

**SISTEMATIZAÇÃO DE CONHECIMENTO
PARA O PROJETO DE MOTOR A ETANOL
PARA AERONAVE AGRÍCOLA**

Roberto Begnis Hausen

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SISTEMATIZAÇÃO DE CONHECIMENTO
PARA O PROJETO DE MOTOR A ETANOL
PARA AERONAVE AGRÍCOLA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Roberto Begnis Hausen

Santa Maria, RS, Brasil

2011

SISTEMATIZAÇÃO DE CONHECIMENTO PARA O PROJETO DE MOTOR A ETANOL PARA AERONAVE AGRÍCOLA

Roberto Begnis Hausen

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Mecanização Agrícola, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Leonardo Nabaes Romano, Dr. Eng. Mec.

Co-orientador: Prof. Mario Eduardo Santos Martins, Ph.D.

Santa Maria, RS, Brasil

2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Hausen, Roberto Begnis, 1973-

Sistematização de conhecimento para o projeto de motor a etanol para aeronave agrícola / Roberto Begnis Hausen. – 2011.

169p.: il.color. ; 30cm

Orientador: Leonardo Nabaes Romano.

Co-orientador: Mario Eduardo Santos Martins

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2011.

1. Etanol. 2. Projeto de engenharia. 3. Aeronave agrícola. 4. Motor aeronáutico.

© 2011

Todos os direitos autorais reservados a Roberto Begnis Hausen. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Tuiuti, 2499, Bairro Centro, Santa Maria, RS, CEP 97050-421

Fone (055) 3028 9404, E-mail: rbhausen@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**SISTEMATIZAÇÃO DE CONHECIMENTO PARA O PROJETO DE
MOTOR A ETANOL PARA AERONAVE AGRÍCOLA**

elaborada por

Roberto Begnis Hausen

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

Leonardo Nabaes Romano, Dr. Eng. Mec.
(Presidente/Orientador)

José Fernando Schlosser, Dr. (UFSM)

Paulo Romeu Moreira Machado, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 15 de setembro de 2011.

Este trabalho é dedicado a todos os pilotos agrícolas e utilizo um texto de Ajax A. Mendes Corrêa para traduzir o que são e representam estes profissionais que, muitas vezes, anonimamente fazem grande diferença na produção agrícola Brasileira e auxiliam o desenvolvimento do país: “Sozinho, quase sempre na cabine do avião, ele é, ao mesmo tempo, comandante, co-piloto, navegador, artilheiro, municionador, meteorologista e mecânico, enfim, o que se pode chamar o homem dos sete instrumentos, obrigado a uma operação perfeita, sem excessos ou carências que, nos lançamentos, não são tolerados... A atividade, plena de riscos e emoções, é um desafio constante onde um piloto, altamente qualificado e possuidor de um perfil diferenciado, precisa gostar muito do que faz, amar sua profissão, sabendo que não lhe é permitido falhar, pois neste tipo de vôo não existe espaço para amadores.

(Ajax Augusto Mendes Corrêa – Coordenadoria Técnica Operacional de Aviação Agrícola e incêndios Florestais – DAC - 2004)

Agradeço aos meus Pais, Icléa Maria Begnis Hausen e Roberto Hausen, pela criação que tive, orientação e formação tão digna e honesta, pelo exemplo de seres humanos que são e pelo apoio e incentivo. Ao meu pai, como pai e piloto, pelos momentos de reflexão sobre o assunto e pela trocas de idéias tão valiosa, à minha mãe pelo grande e incondicional amor e carinho. Minha irmã, Thays, amiga e colega de profissão, pessoa sensível, honesta e dedicada.

À minha esposa, Tatiana Gaiger Biazús pelo companheirismo, paciência, amizade, apoio e incentivo sempre. Que possamos desfrutar ainda muitos momentos juntos, dividindo amor e responsabilidade tão sabiamente como foi até o agora.

Ao meu amigo Leonardo Kaczmarck, piloto agrícola, grande incentivador e quem deu fundamental contribuição para a realização deste trabalho.

Aos meus orientadores: Prof. Dr. Leonardo Nabaes Romano, Prof. Dr. José Fernando Schlosser e Prof. Dr. Mário Eduardo Santos Martins, por acreditar no trabalho e apoiar a realização da pesquisa. Obrigado pelas orientações e direcionamentos, pela paciência, amizade e compreensão.

Aos bolsistas de iniciação científica Adriano Pacheco Meurer e Lucas Silveira dos Santos que auxiliaram no trabalho.

Aos meus colegas de laboratório, André Bisognin, André Bender, Ailton Trindade Junior e, especialmente, ao Diego Augusto Fiorese, pelo companheirismo, troca de informações, auxílio e amizade. Ao Hendrigo Torschelssen, que está num patamar superior ao nosso, meu reconhecimento e agradecimento pelo companheirismo, esteja em paz.

À OMAER – Oficina de Manutenção de Aeronaves, na figura de seus diretores Sr Mario Rodolfo Textor e Sr. Luiz Carlos Pase, obrigado pelo apoio e suporte com informações valiosas ao trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Centro de Ciências Rurais - CCR, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola – PPGEA, Laboratório de Projetos de Sistema Técnicos – LPST pelo apoio e disponibilização de suas estruturas para a realização deste trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro ao projeto, sustentando os estudos e apoiando a participação em eventos e congressos de maneira a divulgar e promover o trabalho.

Santos Dumont deu os primeiros passos, virão, depois, os outros. Não há horizonte fechado à ambição humana. Daqui a pouco o homem não se contentará em pairar perto da Terra: quererá desaparecer na vastidão gloriosa, quererá chegar ao limite da atmosfera. Depois, dispensará o ar, atravessará o vácuo, visitará o satélite e os planetas, roçará o sol com as asas e, farto de conhecer este nosso mísero sistema solar, irá estudar os outros, até chegar ao centro deles, que Flammarion dá o nome de Deus.

(Trecho de carta de Olavo Bilac para Santos Dumont)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

SISTEMATIZAÇÃO DE CONHECIMENTO PARA O PROJETO O PROJETO DE MOTOR A ETANOL PARA AERONAVE AGRÍCOLA

AUTOR: ROBERTO BEGNIS HAUSEN

ORIENTADOR: PROF. LEONARDO NABAES ROMANO, DR. ENG. MEC.

Santa Maria, 15 de setembro de 2010.

No Brasil, hoje, há uma frota aproximada de 1500 aeronaves agrícolas efetuando operações diversas. A aplicação aérea de defensivos nas culturas agrícolas tem sido crescente nos últimos anos, gerando uma necessidade maior de aeronaves, pilotos agrícolas, peças de reposição e combustível, bem como, e principal quesito, a necessidade de redução dos custos operacionais. É neste ponto que este trabalho entra como gerador de conhecimento apresentando dados e resultados para a obtenção, no futuro, de um motor projetado para o uso de etanol equipar aeronaves de aplicação agrícola. Os custos operacionais das aeronaves agrícolas está baseado na manutenção e no combustível que ela utiliza, na grande maioria é a AvGas – gasolina de aviação. O etanol vem com grande chance de reduzir significativamente estes custos, pois seu preço é inferior ao da AvGas, podendo chegar apenas 25% do preço desta. Os motores de aeronaves que voam atualmente com etanol são conversões, o que gera alguns problemas, dentre eles o mais significativo que é o aumento de consumo de combustível. A possibilidade de redução dos custos operacionais com a utilização de combustível produzido de fonte renovável e o desafio de se ter um motor projetado especificamente para o uso de etanol como combustível é o que motiva o estudo e direciona a pesquisa. O processo de desenvolvimento do projeto de sistema técnico, como o de um motor a etanol, é complexo e exige administração dos recursos humanos e materiais, coleta de informações, pesquisa e um rígido gerenciamento de todo o processo para tal desenvolvimento. A metodologia para desenvolvimento do estudo está baseada na pesquisa exploratória de bibliografia existente acerca de desenvolvimento de produtos e sistemas técnicos, motores aeronáuticos, aviação agrícola e normas para homologação de produtos e peças aeronáuticas para aplicação em aeronaves agrícolas. As informações obtidas estão apresentadas de maneira a fornecer uma base de dados capaz de suprir a necessidade de empresas, engenheiros e projetistas num desenvolvimento futuro. Os dados compilados e organizados formam a base para a apresentação dos fatores de influência no projeto de um motor a etanol para aplicação em aeronaves agrícolas. O conhecimento sobre a frota brasileira de aeronaves e os motores utilizados fornecem informações detalhadas sobre o tamanho e capacidade de cada aeronave e suas aplicações, bem como os motores necessários em cada uma destas aeronaves e suas características técnicas e operacionais. Obtêve-se a elaboração completa de todos os fatores de influência para o projeto de um motor aeronáutico a etanol direcionado para aplicação agrícola, tais fatores de influência estão subdivididos em quatro grupos que são: Escopo do projeto, análise comparativa dos motores, características da operação e normas e homologação. Informações e dados técnicos de motores e suas características foram avaliadas e comparadas entre si, de maneira a observar a tendência de utilização de motores na faixa de 151 à 300kW, onde mais de 80% dos motores empregados estão dentro desta faixa e na grande maioria consumindo AvGas. Motores a etanol geram maior potência em detrimento de aumento de consumo, da ordem de 40%, porém, as emissões de gases tóxicos são reduzidas, o que é fator positivo no uso do etanol como combustível.

Palavras-chaves: Etanol, Projeto de engenharia, Aeronave agrícola, Motor aeronáutico

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

SYSTEMATIZATION OF KNOWLEDGE FOR THE PROJECT OF AN ETHANOL FUELED ENGINE FOR AGRICULTURAL AIRCRAFT

AUTHOR: ROBERTO BEGNIS HAUSEN

ADVISER: PROF. LEONARDO NABAES ROMANO, DR. ENG. MEC.
Santa Maria, September 15th, 2011.

Actually in Brasil there there is a fleet around 1500 agricultural aircraft working on different applications. The spray application by na airplane of crop defenses is increasing on the last years, generating a demand on spraying airplanes, pilots, spare parts for maintenance, fuel and, first of all, operational cost reduction. Base on this, the present master thesis is working as knowledge generator ans presenting results for, in the future, to project an ethanol aeronautical engine that will use on agricultural/spraying airplanes. Operational costs for agricultural airplanes is based on maintenance and in the fuel, that the major part uses aviation gasoline – AvGas as fuel. Ethanol comes with a great chance to reduces such costs, due to the price of this fuel is only around 25% of AvGas. The aeronautical engines that flies nowadays with ethanol as fuel are a conversions from AvGas engines, wich generates some problems, the main is consumption increasing. The possibility to reduces operational costs with using a fuel from renewable source and challenge to get an aeronautical engine dedicated to run with ethanol as fuel is what motivates and derecting this research. Development process of a technical system, as an ethanol engine, is complex and requires human and material resources administration, information colect, research and a strenght management of whole development process. Methodology for this work development is based on exploratory research of existing bibliography about development product process, technical systems, aeronautical engines, agricultural aviation and homologation standards for aeronautical engines and your parts and components. Information acquired are presented to provide a data base to meet the need of companies, engineers and designers on a future development. After organization and threatment the data supply the base of influence factors for a project of aeronautical ethanol engine for agricultural airplane. The knowledge about brasilian agricultural airplane fleet and engines used on such airplanes provide detailed information about size and capacity of each airplane and their applications, including information about their technical and operating characteristics. With this, was able to make entire influence factors for a project of aeronautical ethanol engine for agricultural airplane, such influence factors are divided in four groups that is: Project Scope, Benchmarking, Operating Characteristics and Standards & Homologation. Technical data and information of aeronautical engines and their characteristics was evaluated and compared to observ the tendency of engines with power in a range between 151 and 300kW, where more than 80% of those engines in whole brasilian fleet is inside of this range, the major part using AvGas as fuel. Engines running with ethanol generates more power if compared the same engine running with AvGas, for other side, there is a consumption increasing, around 40% more and the emissions are decreased, what is a positive point with ethanol use as fuel.

Key-words: Ethanol, Engineering design, Agricultural Airplane, Aeronautical engine.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura básica de uma aeronave agrícola.....	30
Figura 2 – Aeronave agrícola em manutenção. 1- Reservatório de produtos; 2- Sistema corta-fio para segurança do piloto em caso de vôos sob rede elétrica; 3-tubulação de saída do produto químico para aplicação.....	30
Figura 3 - Crescimento da frota de aeronaves agrícolas no Brasil.....	32
Figura 4 - Aeronave EMB-202A – Ipanemão a álcool.	33
Figura 5 - Aeronave EMB-202A.	33
Figura 6 - Porcentagem de aeronaves produzidas no Brasil em relação ao total de aeronaves operantes no país.	34
Figura 7 - Aeronaves agrícolas no Brasil por modelo.....	35
Figura 8 – Desenho de patente requida por Nicolaus A. Otto em 1876 e concedida em 1877.	38
Figura 9 – Aeronave Ipanema EMB202 em manutenção, detalhe do motor Lycoming de 224kW.	42
Figura 10 – Relação entre potência [kW] e rotação [RPM] de motor Lycoming operando com etanol.	46
Figura 11 – Relação entre consumo [l/h] e pressão de admissão [inHg] para motor Lycoming operando com etanol.....	47
Figura 12 – Temperatura dos gases de escape.....	47
Figura 13 – Temperatura da cabeça do cilindro.....	48
Figura 14 – Emissões de CO em relação à vazão de combustível.	49
Figura 15 - % de CO ₂ em relação a vazão de combustível.	49
Figura 16 – NOx em relação à vazão de combustível.....	49
Figura 17 – Histórico de produção de produtos combustíveis de petróleo até o ano de 2008.....	58
Figura 18 – Participação das distribuidoras de combustíveis no mercado de AvGas no Brasil.....	59
Figura 19 – Regiões de produção de cana-de-açúcar no Brasil.....	63

Figura 20 – Crescimento da quantidade de usinas de etanol no Brasil em 2008 e 2009.....	64
Figura 21 – Preço médio em R\$ de etanol por região do Brasil.....	65
Figura 22 – Representação simplificada do processo de criação de um produto industrial.	69
Figura 23 – Ciclo de vida do produto na perspectiva de mercado.....	70
Figura 24 – Impacto das fases do desenvolvimento do produto no seu custo.	71
Figura 25 – Influência sobre o custo do produto dependendo de cada área da empresa.....	72
Figura 26 – Conversão de energia, material e sinal de um sistema técnico complexo.	73
Figura 27 – Divisão do PDP em fases.....	75
Figura 28 – Interação entre áreas de conhecimento para desenvolvimento de projetos.....	77
Figura 29 – Tipologia de projeto do MR-PDMA.....	80
Figura 30 - Estrutura básica do MR-PDMA com as fases e suas respectivas saídas.	80
Figura 31 – Fases e suas respectivas saídas e seu descritivo, estrutura do MR-PDMA.	81
Figura 32 – MR-PDMA e os domínios de conhecimento envolvidos em cada fase do desenvolvimento.	84
Figura 33 – Desmembramento da macro fase de projeção.	85
Figura 34 – Desmembramento da fase de Projeção, Projeto Informacional e Projeto Conceitual.	86
Figura 35 – Estrutura parcial de decomposição do distribuidor de fertilizantes.....	88
Figura 36 – Mapeamento das áreas do conhecimento envolvidas no projeto de um motor aeronáutico a etanol para aplicação em aeronaves agrícolas.	90
Figura 37 – Configuração básica do quadro de apresentação dos fatores de influência.....	93
Figura 38 – Quantidade de aeronaves por faixa de potência definida.	99
Figura 39 – Aeronaves agrícolas e suas respectivas relações de carga / potência [kgf/kW].	101

Figura 40 – Comparativo entre quantidade de motores Lycoming e Continental em operação no Brasil.	103
Figura 41 – Motor Lycoming da série 540.	104
Figura 42 – Motor Continental da série 520.	104
Figura 43 – Motor Lycoming da série 720.	105
Figura 44 – Quantidade de motores e sua respectiva potência.	105
Figura 45 – Gráfico das pme`s dos motores avaliados.	107
Figura 46 – Relação kW/kgf dos motores na faixa de 151 à 300kW.	108
Figura 47 – Velocidade média do pistão para cada motor na faixa de potência avaliada.	109
Figura 48 – Diâmetro e curso dos motores Lycoming e Continental.	111
Figura 49 – Detalhe da hélice e suas características de velocidades.	112
Figura 50 - Estrutura de decomposição básica do motor aeronáutico a etanol.....	122
Figura 51 – Relação Potência/Peso de motores aeronáuticos.....	153
Figura 52 – Relação Potência/Cilindro de motores aeronáuticos.....	154
Figura 53 – Relação Potência/Deslocamento Volumétrico de motores aeronáuticos.	155
Figura 54 – Pressão média efetiva de motores aeronáuticos.	156
Figura 55 – MR-PDMA, macro fases e os respectivos domínios de conhecimento.	158
Figura 56 – Saídas de cada fase do MR-PDMA.....	159
Figura 57 – Mapeamento das categorias e classes de informações.....	160
Figura 58 – Informações sobre hélices utilizadas para alguns modelos de motores Lycoming utilizados nas aeronaves Ipanema 201A e 202.....	167

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais operações de aeronaves agrícolas.....	31
Quadro 2 – Dados principais das aeronaves agrícolas em operação no Brasil.	36
Quadro 3– Aeronaves em operação no Brasil, motores e potência.	43
Quadro 4- Comparativo de razões de compressão de motores de diferentes aeronaves em relação ao aumento de consumo de combustível.	51
Quadro 5 - Produção dos principais combustíveis utilizados em aviação no Brasil.....	53
Quadro 6 – Comparativo de custo operacional entre Etanol e AvGas.	66
Quadro 7 – Categorias e classes dos fatores de influência.	87
Quadro 8- Dados principais das aeronaves agrícolas em operação no Brasil.	97
Quadro 9 - Faixa de potência e quantidade de aeronaves.....	98
Quadro 10 – Aeronaves na faixa de potência entre 151 e 300kW e seus respectivos motores.....	103
Quadro 11– Diâmetro e curso dos motores na faixa de potência de 151 à 300kW.....	110
Quadro 12 – Motores aeronáuticos e hélices recomendadas.	112
Quadro 13 – Sistema de aplicação da aeronave agrícola.....	115
Quadro 14 – Processo operacional de motor a etanol para aeronave agrícola.	116
Quadro 15 – Interferências e limites para a definição do escopo do projeto de motor a etanol para aeronave agrícola.	119
Quadro 16 – Requisitos energéticos para definições do escopo do projeto de motor a etanol para aeronave agrícola.	120
Quadro 17 – Sistemas, subsistemas e suas funções.....	125
Quadro 18 – Informações sobre a tipologia de projeto de motor aeronáutico a etanol.....	127
Quadro 19 – Dimensões e características físicas dos motores encontrados no mercado.....	129
Quadro 20 – Clima e ambiente operacional de um motor aeronáutico a etanol para equipar aeronave agrícola.	131

Quadro 21 – Detalhes da operação de motor aeronáutico a etanol de aeronave agrícola.	132
Quadro 22 – Detalhes do combustível a ser utilizado no motor.	134
Quadro 23 – RBAC 01: Regras, definições, redação e unidades de medidas.	135
Quadro 24 – Normas para aprovação de projetos, instalações e processos industriais e comerciais para produtos aeronáuticos - motores.	139
Quadro 25 – Normas para ensaios, avaliação e aprovação de produtos aeronáuticos – motores.	140
Quadro 26 – Especificações técnicas de AvGas 100LL.	162
Quadro 27 – Venda de AvGas por região e Estado do Brasil.	163
Quadro 28 – Produção de etanol por região e Estado do Brasil.	164
Quadro 29 – Especificações técnicas da AvGas – Fabricante Shell Aviation.	165
Quadro 30 – Especificações do Etanol produzido no Brasil ou importado.	166

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação kgf/kW de cada aeronave em operação no Brasil.....	100
Tabela 2 – Velocidade de ponta de hélice para motores na faixa de 151 à 300kW, conforme hélice indicada pela Hartzell Prop Inc.....	113
Tabela 3 – Dados e informações sobre motores aeronáuticos.	152

LISTA DE REDUÇÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEAC	Álcool Etílico Anidro Combustível
AEHC	Álcool Etílico Hidratado Combustível
AFA	Academia da Força Aérea
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> (Sociedade Americana para Testes e Materiais)
AvGas	<i>Aviation Gasoline</i> (Gasolina de aviação)
BDC	<i>Below Dead Center</i> (Ponto Morto Inferior)
BSFC	<i>Brake Specific Fuel Consumption</i> (Consumo Específico de Combustível)
CAVAG	Curso de Aviação Agrícola
CHT	<i>Cylinder Head Temperature</i> (Temperatura da Cabeça do Cilindro)
Cils.	Cilindros
CTA	Centro Tecnológico da Aeronáutica
DOU	Diário Oficial da União
ECU	<i>Electronic Control Unit</i> (Unidade de Controle Eletrônico)
EGT	<i>Exhaust Gas Temperature</i> (Temperatura dos Gases de Exaustão)
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i> (Administração Federal de Aviação)
FAB	Força Aérea Brasileira
FAR	<i>Federal Air Regulations</i> (Regulamentações Aéreas Federais)
FISPOQ	Ficha de Informação e Segurança de Produto Químico
GAV	Gasolina de Aviação
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
IAA	Instituto do Açúcar e do Álcool
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
LCD	<i>Liquid Cristal Display</i> (Mostrador de Cristal Líquido)
LED	<i>Light Emissor Diod</i> (Diodo Emissor de Luz)
LHV	<i>Lower Heating Value</i> (Poder Calorífico Inferior)
Mep	<i>Mean Effective Pressure</i> (Pressão Média Efetiva)
MON	<i>Motor Octane Number</i> (Número de Octanas – Motor)
MR-PDMA	Modelo de Referência para Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas.
N/D	Não divulgado
NBR	Norma Brasileira
PDMA	Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas
PDP	Processo de Desenvolvimento de Projetos
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PME	Pressão média efetiva
QAV	Querosene de aviação
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
RBHA	Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica
RON	<i>Research Octane Number</i> (Número de Octanas – Teste)
RPBC	Refinaria Presidente Bernardes Cubatão
SINDAG	Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola
TBO	<i>Time Before Opening</i> (Tempo até a Manutenção – abertura do motor)
TDC	<i>Top Dead Center</i> (Ponto Morto Superior)

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A - Dados técnicos de motores aeronáuticos.....	152
Apêndice B - Relação potência /peso de motores aeronáuticos.....	153
Apêndice C - Relação potência/cilindro de motores aeronáuticos.....	154
Apêndice D - Relação potência/deslocamento volumétrico de motores aeronáuticos.....	155
Apêndice E - Pressão média efetiva de motores aeronáuticos.....	156

LISTA DE ANEXOS

Anexo A	- Fases e Domínios no MR-PDMA.....	158
Anexo B	- Saídas de cada fase do MR-PDMA.....	159
Anexo C	- Mapeamento das Categorias e Classes de Informações.....	160
Anexo D	- Especificações técnicas da AvGas.....	161
Anexo E	- Venda de AvGas por região e Estado do Brasil.....	163
Anexo F	- Produção de etanol por região e estado do Brasil.....	164
Anexo G	- Especificações técnicas da AvGas – SHELL Aviation.....	165
Anexo H	- Especificações técnicas do Etanol.....	166
Anexo I	- Informações de hélices marca Hartzell para Embraer/Neiva Ipanema 201A / 202.....	167

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	21
INTRODUÇÃO	21
CAPÍTULO 2	25
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1. AVIAÇÃO AGRÍCOLA	26
2.1.1. Aeronave agrícola	28
2.1.2. Aeronaves Agrícolas no Brasil.....	31
2.2. MOTORES AERONÁUTICOS	37
2.2.1. Motores de combustão interna	37
2.2.2. Motores aeronáuticos para aviação agrícola.....	41
2.3. DADOS DE MOTORES AERONÁUTICOS OPERANDO COM ETANOL	45
2.4. NORMAS PARA HOMOLOGAÇÃO DE AERONAVES E MOTORES AERONÁUTICOS NO BRASIL	51
2.5. COMBUSTÍVEIS	53
2.5.1. Gasolina de aviação	54
2.5.2. Etanol	59
2.5.2.1. Produção do etanol no Brasil.....	62
2.5.2.2. Propriedades do etanol.....	64
2.5.2.3. Etanol x AvGas – um comparativo financeiro-operacional	66
2.6. PROJETO DE PRODUTO	67
2.6.1. Processo de desenvolvimento de produto.....	67
2.6.2. O Processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas	77
2.6.2.1. Os domínios de conhecimento	82
2.6.2.2. Os fatores de influência	84
2.6.3. Domínios de conhecimento no desenvolvimento do projeto de motores aeronáuticos para aviação agrícola.....	89
CAPÍTULO 3	91

METODOLOGIA	91
3.1. DELINEAMENTO DA PESQUISA	91
3.2. PESQUISA EXPLORATÓRIA	91
3.3. METODOLOGIA	92
CAPÍTULO 4	96
RESULTADOS E DISCUSSÃO	96
4.1. CARACTERÍSTICAS DAS AERONAVES AGRÍCOLAS NO BRASIL	96
4.2. DADOS SOBRE MOTORES QUE EQUIPAM AS AERONAVES EM OPERAÇÃO NO BRASIL	102
4.2.1. Distribuição da quantidade de motores e suas respectivas potências ...	105
4.2.2. Cálculo da pressão média efetiva.....	106
4.2.3. Relação Potência/Peso dos motores.....	107
4.2.4. Velocidade média do pistão	108
4.2.5. Relação Diâmetro x Curso para motores aeronáuticos	110
4.2.6. Relação rpm motor x tamanho hélice	111
4.3. OS FATORES DE INFLUÊNCIA NO PROJETO DO MOTOR A ETANOL PARA AVIAÇÃO AGRÍCOLA	114
4.3.1. Escopo do projeto.....	114
4.3.1.1. Sistema de Aplicação	114
4.3.1.2. Processo operacional	115
4.3.1.3. Interferências e limites.....	117
4.3.1.4. Requisitos energéticos	119
4.3.1.5. Subsistemas	121
4.3.1.6. Tipologia de projeto	126
4.3.2. Análise comparativa dos motores.....	128
4.3.2.1. Dimensões e características físicas.....	128
4.3.3. Características da operação.....	130
4.3.3.1. Clima e ambiente.....	130
4.3.3.2. Operação	131
4.3.3.3. Combustível.....	133
4.3.4. Normas e homologação	134
4.3.4.1. Projeto e fabricação.....	136
4.3.4.2. Aprovação e ensaios	139

CAPÍTULO 5	141
CONCLUSÃO	141
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
APÊNDICES	151
ANEXOS	157

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O etanol para motores de aeronaves agrícolas foi introduzido no Brasil em 2005, quando a Indústria Aeronáutica Neiva lançou o modelo Ipanema a álcool, denominado EMB 202A. Esta aeronave, de fabricação nacional, é dotada de um motor Lycoming, importado dos Estados Unidos e passa por modificações, tanto no motor quanto na própria aeronave, para possibilitar a operação com etanol. Neste tipo de sistema técnico tem-se a interação entre três áreas básicas do conhecimento científico e tecnológico: a Engenharia Agrícola, a Engenharia Mecânica e a Engenharia Aeronáutica. Estas áreas integradas formam a base do conhecimento para o desenvolvimento deste tipo de projeto, pois tal aeronave e motor serão utilizados na agricultura, onde entra a engenharia agrícola e sua subárea, a mecanização agrícola.

Há particularidades que devem ser observadas quando existe a operação de motores aeronáuticos com etanol, pois estes devem sofrer modificações e/ou adaptações para tal condição de funcionamento, o que reduz sua eficiência além de tornar nula a garantia de fábrica, uma vez que ocorre a modificação de alguns itens no motor e na aeronave. É neste ponto que os conhecimentos da engenharia mecânica e da engenharia aeronáutica devem ser unidos na tentativa de solucionar estes problemas. Portanto, lança-se aqui a hipótese de ser viável o projeto de um motor aeronáutico dedicado ao uso de etanol como combustível, para equipar aeronaves agrícolas.

Alguns benefícios como redução de custo operacional e aumento de potência com o uso do etanol foram verificados já no início dos ensaios e avaliações, mesmo mantendo-se características construtivas e operacionais dos motores que, sabidamente, devem ser alteradas e consideradas quando se utiliza o etanol como

combustível. Os motores aeronáuticos atualmente operando com etanol no Brasil e em outras partes do mundo, são adaptações de motores projetados para operação com AvGas, o que os torna com baixa eficiência, traduzida pelo pequeno aumento de potência em contraste com um grande acréscimo do consumo de combustível, reduz-se a autonomia das aeronaves e, por outro lado, traduz-se numa menor redução de custo.

Baseado nesses aspectos verifica-se a possibilidade de ganhos ainda maiores com a utilização de etanol num projeto direcionado para esse fim, sejam em termos financeiros com a redução do custo operacional, de manutenção, ganhos de eficiência com o aumento de potência.

Por tratar-se de um equipamento aeronáutico as normas para homologação são rígidas, bem como a quantidade de ensaios e avaliações a serem feitas, gerando um custo elevado de desenvolvimento. Quanto mais precisa e correta for a especificação do produto, com os requisitos dos clientes bem definidos e os fatores de influência estabelecidos, mais adequado às exigências de homologação o motor estará, evitando repetição de testes e ensaios e modificações para atendimento da legislação.

Assim, o objetivo principal deste trabalho é estabelecer os fatores de influência no projeto de um motor a etanol para operar em uma aeronave agrícola, entendendo seus requisitos e particularidades de forma a criar subsídios para o projeto futuro de um motor dedicado à operação com este biocombustível. Neste caso, de posse dos fatores de influência, os requisitos e as especificações do projeto poderão ser determinadas, permitindo a agregação de tecnologias modernas que garantam confiabilidade e segurança de operação. Desta maneira, esta proposta está delimitada à fase de Projeto Informacional do processo de desenvolvimento de um motor aeronáutico a etanol para aviação agrícola.

Os objetivos específicos deste trabalho estão subdivididos em cinco etapas que seguem:

- Análise das classes dos fatores de influência, propostas por Marini (2007), aplicando-as, quando pertinente, ao projeto do motor aeronáutico a etanol;
- Considerando as especificidades do sistema técnico, motor aeronáutico a etanol, proposição de novas classes de fatores de influencia baseadas nos estudos de revisão bibliográfica sobre os assuntos relacionados, bem como pesquisa de

mercado sobre aeronaves agrícolas no Brasil e motores aeronáuticos para utilização em aeronaves agrícolas;

- Pesquisa, junto a ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil, órgão responsável pela legislação vigente no Brasil, normas e legislação para homologação de motores aeronáuticos;

- Verificação de cada tipo de aeronave e modelo em operação no Brasil hoje, os motores utilizados, suas faixas de potência e características a fim de determinar os aspectos mercadológicos e técnicos do projeto.

A determinação precisa dos fatores de influência e suas respectivas classes serão determinantes para o desenvolvimento do projeto do motor, visto que são esses fatores que determinam as especificações do produto. Determinar e estabelecer estes fatores de influência no projeto de um motor direcionado exclusivamente para operar com etanol é o ponto de partida para a elaboração de informações e montagem de um banco de dados para que no futuro, viabilize o projeto completo de um motor a etanol para aviação agrícola.

Tal informação trará benefícios à indústria nacional aeronáutica de maneira a aumentar sua competitividade frente às empresas estrangeiras, num país como o Brasil que é exportador de tecnologia aeronáutica e alcooleira, bem como agregará conhecimento à comunidade científica e tecnológica sobre temas relacionados a este trabalho.

Esta dissertação está subdividida em cinco capítulos para melhor entendimento por parte do leitor. No Capítulo 1 está inserida a introdução, onde faz-se uma abordagem geral do trabalho, suas definições, diretrizes e informa os objetivos gerais e específicos a serem atingidos bem como um apanhado geral sobre os assuntos relacionados na dissertação. O Capítulo 2 aborda a revisão da literatura, envolvendo assuntos como projeto de produto, aeronaves agrícolas e suas atividades, motores de combustão interna e motores aeronáuticos e, também, uma abordagem sobre os combustíveis utilizados em aviação, no caso a gasolina de aviação – AvGas e o próprio etanol que é o foco do estudo.

No Capítulo 3 a metodologia a ser utilizada na pesquisa e na apresentação dos resultados é esplanada e delimitada dentro de um contexto de desenvolvimento de produtos e sistemas técnicos, engenharia agrícola, engenharia mecânica e engenharia aeronáutica. O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos com a

pesquisa, informa os dados obtidos referentes a motores de aeronaves agrícolas operando com AvGas e etanol e os fatores de influência no projeto de um motor a etanol para aplicação em aeronaves agrícolas.

No Capítulo 5, por fim, estão apresentadas as conclusões sobre os dados levantados e os resultados obtidos.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão da bibliografia aborda temas relacionados à pesquisa realizada e aos assuntos de interesse do presente trabalho, envolvendo as áreas de conhecimento e explorando os temas foco de cada investigação.

A revisão inicia-se com a abordagem dos assuntos relacionados ao projeto de produtos, suas diretrizes e particularidades. Esta abordagem sobre Projeto de Produto traz informações relevantes sobre o desenvolvimento de projetos e como se gerencia tais projetos como um todo, as práticas utilizadas para tais gerenciamentos e a organização das informações, bem como o tratamento dos dados de projeto e o acompanhamento de seu desenvolvimento.

A seguir, são apresentados pontos relevantes a respeito de aviação agrícola e como está distribuída e operando no Brasil, quais aeronaves e equipamentos estão sendo utilizados e os respectivos motores que são utilizados nestas aeronaves. Tais informações convergem para fornecer, também, subsídios à pesquisa realizada sobre este tema.

E, por fim, faz-se uma abordagem técnica e mercadológica sobre os combustíveis utilizados em motores aeronáuticos para aviação agrícola no Brasil. Dados técnicos sobre gasolina de aviação (AvGas) e etanol, que já é realidade nas operações aeroagrícolas, estão apresentados bem como um apanhado geral sobre a produção e distribuição destes combustíveis no território Brasileiro

2.1. AVIAÇÃO AGRÍCOLA

Silveira (2004) apresenta um breve histórico sobre o surgimento da aviação agrícola no Brasil.

Em 1946 foi identificado, na região de Pelotas – RS, que uma praga de gafanhotos estava danificando seriamente as culturas agrícolas, foi quando então o engenheiro agrônomo Antônio Leôncio A. Fontelles procurou aeroclubes da região para a utilização de aeronaves na identificação e localização destes insetos e iniciar o combate a eles.

O Brasil entra no cenário da aviação agrícola em 19 de agosto de 1947 quando foi realizado o primeiro vôo com finalidade de aplicação agrícola no estado do Rio Grande do Sul. Foi utilizada uma aeronave MUNIZ, modelo M-9, com motor de 200HP (147kW), de fabricação nacional que atingia velocidade cruzeiro de 160 km/h, tinha autonomia de vôo de 4 horas e capacidade de carga de apenas 100kgf em um reservatório metálico construído para tal finalidade. O piloto Clóvis Candiota era o comandante desta aeronave que realizou aplicação de defensivos para o combate de insetos (gafanhotos). Clóvis Candiota foi escolhido como patrono e a data de 19 de agosto como comemorativa ao dia da aviação agrícola brasileira.

Outro marco foi a criação do curso de aviação agrícola (CAVAG) em 1968 na Fazenda Ipanema em São Paulo.

Formalmente, a aviação agrícola no Brasil foi reconhecida em 1969 através do Decreto Lei Nº 917. Neste mesmo ano é fundada a Empresa Brasileira de Aeronáutica – EMBRAER.

Na década de 80 houve um pequeno declínio da atividade de aplicação aérea por falta de tecnologia e investimentos na área, porém, já na década de 90 essas tecnologias foram aprimoradas e houve a retomada do desenvolvimento e crescimento da atividade. Pontas de pulverização adequadas e desenvolvidas com mais tecnologia, barras de distribuição com perfil aerodinâmico melhora o

desempenho tanto da aeronave quanto da aplicação, os equipamentos nacionais sofreram melhorias e o GPS foi implementado, em substituição aos bandeirinhas¹

A aviação agrícola brasileira teve grande evolução devido à EMBRAER e sua estratégia de fabricar aqui no Brasil uma aeronave para suprir a necessidade deste mercado.

No dia 30 de julho de 1970 fez-se o vôo inaugural do avião EMB-200 Ipanema, batizado de PP-ZIP. Quatro anos depois, em 1974, foi lançada a nova versão do Ipanema, o EMB-201, sendo este substituído pelo EMB-202 em 1992, Bloeing (2010).

O Ipanema possui atualmente sete versões diferentes devido à evolução do modelo e a necessidade de criação e adaptação de aeronaves para determinadas aplicações específicas, são elas:

- EMB-200: Primeira versão, desenvolvida na década de 70 pelo CTA. Possui motor um Lycoming de 260HP (194kW). A capacidade do reservatório é de 550kgf;
- EMB-200A: Versão melhorada do EMB-200, com pneus maiores, nova tampa para reservatório de químicos e outras alterações menores;
- EMB-201: Homologada em 1973, essa versão possui um motor Lycoming de 300HP (224kW), mais potente que a versão original;
- EMB-201A: Versão melhorada do EMB-201 várias alterações com relação à sua versão anterior, como um novo perfil de asa e introdução de hélice tri-pá. Esta versão foi a primeira a ser produzida pela Neiva em 1981;
- EMB-201R: A Força aérea brasileira solicitou a produção de 3 TUGs para o Clube de Vôo-a-Vela² da Academia da Força Aérea (AFA), que tivessem potência suficiente para rebocar 2 planadores ao mesmo tempo, a Embraer então produziu esta versão denominada pela FAB de U-19;
- EMB-202: Versão melhorada pela Neiva do EMB-201, com maior capacidade de carga de químicos e melhoras na cabine e instrumentos, homologada em 1991, a

¹ Bandeirinhas eram funcionários que ficavam em solo com uma bandeirola na mão demarcando a faixa de aplicação, atividade atualmente proibida devido à extrema insalubridade sofrida pela aplicação dos agroquímicos.

² O chamado "vôo a vela" é aquele desprovido de motor, não sendo somente um vôo planado, mas sim um vôo sustentado no ar sem qualquer auxílio, a não ser aquilo que a natureza oferece. Este tipo de vôo é executado por planadores e motoplanadores. (FBVV, 2010)

partir desta versão o Ipanema ganhou o apelido de Ipanemão, por sua maior capacidade de carga assim como seu tamanho pouco maior que os anteriores;

- EMB-202A: Versão mais moderna do Ipanema, homologada em 2004 e lançada no mercado em 2005, é a primeira aeronave de fábrica a voar com Álcool, é vendida atualmente em 2 versões: Álcool, com motor de 320HP (329kW), ou AvGas, com motor de 300HP (224kW), (NEIVA, 2010).

Por fim, tem-se a definição de aviação agrícola (tecnicamente definido como Operação Aeroagrícola) segundo o Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica – RBHA 137 é:

Operações aeroagrícolas são operações aéreas que tenham por fim proteger ou fomentar o desenvolvimento da agricultura em qualquer de seus aspectos, mediante a aplicação em vôo de fertilizantes, sementes, inseticidas, herbicidas ou povoamento de água e combate a incêndios em campos e florestas. ANAC (2010e, pág 13).

2.1.1. Aeronave agrícola

As aeronaves ditas para utilização agrícola são aeronaves que operam basicamente em culturas agrícolas realizando a pulverização aérea de produtos químicos (herbicidas, fungicidas, pesticidas, adubos, etc) e o distribuição de sementes, apenas para exemplificar algumas das potencialidades desta aeronave. As aeronaves agrícolas possuem algumas características e particularidades com relação a sua estrutura para poder cumprir as tarefas a elas designadas.

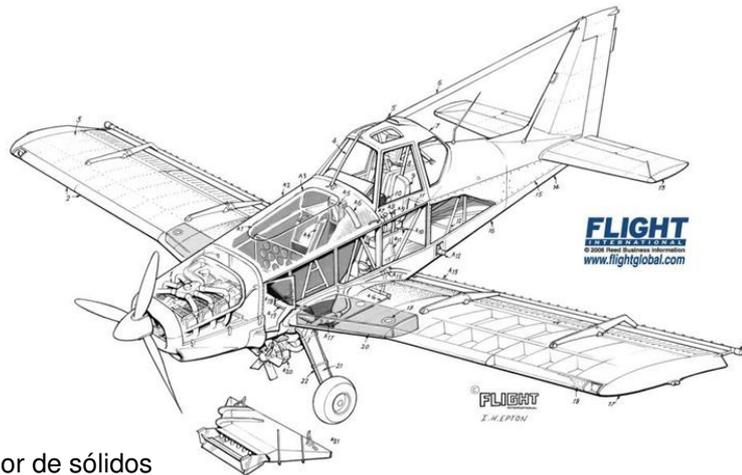
Dentre as características de uma aeronave agrícola, Cunha (2000) *apud* ANDEF (2004), destaca como desejáveis as seguintes:

- Grande capacidade de carga paga, o que requer motor de elevada potência, fuselagem aerodinamicamente “limpa” e redução do peso do avião vazio;
- Ser capaz de decolar, atingindo 16 metros de altura, a partir de pistas semi-elaboradas, consumindo não mais de 400 metros de distância ao nível do mar;

- Velocidade de cruzeiro em torno de 160km/h (100mph), combinada com baixa velocidade de *stall*³ (65 – 100km/h) que é a velocidade de mínima sustentação;
- Boa estabilidade e manobrabilidade, especialmente em curvas, e com sistema de comando de equipamento agrícola que requeira pouco esforço do piloto, de forma a reduzir a fadiga;
- Visibilidade o mais irrestrita possível, para frente e para trás, bem como visibilidade lateral, especialmente em curvas;
- Para proteção, em caso de acidentes, é considerado essencial que o motor e o tanque de produtos agrícolas possam estar colocados à frente da cabine, e que haja uma estrutura especial da fuselagem, forte o suficiente para proteger o piloto de danos físicos, mesmo quando houver a capotagem do avião;
- Inclui-se, entre outros itens de segurança obrigatórios, controles e comandos simples, de fácil identificação manual, ausência de protuberâncias, saliências e alavancas pontiagudas; suspensórios de segurança, retráteis e com fixação segura na fuselagem do avião;
- Cabine vedada, impedindo a penetração de gases e vapores dos produtos aplicados;
- Possibilidade do abastecimento com produtos líquidos por meio de tubulações a partir do fundo do tanque. Produtos sólidos podem ser colocados pela abertura superior do tanque de produtos, sendo que neste caso, a abertura deve ser de grandes dimensões;
- O revestimento da fuselagem do avião deve permitir fácil e rápida inspeção da estrutura, motor e equipamento agrícola, bem como, fácil e rápida limpeza do avião, interna e externamente;
- O projeto e construção devem visar a facilidade de manutenção e os materiais utilizados devem ser resistentes à corrosão, típica do uso.

³ *Stall*: termo em inglês que significa perda de sustentação.

A Figura 1 mostra a estrutura básica e o formato padrão da maioria das aeronaves agrícolas. Abaixo do trem de pouso aparece o sistema de difusão de sólidos, também conhecido como *swathmaster* ou ainda “pé-de-pato” em função de seu formato.



Sistema difusor de sólidos

Figura 1 - Estrutura básica de uma aeronave agrícola.
Fonte: Flight International (2010).

A Figura 2 mostra uma aeronave agrícola em manutenção, onde podem ser vistos alguns dos itens estruturais específicos de aeronaves agrícolas.



Figura 2 – Aeronave agrícola em manutenção. 1- Reservatório de produtos; 2- Sistema corta-fio para segurança do piloto em caso de vôos sob rede elétrica; 3-tubulação de saída do produto químico para aplicação.

Fonte: Frame Maintenance (2010).

As aplicações principais de aeronaves agrícolas e as altitudes de cada operação estão apresentadas no Quadro 1, segundo Agrolink (2010).

Setor	Aplicação	Altura de voo
Agricultura, Silvicultura e Pecuária	Inspeções, mapeamentos, sensoriamento remoto, previsão de safra, adubação, controle de pragas, doenças e plantas invasoras, maturação, desfolheamento, outras.	3 a 5m acima da vegetação
Piscicultura	Peixamento e cultivo químico.	N/D
Saúde Pública	Controle de vetores (malária, dengue e oncocercose)	50 à 100m do solo
Modificação do tempo	Nucleação de nuvens (chuva artificial), controle de geadas e supressão de neve.	Até 200m – nuvens baixas
Ecologia	Controle de poluição marinha – derramamento de óleo.	N/D
Diversos	Inspeção de linhas de alta tensão, controle de incêndios florestais, outras.	15 à 30m acima da copa das árvores

Quadro 1 – Principais operações de aeronaves agrícolas.

Fonte: Agrolink (2010).

Uma aeronave agrícola poderá ser utilizada em diferentes aplicações que definem fatores de influência distintos a serem considerados no desenvolvimento de um motor a etanol para equipar tal aeronave.

2.1.2. Aeronaves Agrícolas no Brasil

Atualmente existem no Brasil mais de 1500 aeronaves agrícolas, sendo aproximadamente 1100 unidades de fabricação Nacional, SINDAG (2011). A Figura 3 ilustra o crescimento da frota Brasileira de aeronaves agrícolas, a partir do ano de 1971, quando iniciaram-se os registros, até o ano de 2002, segundo Silveira (2004).

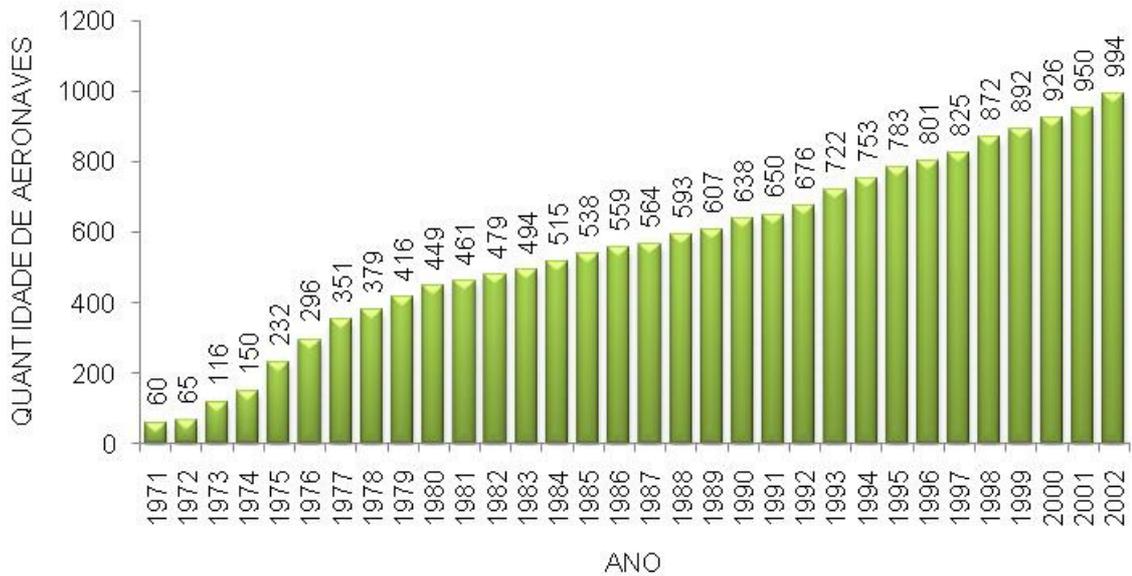


Figura 3 - Crescimento da frota de aeronaves agrícolas no Brasil.
Fonte: Adaptado de Silveira (2004).

Segundo o Relatório do Sindicato Nacional das Empresas de Aviação Agrícola (SINDAG), de fevereiro de 2009, a frota brasileira de aeronaves agrícolas no ano de 2008 foi de 1447 aeronaves, incluindo aviões de fabricantes nacionais e aviões importados, com motores a pistão e também turbo-hélices. A aeronave Ipanema, fabricada pela Neiva, subsidiária da indústria aeronáutica brasileira Embraer, aparece em primeiro lugar no número de aeronaves, com um total de 948 aviões incluindo os 6 modelos, o modelo EMB202A, que é movido 100% a etanol, apresenta-se com 62 aeronaves comercializadas no ano de 2008, tais aeronaves podem ser vistas na Figura 4 e na Figura 5. Popularmente é chamada de Ipanemão⁴ a Álcool.

⁴ Ipanemão é o nome dado às aeronaves Ipanema a partir do modelo 202, onde foi aumentada a capacidade de carga e conseqüentemente a aeronave ficou pouco maior que seu modelo anterior, o 201A, AviaStar (2010).



Figura 4 - Aeronave EMB-202A – Ipanemão a álcool.
Fonte: NEIVA (2010).



Figura 5 - Aeronave EMB-202A.
Fonte: NEIVA (2010).

No Brasil, segundo SINDAG (2008), tem-se 28 diferentes modelos de aeronaves agrícolas em operação, destas, 6 modelos são de fabricação nacional, totalizando 948 aeronaves nacionais em operação. A Figura 6 apresenta esta quantidade de aeronaves produzidas no Brasil em função da quantidade total de

aeronaves em uso. Isso demonstra o potencial de desenvolvimento de motores para a indústria nacional.

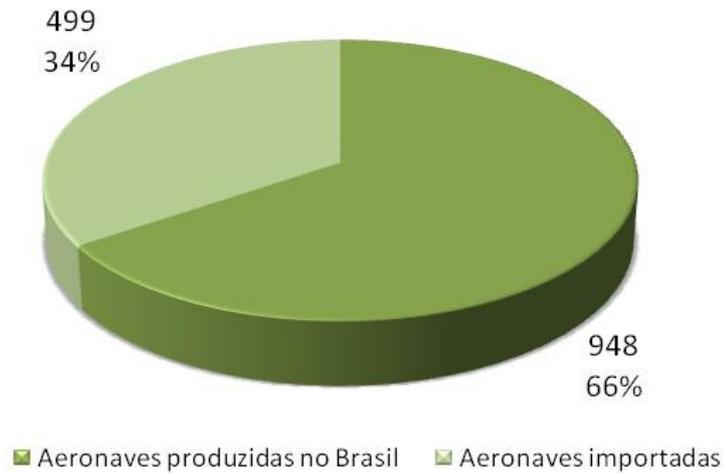


Figura 6 - Porcentagem de aeronaves produzidas no Brasil em relação ao total de aeronaves operantes no país.

Nota-se, na Figura 7 as aeronaves agrícolas em operação no Brasil divididas por modelo. Nas primeiras posições, com 383 e 311 aeronaves em operação estão as aeronaves Ipanema modelos EMB 201A e EMB 202 respectivamente, de fabricação nacional, seguidas, em terceiro lugar, pelas aeronaves de fabricação da CESSNA (empresa Norte Americana) com 186 aeronaves em operação

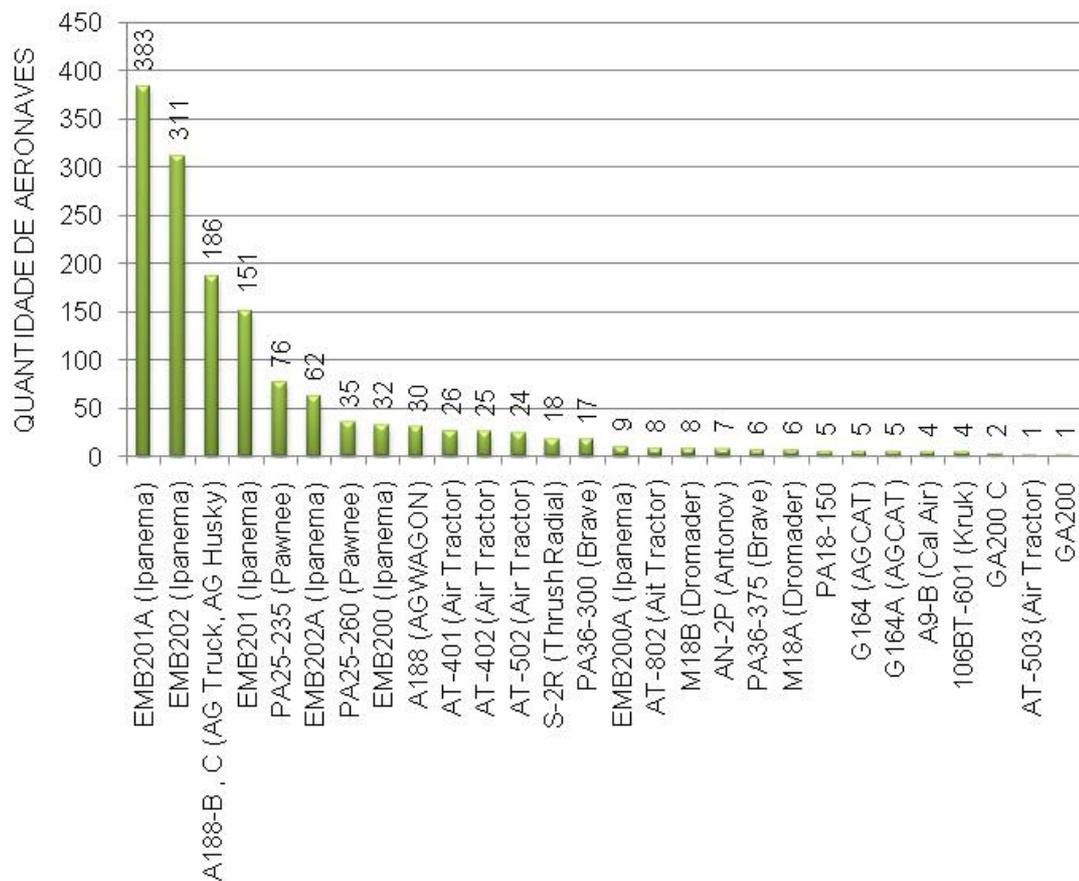


Figura 7 - Aeronaves agrícolas no Brasil por modelo.

Fonte SINDAG (2008).

O Quadro 2 apresenta as principais características de cada aeronave com relação ao tipo de motor (alternativo – pistão ou a reação – turbo hélice), potência, capacidade de carga e a respectiva quantidade em operação no Brasil.

Importante salientar a utilização do combustível para cada tipo de motor apresentado. Os motores a pistão, descritos neste trabalho, utilizam gasolina de aviação (AvGas) e os motores turbo-hélice que utilizam o querosene de aviação (QAV), distintos em processo de fabricação e queima internamente no motor, embora, ambos sejam de origem fóssil, extraídos do petróleo.

Aeronave	Motor	Potência [kW]	Capacidade de Carga [kgf]	Quantidade em operação
Air Tractor AT-401	A pistão	447	1640	26
Air Tractor AT-402	A turbina	410	2041	25
Air Tractor AT-502	A turbina	507	2451	24
Air Tractor AT-503/504	A turbina	559	2200	1
Air Tractor AT-802	A turbina	966	4307	8
Cessna A-188 AgWagon	A pistão	224	576	30
Cessna A188B / C	A pistão	224	576	186
Thrush S-2R	A pistão	447	1044	18
Piper PA-18-150	A pistão	112	313	5
Piper PA-25-235 Pawnee	A pistão	175	731	76
Piper PA25-260 Pawnee	A pistão	194	647	35
Piper PA36-300 Brave	A pistão	224	957	17
Piper PA36-375 Brave	A pistão	280	1000	6
Callair A-9B	A pistão	224	908	4
Gipsland GA-200	A pistão	224	1146	1
Gipsland GA-200C	A pistão	224	1146	2
Neiva EMB-200 Ipanema	A pistão	194	660	32
Neiva EMB-200A Ipanema	A pistão	194	660	9
Neiva EMB-201 Ipanema	A pistão	224	865	151
Neiva EMB-201A Ipanema	A pistão	224	835	383
Neiva EMB-202 Ipanema	A pistão	224	835	311
Neiva EMB-202A Ipanema	A pistão	239	835	62
Grumman G-164 AgCat	A pistão	336	820	5
Grumman G164A Ag Cat	A pistão	447	820	5
PZL-106 BT-601 Turbo Kruk	A turbina	552	1330	4
Antonov AN-2-P	A pistão	736	2050	7
PZL M18-A Dromader	A pistão	721	1496	6
PZL M18-B Dromader	A pistão	721	1496	8

Quadro 2 – Dados principais das aeronaves agrícolas em operação no Brasil⁵.

Também se pode observar na Figura 7 que aeronaves com potência na faixa dos 300HP (224kW) são predominantes em quantidade, como é o caso do Ipanema

⁵ Dados dos fabricantes: Air Tractor Inc., Cessna Aircraft Company, Thrush Aircraft, Piper Aircraft, Call Aircraft Company, Gipsland Aeronautics, Indústria Aeronáutica Neiva, Grumman American, EADS PZL “Warszawa-Okęcie” S.A.

(nos modelos EMB200, EMB200A, EMB201, EMB201A, EMB202 e EMB202A) e de aeronaves da marca CESSNA (A188B e A188C) juntamente com os PIPER (PA25 e PA36 e suas variantes).

Quanto à capacidade de carga das aeronaves agrícolas em operação no Brasil, tem-se grande amplitude de aplicação, desde extensas áreas na região centro-oeste do país (10 mil ha ou mais), até áreas pequenas, onde aeronaves menores como o Pipper PA18, que tem capacidade de carga útil de 100 a 150kgf (AIRCRAFT ENCICLOPEDIA, 2010) é considerada como suficiente; aeronaves deste porte são utilizadas para de instrução de pilotos agrícolas e aplicação em pequenas propriedades, com áreas pequenas e que não requer grande demanda por pulverização aérea.

2.2. MOTORES AERONÁUTICOS

Para a abordagem sobre motores aeronáuticos é necessário, primeiramente, a abordagem sobre motores de combustão interna, que são, segundo Heywood (1988) motores que liberam a energia da queima de uma mistura ar/combustível realizada internamente no motor.

2.2.1. Motores de combustão interna

Segundo Heywood (1988) a proposta principal dos motores de combustão interna é transformar a energia do combustível em energia mecânica, através da queima deste combustível de forma controlada dentro de uma câmara de combustão.

Os primeiros motores comercializados datam de 1860. J. J. E. Lenoir criou os primeiros motores de combustão interna que utilizavam uma mistura de gás de carvão e ar.

Em 1867, Nicolaus A. Otto e Eugen Langen desenvolveram um sistema onde o aumento de pressão gerado pela combustão acelerava o pistão e no momento da

exaustão gerava um vácuo pelo qual a mistura ar-combustível era succionada para dentro do cilindro novamente.

A Figura 8 apresenta o desenho de patente de um motor elaborado por Otto em 1876 com patente aprovada em 1877.

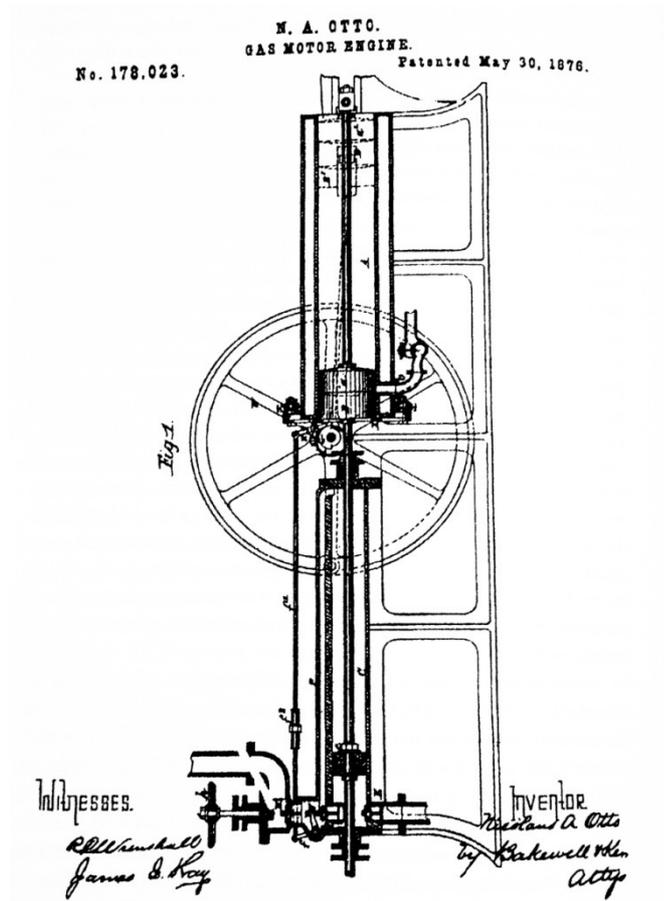


Figura 8 – Desenho de patente requida por Nicolaus A. Otto em 1876 e concedida em 1877.

Fonte: Philbin (1934).

No início os motores eram grandes, pesados e com baixa eficiência, foi quando Otto propôs um ciclo de combustão com quatro tempos, em 1884 houve o registro de patente do sistema. Em 1890 mais de 50.000 unidades de motores com o ciclo Otto foram comercializados na Europa e Estados Unidos, segundo Philbin (1934).

Conforme Heywood (1988), em 1892 o engenheiro alemão Rudolf Diesel patenteou o ciclo baseado na injeção de combustível líquido vaporizado dentro da

câmara de combustão, o que permitiu atingir-se o dobro da eficiência de outros motores até então desenvolvidos.

Os motores de combustão interna tiveram uma primeira onda de melhorias e aperfeiçoamentos durante a Primeira Grande Guerra, onde a movimentação de tropas, carros de combate, apoio logístico e aviação eram fundamentais e todos necessitavam de motores para sua movimentação. Os combustíveis também tiveram grande melhoria a aperfeiçoamento, muito devido ao melhor entendimento da combustão e seus efeitos nos motores e no seu desempenho.

Durante a Segunda Grande Guerra houve, também, grandes modificações, implementação de tecnologias que melhoraram a eficiência dos motores, reduzindo o tamanho, aumentando a potência e utilizando sistemas e mecanismos mais precisos.

Outros pontos importantes contribuíram para a melhoria das aeronaves e o desempenho de motores, como as hélices e combustíveis, segundo White (1945). A inclusão de sobrealimentadores e turboalimentadores nos motores foi fundamental para o aumento do teto de serviço⁶ e melhoria significativa das aeronaves.

Na Segunda Grande Guerra, os aviões voavam com combustíveis de octanagem igual ou até mesmo inferior a 50, o que acarretava sérios problemas de pré-ignição⁷ e também de detonação⁸.

Ao longo do período de guerra (1939 – 1945) os combustíveis sofreram grandes modificações, descobertas e melhorias foram efetuadas até se chegar, próximo aos anos de 1945, final da guerra, com combustíveis de alta octanagem e motores muito mais confiáveis, seguros e com maior rendimento.

Não só os próprios motores ou combustíveis foram melhorados, as aeronaves tiveram que acompanhar esta evolução, para promover o incremento de desempenho dos motores, alguns pontos são citados por White (1945) como importantes: melhoria do arrefecimento e trocas térmicas (auxilia no desempenho do motor e durabilidade), melhorias no balanceamento de peças que reduzem as vibrações, os sistemas de lubrificação foram melhorados, os sistemas de exaustão

⁶ Altitude máxima em que a aeronave pode operar, fator restritivo pelas condições de combustão do motor.

⁷ A mistura ar-combustível entra em combustão antes da centelha da vela ser iniciada.

⁸ A mistura ar-combustível queima de maneira desordenada e extremamente rápida, como uma explosão dentro do cilindro, gerando grandes esforços mecânicos no motor, podendo acarretar em sérios danos estruturais.

de gases sofreram melhorias significativas de maneira a auxiliar as trocas gasosas dentro do motor e aumentar seu rendimento e outros vários pontos que podem ser vistos em sua obra intitulada *Allied Aircraft Piston Engines*⁹, de 1945.

Os estudos relativos a motores e suas tecnologias continuaram evoluindo ao longo dos anos e novas tecnologias de combustão, materiais, combustíveis e eletrônica foram agregados, trazendo mais eficiência e melhorias aos motores.

Um dos grandes estudiosos de motores, combustão e suas aplicações é o Professor John B. Heywood do Instituto de Tecnologia de Massachusetts – Estados Unidos da América, o qual estabelece, em seu livro intitulado *Internal Combustions Engine Fundamentals* (Fundamentos de Motores de Combustão Interna) de 1988, a classificação dos motores de combustão interna, conforme algumas características intrínsecas do motor e também de sua operação.

- Aplicação: conforme o veículo que será utilizado este motor: automóvel, caminhão, aeronave, barco, motores estacionários para geração de energia, etc;
- Desenho básico do motor: motores alternativos (subdivididos em: em linha, em V, em H, radial, oposto, etc), motores rotativos, motores a reação, etc;
- Ciclo de trabalho: quatro tempos (subdividido em: aspirado¹⁰, sobrealimentado¹¹ e turboalimentado¹²) ou dois tempos (subdividido em: aspirado por pressão do carter, sobrealimentado e turboalimentado);
- Desenho de válvulas ou pórticos: 2 ou mais válvulas por cilindro, válvulas rotativas, portas de admissão e exaustão opostas, etc;
- Combustível: Gasolina, Óleo Diesel, Gás Natural, Álcoóis, Hidrogênio, dois ou mais combustíveis;
- Método de preparação da mistura: carburados, combustível injetado (subdividido em injeção indireta – no duto de admissão e direta – dentro do cilindro). Ainda, o combustível pode ser injetado mecanicamente (injeção mecânica) ou possuir um dispositivo eletrônico de gerenciamento (injeção eletrônica).
- Método de ignição: ignição por centelha (vela de ignição, geralmente em motores ciclo Otto) ou ignição por compressão (geralmente em motores ciclo Diesel);

⁹ Tradução para o português: Motores a Pistão das Aeronaves Aliadas.

¹⁰ O motor admite ar à pressão atmosférica.

¹¹ O motor admite ar pressurizado por um compressor.

¹² O motor admite ar pressurizado por um compressor acionado por turbina à exaustão.

- Desenho da câmara de combustão: câmara aberta (a maioria dos motores) e câmara dividida (possuem um câmara auxiliar de combustão);
- Método de controle de carga: controle de ar e combustível, controle somente de combustível, controle somente de ar;
- Método de arrefecimento: arrefecimento líquido, arrefecimento a ar, combinação de arrefecimento líquido + ar, arrefecimento natural (convecção e/ou radiação).

A partir destas definições é possível especificar praticamente qualquer tipo de motor alternativo existente, entendendo seu funcionamento básico e suas características operacionais.

2.2.2. Motores aeronáuticos para aviação agrícola

A aviação agrícola caracteriza-se por apresentar aeronaves pequenas, médias e grandes em termos de capacidade de carga e potência de seu motor.

No Brasil, encontram-se aeronaves desde 112kW, com motores a pistão de quatro cilindros e carga útil aproximada de 300kgf até próximo à 970kW com motores a reação e carga útil de mais de 4300kgf.

O tamanho da aeronave e, conseqüentemente a carga por ela transportada, é fator que dependerá diretamente da área a ser aplicada ou trabalhada. Áreas pequenas requerem aeronaves pequenas, uma vez que aeronaves maiores necessitam de mais espaço para manobras e o custo operacional também é mais elevado.

A Figura 9 mostra uma aeronave Ipanema com motor Lycoming de 224kW. Esta aeronave é a mais comercializada no Brasil, possui alta versatilidade de aplicação e é de produção nacional.



Figura 9 – Aeronave Ipanema EMB202 em manutenção, detalhe do motor Lycoming de 224kW.

O Quadro 3 apresenta a relação de aeronaves existentes no Brasil, relacionando seu respectivo motor e a potência nominal em kW.

Cabe aqui um comentário referente à unidade de potência; na linguagem científica, que é o caso deste trabalho, a potência é informada em kW (quilo Watts), porém, no meio aeronáutico a potência é informada na unidade HP (*Horse Power*). A relação de conversão de HP para kW é: $P[\text{kW}] = P[\text{HP}] \times 0,74569$ (Heywood, 1988).

Aeronave	Motor	Potência [kW]
Air Tractor AT-401	A pistão (Radial 9 cil)	447
Air Tractor AT-402	A reação (Turbina)	410
Air Tractor AT-502	A reação (Turbina)	507
Air Tractor AT-503/504	A reação (Turbina)	559
Air Tractor AT-802	A reação (Turbina)	966
Cessna A-188 AgWagon	A pistão (Continental IO-520-D) 6 cil	224
Cessna A188B / C AgTruck / AgHusky	A pistão (Continental IO-520-D) 6 cil	224
Thrush S-2R	A pistão (Radial 9 cils.)	447
Piper PA-18-150	A pistão (Lycoming O-320) 4 cil	112
		Continua

Continuação

Aeronave	Motor	Potência [kW]
Piper PA-25-235 Pawnee	A pistão (Lycoming O-540-B2C5) 6 cil	175
Piper PA25-260 Pawnee	A pistão (Lycoming O-540-G2A5) 6 cil	194
Piper PA36-300 Brave	A pistão (Lycoming O-540) 6 cil	224
Piper PA36-375 Brave	A pistão (Lycoming IO-720-D1CD) 8 cil	280
Callair A-9B	A pistão (Lycoming IO-540-B2B5) 6 cil	224
Gipsland GA-200	A pistão (Lycoming IO-540-K1A5) 6 cil	224
Gipsland GA-200C	A pistão (Lycoming IO-540-K1A5) 6 cil	224
Neiva EMB-200 Ipanema	A pistão (Lycoming O-540H2B5D) 6 cil	194
Neiva EMB-200A Ipanema	A pistão (Lycoming O-540H1B5D) 6 cil	194
Neiva EMB-201 Ipanema	A pistão (Lycoming O-540-K1F5D) 6 cil	224
Neiva EMB-201A Ipanema	A pistão (Lycoming O-540-K1J5D) 6 cil	224
Neiva EMB-202 Ipanema	A pistão (Lycoming IO-540-K1J5) 6 cil	224
Neiva EMB-202A Ipanema	A pistão (Lycoming IO-540-K1J5 ¹³) 6 cil	239
Grumman G-164 AgCat	A pistão (Radial 9 cil).	336
Grumman G164A Ag Cat	A pistão (Radial 9 cil)	447
PZL-106 BT-601 Turbo Kruk	A reação (Turbina)	552
Antonov AN-2-P	A pistão (Radial 9 cil)	736
PZL M18-A Dromader	A pistão (Radial 9 cil)	721
PZL M18-B Dromader	A pistão (Radial 9 cil)	721

Quadro 3– Aeronaves em operação no Brasil, motores e potência.

Com base nos dados do Quadro 3, os motores que equipam aeronaves agrícolas no Brasil estão caracterizados como segue:

- Motores a pistão, de cilindros contrapostos (4, 6 ou 8 cilindros), de quatro tempos, movidos a AvGas, com arrefecimento a ar. Este tipo de motor representa a maioria dos motores existentes no Brasil e equipam aeronaves com faixa de potência até 280kW.
- Motores a pistão, radial de 9 cilindros, de quatro tempos, movidos a AvGas, com refrigeração a ar. Equipa aeronaves maiores, cima de 336kW, chegando até 736kW.

¹³ Este motor do EMB-202A apresenta motor com 239kW de potência devido ao uso do etanol, é o mesmo do EMB 202 porém convertido para o uso com este combustível.

- Motores a reação, impulsionam uma hélice através de uma caixa de redução. Geralmente são motores com grande potência (acima de 410kW), como no caso do AirTractor AT802 com 966kW.

Existe no Brasil uma aeronave comercializada já com motor convertido para o funcionamento com etanol, esta aeronave foi citada no item 2.1.2. O Ipanemão a Álcool, como é conhecido, é produzido pela Neiva, subsidiária da Embraer e apresenta um motor Lycoming IO-540-K1J5 com poucas modificações necessárias ao uso do etanol como combustível. Vale lembrar que este motor é de fabricação Norte Americana e adaptado à aeronave pela Neiva. A conversão para o etanol é feita no Brasil pela própria Neiva, que assume a garantia do motor no caso da conversão.

Informações obtidas com pilotos e empresas aeroagrícolas, dizem respeito à estas conversões, as quais muitas vezes são “clandestinas”, sendo realizadas pelas próprias empresas ou mecânicos contratados para tal, não sendo homologadas junto a ANAC. O custo de uma conversão homologada pode chegar à US\$27 mil e, segundo Portal do Agronegócio (2006), mais de 800 aeronaves podem estar voando com etanol até esta data, onde a maioria destas são conversões não homologadas.

A conversão é feita muitas vezes de maneira caseira e, sem adotar padrões rígidos de segurança, pode colocar em risco a vida de quem pilota a aeronave irregular. Essa possibilidade, no entanto, não impediu que um piloto credenciado de Goiás, de 22 anos, conduzisse durante seis meses um avião movido a álcool não certificado. “Sei que há risco porque o álcool é altamente corrosivo. Mas o funcionamento do motor fica muito mais regular”, revela o jovem, filho de um proprietário de uma empresa de aviação agrícola goiana. “Hoje não trabalho mais com o motor alterado por causa da fiscalização. Se confirmada a conversão ilegal, o avião pode ficar interdito até que seja regularizado”, explica. (PORTAL DO AGRONEGÓCIO, 2006, pg.01).

As principais alterações que foram efetuadas no motor aeronáutico para a operação com etanol, segundo Waterhouse (2010) são:

- Alteração no ponto de ignição: atraso no início da combustão;
- Modificação na tubulação de combustível: devido à corrosão gerada pelo etanol;
- Modificação no reservatório de combustível: também devido à corrosão gerada pelo etanol;

- Aditivos ao óleo: pois o etanol não tem característica lubrificante como a AvGas, requer melhor lubrificação de hastes de válvulas;
- Bomba de combustível: modificação da bomba original para a operação com etanol.

2.3. DADOS DE MOTORES AERONÁUTICOS OPERANDO COM ETANOL

Benefícios com o uso do etanol foram verificados já no início dos ensaios e avaliações, efetuadas pelo professor Urbano Ernesto Stumpf¹⁴, mesmo mantendo-se as características construtivas e operacionais dos motores que, sabidamente, devem ser alteradas e consideradas quando se utiliza o etanol como fluido combustível. Baseando-se nesses aspectos, verifica-se a possibilidade de ganhos ainda maiores com a utilização de etanol, sejam esses ganhos em termos financeiros com a redução do custo operacional e de manutenção, como os ganhos de eficiência em termos de aumento de potência. Esses dados foram comprovados após a implementação do etanol como combustível para aviões agrícolas pela Neiva, subsidiária da Embraer, que em 2005 lançou o primeiro avião produzido em série, o Ipanema, que utiliza etanol como combustível, o milésimo avião produzido pela Neiva foi o marco inicial para a indústria nacional nesse segmento, EMBRAER (2005).

Ensaio em laboratório e avaliações de desempenho foram realizados, tendo como base o motor Lycoming IO-540-K, que equipa o T-25 Universal bem como o Ipanema EMB - 202A, o qual foi convertido para a utilização com etanol.

Costa et. alii. (2009) apresentam uma série de dados experimentais relacionados a esse motor operando com etanol, dentre os quais se registrou o aumento de potência na ordem de 15kW, passando dos originais 224kW para

¹⁴ Urbano Ernesto Stumpf nasceu em Não Me Toque-RS, formou-se em Engenharia Aeronáutica pelo ITA – Instituto Tecnológico da Aeronáutica em 1950 e iniciou os estudos sobre a viabilidade do álcool como combustível neste mesmo instituto já no ano de 1951. De 1973 a 1982, viajou por vários países divulgando as vantagens do uso do etanol como combustível. Pela relevante contribuição ao progresso tecnológico do País, recebeu, em 1984, o “Prêmio IBM de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico”. Stumpf faleceu em 17 de Maio de 1998, deixando um importante legado sobre os motores a etanol e mostrando ao mundo que o Brasil era o pioneiro neste segmento, gerando estudos que são de fundamental importância para o progresso e sustentabilidade da humanidade.

239kW, representando um aumento de 6,5%. Já para o consumo, o aumento foi de 40% a mais que quando operado com AvGas, passando de 70l/h para 110l/h. O aumento de consumo é explicado pela conversão de um motor originalmente projetado para operar com gasolina, tendo apenas sido modificado o sistema de injeção, ignição e alguns sistemas acessórios como dutos de combustível. Um dos principais pontos relevantes para a combustão do etanol é a razão de compressão do motor, que nesse caso foi mantida em 8,7:1, sabendo-se que o etanol pode operar com faixas mais elevadas, acima de 11:1 (HEYWOOD, 1998).

Costa et alii (2009) apresentam dados de um motor Lycoming IO-540K1J5 operando com etanol. Até onde se tem informação estes dados publicados são os pioneiros com relação a este tipo de avaliação, até mesmo porque o assunto tem cunho estratégico.

A Figura 10 e a Figura 11 apresentam dados referentes aos testes realizados em bancada com este motor.

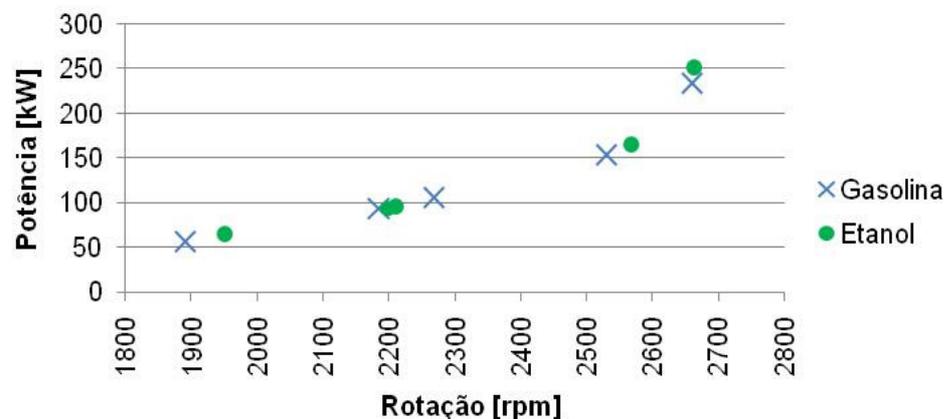


Figura 10 – Relação entre potência [kW] e rotação [RPM] de motor Lycoming operando com etanol.

Fonte: Adaptado de Costa et alii (2009).

A potência registrou aumento próximo a 6% quando o motor opera com etanol, mantida a razão de compressão original do motor, que é de 7,2:1. Quando a razão de compressão passa para 8,5:1 o aumento de potência fica próximo a 12%, conforme dados de Costa et alii (2009).

Para a avaliação de consumo, a Figura 11 apresenta os resultados.

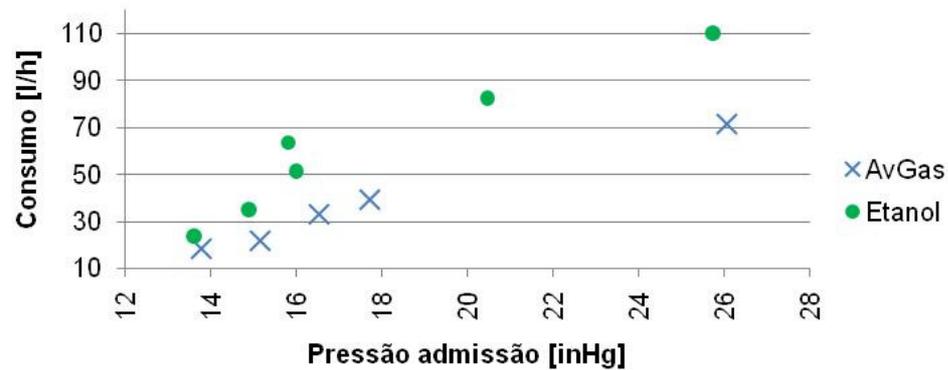


Figura 11 – Relação entre consumo [l/h] e pressão de admissão [inHg] para motor Lycoming operando com etanol.

Fonte: Adaptado de Costa et alii (2009).

Com relação à temperatura do escapamento, denominada *EGT – Exhaust Gas Temperature*, observa-se pela Figura 12 que os gases de escape apresentam condição de temperatura mais baixa quando da operação com etanol, o mesmo fato ocorre com a temperatura da cabeça do cilindro, denominada *CHT – Cylinder Head Temperature*, que pode ser observado na Figura 13 também com redução na temperatura.

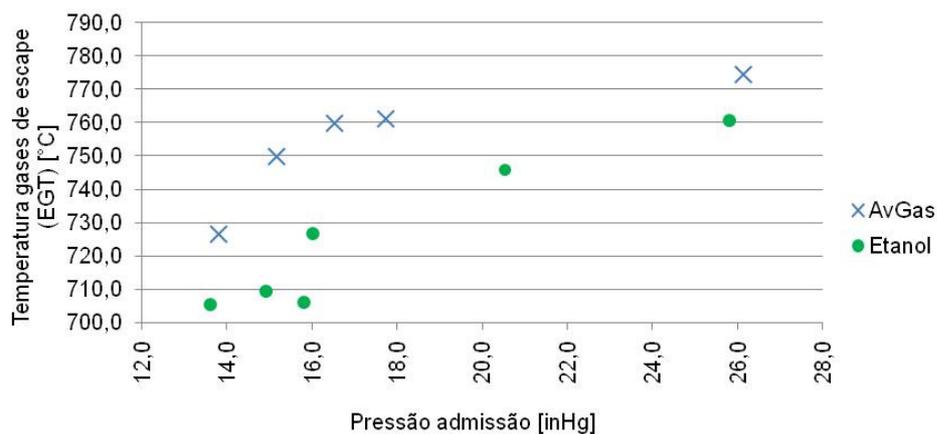


Figura 12 – Temperatura dos gases de escape.

Fonte: Adaptado de Costa et alii (2009).

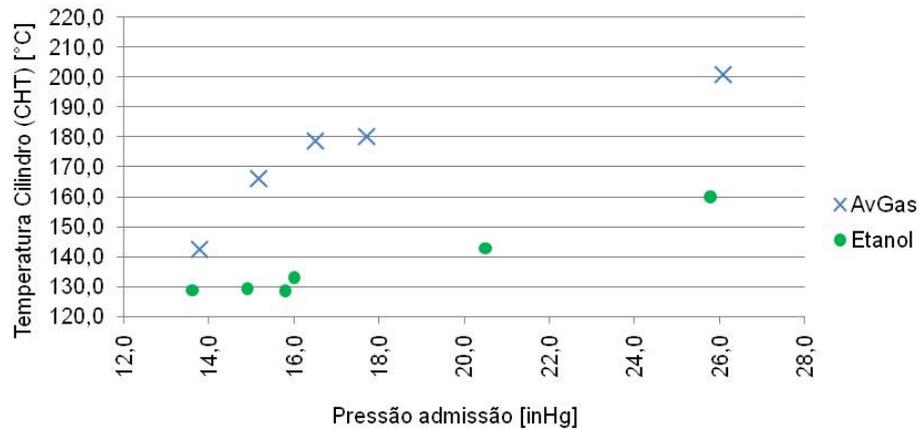


Figura 13 – Temperatura da cabeça do cilindro.

Fonte: Adaptado de Costa et alii, 2009.

Na Figura 13 nota-se a redução de aproximadamente 40°C na temperatura do cilindro, o que é bastante positivo para a operação do motor, fato que melhora a condição de operação quanto ao *stress* térmico¹⁵ no motor. Da mesma maneira, o escape do motor opera com temperatura aproximadamente 15°C menor quando operando com etanol.

Quando as emissões de gases e particulados foram avaliados, os resultados foram extremamente positivos, em função da redução dos índices observados, indicando o potencial do combustível como agente redutor de emissões gasosas e poluentes.

A Figura 14, Figura 15 e a Figura 16, apresentam dados obtidos experimentalmente por Costa et alii (2009) em relação às emissões de gases quando da operação do motor com etanol e com AvGas.

¹⁵ Stress Térmico é a condição em que o equipamento opera sob temperatura elevada e o material poderá sofrer danos em sua estrutura se esta temperatura passar de limites pré estabelecidos e condizentes com cada material utilizado.

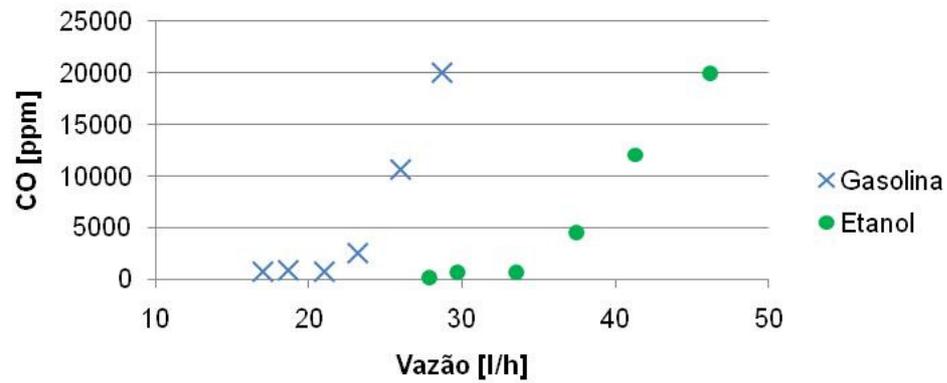


Figura 14 – Emissões de CO em relação à vazão de combustível.
Fonte: Adaptado de Costa et alii, 2009.

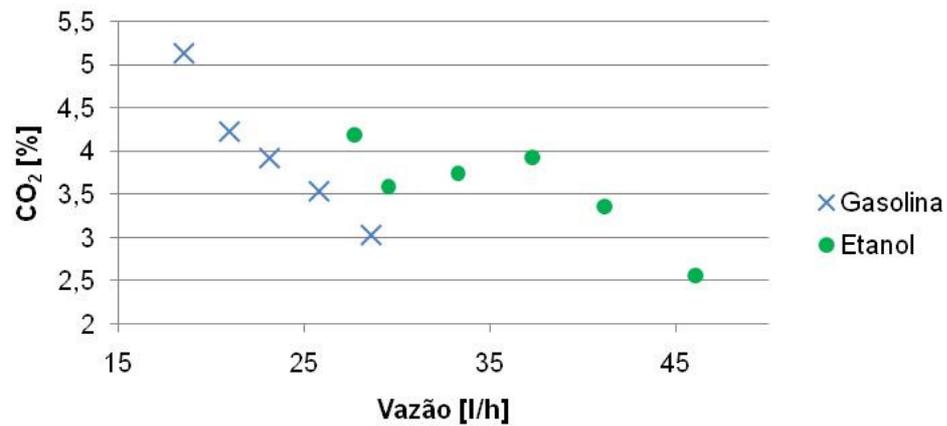


Figura 15 - % de CO₂ em relação a vazão de combustível.
Fonte: Adaptado de Costa et alii, 2009.

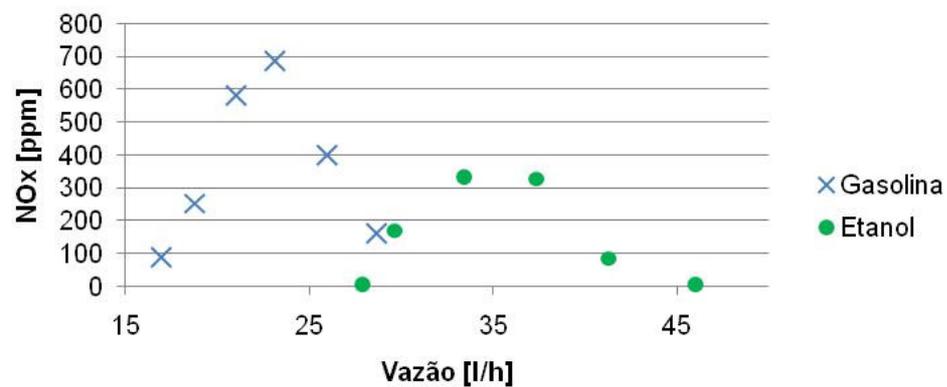


Figura 16 – NO_x em relação à vazão de combustível.
Fonte: Adaptado de Costa et alii, 2009.

Parag & Raghavan (2008) mostraram resultados experimentais de um motor, operando com gasolina e com misturas de gasolina e etanol, onde o aumento de potência foi da ordem de 29% quando usando 50% de etanol em gasolina e com razão de compressão de 10:1, se comparado com o motor operando com gasolina pura e taxa de compressão de 6:1. Dados de consumo específico de combustível mostraram que houve redução de 3% e as emissões de CO, CO₂, HC e NO_x foram reduzidos em aproximadamente 53%, 10%, 12% e 19% respectivamente.

Dados de motores automotivos operando com etanol em comparação com gasolina são bastante comuns de se obter, uma vez que esta tecnologia já está consagrada para motores automotivos e a melhoria de performance, que se traduz em aumento de potência e redução de consumo, é sempre buscada e explorada.

Turner et alii (2007) apresenta resultados de teste com motores automotivos alterados para utilização com etanol onde ganhos de potência são da ordem de 12,5% e aumento de consumo específico, denominado *Brake Specific Fuel Consumption* – BSFC, de apenas 25%. Isso devido a relevantes alterações efetuadas no motor.

Para motores aeronáuticos operando com etanol, Shauck & Zanin (1991) apresentam dados referentes o consumo de combustível, com uso de AvGas e etanol em diferentes altitudes de vôo e rotações para um motor Lycoming IO-540 que equipa o Piper Pawnee, aeronave utilizada para aplicação agrícola, na qual a razão de compressão do motor é de 7,2:1. Os dados obtidos apresentam um consumo de aproximadamente 25% maior em relação à AvGas. No Quadro 4 está apresentada uma relação entre a razão de compressão e o consumo de combustível para diferentes aeronaves e respectivos motores, quando convertidos para operar com etanol.

Aeronave	Razão de compressão	Aumento de consumo quando o motor é convertido para operação com etanol
Pitts Special S2B	8,5:1	15 à 20%
SIAI – Marchetti SF260	8,5:1	15 à 20%
Pitts Special S1S	10:1	10 à 15%
Velocity	10,5:1	7 à 10%

Quadro 4- Comparativo de razões de compressão de motores de diferentes aeronaves em relação ao aumento de consumo de combustível.

Fonte: adaptado de Shauck & Zanin (1991).

Destes últimos dados pode-se concluir que a razão de compressão é fator predominante quando se trata de aumento de potência e redução de consumo, ou seja, melhoria de performance.

Portanto, tem-se mais um ponto importante que deverá ser levado em consideração quando da determinação das características construtivas do motor bem como dos fatores de influência. Por outro lado, pelo simples fato de o motor estar, ou ser preparado ou ainda projetado para o uso com etanol, é preponderante que seja avaliada a razão de compressão, pois o próprio combustível faz esta exigência.

2.4. NORMAS PARA HOMOLOGAÇÃO DE AERONAVES E MOTORES AERONÁUTICOS NO BRASIL

A ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil, que é o órgão responsável pela regulamentação das operações aeronáuticas de aviação civil no Brasil, elabora, regulamenta e controla a legislação vigente para homologação aeronáutica. Todo e qualquer procedimento de homologação de aeronaves segue procedimentos conforme o Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica, regido, definido e controlado pela ANAC.

Juntamente com os RBHA tem-se, ainda, o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil – RBAC que especifica documentos e ensaios a serem realizados. Os

RBHA e RBAC correspondentes à homologação, modificação, substituição e aplicação de motores em aeronaves são os listados abaixo (ANAC, 2010):

- RBAC nº 21: Certificação de produto Aeronáutico
 - -Sub parte 21.6: Fabricação de aeronaves, motores de aeronave ou hélices novos;
 - -Sub parte 21.128: Ensaio de Motores;
 - -Sub parte 21.25: Emissão de certificado de tipo: aeronave categoria restrita, item b número 1: Aeronaves para aplicações agrícolas;
- RBAC nº 33: Requisitos de Aeronavegabilidade - motores aeronáuticos.
- RBAC nº 36: Requisitos de Ruído para Aeronaves
 - -Sub parte 36.9: Aeronaves movidas a hélice, pequenas aeronaves e aeronaves de categoria restrita.
- RBHA nº 21: Procedimentos de Homologação de Produtos e Partes Aeronáuticas
 - -Sub parte 21.19: Modificações que requerem um novo certificado de homologação de tipo;
 - -Sub parte 21.21: Emissão de certificado de homologação de tipo: aeronaves categoria normal, utilidade, acrobática, transporte regional, transporte; balão livre tripulado; classes especiais de aeronaves; motores e hélices.

Conforme ICAO (2009) a homologação de motores aeronáuticos operando com etanol, no Brasil, poderá ser feita seguindo o Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica, seção 12.101 - RBHA21.101 que é baseado na regulamentação da *Federal Aviation Administration*, órgão Norte-Americano que regulamenta as operações aeronáuticas nos Estados Unidos, tal regulamentação tem código FAA AC21.101.

Conforme a ANAC (2010), os requisitos de aeronavegabilidade para homologação de motores aeronáuticos devem seguir integralmente o Regulamento Americano FAR 33 com todas as suas emendas e apêndices.

Além dos requisitos de ensaios, testes e avaliações efetuados, outros podem ser solicitados dependendo do nível de alteração ou complexidade do equipamento a ser homologado, fato este que mostra a preocupação do órgão com relação a itens novos ou de alta complexidade.

2.5. COMBUSTÍVEIS

Utiliza-se dois tipos de combustíveis para motores aeronáuticos a pistão em aviação agrícola, estes são distintos em termos de fonte de obtenção e também de características de combustão: o Etanol hidratado e a Gasolina de aviação, também denominada AvGas.

O etanol é um composto orgânico oxigenado de fórmula química C_2H_5OH . No Brasil é também utilizado como combustível automotivo em duas versões: álcool hidratado (em carros a álcool ou multicomcombustível) e álcool anidro (adicionado à gasolina na proporção de 25%). O primeiro tipo possui em torno de 7% de água na mistura, enquanto o segundo no máximo 0,7%, CTBE (2010). Segundo ANP (2010) o etanol hidratado é definido como AEHC – Álcool etílico Hidratado Combustível.

A gasolina de aviação, ou também conhecida como AvGas, sua sigla em inglês para *Aviation Gasoline*, é produto de destilação do petróleo, portanto, produto de origem fóssil, segundo ANP (2010). A gasolina de aviação é fabricada a partir de petróleo refinado utilizando vários processos para melhorar e manter a qualidade bem como o volume de combustível produzido, fornecendo ao mercado aeronáutico um combustível de qualidade assegurada e alta confiabilidade, Air BP (2010).

Conforme dados da ANP – Agência Nacional do petróleo e Biocombustíveis, até a metade do ano de 2010 haviam sido produzidos $19.089.270m^3$ de etanol hidratado, dos quais mais de 90% foram destinados a abastecimento de veículos. Em comparação a esse dado, a AvGas teve uma produção de $52.746m^3$, isto significa 0,27% do total de etanol produzido.

O Quadro 5 mostra a produção brasileira dos principais combustíveis utilizados em aviação, no Brasil, nos anos de 2008 e 2009 e a variação em percentual de aumento da produção entre esses períodos.

Combustível	Produção [x1000m3]		Variação 2008/2009
	Ano 2008	Ano 2009	
Etanol Hidratado	13.290	16.471	23,9%
QAV	5.227	5.428	3,8%
GAV	61	62	1,6%

Quadro 5 - Produção dos principais combustíveis utilizados em aviação no Brasil.
Fonte: Adaptado de ANP (2010).

Nota-se o aumento de produção de AvGas (indicada como GAV) de 1,6% enquanto que o etanol hidratado teve um aumento muito mais significativo, na ordem de 23,9%, o que indica uma forte aceleração tanto do consumo geral quanto da produção, seja de cana-de-açúcar ou do produto final, o etanol hidratado.

2.5.1. Gasolina de aviação

Desde os primeiros vôos, a partir de Santos Dumont em 1906, houve muito progresso tanto da estrutura quanto do desempenho de aeronaves e motores e dos combustíveis para estas aeronaves.

A gasolina de aviação teve que acompanhar a evolução da engenharia aeronáutica e mecânica e a formulação de um combustível especial, para ser utilizado em aeronaves, foi um grande marco também para a aviação mundial.

AvGas, ou GAV, é o tipo de combustível usado em aeronaves com motores a pistão. Como característica de todos os tipos de gasolina, seu ponto de fulgor é bastante baixo e é extremamente inflamável nas temperaturas normais de operação (PINHEIRO, 2010).

Para poder ser usada como combustível aeronáutico, a gasolina de aviação deve apresentar algumas características adicionais em comparação com gasolina automotiva, por exemplo, como: volatilidade e composição química para que garanta um longo período de armazenamento e evite a corrosão do motor da aeronave e do seu sistema de alimentação.

Atualmente, os dois principais tipos de AvGas comercializados internacionalmente são AvGas 100LL¹⁶ e AvGas 100.

Para facilitar sua identificação estes combustíveis contêm um corante artificial que os diferencia:

- AvGas 100LL - azul.
- AvGas 100 - verde

¹⁶ LL significa *Low Lead* que em português quer dizer baixa quantidade de chumbo, referente à menor quantidade de chumbo tetraetila neste combustível.

A gasolina de aviação deve conter certos tipos de hidrocarbonetos, produzidos de formas especiais. Nesses processos, é possível conseguir que a gasolina apresente um elevado valor de octanagem: por volta de 120.

Segundo Pinheiro (2010), alguns aspectos e características da AvGas são importantes para garantir o perfeito funcionamento do motor.

A máxima potência consegue-se com o aumento da relação de compressão e o enriquecimento da mistura ar/combustível no motor da aeronave. O aumento da razão de compressão do motor é limitado pela octanagem do combustível. Para o caso da gasolina de aviação existe a adição do chumbo-tetraetila - $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ - que, segundo Watherhouse (2010) é introduzido na formulação do combustível para evitar a detonação¹⁷ e auxiliar na lubrificação das hastes das válvulas e assentamento destas no cabeçote do motor.

A volatilidade do combustível deve ser bem especificada e controlada, pois o combustível deve entrar em combustão na forma de vapor, e caso a sua volatilidade seja baixa, o início da combustão fica prejudicado. Entretanto, se sua volatilidade for elevada, o combustível se vaporizará antes da entrada no motor dificultando o seu bombeamento, além do risco de queima fora da câmara de combustão. O intervalo de temperaturas de ebulição deve estar entre 30 e 150°C (PINHEIRO, 2010).

De acordo com Pinheiro (2010), o poder calorífico e a densidade relativa são responsáveis pela obtenção da máxima potência por unidade de massa/unidade de volume de combustível. Os hidrocarbonetos de baixa densidade relativa (parafinas) possuem a máxima energia térmica por litro. Os hidrocarbonetos de alta densidade relativa possuem a máxima energia por quilograma de combustível. No entanto a sua resistência a detonação é relativamente baixa impedindo o seu aproveitamento calorífico com altas relações de compressão.

O ponto de congelamento do combustível não deve ser superior a -60°C, para evitar a formação de cristais nos tubos de alimentação e filtros, pois as aeronaves que voam em elevadas altitudes, a temperatura pode atingir dezenas de graus abaixo de zero (PINHEIRO, 2010).

¹⁷ Detonação, segundo Heywood (1988), é quando a mistura ar/combustível queima de maneira desordenada e de forma muito rápida, ocasionando picos de pressão extrema dentro do cilindro. Ocorrendo por um período prolongado, poderá acarretar sérios danos à estrutura do motor.

Para o caso de aeronaves agrícolas esta condição dificilmente ocorrerá, pois as aplicações de agroquímicos, utilização contra incêndio ou povoamento de rios e nascentes, para exemplificar algumas aplicações bastante distintas, são executadas em baixas altitudes. Porém, esta característica deverá ser levada em consideração uma vez que esta aeronave poderá voar em maiores altitudes quando num traslado de uma cidade para outra até mesmo de um estado para outro, por exemplo.

Segundo Pinheiro (2010), todos os combustíveis denominados aeronáuticos apresentam um elevado índice de inflamabilidade, entretanto este é limitado por questões de segurança da tripulação da aeronave. O seu limite é estabelecido em normas específicas que regem a produção e as características desses produtos.

Para o aspecto da solubilidade em água, Pinheiro (2010) apresenta que a gasolina de aviação é essencialmente insolúvel. As aeronaves possuem os chamados drenos, que são equipamentos instalados nas partes mais baixas dos reservatórios de combustível, com a finalidade de efetuar a retirada de água destes reservatórios caso ocorra a presença desta.

A pressão de vapor da AvGas 100LL é próxima a 44 kPa a 38°C (ASTM 2009), característica que pode provocar o surgimento de bolhas de vapor nas tubulações de combustível, o que geram o chamado *vapor lock*, que é a interrupção do fornecimento de combustível ao motor e conseqüente falha deste (Pinheiro, 2010). Segundo Watherhouse (2010) os ensaios de certificação de aeronaves e motores que avaliam esta propriedade são efetuados à temperatura de 50°C, temperatura facilmente excedida em regiões quentes do Brasil como o Norte, Nordeste e Centro-oeste, nos casos em que a aeronave é pintada em cores escuras e permanecem expostas ao sol por um longo período.

Segundo Watherhouse (2010), a estabilidade e o armazenamento é ponto importante de ser observado e controlado, pois, como a AvGas apresenta elevada pressão de vapor, a sua estocagem por períodos mais prolongados em reservatórios nos aeroportos provoca perdas por evaporação, contaminando o meio ambiente, pois o vapor migra para a atmosfera provocando perdas financeiras por diminuição de produto estocado e tendo que ser repostos. Este problema é mais grave nas regiões Norte e Centro Oeste do Brasil, onde as temperaturas médias são elevadas durante grande parte do ano.

No Anexo E estão apresentados os dados para a gasolina de aviação que foram obtidos do fabricante SHELL (2010). A AvGas, a qual está referidos os dados, é a de 100 octanas com baixo teor de chumbo, indicado pelo código 100LL (100 = 100 octanas e LL = *low lead* que significa baixo teor de chumbo)

No Brasil, a PETROBRAS é a empresa que produz a AvGas e as características deste combustível são regidas pela ANP, segundo a RESOLUÇÃO ANP Nº 5, DE 3.2.2009 - DOU 4.2.2009 conforme apresentado no Anexo D.

A produção de AvGas no Brasil é feita pela Refinaria Presidente Bernardes Cubatão – RPBC, localizada no Estado de São Paulo. Esta refinaria é a responsável pela produção no país todo, o que explica, por exemplo, o desabastecimento que ocorreu no início do ano de 2010 devido a problemas técnicos na planta de produção, fazendo com que várias empresas aeroagrícolas e aeroclubes no país todo ficassem sem combustível, impossibilitando a operação e gerando incontáveis prejuízos (AEROAGRÍCOLA DO ALEGRETE, 2010). A localização de refinarias de produtos de petróleo está preferencialmente próxima aos centros produtores de petróleo, próximas ao litoral, pois o petróleo brasileiro é, na sua maioria, proveniente do mar, de bacias petrolíferas localizadas em alto mar, (ANP, 2009). Analisando-se a localização das refinarias e, considerando que apenas uma produz AvGas no Brasil, depreende-se o motivo dos altos preços deste combustível. Dificuldades logísticas de distribuição fazem com que os preços de frete sejam elevados, conseqüentemente quando agregados ao preço do produto, elevam-se os custos.

A Figura 17 mostra a evolução de produção de AvGas até o ano de 2008.

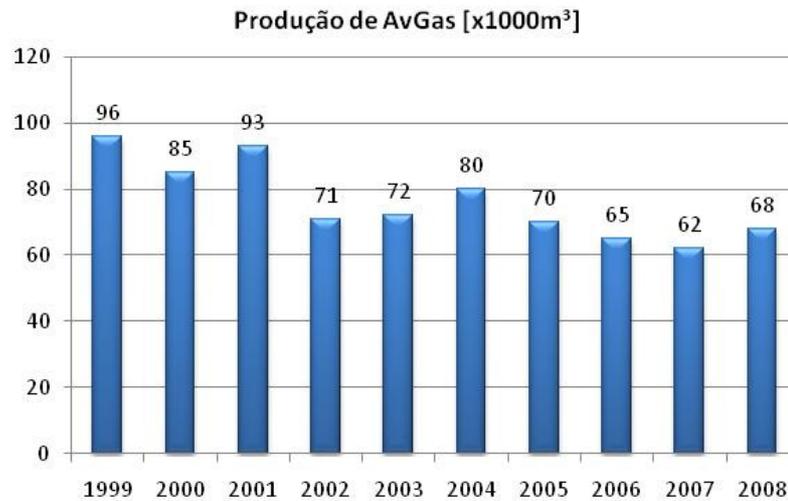


Figura 17 – Histórico de produção de produtos combustíveis de petróleo até o ano de 2008.

Fonte: ANP (2009).

Com relação ao consumo e venda de AvGas no Brasil, praticamente todo o território nacional tem demanda por este combustível. No Anexo E está mostrada a venda de AvGas por região do Brasil e por Estado até o ano de 2008.

Segundo a ANP (2009) a distribuição de AvGas no Brasil é realizada por 4 distribuidoras: BR (PETROBRAS), SHELL, AIR BP e GRAN PETRO.

A participação na comercialização e distribuição é bem distinta e a Figura 18 mostra a participação destas distribuidoras na venda total de AvGas no Brasil. Note-se que a Petrobrás, com a distribuidora BR (também conhecida como BR Aviation) ocupa o primeiro lugar em termos de distribuição de AvGas no território brasileiro, com mais de 54% de participação.

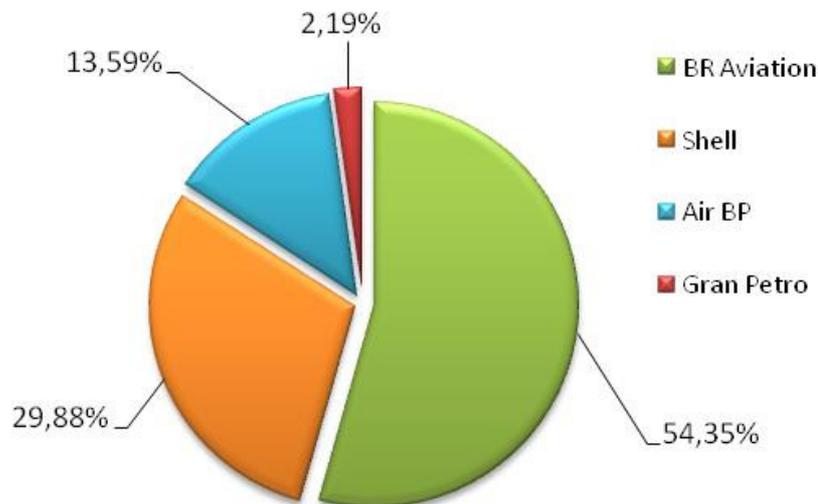


Figura 18 – Participação das distribuidoras de combustíveis no mercado de AvGas no Brasil.

Fonte: Adaptado de ANP (2009).

Segundo dados da ANP (2010), a gasolina de aviação atingiu, em 2009, uma produção de 52.746m³ e para o ano de 2010, com balanço realizado em agosto de 2010, a quantidade apurada até a data foi de 50.639m³.

Dados de consumo deste combustível pela frota de aeronaves estritamente agrícolas são bastante difíceis de serem identificados e coletados, pois, aeroclubes e aeroportos consomem também a AvGas, não sendo estratificado o consumo especificamente para aeronaves agrícolas.

2.5.2. Etanol

Mesmo após séculos de convívio e envolvimento com a agroindústria canieira, foi somente em meados da década de 20 que o etanol foi utilizado como combustível para motores de combustão interna no Brasil. A utilização de etanol como combustível foi em um motor Ford quatro cilindros e 3000 centímetros cúbicos de deslocamento volumétrico.

No período entre 1942 e 1946, com as dificuldades de abastecimento de petróleo e derivados provocadas pela II Guerra Mundial, a mistura de álcool carburante à gasolina chegou a alcançar 42%. Nas décadas de 1950 e 1960, porém, o álcool como carburante tornou-se menos interessante, tanto para o governo como para o empresariado do setor. Reduziu-se sensivelmente o percentual da mistura, atingindo, no início da década de 1970, 2,9% em todo o país e 7% na cidade de São Paulo (Biodiesel BR, 2010).

Em meados da década de 1970, uma nova inversão da conjuntura econômica internacional, com a queda do preço externo do açúcar e o aumento do preço do petróleo, criou as bases para o retorno do álcool combustível à matriz energética nacional, inclusive com a introdução do uso exclusivo do etanol como carburante.

Em outubro de 1973, o cenário mudou e o mundo se viu ante o risco de desabastecimento energético. Foi o primeiro choque do petróleo que reacendeu o interesse mundial por fontes alternativas de energia e levou vários países a buscarem soluções mais adequadas, considerando-se as peculiaridades nacionais. A crise internacional elevou os gastos do Brasil com importação de petróleo de US\$ 600 milhões em 1973 para US\$ 2,5 bilhões em 1974. O impacto provocou um déficit na balança comercial de US\$ 4,7 bilhões, resultado que influiu fortemente na dívida externa brasileira (da época e futura) e na escalada da inflação, que saltou de 15,5% em 1973 para 34,5% em 1974 (Biodiesel BR, 2010).

O programa denominado Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL é, destacadamente, o maior e mais duradouro esforço mundial na substituição de combustíveis fósseis por combustíveis de fontes renováveis (NITSCH, 1991), e teve início devido a uma crise de petróleo que estourou no ano de 1973 a nível mundial, porém, somente no Brasil efetivamente fez-se algo realmente significativo para obter uma fonte de energia renovável e, principalmente, uma alternativa ao uso do petróleo.

Ainda segundo Nitsch (1991), o programa encontrou forças para sua ascensão a partir do mesmo ano de 1973 quando o preço do açúcar caiu no mercado internacional, culminando justamente com a alta no preço do barril de petróleo. Desde os anos 30 (Grande depressão de 30) o setor sucro-alcooleiro desviava o excedente de produção de açúcar para a produção de álcool anidro que

poderia, e era, adicionado à gasolina até uma proporção de 22%, fato este que auxiliava na redução do preço do combustível fóssil.

Nitsch (1991) destaca também que além destes, outros fatores deram embasamento suficiente para iniciar e manter o PROÁLCOOL, que em 1975 teve seu lançamento pelo então presidente Ernesto Geisel através do Decreto nº76.593, de 14/11/1975. O Centro Tecnológico da Aeronáutica – CTA foi a instituição base para o desenvolvimento de motores movidos a etanol hidratado (94%) e a Divisão de Motores do Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA, pela referência que esse Instituto tinha como órgão de pesquisa e desenvolvimento de motores no país, foi responsável pelos estudos, ensaios e testes para o desenvolvimento dos motores e da tecnologia. Por fim, as montadoras, até então relutantes na produção de veículos a etanol, renderam-se à nova tecnologia e em 1980 inicia-se a produção dos denominados “carros a álcool” no Brasil, tornando o país pioneiro mundialmente nesta tecnologia e, vale ressaltar, que foi criada dentro de uma instituição ligada e direcionada à aviação, o CTA.

Entre 1983 e 1988, mais de 90% dos automóveis vendidos no País eram movidos a etanol. Quando os preços do petróleo começaram a cair, no fim da década de 80, a produção do etanol hidratado declinou. Ao fim da década de 90, apenas cerca de 1% dos carros vendidos tinham motores a álcool (NITSCH, 1991).

A partir de então, o consumo de álcool apresentou queda gradual. Os motivos passam pela alta no preço internacional do açúcar, o que desestimulou a fabricação de álcool. Com o produto escasseando no mercado, o Governo brasileiro iniciou a importação de etanol dos Estados Unidos, em 1991, ao tempo que ia retirando, progressivamente, os subsídios à produção, promovendo a quase extinção do PROÁLCOOL. (NITSCH, 1991)

A queda no uso deste bicomcombustível também foi ocasionada, ao longo da década de 1990, aos problemas técnicos nos motores a álcool, incapazes de um bom desempenho nos períodos frios, principalmente problemas para dar partida nestes motores, onde era necessário o uso de gasolina e nem sempre o procedimento era eficaz.

Na aviação brasileira, o etanol teve sua primeira utilização em 1981 quando o motor Lycoming IO-540-K, que equipa os T-25 Universal – Aeronave de treinamento da Academia da Força Aérea foi convertido para etanol, com o objetivo de redução

do custo operacional no treinamento de pilotos. O vôo de demonstração desse novo combustível utilizado pela Força Aérea foi em dezembro de 1985 (IAE ,2010).

Logo após este período inicia-se a queda de preço do petróleo desacelerando as pesquisas e desenvolvimentos dos motores a etanol para aviação, ficando estagnado por um longo período.

2.5.2.1. Produção do etanol no Brasil

No Brasil o etanol é produzido através da fermentação do caldo da cana, via ação de leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae*. Em outros países se utiliza milho (EUA e China), beterraba (União Européia), mandioca, trigo e uva como matéria-prima.

A maioria desses vegetais, entretanto, possui desvantagens em relação à cana, pois para produzir etanol a partir deles é preciso primeiro transformar o amido em açúcar para depois fermentá-lo em etanol. Esta etapa adicional diminui o rendimento do processo e aumenta os custos de produção. Nos Estados Unidos gasta-se 1 unidade de energia equivalente de combustível fóssil para gerar 1,3 unidades de etanol, no Brasil, a mesma unidade produz entre 8 e 9 unidades de etanol de caldo de cana (CTBE ,2010).

Segundo a UNICA (2010a), há mais de 500 anos, o açúcar tinha valor tão alto quanto o do ouro em toda a Europa, porque sua produção era limitada a quantidades que não supriam a demanda do mercado. Assim, o plantio de cana-de-açúcar era um negócio bastante rentável, mas que não era possível de se realizar na Europa, principalmente, por questões climáticas.

Atualmente no Brasil a cana-de-açúcar ocupa cerca de sete milhões de hectares ou cerca de 2% de toda a terra arável do País, fato este que faz com que o Brasil seja o maior produtor mundial, seguido pela Índia, Tailândia e Austrália, respectivamente em segundo, terceiro e quarto lugares.

As principais regiões de cultivo no Brasil são a Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, permitindo até duas safras por ano, isso permite que durante todo o ano o Brasil produza açúcar e etanol para abastecer o mercado interno e também exportar sua produção.

Para gerenciar e equilibrar a produção e as demandas setoriais, a iniciativa privada tem procurado criar instrumentos de mercado, como operações futuras e desenvolver novas oportunidades para o açúcar e etanol, por meio da queda das barreiras protecionistas e do empenho em transformar o etanol numa *commodity* ambiental, (ÚNICA, 2010a).

A Figura 19 apresenta o mapa de produção de cana-de-açúcar no Brasil.

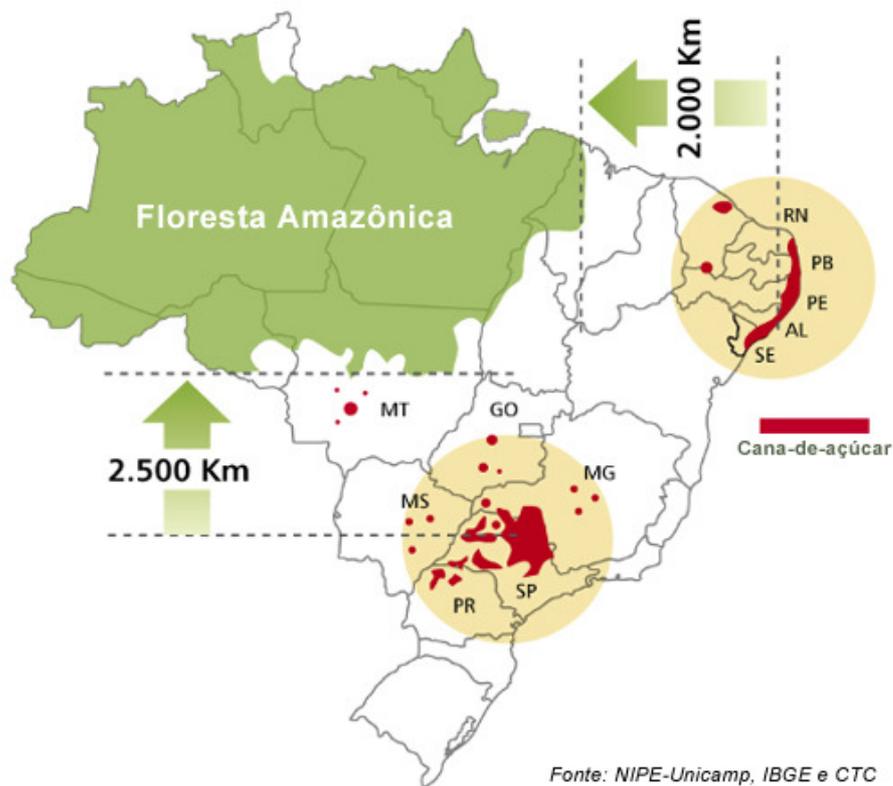


Figura 19 – Regiões de produção de cana-de-açúcar no Brasil.
Fonte: UNICA (2010b).

O etanol é produzido em diferentes regiões e estados do Brasil, diferentemente da gasolina de aviação que é produzida por uma refinaria apenas. Esta distribuição geográfica das regiões produtoras de etanol gera facilidades em termos de logística de distribuição do produto para o restante do território Brasileiro.

A Figura 20 mostra o aumento de usinas produtoras de cana-de-açúcar comparando-se os anos de 2008 e 2009. Observa-se a implantação de 11 novas usinas produtoras de etanol, representando um crescimento de 2,6% no número de unidades em operação no Brasil.

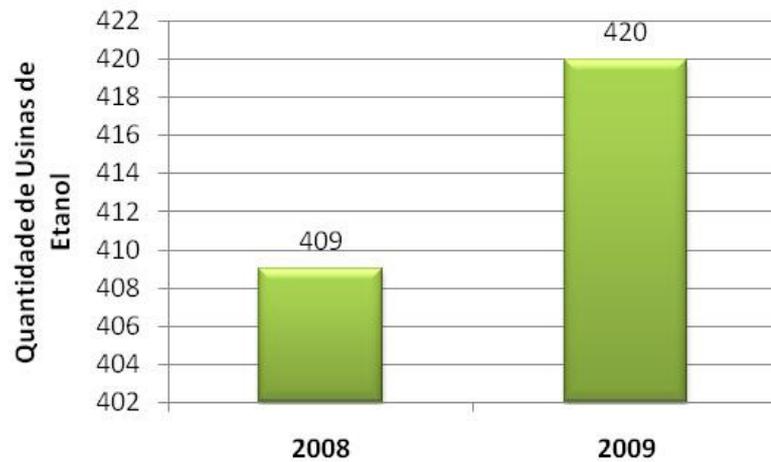


Figura 20 – Crescimento da quantidade de usinas de etanol no Brasil em 2008 e 2009.

Fonte: Adaptado de ANP (2010).

Segundo dados da ANP (2010), praticamente todo o território nacional está coberto pela produção e distribuição de etanol, conforme pode ser verificado no Anexo F, fator positivo quando se fala em motores a etanol, e a acessibilidade ao combustível é fator preponderante quando da escolha, principalmente para aeronaves agrícolas que, em muitos casos, operam em áreas longínquas às grandes cidades e aeroportos onde se tem acesso à AvGas.

2.5.2.2. Propriedades do etanol

O etanol possui uma propriedade interessante para motores em geral que é a alta tolerância a água, segundo Silveira (2004) testes realizados em motores mostraram que misturas de etanol com até 18% de água foram capazes de manter tais motores em funcionamento.

A octanagem relativa¹⁸ do etanol é superior à da AvGas, conforme Watherhouse (2010), o que é vantajoso para uso aeronáutico pois há a possibilidade de aumento de razão de compressão e, conseqüentemente, aumento de eficiência

¹⁸ Octanagem relativa do etanol é o termo utilizado para comparar com a octanagem da gasolina ou mesmo AvGas. O etanol não possui componentes do tipo iso-octanos, que dão a propriedade de aumento de resistência a detonação para o caso das gasolinas, então, não se pode utilizar o termo “octanagem” para etanol.

do motor. Tal “octanagem” relativa do etanol atinge valores próximos a 140 enquanto a AvGas é da ordem de 100 octanas (a AvGas 100LL consumida e produzida no Brasil).

A pressão de vapor do etanol (12,0kPa) é bastante inferior à da AvGas (44,0kPa) o que é fundamental para evitar o problema de bolhas de vapor dentro da tubulação de alimentação de combustível para o motor, evitando o *vapor lock*.

As especificações técnicas do etanol hidratado no Brasil são regidas pela ANP e estão descritas no 0. Tais especificações se aplicam para o Álcool Etílico Anidro Combustível e para o Álcool Etílico Hidratado Combustível, segundo ANP (2010).

Conforme definições da ANP (2010), a determinação das características do produto seguirão as Normas Brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e/ou das normas da “*American Society for Testing and Materials - ASTM*”.

O preço do etanol hidratado difere de região para região do Brasil, por motivos de capacidade de processamento, produção de cana-de-açúcar, distribuição e outros fatores inerentes à produção e distribuição.

A Figura 21 apresenta, até o ano de 2008, os preços médios em R\$ de etanol para cada região do Brasil.

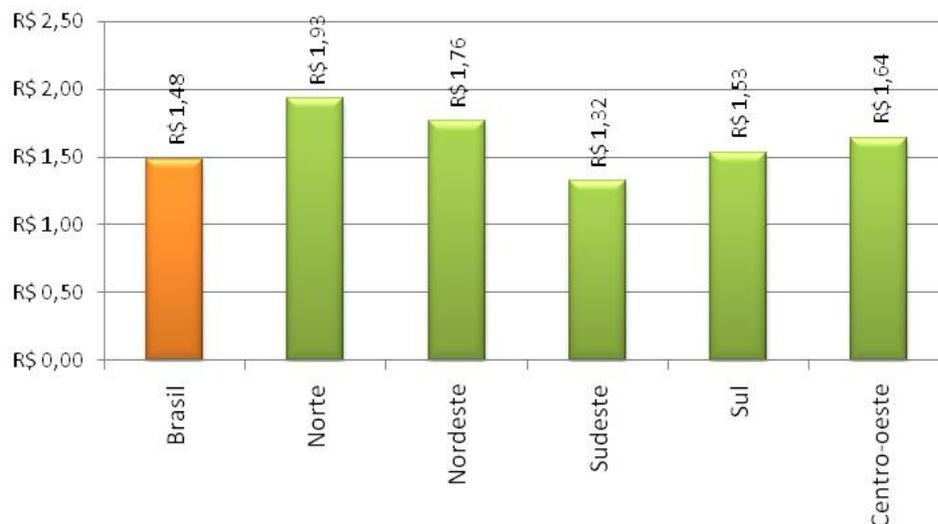


Figura 21 – Preço médio em R\$ de etanol por região do Brasil.
Fonte: Adaptado de ANP (2009).

Existe uma tendência de queda dos preços devido à novas usinas de produção de etanol entrando em operação anualmente no país e também devido ao aumento de produtividade da cana-de-açúcar em função de novas tecnologias agregadas ao trabalho no campo, porém, não se tem mais dados ou perspectivas destas reduções nem mesmo quando iniciarão.

2.5.2.3. Etanol x AvGas – um comparativo financeiro-operacional

Em matéria publicada no sítio da empresa Agrolink (www.agrolink.com.br) é apresentada uma comparação entre os custos operacionais de aeronaves voando com etanol e com AvGas.

O Quadro 6 apresenta estes dados.

	Descrição	Etanol [R\$]	Av-Gas [R\$]
Custos diretos	Combustível 1	90,00	280,00
	Óleo 2	5,00	5,00
	Mão de Obra 3	12,00	12,00
	Peças de Reposição	12,00	12,00
	Reservas para Revisão	3,60	3,60
	Motor 4	41,66	41,66
	Hélice 5	4,50	4,50
	Acessórios de Motor	15,00	15,00
Total de Custos Diretos p/ hora		183,76	373,76
Custos indiretos	Piloto (autônomo)	60.000,00	60.000,00
	Amortização (50% em 10 anos)	38.500,00	38.500,00
	Juros sobre 80% do capital (10,75 % anual)	66.220,00	66.220,00
	Seguro Anual (4% do valor do bem)	30.800,00	30.800,00
Total de Custos Indiretos (500 horas)		195.520,00	195.520,00
Total de Custos Indiretos. por hora		391,04	391,04
Custos Totais p/ hora voada		574,80	764,80
Dados básicos para cálculo	Consumo de combustível	90 L/h	70 L/h
	Consumo de óleo (incluindo troca)	1L cada 3h	1L cada 3h
	Mão de obra - custo/hora	R\$ 40,00	R\$ 40,00
	Volume de mão de obra aplicado	0,3 h/h vôo	0,3 h/h vôo
	Tempo de Revisão do Motor	1.500 h	1.500 h
	Revisão de Hélice	1.500 h	1.500 h
	Valor do Bem até a data	770.000,00	770.000,00

Quadro 6 – Comparativo de custo operacional entre Etanol e AvGas.

Fonte: Adaptado de Agrolink (2010).

Dos dados apresentados pode-se concluir que operacionalmente o etanol é mais vantajoso, reduzindo-se o custo operacional em quase R\$200,00/h voadora, o que impacta significativamente nos custos finais de operação de empresas aeroagrícolas.

Obviamente estes valores estão diretamente ligados ao preço tanto do etanol quanto da AvGas, que podem variar significativamente de região para região do Brasil.

Em relação ao aspecto operacional de motores aeronáuticos a etanol, Watherhouse (2010) apresenta alguns aspectos importantes do uso do etanol e os cuidados que se deve ter quando desta circunstância.

Não somente os dutos de combustível e o reservatório devem ser modificados, mas também deve-se ter especial atenção a filtros, bomba de gasolina e alguns detalhes importantes como efetuar recobrimento de níquel-químico em alguns componentes fabricados em alumínio, aço carbono, magnésio, zamak e bronze, por exemplo, que são encontrados em sistemas de combustível de aeronaves.

Whaterhouse (2010) faz menção, também, a alguns outros detalhes importantes que certamente servirão de base para a determinação dos fatores de influência, a própria bomba de combustível da aeronave que foi ensaiada pelo autor não sofreu proteção contra corrosão e teve desgaste prematuro, sendo sugerido sua substituição em 500 horas ou 6 meses de utilização.

2.6. PROJETO DE PRODUTO

2.6.1. Processo de desenvolvimento de produto

O Processo de Desenvolvimento de Produto, ou PDP como também é conhecido, apresenta as diretrizes para a evolução da criação e comercialização de produtos industriais. Para definir-se um produto industrial a seguir é feita uma breve introdução sobre o tema onde noções básicas de produtos são abordadas.

Desde os primórdios das civilizações o homem produz desde suas ferramentas e armas para caçar e se defender até seus utensílios para cozinhar e viver. Isto significa afirmar que desde muito tempo o homem se utiliza de criar algo para auxiliar em sua vida e sua sobrevivência.

Este processo de criação, produção e invenção foi ao longo dos tempos sofrendo evoluções, de maneira que chegamos aos tempos modernos com a necessidade de gerenciar este processo criativo e inventivo. O estudo mais sistemático do processo de desenvolvimento (ou projeto) de produtos ocorreu a partir da década de 1960, segundo Back et alii (2008).

Um produto pode ser definido, conforme o autor, como:

O termo produto refere-se a um objeto concebido, produzido industrialmente com características e funções, comercializado e usado pelas pessoas ou organizações, de modo a atender a seus desejos ou necessidades. (Back et alii, 2008, pág 04).

Back et alii (2008) definem, também, os novos produtos em três categorias distintas e decorrentes da origem dos mesmos, determinando o que pode-se denominar de tipologia de projeto:

- Variantes dos produtos existentes: como o próprio nome já diz, é uma variante de forma, cor, versões modificadas e pequenas alterações de função;
- Inovativos: são produtos modificados a partir de algum produto existente gerando novas versões com alto valor agregado, quanto maior a inovação maior o custo e o tempo de desenvolvimento.
- Criativos: são produtos totalmente novos que requerem tempo e custo de desenvolvimento geralmente elevados e podem, na maioria das vezes, abrir novos mercados e potencializar novos campos industriais. Ao mesmo tempo podem ser de risco elevado pela característica inovadora deste produto e gerar a necessidade de quebra de paradigmas.

Um produto é fruto de uma transformação de informações em algo material. Tais informações formam o conjunto de uma quantidade de dados obtidos ao longo de todo o desenvolvimento, dados estes referentes desde à utilização do produto,

aspectos mercadológicos, seu ciclo de vida, requisitos para atendimentos às necessidades dos clientes, entre outros.

A Figura 22 mostra, de maneira simplificada, as entradas, o processo de transformação e a saída no desenvolvimento de um produto.



Figura 22 – Representação simplificada do processo de criação de um produto industrial.

As informações obtidas para o desenvolvimento são, muitas vezes, resultado de pesquisa e coleta de dados diretamente com usuários, com fornecedores, com o mercado de um modo geral, pesquisa sobre normas e legislação pertinentes ao produto ou operação com tal equipamento.

Segundo Back et alii (2008) para que um produto possa ser desenvolvido é necessário *saber o que fazer, para quem fazer, quando fazer, com quem fazer e como fazer*, todas estas questões compõe a metodologia para o desenvolvimento de projetos e suas respostas é que vão dar o direcionamento para o projeto do produto.

O ciclo de vida de um produto é, segundo Gouvinhas e Cauchick Miguel (2010), muito similar à vida dos seres vivos, onde há uma geração, um crescimento, amadurecimento e posterior declínio até findar sua existência. São quatro as etapas do ciclo de vida de um produto, segundo o autor:

- **Introdução:** etapa de lançamento do produto no mercado, onde os investimentos são altos em desenvolvimento, propaganda e marketing, a produção ainda é baixa e, normalmente, gera preços finais mais altos ao consumidor;

- **Crescimento:** esta etapa é caracterizada pelo aumento da demanda do produto, os investimentos em divulgação podem ser reduzidos pois o produto já é “conhecido”.
- **Maturidade:** é a etapa onde a taxa de crescimento das vendas se estabiliza, os concorrentes já garantiram uma fatia do mercado e os consumidores procuram por preços menores;
- **Declínio:** esta etapa caracteriza-se pelo decréscimo nas vendas dos produtos podendo atingir até a parada de produção e retirada deste do mercado. Este ponto depende da característica e aplicabilidade de cada produto, podendo durar alguns meses ou até mesmo décadas.

A Figura 23 apresenta a curva típica do ciclo de vida de um produto.

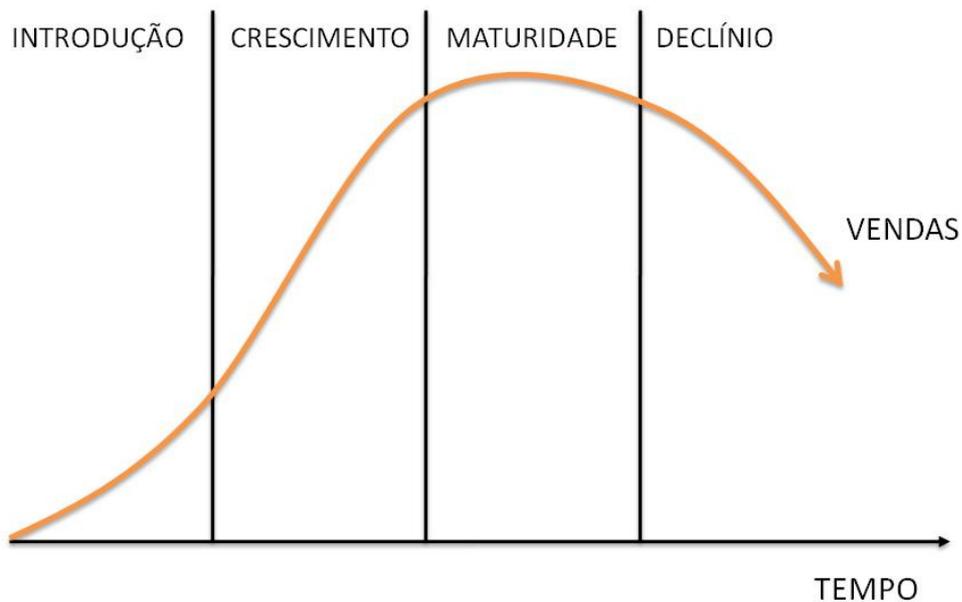


Figura 23 – Ciclo de vida do produto na perspectiva de mercado.
Fonte: Adaptado de Gouvinhas e Cauchick Miguel (2010).

Pode-se concluir, então, que todo produto industrial tem um ciclo de vida, mais longo ou mais curto, dependendo diretamente das características deste produto, do mercado pretendido, de suas funcionalidades e da capacidade da empresa de mantê-lo competitivo frente aos concorrentes que surgirão.

Outro ponto importante e que deve ser sempre avaliado e intensamente discutido é a questão dos custos envolvidos no desenvolvimento de produtos. Tais valores são determinantes para o tempo de duração do ciclo de vida do produto também, visto que preço é, se não o item mais importante, um dos mais avaliados pelos consumidores e pode definir e/ou acelerar o declínio de um produto.

A fase de projeto, onde mais efetivamente se faz a concepção do produto, do desenvolvimento do produto como um todo é a principal fase para o sucesso ou fracasso deste, uma vez que a grande parte dos custos envolvidos está localizada nesta etapa do desenvolvimento.

A Figura 24 apresenta o comprometimento do custo envolvido no desenvolvimento conforme cada etapa do projeto.

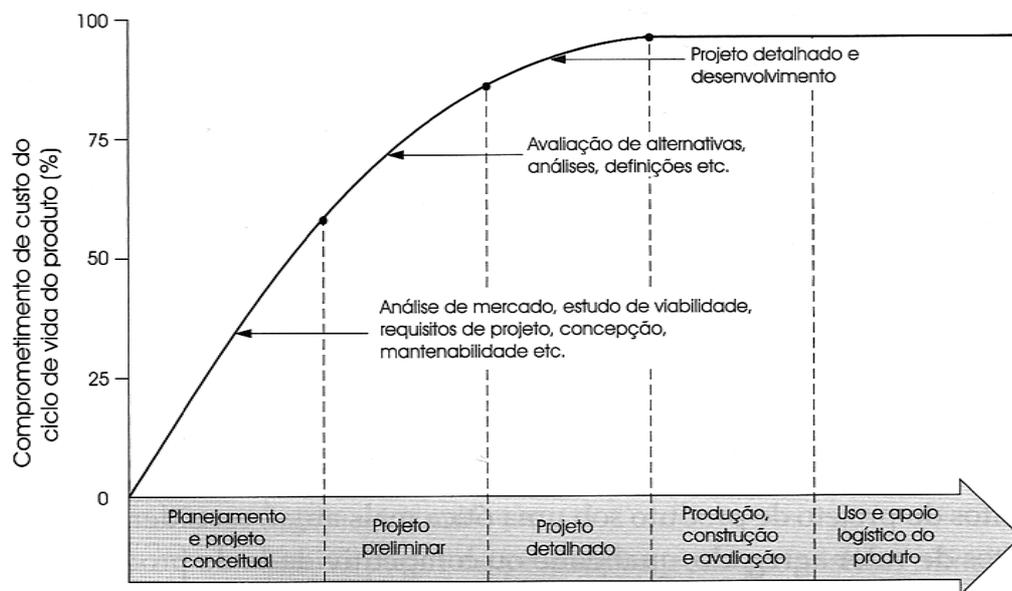


Figura 24 – Impacto das fases do desenvolvimento do produto no seu custo.
Fonte: Downey (1969) apud Back et Alii (2008).

A Figura 25 apresenta a influência sobre o custo de desenvolvimento que cada setor da empresa representa, em termos contábeis.

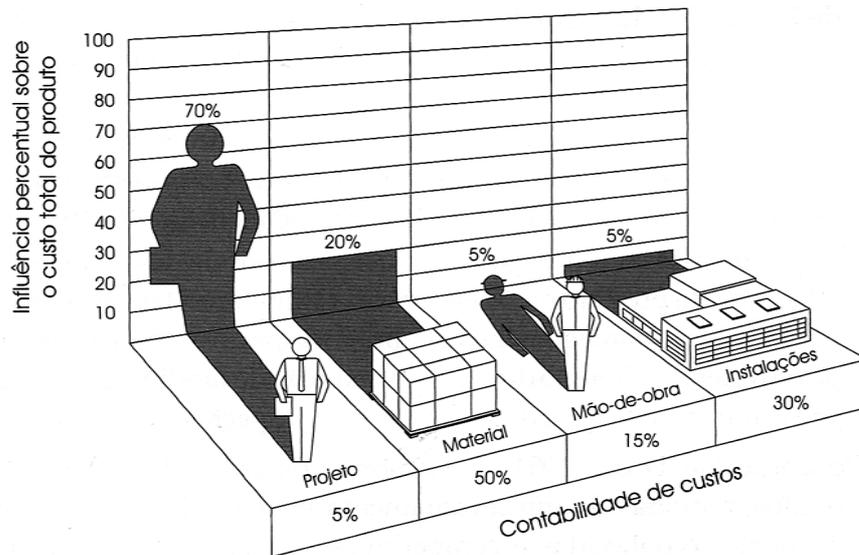


Figura 25 – Influência sobre o custo do produto dependendo de cada área da empresa.

Fonte: Smith e Reinerstein (1991) apud Back et alii (2008).

A Figura 24 apresenta o comprometimento do custo conforme as etapas do seu ciclo de vida vão avançando. Observa-se que mais de 50% do custo está ligado à fase inicial, denominado pelo autor como planejamento e projeto conceitual. Isso pelo fato de o planejamento ser fundamental para o restante do desenvolvimento, é nele onde as diretrizes do projeto e a maioria das definições, tanto do produto material quanto de aspectos mercadológicos e estratégias de venda, por exemplo, são estabelecidas.

A Figura 25 apresenta o custo do produto conforme cada área envolvida, observa-se que a área de projeto (ou equipe de projeto) representa apenas 5% do custo envolvido, porém, pode interferir de maneira que o custo final do produto depende aproximadamente 70% das definições tomadas nesta etapa e por esta equipe.

Os sistemas técnicos

Denomina-se Sistemas Técnicos o conjunto de peças, mecanismos, estruturas e sistemas capazes de desempenhar tarefas determinadas. Segundo Pahl

et alii (2005) a solução de problemas técnicos é feita com o auxílio de tais sistemas técnicos, que podem variar desde um simples parafuso ou rebite até estruturas complexas como uma planta industrial de processamento de petróleo, por exemplo.

Um sistema técnico é composto por, além de seus componentes e sistemas mecânicos, componentes de monitoramento e controle, desde os mais simples como uma chave liga-desliga até mais complexos com funções variadas para o acompanhamento da função pretendida e controle na execução das tarefas, segundo Pahl et alii (2005). Em função da tarefa pretendida, da conversão de energia necessária, do controle e monitoramento exercidos num sistema técnico, entende-se o sistema como um conversor de energia, material e sinal, onde a energia é o necessário para a sua movimentação ou execução da tarefa, o material é o que é transformado e o sinal o que é informado para início da tarefa, por exemplo.

Desta maneira, Pahl et alii (2005) apresenta, conforme pode ser observado na Figura 26, estas conversões e interações num sistema técnico onde há estas conversões.



Figura 26 – Conversão de energia, material e sinal de um sistema técnico complexo. Fonte: adaptado de Pahl et alii (2005).

A metodologia de desenvolvimento de projetos

Devido à importância em colocar no mercado um produto que tenha aceitação, que cubra lacunas existentes neste espaço do mercado e suas funcionalidades sejam reconhecidas e desejadas, surge a necessidade de criação de procedimentos e regras para tal desenvolvimento.

Segundo Pahl et alii (2005), pode-se entender por Metodologia de Projeto um procedimento planejado com indicações concretas de condutas a serem observadas no desenvolvimento e no projeto de sistemas técnicos. Esta sistematização de tarefas e condutas tem por objetivo despertar as habilidades individuais de cada membro da equipe de projeto, potencializar sua criatividade e habilidade de avaliação dos resultados, culminando para uma coesão entre os membros da equipe e um melhor andamento do desenvolvimento do produto.

A atividade crucial no desenvolvimento de um produto e na solução de tarefas consiste num processo de análise e um subsequente processo de síntese que passa por etapas de trabalho e de decisão. Em geral, os procedimentos iniciam-se de forma *qualitativa*, tornando-se cada vez mais concretos e, portanto, *quantitativos*. (Pahl et alii, 2005, pág 87).

A terminologia da palavra PROJETO, segundo o dicionário Aurélio da língua portuguesa, advém da palavra em latim *projectu* e significa “lançado adiante, idéia que se forma de executar ou realizar algo no futuro; plano, intento, desígnio, empreendimento a ser realizado dentro de determinado esquema”.

Segundo PMBOK (2000), projeto é definido como um esforço temporário com início estabelecido e objetivos definidos para produzir um produto.

A complexidade envolvida no desenvolvimento de produtos e sistemas técnicos é, muitas vezes, devido ao envolvimento de diferentes domínios de conhecimento bem como a necessidade de desenvolver tais produtos em um curto espaço de tempo, com alta qualidade e custos reduzidos. Todos esses fatores interferem para o sucesso do produto no mercado e exige planejamento, pesquisa, controle e uso de ferramentas de gerenciamento por parte da organização responsável pelo desenvolvimento.

A utilização de tais ferramentas organiza e direciona o projeto como um todo, facilitando a resolução de problemas e a tomada de decisão no decorrer do andamento e evolução do projeto, de maneira mais rápida e eficiente.

Segundo Ferreira et alii (2010), o ato de projetar é um conjunto de várias fontes de conhecimento, e aí a importância da interação entre áreas de conhecimento, que está dentro da equipe de projeto. Tal conhecimento é fruto do desenvolvimento prático de cada membro da equipe, assim como do aprendizado em função de projetos anteriores, de relação com clientes e fornecedores, da

formação de cada membro da equipe que poderá ser adquirida dentro ou fora da empresa, até mesmo o conhecimento e o aprendizado junto ao produto de concorrentes e de documentos de patentes de invenção.

A organização da equipe de projeto, as atividades a serem realizadas, as etapas e resultados, organizados e gerenciados formam a base de um sistema de desenvolvimento de projetos, conhecido como PDP – Processo de Desenvolvimento de Produtos o qual é fonte rica de investigação por vários autores e que desenvolveram, cada um, suas teorias e abordagens a respeito do assunto, como pode ser visualizado na Figura 27.

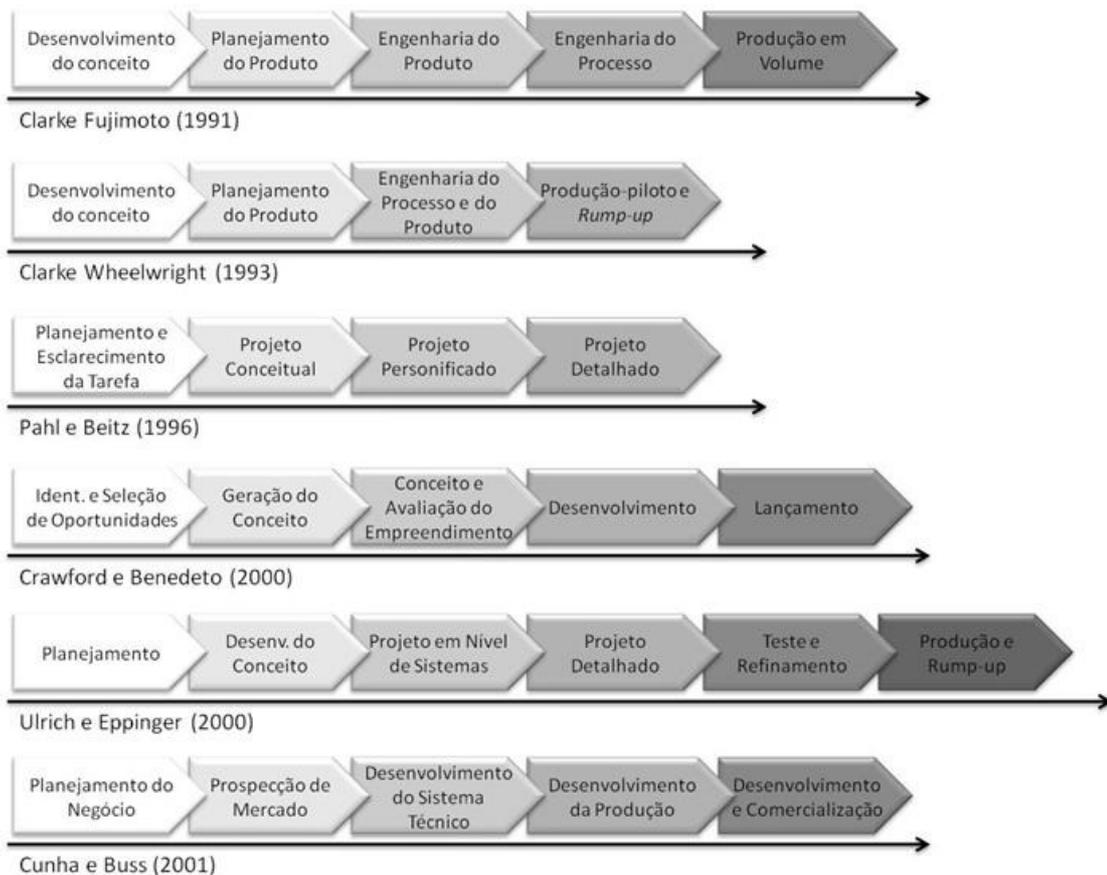


Figura 27 – Divisão do PDP em fases.
Fonte: Codinhoto (2003) apud Ferreira et alii (2010).

Como visto na Figura 27, o processo de desenvolvimento de produtos é abordado e entendido de várias maneiras e aqui está apresentado por seis autores. Romano (2003) aborda o PDP de maneira a direcionar o desenvolvimento para o

campo dos projetos em máquinas agrícolas e denominou este como MR-PDMA – Modelo de Referência para o Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas, o qual será explorado no decorrer deste trabalho.

Uma metodologia para desenvolvimento de produtos deverá, também, trazer a responsabilidade sobre os custos e sobre a qualidade do produto aos membros da equipe, segundo Pahl et alii (2005), e, ainda conforme o autor, será direcionada para:

- Possibilitar um procedimento orientado por problemas, ou seja, ser aplicada em princípio em qualquer atividade de projeto, independente da especialidade;
- Incentivar invenções e conhecimentos, facilitar a busca de soluções ótimas;
- Ser compatível com conceitos, métodos e conhecimentos de outras disciplinas (multidisciplinaridade da equipe de projeto);
- Não gerar soluções somente por acaso;
- Permitir uma fácil transferência das soluções de tarefas semelhantes;
- Ser apropriada para ser utilizada no computador;
- Ser possível de ser ensinada e aprendida;
- Estar em conformidade com conhecimentos da psicologia cognitiva e da ergonomia, ou seja, facilitar o trabalho, economizar tempo, evitar decisões erradas e arregimentar colaboradores ativos e interessados;
- Facilitar o planejamento e o controle do trabalho em equipe num processo integrado e multidisciplinar de geração de produto;
- Ser orientação e diretriz para os gerentes de projeto de equipes de desenvolvimento.

Pahl et alii (2005) apresenta a interação entre áreas do conhecimento, fator fundamental para a formação de uma equipe de projeto multidisciplinar. A Figura 28 mostra estas áreas.



Figura 28 – Interação entre áreas de conhecimento para desenvolvimento de projetos.

Fonte: Pahl et alii (2005).

2.6.2. O Processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas

Um produto industrial requer desenvolvimento, avaliações e gerenciamento de cada etapa até seu lançamento e comercialização, possui um ciclo de vida bem determinado e conhecido. Um produto industrial classificado como agrícola, ou seja, para utilização com finalidades agrícolas não é diferente e requer o mesmo desenvolvimento, avaliações, e gerenciamento de um outro produto industrial qualquer, com suas particularidades para a utilização a que se destina.

Segundo Romano (2003), o procedimento para o desenvolvimento de máquinas agrícolas é, no Brasil, ainda algo a ser melhorado, não existe nestas empresas a cultura de ter uma metodologia estabelecida para tal desenvolvimento, baseada em fundamentos de engenharia de desenvolvimento que realmente supram as necessidades tanto das empresas quanto dos usuários. O desenvolvimento de um produto é baseado, muitas vezes, em tentativa e erro, onde as empresas não adotam e não utilizam procedimentos ou uma sistemática para o desenvolvimento de

tais produtos e, muitas vezes, este “desenvolvimento” é baseado na experiência de colaboradores mais antigos e no *know how* da própria empresa.

Conforme relatado por Romano (2003) é notória a informalidade do processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas (PDMA) praticado em grande número de empresas desde segmento industrial.

Aliado a essa não prática de utilização de metodologias de desenvolvimento, o autor relata ainda a ausência de material bibliográfico a respeito de tais desenvolvimentos de produtos agrícolas, o que culmina para o empirismo e o isolamento de cada empresa, isolamento no sentido da tentativa de fazer por si própria o produto, utilizando o método da tentativa e erro.

Nem todas as empresas de equipamentos agrícolas os desenvolvem e produzem nas condições citadas anteriormente, é claro que há casos em que os produtos são extremamente bem definidos, dimensionados e avaliados, onde seguiu-se uma determinada metodologia, é o caso de empresas produtoras de tratores e colhedoras autopropelidas, como cita Mialhe (1974), que muito desta evolução deve-se à evolução também dos métodos e procedimentos para o desenvolvimento de produtos, absorvidos por tais empresas.

Outro ponto importante de ser abordado é o que o agricultor, ou produtor rural, representa no desenvolvimento de uma máquina agrícola, pois muitas das soluções utilizadas em produtos desta natureza surgiram da necessidade e da vivência destes agricultores com as máquinas no seu dia-a-dia, onde muitas vezes eles próprios fazem as alterações que julgam necessárias para as “melhorias”.

O autor, em sua tese, propôs o que denominou de MR-PDMA que é o Modelo de Referência para o Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas. Neste modelo de referência ele aborda todos os passos do desenvolvimento de um produto para aplicação agrícola, desde as etapas iniciais de preparação do projeto com avaliações de mercado, estudo de concorrentes, objetivos e metas da empresa até a fase final de produção deste produto e lançamento no mercado, com acompanhamento e pós-venda.

O modelo de referência está subdividido em três macro-fases distintas e subsequentes que são:

- **Planejamento:** representa a elaboração do plano do projeto com a coleta das primeiras informações sobre o produto e orienta a gestão sobre o desenvolvimento do projeto.
- **Projeção:** representa o processo de desenvolvimento propriamente dito do produto bem como o planejamento da manufatura e os recursos necessários para os fins.
- **Implementação:** representa a produção, apresentação do produto ao mercado (marketing e venda) e o acompanhamento do seu desempenho quando em operação.

Cada uma destas macro fases está subdividida em fases distintas e bem definidas, de maneira a orientar e organizar o trabalho de desenvolvimento de um produto industrial agrícola. Cada fase possui suas respectivas entradas de informação, essas informações são processadas e há as saídas destas fases, onde há a geração de mais informações pertinentes ao projeto e também documentação para registros das atividades e tarefas.

Explorando-se mais profundamente a fase de Projeção, que é um dos objetivos específicos deste trabalho, identifica-se a necessidade de entendimento sobre a tipologia de projeto, ou seja, qual o nível de detalhamento necessário em cada projeto e o tipo de projeto propriamente dito pretendido por uma empresa.

Back et alii (2008) já havia definido três categorias para os tipos de projeto que foram citadas no item 2.6.1, Romano (2003) direcionou essa tipologia para seu trabalho de elaboração do MR-PDMA e definiu que os projetos podem ser classificados também conforme sua tipologia e estão representados pela Figura 29 que ilustra cada tipo conforme a classificação e complexidade.

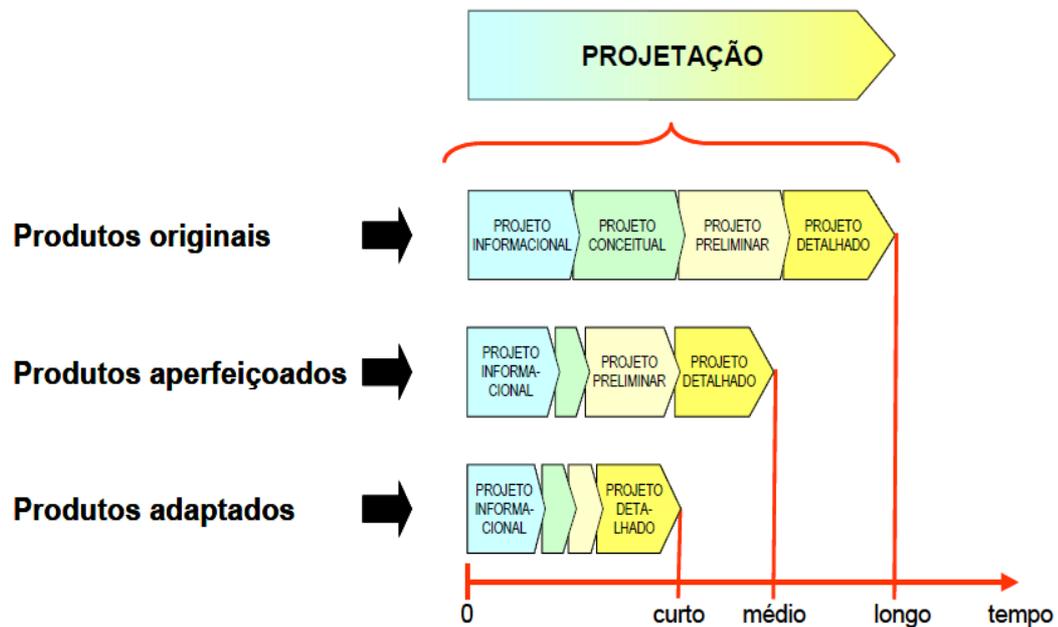


Figura 29 – Tipologia de projeto do MR-PDMA.
Fonte: Romano (2003).

Depois de exploradas as fases e tipologia de projeto, procura-se entender o que cada uma destas fases representa e o que cada uma delas retorna de concreto à equipe de projeto, ou seja, as saídas de cada uma destas fases o que representa no projeto.

A Figura 30 apresenta a estrutura básica do MR-PDMA mostrando cada fase com suas respectivas saídas.



Figura 30 - Estrutura básica do MR-PDMA com as fases e suas respectivas saídas.
Fonte: Romano (2003).

As saídas de cada fase

Romano (2003) define as saídas de cada uma das fases, que representam a síntese do trabalho realizado dentro de cada etapa do desenvolvimento.

Estas saídas indicam o resultado a ser avaliado para a tomada de decisão sobre a continuidade, ou não, do desenvolvimento do projeto, havendo a necessidade de serem avaliadas conforme as propostas do projeto. Estas avaliações são:

- Aprovação da saída e conseqüente mudança para a fase seguinte;
- Aprovação com restrição e conseqüente retrabalho e nova submissão para aprovação;
- Reprovação com conseqüente encerramento do projeto, seja este encerramento temporário (como uma suspensão momentânea das atividades) ou definitivo.

A Figura 31 representa cada fase e suas respectivas saídas, dentro do modelo de referência proposto por Romano.

FASE	SAÍDAS	DESCRIÇÃO
1 – Planejamento do Projeto	Plano do Projeto	Documento formal e aprovado, usado para gerenciar e controlar a execução do desenvolvimento da máquina agrícola.
2 – Projeto Informacional	Especificações de Projeto	Documento formal e aprovado, que apresenta os objetivos que a máquina deve alcançar, de modo a atender aos requisitos dos clientes e/ou usuários. As especificações de projeto são usadas para orientar o desenvolvimento dos projetos conceitual, preliminar e detalhado da máquina agrícola.
3 – Projeto Conceitual	Concepção da Máquina Agrícola	Documento formal e aprovado, que apresenta a concepção escolhida para a máquina (viabilidade técnica), de modo a atender às especificações de projeto, e portanto, aos requisitos dos clientes. Usado para orientar o desenvolvimento dos projetos preliminar e detalhado da máquina agrícola.
4 – Projeto Preliminar	Viabilidade Econômica	Documento formal e aprovado, usado para determinar a viabilidade econômica de se desenvolver a máquina agrícola.
5 – Projeto Detalhado	Solicitação de Investimento	Documento formal e aprovado, usado para descrever e solicitar os investimentos necessários à implementação da produção da máquina agrícola.
6 – Preparação da Produção	Liberação do Produto	Documento formal e aprovado, usado para descrever e liberar o produto para lançamento.
7 – Lançamento	Liberação do Lote Inicial	Documento formal e aprovado, usado para liberar o lote inicial produzido para comercialização.
8 – Validação	Validação do Projeto	Documento formal e aprovado, usado para validar o projeto e registrar o aceite do resultado do projeto.

Figura 31 – Fases e suas respectivas saídas e seu descritivo, estrutura do MR-PDMA.

Fonte: Romano (2003).

Verifica-se que cada fase possui uma saída como sendo um documento formal do projeto o qual é avaliado e recebe aprovação para a continuidade e passagem à fase seguinte.

2.6.2.1. Os domínios de conhecimento

A formação da equipe de projeto é fundamental para o sucesso e andamento dos trabalhos durante o desenvolvimento. Uma equipe multidisciplinar é requerida e desejável de maneira que os conhecimentos de cada membro, sejam conhecimentos profissionais ou de sua própria experiência de vida, sejam agregados e utilizados para o bom desenvolvimento dos trabalhos.

Back et alii (2008) informa que a equipe de projetos deverá, na medida do possível, representar os usuários, de maneira a expressar os desejos e necessidades, expressar o conhecimento específico e também especializado necessário ao projeto e importante para as tomadas de decisão. O autor ainda afirma que a formação da equipe de projeto está diretamente relacionada à natureza do projeto, às tarefas a serem executadas e deverá ser a equipe definida na fase inicial do projeto, de planejamento, onde este tipo de definição deve ser feita.

Romano (2003) relaciona os domínios de conhecimento com os setores funcionais da empresa, com o objetivo de efetuar um aproveitamento das habilidades e conhecimento de cada pessoa membro da equipe, como é apresentado a seguir:

- Gestão Empresarial - GE: envolve conhecimento para a tomada de decisão por parte da diretoria da empresa;
- Gerenciamento de Projeto - GP: envolve o conhecimento para a iniciação, o planejamento, o desenvolvimento (execução e controle) e o encerramento do projeto;
- Marketing - MK: envolve o conhecimento para a pesquisa de mercado, planejamento de marketing, a propaganda e a programação de venda do produto;
- Projeto de Produto - PP: envolve as atividades do projeto do produto propriamente ditas, referentes à engenharia de desenvolvimento;

- Projeto de Manufatura – PM: envolve as atividades que tratam do processo e implementação do produto na linha de produção;
- Suprimentos – SU: envolve atividades relativas aos materiais/suprimentos, desenvolvimento de fornecedores e logística de um modo geral;
- Qualidade - QU: envolve as atividades relativas ao controle de qualidade e atendimento aos requisitos de qualidade;
- Segurança - SE: envolve as atividades relativas à segurança do produto;
- Dependabilidade – DP: envolve as tarefas relativas a confiabilidade e manutenibilidade do produto bem como as questões relativas a assistência técnica;
- Administrativo-Financeiro – AF: envolve as atividades relacionadas às questões administrativas, financeiras e também jurídicas da empresa;
- Produção – PR: envolve as atividades referentes à implementação do plano de manufatura na fábrica e também das questões relativas à produção do produto;
- Pós-Vendas – PV: envolve as atividades relativas ao atendimento das questões ocorridas com o produto após a saída deste da fábrica, ou seja, após a sua comercialização, ocorrências em campo¹⁹.

A Figura 32 apresenta a estrutura básica do MR-PDMA com o desmembramento em macro fases, fases e cada domínio de conhecimento listado anteriormente pertencente à cada fase e sua respectiva duração no decorrer do desenvolvimento do projeto.

¹⁹ Ocorrências em campo significam que o produto já está em uso pelo cliente.

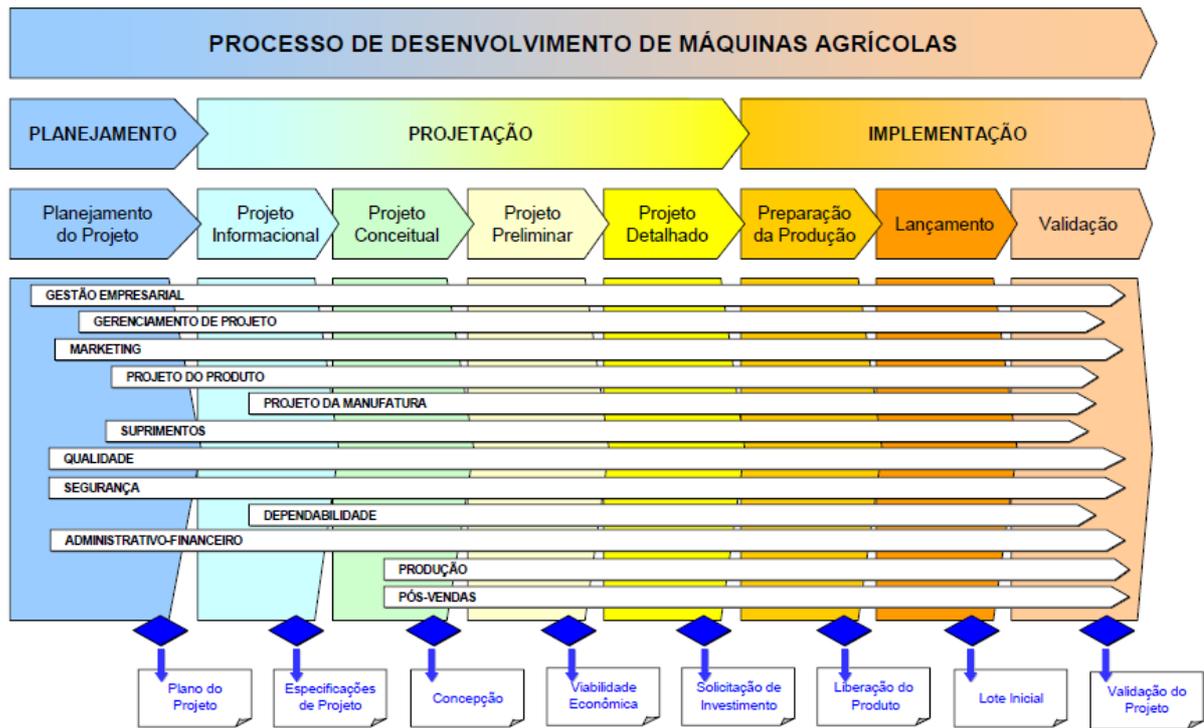


Figura 32 – MR-PDMA e os domínios de conhecimento envolvidos em cada fase do desenvolvimento.

Fonte: Romano (2003).

Observa-se que a maioria das atividades referentes à cada domínio de conhecimento começam nas etapas iniciais do projeto, isso devido às definições prévias necessárias em cada área envolvida do projeto.

2.6.2.2. Os fatores de influência

Segundo Marini (2007), os fatores de influência são definidos como:

Os fatores de influência no projeto são considerações pertinentes a aspectos do desenvolvimento ou da utilização da máquina agrícola que direcionam o estabelecimento de especificações de projeto e devem servir de diretrizes para estabelecer a estrutura funcional da mesma. Marini (2007, p. 16).

Os fatores de influência, portanto, são definidos como informações cuja análise cria bases seguras para a realização de ações e de tomadas de decisão para o andamento do projeto (ROMANO, 2003).

Um dos pontos abordados neste trabalho é a fase de Projeto Informacional, onde os fatores de influência são definidos e explicitados e suas classes são definidas.

A Figura 33 mostra o desmembramento da macro fase de projeção e identifica as fases de Projeto Informacional e Projeto Conceitual com as respectivas saídas.



Figura 33 – Desmembramento da macro fase de projeção.
Fonte: Adaptado de Romano (2003).

Observa-se que dentro da fase de Projeto Informacional, a principal saída desta fase são as Especificações do Projeto, nas quais a equipe de projeto se baseia para o desenvolvimento da máquina ou do sistema técnico.

Para melhor entendimento da sequência dos passos a serem desenvolvidos num PDMA tem-se a Figura 34 como ilustração, identificando, simplificada, a sequência de tarefas a serem efetuadas na fase de Projeto Informacional. Nesta fase tem-se a determinação dos fatores de influência no projeto que geram, como saída, as especificações deste projeto que, na fase posterior de Projeto Conceitual, serão utilizadas para elaborar a estrutura de funções do sistema técnico em questão.



Figura 34 – Desmembramento da fase de Projeção, Projeto Informacional e Projeto Conceitual.
 Fonte: Adaptado de Marini (2007).

Segundo Marini (2007), a determinação dos fatores de influência significa a identificação das propriedades dos elementos do ciclo de vida (projeto como um todo, desde a identificação das necessidades até a utilização do produto em campo) que possam influenciar no alcance dos objetivos do projeto.

Marini (2007) avaliou as cinco categorias dos fatores que influenciam no projeto, cada uma destas categorias (ou fatores de influência) está subdividida em classes, como apresentado no Quadro 7.

Categoria	Classe
Plano do Projeto	Planejamento de Marketing
	Envolvidos no Projeto
	Declaração do Escopo
	Detalhamento do Escopo
Exame do Escopo do Projeto	Sistema de Cultivo
	Processo Operacional
	Interferências e Limites
	Requisitos Energéticos
	Subsistemas
	Tipologia de Projeto
	Sistema de Cultivo
Caracterização do Ambiente Operacional	Clima e Ambiente
	Solo
	Planta
	Insumo
	Campo
	Acoplamento
Crítérios de Homologação	Dimensões Físicas e Acoplamentos
	Adequação ao Processo
	Adequação ao Controle
	Adequação à Segurança
	Dimensões Físicas e Acoplamentos
	Adequação ao Processo
Análise Comparativa das Máquinas	Dimensões Físicas
	Acoplamentos
	Conversão Primária
	Conversão Secundária
	Capacidade de Suprimento
	Capacidade de Processo
	Adequação ao Processo
	Adequação ao Controle
	Adequação à Segurança

Quadro 7 – Categorias e classes dos fatores de influência.

Fonte: Adaptado de Marini (2007).

Outro ponto importante para a determinação dos fatores de influência é a criação da estrutura de decomposição do sistema técnico.

Tal estrutura de decomposição fornece informações importantes sobre a estrutura física do sistema e interferências²⁰ entre os subsistemas que compõe esta máquina ou equipamento.

Para o caso de um distribuidor de fertilizantes, Marini (2007) propôs uma estrutura de decomposição parcial. A Figura 35 apresenta esta estrutura.

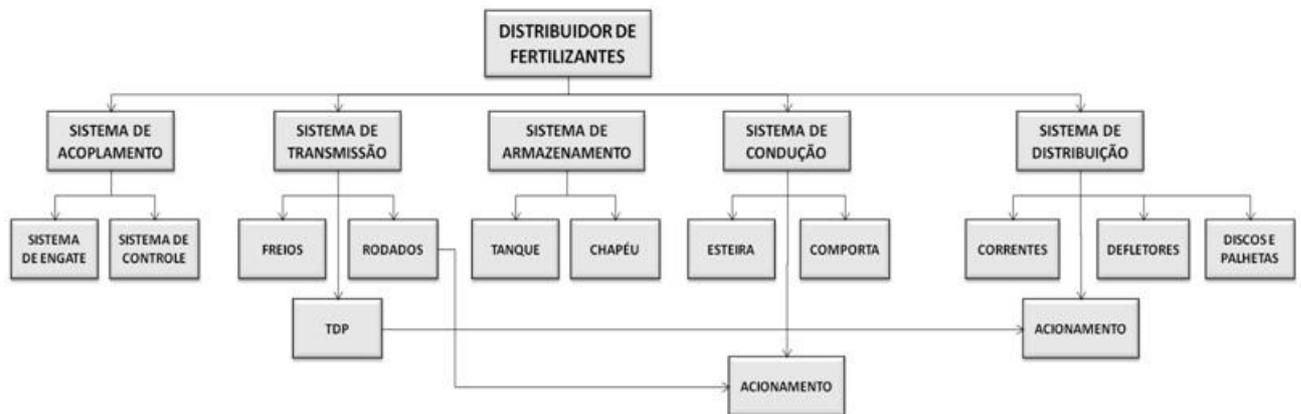


Figura 35 – Estrutura parcial de decomposição do distribuidor de fertilizantes.
Fonte: Adaptado de Marini (2007).

Conforme esta estrutura parcial, o distribuidor é o item principal (o sistema completo) da árvore, sendo divididos em subsistemas, apresentados no segundo nível e posteriormente em partes e componentes que exercem funções específicas, no terceiro nível, tendo-se assim uma visão completa da estrutura básica do equipamento.

Desta maneira, conclui-se que os Fatores de Influência no Projeto são a diretriz para a elaboração das Especificações de Projeto. Tais fatores de influência são utilizados desde as fases iniciais do projeto até o final do mesmo, na fase de acompanhamento do produto em campo, de maneira a identificar se o que foi definido e especificado está em conformidade com o projeto, segundo Marini & Romano (2009).

²⁰ Interferência aqui significa como um subsistema se relaciona ou interfere na operação de outro subsistema.

2.6.3. Domínios de conhecimento no desenvolvimento do projeto de motores aeronáuticos para aviação agrícola

Os domínios de conhecimento necessários para o desenvolvimento de motores aeronáuticos a etanol para aplicação na aviação agrícola abrangem três áreas que são: Engenharia Mecânica, Engenharia Aeronáutica e Engenharia Agrícola.

Da Engenharia Mecânica têm-se os conhecimentos de assuntos relacionados à termodinâmica (troca de calor, balanceamento térmico e energético, etc), Projeto de máquinas (todos os assuntos relacionados desde o gerenciamento de projetos até partes mais específicas como elementos de máquinas e mecanismos, materiais de construção mecânica, etc), Máquinas motores e equipamentos como um todo, desde seu funcionamento até estudo da aplicabilidade de cada um e suas especificações e requisitos e ainda o estudo de energias envolvidas, energia fornecida pelo combustível, que na combustão transforma-se em energia mecânica de movimento.

Da engenharia Aeronáutica tem-se o estudo de assuntos relacionados à propulsão aeronáutica e motores alternativos, todos os aspectos relacionados a motores que são empregados em aeronaves, desde suas especificações até normas para homologação.

Da Engenharia Agrícola tem-se os assuntos relacionados a maquinaria agrícola, pois aviões agrícolas são classificados, além de aeronaves, como máquinas agrícolas que executam funções específicas na agricultura.

A Figura 36 identifica as áreas e apresenta a interação entre elas, bem como relaciona cada subárea envolvida.

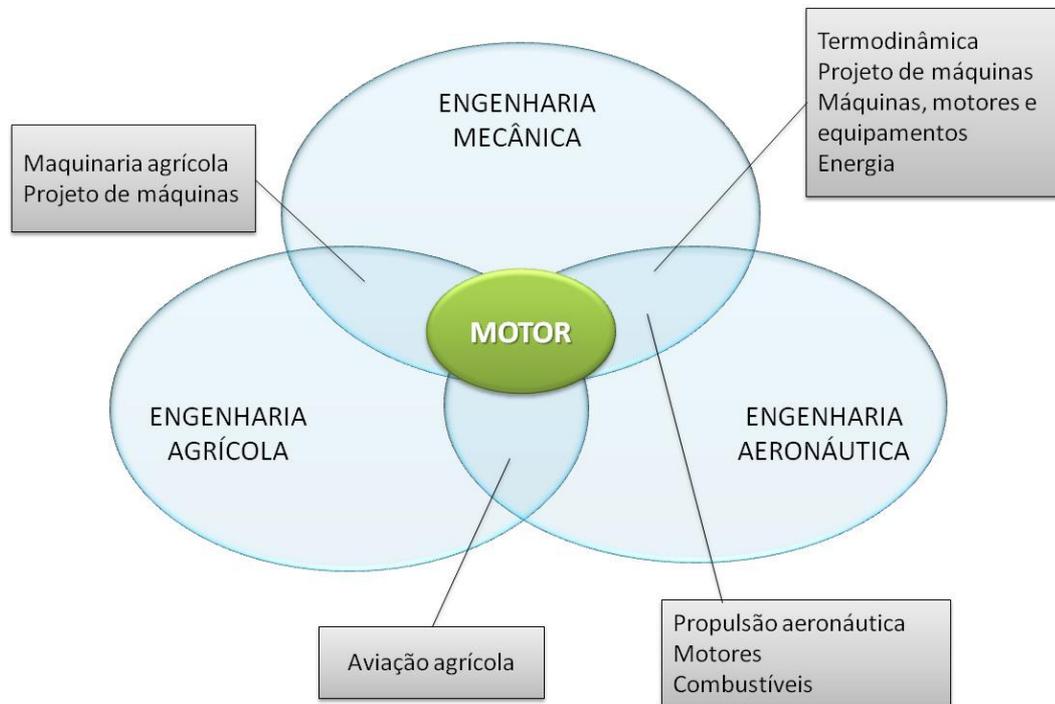


Figura 36 – Mapeamento das áreas do conhecimento envolvidas no projeto de um motor aeronáutico a etanol para aplicação em aeronaves agrícolas.

Capítulo 3

METODOLOGIA

3.1. DELINEAMENTO DA PESQUISA

Considerando o objetivo a ser alcançado neste trabalho, o tipo de pesquisa empregada refere-se à pesquisa exploratória que, segundo Gil (2002), visa proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito de modo a fundamentar a construção de hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e, também, análise de exemplos que estimulem a compreensão.

Assim, o presente trabalho traduz-se em pesquisa realizada, com posterior tratamento e apresentação de dados, informações e conhecimentos relativos à aviação agrícola, motores, combustíveis e suas características técnicas e operacionais, de forma sistematizada.

3.2. PESQUISA EXPLORATÓRIA

A pesquisa exploratória tem como objetivo, segundo Gil (2002) proporcionar maior familiaridade com o problema a ser estudado a fim de torná-lo mais explícito facilitando seu entendimento e proporcionando a formação de idéias e a formulação de conceitos.

Tais pesquisas normalmente envolvem um levantamento da literatura e informações existentes, entrevistas com pessoas envolvidas com o assunto e que possam trazer suas experiências e também avaliações de exemplos e problemas

similares ou situações que tragam informações pertinentes e importantes de serem avaliadas.

Para desenvolvimento do presente estudo, a metodologia será baseada na pesquisa exploratória da literatura a cerca de motores de combustão interna, motores aeronáuticos e operação de aeronaves agrícolas e suas características técnicas e operacionais.

As informações foram verificadas em literatura técnica especializada, manuais técnicos de motores e aeronaves e também informações coletadas na internet.

3.3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o levantamento de informações na pesquisa exploratória envolveu a realização de consultas em artigos técnicos, artigos científicos, manuais de operação e manutenção de motores e aeronaves agrícolas, textos obtidos na internet em sítios de empresas e órgãos governamentais. Livros texto sobre assuntos relacionados ao tema, dissertações e teses também foram utilizadas como fonte de consulta.

As informações coletadas estão apresentadas de maneira a explicitar os pontos de interesse que são:

- Dados sobre aviação agrícola no Brasil: frota e aeronaves em operação;
- Dados técnicos de aeronaves em operação no Brasil;
- Dados técnicos e informações de motores aeronáuticos;
- Motores aeronáuticos operando com etanol;
- Gasolina de aviação e etanol: dados técnicos, produção no Brasil, preços e informações gerais;
- Operações aeroagrícolas;
- Projeto de produto e sistemas técnicos;

De posse destas informações é possível montar as tabelas com os dados a fim de apresentar, de maneira organizada, os pontos de interesse do objetivo principal do trabalho, que é o levantamento dos fatores de influência para o projeto

de motor a etanol para aeronaves agrícolas e também os objetivos específicos que são os dados de motores aeronáuticos e aeronaves agrícolas.

O Modelo de Referência para o Desenvolvimento de Projeto de Máquinas Agrícolas – MR-PDMA, proposto por Romano (2003) e desmembrado por Marini (2007) fornecem subsídios para a elaboração dos fatores de influência no projeto. Estes dois autores apresentam a estrutura básica de montagem dos fatores de influência e direcionam os dados obtidos na pesquisa de forma a organizar as informações conforme cada assunto e objetivo.

Tais fatores de influência estão apresentados em quadros e são configurados de maneira a apresentar a classe, a propriedade e a descrição de cada um deles.

Marini (2007) apresentou a configuração básica dos quadros dos fatores de influência que foi seguida neste trabalho, a Figura 37 mostra esta configuração.

Axx [Categoria, Classe] Nome da classe	Axxx [Categoria, Classe, Propriedade]	O formato da descrição descreve a comunicação feita (destaque no verbo) e a coisa tratada (destaque no substantivo).	
	Propriedade	Informação pertinente a um fator de influência manifesta na forma de uma descrição.	[“a”] Qualidades
		Informação pertinente a um fator de influência manifesta na forma de uma medida	[“++”] Especificações
		Informação descritiva pertinente a um fator de influência que pode ser convertida em medida	[“a”] → [“++”]

Figura 37 – Configuração básica do quadro de apresentação dos fatores de influência.

Fonte: Marini, 2007.

Os objetivos específicos estão apresentados de maneira descritiva, com ilustrações, tabelas e quadros apresentando as informações relativas a cada ponto de interesse, ressaltando informações relevantes à elaboração de um banco de dados para projetos e pesquisas futuras, bem como servindo de base para a determinação dos fatores de influência, como objetivo principal do trabalho.

Marini (2007) explorou e detalhou o que foi apresentado por Romano (2003) em termos dos fatores de influência e suas classes e desenvolveu seus estudos de maneira a adequar e direcionar o levantamento de tais fatores no projeto para

utilização no desenvolvimento de máquinas agrícolas Os fatores de influência e as classes identificadas nesta pesquisa, dentro da macro fase de Projetação, incluem:

- Exame do Escopo do Projeto
 - Sistema de Cultivo;
 - Processo Operacional;
 - Interferências e Limites;
 - Requisitos Energéticos;
 - Subsistemas;
 - Tipologia de Projeto.
- Caracterização do Ambiente Operacional
 - Clima e Ambiente;
 - Solo;
 - Planta;
 - Insumo;
 - Campo;
 - Acoplamento.
- Critérios de Homologação
 - Dimensões Físicas e Acoplamentos;
 - Adequação ao Processo;
 - Adequação ao Controle;
 - Adequação à Segurança.
- Análise Comparativa das Máquinas
 - Dimensões Físicas;
 - Acoplamentos;
 - Conversão Primária;
 - Conversão Secundária;
 - Capacidade de Suprimento;
 - Capacidade de Processo;
 - Adequação ao Processo;
 - Adequação ao Controle;
 - Adequação à Segurança.

O projeto de engenharia de uma máquina agrícola qualquer e de um motor a etanol difere, e muito, em termos de requisitos, especificações, normas e aplicabilidade do produto, porém, a metodologia é perfeitamente aplicável, visto que ambos são projetos de engenharia e partem de uma idéia até chegar em um produto final, a ser disponibilizado ao mercado, possuem um ciclo de vida e precisam de gerenciamento em todas as etapas do desenvolvimento. Enfim, ambos são sistemas técnicos que transformam energia, material e sinal, aos quais se aplicam as diretrizes de desenvolvimento e gerenciamento de projeto de produtos.

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da pesquisa exploratória realizada, os quais servem de base para a fundamentação de conceitos acerca de motores aeronáuticos operando com AvGas e etanol, suas características e especificações bem como as normas de homologação no Brasil para estes equipamentos.

4.1. CARACTERÍSTICAS DAS AERONAVES AGRÍCOLAS NO BRASIL

A avaliação das características das aeronaves agrícolas que operam no Brasil parte de um levantamento a respeito da capacidade de carga de cada uma delas, potência do motor, tipo de motor que equipa as aeronaves e quantidade de cada modelo de aeronave em operação.

O Quadro 8 apresenta as principais características das aeronaves agrícolas em operação no Brasil.

Aeronave	Motor	Potência [kW]	Capacidade de Carga [kgf]	Quantidade em operação
Air Tractor AT-401	Pratt&Whitney R1340 (Radial 9 cilindros)	447	1640	26
Air Tractor AT-402	Pratt&Whitney PT6A-11AG (Turbo hélice)	410	2041	25
Air Tractor AT-502	Pratt&Whitney PT6A-15AG (Turbo hélice)	507	2451	24
Air Tractor AT-503/504	Pratt&Whitney PT6A-34AG (Turbo hélice)	559	2200	1
Air Tractor AT-802	Pratt&Whitney PT6A-65AG (Turbo hélice)	966	4307	8

Continua

Continuação

Aeronave	Motor	Potência [kW]	Capacidade de Carga [kgf]	Quantidade em operação
Cessna A-188 AgWagon	Continental IO-520-D (6 cilindros)	224	576	30
Cessna A188B / C AgTruck / AgHusky	Continental IO-520-D (6 cilindros)	224	576	186
Thrush S-2R	Pratt&Whitney R-1340-AN1 (Radial 9 cilindros)	447	1044	18
Piper PA-18-150	Lycoming O-320 (4 cilindros)	112	313	5
Piper PA-25-235 Pawnee	Lycoming O-540-B2C5 (6 cilindros)	175	731	76
Piper PA25-260 Pawnee	Lycoming O-540-G2A5 (6 cilindros)	194	647	35
Piper PA36-300 Brave	Lycoming IO-540-K1G5 (6 cilindros)	224	957	17
Piper PA36-375 Brave	Lycoming IO-720-D1CD (8 cilindros)	280	1000	6
Callair A-9B	Lycoming IO-540-B2B5 (6 cilindros)	224	908	4
Gipsland GA-200	Lycoming IO-540-K1A5 (6 cilindros)	224	1146	1
Gipsland GA-200C	Lycoming IO-540-K1A5 (6 cilindros)	224	1146	2
Neiva EMB-200 Ipanema	Lycoming O-540H2B5 (6 cilindros)	194	660	32
Neiva EMB-200A Ipanema	Lycoming O-540H2B5-D (6 cilindros)	194	660	9
Neiva EMB-201 Ipanema	Lycoming O-540-K1J5D (6 cilindros)	224	865	151
Neiva EMB-201A Ipanema	Lycoming O-540-K1J5D (6 cilindros)	224	835	383
Neiva EMB-202 Ipanema	Lycoming IO-540-K1J5	224	835	311
Neiva EMB-202A Ipanema	Lycoming IO-540-K1J5 ²¹ (6 cilindros)	239	835	62
Grumman G-164 AgCat	Pratt&Whitney R-985 (Radial 9 cilindros)	336	820	5
Grumman G164A Ag Cat	Pratt&Whitney R-985 (Radial 9 cilindros)	447	820	5
PZL-106 BT-601 Turbo Kruk	WALTER M601D-1 (Turbo hélice)	552	1330	4
Antonov AN-2-P	PZL ASz-62IR (Radial 9 cilindros)	736	2050	7
PZL M18-A Dromader	WSK "PZL-Kalisz" ASz-62IR (Radial 9 cilindros)	721	1496	6
PZL M18-B Dromader	WSK "PZL-Kalisz" ASz-62IR (Radial 9 cilindros)	721	1496	8

Quadro 8- Dados principais das aeronaves agrícolas em operação no Brasil.

²¹ Este motor do EMB-202A possui 239kW (320HP) de potência devido ao uso do etanol, é o mesmo do EMB 202 porém convertido para o uso com este combustível.

Interpretando-se os dados referentes à potência do motor de cada aeronave expostos no Quadro 8, determinam-se as faixas de potência entre as aeronaves em operação no Brasil. Depreende-se que existem três faixas distintas, as quais são exploradas por tipo de motor, uma vez que os motores a pistão radiais (9 cilindros) e os motores à reação (turbina) formam uma categoria de potências mais altas, enquanto que os motores à pistão (opostos de 4, 6 e 8 cilindros) formam uma categoria de potências mais baixas, se comparadas à primeira. Desta categoria de potência mais baixa, observa-se apenas cinco aeronaves do tipo Piper PA-18 em operação (motor de 4 cilindros) e as demais estão compreendidas numa faixa que começa em 175kW e segue até próximo à 300kW.

Desta maneira, classifica-se as aeronaves em três faixas de potência assim definidas:

- Até 150kW
- De 151 até 300kW
- Acima de 300kW

O Quadro 9 mostra a divisão entre as faixas de potência e a respectiva quantidade de aeronaves em cada faixa.

Faixa de potência	Quantidade de aeronaves
Até 150kW	5
De 151 até 300kW	1305
Acima de 300kW	137

Quadro 9 - Faixa de potência e quantidade de aeronaves.

Com os dados do Quadro 9 cria-se graficamente esta divisão em faixas de potência, que estão expressas pela Figura 38, mostrando a quantidade de aeronaves em operação no Brasil em cada respectiva faixa de potência definida.

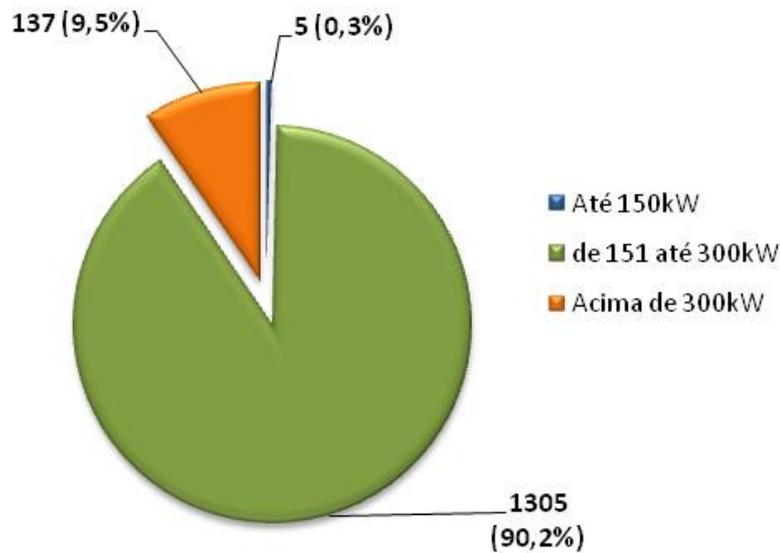


Figura 38 – Quantidade de aeronaves por faixa de potência definida.

Nota-se mais de 90% das aeronaves utilizadas no Brasil dentro da faixa de 151kW à 300kW, o que dá indicativos de ser este o mercado a ser focado quando do desenvolvimento de uma aeronave agrícola e mesmo de um motor a etanol para equipar tal aeronave.

O cálculo da relação de potência/carga de cada aeronave em operação no Brasil é importante para o entendimento de como a potência de cada aeronave se relaciona com a carga por esta transportada.

Primeiramente avalia-se um comparativo entre a carga útil e a potência de cada aeronave, tal avaliação fornece dados para identificar as aeronaves mais eficientes com relação a este quesito. Traduz-se esta eficiência como a relação entre a carga útil pela potência da aeronave, criando-se a relação carga/potência que será expressa em [kgf/kW]. A Tabela 1 expressa esta relação em ordem crescente de valor.

Tabela 1 – Relação kgf/kW de cada aeronave em operação no Brasil.

Aeronave	Capacidade de Carga [kgf]	Potência [Kw]	Relação kgf/kW
Grumman G164A Ag Cat	820	447	1,83
PZL M18-A Dromader	1496	721	2,07
PZL M18-B Dromader	1496	721	2,07
Thrush S-2R	1044	447	2,33
PZL-106 BT-601 Turbo Kruk	1330	552	2,41
Grumman G-164 AgCat	820	336	2,44
Cessna A-188 AgWagon	576	224	2,57
Cessna A188B / C AgTruck / AgHusky	576	224	2,57
Antonov AN-2-P	2050	736	2,79
Piper PA-18-150	313	112	2,80
Neiva EMB-200 Ipanema	660	194	3,34
Neiva EMB-200A Ipanema	660	194	3,40
Piper PA25-260 Pawnee	647	194	3,40
Neiva EMB-202A Ipanema	835	239	3,50
Neiva EMB-201 Ipanema	865	280	3,58
Neiva EMB-201A Ipanema	835	447	3,67
Piper PA36-375 Brave	1000	224	3,73
Neiva EMB-202 Ipanema	835	224	3,73
Air Tractor AT-401	1640	224	3,87
Air Tractor AT-503/504	2200	559	3,93
Callair A-9B	908	224	4,06
Piper PA-25-235 Pawnee	731	175	4,17
Piper PA36-300 Brave	957	224	4,28
Air Tractor AT-802	4307	966	4,46
Air Tractor AT-502	2451	507	4,83
Air Tractor AT-402	2041	410	4,98
Gipsland GA-200	1146	224	5,12
Gipsland GA-200C	1146	224	5,12

A Figura 39 apresenta os dados da Tabela 1 em forma gráfica, mais fácil de visualizar os valores, que foram reorganizados e expostos em forma crescente.

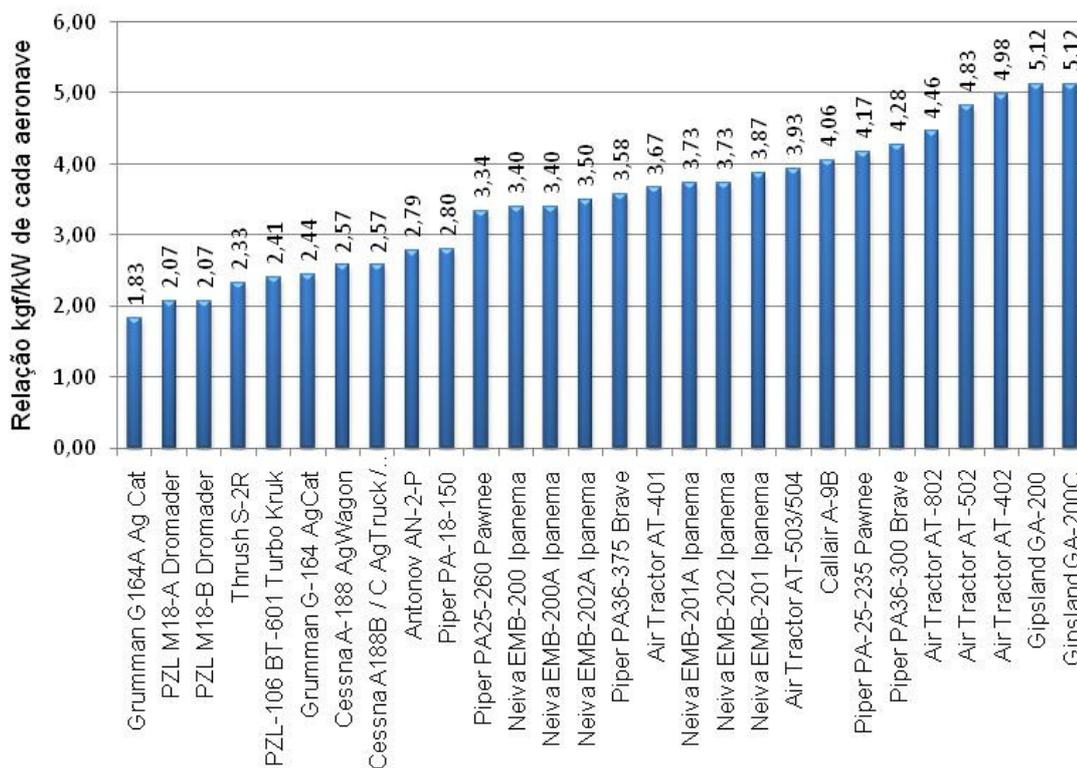


Figura 39 – Aeronaves agrícolas e suas respectivas relações de carga / potência [kgf/kW].

Com os dados apresentados na Figura 39, identifica-se três faixas distintas que podem ser divididas em faixas de capacidade de carga por kW, ficando definidas como segue:

- Até 3,0 kgf/kW
- De 3,1 até 4,0 kgf/kW
- Acima de 4,0 kgf/kW

De posse das faixas de potência das aeronaves agrícolas em operação no Brasil, pode-se determinar as características de capacidade de carga pela potência de cada uma destas aeronaves, que tem como base a faixa de potência das aeronaves entre 151 e 300kW:

Observa-se que as aeronaves Embraer/Neiva estão posicionadas nos valores intermediários da relação kgf/kW, assumindo valores de 3,40 à 3,87kgf/kW.

Esta determinação da faixa de carga/potência serve de base para o direcionamento de qual aeronave possui maior carga transportada em relação a sua potência, sendo dado importante para a tomada de decisão de qual potência nominal do motor a ser desenvolvido para uma determinada capacidade de carga requerida no projeto.

4.2. DADOS SOBRE MOTORES QUE EQUIPAM AS AERONAVES EM OPERAÇÃO NO BRASIL

Baseado nas informações coletadas, a faixa de potência de 151 até 300kW é a expressiva maioria dentre o universo de aeronaves que operam no Brasil para aplicações aéreas de defensivos e outras utilizações. Esta faixa de potência adotada representa mais de 90% da quantidade total de aeronaves no Brasil. Dentro desta faixa, as aeronaves fabricadas pela *Cessna Aircraft Company* (A188 – AgWagon, A188 – AgTruck e A188 – AgHusky) são equipados com motores da marca Continental, as demais aeronaves, dentro desta faixa, estão equipadas com motores Lycoming. Ambas empresas são norte americanas e seus motores são reconhecidamente seguros, confiáveis e com tradição dentro das montadoras de aeronaves.

O Quadro 10 apresenta as aeronaves que pertencem a faixa de potência entre 151 até 300kW e seus respectivos motores e potência.

Aeronave	Motor	Potência [kW]
Cessna A-188 AgWagon	Continental IO-520-D	224
Cessna A188B / C AgTruck / AgHusky	Continental IO-520-D	224
Piper PA-25-235 Pawnee	Lycoming O-540-B2C5	175
Piper PA25-260 Pawnee	Lycoming O-540-G2A5	194
Piper PA36-300 Brave	Lycoming IO-540-K1G5	224
Piper PA36-375 Brave	Lycoming IO-720-D1CD	280
Callair A-9B	Lycoming IO-540-B2B5	224
Gipsland GA-200	Lycoming IO-540-K1A5	224
Gipsland GA-200C	Lycoming IO-540-K1A5	224
Neiva EMB-200 Ipanema	Lycoming O-540-H2B5D	194

Continua

Continuação

Aeronave	Motor	Potência [kW]
Neiva EMB-200A Ipanema	Lycoming O-540-H1B5D	194
Neiva EMB-201 Ipanema	Lycoming O-540-K1F5D	224
Neiva EMB-201A Ipanema	Lycoming O-540-K1J5D	224
Neiva EMB-202 Ipanema	Lycoming IO-540-K1J5	224
Neiva EMB-202A Ipanema	Lycoming IO-540-K1J5	239

Quadro 10 – Aeronaves na faixa de potência entre 151 e 300kW e seus respectivos motores.

A Figura 40 mostra o percentual de utilização de motores da marca Lycoming em relação ao Continental no universo de motores na faixa de 151 até 300kW, isto é representativo da preferência dos pilotos e fabricantes de aeronaves no Brasil, uma vez que aeronaves com motores Continental seguidamente sofre conversão para Lycoming, segundo informações coletadas junto a pilotos e operadores de aeroagrícolas.

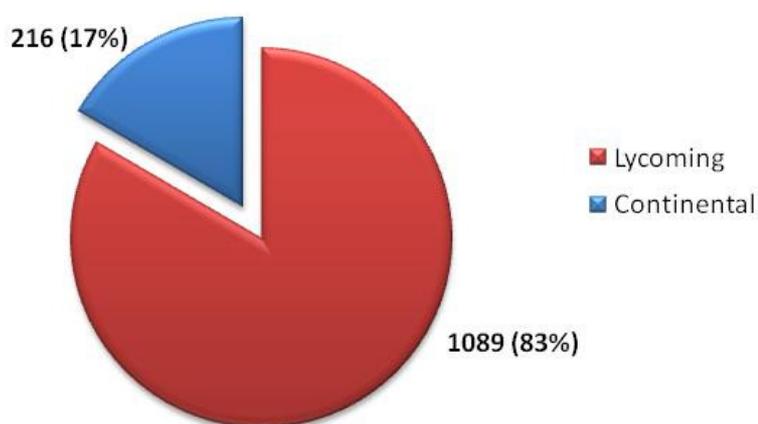


Figura 40 – Comparativo entre quantidade de motores Lycoming e Continental em operação no Brasil.

Os motores Lycoming e Continental são apresentados, pelos fabricantes, por séries que identificam o deslocamento volumétrico de tais motores. Verifica-se a descrição do motor da seguinte maneira: Lycoming IO-540-K1J5, onde:

I = motor com injeção mecânica de combustível;

O = motor com cilindros opostos

540 = série do motor, representa o deslocamento volumétrico, neste caso é 540 polegadas cúbicas;

K1J5 = detalhes específicos com relação à fixação do motor, reservatório de óleo, acoplamento de hélice, etc...

A Figura 41, Figura 42 e Figura 43 mostram os motores Lycoming e Continental, onde verifica-se a semelhança estrutural entre eles, principalmente em termos de peso, dimensões externas e características construtivas, exceto para o Lycoming da série 720 que possui 280kW de potência e 8 cilindros.



Figura 41 – Motor Lycoming da série 540.
Fonte: Lycoming Textron Inc (2010).



Figura 42 – Motor Continental da série 520.
Fonte: Dart Aircraft parts (2011).



Figura 43 – Motor Lycoming da série 720.
Fonte: Lycoming Textron Inc. (2010).

4.2.1. Distribuição da quantidade de motores e suas respectivas potências

A avaliação da quantidade de motores em cada faixa de potência revela a tendência de mercado de utilização de uma referida potência. Dado este que serve de informação referente à avaliação de mercado para o levantamento dos fatores de influência. A Figura 44 mostra a quantidade de motores e sua referida potência, os dados são estratificados para aeronaves agrícolas em operação no Brasil e que se enquadram dentro da faixa de potência previamente estabelecida, de 151 à 300kW.

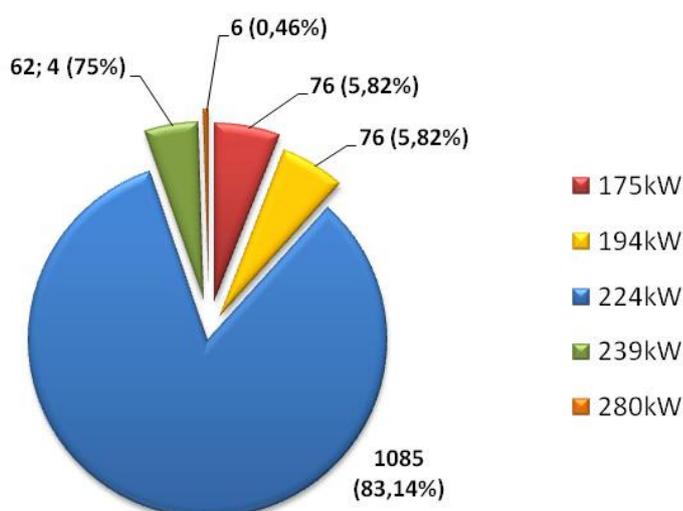


Figura 44 – Quantidade de motores e sua respectiva potência.

Verifica-se a maior quantidade de motores com potência de 224kW como preferência de utilização em aeronaves agrícolas no Brasil. Os motores com potência de 239kW são os que equipam o Ipanema a álcool e, embora lançado em 2005, já apresentam significativa quantidade em comparação com as outras faixas de potência.

4.2.2. Cálculo da pressão média efetiva

Segundo Heywood (1988), para avaliar eficiência de motores a combustão interna, calcula-se a pressão média efetiva²², com base no volume deslocado pelo motor em um ciclo de operação e a potência gerada pelo mesmo.

A Equação 1 define o cálculo da pressão média efetiva, doravante denominada “pme”. O valor de potência (P) é expresso em kW (quilowatt), n_R representa uma constante onde para motores alternativos a pistão com 4 tempos se utiliza o valor 2, V_d é o deslocamento volumétrico do motor e N o número de revoluções por segundo (rps) em que se atinge a referida potência.

$$pme[kPa] = \frac{P[kW] \times n_R \times 1000}{V_d[dm^3] \times N[rev/seg]} \quad (1)$$

Para os motores sob avaliação, Figura 45 apresenta graficamente as respectivas pme's de motores na faixa de 151 até 300kW, em ordem crescente.

²² Do inglês *mean efective pressure*.

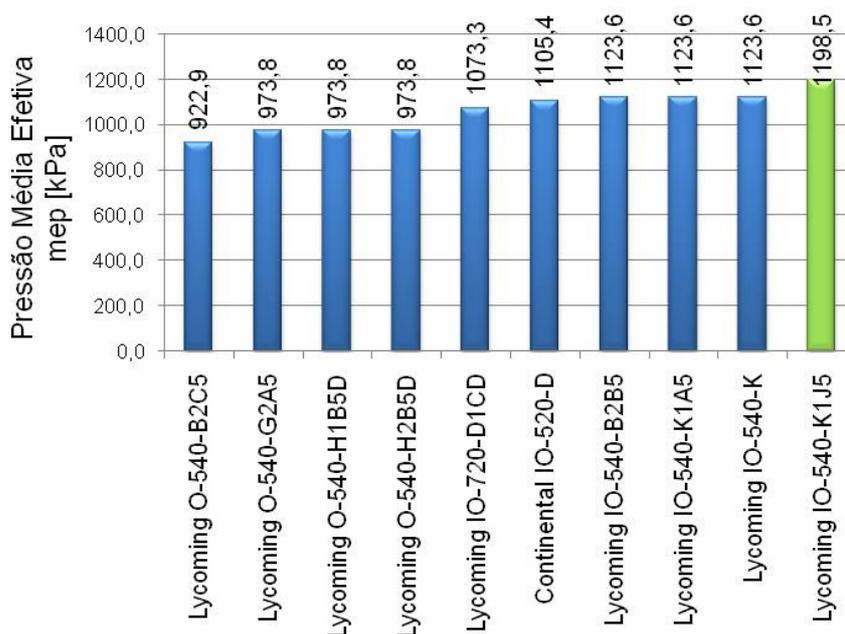


Figura 45 – Gráfico das pme`s dos motores avaliados.

Do gráfico exposto acima pode-se concluir que os motores com injeção de combustível, denominados com a letra “I”, possuem pressões médias efetivas maiores (acima de 1000,0kPa), o que resulta em maior eficiência (Heywood, 1988) enquanto que os motores sem esse sistema apresentam pme`s mais baixas (abaixo de 980,0kPa).

4.2.3. Relação Potência/Peso dos motores

Com base nos motores dentro da faixa de potência estabelecida para estudo (151 à 300kW), a relação kW/kgf é importante para identificar qual dos motores possui uma maior potência em comparação com seu peso próprio.

Em se tratando de motores aeronáuticos, onde o peso é fator determinante para a operação da aeronave e, também, quanto menor o peso próprio dos componentes da aeronave, maior a carga a ser transportada, denominada carga paga (ou comumente conhecido como *payload*), esse dado é fundamental para o projeto e especificação de motores aeronáuticos.

A Figura 46 mostra a relação kW/kgf de motores aeronáuticos na faixa de potência de 151 à 300kW, faixa esta de estudo e verificação já definida anteriormente.

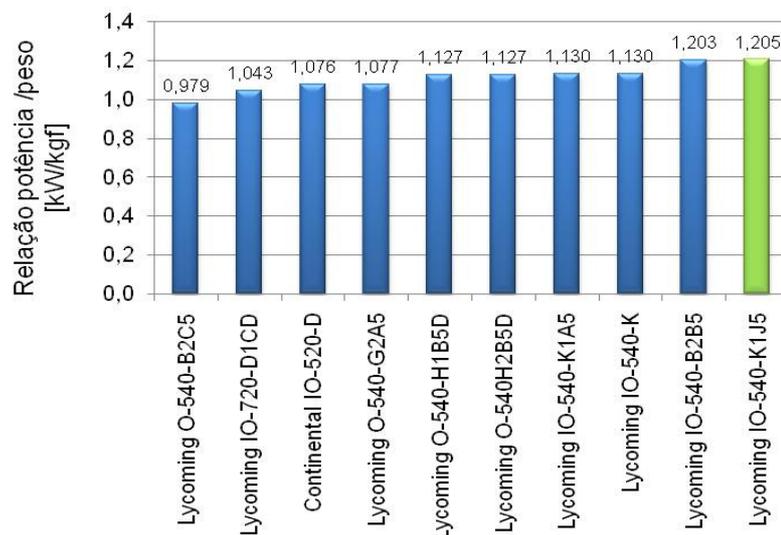


Figura 46 – Relação kW/kgf dos motores na faixa de 151 à 300kW.

Pode-se concluir que a maior relação potência/peso é encontrada no motor Lycoming IO-540-K1J5 utilizado no Ipanema a etanol, com peso de 198kgf e potência nominal de 239Kw. Observa-se um aumento de 23% da relação kW/kgf se comparados os motores O-540-B2C5 (o primeiro apresentado no eixo X do gráfico) e o IO-540-K1J5 a etanol (último apresentado no eixo X do gráfico),

4.2.4. Velocidade média do pistão

Segundo Heywood (1988), a determinação da velocidade média de deslocamento do pistão é o parâmetro mais adequado do que a velocidade de rotação da manivela para correlacionar o comportamento do motor como uma função da velocidade.

A velocidade do pistão é rapidamente desacelerada quando este chega no ponto morto superior (TDC²³) até atingir o valor zero e novamente acelerada para efetuar a descida do pistão, até novamente ser desacelerada para atingir zero no ponto morto inferior (BDC²⁴).

Segundo Heywood (1988), a equação que determina esta velocidade média está expressa na Equação 2, onde L é o curso do pistão em mm e N é a rotação em RPS (rotações por segundo), devendo esta velocidade permanecer na faixa 8 à 15m/s, de modo a manter a integridade do sistema (resistência estrutural) em níveis controlados e redução de perdas por atrito caso a velocidade esteja superior a estes limites.

$$\overline{S_p} = 2 \cdot L \cdot N \quad (2)$$

A Figura 47 mostra a velocidade média do pistão para cada um dos motores avaliados na faixa de potência de 151 à 300kW quando em rotação máxima.

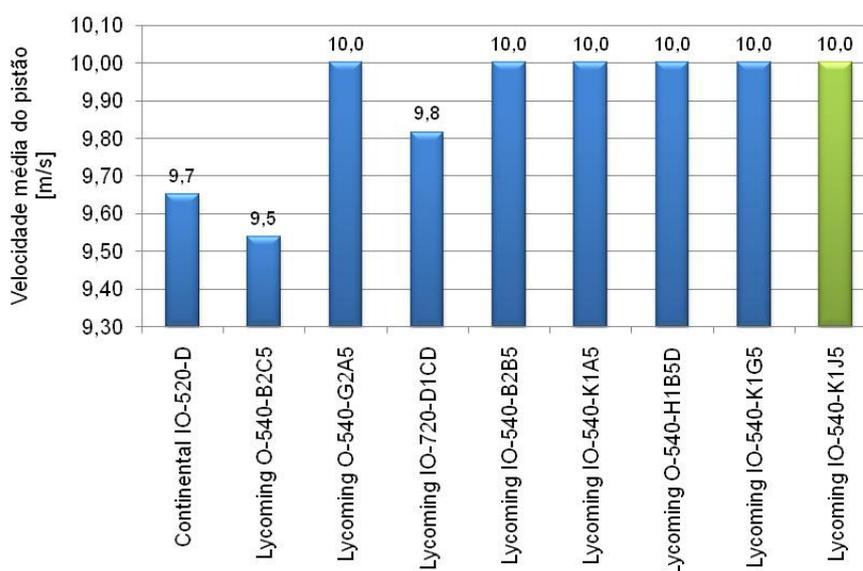


Figura 47 – Velocidade média do pistão para cada motor na faixa de potência avaliada.

²³ TDC – *Top Dead Center* do inglês Ponto Morto Superior.

²⁴ BDC – Ponto Morto Inferior do inglês *Bellow Dead Center*.

Tanto os motores da marca Lycoming quanto os Continental apresentaram dados dentro da faixa de velocidades recomendadas por Heywood (1988) e, também, similares entre si.

Mesmo o motor IO-540-K1J5 (último no eixo X do gráfico), movido a etanol, que tem potência superior ao seu similar à AvGas apresenta esta velocidade média do pistão dentro da faixa recomendada.

4.2.5. Relação Diâmetro x Curso para motores aeronáuticos

Com base nestas informações, pode-se afirmar que os motores aeronáuticos, tanto os Continental quanto os Lycoming, são motores superquadrados²⁵ e as relações são apresentadas no Quadro 11, que mostra a relação diâmetro/curso (D/L) para os motores na faixa de potência de 151 à 300Kw.

Motor	Potência [kW]	Diâmetro [mm]	Curso [mm]	Relação D/L
Continental IO-520-D	224	133,4	101,6	1,31
Lycoming O-540-B2C5	175	130,2	111,1	1,17
Lycoming O-540-G2A5	194	130,2	111,1	1,17
Lycoming IO-720-D1CD	280	130,2	111,1	1,17
Lycoming IO-540-B2B5	224	130,2	111,1	1,17
Lycoming IO-540-K1A5	224	130,2	111,1	1,17
Lycoming O-540H1B5D	194	130,2	111,1	1,17
Lycoming O-540H2B5D	194	130,2	111,1	1,17
Lycoming IO-540-K1G5	224	130,2	111,1	1,17
Lycoming IO-540-K1J5	239	130,2	111,1	1,17

Quadro 11– Diâmetro e curso dos motores na faixa de potência de 151 à 300kW.
Fonte: Regulatory and Guidance Library - Federal Aviation Administration (2010).

A Figura 48 mostra graficamente a comparação entre os motores Lycoming e Continental. Os motores Lycoming da série 540 todos possuem a mesma relação

²⁵ Motor superquadrado significa que o diâmetro do pistão é maior que o curso de seu deslocamento.

diâmetro x curso. O motor Lycoming da série 720 também possui esta mesma relação, visto que construtivamente é o mesmo pistão, biela e cilindro utilizados pela série 540, apenas com um par de cilindros a mais (6 cilindros para os 540 e 8 cilindros para os 720).

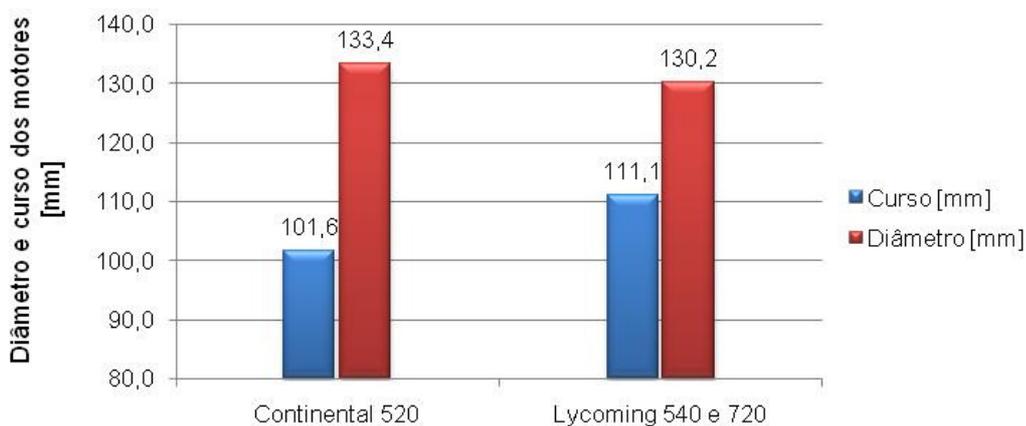


Figura 48 – Diâmetro e curso dos motores Lycoming e Continental.

4.2.6. Relação rpm motor x tamanho hélice

A velocidade tangencial máxima da hélice é importante de ser definida e, principalmente identificada, pois se a hélice girar a uma velocidade superior ocorre perda de eficiência aerodinâmica e a aeronave terá, conseqüentemente, perda de tração, uma vez que a ponta da hélice atinge velocidade supersônica.

Portanto, conforme cada hélice utilizada tem-se uma velocidade especificada. Ajustar o motor para cada tipo de hélice seria inviável, uma vez que se tem inúmeros diâmetros e passos para hélices e cada fabricante tem suas características específicas.

A identificação de uma faixa de tamanho de hélice é importante para a determinação e especificação da rotação do motor, visto que esta é diretamente relacionada com a potência fornecida pelo motor. O Quadro 12 mostra algumas das hélices utilizadas por aeronaves agrícolas na faixa de potência de 151 à 300kW. Os

dados foram coletados no catálogo do fabricante de hélices Hartzell Propeller Inc., localizado nos Estados Unidos.

Motor	Rotação máxima do motor [rpm]	Diâmetro da hélice recomendada [in]
IO-540-K1A5 / K1B5 / K1G5 / S1A5	2700	84"
IO-720-A1B	2650	86"
IO-540-K1J5D	2700	84"
O-540-G2A5	2700	84"

Quadro 12 – Motores aeronáuticos e hélices recomendadas.

Fonte: Hartzell Application Guide (2010).

Das equações de física básica tem-se a expressão para cálculo da velocidade tangencial de um ponto em uma trajetória circular, que pode ser assumida como a velocidade da ponta da hélice. Tal equação é dada por:

$$V = \omega \cdot r \quad (3)$$

Onde V é a velocidade tangencial em m/s, ω é a velocidade de rotação em rpm e r é o raio de giro, em mm. A Figura 49 ilustra esta equação para um melhor entendimento.

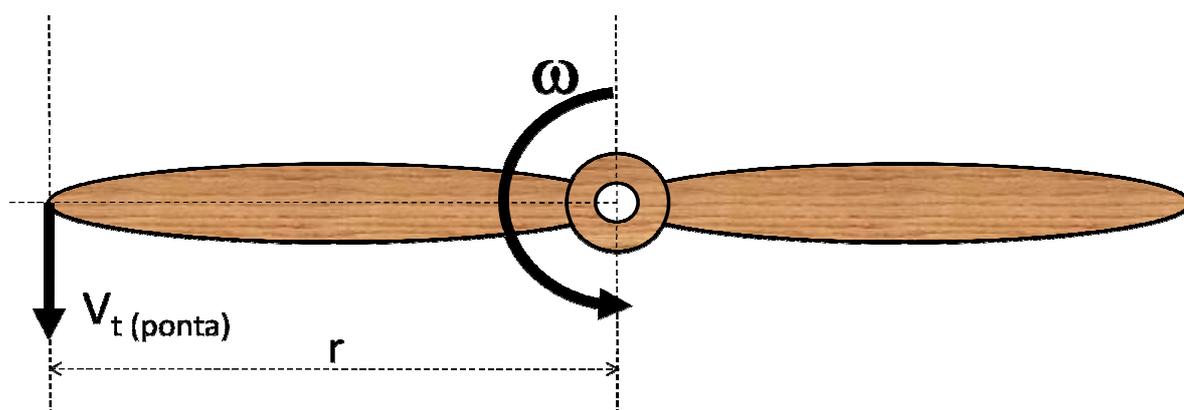


Figura 49 – Detalhe da hélice e suas características de velocidades.

Efetuando-se o ajuste necessário na equação para entrar com os dados nas unidades em que se apresentam, tem-se na tabelaXX as velocidades tangenciais para cada hélice nas respectivas velocidades máximas de cada motor e também a velocidade em Mach²⁶.

Tabela 2 - Velocidade de ponta de hélice para motores na faixa de 151 à 300kW, conforme hélice indicada pela Hartzell Prop Inc.

Motor	Rotação máxima do motor [rpm]	Diâmetro da hélice recomendada		V [m/s]	Mach
		polegada	mm		
IO-540-K1A5 / K1B5 / K1G5 / S1A5	2700	84	2133,6	301,5	0,89
IO-720-A1B	2650	86	2184,4	302,9	0,89
IO-540-K1J5D	2700	84	2133,6	301,5	0,89
O-540-G2A5	2700	84	2133,6	301,5	0,89

Cálculos mais aprofundados de hélices a serem utilizadas e seus respectivos valores de empuxo e rendimento não são o foco deste trabalho.

Adotando-se hélices de 84 polegadas (2133,6mm), a rotação máxima admitida no motor será de 2700rpm para se obter uma velocidade de ponta de hélice de Mach 0,89²⁷. Este valor de rotação máxima do motor é para situações especiais e para decolagem, quando se necessita a máxima potência e máxima rotação do motor. Em regime de velocidade de cruzeiro, a rotação varia de 75% à 85% da máxima, gerando, portando, velocidades de ponta de hélice, para a condição especificada, de Mach 0,67 à Mach 0,76, valores estes mais adequados ao funcionamento da hélice e do motor.

Requisitos de homologação aeronáutica prevêem valores máximos de ruído para motor de hélices e, conseqüentemente, este requisito será avaliado quando de uma homologação.

²⁶ Mach é a velocidade expressa em relação à velocidade do som, neste caso adotada como 340m/s, logo Mach 1,0 = 340m/s

²⁷ É conhecido o valor de Mach = 0,80 máximo para ponta de hélices, isto para evitar o stall de ponta hélice e também vibração pelas ondas de choque geradas em função do deslocamento. A determinação do valor máximo admitido não é o foco deste trabalho e não será avaliada, portanto, manter-se-á o valor recomendado pelo fabricante da hélice.

4.3. OS FATORES DE INFLUÊNCIA NO PROJETO DO MOTOR A ETANOL PARA AVIAÇÃO AGRÍCOLA

4.3.1. Escopo do projeto

Segundo Marini (2007) o Escopo do Projeto é a primeira categoria de informações pela qual se efetua o levantamento dos fatores de influência e é dividido em dois grupos onde um deles avalia as questões referentes às tarefas a serem executadas pelo equipamento e o outro é referente às capacidades energéticas e o problema a ser estudado.

Conforme avaliações feitas, o Exame do Escopo do Projeto ficou assim definido:

Exame do Escopo do Projeto

- Sistema de Aplicação;
- Processo Operacional;
- Interferências e Limites;
- Requisitos Energéticos;
- Subsistemas;
- Tipologia de Projeto.

4.3.1.1. Sistema de Aplicação

O Sistema de Aplicação da aeronave agrícola, aqui entendido como “utilização” de tal aeronave, está descrito no Quadro 13 e compreende fatores relevantes para a tomada de decisões de projeto referentes à aplicação desta aeronave em determinadas atividades, locais de utilização e particularidades.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Sistema de aplicação	Mercados Pretendidos: Brasil	Região Sul	Todos os estados de cada região
		Região Sudeste	
		Região Centro-oeste	
		Região Nordeste	
		Região Norte	
	Operação executada	Agricultura, Silvicultura e Pecuária	Inspeções, mapeamentos, sensoriamento remoto, previsão de safra, adubação, controle de pragas, doenças e ervas daninhas, maturação, desfolhamento, outras.
		Piscicultura	Peixamento e Cultivo químico.
		Saúde Pública	Controle de vetores (malária, dengue e oncocercose)
		Modificação do clima	Nucleação de nuvens (chuva artificial), controle de geadas e supressão de neve.
		Ecologia	Controle de poluição marinha – derramamento de óleo.
		Diversos	Inspeção de linhas de alta tensão, controle de incêndios florestais, reboque de planadores.
	Época da safra / operação	Inverno	Todos os meses do ano há possibilidade de operação
		Verão	

Quadro 13 – Sistema de aplicação da aeronave agrícola.

O sistema de aplicação como fator de influência está definido. Há distintas aplicações para a aeronave agrícola, porém, para a avaliação do motor estas não apresentam significativas implicações no projeto e deverão ser consideradas quando do seu desenvolvimento.

4.3.1.2. Processo operacional

O Processo Operacional é o segundo item a ser avaliado dentro do exame do escopo do projeto e é relativo ao processo a ser efetuado pelo motor da aeronave, é uma análise mais sistêmica do seu funcionamento.

O Quadro 14 apresenta as informações referentes ao processo operacional a ser desenvolvido pelo motor.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Processo operacional	Designação	Motor aeronáutico a etanol para propulsão de aeronave de aplicação agrícola	RBAC nº 21: Certificação de produto Aeronáutico - Sub parte 21.6: Fabricação de aeronaves, motores de aeronave ou hélices;
	Elementos processados	Combustível	Elementos fundamentais para o funcionamento do motor. Neste caso combustível é Etanol.
		Ar	
		Óleo lubrificante	
		Energia elétrica	
	Situação física do processo	Combustível, energia elétrica e óleo lubrificante são processados pelo motor	Processo interno no motor: combustão para geração de energia mecânica e lubrificação
	Necessidade de execução	Geração de energia mecânica para movimentação de aeronave	Aeronave necessita de fonte de energia mecânica para sua movimentação, motor converte a energia do fluido combustível em energia mecânica.
Descrição do processo	O combustível, a energia elétrica e o óleo lubrificante são armazenados dentro da aeronave	Motor em funcionamento regular com controle de rotação.	
	A energia elétrica é usada para a partida do motore geração da centelha, o combustível é conduzido até a câmara de combustão e o óleo conduzido para a lubrificação interna do motor.		
Resultado esperado	Motor em funcionamento	Motor em funcionamento regular para movimentação da aeronave	

Quadro 14 – Processo operacional de motor a etanol para aeronave agrícola.

Dentro do processo operacional a designação do motor é feita através do RBAC nº21 – Subparte 21.6 que é o documento que rege a fabricação de motores, dentre outras peças, para aeronaves homologadas.

Os demais itens tratam todos dos insumos processados pelo motor, como o ar atmosférico, combustível, neste caso o etanol e o óleo lubrificante, todos essenciais para o funcionamento do motor.

O resultado esperado é o descritivo do resultado do processo operacional executado pelo motor, ou seja, um motor em pleno funcionamento capaz de prover energia para a movimentação de uma aeronave para aplicação agrícola.

4.3.1.3. Interferências e limites

O Quadro 15 apresenta as informações referentes às interferências e limites.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Interferências e Limites	Elementos operadores	Ser humano	Controle e monitoramento do funcionamento do motor desde a partida, operação e desligamento.
		Sistema de informação e controle	<ul style="list-style-type: none"> - Efetuar o monitoramento dos parâmetros pré-estabelecidos para o funcionamento do motor. - Informar as condições de funcionamento do motor ao operador (Piloto). - Efetuar o monitoramento e a correção dos parâmetros de controle da combustão conforme condições pré-estabelecidas (para os casos da injeção e da ignição eletrônica do motor)
	Elementos ambientais	Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura do ar de entrada no motor - Temperatura do ambiente de operação
		Umidade	Umidade relativa do ar de entrada no motor
		Altitude (pressão atmosférica)	Pressão atmosférica do ar de entrada no motor
		Pista de operação	<ul style="list-style-type: none"> - Pistas de grama; - Pistas de terra; - Pistas de asfalto; - Estradas, beira de praia, campo, etc

Continua

Continuação

Classe	Propriedade	Informação	Descrição	
Interferências e Limites	Época do ano	Verão	Operações possíveis em todas as épocas do ano, condições meteorológicas adversas em termos de temperatura, unidade relativa e pressão atmosférica	
		Outono		
		Inverno		
		Primavera		
	Tempo de operação	Conforme prescrição agrônômica para aplicação ou necessidade da aplicação	<ul style="list-style-type: none"> - Para aplicações de agroquímicos o tempo de aplicação depende da cultura, do alvo e do meio (agroquímico); - Para outras aplicações o tempo depende da necessidade e do tipo de aplicação; - Estimativa de tempo de aplicação da aeronave é de 4 a 5 meses consecutivos (período de safra)²⁸. 	
	Frequência de operação	Conforme prescrição agrônômica para aplicação ou necessidade da aplicação	<ul style="list-style-type: none"> - Para aplicações de agroquímicos a frequência de aplicação depende da cultura, do alvo e do meio (agroquímico); - Para outras aplicações a frequência depende da necessidade e do tipo de aplicação; - Estimativa de frequência de aplicação da aeronave é um período de 4 a 5 meses consecutivos (período de safra). 	
	Riscos da operação	Falta de combustível		Pane seca ²⁹ (risco grave de queda da aeronave)
				Indisponibilidade de combustível para a operação, o que impede o início desta (desabastecimento)
		Falta de óleo lubrificante		Excesso de atrito gera superaquecimento (risco grave de pane no motor e queda da aeronave)
				Indisponibilidade do óleo lubrificante para a operação, o que impede o início desta (desabastecimento)
Excesso de temperatura de trabalho			Superaquecimento com risco de danos e parada do motor	
Quebra e/ou desgaste de algum componente		Diminuição de eficiência ou parada do motor, risco de queda da aeronave		

Continua

²⁸ Conforme entrevista com pilotos e proprietários de aeroagrícolas.

²⁹ Quando o motor “apaga” por falta de combustível.

Conclusão

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Interferências e Limites	Riscos da operação	Pane elétrica	Diminuição de eficiência ou parada do motor, risco de queda da aeronave
		Combustível com excesso de água	Níveis elevados de água no etanol diminuem significativamente a eficiência do motor ³⁰ .

Quadro 15 – Interferências e limites para a definição do escopo do projeto de motor a etanol para aeronave agrícola.

Foram definidos elementos que, de uma maneira geral, afetam ou interferem no funcionamento do motor e da aeronave, elementos estes desde o sistema de controle, elementos ambientais, tempos e períodos para a execução das tarefas e os riscos que podem afetar a operação, estes últimos, direcionados para o funcionamento direto do motor.

4.3.1.4. Requisitos energéticos

Com relação aos requisitos energéticos, estes são definidos como pontos de fornecimento de energia necessária para o funcionamento do equipamento e o cumprimento da tarefa básica.

O Quadro 16 apresenta estas informações.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Requisitos energéticos	Autonomia de operação	É capaz de realizar as tarefas pretendidas	Transforma energia do combustível em energia mecânica para movimentar a aeronave
		É autônomo quanto à fonte de energia fornecida	Recebe energia elétrica e combustível e transforma em energia mecânica para movimentação da aeronave
	Fonte de alimentação	Elétrica - Bateria + Alternador 12V	Para o início da operação – partida do motor.
			Continua

³⁰ Segundo Silveira (2004) até uma quantidade de 18% de água em volume no etanol é possível manter um motor em funcionamento.

Continuação

Requisitos energéticos			Alimentação do sistema elétrico – ignição, injeção eletrônica, sensores e demais sistemas elétricos da aeronave.
		Combustível	Etanol como fonte de energia térmica - combustão
	Capacidade nominal	224 à 260 kW @ 2700 rpm	Faixa de potência necessária à operação da aeronave
	Meios de conversão	Energia mecânica	Fornecer movimento para o deslocamento da aeronave e acionamento de alguns sistemas
		Energia elétrica	Fornecer energia para o acionamento de alguns sistemas e sensores e para a partida do motor.
	Regimes de conversão	Utilização	Até 10 horas diárias
		Operação	Diariamente durante 4 a 5 meses
		Intervalos	Até 2 meses entre operações
		Movimentação	Vôo em nível normal. Pistas de terra, grama ou alternativas ³¹ podem trazer risco à estrutura da aeronave e fixação do motor à estrutura da aeronave
	Regimes de conversão	Controles	Rotação varia em decolagem e pouso, para a operação a rotação é constante variando o passo da hélice.
	Tipos de acoplamento	Acoplamento da hélice	Acoplamento da hélice diretamente no vibrabequim – sistema DIRECT DRIVE
		Fixação à aeronave	Fixação do motor à aeronave através de berço com pontos de apoio no motor
		Acoplamentos elétricos	Acoplamentos elétricos padrão AN ³²
		Acoplamentos hidráulicos	Linha de alimentação combustível
	Óleo lubrificante		
	Linha do óleo para acionamentos hidráulicos		

Quadro 16 – Requisitos energéticos para definições do escopo do projeto de motor a etanol para aeronave agrícola.

³¹ Pista alternativa é todo espaço que é utilizado como recurso em caso de pouso forçado; estradas, campos e terrenos onde se possa pousar a aeronave em caso de emergência.

³² Padrão AN significa dispositivos homologados para uso aeronáutico.

Os requisitos energéticos são informações pertinentes a todas as fontes e necessidade de energia que o motor requer para executar sua função. A avaliação inicia na autonomia da operação, ou seja, a avaliação se o sistema é capaz de realizar a operação e de que forma, neste caso é autônoma. As fontes de energia também são avaliadas, que neste caso são a elétrica e o próprio combustível. Os meios de conversão, o regime de conversão e as solicitações de conversão trazem informações referentes às energias a serem transformadas e aplicadas ao sistema, estratificando cada uma delas e suas respectivas funções e aplicações no motor. Por fim os tipos de acoplamentos fornecem dados referentes desde a fixação do próprio motor à aeronave até os chicotes elétricos e conexões hidráulicas de combustível, lubrificação e acionamentos.

4.3.1.5. Subsistemas

Para a identificação dos subsistemas básicos que fazem parte de um motor aeronáutico a etanol para equipar uma aeronave agrícola é necessário a elaboração da estrutura de decomposição deste sistema técnico. A Figura 50 apresenta esta estrutura básica de decomposição.

Um motor é composto por diversos sistemas básicos que tem funções distintas no funcionamento e não menos importantes cada um deles. Os sistemas e subsistemas em azul apresentados na Figura 50 mostram no que este motor se diferencia de um motor aeronáutico convencional que opera com AvGas. O próprio motor será diferente dos atuais e os sistemas de partida, sistema de ignição e sistema de injeção de combustível apresentam as modificações mais significativas para possibilitar a operação com etanol.

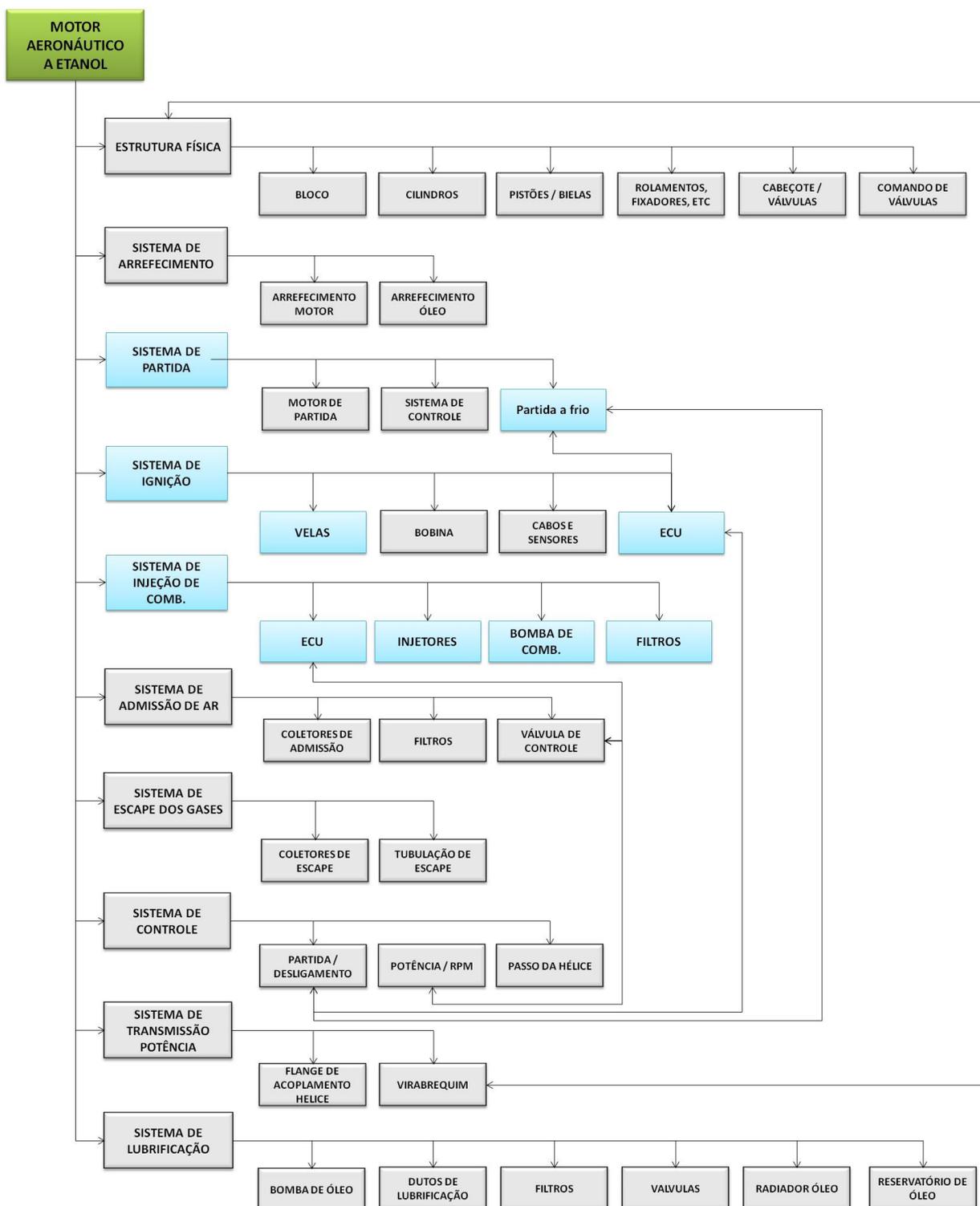


Figura 50 - Estrutura de decomposição básica do motor aeronáutico a etanol.

No sistema de partida, o subsistema de partida a frio deve ser incorporado de maneira a facilitar a partida do motor em condições climáticas com temperatura mais

baixa, visto que o etanol é crítico com relação a esta condição. Segundo relatório técnico da AVL (2005) níveis de etanol superiores a 20% em misturas com a gasolina, incluindo etanol puro (100%), apresentam problema de ignição e partida do motor³³ em dias com baixas temperaturas ambientes. Este fato se deve à maior necessidade de energia, calor, para vaporizar o etanol, gerando dificuldade de ignição quando o motor está “frio”.

No sistema de ignição, as velas e sistema de controle (ECU³⁴) apresentam configurações para o funcionamento com etanol, a ECU é introduzida como gerenciador da ignição e trabalha em conjunto com o sistema de injeção de combustível, podendo, inclusive, ser o mesmo sistema de controle para as duas funções – mesma ECU controla ignição e injeção.

O sistema de injeção de combustível é adaptado para o uso com etanol e introduzido o gerenciamento eletrônico desta injeção (ECU), através de uma unidade de controle que comanda a injeção de cada bico injetor através de parâmetros coletados de sensores como rotação, posição do pistão (através do sensor de posição colocado no virabrequim), sonda lambda (sensor de análise de gases instalado no escapamento), temperaturas de *EGT* e *CHT*, e outros que são possíveis de serem instalados.

Após a determinação da estrutura básica de decomposição para o motor aeronáutico a etanol estar definida, as informações sobre os sistemas e suas funções básicas estão apresentadas no Quadro 17.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Sistemas	Elemento raiz	Motor a etanol para aviação agrícola	Designação do conjunto total de componentes da máquina
	Estrutura física	Bloco do motor	Todos os componentes estruturais do motor sejam fixos ou móveis, que desempenham sua função para, no todo, executar a tarefa determinada
		Cilindros	
		Pistões	
		Rolamentos, elementos de fixação, mancais, etc	
	Sistema de arrefecimento	Do óleo	Efetua o arrefecimento do óleo utilizado para lubrificação
Do motor		Retira parte do calor controlando a temperatura de funcionamento	

Continua

³³ Aquecimento do motor também é conhecido como seu termo em inglês *warming up*.

³⁴ ECU do inglês: *Electronic Control Unit* que significa Unidade de Controle Eletrônico

Continuação

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Sistemas	Sistema de partida	Motor de partida	Efetua o movimento inicial para a partida do motor
		Sistema de controle	Controla a partida e o desligamento do motor
		Subsistema de partida a frio	Subsistema que auxilia na combustão de partida quando o motor está frio
	Sistema de ignição	Velas	Geram a faísca para a combustão
		Bobina	Aumenta a tensão para a geração da faísca
		Cabos / sensores	Transmitem a energia elétrica e fornecem dados para o gerenciamento da combustão
		ECU	Unidade de gerenciamento eletrônico que controla o ponto de ignição e outros parâmetros da combustão
	Sistema de injeção de combustível	Injetores	Injetam o combustível de forma controlada
		Bomba de combustível	Efetua o bombeamento do combustível sob pressão para ser injetado
		Filtro de combustível	Efetua a filtragem do combustível para eliminação de impurezas sólidas
		ECU	Unidade de gerenciamento eletrônico que controla o ponto de injeção e outros parâmetros da combustão
	Sistema de admissão de ar	Coletores de admissão	Coletam o ar e direcionam para o cilindro
		Filtro de ar	Filtra o ar de entrada eliminando impurezas sólidas
		Válvula de controle	Controla a vazão de ar de entrada e o regime de operação do motor
	Sistema de escape dos gases combustão	Coletores de escape	Coletam no cilindro os gases da combustão
		Tubulação de escape	Direcionam os gases de escape para o ambiente externo
	Sistema de controle	Partida / desligamento	Controla a partida do motor e seu desligamento
	Sistema de controle	Potência / RPM	Controla a potência do motor através da variação de rotação
	Sistema de transmissão de potência / rotação	Virabrequim	Recebe a energia proveniente da biela e pistões e transforma em movimento rotativo
		Flange de acoplamento hélice	Acopla a hélice ao virabrequim
Sistema de lubrificação	Bomba de óleo	Efetua o bombeamento de óleo para efetuar a lubrificação interna do motor	
	Dutos de lubrificação	Direcionam o óleo sob pressão para os pontos de lubrificação	

Continua

Conclusão

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Sistemas	Sistema de lubrificação	Filtro	Filtram o óleo para eliminação de impurezas sólidas
		Válvulas	Controlam a passagem do óleo para determinados pontos de lubrificação
		Radiador óleo	Efetua o arrefecimento do óleo que circula no motor
		Reservatório de óleo	Armazena o óleo lubrificante.

Quadro 17 – Sistemas, subsistemas e suas funções.

O Quadro 17 apresenta a decomposição do motor aeronáutico a etanol em sistemas e seus componentes, que efetuam tarefas específicas e interagem com outros sistemas para o funcionamento completo do motor.

O elemento raiz é determinado como o próprio motor e os sistemas são parte integrante deste. A estrutura física é a própria estrutura do motor, sendo esta suporte para outros sistemas. Esta estrutura contempla o bloco do motor, parte central onde são acoplados os cilindros e montados o virabrequim, pistões e demais componentes.

O sistema de arrefecimento é o responsável pela retirada de parte do calor gerado na combustão e no atrito entre as partes móveis. Este sistema interage diretamente com o meio externo onde ocorre troca de calor entre o sistema e o meio. O sistema de controle está dividido em subsistema de partida e de potência. O subsistema de partida é o que dá início a operação do motor, o motor de partida é o elemento que efetua o giro inicial do virabrequim e inicia o funcionamento. No sistema de partida, o subsistema de partida a frio é incorporado ao motor quando este opera com etanol, devido à dificuldade de início da combustão quando o motor está frio³⁵. O subsistema de potência é o que tem interação mais direta e freqüente com o piloto, pois é através dele que é realizada a variação do regime de operação do motor. O sistema de ignição bem como o sistema de injeção são sistemas diferenciados dos atuais a serem incorporados ao motor para o gerenciamento da ignição e da combustão quando da operação com etanol. Uma central eletrônica de

³⁵ Motor “frio”: quando o motor está parado por um período maior de tempo e está à temperatura ambiente ou o início da operação se dá em dias onde a temperatura ambiente é baixa, operações no inverno por exemplo.

processamento e gerenciamento, denominada *Eletronic Control Unit* – Unidade de Controle Eletrônico, dos parâmetros de combustão é introduzida para eliminar a interferência do operador, neste caso o piloto, em tais parâmetros e assim melhorar a eficiência do motor.

Os sistemas de admissão de ar e escape de gases são muito similares e executam funções também similares, porém, inversas, direcionando o ar externo para o interior do motor e retirando os gases de combustão para o ambiente externo respectivamente.

O sistema de transmissão de potência é composto pelo subsistema de acoplamento da hélice que por sua vez é acoplado ao subsistema do virabrequim. Ambos transmitem a energia recebida dos pistões e bielas para a hélice com a finalidade de movimentar a aeronave.

O sistema de lubrificação é composto por outros subsistemas, todos com funções específicas e a função primária deste sistema é realizar a lubrificação das partes internas do motor a fim de evitar desgastes e atrito excessivo entre os componentes.

4.3.1.6. Tipologia de projeto

A tipologia de projeto, como o próprio nome demonstra, refere-se ao tipo de projeto em questão, que neste caso, é um projeto de grande magnitude por se tratar de um produto novo, com novas tecnologias, inovador e que requer conhecimento de várias áreas.

Aqui o estudo da tipologia de projeto foi subdividido em três áreas: Conhecimento, Complexidade e Risco de falha, onde cada um deles foi analisado e desmembrado conforme suas características.

O Quadro 18 apresenta as informações referentes a tipologia de projeto para o motor aeronáutico a etanol para equipar uma aeronave agrícola.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Tipologia de projeto	Conhecimento	Engenharia Aeronáutica	Propulsão aeronáutica
			Motores alternativos
		Engenharia Mecânica	Termodinâmica
			Projeto de máquinas
			Máquinas, motores e equipamentos
			Energia
	Engenharia Agrícola	Maquinaria agrícola	
	Complexidade	Combustível: Etanol	Avaliação das propriedades físico-químicas do etanol, características de combustão, aspectos técnicos de motores em operação com etanol.
		Motor aeronáutico	Requisitos técnicos para aplicação em aeronaves.
		Implementação de sistemas eletrônicos de gerenciamento do motor	Sistemas eletrônicos de gerenciamento e monitoramento de ignição, formação de mistura e funcionamento do motor
		Atendimento às normas de homologação	Direcionamento do projeto para o atendimento das normas para homologação de tipo conforme determinação da ANAC
	Risco de falha	Projeto inovador	Quebra de paradigmas, novos conceitos, novas aplicações, novos materiais, novas tecnologias.
		Atendimento às normas	Normas rígidas para homologação
		Ensaio e avaliações	Ensaio, testes e avaliações rígidas segundo normas da ANAC para homologação de produto aeronáutico
		Simulações e análises	Simulações e análises computacionais mal conduzidas ou interpretadas geram risco extremo ao desenvolvimento
		Aspectos culturais	Aspectos referentes à aceitação de novas tecnologias e conceitos por parte do meio aeronáutico

Quadro 18 – Informações sobre a tipologia de projeto de motor aeronáutico a etanol.

4.3.2. Análise comparativa dos motores

A análise comparativa dos motores existentes serve de base para o levantamento dos fatores de influência no projeto baseando-se em informações existentes dos motores atualmente produzidos e comercializados para utilização em aeronaves agrícolas.

Salienta-se que atualmente não há motores à etanol projetados para este fim, o que há são motores projetados e desenvolvidos para o funcionamento com AvGas e que são convertidos para a utilização com etanol. Os dados informados nesta seção fazem parte do universo de motores aeronáuticos movidos à AvGas que estão disponíveis no mercado.

O objetivo da análise comparativa dos motores é apresentar as características mercadológicas levantadas na revisão bibliográfica, transformadas agora para identificação dos fatores de influência com relação ao mercado de aeronaves e motores.

4.3.2.1. Dimensões e características físicas

A classe dos fatores de influência a ser definida para a análise comparativa dos motores são as dimensões físicas dos motores encontrados no mercado atualmente e suas características e especificações.

As informações de massa (peso), comprimento, largura, altura e demais especificações principais estão apresentadas na faixa que compreende as dimensões mínimas e máximas dos motores avaliados dentro de uma mesma categoria, por exemplo, os motores na faixa de 151 à 300kW que é a de interesse deste trabalho.

Estas informações estão apresentadas no Quadro 19.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Dimensões e características físicas	Massa	Continental	206kgf
		Lycoming	175 a 217kgf
	Comprimento	Continental	933mm
		Lycoming	945 a 1000mm
	Largura	Continental	852mm
		Lycoming	847 a 870mm
	Altura	Continental	604mm
		Lycoming	497 ³⁶ a 623mm ³⁷
	Número de cilindros	Continental	6 cilindros
		Lycoming	6 e 8 cilindros ³⁸
	Alimentação de combustível	Continental	Carburador ou injeção mecânica
		Lycoming	Carburador ou injeção mecânica
	Sistema de ignição	Continental	Magneto, duplo sistema, ponto fixo
		Lycoming	Magneto, duplo sistema, ponto fixo
	Faixa de potência	Continental	224kW
		Lycoming	175 à 280kW
	Sistema de acoplamento da hélice	Continental	Direto no virabrequim
		Lycoming	Direto no virabrequim
Volume deslocado	Continental	520 cu in (8,521dm ³)	
	Lycoming	540 cu in (8,849dm ³) e 720 cu in (11,978dm ³)	

Quadro 19 – Dimensões e características físicas dos motores encontrados no mercado.

Há similaridade entre as dimensões físicas dos motores, mesmo quando comparamos os competidores Lycoming e Continental, isto porque há um envelope padrão oriundo de características construtivas desses motores para operar em aeronaves, lembrando que não somente se utilizam estes motores em aeronaves agrícolas, mas em uma vasta gama de modelos de aeronaves, tipos, tamanhos e aplicações em todo o mundo.

³⁶ Motores com sistema de injeção de combustível.

³⁷ Motores sem sistema de injeção de combustível, motores “carburados”.

³⁸ Somente o motor Lycoming IO-720-D1CD possui 8 cilindros, os demais são 6 cilindros.

4.3.3. Características da operação

Este item trata especificamente das características da operação onde o conjunto motor/aeronave irá operar.

4.3.3.1. Clima e ambiente

As características de clima e ambiente fornecem dados referentes às informações meteorológicas como umidade, temperatura, posição onde ocorrerá a operação, tipos de pista, solo das pistas, etc.

Tais características de clima e ambiente operacional estão apresentadas no Quadro 20.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Clima e Ambiente	Posição global	Território	Operações dentro do território Brasileiro
	Altitude	Faixa de altitude de operação	Nível do mar (10m) até 13000 ³⁹ ft. (Aprox.3690m)
	Pista de operação	Gramma	Pistas de grama ou cobertura vegetal nativa de campo
		Terra / cascalho	Pistas de terra geralmente com a presença de cascalho solto
		Asfalto / concreto	Pistas com cobertura asfáltica ou concreto, geralmente em bases de operação de aeroagrícolas ou aeroportos
		Pistas alternativas	Qualquer lugar em que exista a possibilidade de pousar uma aeronave em caso de pane ou necessidade
	Temperatura	Inverno	Temperaturas de operação no inverno podem chegar a 0°C ⁴⁰
		Verão	Temperaturas de operação no verão sob o sol podem chegar à 60°C ⁴¹
	Locais de operação	Campo	Poderá operar em campos, fazendas e locais distantes da base de apoio
		Cidade	Poderá operar sobre cidades ou próximo à estas

Continua

³⁹ Conforme manual do Piper Pawnee D equipado com motor Lycoming O-540-B2C5

⁴⁰ Operações no inverno, em regiões altas do sul do Brasil, as temperaturas podem atingir 0°C ou até mesmo negativas em determinadas horas do dia.

⁴¹ Segundo Watherhouse (2010), uma aeronave sob o sol, pintada com cores escuras, a temperatura em seu interior pode atingir 60°C.

Continuação

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Clima e Ambiente	Clima	Seco	Umidade relativa do ar baixa em determinadas épocas e locais
		Chuva	Poderá operar sob chuva, vôo visual, umidade relativa do ar alta.

Quadro 20 – Clima e ambiente operacional de um motor aeronáutico a etanol para equipar aeronave agrícola.

A posição global e a altitude são características que representam o território Brasileiro. A posição global é indicada como o território Brasileiro por uma questão mercadológica anteriormente definida, a altitude de operação é a informação de onde a aeronave (motor) irá operar. Operações a nível no mar são possíveis assim como trasladados a grandes altitudes.

Os locais de operação são os mais variados possíveis, desde operações em fazendas longínquas (distantes de aeroportos e bases de apoio) até sobre cidades (para o caso de combate a vetores) e próximos a aeroportos e estrutura de apoio.

O clima de operação, assim como as outras características, é também variado, onde este motor poderá estar sujeito a operações em climas secos, com umidade relativa baixa (em estados do centro-oeste, por exemplo) ou em climas úmidos ou até mesmo sob chuva (umidade relativa do ar alta).

4.3.3.2. Operação

As características da operação fornecem os dados referentes ao tipo de aplicação, o regime de trabalho do motor, altitude de aplicação / vôo, tempo e intervalos de trabalho.

Estas informações são mostradas no Quadro 21.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Operação	Altura de operação	Inspeções, Mapeamentos, Sensoriamento remoto, Previsão de safra, Adubação, Controle de pragas, doenças e ervas daninhas, Maturação, Desfolhamento, outras.	3 a 5m acima da vegetação
		Peixamento e Cultivo químico.	Inferior a 3m acima da superfície da água
		Controle de vetores (Malária, Dengue e Oncocercose)	50 à 100m do solo
		Nucleação de nuvens (chuva artificial), Controle de geadas e supressão de neve.	Até 200m – nuvens baixas
		Controle de poluição marinha – derramamento de óleo.	3 a 5m acima da superfície da água, similar à aplicações em culturas
		Inspeção de linhas de alta tensão, Controle de incêndios florestais, outras	15 à 30m acima da copa das árvores
	Velocidade de operação	Rotação no motor – decolagem	2700rpm
		Rotação do motor – Aplicação (75% potência total)	2400rpm
		Rotação do motor - Manobra	2400rpm
	Período de operação	Tempo de operação	Média 400horas/safra
	Manutenção	Inspeções / revisões diárias	Inspeções e revisões a serem efetuadas diariamente antes do início da operação
		Inspeções / revisões semanais	Inspeções e revisões a serem efetuadas semanalmente para acompanhamento durante as operações
		Inspeções / revisões periódicas	Inspeções e revisões a serem efetuadas periodicamente, geralmente após o término do período de aplicação.

Quadro 21 – Detalhes da operação de motor aeronáutico a etanol de aeronave agrícola.

Nas características da operação propriamente dita, trata-se das informações e regimes de utilização da aeronave e do motor, pois não há como tratar-se um separadamente do outro.

A altura de operação específica para cada tipo de utilização do conjunto aeronave/motor a altitude em que a tarefa será realizada. Existem condições em que aeronave irá voar em grandes altitudes (até o seu teto máximo de serviço) como nos traslados por exemplo, ou ainda em altitudes extremamente baixas, a apenas alguns metros do solo, da cultura ou ainda da água.

A velocidade de operação é relativa à rotação do motor, e não à velocidade da aeronave em si quando da realização da tarefa. Durante a aplicação, e aqui aplicação é referente à utilização da aeronave, a rotação do motor varia muito pouco em função de se ter hélice com passo variável, o que diminui drasticamente a variação de rotação, uma vez que a velocidade da aeronave é alterada e ou mantida pela variação do passo da hélice.

O período de operação foi verificado como sendo uma média de tempo de operação durante uma safra. Este seria o período mais longo entre operações consecutivas, pois outras operações como povoamento de rios, combate a incêndios, controle de vetores ou nucleação de nuvens, apenas para citar alguns, são mais pontuais e o tempo de realização da tarefa é significativamente menor.

Há a necessidade da realização de manutenções e/ou revisões e estas foram subdivididas em três fases: manutenções/revisões diárias, manutenções/revisões semanais e manutenções/revisões periódicas. Tais informações são importantes para a determinação de interação do piloto ou mecânico de manutenção com o motor, pois algumas dessas verificações são efetuadas pelo próprio piloto, outras pelo mecânico de manutenção e outras, mais extensas e complexas, somente em oficinas homologadas e requerem um período maior para a execução.

4.3.3.3. Combustível

O combustível a ser utilizado é o AEHC – Álcool Etilico Hidratado Combustível, conforme designação ANP.

As características do AEHC, ou etanol hidratado como é mais conhecido, estão apresentadas no Quadro 22.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Combustível	AEHC – Álcool Etílico Hidratado Combustível (etanol hidratado)	Massa específica	807,6 a 811,0g/l @ 20 °C
		Potencial Hidrogeniônico	pH de 6,0 a 8,0
		Resíduo por evaporação	Max. 5mg/100ml
		Teor de hidrocarboneto	3,0% vol.
		Teor de etanol	92,6 a 93,8
		Pressão de vapor	0,13 kgf/cm ² @ 37,8 °C ⁴²
		Octanagem relativa	98 MON
			109 RON
Poder calorífico	24,55 MJ/kg		

Quadro 22 – Detalhes do combustível a ser utilizado no motor.

Foi estabelecido que o etanol hidratado é o combustível que irá operar neste motor e é o foco de estudo deste trabalho. Suas características físico-químicas diferem muito da AvGas e são fundamentais fatores de influência para o projeto de um motor para equipar uma aeronave.

4.3.4. Normas e homologação

A quarta classe de avaliação dos fatores de influência é a que trata das normas e homologação para a fabricação, ensaios e aprovação para uso dos motores em aeronaves e aeronaves utilizando tais motores.

A ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil, segue na íntegra as instruções normativas da FAA – *Federal Aviation Administration*, órgão americano que regulamenta todo e qualquer produto aeronáutico novo ou modificado, portanto, os RBHA e os RBAC são, na maioria das vezes, transcrições das normas e diretrizes da FAA, contendo algumas adaptações para a realidade Brasileira.

⁴² Conforme FISPQ – Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico, ANP (2011).

Os regulamentos e normas que foram selecionados como aplicáveis ao projeto e desenvolvimento direto dos motores aeronáuticos a etanol estão listados abaixo:

- RBAC 01: Regras, definições, redação e unidades de medidas utilizadas nos RBAC`s;
- RBAC 21: Certificação de produto aeronáutico;
- RBAC 33: Requisitos de aeronavegabilidade: Motores aeronáuticos;
- RBAC 36: Requisitos de ruído para aeronaves;

Ainda existem alguns regulamentos referentes às operações de aeronaves, como o RBHA 137 que trata das Operações Aeroagrícolas, por exemplo, porém não mencionam diretamente o funcionamento das aeronaves e motores, mas apenas a operação de utilização das aeronaves em aplicações agrícolas e correlatas.

Para um melhor entendimento do RBAC e RBHA existe o RBAC 01 que explica e define as regras de redação, unidades de medidas e rege toda a elaboração de tais regulamentos. É importante salientar aqui que o entendimento deste regulamento é imprescindível para o início dos trabalhos com as normas de homologação para o projeto como um todo. O Quadro 23 mostra o RBAC 01 como sendo o ponto de partida para o entendimento destes regulamentos.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Definições e orientação	Origem da norma	Brasil	Abrangência no território Brasileiro
	Organização emissora	ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
	Norma declarante	RBAC 01	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil n° 21 – Regras, definições, redação e unidades de medidas

Quadro 23 – RBAC 01: Regras, definições, redação e unidades de medidas.

Foram estabelecidas, para este estudo, duas subclasses que são:

- Projeto e fabricação: Normas que regem as características e especificações do produto aeronáutico em questão, sendo avaliado o motor propriamente dito e seus componentes bem como a aeronave em que será instalado este motor. Tal

aeronave deverá ser re-certificada quando do uso de um motor de projeto novo (homologação de um novo componente na aeronave).

- Aprovação e ensaios: Normas que regem os ensaios, avaliações e desempenho das peças e equipamentos novos ou modificados.

Normas mais específicas referente às partes e componentes padrão, como fixadores, polias, rolamentos, mangueiras, etc., não foram avaliadas neste momento, porém dever ter também especial atenção para quando do desenvolvimento do projeto.

4.3.4.1. Projeto e fabricação

É importante para a equipe de projeto o conhecimento das normas, regras e diretrizes para a homologação de produtos, bem como o conhecimento do órgão emissor de tal norma e sua abrangência.

Quando se trata de produtos aeronáuticos não é diferente, onde há normas e regulamentos específicos para a homologação de qualquer produto que será utilizado por uma aeronave homologada⁴³.

O Quadro 24 mostra as normas para homologação, neste caso os RBACs que abrangem assuntos relativos ao projeto do motor aeronáutico e suas implicações.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Projeto e fabricação	Origem da norma	Brasil	Abrangência no território Brasileiro
	Organização emissora	ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
	Norma declarante	RBAC 21	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil n° 21 – Certificação de produto aeronáutico
	Subparte da norma declarante	Subparte A	Aplicabilidade
	Item da norma	21.1 – a.1.i	Certificados de homologação de tipo, isenções e aprovação de emendas a tais certificados

Continua

⁴³ Aeronave homologada é toda e qualquer aeronave que satisfaz os requisitos de aeronavegabilidade estabelecidos pelo RBAC e RBHA, dependendo do tipo e configuração desta aeronave.

Continuação

Classe	Propriedade	Informação	Descrição	
Projeto e fabricação		21.1 – a.1.ii	Certificado de homologação de empresa	
		21.1 – a.1.iii	Certificados de aeronavegabilidade	
		21.1 – a.1.iv	Certificado de homologação suplementar de tipo	
		21.1 – a.3	Procedimentos requeridos para a aprovação de certos materiais, peças, processos e dispositivos	
		21.3	Relatórios de falhas, mau funcionamento e defeitos	
		Subparte da norma declarante	Subparte B	Certificado de homologação de tipo
		Item da norma	21.11.a	Procedimentos requeridos para a emissão de certificado de homologação de tipo para aeronaves, motores aeronáuticos e hélices, bem como para concessão de isenções a esses certificados
			21.13	Qualificação
			21.16	Condições especiais – CTA poderá estabelecer condições especiais se considerar que a regulamentação contida nos RBHA não contém padrões de segurança adequados ou apropriados a uma determinada aeronave, motor ou hélice face às características novas ou inusitadas do projeto de tal produto
			21.17	Designação das regras aplicáveis
			21.19	Modificações que requerem um novo certificado de homologação de tipo
			21.31	Projeto de tipo
			21.33	Inspeções e ensaios
			21.41	Certificado de homologação de tipo
			21.43	Localização das instalações para fabricação
			21.50	Instruções para aeronavegabilidade continuada e manuais de manutenção do fabricante contendo seções de limitações de aeronavegabilidade
	Subparte da norma declarante	Subparte D	Modificações aos certificados de homologação de tipo	

Continua

Continuação

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Projeto e fabricação	Item da norma	21.93	Classificação de modificações ao certificado de homologação de tipo
		21.97	Aprovação de grandes modificações no projeto de tipo
		21.99	Modificações de projeto exigidas
		21.101	Determinação dos regulamentos aplicáveis
		21.103	Guarda de documentos e registros
	Subparte da norma declarante	Subparte F	Produção somente com certificado de homologação de tipo
	Item da norma	21.125	Sistema de inspeção de produção: comissão de revisão de materiais
		21.128	Ensaio: motores de aeronaves
	Subparte da norma declarante	Subparte G	Certificado de homologação de empresas
	Item da norma	Todos	Todos os itens devem ser atendidos
	Subparte da norma declarante	Subparte K	Aprovação de materiais, peças, processos e dispositivos
	Item da norma	21.303	Peças para modificação ou reposição
		21.305	Aprovação de materiais, peças, processos e dispositivos
	Subparte da norma declarante	Subparte M	Aprovação para importação de motores, hélices, materiais, peças e dispositivos aeronáuticos
	Item da norma	21.502	Aprovação para importação de materiais, peças e dispositivos
	Origem da norma Organização emissora Norma declarante	Brasil	Abrangência no território Brasileiro
		ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
		RBAC 33	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 33 – Requisitos de Aeronavegabilidade: Morotes Aeronáuticos
	Subparte da norma declarante	Subparte A	Geral
	Item da norma	33.5	Manual de instrução para instalação e operação de motores
		33.7	Classificação de motores e limitações operacionais
		33.8	Seleção de potência de motores e classificação de empuxo
	Subparte da norma declarante	Subparte B	Projeto e construção, generalidades
	Item da norma	33.11	Aplicabilidade
		33.15	Materiais

Continua

Conclusão

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Projeto e fabricação		33.17	Prevenção contra incêndio
		33.19	Durabilidade
		33.21	Refrigeração
		33.23	Acessórios de fixação do motor e estrutura
		33.25	Aparelhos acessórios
		33.28	Sistemas de controle do motor
		33.29	Conexão dos instrumentos
	Subparte da norma declarante	Subparte C	Projeto e construção: motores alternativos aeronáuticos
	Item da norma	33.31	Aplicabilidade
		33.33	Vibração
		33.35	Combustível e sistema de indução
		33.37	Sistema de ignição
		33.39	Sistema de Lubrificação

Quadro 24 – Normas para aprovação de projetos, instalações e processos industriais e comerciais para produtos aeronáuticos - motores.

4.3.4.2. Aprovação e ensaios

Os produtos aeronáuticos, no caso deste trabalho são tratados os motores, devem passar por ensaios e avaliações para serem aprovados para utilização em aeronaves. As normas para tais ensaios, avaliações e aprovações estão descritas no Quadro 25.

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Aprovação e ensaios	Origem da norma Organização emissora Norma declarante	Brasil	Abrangência no território Brasileiro
		ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
		RBAC 33	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil n° 33 – Requisitos de Aeronavegabilidade: Motores Aeronáuticos
	Subparte da norma declarante	Subparte D	Testes: motores alternativos aeronáuticos
	Item da norma	33.41	Aplicabilidade
		33.42	Generalidades
		33.43	Teste de vibração

Continua

Continuação

Classe	Propriedade	Informação	Descrição
Aprovação e ensaios		33.45	Teste de Calibração
		33.47	Teste de detonação
		33.49	Teste de durabilidade
		33.51	Teste de operação
		33.53	Teste de componentes e sistemas do motor
		33.55	Desmontagem de inspeção
		33.57	Condução geral dos testes
	Origem da norma Organização emissora Norma declarante	Brasil	Abrangência no território Brasileiro
		ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
		RBAC 36	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil n° 36 – Requisitos de Ruídos para Aeronaves
	Subparte da norma declarante	Subparte A	Generalidades
	Item da norma	36.1	Aplicabilidade e definições
		36.9	Alterações acústicas: pequenas aeronaves a hélice e aeronaves de conexão
	Subparte da norma declarante	Subparte F	Alterações acústicas: pequenas aeronaves a hélice e aeronaves de conexão
	Item da norma	36.501	Limite de ruído
	Subparte da norma declarante	Subparte O	Documentação, Limites operacionais e informações
	Item da norma	36.1501	Procedimentos, nível de ruído e outras informações
		36.1581	Manuais, marcações e cartazes
		36.1583	Aeronaves agrícolas não homologadas e de combate a incêndio.

Quadro 25 – Normas para ensaios, avaliação e aprovação de produtos aeronáuticos – motores.

Capítulo 5

CONCLUSÃO

Na Introdução deste trabalho apresentou-se a hipótese de que o projeto de um motor aeronáutico dedicado para o funcionamento com etanol como combustível seria viável. Após os estudos e pesquisas realizadas, os fatores de influência no projeto definidos, considera-se viável a operação de um motor aeronáutico a etanol para equipar uma aeronave agrícola, pois, como verificado, o etanol é produzido no Brasil e comercializado em todas os estados e regiões, facilitando a distribuição e o acesso deste por parte dos operadores agrícolas, que com este fato, terão real redução de custos nas suas atividades. A potência requerida para uma aeronave agrícola operar é atingida e superada, se comparando o mesmo motor sendo alimentado com AvGas. Como verificado, os requisitos técnico-operacionais também são atingidos quando o motor funciona com etanol, além de estar operando com um combustível “verde”, de fonte renovável e com ciclo de carbono fechado, ou seja, o que é eliminado por sua queima é reabsorvido pela natureza quando da fotossíntese.

Como problemática da pesquisa tem-se a verificação sobre a frota Brasileira de aeronaves agrícolas, suas características técnicas e operacionais e os motores que equipam estas aeronaves, as características técnicas destes motores e, por fim, o levantamento dos fatores de influência para o projeto de um motor a etanol para equipar uma aeronave agrícola.

Os resultados apresentados no Capítulo 4 formam uma base de informações de maneira a fornecer os subsídios necessários para um melhor entendimento sobre a aviação agrícola no Brasil atualmente e, também, informações sobre os equipamentos utilizados, mais precisamente, os motores que equipam as aeronaves em operação no país, que é o foco do estudo. Tais informações geram uma base de

dados abrangente sobre a frota brasileira de aeronaves agrícolas e suas características. Estes dados direcionaram os estudos para a determinação dos aspectos técnicos do motor a ser estudado, suas características operacionais e construtivas.

A faixa de potência de 151 até 300kW foi definida como base para o estudo devido à quantidade relevante de aeronaves nesta faixa, 1085 unidades das aproximadamente 1500 aeronaves da frota total voando no Brasil estão dentro desta categoria de potência, ou seja, mais de 90% do universo de aeronaves agrícolas no Brasil

Como objetivo principal deste trabalho, destaca-se o levantamento dos fatores de influência para o projeto de um motor a etanol para equipar uma aeronave agrícola.

No projeto de um motor aeronáutico a etanol, as características funcionais, a aplicabilidade do produto, os requisitos operacionais, as normas de homologação e tantos outros pontos avaliados são diferentes para o projeto de uma máquina agrícola, o que gerou a necessidade de adaptação à realidade do produto Motor Aeronáutico a Etanol. A proposta foi efetuar uma análise completa dos fatores de influência no projeto de máquinas agrícolas propostos por Romano (2003) e posteriormente um estudo mais aprofundado efetuado por Marini (2007).

Foi feito um paralelo entre o que Marini propôs e o que o projeto de um motor aeronáutico a etanol para aviação agrícola demandaria e chegou-se a conclusão de que as classes dos fatores de influência teriam de ser ajustadas ao projeto do motor, e outros deveriam ser criados. Estes fatores de influência foram divididos em categorias e estas, em classes. Para cada categoria foram verificadas classes pertinentes a cada assunto e/ou requisito, gerando informações (propriedades) importantes para o modelamento dos fatores de influência e a geração de informações para futuros estudos e abordagens a cerca do assunto em questão.

A estrutura de decomposição básica do motor foi definida para verificação dos subsistemas que o compõe e suas interações, de maneira a esclarecer a necessidade de visualização de uma estrutura física básica deste produto.

A análise comparativa dos motores existentes no mercado e que equipam as aeronaves agrícolas no Brasil foi feita de maneira a direcionar futuramente a equipe de projeto com a tendência de utilização dos motores e fornecer dados destes

motores e suas especificações principais, como base para as especificações técnicas e características construtivas de um projeto futuro.

Dois fabricantes apenas são utilizados para o fornecimento de motores para as aeronaves agrícolas na faixa de potência definida, são eles a Lycoming Engines, que é uma empresa da Textron Company Inc e a Teledyne Continental Motors Inc, ambas empresas Norte-Americanas e referências como produtoras e fornecedoras de motores para a aviação em geral. Este ponto é crucial para o levantamento de mercado, tanto quanto à utilização (tamanho de motor) quanto aos fornecedores, e isto demonstra o potencial de instalação de uma empresa produtora de motores aeronáuticos no Brasil, com tecnologia nacional e inovação, com a finalidade de elevar o Brasil no patamar da tecnologia aeronáutica a nível mundial e reduzir custos para os produtores e consumidores de alimentos por consequência, visto que motores importados (Lycoming 224kW à AvGas) chegam no país por valores próximos a US\$ 85 mil, segundo informações obtidas junto à uma oficina de manutenção de aeronaves homologadas que realiza a importação destes motores e é habilitada inclusive à manutenção e instalação de kits de conversão para o uso de etanol.

A pesquisa sobre as normas de homologação de motores aeronáuticos e suas partes gerou resultados que foram transcritos possibilitando o entendimento referente às exigências e especificações necessárias para homologação de um motor aeronáutico. Concluiu-se que a ANAC segue na íntegra, para a grande maioria de suas regulamentações, as determinações e normas da FAA – *Federal Aviation Administration*, agência norte americana que regulamenta os assuntos de aeronáutica naquele país, porém, há o fato de que a ANAC ainda pode solicitar avaliações, ensaios ou outros requisitos caso não esteja satisfeita com o que foi apresentado ou este possa vir a gerar problemas no futuro, este dado é importante de ser levado em consideração quando de um projeto no futuro.

Para cada um destes itens relacionados tem-se dados e informações contidas no trabalho. Cada um destes itens foi fundamental para a construção dos fatores de influência no projeto de um motor aeronáutico a etanol direcionado para aviação agrícola. Como conclusão final obteve-se a sistematização do conhecimento necessário ao projeto de um motor aeronáutico a etanol para operar como propulsor de aeronave agrícola.

Como perspectiva para a realização de trabalhos futuros, vislumbra-se a avaliação técnica mais aprofundada de motores aeronáuticos de maneira a conhecer mais detalhadamente seu funcionamento e sua funcionalidade. Para tal, está descrito abaixo algumas possibilidades de estudos que poderão ser efetuados:

- Levantamento de curvas de torque e potência para definições físicas de projeto futuro de um motor aeronáutico;

- Avaliação de motores aeronáuticos de aeronaves agrícolas operando com etanol: estudo de manutenção, dados, informações, desempenho, relato de problemas e levantamento geral de informações de operação;

- Projeto e construção de um protótipo para avaliação;

- Ensaio e avaliações em motores convertidos com a utilização de ignição eletrônica e injeção eletrônica para levantamento de potência, torque e consumo em comparação aos com injeção mecânica e ponto fixo (ignição por magneto, sem variação).

- Modelagem, em software de desenho 3D e em software de análise dinâmica de motores, dos motores atuais para avaliações pelo método dos elementos finitos em termos de esforços mecânicos, térmicos e de fluídos bem como o funcionamento destes em simulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AERO AGRÍCOLA DO ALEGRETE. Notícias do aeroclube: Demanda permite que a frota cresça à média de 5% ao ano. Disponível em: <<http://www.aeroagricoladoalegrete.com/verNoticia.php?n=81>>. Acesso em 28 dez. 2010.

AIR BP. Gasolina de aviação. Disponível em: <http://www.airbpbrasil.com.br/combustiveis_gasolina.html>. Acesso em: 28 dez. 2010.

AIR TRACTOR INC. AG Aircraft. Disponível em: <<http://www.airtractor.com/aircraft>>. Acesso em: 24 set. 2010.

ANAC. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Biblioteca Digital. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/biblioteca/rbha.asp>>. Acesso em: 23 set. 2009.

_____. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil N° 01. Regras, Definições, Redação e Unidades de Medidas – RBAC 01. ANAC, 2010a.

_____. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil N° 21. Certificação de produto aeronáutico – RBAC 21. ANAC, 2010b.

_____. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil N° 33. Requisitos de Aeronavegabilidade Para Motores Aeronáuticos – RBAC 33. ANAC, 2010c.

_____. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil N° 36 – Requisitos de Ruídos Para Aeronaves – RBAC 36. ANAC, 2010d.

_____. Regulamento Brasileiro Para Homologação Aeronáutica N° 137 – Operações Aeroagrícolas - RBHA 137. ANAC, 2010e.

ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO E BIOCOMBUSTÍVEIS. Portaria ANP nº 45, de 16.3.2001 - DOU 19.3.2001. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/2001/mar%C3%A7o/panp%2045%20-%202001.xml>. Acesso em: 13 set. 2010.

_____. Resolução ANP N° 36, de 6.12.2005 - DOU 7.12.2005. Disponível em: <http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2005/dezembro/ranp%2036%20-%202005.xml>. Acesso em 22 dez. 2010.

_____. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro: ANP, 2009.

AGROLINK. Manutenção - custos. Disponível em:
<<http://www.agrolink.com.br/aviacao/Manutencao.aspx>>. Acesso em: 24 set. 2010.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D910-7A: Standard specification for aviation gasolines. Philadelphia: ASTM, 2009.

BACK, N. **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983. 389 p.

BACK, N. et al. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. Barueri: Manole, 2008. 601 p.

BIODIESEL BR. PROÁLCOOL – Programa Brasileiro do Álcool. Disponível em:
<<http://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool.htm>>. Acesso em: 13 abr. 2010.

BLOEING WORDPRESS. EMB 202 - Ipanema. Disponível em:
<<http://bloeing.wordpress.com/2008/01/17/emb-202-ipanema/>>. Acesso em: 14 set. 2010.

CTBE. LABORATÓRIO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO BIOETANOL –, disponível em: <<http://www.bioetanol.org.br>>, acesso em 29 dez 2010.

CESSNA AIRCRAFT COMPANY. Título do artigo/notícia. Disponível em:
<<http://www.cessna.com>>. Acesso em 12 nov. 2010.

COSTA, A. A. S. et al. **Determinação da eficiência ecológica em um Motor de combustão interna aeronáutico usando etanol e gasolina de aviação como combustível**. In: Latin-American Congress On Electricity Generation And Transmission, 8. 2009, Ubatuba. Anais... Ubatuba, 2009.

DART AIRCRAFT PARTS. Continental IO-520. Disponível em
<<http://www.dartaircraft.com/engines.htm>>. Acesso em 12 jul. 2011.

EGEBÄCK, K. et al. **Blending of Ethanol in Gasoline for Spark Ignition Engines – Problem Inventory and Evaporative Measurements**. Repot number MTC-5407, AVL MTC Motortestcenter AB Prepared Magnus, 2004 133p.

EMBRAER. EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA. Bandeirante - Informativo Embraer – N° 719. BOTUCATU: EMBRAER, 2005 32 p.

_____. Centro Histórico Embraer. Disponível em:
<<http://centrohistoricoembraer.com.br>>. Acesso em: 30 nov. 2010.

EASA. EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY. Disponível em:
<<http://www.easa.europa.eu>>. Acesso em: 30 nov. 2010.

FAA. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Lycoming Engines Certification. Disponível em:
<[http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_library/rgMakeModel.nsf/0/ffae5a2bb5506dcc8625747a00650001/\\$FILE/1E4.pdf](http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_library/rgMakeModel.nsf/0/ffae5a2bb5506dcc8625747a00650001/$FILE/1E4.pdf)>. Acesso em 14 dez. 2010.

FBVV. FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE VOO A VELA. O Esporte. Disponível em: <http://www.planadores.org.br/?page_id=25>. Acesso em: 25 nov. 2010.

FISPQ. FICHA DE INSTRUÇÃO DE SEGURANÇA DE PRODUTO QUÍMICO. Gasolina de Aviação. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/c6f667004c4aa79c808bc20869efed74/fispq-avi-gasolina-vgas.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=c6f667004c4aa79c808bc20869efed74>>. Acesso em: 20 jan. 2011.

_____. Etanol Hidratado Combustível. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/d4f8b7804c4aa79d809bc20869efed74/fispq-auto-alcool-AEHC.pdf.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=d4f8b7804c4aa79d809bc20869efed74>>. Acesso em: 01 fev. 2011.

FRAME MAINTENANCE. Piper PA 25 Pawnee. Disponível em: <http://flame-maintenance.nl/AUT_4504.jpg>. Acesso em: 26 set. 2010.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

GIPPSLAND AERONAUTICS. GA200C Fatman. Disponível em: <<http://www.gippsaero.com/ZoneID=153.htm>>. Acesso em: 30 nov. 2010.

GOUVINHAS, R. P., CAUCHICK MIGUEL, P. A. C., O Ciclo de Vida do Produto. In: ROMEIRO FILHO, E. (Coord.). **Projeto de Produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. p. 66-75.

HAUSEN, R. B. et al. **Ethanol engines for agricultural aviation**. In: SAE Congress, 10. 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2010.

HARTZELL PROPELLER. Application Guide. Manual n° 159. Revision 20, Piqua, 2010, 1538p.

HEYWOOD, J. B. **Internal combustion engines fundamentals**. 2. ed., New York: McGraw-Hill, 1988. 897 p.

INDÚSTRIA AERONÁUTICA NEIVA. Aeronave Ipanema. Disponível em: <http://www.aeroneiva.com.br/site/content/produtos/produtos_ipanema_apresentacao.asp>. Acesso em: 18 fev. 2010.

ICAO. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Engine and aircraft certification for use with ethanol. In: CONFERENCE ON AVIATION AND ALTERNATIVE FUELS, 2009. Disponível em: <http://www.icao.int/CAAF2009/Docs/CAAF-09_WP006_en.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2009.

IAE. INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO. Disponível em: <<http://www.iae.cta.br/motor.php>>. Acesso em: 4 fev. 2010.

LODETTI, J. Introdução ao estudo e aos ensaios de motores de combustão. Notas de Aula, VIII Curso de Especialização em Motores e Combustíveis. Dept. Eng. Mecânica – DAMEC/ UTFPR, 2001, 317p. Disponível em: <<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/motores/downloads.htm>>. Acesso em: 16 mar. 2011.

MANUAL TÉCNICO AERONAVE IPANEMA EMB 201A – EMBRAER, 1977,

ANDEF. ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. Manual de tecnologia de aplicação. ANDEF. Campinas. Linea Creativa, 2004. 52p.

MARINI, V. K. **Fatores de influência e funções técnicas no projeto de máquinas agrícolas: uma contribuição teórica**. 2007. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MARINI, V. K., ROMANO, L. N. **Influence Factors in Agricultural Machinery Design**. Product: Managagement & Development, Cidade, v. 7, n. ?, p. 111-130, mês. 2009.

MIALHE, L. G. **Manual de Mecanização Agrícola**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1974. 300 p.

NITSCH, M. **O Programa de biocombustíveis Proálcool no contexto da estratégia energética brasileira**. Revista de Economia Política, São Paulo, v. 2, n. 2, abr./jun. 1991.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 412 p.

PARAG, S.; RAGHAVAN, V. **Experimental investigation of burning rates of pure ethanol and ethanol blended fuels**. Combustion and Flame, Madras, v. 156, n. 5, p. 997-1005, 2009.

PHILBIN, T. **As 100 maiores invenções da história: uma classificação cronológica**. Rio de Janeiro: DIFEL, 2006. 416 p.

PINHEIRO, P. C. C. Gasolina para Aviação. Sistemas Térmicos I (EMA-003). Departamento de Engenharia Mecânica UFMG, 1998. Disponível em: <<http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/liquidos/gasolina/avgas.htm>>. Acesso em: 11 maio 2010.

PIPER AIRCRAFT INC. Piper AG Planes. LOCK HAVEN, 1977 6P.

PLANE AND PILOT. Cessna Ag Truck, Ag Wagon, Ag Husky. Disponível em: <<http://www.planeandpilotmag.com/aircraft/international-aircraft-directory/single-engine-aircraft/cessna-ag-wagon-ag-truck-ag-husky.html>>. Acesso em: 24 nov. 2010.

PORTAL DO AGRONEGÓCIO. Custo faz álcool avançar na aviação agrícola no país. Disponível em:

<<http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=14977>>. Acesso em: 25 ago. 2010.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)**. Pennsylvania: Project Management Institute, 2000. 216p.

_____. **Um Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos (PMBOK® Guide)**. Pennsylvania: Project Management Institute, 2004.

POLSKIE ZAKŁADY LOTNICZE SP. – M-18-R Dromader. Disponível em: <<http://www.pzlmielec.pl/en/offer/products/m18-dromader/basic-data/>>. Acesso em: 25 nov. 2010.

ROMANO, L. N. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas**. 266 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SARMENTO, M. M. S. S. **Histórico, Estatística, Legislação e Panorama Atual da Aviação Agrícola**. In: SEMANA DE ENGENHARIA AGRONÔMICA, 14, 2000 SEAB, Botucatu: UNESP, 2000.

SHAUCK, M. E., TUBBS J. Certification of a Carbureted Aircraft Engine on Ethanol Fuel. Department of Aviation Sciences, Baylor University, Waco, TX, 1991.

SHAUCK, M. E., ZANIN M. G. Certification of an Aircraft Engine on Ethanol Fuel. Department of Aviation Sciences, Baylor University, Waco, TX, 1991.

SHELL AVIATION. Aviation Gasoline. Disponível em: <<http://www.shell.com.br/aviation>>. Acesso em: 11 maio 2010.

SHELL AVIATION. Material Safety Data Sheet – MSDS - Aviation Gasoline. Disponível em: <http://www-static.shell.com/static/aus/downloads/fuels/msds/msds_avgas100ll.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2010.

SILVEIRA, V. R. **Cenário atual da aviação agrícola no Brasil**. 184 f. Tese (Mestrado em Engenharia Aeronáutica) – Instituto Técnico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2004.

SINDAG. SINDICATO NACIONAL DAS EMPRESAS DE AVIAÇÃO AGRÍCOLA. Frota Brasileira de Aeronaves Agrícolas, 2008. Disponível em: <<http://www.sindag.org.br/Site/Html/content/artigos/estatisticas.aspx>>. Acesso em: 25 fev. 2011.

TELEDYNE CONTINENTAL MOTORS. IO 520 Series. Disponível em: <<http://www.genuinecontinental.aero>>. Acesso em: 15 dez. 2010.

THRUSH AIRCRAFT INC. SR2-R1340 Flight Manual. Disponível em: <<http://www.thrushaircraft.com/manuals/S2R-R1340.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2010.

TURNER, J. W. G., PEARSON, R. J., HOLLAND, B., PECK, R. Alcohol-based Fuels in High Performance Engines – Lotus Engineering, SAE Papers, 2007.

UNICA. UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Setor sucroenergético Disponível em: < <http://www.unica.com.br/content/default.asp?cchCode={C2B8C535-736F-406B-BEB2-5D12B834EF59}> >. Acesso em 29 dez. 2010a.

_____. Setor sucroenergético – Mapa da produção. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={D6C39D36-69BA-458D-A95C-815C87E4404D}>>. Acesso em 29 dez 2010b.

WATERHOUSE, J. R. **Aeronaves leves movidas a etanol, uma contribuição para sua viabilização**. 2010, 164 p. (Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos) da Universidade de São Paulo, São Carlos 2010.

APÊNDICES

Apêndice A DADOS TÉCNICOS DE MOTORES AERONÁUTICOS

Tabela 3 – Dados e informações sobre motores aeronáuticos.

Motor	Potência [HP]	Potência [kW]	Razão de compressão	Volume [cu-in]	Volume [dm ³]	Rotação [rpm]	N° Cilis	Diâmetro pistão [mm]	Curso pistão [mm]	HP/cil	Peso do motor [kgf]	kW/cil	Relação HP/dm ³	Relação kW/dm ³	Relação kW/kgf	bmep [kPa]	Velocidade média do pistão [m/s]
Continental IO-520-D	300	223,7	8,5:1	520	8,521	2850	6	133,4	101,6	50	208	37	35,21	26,25	1,08	1105,4	9,65
Lycoming O-540-B2C5	235	175,2	7,2:1	540	8,849	2575	6	130,2	111,1	39	179	29	26,56	19,80	0,98	922,9	9,54
Lycoming O-540	260	193,9	7,2:1	540	8,849	2700	6	130,2	111,1	43	180	32	29,38	21,91	1,08	973,8	10,00
Lycoming IO-720-D1CD	375	279,6	8,7:1	720	11,799	2650	8	130,2	111,1	47	268	35	31,78	23,70	1,04	1073,2	9,82
Lycoming IO-540-B2B5	300	223,7	7,2:1	540	8,849	2700	6	130,2	111,1	50	186	37	33,90	25,28	1,20	1123,6	10,00
Lycoming IO-540-K1A5	300	223,7	8,7:1	540	8,849	2700	6	130,2	111,1	50	198	37	33,90	25,28	1,13	1123,6	10,00
Lycoming O-540-H2B5	260	193,9	8,5:1	540	8,849	2700	6	130,2	111,1	43	172	32	29,38	21,91	1,13	973,8	10,00
Lycoming O-540-H2B5D	260	193,9	8,5:1	540	8,849	2700	6	130,2	111,1	43	172	32	29,38	21,91	1,13	973,8	10,00
Lycoming IO-540-K	300	223,7	8,7:1	540	8,849	2700	6	130,2	111,1	50	198	37	33,90	25,28	1,13	1123,6	10,00
Lycoming IO-540-K1J5	320	238,6	8,7:1	540	8,849	2700	6	130,2	111,1	53	198	40	36,16	26,97	1,21	1198,5	10,00
Lycoming O-360-A	180	134,2	8,5:1	360	5,90	2700	4	130,2	111,1	45	129	34	30,51	22,75	1,04	1011,2	10,00
Lycoming O-360-B	168	125,3	7,2:1	360	5,90	2700	4	130,2	111,1	42	127	31	28,48	21,24	0,99	943,8	10,00
Lycoming O-360-E	180	134,2	9,0:1	360	5,90	2700	4	130,2	111,1	45	136	34	30,51	22,75	0,99	1011,2	10,00
Lycoming IO-360-A	200	149,1	8,7:1	360	5,90	2700	4	130,2	111,1	50	147	37	33,90	25,28	1,01	1123,6	10,00
Lycoming IO-360-B	180	134,2	8,5:1	360	5,90	2700	4	130,2	111,1	45	132	34	30,51	22,75	1,02	1011,2	10,00
Lycoming IO-360-J	180	134,2	8,7:1	360	5,90	2700	4	130,2	111,1	45	147	34	30,51	22,75	0,92	1011,2	10,00
Lycoming TIO-360-A	200	149,1	7,3:1	360	5,90	2700	4	130,2	111,1	50	175	37	33,90	25,28	0,85	1123,6	10,00
Lycoming IO-390-X	210	156,6	8,7:1	390	6,39	2700	4	130,2	111,1	53	140	39	32,86	24,50	1,12	1089,0	10,00
Continental IO-240B	125	93,2	8,5:1	240	3,93	2800	4	112,7	98,4	31	113	23	31,78	23,70	0,82	1015,7	9,19
Continental IO360-C	210	156,6	8,5:1	360	5,90	2800	6	112,7	98,4	35	150	26	35,59	26,54	1,04	1137,6	9,19
Continental IO-360-DB	210	156,6	8,5:1	360	5,90	2800	6	112,7	98,4	35	150	26	35,59	26,54	1,04	1137,6	9,19
Continental IO-360-ES	210	156,6	8,5:1	360	5,90	2800	6	112,7	98,4	35	168	26	35,59	26,54	0,93	1137,6	9,19
Continental IO-360-JB	210	156,6	8,5:1	360	5,90	2800	6	112,7	98,4	35	148	26	35,59	26,54	1,06	1137,6	9,19
Continental IO-470-C	250	186,4	8,5:1	470	7,70	2600	6	127,0	101,6	42	204	31	32,45	24,20	0,91	1117,1	8,81
Continental TSIO-360-C	225	167,8	7,5:1	360	5,90	2800	6	112,7	98,4	38	161	28	38,14	28,44	1,04	1218,9	9,19
Continental TSIO-360-F	200	149,1	7,5:1	360	5,90	2575	6	112,7	98,4	33	178	25	33,90	25,28	0,84	1178,1	8,45

Apêndice B RELAÇÃO POTÊNCIA/PESO DE MOTORES AERONÁUTICOS

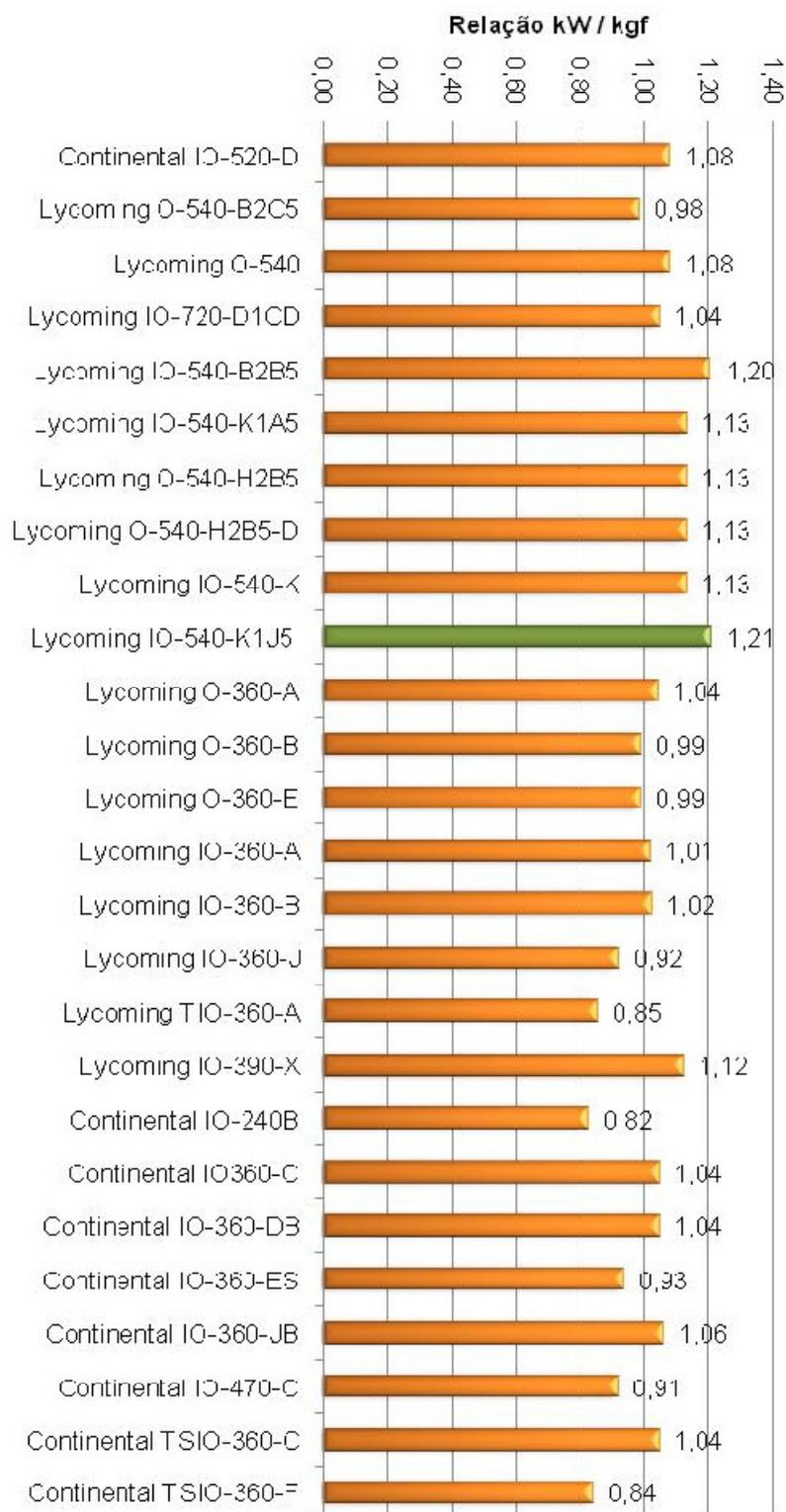


Figura 51 – Relação Potência/Peso de motores aeronáuticos.

Apêndice C RELAÇÃO POTÊNCIA/CILINDRO DE MOTORES AERONÁUTICOS

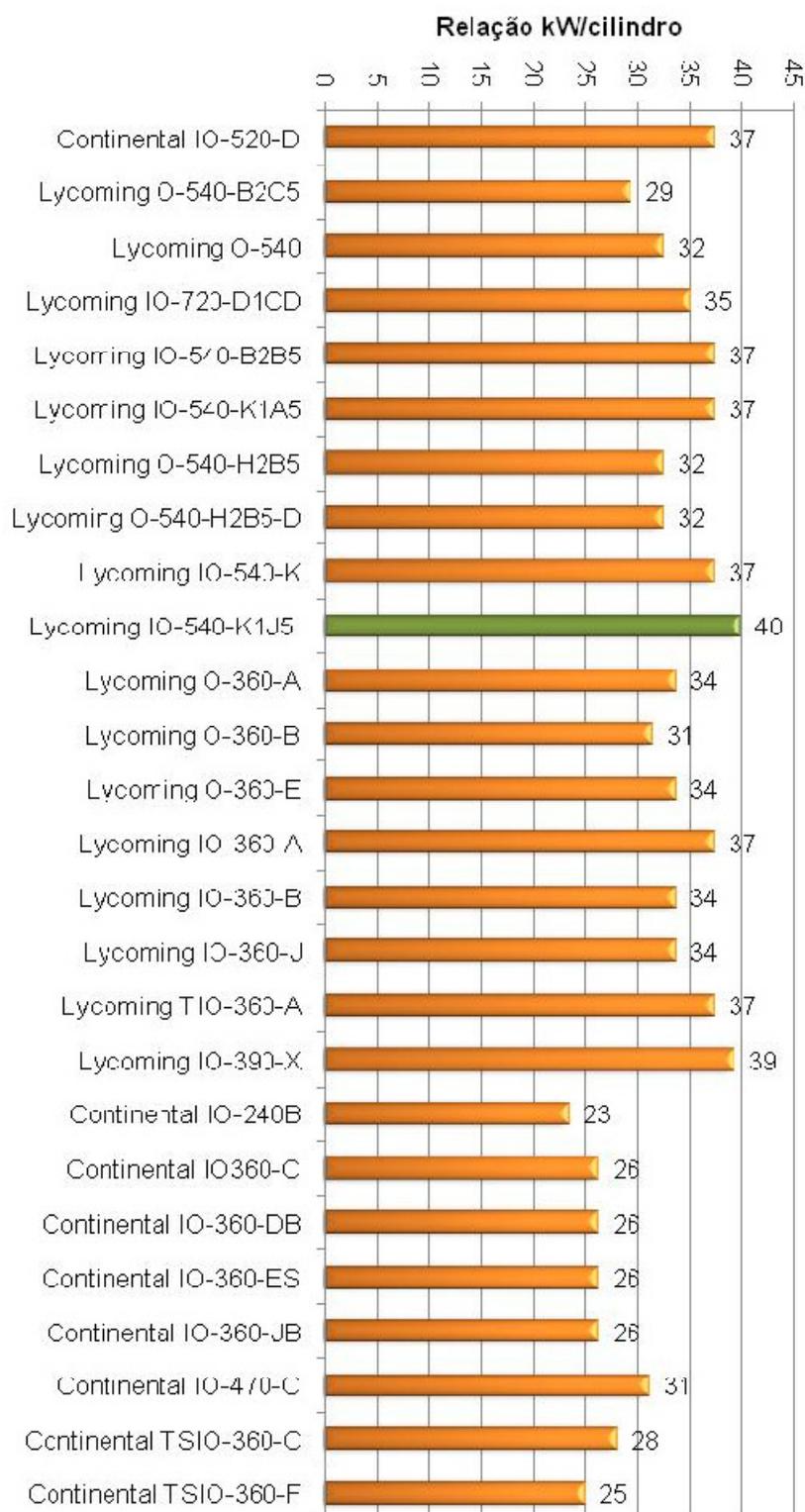


Figura 52 – Relação Potência/Cilindro de motores aeronáuticos.

Apêndice D

RELAÇÃO POTÊNCIA/DESLOCAMENTO VOLUMÉTRICO DE MOTORES AERONÁUTICOS

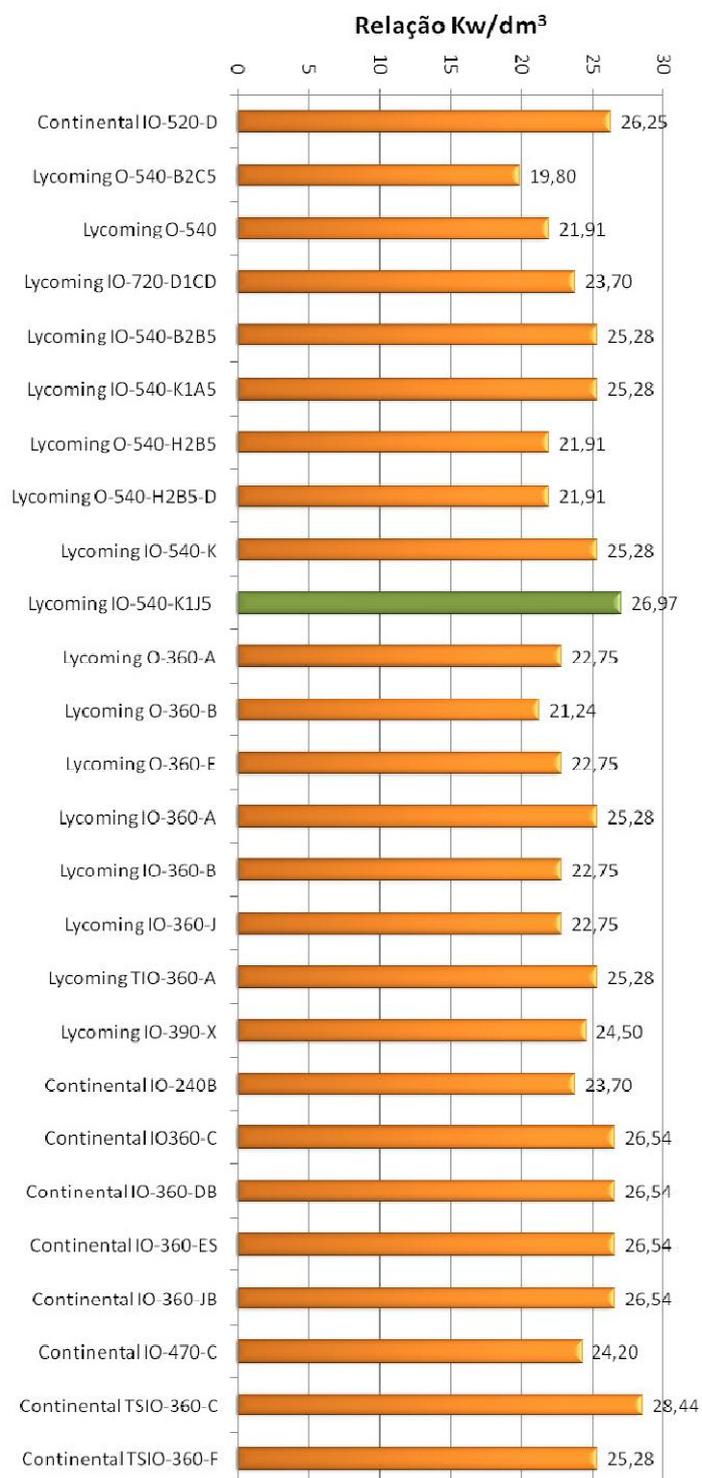


Figura 53 – Relação Potência/Deslocamento Volumétrico de motores aeronáuticos.

Apêndice E PRESSÃO MÉDIA EFETIVA DE MOTORES AERONÁUTICOS

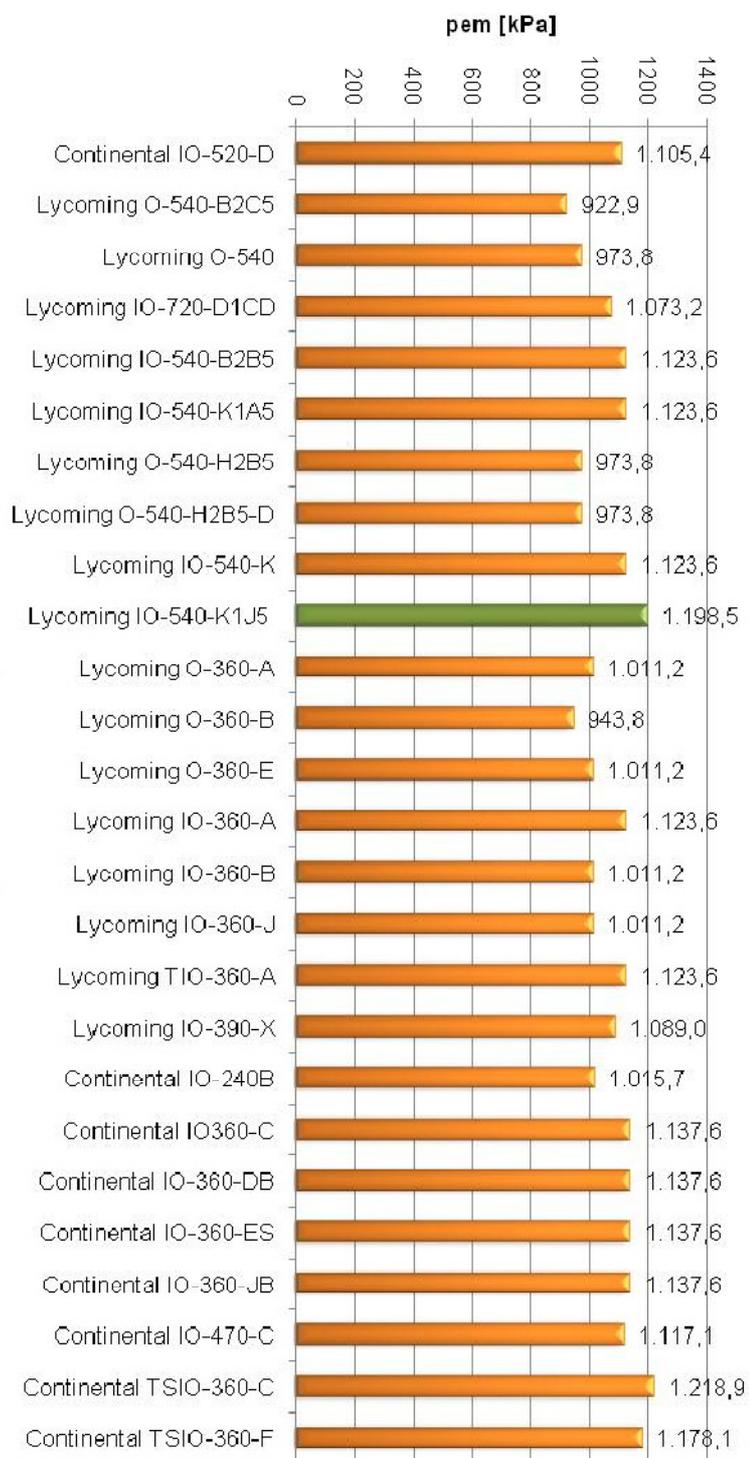


Figura 54 – Pressão média efetiva de motores aeronáuticos.

ANEXOS

Anexo A - FASES E DOMÍNIOS NO MR-PDMA

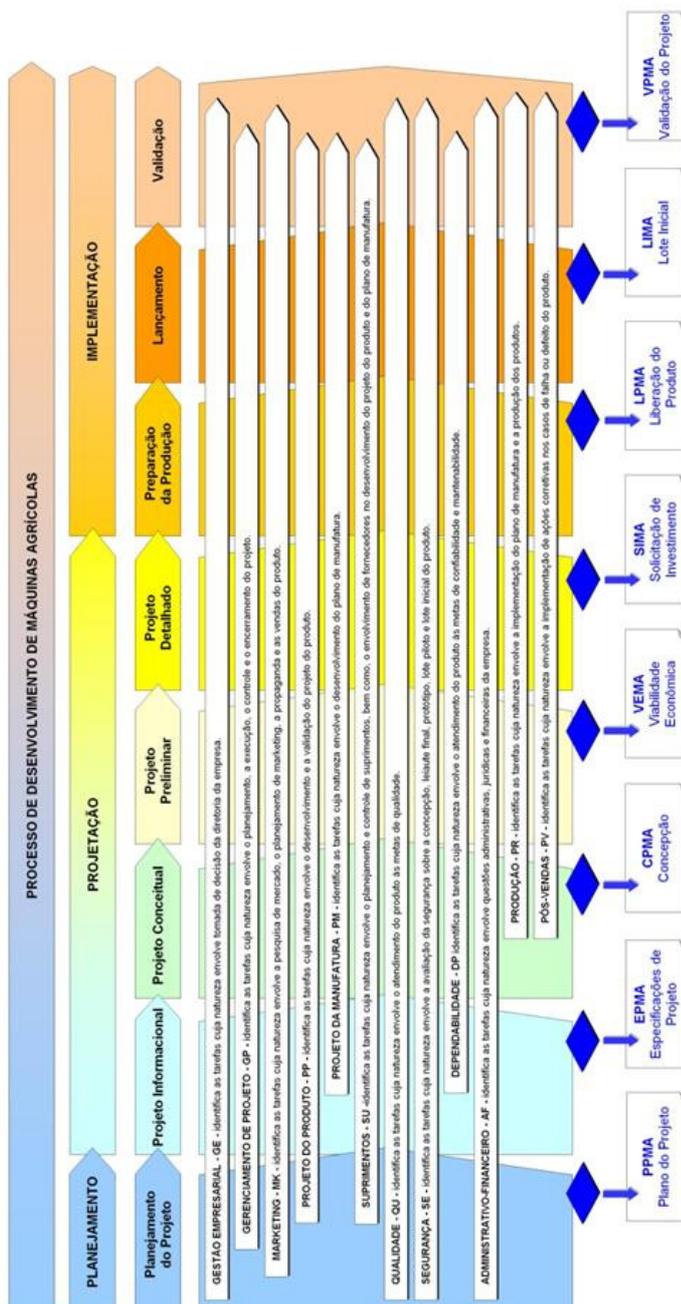


Figura 55 – MR-PDMA, macro fases e os respectivos domínios de conhecimento. Fonte: Romano (2003).

Anexo C MAPEAMENTO DAS CATEGORIAS E CLASSES DE INFORMAÇÕES

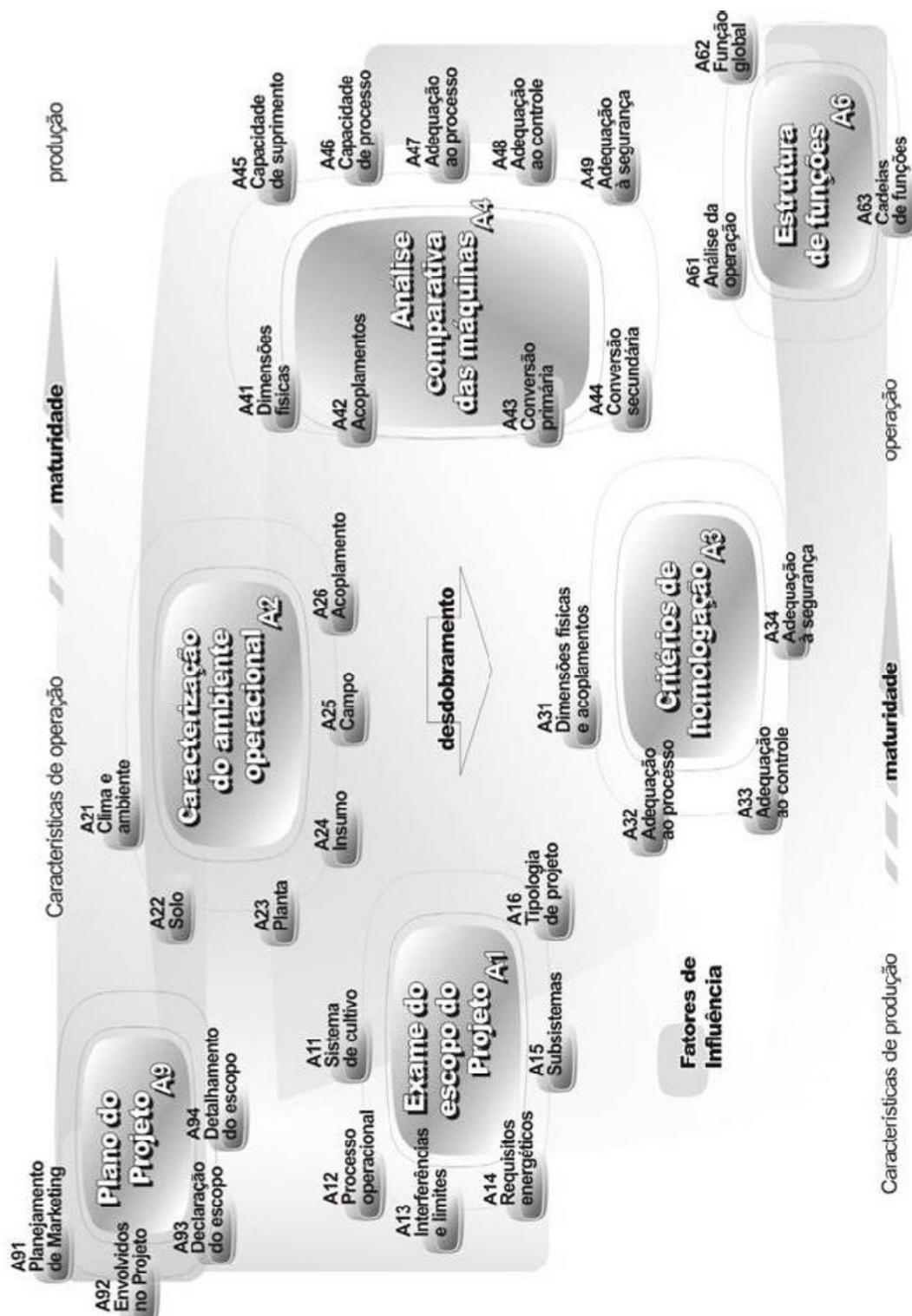


Figura 57 – Mapeamento das categorias e classes de informações.
Fonte: Marini (2007).

Anexo D ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DA AVGAS

CARACTERÍSTICAS	UNIDADE	LIMITES	MÉTODOS	
			ABNT	ASTM
Aparência				
Aspecto		Claro, límpido, isento de água e material sólido	Visual	
Cor(1), ou		Azul	-	D2392
Cor(1), Lovibond		1,7 – 3,5	-	IP 17
Poder antidetonante				
Mistura pobre, n° de Octano, mín.(2)		99,6	-	D2700
Índice de desempenho, mín. (2)		130	-	D909
Chumbo Tetraetila, máx.	g Pb/L	0,56	-	D3341/D5059
	mL/L	0,53		
Poder Calorífico Inferior, mín.	MJ/kg	43,5	-	D1405/D3338/D4529/D4809
Massa Específica a 20°C	kg/m³	Anotar	NBR 7148	D4052
Destilação				
Ponto Inicial de Ebulição, PIE.	°C	Anotar	NBR 9619	D86
10 % evaporado, máx.	°C	75		
40% evaporado, mín.	°C	75		
50% evaporado, máx.	°C	105		
90% evaporado, máx.	°C	135		
Ponto Final de Ebulição, PFE, máx.	°C	170		
Soma 10% + 50% evaporados, mín.	°C	135		
Recuperados, mín.	%vol.	97		
Resíduo, máx.	%vol.	1,5		
Perda, máx.	%vol.	1,5		
Pressão Vapor Reid, kPa a 37,8°C	kPa	38,0 - 49,0	NBR 14149	D323/D5191/D5190
Ponto de Congelamento, máx.	°C	-58	NBR 7975	D2386
Teor de Enxofre, máx.	% massa	0,05	NBR 6563	D1266/D2622/D5453
Corrosividade ao Cobre (2h a 100°C), máx.	-	1	NBR 14359	D130

Continua

Continuação

Goma atual,	mg/100 mL	3	NBR 14525	D381
Estabilidade à oxidação (16h)				
Goma potencial, máx.	mg/100 mL	6	NBR 14976	D873
Chumbo precipitado, máx.	mg/100 mL	2		
Tolerância à água				
Mudança de volume, máx.	mL	2	NBR 6577	D1094
Aditivos (3)				
Aditivo dissipador de cargas estáticas (3) (4) (5)				
Condutividade elétrica (6)	pS/m	50 – 450 (5)	-	D2624

Quadro 26 – Especificações técnicas de AvGas 100LL.

Fonte: Adaptado de ANP (2009).

(1) O único corante azul autorizado para este fim é o 1,4 dialquilamino antraquinona o qual deverá ser adicionado no limite máximo de 2,7 mg/L.

(2) Os valores de poder antidetonante devem ser reportados com aproximação de 0,1 para número de octano. Para índice de desempenho os valores devem ser reportados com números inteiros.

(3) De acordo com as normas ASTM 910 e *Defence Standard 91-90, Issue 2* Publicada em 31 março de 2006 (www.dstan.mod.uk) ou normas posteriores que venham a substituí-las.

(4) Deverá ser adicionado quando houver acordo entre as partes envolvidas.

(5) O aditivo dissipador de cargas estáticas poderá ser utilizado para aumentar a condutividade elétrica da Gasolina de Aviação. Neste caso a condutividade deverá ser mensurada e a concentração de aditivo informada a qual não deverá ser superior a 5 mg/L.

A determinação da Condutividade Elétrica deverá ser realizada, e o limite de especificação aplicável, quando à gasolina de aviação for adicionado o aditivo dissipador de cargas estáticas

Anexo E VENDA DE AVGAS POR REGIÃO E POR ESTADO ATÉ O ANO DE 2008

Grandes Regiões e Unidades da Federação	Vendas de gasolina de aviação pelas distribuidoras (m ³)										08/07 %
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Total	75.613	75.940	70.831	63.342	58.897	61.427	55.464	52.262	54.744	61.010	11,45
Região Norte	10.274	10.992	9.773	9.306	7.696	8.131	7.434	7.206	7.894	9.971	26,32
Rondônia	899	937	686	746	867	804	647	482	588	796	35,29
Acre	465	464	20	489	449	509	607	544	659	860	30,53
Amazonas	1.230	1.572	1.443	1.658	1.283	1.283	920	1.042	1.203	1.455	20,88
Roraima	375	482	710	678	637	832	841	572	400	608	51,98
Pará	6.006	6.577	5.875	4.370	3.155	3.270	3.017	2.950	3.372	4.287	27,13
Amapá	73	36	137	376	395	354	490	445	392	405	3,27
Tocantins	1.226	924	902	988	910	1.078	912	1.172	1.279	1.561	22,02
Região Nordeste	7.963	8.277	7.235	7.340	5.722	6.502	6.324	5.724	5.989	7.037	17,50
Maranhão	685	681	666	818	972	858	1.075	776	841	932	10,85
Piauí	1.112	845	741	440	479	416	447	520	673	822	22,13
Ceará	487	563	612	855	740	815	848	707	578	762	32,00
Rio Grande do Norte	590	521	404	294	162	173	261	238	306	363	18,60
Paraíba	164	17	150	143	56	104	108	159	201	146	-27,34
Pernambuco	3.943	4.002	3.235	2.102	636	688	817	1.079	671	768	14,57
Alagoas	80	110	5	127	162	247	249	187	201	236	17,49
Sergipe	84	165	55	22	15	26	75	40	90	92	2,82
Bahia	819	1.373	1.366	2.539	2.501	3.174	2.445	2.017	2.430	2.915	19,98
Região Sudeste	30.277	30.137	32.456	21.663	15.466	16.626	20.324	21.197	15.087	15.779	4,59
Minas Gerais	3.039	2.662	2.486	2.314	2.121	2.032	2.026	2.325	2.811	3.513	24,98
Espírito Santo	51	49	37	86	84	87	118	143	176	215	22,39
Rio de Janeiro	1.421	1.507	1.470	1.185	1.130	1.171	1.027	1.127	1.391	1.294	-7,02
São Paulo	25.767	25.920	28.464	18.078	12.131	13.336	17.153	17.602	10.708	10.757	0,45
Região Sul	10.052	10.006	7.988	8.586	10.734	11.586	7.113	7.404	10.877	12.575	15,61
Paraná	2.950	2.403	1.395	2.219	5.186	5.113	3.151	3.657	4.764	4.983	4,60
Santa Catarina	1.155	961	772	790	686	486	482	709	884	1.025	16,02
Rio Grande do Sul	5.947	6.642	5.821	5.577	4.862	5.986	3.480	3.038	5.229	6.566	25,58
Região Centro-Oeste	17.047	16.528	13.379	16.448	19.278	18.583	14.268	10.731	14.898	15.648	5,04
Mato Grosso do Sul	2.667	2.958	3.187	3.181	3.575	3.055	2.428	2.192	2.785	3.525	26,58
Mato Grosso	10.882	10.433	7.711	9.273	11.342	10.812	7.913	4.844	7.651	7.047	-7,90
Goiás	2.565	2.360	1.920	3.428	3.849	4.299	3.461	3.124	3.980	4.545	14,19
Distrito Federal	934	777	562	566	512	417	467	570	482	531	10,32

Fonte: ANP/SAB. Dados até 2006, conforme a Portaria CNP nº 221/1981. Dados a partir de 2007, conforme Resolução ANP nº 17/2004.

Nota: Até 2006, inclui as vendas e o consumo próprio das distribuidoras. A partir de 2007, inclui apenas as vendas.

Quadro 27 – Venda de AvGas por região e Estado do Brasil.

Fonte: ANP (2009).

Anexo F PRODUÇÃO DE ETANOL POR REGIÃO E POR ESTADO ATÉ O ANO DE 2008

Grandes Regiões e Unidades da Federação	Produção de álcool etílico hidratado (mil m ³)										08/07 %
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Total	6.812,56	5.056,06	4.985,14	5.548,63	5.638,29	6.788,47	7.832,15	9.851,38	14.302,66	17.556,28	22,75
Região Norte	5,67	24,59	12,81	13,64	8,69	9,24	13,61	19,09	17,91	34,90	94,86
Amazonas	-	3,71	1,85	3,89	4,38	4,67	6,01	5,65	8,26	7,96	-3,64
Pará	5,67	20,89	10,96	9,75	4,32	4,57	7,49	11,32	9,64	25,26	161,89
Tocantins	-	-	-	-	-	-	0,11	2,13	-	1,68	..
Região Nordeste	604,86	677,84	640,04	763,15	737,61	861,09	775,80	711,40	987,60	1.211,57	22,68
Maranhão	12,11	10,73	9,38	6,22	5,61	8,72	11,08	20,26	50,15	60,44	20,51
Piauí	8,96	8,20	13,17	11,60	4,35	4,33	5,83	13,95	9,53	11,42	19,86
Ceará	2,44	0,78	1,19	0,98	0,32	0,15	1,02	1,00	0,57	6,90	1.108,76
Rio Grande do Norte	58,39	42,43	29,82	66,25	31,71	37,44	39,14	28,60	35,44	46,77	31,96
Paraíba	135,85	81,78	136,59	135,88	131,75	158,66	171,71	147,47	212,88	213,15	0,13
Pernambuco	176,79	187,89	123,33	152,07	165,27	151,66	128,22	112,28	212,07	297,94	40,49
Alagoas	159,59	282,28	278,63	344,89	351,10	447,87	361,04	328,90	399,25	494,34	23,82
Sergipe	25,79	36,91	25,27	28,86	29,47	33,78	39,05	30,48	12,46	29,09	133,49
Bahia	24,95	26,85	22,68	16,40	18,04	18,49	18,72	28,45	55,26	51,53	-6,75
Região Sudeste	5.059,41	3.185,66	3.102,00	3.441,03	3.320,67	4.279,67	5.115,17	6.877,56	9.875,79	12.347,86	25,03
Minas Gerais	264,03	208,35	193,43	261,14	400,27	429,32	525,88	691,18	1.167,92	1.634,03	39,91
Espírito Santo	42,04	49,21	57,02	59,79	48,55	46,67	46,27	47,48	88,72	125,43	41,38
Rio de Janeiro	47,21	37,97	38,91	62,19	65,17	101,65	84,08	59,52	93,32	89,20	-4,42
São Paulo	4.706,13	2.890,12	2.812,64	3.057,92	2.806,68	3.702,04	4.458,95	6.079,38	8.525,84	10.499,20	23,15
Região Sul	575,80	614,29	581,65	578,33	729,49	760,64	656,29	864,81	1.563,79	1.471,32	-5,91
Paraná	571,77	611,29	576,34	571,92	723,44	755,82	652,95	859,31	1.556,79	1.465,00	-5,90
Rio Grande do Sul	4,03	3,00	5,31	6,41	6,05	4,82	3,34	5,50	7,00	6,32	-9,74
Região Centro-Oeste	566,81	553,69	648,64	752,48	841,82	877,83	1.271,28	1.378,51	1.857,57	2.490,64	34,08
Mato Grosso do Sul	195,10	168,21	168,67	211,58	252,44	239,99	401,83	437,40	659,43	709,03	7,52
Mato Grosso	205,81	197,76	304,12	334,30	313,08	364,17	436,01	485,88	486,18	546,22	12,35
Goias	165,90	187,71	175,85	206,60	276,31	273,67	433,43	455,24	711,96	1.235,39	73,52

Fonte: MAPA/SPA/DA.

Nota: Estão relacionadas apenas as Unidades da Federação onde houve produção de álcool etílico hidratado no período especificado.

Quadro 28 Produção de etanol por região e Estado do Brasil.
Fonte ANP (2009).

Anexo G ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS AVGAS - SHELL

SHELL AVGAS 100LL

PISTON ENGINE AIRCRAFT FUEL

SPECIFICATIONS/APPROVALS	
US	ASTM - 910
(British)	DEF STAN 91-90
NATO	F-18
Joint Service Designation	F-18

TYPICAL CHARACTERISTICS			
DESCRIPTION	UNITS	METHODS	TYPICAL
APPEARANCE	VISUAL	-	Clear & Bright
DENSITY @ 15°C	kg/L	-	0.718
COLOUR	-	-	Blue
KNOCK RATING LEAN MIXTURE	PN	-	131
RICH MIXTURE	PN	-	101
TETRAETHYL LEAD	g Pb /L	-	0.55
SPECIFIC ENERGY	MJ/kg	-	44
REID VAPOUR PRESSURE	kPA	-	44

Document Information	
PDS Number:	537
Date Revised:	11/12/1998

Quadro 29 – Especificações técnicas da AvGas – Fabricante Shell Aviation.

Fonte: Shell Aviation (2010).

Anexo H ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO ETANOL

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	ESPECIFICAÇÕES		MÉTODO	
		AEAC	AEHC	ABNT/NBR	ASTM (1)
Aspecto	—	(2)	(2)	Visual	
Cor	—	(3)	(3)	Visual	
Acidez total (como ácido acético), máx.	mg/l	30	30	9866	D 1613
Condutividade elétrica, máx	μS/m	500	500	10547	D 1125
Massa específica a 20 °C	Kg/m ³	791,5 máx.	807,6 a 811,0 (4)	5992	D 4052
Teor alcoólico	°NPM	99,3 mín.	92,6 a 93,8 (4)	5992	—
Potencial hidrogeniônico (pH)	—	—	6,0 a 8,0	10891	—
Resíduo por evaporação, máx. (5)	mg/100ml	—	5	8644	—
Teor de hidrocarbonetos, máx.(5) (NR)	%vol.	3,0	3,0	13993	—
Íon Cloreto, máx. (5)	mg/kg	—	1	10894 /10895	D 512(6)
Teor de etanol, mín. (7)	%vol.	99,3	92,6	—	D 5501
Íon Sulfato, máx. (8) (NR)	mg/kg	—	4	10894/ 12120	—
Ferro, máx. (8)	mg/kg	—	5	11331	—
Sódio, máx. (8) (NR)	mg/kg	—	2	10422	—
Cobre, máx. (8) (9) (NR)	mg/kg	0,07	—	10893	—

Quadro 30 – Especificações do Etanol produzido no Brasil ou importado.

Fonte: Adaptado de ANP (2010).

(1) Poderão ser utilizados como métodos alternativos para a avaliação das características nos casos de importação do álcool, com exceção do método ASTM D4052, que poderá ser sempre utilizado como método alternativo para a determinação da massa específica.

(2) Límpido e isento de impurezas.

(3) Incolor a amarelada se isento de corante, cuja utilização é permitida no teor máximo de 20 mg/L com exceção da cor azul, restrita à gasolina de aviação.

(4) Aplicam-se na Importação e Distribuição os seguintes limites para a massa específica e teor alcoólico do AEHC: 805,0 a 811,0 e 92,6 a 94,7 respectivamente.

(5) Limite admitido na Importação e Distribuição, não sendo exigida a análise para a emissão do Certificado de Qualidade pelos Produtores. (NR)

(6) Procedimento C e modificação constante na ASTM D4806.

(7) Requerido quando o álcool não for produzido por via fermentativa a partir da cana-de-açúcar.

(8) O produtor deverá transcrever no Certificado de Qualidade o resultado obtido na última determinação quinzenal, conforme previsto no art. 4º- A da presente Portaria. (NR).

(9) Deverá ser sempre determinado no AEAC que tiver sido transportado ou produzido em local que possua equipamentos ou linhas de cobre, ou ligas que contenham este metal.(NR)

Anexo I INFORMAÇÕES DE HÉLICES MARCA HARTZELL PARA EMBRAER / NEIVA IPANEMA 201A / 202

HARTZELL		APPLICATION GUIDE 159			
EMBRAER		IDS No.: 490	Rev.: Date: 4/7/2003		
Model: FMR-201A, -202 IPANEMA		Modifier:			
Trade Name: IPANEMA		Engine: LYCOMING IO-540-K1J5D			
Aircraft T.C./STC: UNKNOWN		Power: 300 HP @ 2700 RPM			
Propeller Model: HC-C3YR-1RF		Placard/Restr.:			
Propeller T.C.: P25EA		Notes:			
Blade Model(s): F8468A-2R F8468A-2R					
Prop Diameter: 84"					
Prop Setup:		Startlock Angle: NA			
Ref. Radius: 30		Feather/High Angle: 31.0 +1.0			
Reverse Angle: NA		Cwt Angle:			
Low Pitch Angle: 11.0 +0.2					
Non-HPI Items:					
Non-HPI Spinner:		Non-HPI Governor:			
Hartzell Approved Items:					
Item Type	Item Number	Description	Quantity	Qty Per	Comments
PROPELLER	C3R00051	HC-C3YR-1RF/F8468A-2R	1	A/C	
PROPELLER	C3R00051KD	HC-C3YR-1RF/F8468A-2R	1	A/C	
BLADE	F8468A-2R	BLADE UNIT, ALUMINUM	3	Prop	
BLADE	F8468A-2R	BLADE UNIT, ALUMINUM [1,1,1]	3	Prop	
SPINNER	835-38	SPINNER ASSEMBLY, "CNC"	1	Prop	
SPINNER	835-38P	SPINNER ASSEMBLY, "CNC"	1	Prop	
GOVERNOR	F-4-38	GOVERNOR ASSEMBLY, F-4(-)	1	A/C	
MTG BOLT/STUD	A-2087	STUD, MOUNTING, 1/2-20	8	Prop	
EMBRACR					
Model: EMB-201A, -202 IPANEMA		IDS No.: 489	Rev.: Date: 9/9/2002		
Trade Name: IPANEMA		Modifier:			
Aircraft T.C./STC: Unknown		Engine: LYCOMING IO-540-K1F5D, -K1J5D			
Propeller Model: HC-C2YR-1BF		Power: 300 HP @ 2700 RPM			
Propeller T.C.: P-920		Placard/Restr.:			
Blade Model(s): F8475R		Notes:			
Prop Diameter: 84"					
Prop Setup:		Startlock Angle: NA			
Ref. Radius: 30		Feather/High Angle: 29.0 +1.0			
Reverse Angle: NA		Cwt Angle:			
Low Pitch Angle: 13.0 +0.1					
Non-HPI Items:					
Non-HPI Spinner:		Non-HPI Governor:			
Hartzell Approved Items:					
Item Type	Item Number	Description	Quantity	Qty Per	Comments
PROPELLER	C2R00040	HC-C2YR-1RF/F8475R	1	A/C	
BLADE	F8475R	BLADE UNIT, ALUMINUM	2	Prop	
SPINNER	835-38	SPINNER ASSEMBLY	1	Prop	
GOVERNOR	F-4-38	GOVERNOR ASSEMBLY, F-4(-)	1	A/C	
MTG BOLT/STUD	A-2087	STUD, MOUNTING, 1/2-20	8	Prop	

Figura 58 – Informações sobre hélices utilizadas para alguns modelos de motores Lycoming utilizados nas aeronaves Ipanema 201A e 202.
Fonte: Hartzel (2010)