um mecanismo criado por Igor Sikorski para evitar a queda do helicóptero durante o movimento horizontal. A estrutura de batimento de cada sistema de rotor depende do modelo e do fabricante do helicóptero. Vamos explicar o mecanismo de batimento do modelo de helicóptero usado na oficina.

Figura 86: **Arqueamento da pá.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

Para atenuar o arqueamento durante o voo, que é indesejado, no modelo AS 350 B-2 Esquilo, é utilizado como recurso a adição de um dispositivo na cabeça do rotor, a STARFLEX, figura 90.

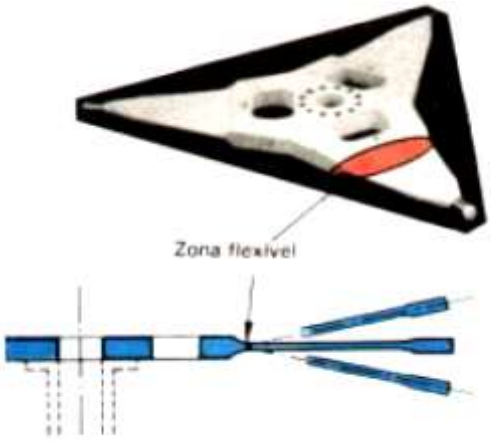


Figura 87: **STARFLEX.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

O componente fundamental do rotor é a estrela (STAR), que é constituída de três braços flexíveis em batimento (FLEX). O propósito da STARFLEX é estabelecer uma conexão entre as pás e os seus braços que através de um punho rígido garante sem deslizamentos as funções de: Batimento, Força de Arrasto e Variação de passo, figura 91.

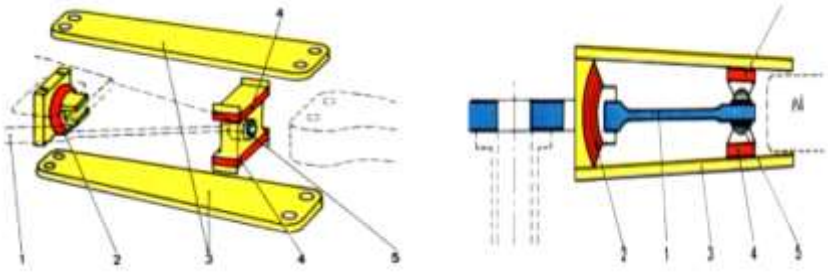


Figura 88: **Conjunto de elementos de junção da com a STARFLEX.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

O punho transfere também os esforços gerados pela força centrífuga proveniente da pá à zona central não flexível da estrela. Para isto entre o punho (3) e o braço da estrela (1), existem as seguintes ligações flexíveis: um mancal esférico laminado, (2) que é uma espécie de "sanduíche de conchas" finas sucessivas de aço e (4) duas solas de elastômero (trata-se de um alto polímero que apresenta propriedades elásticas e que pode servir de borracha artificial). Segundo o manual do AS 350B-2 Esquilo pode-se definir os elementos de acordo com suas aplicações da seguinte maneira:

(1) Braço da estrela: é feito em laminado de fibra-de-vidro-resina, moldado e polimerizado a quente. (2) Mancal esférico laminado: flexível em torção, batimento e arrasto, é um dispositivo rígido em compressão. É a "alma" da cabeça, pois todos os movimentos e esforços passam por ele. (3) Punhos: fibra-de-vidro e resina em "roving" bobinado, ou seja, que permite os movimentos. (4) Solas de elastômero deformando-se em cisalhamento (rigidez e amortecimento em arrasto). (5) Rótula autolubrificante: centraliza o punho na extremidade do braço da estrela.

A ação destes dispositivos permite que a pá 'bata' para cima sem sofrer uma deformação significativa na sua geometria, ou seja, praticamente sem arqueamento, como podemos ver na figura 92. Este fenômeno é conhecido como Batimento.

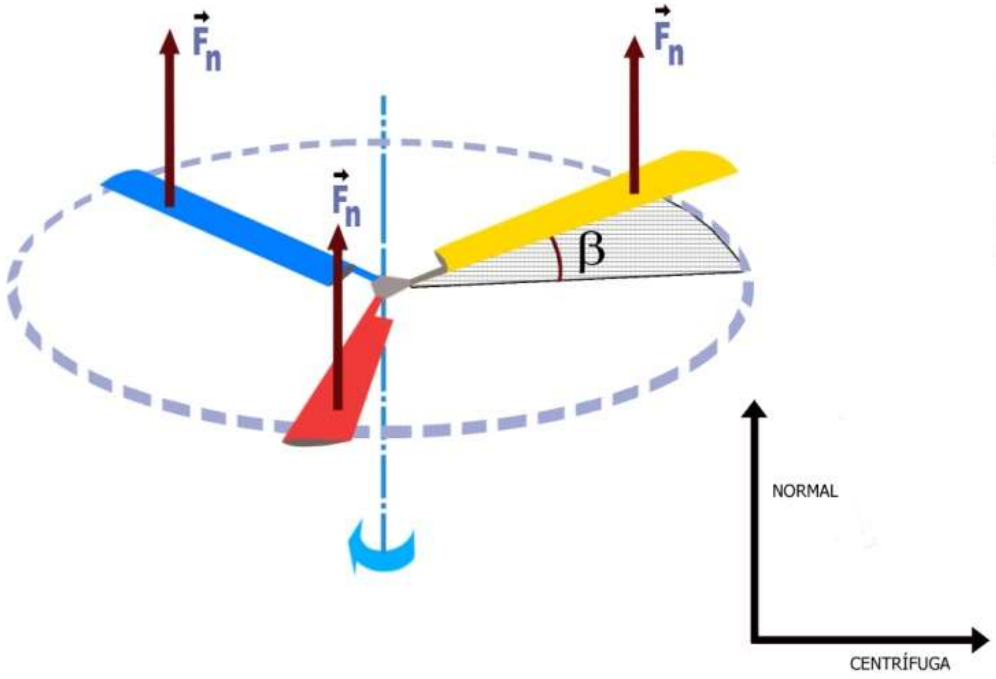


Figura 89: **Força Normal (sustentação) e o batimento da pá.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

Durante o batimento uma força centrífuga é gerada, cuja tendência é "arrancar" a pá do eixo do rotor. Um paralelo para se entender melhor o porquê do aparecimento desta força, propomos um experimento simples da seguinte forma: imagine que você tenha em mãos uma régua de plástico de $30cm$. Segurando-se as suas extremidades usando apenas os dedos polegar e indicador de cada uma das mãos deixando-a paralelamente a horizontal, mantenha a mão esquerda na posição original e arqueie a ponta da outra extremidade com a mão direita. Você verificará que a régua tenderá a se desprender da mão esquerda na direção da linha da régua. O arqueamento da pá gerado pela ação aerodinâmica 'puxa' a pá, de modo similar ao do experimento proposto, para fora do eixo do rotor. Quando a pá do rotor se move, mesmo que não haja um arqueamento, a mudança de posição (o batimento para cima) também gera ação centrífuga.

Caso a componente centrífuga permaneça constante, o ângulo de batimento irá depender do valor da força de sustentação gerada pela pá do rotor. Este movimento acaba por diminuir o ângulo de ataque da pá em relação à corrente de ar que se aproxima a tal ponto de produzir um equilíbrio com a força de sustentação gerada pela pá que recua. Um mecanismo

fantástico. O rotor de cauda também experimenta o fenômeno do Batimento, porém a solução é diferente em comparação a do rotor principal, ver figura 93.

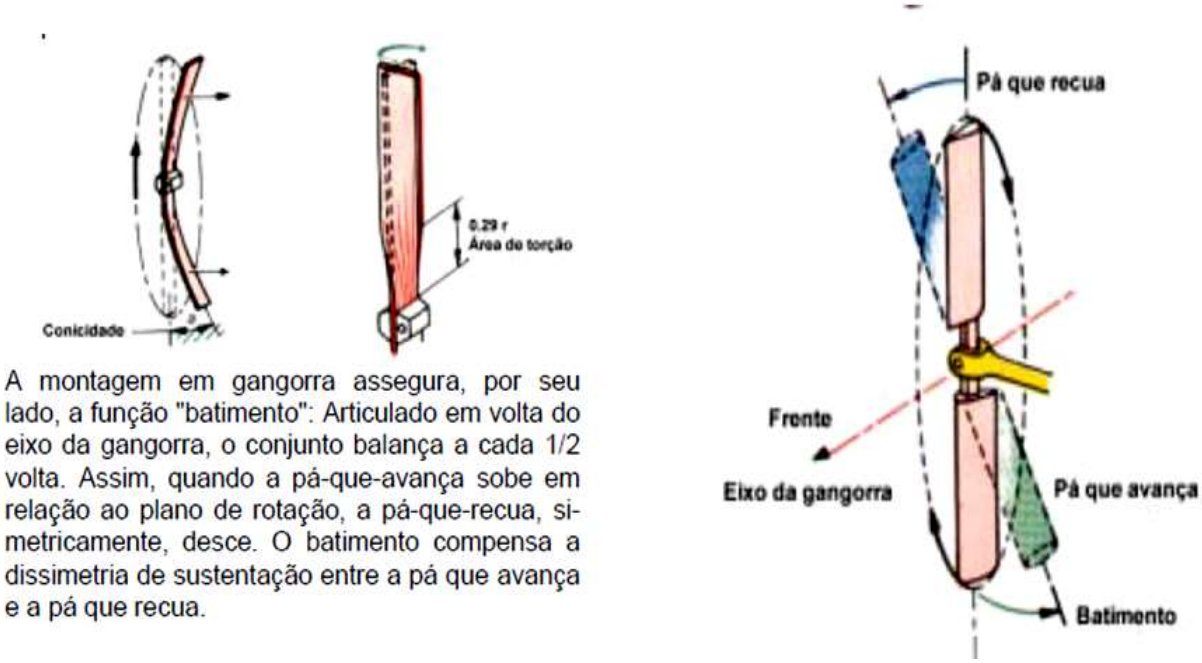


Figura 90: **Batimento do rotor de cauda.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

2.5) Ressonâncias

A Ressonância é um fenômeno vibratório que se apresenta quando uma fonte excitadora transmite energia em um valor muito próximo ou igual ao valor da frequência natural de vibração de um sistema. Estes fenômenos ocorrem em vários tipos de máquinas e em sua maioria são indesejados, por isso são estudadas diversas formas de atenuar seus efeitos.

2.5.1) Ressonância no Solo e a função dos Amortecedores

Quando o helicóptero entra em regime de funcionamento, seus dispositivos como os rotores, o motor e as transmissões cedem energia de vibração a sua estrutura. Os componentes

de sua estrutura possuem uma frequência natural de vibração que depende da massa e rigidez de cada um deles. Se caso estas frequências forem atingidas, produz-se complexas oscilações que vão elevar ou reduzir o patamar vibratório de todo seu corpo. Durante o voo, geralmente o nível oscilatório tende a ser estável, uma vez que a energia dessas oscilações é absorvida pelo ar circundante. Contudo, em contato com o solo, um helicóptero cujo rotor estiver acionado, transmite essas vibrações para o trem de pouso, que literalmente é um ponto de apoio. Caso essas oscilações coincidam com a frequência natural do trem de pouso, o sistema entrará em ressonância e a amplitude vibratória aumentará rapidamente. Neste caso estas oscilações em amplitude aumentada podem provocar o capotamento ou mesmo a destruição da aeronave. Este fenômeno é chamado de Ressonância no Solo. Veja o resultado deste fenômeno na figura 94.

Figura 91: **Helicóptero do corpo de Bombeiros de Belém destruído pelo fenômeno de Ressonância no Solo.**

Fonte: http://www.pilotopolicial.com.br, 2014.

Dispositivos absorvedores (amortecedores) são instalados no Esqui do trem de pouso a fim de alterar a sua rigidez e impedir que ocorra ressonância no solo. O prolongamento feito por uma lâmina de aço flexível permite que a parte traseira também tenha sua rigidez alterada. Além disso, estes dispositivos servem para absorver o impacto durante o pouso. Na figura 94, um helicóptero do corpo de Bombeiros de Belém do Pará durante uma decolagem, experimentou o fenômeno de ressonância no solo o que provocou a ruptura da cauda e da cabine de comando. Felizmente nenhuns dos ocupantes saíram feridos. Na figura 95 é mostrado o esquema dos amortecedores instalados no trem de pouso de um helicóptero. A lâmina é destacada em negrito na ponta do Esqui.

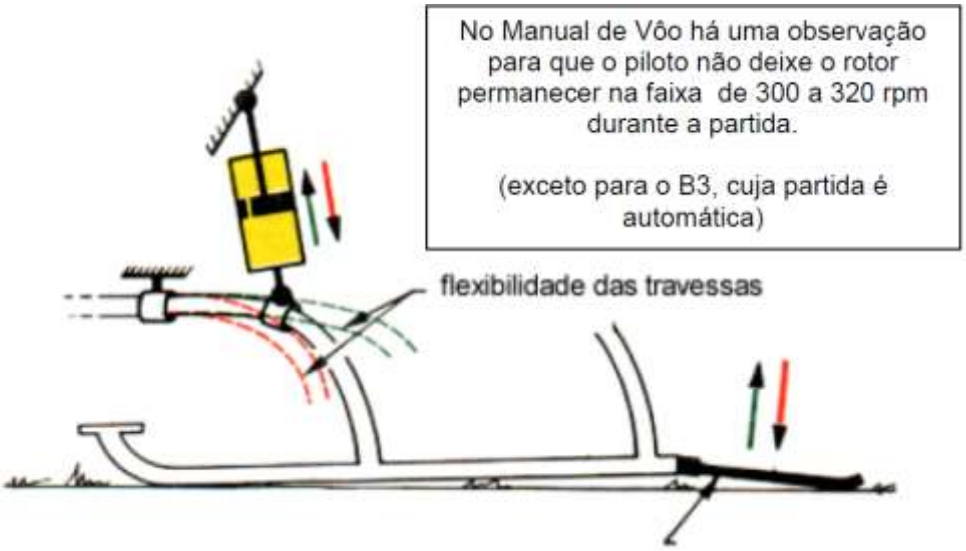


Figura 92: **O Trem de Pouso e seus dispositivos absorvedores.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

2.5.2) Dispositivos Ressoadores

O Batimento e o Arrasto são responsáveis por submeter as pás do rotor a aplicarem momentos de flexão e torção ao seu eixo central (mastro do rotor) de maneira periódica. No modelo do helicóptero "AS-350 B2 Esquilo" os esforços possuem uma frequência angular de 3ω, onde ω é a frequência angular de giro do disco do rotor em rd/s (radianos por segundo) e o fator 3, figura 93, é devido a quantidade de pás do rotor. As vibrações verticais e horizontais produzidas pelos movimentos das pás são transmitidas a partir do mastro para toda sua estrutura. Essas vibrações sempre acontecerão, pois são geradas a partir do princípio fundamental deste tipo de rotor. Contudo, elas comprometem a confortabilidade da pilotagem do helicóptero e, portanto precisam ser atenuadas. Os dispositivos desenvolvidos para esta tarefa são baseados no princípio de um Ressoador. Este princípio se baseia primeiramente através da análise do comportamento dinâmico de um sistema massa-mola acoplado ao rotor. Quando o rotor entra em operação, é transmitida ao sistema massa-mola a ação de uma força excitadora F_0, cuja frequência de excitação é 3ω. Designamos por M, a massa medida em kg (quilogramas) e por K a sua rigidez em N/m (Newton por metro), cuja relação é dada por:

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}}$$

Quando o sistema recebe a ação da força excitadora F_0 com frequência angular de 3ω, a reação da massa M transmitida pela mola é designada pela força F_1 , como podemos ver na figura 96. A frequência de resposta do sistema massa-mola dependerá das características (valores) do par M e K de forma que se pode ter uma atenuação ou aumento das vibrações dependendo de quão próximo esteja a frequência natural do sistema massa-mola da frequência da fonte excitadora.

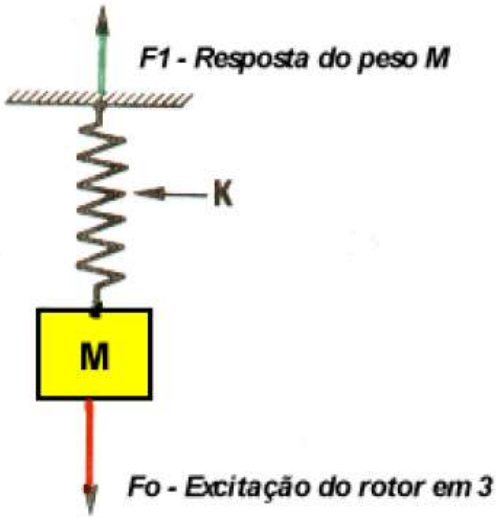


Figura 93: **Sistema massa-mola acoplado ao rotor.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

Se acoplarmos ao sistema massa-mola uma nova massa m, tal que $m < M$, por uma mola de rigidez k, a condição de vibração sofrerá mudanças. Veja a figura 94.

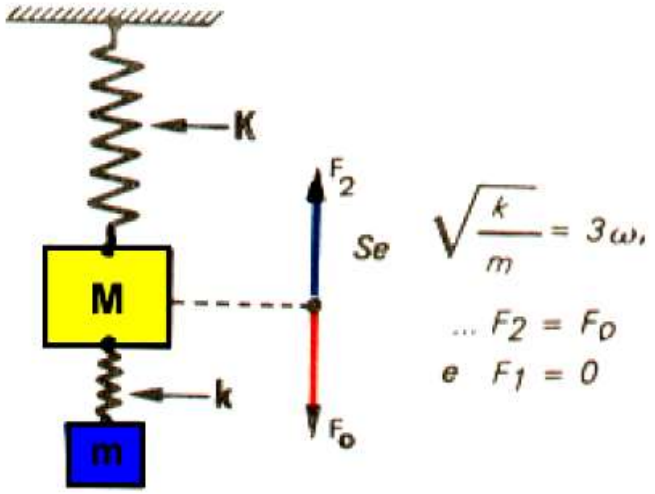


Figura 94: **Sistema massa-mola com uma nova massa e mola acopladas.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

O par m e k é o Ressoador deste sistema. Pela 3ª lei de Newton a massa m será submetida a uma força de igual intensidade a da fonte excitadora F_0 e consequentemente aplicará através da mola de constante k uma força F_2 sobre a massa M, que provocará uma redução na amplitude de oscilação ou mesmo anulação desta, caso a frequência natural seja igual a 3ω que é a frequência da fonte excitadora. A relação de calibragem do sistema ressoador deve obedecer à seguinte condição para que a massa M deixe de vibrar:

$$3\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}\,.$$

Os principais alvos para aplicações de ressoadores são a cabine e o rotor do helicóptero, porque é praticamente impossível eliminar todas as vibrações do corpo da máquina. Logo o modelo "AS-350 B2 Esquilo" possui um ressoador acoplado ao assento do piloto e copiloto, cujo objetivo é anular o máximo possível à vibração naquele local. O outro é acoplado à cabeça do rotor para redução na fonte direta das vibrações. As figuras 98 e 99 explicam como o sistema é acoplado ao helicóptero:

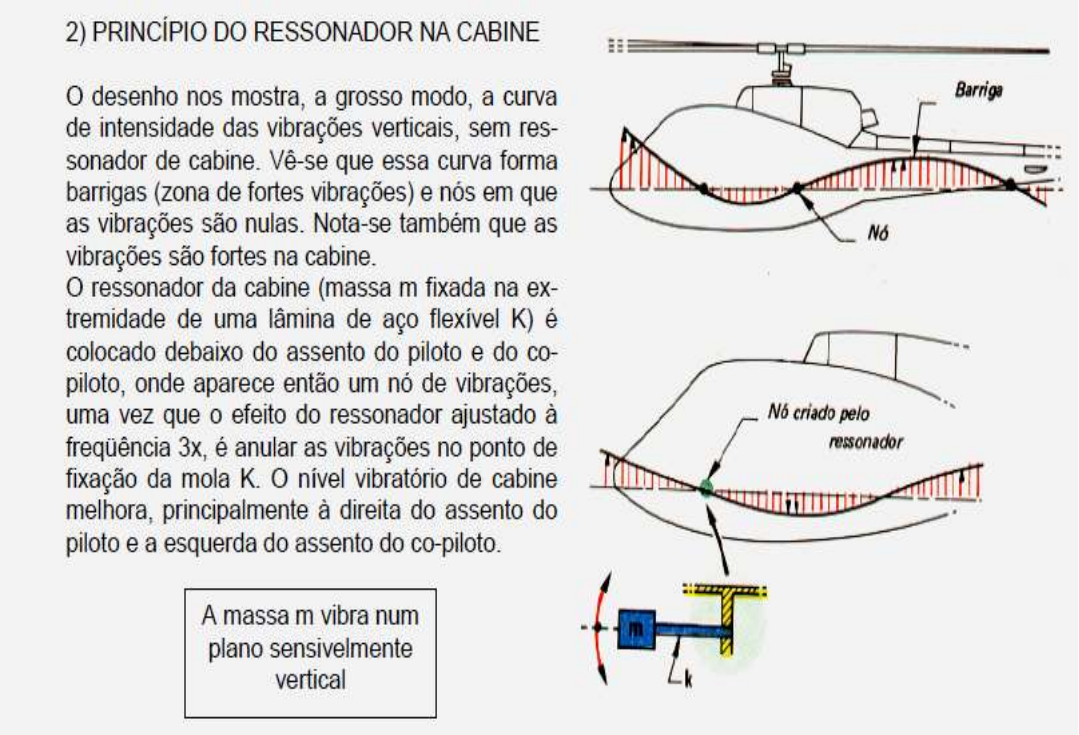


Figura 95: **Sistema ressoador acoplado aos assentos dos pilotos.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

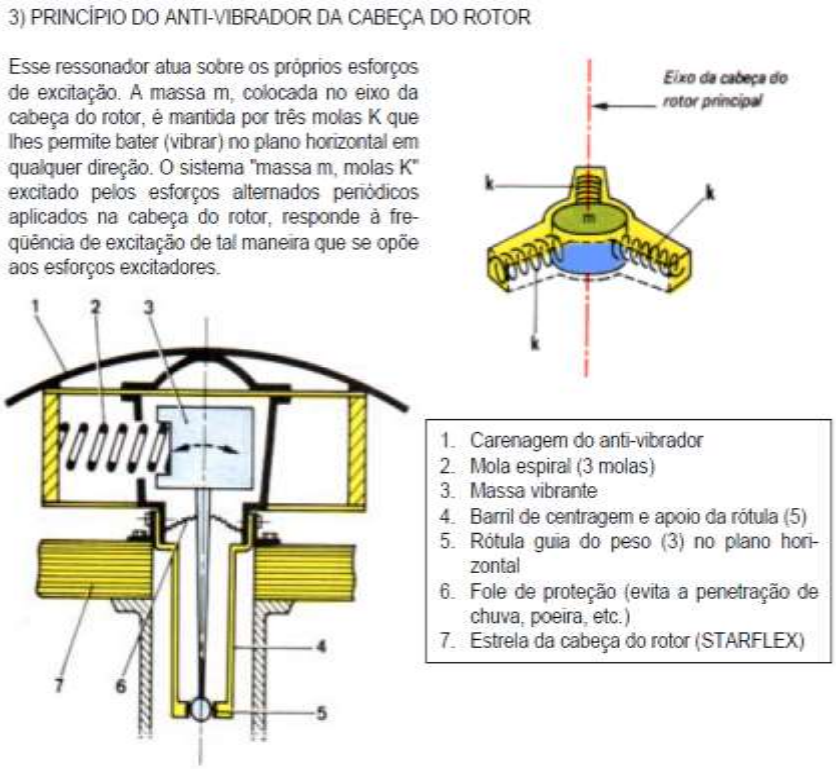


Figura 96: **Sistema ressoador acoplado ao rotor.**

Fonte: Manual do AS-350 B2, 2014.

2.6) Uma análise da função do rotor anti-torque.

O rotor anti-torque, rotor de cauda ou traseiro é um dispositivo destinado a impedir o "giro" do corpo da aeronave devido ao torque de reação do rotor principal C_R (2). A figura 100 ilustra a situação.

Figura 97: **Ações de torque dos rotores.**

Fonte, Arquivo pessoal do autor, 2014.

O C_R é determinado pela derivada do momento angular do rotor principal, ou seja,

$$C_R = \frac{dl}{dt}\,[Nm],$$

O vetor momento angular é perpendicular ao disco do rotor, e seu módulo é dado por

$$l = I_{total} \times w = mL^2 \times w$$

Logo

$$l = 636{,}265 \times (2\pi \times 386/60) = 636{,}265 \times 40{,}421 = 25719{,}000\, kg.m^2/s$$

Para um sistema isolado, a quantidade de momento angular deve se conservar, por isso é condição que o rotor anti-torque deva produzir um momento angular de mesmo módulo que o do rotor principal para que se alcance o equilíbrio da ação do C_R.

O rotor anti-torque é um perfil aerodinâmico semelhante às pás do rotor principal, figura 101, ou seja, também produz forças de modo similar às forças de Arrasto e Sustentação. A força de 'sustentação' por ele produzida, tem direção perpendicular à cauda e é denominada Empuxo (T_Y).

Figura 98: Vista de um rotor traseiro. Também é possível perceber a curvatura do perfil aerodinâmico.

Fonte: Arquivo do 3ª CoRpAer, 2014.

O conjunto rotor principal e rotor de cauda constituem um binário. Quando rotor principal é acionado, o torque produzido pelo motor através da árvore de transmissão ao mastro do rotor provoca o torque de reação (C_R) e a sua ação tende a fazer o corpo do helicóptero girar em sentido contrário ao das pás do rotor. O rotor de cauda torna possível o controle sistemático da tendência de giro do corpo do helicóptero ao se variar o módulo do empuxo produzido pelo seu perfil aerodinâmico, figura 99. A condição de torque $M(3)$ da força de empuxo do rotor de cauda é dada por:

$$M = L \times T_Y[Nm],$$

onde L é o comprimento a partir do centro do rotor principal ao centro do rotor de cauda medido em m . T_Y é a força de empuxo gerada pelo rotor de cauda em N.

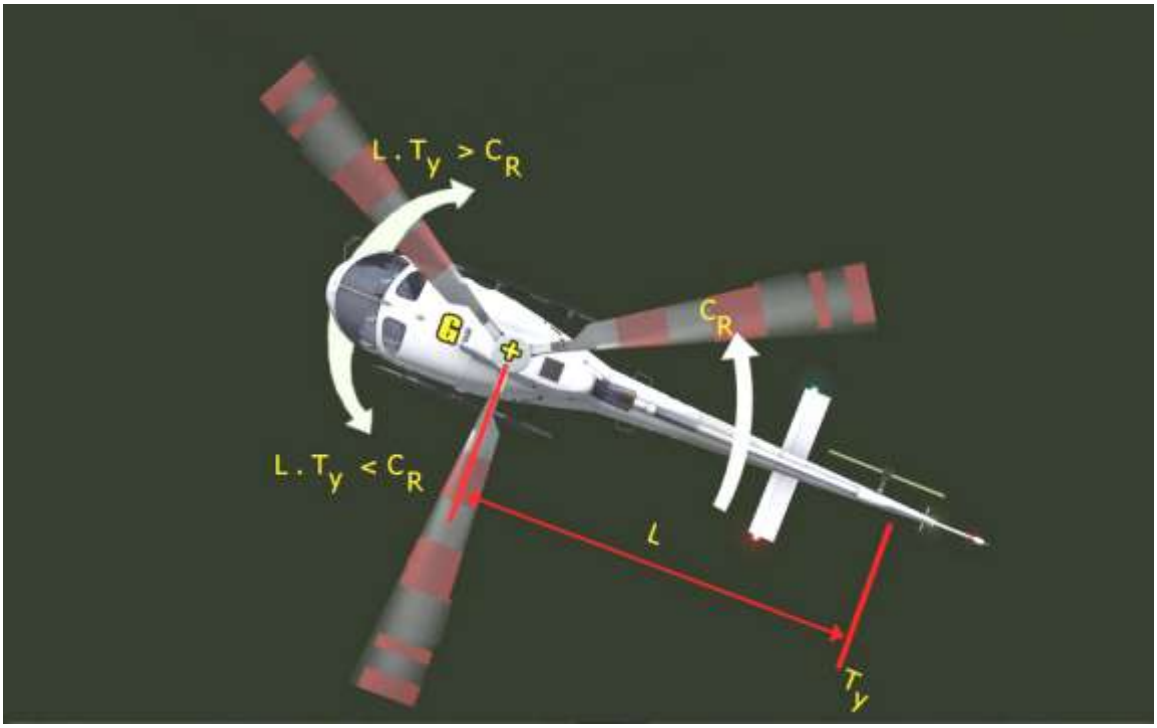


Figura 99: **Condições das forças de torque rotacional.**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2014.

As condições de ação da somatória dos torques são dadas a seguir:

a) $L \times T_Y = C_R$, a soma dos torques é nula e aeronave encontra-se em equilíbrio sem tendência de giro da fuselagem.

b) $L \times T_Y > C_R$, o torque do rotor de cauda é maior que o do torque de reação, logo a tendência de giro da fuselagem da aeronave é da esquerda para direita (sentido horário).

c) $L \times T_Y < C_R$, o momento do rotor de cauda é menor que o torque de reação, logo a tendência de giro da fuselagem da aeronave é da direita para a esquerda (sentido anti-horário).

Limitamos aqui a descrever alguns fenômenos físicos associados à máquina apenas no aspecto da Mecânica e Física Ondulatória. Contudo podem-se explorar fenômenos que envolvam Termofísica para explicar o motor, por exemplo, ou Eletricidade para explicar os seus diversos sistemas elétricos. Estes assuntos poderão ser tratados em um futuro trabalho.

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

MESTRADO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO - FÍSICA

QUESTIONÁRIO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

1) *Porque a maioria das aves consegue voar?*

_____

_____

_____

_____

_____

2) *Qual a diferença entre o voo de um avião e de um helicóptero?*

_____

_____

_____

_____

_____

3) *Porque o avião não pode pairar como os helicópteros?*

_____

_____

_____

_____

4) *Para que serve o rotor de cauda dos helicópteros (hélice traseira)?*

_____

_____

_____

_____

_____

5) *Porque o helicóptero consegue ir para frente, para trás e para os lados em um curto espaço e o avião não?*

_____

_____

_____

_____

_____

APÊNDICE D - MODELOS DOS CERTIFICADOS

Figura 100: **Certificado dado a Direção e a Professores.**

Fonte: Arquivo Pessoal, 2014.

POLÍCIA MILITAR DE MINAS GERAIS

CERTIFICADO

"Você pode sonhar, projetar, criar e construir o lugar mais maravilhoso do mundo, mas é preciso pessoas para tornar o sonho realidade".

(Walt Disney)

A Terceira Companhia de Radiopatrulhamento Aéreo ministrou palestra com o tema "O helicóptero e a 3ª Lei de Newton", aos alunos do ensino médio da Escola Estadual Coronel Francisco Ribeiro, situada na cidade de Coração de Jesus/MG, em data de 11 de abril de 2014.

Visando estimular o conhecimento científico e as relações de Polícia Comunitária entre a Corporação e os cidadãos, instituiu um concurso de redação sobre a interpretação da física aplicada em aeronaves de asas rotativas, certificando, em __ lugar, a aluna:

1º Lugar

Letícia Gabrielle Carvalho Fernandes - 3º Ano

Montes Claros/MG, ___/___/2014

Osvaldo de Souza Marques, Major PM

Comandante da 3ª Companhia de Radiopatrulhamento Aéreo

Figura 101: **Modelo de Certificado dado aos alunos.**

Fonte: Arquivo Pessoal, 2014.