

UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO PROBLEMA DA ESCOLHA ENTRE
MANUTENÇÃO PRÓPRIA OU CONTRATADA NUMA EMPRESA DE
TRANSPORTE AÉREO, TOMANDO-SE POR BASE O MÉTODO FUZZY MULTI-
CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM)

Eduardo Américo Campos Filho

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-graduação em Engenharia
de Transportes, COPPE, da Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título de
Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Amaranto Lopes Pereira

Rio de Janeiro

Março de 2011

UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO PROBLEMA DA ESCOLHA ENTRE
MANUTENÇÃO PRÓPRIA OU CONTRATADA NUMA EMPRESA DE
TRANSPORTE AÉREO, TOMANDO-SE POR BASE O MÉTODO FUZZY MULTI-
CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM)

Eduardo Américo Campos Filho

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Amaranto Lopes Pereira , Dr. Ing.

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D. Sc.

Prof. Márcio de Almeida D'Agosto, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2011

Campos Filho, Eduardo Américo

Uma Contribuição ao Estudo do Problema da Escolha entre Manutenção Própria ou Contratada numa Empresa de Transporte Aéreo, tomando-se por Base o Método Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)/ Eduardo Américo Campos Filho. - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

XII, 102 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Amaranto Lopes Pereira

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 93-96

1. Manutenção. 2. Empresa de Transporte Aéreo. 3. Método Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making (MCDM). I. Pereira, Amaranto Lopes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III Título.

Dedico este trabalho à minha mãe, D. Irene, que até as últimas horas antes do seu falecimento sempre me perguntava:

- E a pós?

Agora eu posso responder:

- Mamãe, terminei!

Obrigado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao meu orientador Prof. Emérito Amaranto Lopes Pereira, com quem tive o grande prazer de conviver e de quem espero ter assimilado, pelo menos, uma pequenina parte daquilo que me foi transmitido.

Obrigado Professor!

Agradeço também à minha esposa Silvana e à minha filha Corina, que compreenderam que era necessário que eu dedicasse um tempo ao estudo e que não poderia acompanhá-las ao cinema, ao teatro ou às festas de aniversário.

Finalmente, agradeço aos meus colegas engenheiros que disponibilizaram seus preciosos tempos para contribuírem como especialistas; e também a todos aqueles que contribuíram para a conclusão desta dissertação.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO PROBLEMA DA ESCOLHA ENTRE
MANUTENÇÃO PRÓPRIA OU CONTRATADA NUMA EMPRESA DE
TRANSPORTE AÉREO, TOMANDO-SE POR BASE O MÉTODO FUZZY MULTI-
CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM)

Eduardo Américo Campos Filho

Março / 2011

Orientador: Amaranto Lopes Pereira

Programa: Engenharia de Transportes.

Este trabalho pretende oferecer uma contribuição aos tomadores de decisão na escolha entre manutenção própria ou contratada para a frota de uma empresa de transporte aéreo de carga ou passageiros. O método Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) (Liang e Wang, 1991) foi escolhido para encontrar a solução mais adequada para este problema. A escolha do método Fuzzy MCDM deveu-se principalmente à possibilidade de serem considerados critérios subjetivos que, além dos critérios objetivos (custos), influenciam significativamente o resultado final. Basicamente o método apresentado é constituído de cinco etapas: definição do grupo de especialistas; definição dos critérios (subjetivos e objetivos) que serão considerados na decisão; definição de uma forma de avaliação dos critérios e das alternativas (manutenção própria ou contratada); associação das avaliações das alternativas, considerando os critérios e os pesos atribuídos a eles; e obtenção do ranque das alternativas. Para ilustrar a aplicação do método Fuzzy MCDM, foi escolhida uma empresa de transporte aéreo de carga e passageiros, que em 2005 optou por desenvolver um Centro de Manutenção. De acordo com a empresa, a opção pela manutenção própria trouxe bons resultados. Tendo em vista que, após a aplicação do método Fuzzy MCDM, a decisão da empresa por manutenção própria foi considerada acertada, pode-se concluir que o método apresentado é adequado para o propósito pretendido.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

A CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE PROBLEM OF CHOOSING
BETWEEN MAKING AND OUTSOURCING MAINTENANCE IN AN AIRLINE,
BY USING OF FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM)
METHOD

Eduardo Américo Campos Filho

March / 2011

Advisor: Amaranto Lopes Pereira

Department: Transportation Engineering

This work intends to offer a contribution to the decision makers when choosing between making or outsourcing maintenance for a cargo or passengers Airline's fleet. The Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) (Liang e Wang, 1991) method has been chosen to find out the more suitable solution for this problem. The choosing of the Fuzzy MCDM method occurred mainly due to the possibility to consider subjective criteria that, additionally to objective criteria, have significant influence in the final results. Basically, the method presented is constituted of five steps: definition of a group of specialists, definition of the criteria (subjective and objective) to be considered for the decision, definition of the rating to evaluate the criteria and the alternatives (make or outsource), aggregation of the alternatives evaluation considering the criteria and their weights; and then obtaining the alternatives final ranking. A cargo and passengers Airline that made the option to develop a Maintenance Center in 2005, was chosen to illustrate the application of the Fuzzy MCDM method. According to the Airline, the option to perform its own maintenance brought good results. Considering that, after the application of the Fuzzy MCDM method, the decision for making the maintenance has been considered correct, it can be concluded that the method presented here is suitable to the intended purpose.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
SIGLAS E DEFINIÇÕES	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. MANUTENÇÃO DE AERONAVES	4
2.1. O PROBLEMA DA MANUTENÇÃO DAS AERONAVES	9
2.2. REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA PARA A ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO	10
2.3. SITUAÇÃO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE AÉREO E MANUTENÇÃO AERONÁUTICA NO BRASIL	15
3. A ESCOLHA DO MÉTODO “FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM)”	19
3.1. O MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM)	19
3.2. O PROBLEMA DA ESCOLHA DE UMA ALTERNATIVA ENVOLVENDO CRITÉRIOS SUBJETIVOS	20
3.3. O MÉTODO ESCOLHIDO PARA A SELEÇÃO DA MELHOR ALTERNATIVA ENTRE MANUTENÇÃO PRÓPRIA OU CONTRATADA: FUZZY MULTI- CRITERIA DECISION-MAKING	26
4. TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY E NÚMEROS FUZZY	30
4.1. CONJUNTOS FUZZY	30
4.2. NÚMEROS FUZZY	31
4.3. OPERAÇÕES FUNDAMENTAIS DE CONJUNTOS FUZZY – UNIÃO, INTERSECÇÃO E COMPLEMENTO	32
4.4. O PRINCÍPIO DA EXTENSÃO	33
5. O MÉTODO FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM) E A ESCOLHA ENTRE MANUTENÇÃO PRÓPRIA OU CONTRATADA	36
5.1. CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS	39
5.2. AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DOS CRITÉRIOS	46
5.3. AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS ..	47
5.4. ASSOCIAÇÃO DAS AVALIAÇÕES DAS ALTERNATIVAS E OBTENÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO FUZZY	49

5.5. RANQUE FINAL.....	56
6. O MÉTODO FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM) APLICADO NA ESCOLHA ENTRE MANUTENÇÃO PRÓPRIA OU CONTRATADA	60
6.1. CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA ONDE O MÉTODO FUZZY MCDM FOI APLICADO.....	61
6.2. A ESCOLHA DOS ESPECIALISTAS.....	64
6.3. AVALIAÇÃO DAS IMPORTÂNCIAS DOS CRITÉRIOS.....	65
6.4. AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS SUBJETIVOS.....	70
6.5. AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS OBJETIVOS.....	75
6.6. ASSOCIAÇÃO DAS IMPORTÂNCIAS DOS CRITÉRIOS	85
6.7. ASSOCIAÇÃO DAS AVALIAÇÕES DAS ALTERNATIVAS DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS SUBJETIVOS E OBJETIVOS	87
6.8. OBTENÇÃO DOS ÍNDICES FUZZY DE ADEQUABILIDADE	89
6.9. OBTENÇÃO DO RANQUE FINAL.....	90
7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
BIBLIOGRAFIA	95
APÊNDICE 1 - QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS	97
APÊNDICE 2 - QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Custos do Transporte Aéreo.	5
Figura 2: Função de pertinência de um número Fuzzy trapezoidal.	31
Figura 3: O conceito do princípio da extensão.	34
Figura 4: Estrutura Hierárquica.	36
Figura 5: O envelhecimento da aeronave aumenta o custo da manutenção.	44
Figura 6: Escala de classificação.	46
Figura 7: Escala de classificação.	47
Figura 8: Representação gráfica da utilidade à direita.	57
Figura 9: Representação gráfica da utilidade à esquerda.	58
Figura 10: Representação gráfica da utilidade total.	58
Figura 11: Crescimento da frota da empresa onde o método Fuzzy MCDM foi aplicado.	62
Figura 12: Dimensões Boeing 737-300.	76
Figura 13: Dimensões Boeing 737-700.	77
Figura 14: Dimensões Boeing 737-800.	78
Figura 15: Representação do índice fuzzy de adequabilidade F_1	89
Figura 16: Representação do índice fuzzy de adequabilidade F_2	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Importância relativa dos elementos.	21
Tabela 2: Modelo de Critérios de Decisão.	25
Tabela 3: Descrição passo a passo do algoritmo do método Fuzzy MCDM.	28
Tabela 4: Critérios objetivos e subjetivos.	45
Tabela 5: Avaliações das importâncias dos critérios.	46
Tabela 6: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_1	47
Tabela 7: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_2	48
Tabela 8: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_3	48
Tabela 9: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_4	48
Tabela 10: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_5	48
Tabela 11: Avaliações das alternativas considerando o critério C_6	49
Tabela 12: Avaliações das importâncias dos critérios pelos especialistas.	66
Tabela 13: Avaliações das importâncias dos critérios pelos especialistas.	70
Tabela 14: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_1	71
Tabela 15: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_2	71
Tabela 16: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_3	72
Tabela 17: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_4	72
Tabela 18: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_5	72
Tabela 19: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_1	73
Tabela 20: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_2	73
Tabela 21: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_3	74
Tabela 22: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_4	74
Tabela 23: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_5	74
Tabela 24: Intervalos e Homens-hora para os “checks” do Boeing 737-300.	80
Tabela 25: Intervalos e Homens-hora para os “checks” do Boeing 737-700/800.	80
Tabela 26: Custo da manutenção contratada para os “checks” do Boeing 737-300.	82
Tabela 27: Custo da manutenção contratada para os “checks” do Boeing 737-700/800.	83
Tabela 28: Avaliações das importâncias dos critérios.	86
Tabela 29: Associação das importâncias dos critérios.	86
Tabela 30: Valores para a associação das importâncias dos critérios.	87
Tabela 31: Associação das avaliações das alternativas.	88

SIGLAS E DEFINIÇÕES

AHP - Analytic Hierarchy Process

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil

ASK - Available Seat Kilometers

ATA - Air Transport Association

CBA - Código Brasileiro de Aeronáutica

CM - Condition Monitoring

DAC - Departamento de Aviação Civil

DOT - Department of Transportation

EO - Especificações Operativas

FAA - Federal Aviation Administration

HT - Hard Time

IAC - Instrução de Aviação Civil

IS - Instrução Suplementar

LRU - Line Replaceable Unit

MANUTENÇÃO DE LINHA: é qualquer manutenção de baixa complexidade realizada antes do voo para assegurar que a aeronave está aeronavegável.

MCDM - Multi-Criteria Decision-Making

MPD - Maintenance Planning Data

MSG - Maintenance Steering Group

OC - On Condition

OEM - Original Equipment Manufacturer

RBAC - Regulamento Brasileiro de Aviação Civil

RBHA - Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica

1. INTRODUÇÃO

Fazer ou contratar?

Uma resposta adequada para esta questão pode ter como consequência um aumento significativo no lucro de uma empresa, assim como uma resposta inadequada pode causar um grande prejuízo.

Em princípio, tudo se resume a questões puramente monetárias. Assim, a investigação deve ser feita no sentido de se descobrir qual alternativa apresenta o menor custo, e conseqüentemente o maior lucro.

No entanto, a alternativa que à primeira vista apresenta um custo menor pode tornar-se mais cara no futuro, pois a solução do problema pode envolver outros critérios além do monetário.

A escolha entre manutenção própria ou contratada para uma frota de aeronaves de uma empresa de transporte aéreo de carga ou passageiros é um exemplo de problema que envolve, além de critérios monetários, considerados como objetivos, outros critérios difíceis ou impossíveis de serem mensurados e que podem afetar significativamente a solução do problema, estes critérios são considerados como critérios subjetivos.

Este trabalho pretende oferecer uma contribuição aos tomadores de decisão para responder de forma adequada à questão formulada acima para uma empresa de transporte aéreo, na decisão entre manutenção própria ou contratada.

Considerando o envolvimento de critérios objetivos e subjetivos, o método utilizado para resolver o problema deve oferecer condições para lidar com variáveis numéricas e variáveis lingüísticas. A teoria dos conjuntos Fuzzy desenvolvido por Zadeh (1965) apresenta as características ideais para tratar deste tipo de problema. Esta teoria permite trabalhar com variáveis linguísticas para avaliar critérios subjetivos, além de oferecer a possibilidade de se trabalhar com opiniões antagônicas.

O método utilizado nesta pesquisa é o “Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making (MCDM)”, mesmo método usado em Liang e Wang (1991) para escolha da localização de uma planta industrial. Este método pode ser resumido nas seguintes fases:

1. Formar um grupo de especialistas;
2. Estabelecer os critérios;
3. Identificar uma forma apropriada para avaliar a importância dos critérios e as alternativas de acordo com os critérios;

4. Associar as avaliações das alternativas, considerando os critérios, de acordo com as importâncias atribuídas aos critérios; e

5. Obter o ranque final das alternativas.

Foi formado um grupo de três especialistas. Os especialistas foram responsáveis por atribuir pesos (importâncias) aos critérios definidos para a escolha entre manutenção própria ou contratada, e também por avaliarem as alternativas de acordo com cada critério.

O principal critério para a escolha dos especialistas foi a experiência na atividade.

A definição dos critérios é muito importante para a obtenção de resultados confiáveis. Vários critérios podem ser considerados. Para a definição dos critérios utilizados nesta pesquisa, foram utilizadas informações de pessoas com larga experiência na aviação. Basicamente, os critérios foram definidos a partir de informações da Boeing e de artigos relacionados ao tema. Assim, chegou-se a seguinte família de critérios:

- Despachabilidade;
- Tamanho da frota;
- Idade da frota;
- Uniformidade da frota;
- Estoque de peças para reposição; e
- Custo das instalações ou do contrato de manutenção.

A forma de avaliação foi a mesma utilizada em Liang e Wang (1991). Foi usado um conjunto W de valores lingüísticos, $W=\{VL, L, M, H, VH\}$ para avaliar a importância dos critérios, onde VL = Muito Baixa, L =Baixa, M =Média, H =Alta e VH =Muito Alta, e um conjunto de classificação lingüística $S=\{VP, B.VP \& P, P, B.P \& F, F, B.F \& G, G, B.G \& VG, VG\}$, onde VP = muito fraco, $B.VP \& P$ = entre muito fraco e fraco, P = fraco, $B.P \& F$ = entre fraco e regular, F = regular, $B.F \& G$ = entre regular e bom, G = bom, $B.G \& VG$ = entre bom e muito bom, e VG = muito bom, para avaliar as alternativas de acordo com cada critério subjetivo.

As avaliações de todos os especialistas para cada alternativa, considerando cada critério, assim como as importâncias atribuídas por todos os especialistas para cada critério, foram associadas utilizando-se a média desses valores, de acordo com Buckley (1984).

Finalmente, foi obtido o ranque final, através do método Chen (1985).

O maior valor indicou a alternativa que foi considerada a mais adequada.

Esta pesquisa está dividida em sete capítulos:

1. Introdução;
2. Manutenção de Aeronaves;
3. A escolha do método “Fuzzy Multi-Criteria Decision- Making (MCDM)”;
4. Teoria dos Conjuntos Fuzzy e Números Fuzzy;
5. O método “Fuzzy Multi-Criteria Decision- Making (MCDM)” e a escolha entre manutenção própria ou contratada;
6. O método “Fuzzy Multi-Criteria Decision- Making (MCDM)” aplicado na escolha entre manutenção própria ou contratada; e
7. Conclusão e Recomendações.

O capítulo 2 traz um resumo de como a manutenção está inserida no contexto do transporte aéreo de carga ou passageiros.

No capítulo 3 são apresentados três métodos pesquisados, que poderiam ser utilizados para a escolha entre manutenção própria ou contratada. Dentre estes métodos está o método Fuzzy Multi-Criteria Decision- Making (MCDM). A escolha do método Fuzzy MCDM também é justificada nesse capítulo.

Alguns tópicos sobre Conjuntos Fuzzy e Números Fuzzy são apresentados no capítulo 4.

O método Fuzzy Multi-Criteria Decision- Making (MCDM) é apresentado no capítulo 5. Nesse capítulo todos os passos para a aplicação do método são detalhados.

A aplicação do método Fuzzy MCDM em uma empresa de transporte aéreo de carga e passageiros é mostrada no capítulo 6. Nesse capítulo o resultado da aplicação do método é analisado.

No capítulo 7 estão a conclusão e as recomendações.

O método apresentado nesta pesquisa mostra-se adequado para ser usado no planejamento estratégico de empresas de transporte aéreo que pretendam aumentar sua frota de aeronaves.

2. MANUTENÇÃO DE AERONAVES

Visando cumprir seus compromissos diários, as empresas de transporte aéreo devem alocar suas aeronaves para os vôos, levando-se em consideração algumas restrições.

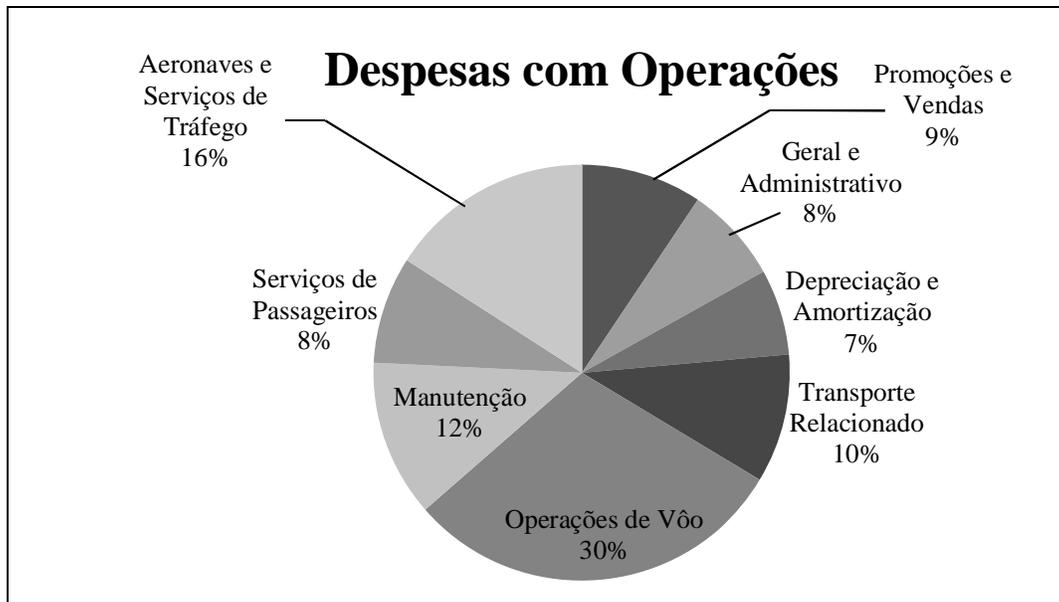
Dentre outras restrições, a programação da manutenção das aeronaves aparece como um grande desafio, pois é desejável que se tenha à disposição a aeronave com as melhores características para realizar determinada viagem.

Os recursos das empresas aéreas são limitados, o que implica muitas vezes em número reduzido de aeronaves. O responsável pela alocação das aeronaves deve então escolher dentre as aeronaves da sua frota qual delas apresenta as melhores características para a realização da viagem (alcance, capacidade, operação nos aeroportos de origem e destino, etc.) e é interessante que as restrições se reduzam às características da aeronave e não tenham a sua indisponibilidade devido à manutenção como um agravante.

Embora em termos de porcentagem a manutenção tenha uma participação pequena no custo total do transporte aéreo (próximo de 12%), Figura 1 (ATA - Air Transport Association), absolutamente o valor é alto (movimenta entre 25 e 30 bilhões de dólares norte-americanos por ano e o inventário da cadeia de suprimento da indústria aeronáutica é avaliado em mais de 50 bilhões de dólares americanos (FAA, 2003)).

As empresas despendem dez homens-hora de manutenção na aeronave para cada hora voada (Pandit, 2007). Os intervalos para os procedimentos de manutenção são baseados numa combinação de horas voadas, número de decolagens e pousos (referidos como ciclos), e a idade da aeronave. Devido à natureza de trabalho intensivo na manutenção de aeronaves, quase metade das empresas de transporte aéreo dos EUA terceirizaram sua manutenção de grande monta (pesada).

Nos EUA, os OEM (Original Equipment Manufacturer) e as principais empresas de transporte aéreo, que executam uma parte substancial da manutenção de suas aeronaves, constituem a maioria do mercado de manutenção. Empresas de manutenção terceirizadas, muitas das quais pertencentes a um consórcio de companhias aéreas, tem sua parte nesse nicho, o qual é esperado crescer rapidamente. Análise das trinta maiores empresas dos EUA em 2007 revela que 90% do mercado estão com os OEM e principais companhias aéreas (Pandit, 2007).



Fonte: ATA Annual Report, 2002.

Figura 1: Custos do Transporte Aéreo.

Os programas de manutenção usados na aviação comercial foram desenvolvidos pela indústria aeronáutica usando duas abordagens básicas: a abordagem orientada para o processo e a abordagem orientada para a tarefa. As diferenças destes dois métodos são duas: a atitude em direção às ações de manutenção e a maneira com que as ações de manutenção são determinadas e atribuídas aos componentes e sistemas. Apesar da indústria da aviação comercial ter caminhado em direção à abordagem orientada para a tarefa para os modelos recentes, existem vários modelos antigos ainda em serviço que usam a abordagem orientada para o processo. Há alguns anos atrás, McDonnell-Douglas (atualmente parte da Boeing) e Boeing desenvolveram novos programas de manutenção com a abordagem orientada para a tarefa para alguns aviões antigos. Os operadores podem comprar esses programas dos fabricantes.

A abordagem orientada para o processo usa três processos de manutenção primários para cumprir as ações programadas de manutenção. Esses processos são chamados “hard time” (HT), “on-condition” (OC) e “condition monitoring” (CM). Os processos HT e OC são usados para componentes e sistemas que, respectivamente, tem limites de vida definidos ou períodos de desgaste detectáveis. O processo CM é usado para monitorar sistemas e componentes que não podem utilizar processos HT ou OC.

Os itens CM são operados até falhar e a taxas de falha são rastreadas para auxiliar nos esforços de prever ou prevenir.

A abordagem orientada para a tarefa usa tarefas pré-determinadas para evitar falhas em serviço. Redundância de equipamentos algumas vezes é usada para permitir que falhas em serviço ocorram sem que haja prejuízo à operação e à segurança de vôo.

A Boeing iniciou a abordagem moderna para o desenvolvimento de programas de manutenção em 1968 com o modelo Boeing 747, então o maior avião comercial. Era o começo de uma nova era, a era dos “jumbos”. A companhia sentiu que essa nova era deveria começar com uma abordagem mais sofisticada para o desenvolvimento do programa de manutenção. Eles organizaram equipes de representantes da área de projeto da Boeing e dos grupos de programa de manutenção juntamente com representantes dos fornecedores e das companhias aéreas que estavam interessadas em comprar o avião. A Federal Aviation Administration (FAA) também foi incluída para assegurar que os regulamentos fossem devidamente abordados.

A abordagem do desenvolvimento do programa de manutenção por este grupo de direção de manutenção (Maintenance Steering Group, (MSG)) foi tão bem sucedida no Boeing 747 que foi levemente modificada para ser usada em outras aeronaves. As referências específicas ao Boeing 747 foram removidas e o novo processo generalizado pôde ser usado em todas as aeronaves. Esse novo processo foi chamado MSG-2. Basicamente, o processo MSG-2 usa do seguinte método para a seleção da tarefa de manutenção: se a falha de uma unidade afeta a segurança e existe um “check” disponível para detectar a redução da resistência a esta falha, então o item em questão é identificado como OC. Se nenhum “check” é disponível, então o item é classificado como HT. Uma vez que a ação é determinada, é necessário definir qual a frequência que tal ação de manutenção deve ser executada. Dados disponíveis de taxas de falha, taxas de remoção, etc., do item foram usados para determinar a frequência da ação.

Os programas de manutenção orientados para a tarefa são criados para a aviação usando um procedimento lógico de decisão desenvolvido pela “Air Transport Association” (ATA). O processo, chamado MSG-3, é uma modificação e um aperfeiçoamento da abordagem do MSG-2.

Enquanto o MSG-2 é uma abordagem “bottom up” (considera-se inicialmente a descrição detalhada dos elementos que compõem o sistema), onde cada unidade é analisada e é atribuído um processo primário a ela (HT, OC ou CM), o MSG-3 é uma

abordagem “top down” (considera-se o sistema como um todo e posteriormente é feita uma especificação dos subsistemas que o compõem) ou consequência da falha, onde a análise da falha é conduzida no mais alto nível gerencial dos sistemas da aeronave ao invés de tratá-la no nível do componente como no MSG-2. A lógica do MSG-3 é usada para identificar tarefas de manutenção programadas apropriadas para prevenir falhas e manter o nível de confiabilidade inerente ao sistema. Existem três categorias de tarefas desenvolvidas pela abordagem do MSG-3: tarefas dos sistemas das aeronaves, tarefas de itens estruturais e tarefas zonais.

De acordo com a abordagem do MSG-3, oito tarefas de manutenção foram definidas para os sistemas da aeronave. Essas tarefas são atribuídas de acordo com o resultado da análise para a decisão e o requisito específico do sistema, componente, etc., em consideração. As oito tarefas são listadas a seguir:

1. Lubrificação;
2. Serviços;
3. Inspeções;
4. “Check” funcional;
5. “Check” operacional;
6. “Check” visual;
7. Restauração; e
8. Descarte.

De acordo com o documento número D6-38278 da Boeing, de setembro de 2009, para as aeronaves modelos Boeing 737-300/400/500, as intervenções de manutenção podem ser resumidas no seguinte:

“Check” de Trânsito: O “check” de trânsito tem a intenção de assegurar condições seguras contínuas para uma aeronave em trânsito. É recomendado que este “check” seja realizado antes do primeiro do voo do dia, e em todas as paradas ao longo da rota durante as próximas 24 horas. O “check” constitui basicamente de um “walk around inspection” da aeronave para detectar possíveis danos óbvios, vazamentos, partes soltas, operação própria dos equipamentos e segurança das fixações.

“Check” Diário: O “check” diário, mais abrangente do que o “check” de trânsito, deve ser realizado ao término da rota. O “check” diário também requer a realização de todos os itens contidos no “check” de trânsito, a menos que sejam obviamente redundantes.

“Check” “A”: O “check” A é considerado uma inspeção primária e destina-se a revelar a condição geral da aeronave. O “check” A deve ser realizado a cada 250 horas de voo. Os múltiplos dos “checks” A (2A, 4A, 8A) são considerados “checks” intermediários, que requerem um exame mais aprofundado da aeronave para determinar a sua condição de aeronavegabilidade. Estas verificações incluem alguns “checks” operacionais, manutenção de filtros, lubrificação e requer a abertura de janelas de inspeção específicas e painéis. Os múltiplos de “A” também requerem o cumprimento de todas as tarefas dos múltiplos menores.

“Check” “C”: O “check” C requer uma inspeção de profundidade maior em toda a aeronave para assegurar a sua aeronavegabilidade continuada. Este “check” envolve a realização de determinados “checks” operacionais/funcionais e requer a remoção de janelas de inspeção e painéis, para facilitar a inspeção. O “check” C também requer a realização de todos os itens dos “checks” menores, se não forem obviamente redundantes. O “check” C deve ser feito em intervalos de 4.000 horas de voo.

“Check” estrutural: A inspeção estrutural deve ser realizada a cada 24.000 horas de voo.

De acordo com o Maintenance Planning Data (MPD), documento D626A001, as tarefas para as aeronaves modelos 737-600/700/800/900 são expressas em horas de voo, ciclos, tempo calendário ou uma combinação deles, com a nota: “*o que ocorrer primeiro*”. Um operador pode agrupar as tarefas em seus próprios intervalos de “checks” desde que tal agrupamento não exceda aos intervalos definidos para a tarefa.

2.1. O PROBLEMA DA MANUTENÇÃO DAS AERONAVES

Manutenção de aeronaves engloba um vasto conjunto de atividades que devem ser executadas de modo a deixar a aeronave em condições aeronavegáveis. Condição aeronavegável significa basicamente estar de acordo com o projeto de tipo aprovado e em condições seguras de operação. As atividades são comumente referidas como manutenção, reparo e revisão geral (MRO (Maintenance, Repair and Overhaul, em inglês)) e incluem uma complexa combinação de tarefas preventivas programadas e não-programadas, bem como grandes restaurações que retornam a aeronave e seus subsistemas tão próximo quanto possível ao seu estado original. O planejamento e a coordenação das tarefas de manutenção de aeronaves são complicados porque cada aeronave possui mais de um milhão de partes em serviço. Dependendo do tipo de operação, as partes de um mesmo tipo de aeronave podem ter diferentes intervalos em serviço, que podem ser medidos em horas de voo, ciclos ou períodos calendáricos. Manutenção de células, motores e outros sistemas e componentes requerem uma ampla gama de ferramentas e equipamentos, treinamento e qualificações e peças para reposição. Como resultado, tem-se uma crescente tendência dentro da indústria aeronáutica em terceirizar as tarefas de manutenção para outras empresas que, através da economia de escala e ganhos alcançados através da especialização nos modelos e procedimentos de manutenção, pode trazer benefícios em custo e qualidade (FAA, 2003).

Nos EUA, antes da desregulamentação do setor em 1978, as empresas aéreas realizavam sua própria manutenção. No entanto, desde aquela época a prática de terceirizar a manutenção tem se espalhado. Atualmente, é comum para as empresas aéreas norte-americanas realizarem na própria empresa a manutenção de linha e a manutenção de pequena monta de modo a preservar a flexibilidade em atender a necessidade de realizar serviços de manutenção simples e terceirizar a manutenção pesada e revisões gerais que requerem equipamentos mais especializados e dispendiosos e treinamentos. Enquanto algumas empresas aéreas continuam a realizar tarefas de manutenção de grande monta na própria empresa, a terceirização deste tipo de serviço está crescendo nos EUA. Manutenção contratada é especialmente atrativa para pequenas empresas aérea iniciantes, para as quais manterem-se com todos os equipamentos e mão de obra qualificada necessários é inviável.

Manutenção e peças de reposição juntas são freqüentemente vistas como potenciais áreas de redução de custo nas empresas aéreas, sem detrimento à segurança de vôo.

Para medir o custo efetivo da manutenção, as empresas aéreas não consideram somente os gastos com equipamentos, pessoal e peças para manutenção própria e/ou o custo dos serviços contratados, mas também é considerado as conseqüências operacionais da manutenção, tais como o impacto da manutenção na disponibilidade da aeronave e as inconveniências causadas aos passageiros devidas às irregularidades técnicas.

Refletindo esta realidade, uma pesquisa global sobre os requisitos de manutenção das empresas aéreas, encabeçada pela Lufthansa Technik em 1997, concluiu que as empresas aéreas não estão simplesmente buscando a manutenção pelo preço mais baixo, mas preferem o mais alto valor para o dinheiro empregado em termos operacionais mais abrangentes. Apropriadamente, a mesma pesquisa concluiu que a maioria das empresas aéreas considerou qualidade do trabalho realizado e o serviço os critérios mais importantes na escolha de um provedor de manutenção. Dentre outros importantes critérios, foram incluídos o tempo de entrega do serviço, o escopo de certificação e capacidade e a experiência e habilidade para assegurar uma alta utilização da aeronave. O custo foi classificado como o sexto em importância.

2.2. REGULAMENTAÇÃO BRASILEIRA PARA A ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO

“A exploração de serviços aéreos públicos dependerá sempre da prévia concessão, quando se tratar de transporte aéreo regular, ou de autorização no caso de transporte aéreo não regular ou de serviços especializados (Art. 180 do Código Brasileiro de Aeronáutica (CBA), Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986)”

De acordo com a Lei nº 11.182, de 27 de setembro de 2005, cabe à ANAC a regulação, fiscalização, concessão ou permissão ou autorização das empresas exploradoras de serviços aéreos:

“Art. 8º - Cabe à ANAC adotar as medidas necessárias para o atendimento do interesse público e para o desenvolvimento e fomento da aviação civil, da infra-estrutura

aeronáutica e aeroportuária do País, atuando com independência, legalidade, impessoalidade e publicidade, competindo-lhe:

X – regular e fiscalizar os serviços aéreos, os produtos e processos aeronáuticos, a formação e o treinamento de pessoal especializado, os serviços auxiliares, a segurança da aviação civil, a facilitação do transporte aéreo, a habilitação de tripulantes, as emissões de poluentes e o ruído aeronáutico, os sistemas de reservas, a movimentação de passageiros e carga e as demais atividades de aviação civil;”

XIV – conceder, permitir ou autorizar a exploração de serviços aéreos;”

Ainda de acordo com o CBA, os serviços aéreos podem ser divididos em públicos e privados:

“Art. 174. Os serviços aéreos compreendem os serviços aéreos privados (artigos 177 a 179) e os serviços aéreos públicos (artigos 180 a 221).”

Os serviços aéreos públicos abrangem o transporte de passageiros e carga:

“Art. 175. Os serviços aéreos públicos abrangem os serviços aéreos especializados públicos e os serviços de transporte aéreo público de passageiro, carga ou mala postal, regular ou não regular, doméstico ou internacional.”

O Art. 196 do CBA estabelece que toda pessoa que explorar serviços aéreos públicos deve dispor de adequadas estruturas técnicas de manutenção e de operação:

“Art. 196. Toda pessoa, natural ou jurídica, que explorar serviços aéreos, deverá dispor de adequadas estruturas técnicas de manutenção e de operação, próprias ou contratadas, devidamente homologadas pela autoridade aeronáutica.”

Conforme as Leis nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986, e nº 11.182, de 27 de setembro de 2005, cabe à ANAC o estabelecimento dos padrões mínimos de segurança:

“Art. 66. Compete à autoridade aeronáutica promover a segurança de vôo, devendo estabelecer os padrões mínimos de segurança...”

§ 1º Os padrões mínimos serão estabelecidos em Regulamentos Brasileiros de Homologação Aeronáutica, a vigorar a partir de sua publicação.”

A Lei nº 11.182 ainda estabelece que os Regulamentos Brasileiros de Homologação Aeronáutica (RBHA) permanecem em vigor até que sejam gradativamente substituídos por regulamentos emitidos pela ANAC. Os regulamentos emitidos pela ANAC passam a ser os Regulamentos Brasileiros de Aviação Civil (RBAC).

No caso de empresas de transporte aéreo, existem basicamente três regulamentos a serem seguidos:

RBAC 119 - Certificação: operadores regulares e não-regulares;

RBAC 121 - Requisitos operacionais: operações domésticas, de bandeira e suplementares; e

RBHA 135 - Requisitos operacionais: operações complementares e por demanda.

As empresas que operam grandes aeronaves devem cumprir o estabelecido no RBAC 119 e RBAC 121, e as empresas que operam aeronaves de menor porte devem o seguir o RBAC 119 e RBHA 135.

De acordo com o RBAC 119, as seguintes definições são usadas:

Operação regular significa uma operação de transporte aéreo público para a qual o detentor do certificado ou seu representante informa previamente o horário e local de partida e o local de chegada.

Operação não-regular significa uma operação de serviço transporte aéreo público para a qual o horário, o local de partida e o local de destino são função da demanda e cujo preço pode ou não ser especificamente negociado com os usuários ou com seus representantes.

Operação doméstica significa qualquer operação regular conduzida por uma pessoa operando quaisquer dos aviões descritos no parágrafo (1) desta definição e nas localidades descritas no parágrafo (2) desta definição:

(1) aviões:

(i) aviões propelidos a jato;

(ii) aviões propelidos a hélice tendo uma configuração para passageiros com mais de 9 assentos, excluindo cada assento para tripulantes; ou

(iii) aviões propelidos a hélice tendo uma capacidade de carga paga superior a 3400 kg (7500 lb).

(2) localidades: entre quaisquer aeródromos dentro do Brasil.

Operação de bandeira significa qualquer operação regular conduzida por uma pessoa operando quaisquer dos aviões citados no parágrafo (1) desta definição e nas localidades descritas no parágrafo (2) desta definição:

(1) aviões:

(i) aviões propelidos a jato;

(ii) aviões propelidos a hélice tendo uma configuração para passageiros com mais de 9 assentos excluindo cada assento para tripulantes; ou

(iii) aviões propelidos a hélice tendo uma capacidade de carga paga superior a 3400 kg (7500 lb).

(2) localidades:

(i) entre qualquer aeródromo regular dentro do território brasileiro e qualquer aeródromo regular fora do território brasileiro; ou

(ii) entre qualquer aeródromo regular fora do território brasileiro e outro aeródromo regular também fora do território brasileiro.

Operação suplementar significa qualquer operação de transporte aéreo público não-regular conduzida com os aviões descritos no parágrafo (1) desta definição e que seja um dos tipos de operação descritos no parágrafo (2) desta definição:

(1) aviões:

(i) aviões tendo uma configuração para passageiros com mais de 30 assentos, excluindo cada assento para tripulante;

(ii) aviões tendo uma capacidade de carga paga superior a 3400 kg (7500 lb);

(iii) cada avião propelido a hélice tendo uma configuração para passageiros com mais de 9 e menos de 31 assentos, excluindo qualquer assento para tripulante, que seja também usado em operações domésticas ou de bandeira e assim listados nas especificações operativas para tais operações, como requerido pelo RBAC 119.49(a)(4); ou

(iv) cada avião propelido a jato tendo uma configuração para passageiros com 1 ou mais e menos de 31 assentos, excluindo cada assento para tripulantes, e que seja também utilizado em operações domésticas ou de bandeira, sendo listado nas especificações operativas, como requerido pelo RBAC 119.49(a)(4), para tais operações.

(2) tipos de operação:

- (i) operações para as quais o horário e o local de partida, assim como o local de destino, são especificamente negociados com o usuário ou seu representante;
- (ii) operações cargueiras; ou
- (iii) operações de fretamento (“charter”) transportando passageiros.

Operação complementar significa qualquer operação regular conduzida por uma pessoa operando um dos tipos de aeronave citados a seguir, com uma frequência semanal total de operação de pelo menos 02 (cinco) circuitos fechados, em pelo menos uma rota entre dois ou mais aeródromos regulares, de acordo com horários de vôo tornados públicos:

- (1) aviões propelidos a hélice tendo uma configuração para passageiros com 9 assentos ou menos, excluindo cada assento para tripulante, e uma capacidade máxima de carga paga de 3400 kg (7500 libras) ou menos; ou
- (2) aeronaves de asas rotativas.

Operação por demanda significa qualquer uma das seguintes operações de transporte aéreo público não-regular:

- (1) operação de transporte de passageiros conduzida através de oferta pública de vagas (“charter”) ou qualquer outra operação na qual o horário, o local de partida, o local de destino e o preço são especificamente negociados entre o usuário e o operador ou representante do operador e que seja um dos seguintes tipos de operação:

- (i) operações conduzidas em aviões, incluindo aviões propelidos a jato, tendo uma configuração para passageiros de 30 ou menos assentos, excluindo cada assento para tripulante, e uma capacidade máxima de carga paga de 3400 kg (7500 lb) ou menos, exceto que operações usando um específico avião que também é usado em operações domésticas ou de bandeira, e listado nas especificações operativas (...) para tais operações, são consideradas como operações suplementares.

- (ii) operações de transporte aéreo público conduzidas com aviões tendo uma configuração para passageiros com menos de 20 assentos, excluindo cada assento para tripulante, e uma capacidade de carga paga inferior a 2720 kg (6000 libras); ou

- (iii) operação conduzida em aeronaves de asas rotativas.

- (2) operações cargueiras conduzidas com aviões propelidos a hélice tendo uma capacidade de carga paga de 3400 kg (7500 lb) ou menos ou com aeronaves de asas rotativas.

O documento que atesta a certificação da empresa de transporte aéreo é Certificado de Empresa de Transporte Aéreo (Certificado ETA), e o conjunto de atributos da empresa, aprovados pela Autoridade Aeronáutica, que especifica as prerrogativas e limitações dessa empresa quanto à operação e manutenção das suas aeronaves são as Especificações Operativas (E.O.). Sua revisão original é emitida juntamente com o respectivo Certificado ETA, ambos de acordo com o RBAC 119.

A legislação brasileira tem a mesma estrutura da legislação norte-americana. Nessa estrutura, os requisitos são estabelecidos na forma de regulamento (RBHA ou RBAC) e as formas de cumpri-los são estabelecidas nas instruções. Da mesma forma que os regulamentos, as instruções publicadas pelo antigo Departamento de Aviação Civil (DAC), as Instruções de Aviação Civil (IAC), serão gradativamente substituídas pelas instruções emitidas pela ANAC, as Instruções Suplementares (IS).

A instrução que fornece meio de cumprimento para o RBAC 119 é a IAC 119-1001. Nessa IAC é estabelecido que:

“Qualquer empresa de transporte aéreo público que deseje executar manutenção nas aeronaves de sua frota, acima do nível de manutenção de linha, conforme definido nesta IAC, deve ser homologada segundo os requisitos aplicáveis do RBHA 145...”

Portanto, uma empresa de transporte aéreo que deseje realizar sua manutenção de base deve se homologar, também, de acordo com o RBHA 145 - Empresas de manutenção de aeronaves.

2.3. SITUAÇÃO DAS EMPRESAS DE TRANSPORTE AÉREO E MANUTENÇÃO AERONÁUTICA NO BRASIL

Existem 26 (vinte e seis) empresas brasileiras de transporte aéreo regular em operação (ANAC, 2010):

Abaeté Linhas Aéreas S/A

ABSA Aerolinhas Brasileiras S/A

Air Minas Linhas Aéreas Ltda

Azul Linhas Aéreas S/A
BETA – Brazilian Express Transporte Aéreos Ltda
Cruise Linhas Aéreas Ltda
Master Top Linhas Aéreas Ltda
Mega Linhas Aéreas Ltda
META – Mesquita Transporte Aéreos Ltda
NHT – Linhas Aéreas Ltda
Noar Linhas Aéreas S/A
Oceanair Linhas Aéreas S/A (Avianca)
Pantanal Linhas Aéreas S/A
Passaredo Transportes Aéreos Ltda
Puma Air Linhas Aéreas Ltda
RLA – Rico linhas Aéreas
Sete Linhas Aéreas Ltda
Sol Linhas Aéreas Ltda
TAF Linhas Aéreas S/A
TAM Linhas Aéreas S/A
TEAM – Transporte Especiais Aéreos e Malotes Ltda
Total Linhas Aéreas S/A
TRIP – Transporte Aéreo Regional do Interior Paulista Ltda
Varig Logística S/A
VRG Linhas Aéreas S/A (GOL)
Webjet Linhas Aéreas S/A

Existem 2 (duas) empresas brasileiras de transporte aéreo não-regular em operação (ANAC, 2010):

Air Brasil Linhas Aéreas
Rio Linhas Aéreas Ltda

Adicionalmente, existem 194 (cento e noventa e quatro) empresas de táxi aéreo (ANAC, 2010).

Das empresas de transporte aéreo regular apenas 23% não possuem certificação como empresa de manutenção aeronáutica, de acordo com o RBHA 145. No entanto, as

certificações são na sua maioria limitadas à manutenção de pequena monta. Apenas pouco mais de 10% dessas empresas possuem certificação de empresa de manutenção aeronáutica com capacidade para realizar a maior parte da manutenção das aeronaves que operam, dentre elas estão a TAM e a VRG.

As duas empresas de transporte aéreo não-regular não possuem certificação como empresa de manutenção aeronáutica.

No Brasil existem 480 (quatrocentas e oitenta) empresas de manutenção certificadas dentro do território brasileiro e 109 (cento e nove) em outros países (dados obtidos da página da ANAC, em 10 de junho de 2010). É interessante observar que, de acordo com o RBHA 43, só pode realizar manutenção em aeronaves brasileiras a empresa que for certificada pela ANAC, esta regra existe em quase todos os países.

Do grupo de empresas citado acima é interessante notar as grandes empresas independentes de manutenção de aeronaves, que não pertencem a nenhuma empresa de transporte aéreo brasileira. Entre as maiores empresas independentes estão: a DIGEX, TAP - ME (antiga Varig Engenharia de Manutenção (VEM)) e EMBRAER. Estas empresas possuem capacidade para realizar manutenção em aeronaves de grande porte, tais como: Boeing 727, 737, 757, 767 e DC-10; Airbus A300, 310, 330 e 340 e EMBRAER ERJ 170 e 190, operadas por grandes empresas de transporte aéreo.

Atualmente, as grandes empresas de transporte aéreo, que possuem certificação de empresa de manutenção aeronáutica, estão fazendo dessas empresas unidades autônomas, com receita própria proveniente de prestação de serviços para outras empresas, além da própria empresa de transporte aéreo do grupo. Um exemplo desta tendência é TAM, que, de acordo com informações da imprensa, está estudando a possibilidade de fazer o “spin off” (separação de ativos) entre as empresas de manutenção e de transporte em 2010.

Diante do que foi exposto neste Capítulo, observa-se que a manutenção adequada das aeronaves de uma companhia aérea é obrigatória, considerando-se os aspectos legais, e necessária, considerando-se a segurança de vôo. Resta à empresa de transporte aéreo decidir quem executará a manutenção das aeronaves da sua frota. Assim, considerando-se a atividade de manutenção, a primeira decisão que a empresa deve enfrentar é: manutenção própria ou contratada.

Para que essa escolha não se transforme em um problema para a empresa, é imprescindível que ela seja feita baseada em critérios adequados e através de métodos igualmente adequados.

3. A ESCOLHA DO MÉTODO “FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM)”

A abordagem utilizada para resolver o problema da escolha entre manutenção própria ou contratada passa necessariamente pela definição dos critérios que devem ser considerados para tal escolha. A determinação dos critérios constitui o primeiro e mais importante passo.

A tomada de uma decisão em uma empresa deve levar em consideração possíveis impactos nos custos e, conseqüentemente, nos lucros. No entanto, a análise apenas dos aspectos financeiros não é suficiente, pois, existem critérios subjetivos que afetam direta ou indiretamente o resultado final.

Assim, a utilização de métodos que levem em consideração aspectos objetivos e também aspectos subjetivos é fundamental para a obtenção de um resultado confiável.

3.1. O MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM)

O problema de escolher dentre várias alternativas qual delas satisfaz melhor um conjunto de critérios, é um problema típico de Multi-Criteria Decision Making (MCDM). De acordo com a International Society on Multiple Criteria Decision Making, MCDM pode ser definido como *“o estudo dos métodos e processos pelos quais as considerações sobre vários critérios conflitantes podem ser formalmente incorporados ao processo de planejamento de gestão”*.

Ainda segundo a International Society on Multiple Criteria Decision Making, a primeira referência relativa ao MCDM pode ser atribuída a Benjamin Franklin (1706-1790), quem supostamente tinha um sistema simples para tomar decisões importantes. Em um pedaço de papel, ele escrevia de um lado os argumentos a favor para uma decisão e do outro lado escrevia os argumentos contrários. No próximo passo ele excluía os argumentos de cada lado do papel que tinham importâncias relativamente iguais. Quando todos os argumentos de um lado eram excluídos, o lado que tinha os argumentos restantes era o lado que devia ser considerado.

Vários pesquisadores trabalharam com MCDM. Kuhn e Tucker (1951), quando formularam as condições ótimas para a programação não-linear em 1951, também

consideraram problemas com múltiplos objetivos. Charnes e Coopers estimularam numerosas pesquisas com seus trabalhos. Dentre os mais novos contribuintes, estão Bruno Contini e Stan Zionts que desenvolveram o modelo de negociação de múltiplos critérios, publicado em 1968.

Após o primeiro encontro organizado por Ziontis em Jouy-en-Josas (1975), os encontros se sucederam até o mais recente encontro, a 20ª conferência da International Society on Multiple Criteria Decision Making, organizada por Y. Shi e S. Wang, em Chengdu (China), em junho de 2009.

3.2. O PROBLEMA DA ESCOLHA DE UMA ALTERNATIVA ENVOLVENDO CRITÉRIOS SUBJETIVOS

No artigo “A multiple Criteria Buy versus Lease Analysis for Government Contracts” (1995), Mollaghasemi e Pet-Edwards apresentam um estudo sobre os critérios e os métodos utilizados para auxiliar o governo de uma localidade e uma empresa na decisão entre a compra ou o “leasing” de equipamentos.

Mollaghasemi e Pet-Edwards (1995), dividem o estudo do problema em duas grandes partes:

1. As implicações financeiras da compra versus “leasing”, e
2. Um modelo de Multi-Criteria Decision Making (MCDM) que explora o impacto de ambos os critérios financeiros e não-financeiros na escolha entre compra ou “leasing”.

Os critérios não-financeiros referidos pelas autoras podem ser aspectos legais, políticos, etc., que as autoras também tratam como intangíveis.

No tratamento dos aspectos financeiros (tangíveis) foi utilizado um modelo desenvolvido em Excel. O modelo simplesmente compara o custo da compra com o custo do “leasing”. Esta comparação deve ser feita em bases iguais.

No entanto, existem os critérios intangíveis que devem ser tratados. Mollaghasemi e Pet-Edwards (1995) alertam que muitos estudos desenvolvidos anteriormente que tratavam do tema compra versus “leasing” falharam nos resultados por não levarem em consideração a importância e a influência de critérios subjetivos (intangíveis). A decisão

entre a compra e o “leasing” pode não se justificar com base somente em considerações financeiras.

Ainda segundo Mollaghasemi e Pet-Edwards (1995), em qualquer problema onde critérios objetivos e intangíveis conflitantes estão envolvidos, uma análise de multi-critério formal é desejável. Em Mollaghasemi e Pet-Edwards (1995) foi escolhido o Analytic Hierarchy Process (AHP). O AHP foi originalmente introduzido por Thomas Saaty na metade de década de 1970. Desde seu desenvolvimento, o AHP tem sido usado em uma larga variedade de aplicações práticas incluindo planejamento econômico, política energética, saúde, resolução de conflitos, seleção de projetos e alocação de orçamento. Em 1986 um programa computacional chamado Expert Choice contribuiu para aumentar a popularidade do AHP.

AHP é uma técnica MCDM que leva em conta ambos os critérios objetivos e subjetivos para fornecer um ranque das alternativas. O primeiro passo de qualquer método de multi-critério é identificar os critérios que serão usados na avaliação das alternativas. O método AHP requer que os critérios para a tomada de decisão sejam organizados em uma estrutura hierárquica onde cada nível de hierarquia consiste de uns poucos critérios críticos que influenciam a qualidade da decisão. Cada critério é, por sua vez, decomposto em subcritérios. O processo de decompor os vários critérios continua até que o tomador de decisão alcança os mais específicos elementos do problema, tipicamente as alternativas da decisão, que são listados na base da hierarquia.

Tabela 1: Importância relativa dos elementos.

<i>Importância</i>	<i>Classificação Numérica</i>
<i>Provavelmente importante</i>	<i>1</i>
<i>Moderadamente importante</i>	<i>3</i>
<i>Fortemente importante</i>	<i>5</i>
<i>Muito fortemente importante</i>	<i>7</i>
<i>Extremamente importante</i>	<i>9</i>

2, 4, 6, e 8 são valores intermediários.

Fonte: Mollaghasemi e Pet-Edwards (1995).

Uma vez que a hierarquia é construída, o próximo passo é determinar a importância relativa ou prioridade de cada um dos elementos (isto é, critérios, subcritérios e alternativas) em cada nível da hierarquia. Isto é atingido através de uma

comparação por pares para cada par de elementos com respeito ao elemento diretamente acima. Em geral, esta comparação toma a forma de: “quanto o elemento 1 é importante quando comparado com o elemento 2, com respeito ao elemento acima?” O tomador de decisão então fornece uma das respostas em valores numérico ou lingüísticos, conforme Tabela 1.

As respostas dos tomadores de decisão são dispostas em uma matriz de comparação da qual as prioridades locais são determinadas.

As prioridades locais em cada nível da hierarquia são então sintetizadas para determinar o ranque cardinal das alternativas. A alternativa com o mais alto ranque é considerada a melhor escolha.

Apesar da larga utilização do AHP, a abordagem não está livre de críticas. Uma das principais críticas é relacionada ao que é chamado de ranque de reversão. Ranque de reversão se refere à reversão de ranque quando novas opções são introduzidas no problema. Isto é, a alternativa *A* pode ser preferida à alternativa *B* quando a alternativa *C* não é considerada; mas, a inclusão da alternativa *C* na escolha pode levar à conclusão de que a alternativa *B* é preferida à alternativa *A*. Schoner e Wedley (1989) propuseram uma abordagem chamada “referenced AHP” e compararam essa abordagem com Benton e Gear (1983) “B-G modified AHP”. Eles concluíram que ambas as abordagens eliminam o problema da reversão de ranque.

Outra grande reclamação sobre o AHP diz respeito à ambigüidade no significado de importância relativa de um critério quando ele é comparado a outro. Pesquisadores argumentam que o tipo de questões formuladas durante o processo de comparação por pares são sem significados. Eles argumentam que quando o tomador de decisão é solicitado a responder questões tais como “quanto fortemente você prefere o critério *A* ao critério *B*”, ele deve ter claro sobre quanto do critério *A* (e.g., custo) está sendo comparado com quanto do critério *B* (e.g., qualidade). A assunção é que o tomador de decisão deve estar pensando em quantidades médias. Caso contrário, ele não poderia fazer um julgamento razoável.

Laios e Moschuris (1997) no artigo intitulado “A Decision Support System for Make or Buy in an Aircraft Maintenance Facility”, também tratam do problema da escolha entre duas alternativas.

Nesse artigo Laios e Moschuris (1997) expõem a importância do tema “make or buy” e a escassez de teoria e pesquisas para orientar os tomadores de decisão no

tratamento deste assunto. Sobre isso, Anderson e Weitz (1986) também sugerem que apesar da decisão entre “make or buy” aparecer freqüentemente, ter implicações importantes na produtividade e definir os limites de uma empresa, existem poucas teorias ou pesquisas sobre o tema.

A importância de levar em consideração os critérios subjetivos também é ressaltada em Laios e Moschuris (1997), quando é comentado que as ferramentas computacionais desenvolvidas levam em consideração apenas aspectos financeiros. No entanto, para se ter uma investigação significativa e completa sobre “make or buy” (terceirização), ambos os critérios devem ser considerados: quantitativo e qualitativo. Os aspectos qualitativos incluem normalmente critérios estratégicos, o impacto em longo prazo que não pode ser facilmente traduzido em valores exatos no custo. Neste caso, as empresas devem usar alguma forma de abordagem de classificação usando critérios categorizados ou ponderados para a avaliação das alternativas.

Uma empresa grega de manutenção de aeronaves foi eleita por Laios e Moschuris (1997) como candidata para a aplicação de um método para suportar a decisão entre “make or buy” (própria ou contratada).

O procedimento tipicamente usado pela empresa grega de manutenção de aeronaves para resolver o dilema de realizar ou contratar os serviços é descrito a seguir.

Para os itens avaliados abaixo de U\$ 20.000,00, o diretor do departamento/usuário avalia as alternativas de realizar ou contratar os serviços e seleciona a opção mais lucrativa. Para os itens avaliados acima de U\$ 20.000,00, a responsabilidade para desenvolver uma política sobre realizar ou contratar os serviços é atribuída a um comitê. Este comitê é formado pelo gerente de compras, como presidente, representantes dos departamentos/usuários, fabricante local, controle da qualidade, pesquisa e desenvolvimento e finanças. O comitê pode solicitar ajuda adicional, principalmente na preparação de um estudo de viabilidade, de outras áreas funcionais, tais como oficinas, etc., critérios pertinentes para serem considerados são o preço, qualidade, tempo de entrega, a capacidade da empresa em realizar o serviço, requisitos adicionais de instalações ou equipamentos, natureza do item, custo de instalação (envolvendo engenharia e ferramental), condições do mercado, e disponibilidade de pessoal e material. O comitê prepara um estudo de viabilidade antes de qualquer decisão. O estudo de viabilidade inclui elementos de custos diretos e indiretos, uma análise de retorno de investimento, margem de lucro, etc.

Para itens com valores muito elevados, o presidente do comitê submete a proposta ao pessoal autorizado para a aprovação final. Mais especificamente, um comitê formado pelo diretor-geral, gerente-geral e o diretor de finanças toma a decisão para itens avaliados entre U\$ 200.000,00 e U\$ 400.000,00. Para itens avaliados acima de U\$ 400.000,00, a proposta é submetida a um grupo de diretores para a aprovação final.

Laios e Moschuris (1997) propõem outro método para avaliar se o serviço será realizado na empresa ou será contratado. O primeiro passo desse método é o desenvolvimento de um curto questionário a fim de determinar o centro decisório do “make or buy” e avaliar um número de critérios que serão levados em consideração. Também é examinado o grau de envolvimento de certos departamentos e os níveis hierárquicos no processo decisório, bem como o impacto de um número de critérios quantitativos, econômicos e técnicos (e.g., custo para realizar/contratar, qualidade, tempo de entrega, situação financeira da empresa, fornecedores, confiabilidade dos fornecedores e a adequação da capacidade de produção) na escolha final.

O resultado da análise foi um modelo (documento) com os critérios que influenciam a escolha das alternativas, a Tabela 2 apresenta parte deste modelo. Os critérios de cada nível mais alto foram decompostos em critérios mais específicos. Esta decomposição facilita a avaliação da contribuição de cada critério no processo decisório.

Um software usando a linguagem Clipper/Dbase III plus foi desenvolvido para a utilização deste método. As telas com os critérios que foram considerados para a escolha entre “própria ou contratada” foram preenchidas pelos membros dos fabricantes locais, finanças, controle da qualidade e do departamento de compras. Desta forma, o conhecimento de “experts” foi incorporado ao sistema, assegurando assim apenas uma chance pequena de direcionamento nos pesos e contagens dos pontos para um específico conjunto de critérios. O direcionamento para uma alternativa é minimizado devido ao fato dos pesos não aparecerem na tela durante a inserção dos dados.

Cada critério de menor nível da árvore de critérios recebe um valor específico do usuário, que varia de 0 a 10. Todos os critérios, desconsiderados os seus níveis, recebem um peso que varia de 0 a 100%. Para os critérios de mesmo nível, a soma dos pesos deve ser igual a 100%. Os pesos selecionados em quaisquer critérios representam a experiência anterior do especialista (“expert”) a respeito da importância relativa dos respectivos critérios. A contagem dos pontos de cada critério no menor nível é calculada

pela multiplicação do valor específico atribuído pelo usuário, pelo respectivo peso e pelos pesos dos níveis acima. A fim de se evitar porcentagens, este produto é multiplicado por 100. Como exemplo, será calculado a contagem de pontos do critério M11121 identificado como “respeito às normas de segurança relacionadas ao uso” (Tabela 2). Será assumido que o valor específico atribuído pelo usuário é 8 e o peso é 30%. Da Tabela 2, é observado que existem quatro níveis (M1112; M111; M11 e M1) acima deste critério. Será assumido que os pesos para estes quatro níveis são 70%, 40%, 30% e 40% respectivamente. A contagem de pontos (“Score”) do critério M11121 é calculada como segue:

$$\text{Score} = 8 \times 30\% \times 70\% \times 40\% \times 30\% \times 40\% \times 100 = \mathbf{8,06}$$

Tabela 2: Modelo de Critérios de Decisão.

Critérios que influenciam a alternativa “realizar”

M1: Critérios qualitativos

M11: Qualidade do item

M111: Item de projeto

M1111: Existência de desenhos e especificações

M1112: Respeito às especificações requeridas

M11121: Respeito às normas de segurança relacionadas ao uso

M11122: Respeito aos requisitos do cliente

M11123: Respeito à programação da produção

M112: Controle de qualidade

M1121: Existência de manuais de controle de qualidade

M1122: Existência de bens de capital para o controle da qualidade

M1123: Existência de procedimentos para o controle da qualidade

Critérios que influenciam a alternativa “contratar”

B1: Critérios qualitativos

B11: Qualidade do item

B111: Item de projeto

B1111: Existência de desenhos e especificações

B1112: Respeito às especificações requeridas

B11121: Respeito às normas de segurança relacionadas ao uso

B11122: Respeito aos requisitos do cliente

B11123: Respeito à programação da produção

B112: Controle de qualidade

B1121: Existência de manuais de controle de qualidade

B1122: Existência de bens de capital para o controle da qualidade

B1123: Existência de procedimentos para o controle da qualidade

Fonte: Laios e Moschuris (1997).

Na tela de avaliação, o sistema calcula, separadamente, a contagem de pontos total dos três tipos de critérios de decisão de cada alternativa (qualitativo, econômico e técnico). A seleção entre as alternativas para o item sob consideração é baseada na comparação da soma do total das contagens de pontos. A alternativa com a mais alta contagem de pontos é considerada a mais adequada.

3.3. O MÉTODO ESCOLHIDO PARA A SELEÇÃO DA MELHOR ALTERNATIVA ENTRE MANUTENÇÃO PRÓPRIA OU CONTRATADA: FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING

Os métodos pesquisados e apresentados até agora, se mostram adequados para a solução do problema da escolha entre manutenção própria ou contratada. No entanto, as aplicações desses métodos não são simples.

No artigo “A Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Method for Facility Site Selection”, publicado em 1991, Liang e Wang propõem um algoritmo para a seleção da localização de uma instalação industrial. O algoritmo proposto é baseado no conceito da teoria dos conjuntos fuzzy e na análise de estrutura hierárquica para associar as avaliações lingüísticas dos tomadores de decisão baseadas em critérios ponderados para obter o que foi chamado de índice fuzzy de adequabilidade (“fuzzy suitability index”). As classificações de adequabilidade são ranqueadas para determinar a melhor localização para a instalação industrial. O artigo foi estudado na disciplina Introdução à Lógica Fuzzy, ministrada pelo Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, do Programa de Engenharia de Produção (PEP) da COPPE, um dos precursores do estudo da Lógica Fuzzy no Brasil.

Assim como os outros métodos mostrados nesta pesquisa, o método Fuzzy MCDM permite que sejam levados em consideração tanto critérios objetivos quanto critérios subjetivos. No entanto, este método leva uma grande vantagem sobre os demais métodos pesquisados: se mostra bastante simples na sua aplicação. Ele foi adaptado e usado nesta pesquisa para auxiliar as empresas de transporte aéreo na escolha entre manutenção própria ou contratada.

Maximizar a utilização dos recursos e minimizar o custo total é o eterno dilema que os tomadores de decisão devem enfrentar quando são solicitados a escolher uma

dentre várias alternativas antagônicas, como manutenção própria ou contratada em uma empresa de transporte aéreo.

Uma escolha imprópria pode resultar num aumento do custo total, sérios atrasos ou dificuldades ou uma substancial redução no lucro da empresa.

Diante desse cenário, é vital para os tomadores de decisão ter em mãos um estudo que seja bem próximo do mundo real, para que não incorram em erros.

Assim como a seleção da localização de uma instalação industrial depende de critérios objetivos (custo) e subjetivos (disciplina dos trabalhadores, disponibilidade de trabalhadores qualificados, condições climáticas, etc.), a escolha entre manutenção própria ou contratada também depende de critérios objetivos e subjetivos (despachabilidade, tamanho da frota, uniformidade da frota, etc.).

No mundo real, para avaliar a adequação da localização de uma indústria, medidas para disciplina dos trabalhadores, condições climáticas e disponibilidade de trabalhadores qualificados, assim como medidas para despachabilidade, uniformidade da frota, etc., para avaliar a melhor alternativa entre manutenção própria ou contratada, podem não ser precisamente definidas para os tomadores de decisão. Conseqüentemente, uma avaliação precisa pode não ser prática. Além disso, os dados de avaliação da localização sob diferentes critérios bem como o peso dos critérios são freqüentemente expressados em termos lingüísticos, e.g., muito baixo, médio, muito pobre, entre muito pobre e pobre, regular, muito bom, etc. Isto também é verdadeiro para a escolha da melhor alternativa entre manutenção própria ou contratada, em uma empresa de transporte aéreo. O método Fuzzy MCDM mostra-se apropriado para associar várias avaliações lingüísticas e pesos para avaliar a adequabilidade da localização de uma indústria, e determinar a melhor seleção, e também para determinar a melhor decisão entre manutenção própria ou contratada, considerando-se que os problemas se equivalem: escolher a alternativa que melhor satisfaça um conjunto de critérios.

Assim como em Liang e Wang (1991), uma medida chamada índice fuzzy de adequabilidade será usada para levar em conta a ambigüidade envolvida na avaliação da adequação das alternativas e a importância dos critérios.

A abordagem utilizada para resolver o problema da escolha entre manutenção própria ou contratada será a mesma utilizada por Liang e Wang (1991). Conforme mencionado anteriormente, tal abordagem consiste no uso de conceitos da teoria de

conjuntos fuzzy e na análise de estrutura hierárquica. Este método mostra-se bastante apropriado para a tomada de decisão em um ambiente onde devem ser consideradas variáveis lingüísticas e numéricas. A Tabela 3 mostra uma descrição passo a passo do método usado.

Os conceitos de análise de estrutura hierárquica com dois níveis serão usados, assim como em Liang e Wang (1991). O primeiro nível é para avaliar a importância fuzzy dos critérios (e.g., despachabilidade, tamanho da frota, uniformidade da frota, custo das instalações, custo do contrato, etc.) e o segundo nível é para atribuir classificações para as alternativas de acordo com cada critério.

Tabela 3: Descrição passo a passo do algoritmo do método Fuzzy MCDM.

-
-
1. *Formar um grupo de especialistas, estabelecer os critérios e identificar as alternativas*
 2. *Identificar uma forma apropriada para avaliar a importância dos critérios*.*
 - * *A importância de cada critério pode ser obtida diretamente atribuindo pesos ou indiretamente usando comparações dois a dois. Será usado um conjunto de ponderação (pesos).*
 3. *Dividir os critérios em duas categorias: subjetivos e objetivos.*
 4. *Identificar uma forma apropriada para avaliar a adequabilidade das alternativas de acordo com os critérios.*
 5. *Tabular as importâncias dos critérios atribuídas pelos especialistas (W_{ij}) para depois associá-las para obter W_i .*
 6. *Tabular as avaliações das alternativas atribuídas pelos especialistas (S_{ij}) para depois associá-las para obter S_{ii} .*
 7. *Tabular os custos associados com as alternativas para atribuir classificações para os critérios objetivos.*
 8. *Associar S_{ii} e W_i com respeito a cada critério para obter os índices fuzzy de adequabilidade para as alternativas.*
 9. *Calcular o valor do ranque final ($U_i(F_i)$) associado a cada índice fuzzy de adequabilidade F_i .*
 10. *Selecionar a alternativa com o maior valor de ranque.*
-
-

Fonte: Liang e Wang (1991).

Para a aplicação do método Fuzzy MCDM supõe-se que exista um grupo formado por n especialistas (J_1, J_2, \dots, J_n) que empregam um ou mais conjuntos de classificação para avaliar as informações de preferências. Estes especialistas são responsáveis por avaliar a adequabilidade de m alternativas (A_1, A_2, \dots, A_m) de acordo com k critérios (C_1, C_2, \dots, C_k), bem como a importância dos critérios. Seja S_{ij} a classificação atribuída para a alternativa A_i pelo especialista J_j considerando o critério C_i . Seja W_{ij} o peso (importância) dado ao critério C_i pelo especialista J_j . O próximo passo é associar as classificações S_{ij} dadas pelos n especialistas para cada alternativa A_i considerando cada critério C_i para obter a classificação S_{it} . Cada S_{it} será ponderado pelo peso (importância) W_i de acordo com a relativa importância conferida a cada critério pelos especialistas. Então, o índice F_i da alternativa A_i será obtido pela associação de S_{it} e W_i para todos os critérios C_i . Finalmente, o índice F_i será ranqueado para ser obtida a alternativa mais adequada.

Vários critérios podem ser considerados na avaliação das alternativas, manutenção própria ou contratada. Tais critérios devem ser estabelecidos considerando as necessidades específicas relacionadas ao problema da decisão entre manutenção própria ou contratada.

4. TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY E NÚMEROS FUZZY

Esta pesquisa não tem como finalidade apresentar um estudo aprofundado da teoria dos conjuntos fuzzy ou dos números fuzzy. Neste capítulo serão apresentados apenas alguns tópicos sobre estes assuntos.

4.1. CONJUNTOS FUZZY

A teoria dos conjuntos fuzzy foi introduzida por Zadeh (1965) para lidar com problemas que envolvam a ausência de critérios claramente definidos. Num universo X , um subconjunto fuzzy A de X é definido por uma função de pertinência $f_A(x)$ que associa cada elemento x em X a um número real num intervalo $[0, 1]$. O valor da função $f_A(x)$ representa o grau de pertinência de x em A . Quanto maior $f_A(x)$, mais forte é um grau de pertinência de x em A .

Os conjuntos convencionais, que são definidos exatamente, são chamados de crisp na teoria de conjuntos fuzzy.

Os conjuntos crisp podem ser definidos pelas funções características como segue:

Se A representa um conjunto crisp no universo X . Então, sua função característica pode ser definida pelo mapeamento:

$$\chi_A : X \rightarrow \{0,1\}$$

como

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in X \\ 0 & x \notin X \end{cases}$$

A função acima indica que se o elemento x pertence a A , χ_A é 1, e se x não pertence a A , χ_A é 0.

Os conjuntos fuzzy não são definidos exatamente. As suas funções características são as funções de pertinência que, conforme definido acima, não estabelecem uma relação binária, 0 ou 1, mas uma gradação maior ou menor dependendo do quanto o elemento está mais próximo ou mais distante do conjunto em questão.

4.2. NÚMEROS FUZZY

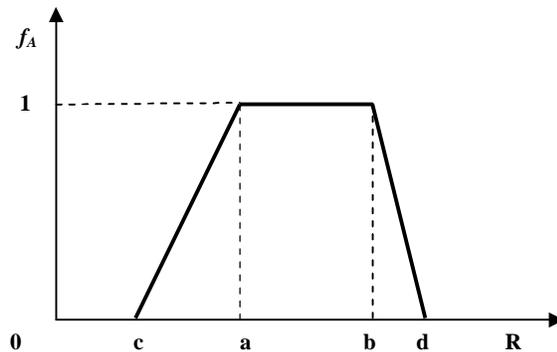
Um número fuzzy B é um subconjunto fuzzy especial dos números reais (Jain 1976, Dubois and Prade 1978). Sua função de pertinência f_B é uma associação continua de R para um intervalo fechado $[0, 1]$, que tem as seguintes características:

- (1) $f_B(x) = 0$ para todo $x \in (-\infty, \alpha] \cup [\delta, \infty)$;
- (2) $f_B(x)$ é estritamente crescente em $[\alpha, \beta]$ e estritamente decrescente em $[\gamma, \delta]$;
- (3) $f_B(x) = 1$ para todo $x \in [\beta, \gamma]$.

Eventualmente, podemos ter $\alpha = -\infty$ ou $\alpha = \beta$ ou $\beta = \gamma$ ou $\gamma = \delta$ ou $\delta = \infty$. Nesta pesquisa, assim como em Liang e Wang (1991), os segmentos de linha reta serão usados para $f_B(x)$ em $[\alpha, \beta]$ e $[\gamma, \delta]$, estes tipos de números fuzzy são chamados números fuzzy trapezoidais. Um número fuzzy A em R é um número fuzzy trapezoidal se sua função de pertinência $f_A: R \rightarrow [0, 1]$ é:

$$f_A(x) = \begin{cases} (x-c)/(a-c) & c \leq x \leq a \\ 1 & a \leq x \leq b \\ (x-d)/(b-d) & b \leq x \leq d \\ 0 & \text{demais} \end{cases} \quad (1)$$

com $c \leq a \leq b \leq d$. O número trapezoidal, conforme equação (1), pode ser denotado por (c, a, b, d) , de acordo com a Figura 2 abaixo:



Fonte: Liang e Wang (1991).

Figura 2: Função de pertinência de um número Fuzzy trapezoidal.

As operações algébricas em um número fuzzy trapezoidal podem ser expressas como:

Mudança de sinal

$$-(c, a, b, d) = (-d, -b, -a, -c)$$

Adição “ \oplus ”

$$(c_1, a_1, b_1, d_1) \oplus (c_2, a_2, b_2, d_2) = (c_1 + c_2, a_1 + a_2, b_1 + b_2, d_1 + d_2)$$

Subtração “ \ominus ”

$$(c_1, a_1, b_1, d_1) \ominus (c_2, a_2, b_2, d_2) = (c_1 - c_2, a_1 - a_2, b_1 - b_2, d_1 - d_2)$$

Multiplicação “ \otimes ”

$$k \otimes (c, a, b, d) = (kc, ka, kb, kd)$$

$$(c_1, a_1, b_1, d_1) \otimes (c_2, a_2, b_2, d_2) \cong (c_1 c_2, a_1 a_2, b_1 b_2, d_1 d_2)$$

se $c_1 \geq 0, c_2 \geq 0$

Divisão “ \oslash ”

$$(c_1, a_1, b_1, d_1) \oslash (c_2, a_2, b_2, d_2) \cong (c_1/d_2, a_1/b_2, b_1/a_2, d_1/c_2)$$

se $c_1 \geq 0, c_2 > 0$

4.3. OPERAÇÕES FUNDAMENTAIS DE CONJUNTOS FUZZY – UNIÃO, INTERSECÇÃO E COMPLEMENTO

As operações fundamentais de conjuntos fuzzy (união, intersecção e complemento) serão apresentadas a seguir.

A união dos conjuntos A e B , representada por $A \cup B$, é um conjunto fuzzy definido pela função de pertinência:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x),$$

onde

$$\mu_A(x) \vee \mu_B(x) = \begin{cases} \mu_A(x) & \mu_A(x) \geq \mu_B(x) \\ \mu_B(x) & \mu_A(x) < \mu_B(x); \end{cases}$$

$\mu_A(x) \vee \mu_B(x)$ pode ser escrito como $\max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$.

A intersecção dos conjuntos fuzzy A e B , representada por $A \cap B$, é um conjunto fuzzy definido pela função de pertinência:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x),$$

onde

$$\mu_A(x) \wedge \mu_B(x) = \begin{cases} \mu_A(x) & \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \\ \mu_B(x) & \mu_A(x) > \mu_B(x); \end{cases}$$

$\mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$ pode ser escrito como $\min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$.

O complemento do conjunto fuzzy A , representado por \bar{A} , é um conjunto fuzzy definido pela função de pertinência:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

4.4. O PRINCÍPIO DA EXTENSÃO

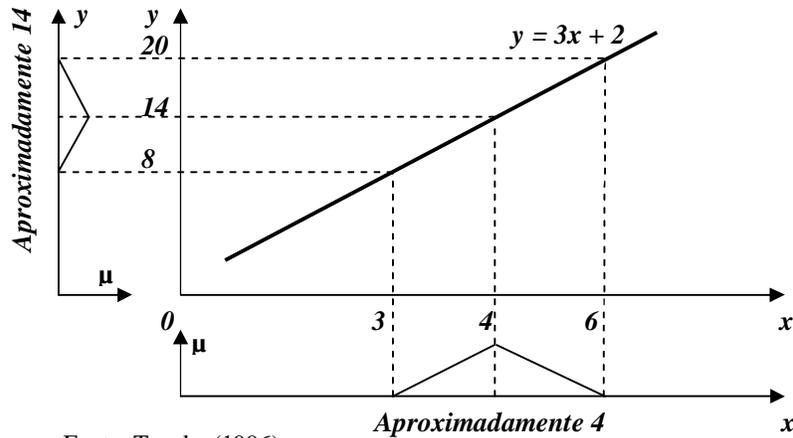
Quando existe uma relação $y = 3x + 2$ entre x e y envolvendo conjuntos convencionais “crisp”, o valor de y para $x = 4$ pode ser calculado por

$$3 \times 4 + 2 = 14$$

No entanto, quando x é dado por um conjunto fuzzy tal que $x =$ “aproximadamente” 4, o valor de y não é evidente. O principio da extensão oferece um método para resolver este problema, Tanaka (1996).

A Figura 3 mostra a idéia do principio da extensão. O processo de cálculo na Figura 3 pode ser interpretado como:

$$3 \times \text{“aproximadamente” } 4 + 2 = \text{“aproximadamente” } 12 + 2 = \text{“aproximadamente” } 14$$



Fonte: Tanaka (1996).

Figura 3: O conceito do princípio da extensão.

Seja o mapeamento do conjunto X em outro conjunto Y tal que

$$f: X \rightarrow Y$$

Seja A um subconjunto de X , então

$f(A) = \{y \mid y = f(x), x \in A\}$ é chamada a imagem de A por f . $f(A)$ é um subconjunto de Y

Similarmente, seja B um subconjunto de Y , então

$f^{-1}(B) = \{x \mid f(x) = y, y \in B\}$ é chamada a imagem de B por f . $f^{-1}(B)$ é um subconjunto de X .

Estas relações são definidas para os conjuntos fuzzy A e B pelo princípio da extensão como segue:

Princípio da Extensão

Estender o mapeamento $f: X \rightarrow Y$ para relacionar o conjunto fuzzy A em X com o conjunto fuzzy B em Y :

$$\mu_{f(A)}(y) = \begin{cases} \sup_{y=f(x)} \mu_A(x) & f^{-1}(y) \neq \emptyset \\ 0 & f^{-1}(y) = \emptyset \end{cases}$$

Quando f é um mapeamento um a um, a relação acima pode ser escrita simplesmente:

$$\mu_{f(A)}(y) = \mu_A(x)$$

Os conceitos apresentados neste capítulo são usados nesta pesquisa para a aplicação do método Fuzzy MCDM na solução do problema da escolha entre manutenção própria ou contratada.

5. O MÉTODO FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM) E A ESCOLHA ENTRE MANUTENÇÃO PRÓPRIA OU CONTRATADA

O problema de escolher entre manutenção própria ou contratada é um problema típico de MCDM, ou seja: escolher entre duas alternativas qual delas melhor satisfaz um conjunto de critérios previamente estabelecido.

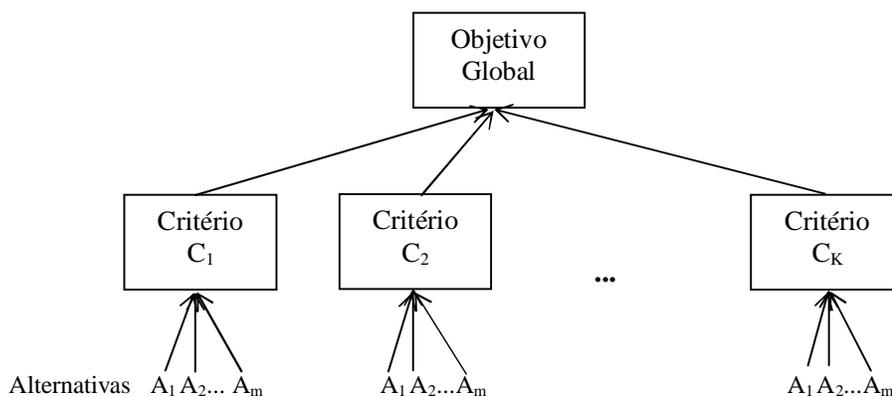
Como mencionado anteriormente, a definição dos critérios é o primeiro, e o mais importante, passo. O critério pode ser simplesmente financeiro, e daí se compara entre as alternativas qual delas oferece um custo menor. Porém, no caso de decisão entre manutenção própria ou contratada, os critérios não se resumem aos custos (critérios objetivos), é requerido um olhar mais cuidadoso para notar que o aspecto operacional também deve ser levado em consideração, e este aspecto trás consigo critérios considerados subjetivos.

A teoria dos conjuntos fuzzy oferece a possibilidade de se trabalhar com variáveis numéricas e lingüísticas (critérios objetivos e subjetivos).

Baseado na teoria de conjuntos fuzzy, Buckley (1984) apresenta algumas soluções para o problema de ranquear alternativas, da melhor para pior, considerando determinados critérios.

Chen (1985) apresenta o conceito de conjunto de máximo e conjunto de mínimo para ordenar números fuzzy.

Liang e Wang (1991) utilizam os conceitos acima para desenvolver um método para selecionar sítios para a localização de plantas industriais, através do Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making (MCDM).



Fonte: Buckley (1984).

Figura 4: Estrutura Hierárquica.

O método Fuzzy MCDM, proposto por Liang e Wang (1991), também será usado para a escolha entre as alternativas, manutenção própria ou contratada.

Buckley (1984) emprega a opinião de especialistas para avaliar as alternativas de acordo com cada critério, assim como a importância de cada critério, considerando um objetivo global. As avaliações das alternativas e das importâncias dos critérios são feitas através de valores lingüísticos. A estrutura hierárquica é mostrada na Figura 4.

As informações provenientes dos especialistas J_j poderão ser distribuídas nas matrizes T_k e T , conforme abaixo:

$$T_k = \begin{matrix} & & & J_1 & J_2 & \dots & J_n \\ & A_1 & & & & & \\ & A_2 & & & & & \\ & \vdots & & & & & \\ & A_m & & & & & \end{matrix} \left[\begin{matrix} & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \end{matrix} \right],$$

$\mu_j^k(A_i) = a_{ij}^k \in L$

$$T = \begin{matrix} & & & J_1 & J_2 & \dots & J_n \\ & C_1 & & & & & \\ & C_2 & & & & & \\ & \vdots & & & & & \\ & C_K & & & & & \end{matrix} \left[\begin{matrix} & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \end{matrix} \right],$$

$\lambda_j(C_k) = b_{kj} \in L$

Considerando que será utilizado um conjunto de valores lingüísticos $L = \{S_0, S_1, \dots, S_L\}$ para medir a preferência, a matriz T_k representa as avaliações de cada especialista para cada alternativa, considerando cada critério ($\mu_j^k(A_i) = a_{ij}^k \in L$), e a matriz T representa a importância atribuída por cada especialista para cada critério ($\lambda_j(C_k) = b_{kj} \in L$).

O próximo passo é responder quando e como os valores serão associados para produzir um resultado onde seja possível identificar qual alternativa é a mais viável.

A resposta para “quando” associar deve ser escolhida entre “antes” ou “depois”.

Associar antes significa associar as avaliações de todos os especialistas para cada alternativa considerando cada critério e associar as importâncias atribuídas por todos os especialistas para cada critério. O resultado pode ser apresentado em forma de matrizes, como pode ser observado nas matrizes M e N abaixo:

$$M = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_K \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccc} & & & \\ & & & \\ & & m_{ik} \in L & \\ & & & \end{array} \right] & , \end{matrix}$$

$$N = \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_K \end{matrix} \left[\begin{array}{c} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ n_k \\ \vdots \\ \vdots \end{array} \right] , \quad n_k \in L ,$$

onde

$$m_{ik} = F(a_{i1}^k, \dots, a_{in}^k) \quad \text{e} \quad n_k = G(b_{k1}, \dots, b_{km})$$

O ranque final será obtido a partir de M e N .

Associar depois significa associar previamente as alternativas para cada especialista e, em seguida, associar os resultados entre todos os especialistas. Estas associações são representadas nas funções abaixo:

$$q_{ij}^k = \lambda(a_{ij}^k, b_{ki}) \quad \text{e} \quad w_{ij} = Q(q_{ij}^1, q_{ij}^2, \dots, q_{ij}^K)$$

onde q_{ij}^k é a avaliação “ponderada” da alternativa A_i pelo especialista J_j considerando o critério C_k . A função Q combina as avaliações de todos os especialistas.

O ranque final será obtido a partir da associação de todos w_{ij} .

Para a seleção entre as alternativas, manutenção própria ou contratada, será usado o procedimento de associar antes.

A seguir será considerado problema de como associar. Existem vários operadores que podem ser utilizados para associar conjuntos fuzzy. Buckley (1984) cita alguns: operadores de máximo, mínimo, “mixed” e média. Ainda segundo Buckley (1984), para o caso associar antes, os operadores F e G devem ter as seguintes propriedades:

(i) *Não-decrescente em cada variável.* Se, para qualquer alternativa A_i , alguns dos especialistas, para qualquer critério, aumenta seus a_{ij}^k , então m_{ik} não diminuirá. Da mesma forma, se alguns dos especialistas aumentarem seus b_{kj} para qualquer critério C_k , então n_k não diminuirá. Esta propriedade pode ser chamada de associação positiva de preferência de indivíduo e grupo.

(ii) *(Simétrico)* $F(a_{i1}^k, \dots, a_{iin}^k)$ e $G(b_{k1}, \dots, b_{kn})$ são inalterados se seus argumentos são permutados. Isto significa que m_{ik} e n_k não mudam se os especialistas forem reenumerados. Isto é, nenhum especialista será um “ditador”.

Se todos a_{ij}^k e b_{kj} forem números é razoável utilizar a média entre os a_{ij}^k e b_{kj} para associar as avaliações dos especialistas (Buckley (1984)). Serão usadas as funções de pertinência descritas em Liang e Wang (1991). Desta forma, tendo os valores numéricos obtidos das funções de pertinência, a média será usada para associar as avaliações.

O último passo é o ranque final. Liang e Wang (1991) utilizam o conceito de conjunto de máximo e conjunto de mínimo descrito em Chen (1985) para ranquear as alternativas. Este conceito também será usado e será detalhado no próximo Capítulo.

5.1. CRITÉRIOS PARA A SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS

A decisão de uma empresa de transporte aéreo entre desenvolver uma estrutura própria de manutenção de suas aeronaves ou contratar os serviços de manutenção de terceiros deve ser tomada levando-se em consideração alguns critérios. Uma decisão errada pode causar grandes prejuízos à empresa e comprometer sua sobrevivência.

Vários critérios podem ser considerados para avaliar se a manutenção será própria ou contratada. No entanto, a definição desses critérios é crucial para a obtenção de resultados confiáveis.

A decisão entre manutenção própria ou contratada em uma empresa de transporte aéreo passa pela comparação entre o custo do contrato de manutenção com uma empresa terceirizada e o custo para o desenvolvimento de uma estrutura própria de manutenção.

No entanto, é interessante notar a observação de um Gerente-Geral de hangar de uma grande empresa de transporte aéreo brasileira, quando questionado sobre quais os critérios que foram considerados para que tal empresa desenvolvesse uma estrutura própria de manutenção. Ao dizer que um dos critérios considerado foi a disponibilidade da empresa de manutenção para atender à demanda da sua empresa no momento em que ela necessitava, foi feita a seguinte observação: “*Este (o critério da disponibilidade da empresa de manutenção para atender à demanda) pode ser considerado um item intangível, ou seja, é difícil quantificá-lo, porém é um dos itens que mais pesam...*”

Pela declaração acima, pode-se verificar que, por menor que seja o custo da manutenção contratada quando comparado com a manutenção própria, o fato da empresa de manutenção não poder atender à empresa de transporte aéreo no momento em que ela necessita, inviabiliza a escolha de contratar a manutenção.

Pode-se verificar também que, diferentemente do custo, o fato de uma empresa de manutenção atender ou não a demanda de uma empresa de transporte aéreo é de difícil mensuração.

Assim, de forma geral, os critérios podem ser divididos em duas categorias: subjetivos e objetivos.

Critérios subjetivos são critérios caracterizados por avaliações lingüísticas. No caso de uma empresa de transporte aéreo a despachabilidade, que traduz o cumprimento do horário do voo, é um exemplo de critério subjetivo. Critérios objetivos são aqueles que podem ser avaliados em termos monetários, custo das instalações ou do contrato de manutenção, neste caso.

Sendo assim, os critérios objetivos já estão previamente estabelecidos: o custo das instalações ou do contrato de manutenção.

Os fatores que compõem os custos são o preço do contrato de manutenção, para serviços terceirizados, e os custos das instalações físicas (hangar), mão de obra,

ferramentas, equipamentos e testes, e publicações de natureza técnica, no caso de manutenção própria.

O gerenciamento do estoque de peças de reposição também implica um custo considerável. No entanto, por ser de difícil mensuração, este critério será considerado como um critério subjetivo.

Outro fator que deve ser levado em consideração é que a comparação entre os custos deve ser feita numa mesma base. Não faz sentido comparar o custo total das instalações físicas (hangar), mão de obra, ferramentas, equipamentos e teste, e publicações de natureza técnica com um contrato de manutenção em bases diferentes. Em função do que foi dito acima, será considerado o período de um ano para a comparação.

No caso de manutenção própria, os custos nesse período serão compostos por:

1. Instalações físicas: Para determinar este valor, que corresponde ao hangar e à área onde ele será construído, será solicitado um orçamento a uma empresa que constrói hangares ou uma estimativa de gastos a uma empresa de manutenção de aeronaves que recentemente construiu ou ampliou suas instalações físicas. A solicitação destes valores a uma empresa de manutenção mostra-se mais adequada, uma vez que alguns requisitos próprios de um hangar de manutenção já estão incluídos, tais como: instalações elétrica, hidráulica e pneumática. No caso da estimativa do valor da área onde o hangar será construído, será solicitado o valor do aluguel ao administrador do aeroporto onde se localiza a empresa utilizada nesta pesquisa para a aplicação do método Fuzzy MCDM.

Para se obter o valor do hangar em bases anuais, será usado o conceito de depreciação. Conforme a definição de Marion (1998): “A maior parte dos Ativos Imobilizados (exceção feita praticamente a terrenos e obras de arte) têm vida útil limitada, ou seja, serão úteis à empresa por um conjunto de períodos finitos, também chamados períodos contábeis. À medida que esses períodos forem decorrendo, dar-se-á o desgaste dos bens, que representam o custo a ser registrado. O custo do Ativo Imobilizado é destacado como uma despesa nos períodos contábeis em que o Ativo é utilizado pela empresa. O processo contábil para esta conversão gradativa do Ativo Imobilizado em despesa chama-se depreciação”. No caso de edificações, as Instruções Normativas SRF números 162/98 e 130/99, da Receita Federal, estabelecem que a vida útil seja de 25 anos e a taxa de depreciação de 4% ao ano.

2. Mão de obra: A manutenção considerada será a manutenção de base. Será estimado o total de horas voadas pela frota e definidas as tarefas de manutenção que deverão ser realizadas, de acordo com os programas de manutenção das aeronaves. A quantidade de homem-hora será estimada e deverá ser multiplicada pelo valor do homem-hora para se obter a parcela do custo relativa à mão de obra.

3. Ferramentas, equipamentos e testes: Poderá ser solicitado um orçamento aos fabricantes das aeronaves ou poderá também ser solicitada uma estimativa de gastos de uma empresa de manutenção com ferramentas, equipamentos e testes. O conceito de depreciação também será usado. No caso de ferramentas, as Instruções Normativas SRF números 162/98 e 130/99, da Receita Federal, estabelecem que a vida útil seja de 5 anos e a taxa de depreciação de 20% ao ano.

4. Publicações de natureza técnica: Entende-se por publicações de natureza técnica todas as publicações emitidas pelo fabricante do produto ou pela Autoridade de Aviação Civil destinadas a manter o produto em condições seguras de operação. Dentre tais publicações incluem-se os Manuais de Manutenção, os Boletins de Serviço, as Diretrizes de Aeronavegabilidade (obtidas geralmente de forma gratuita pela internet), etc. O orçamento da assinatura anual destas publicações poderá ser solicitado aos fabricantes das aeronaves. No entanto, uma empresa de manutenção também poderá informar os gastos anuais com publicações de natureza técnica.

No caso de manutenção contratada, também deverá ser estimado o total de horas voadas pela frota e definidas as tarefas de manutenção que deverão ser realizadas, de acordo com os programas de manutenção das aeronaves, e de posse destas informações deverá ser solicitado um orçamento a uma empresa de manutenção.

Para a determinação dos critérios subjetivos, a experiência de instituições e pessoas envolvidas na atividade de transporte aéreo será utilizada.

A despachabilidade será o primeiro critério subjetivo a ser considerado. Conforme mencionado anteriormente, despachabilidade traduz o cumprimento do horário do vôo. Este critério está diretamente relacionado às restrições de manutenção e, portanto, à capacidade da organização de manutenção, própria ou terceirizada, em atender às necessidades de manutenção da frota da empresa de transporte aéreo para que ela possa cumprir com os seus compromissos. El Moudani (2000) no artigo sobre alocação da frota considerando as restrições de manutenção destaca: “It is assumed that the company tries to optimize its main maintenance operations (...). It seeks to establish a fleet

maintenance plan with maintenance contractors who can commit themselves to be available at the right time”. Isto reforça a relação direta entre despachabilidade e manutenção.

No Seminário Maintenance Reliability and Cost Analysis, realizado pela Boeing Company, na Califórnia-EUA, em setembro de 2009, uma seção nominada Factors Affecting Maintenance Costs foi dedicada para a apresentação de fatores que afetam o custo final da manutenção. Assim, adicionalmente à despachabilidade, os fatores apresentados naquele Seminário serão usados como critérios subjetivos na escolha entre manutenção própria ou contratada.

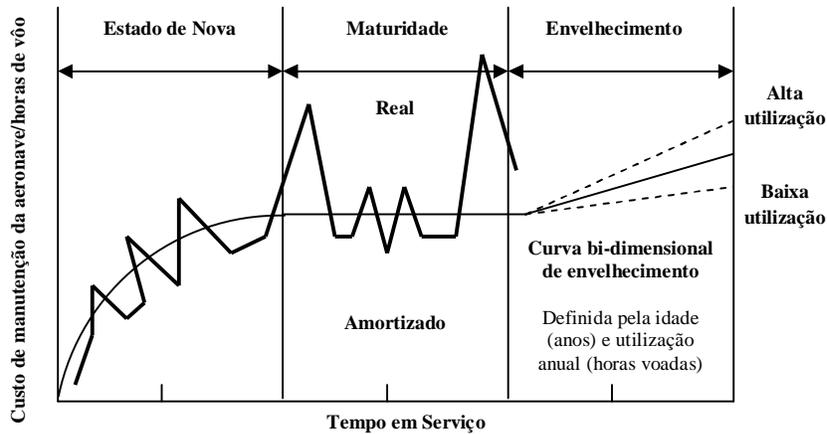
Os critérios considerados serão: o tamanho da frota, a idade da frota, a uniformidade da frota (commonality) e o estoque de peças para reposição (spare parts inventory).

Para o conjunto de critérios definidos nesta pesquisa, os axiomas da exaustividade, da coesão, e da não-redundância (Roy e Bouyssou, 1993), não foram testados.

O tamanho de frota será definido como o número de aeronaves operadas pela empresa de transporte aéreo. A Federal Aviation Administration (FAA), através do documento DOT/FAA/AR-02/122, relaciona o tamanho da frota como um critério a ser considerado na decisão entre manutenção própria ou contratada: “Outsourcing is an attractive option for operators for a number of reasons. For example, an operator may not have a sufficient number of aircraft in a particular fleet type to justify the expense of trained personnel, facilities, tooling and test equipment required to perform the maintenance function internally. In this situation, substantial savings are realized when maintenance is performed externally. An outside vendor will usually have multiple contracts and the larger density of work allows the vendor to complete such tasks at a lower cost to the operator. In other instances, an outside vendor may be able to complete a particular task more quickly than if it was performed by the operator due to staffing constraints at the airline” (FAA, 2003).

A idade da frota será outro critério a ser considerado. Para avaliar se a frota está envelhecida serão fornecidas aos especialistas as datas de fabricação de cada aeronave. A avaliação dos especialistas será a partir desses dados. Médias aritméticas não serão usadas, para não interferir nas avaliações dos especialistas e nos resultados.

O gráfico da Figura 5 (Boeing, 2009) mostra como o custo da manutenção por hora voada aumenta com o aumento da idade da frota. Isso se deve ao fato dos intervalos entre os serviços de manutenção ser medidos por horas voadas, ciclos e tempo calendário. À medida que a idade da frota avança as ações de manutenção devido ao tempo calendário aumentam e passam a representar parte significativa dos serviços de manutenção.



Fonte: Boeing (2009).

Figura 5: O envelhecimento da aeronave aumenta o custo da manutenção.

A uniformidade da frota será mais um critério, e será definida como a quantidade de diferentes modelos de aeronaves dentro da frota da empresa. Quanto menor a quantidade de diferentes modelos de aeronaves, maior será a uniformidade da frota.

A uniformidade da frota (commonality) reduz os custos de manutenção relativos às peças para reposição, treinamento e qualificação do pessoal técnico (Boeing, 2009), além dos custos com ferramentas, equipamentos e testes, e publicações de natureza técnica.

O estoque de peças para reposição (spare parts inventory) é o último critério a ser considerado. Estoque de peças de reposição será definido como o estoque que a empresa deve manter para suprir as necessidades de reposição de peças durante os serviços de manutenção, seu tamanho será proporcional à quantidade de serviços de manutenção realizados pela própria empresa.

Shimizu (1992) faz a seguinte observação sobre a influência do estoque: “Maintenance and inventory control problems have been the primary focus area of many who work in the area of airline operations research”.

As empresas de transporte aéreo procuram reduzir os estoques de peças de reposição com o objetivo de reduzir os custos com a manutenção, como mostra o estudo realizado pela FAA: “Spare parts inventory management comprises a significant portion of maintenance costs, as well as direct operating costs. For example, for moderate-sized fleets, the spare parts investment per aircraft is typically 15% of the purchase price. Since capital costs associated with aircraft are typically 30% of the direct operating cost, this makes spares capital about 5% of the fleet’s direct operating cost. More importantly, the investment in spares inventory ties up cash flow since these investments are often required before any revenue is generated. As a result, carriers are less willing to stock and maintain large inventories of spare parts and are looking to independent spares providers, OEMs, or one-stop repair stations to manage their supply chain (FAA, 2003)”.

Portanto, estão definidos assim os critérios objetivos e subjetivos que serão considerados para avaliar se a manutenção será própria ou contratada:

Tabela 4: Critérios objetivos e subjetivos.

<i>Critérios Objetivos</i>	<i>Critérios Subjetivos</i>
<i>Custo das instalações (manutenção própria)</i>	<i>Despachabilidade Tamanho da frota Idade da frota</i>
<i>Custo do contrato de manutenção (manutenção contratada)</i>	<i>Uniformidade da frota Estoque de peças para reposição</i>

Fonte: Elaboração do autor.

Aos critérios definidos acima, serão atribuídos símbolos para facilitar o equacionamento, conforme abaixo:

C₁: Despachabilidade

C₂: Tamanho da frota

C₃: Idade da frota

C₄: Uniformidade da frota

C₅: Estoque de peças para reposição

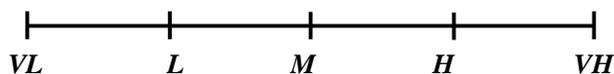
C₆: Custo das instalações ou do contrato de manutenção

5.2. AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DOS CRITÉRIOS

A importância dos critérios será avaliada por um grupo de especialistas com larga experiência em aviação civil, levando-se em consideração o objetivo principal: decidir entre manutenção própria ou contratada.

O grupo será formado por três especialistas J_1 , J_2 e J_3 , que responderão inicialmente a um questionário (Apêndice 1) onde serão solicitadas informações sobre as suas experiências em aviação civil e as suas avaliações para cada critério que será utilizado.

Da mesma maneira que em Liang e Wang (1991), será usado um conjunto W de valores lingüísticos, $W=\{VL, L, M, H, VH\}$ para avaliar a importância dos critérios, onde VL = Muito Baixa, L =Baixa, M =Média, H =Alta e VH =Muito Alta. Os valores lingüísticos também podem ser representados através de uma escala de classificação previamente definida:



Fonte: Liang e Wang (1991).

Figura 6: Escala de classificação.

As avaliações para os critérios estabelecidos serão tabuladas como segue:

Tabela 5: Avaliações das importâncias dos critérios.

<i>Critério</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
C_1	W_{11}^*	W_{12}^*	W_{13}^*
C_2	W_{21}^*	W_{22}^*	W_{23}^*
C_3	W_{31}^*	W_{32}^*	W_{33}^*
C_4	W_{41}^*	W_{42}^*	W_{43}^*
C_5	W_{51}^*	W_{52}^*	W_{53}^*
C_6	W_{61}^*	W_{62}^*	W_{63}^*

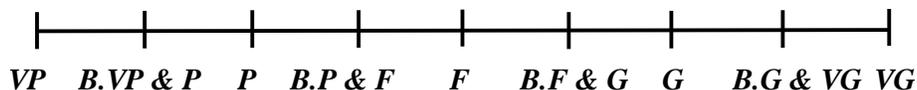
W_{ij}^* representa as avaliações atribuídas ao critério C_i pelo especialista J_j .

Fonte: Elaboração do autor.

5.3. AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS

Após avaliar os critérios, os especialistas avaliarão as alternativas A_1 e A_2 (manutenção própria ou contratada, respectivamente), considerando cada critério, respondendo a outro questionário (Apêndice 2).

Os especialistas utilizarão o conjunto de classificação lingüística $S = \{VP, B.VP \& P, P, B.P \& F, F, B.F \& G, G, B.G \& VG, VG\}$, onde VP= muito fraco, B.VP & P= entre muito fraco e fraco, P= fraco, B.P & F= entre fraco e regular, F= regular, B.F & G= entre regular e bom, G= bom, B.G & VG= entre bom e muito bom, e VG= muito bom, para avaliar as alternativas de acordo com cada critério subjetivo. Os valores lingüísticos também podem ser representados através de uma escala de classificação previamente definida:



Fonte: Liang e Wang (1991).

Figura 7: Escala de classificação.

As avaliações das alternativas pelos especialistas, considerando cada critério, também serão tabuladas, como segue:

Tabela 6: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_1 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	S_{111}^*	S_{112}^*	S_{113}^*
A_2	S_{211}^*	S_{212}^*	S_{213}^*

S_{ij}^* representa a avaliação atribuída pelo especialista J_j para alternativa A_i , considerando o critério C_1 .

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 7: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_2 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	S_{121}^*	S_{122}^*	S_{123}^*
A_2	S_{221}^*	S_{222}^*	S_{223}^*

S_{ij}^* representa a avaliação atribuída pelo especialista J_j para alternativa A_i , considerando o critério C_2 .
Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 8: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_3 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	S_{131}^*	S_{132}^*	S_{133}^*
A_2	S_{231}^*	S_{232}^*	S_{233}^*

S_{ij}^* representa a avaliação atribuída pelo especialista J_j para alternativa A_i , considerando o critério C_3 .
Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 9: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_4 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	S_{141}^*	S_{142}^*	S_{143}^*
A_2	S_{241}^*	S_{242}^*	S_{243}^*

S_{ij}^* representa a avaliação atribuída pelo especialista J_j para alternativa A_i , considerando o critério C_4 .
Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 10: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_5 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	S_{151}^*	S_{152}^*	S_{153}^*
A_2	S_{251}^*	S_{252}^*	S_{253}^*

S_{ij}^* representa a avaliação atribuída pelo especialista J_j para alternativa A_i , considerando o critério C_5 .
Fonte: Elaboração do autor.

Para assegurar a compatibilidade entre os valores (fuzzy ou não fuzzy) dos critérios objetivos (custo total) e as avaliações lingüísticas dos critérios subjetivos, os valores dos critérios objetivos serão convertidos em índices adimensionais. A alternativa com o menor custo terá a melhor avaliação. Baseado no princípio estabelecido acima, assim como em Liang e Wang (1991), será tomado T_i , $i= 1, 2, \dots, m$ como os valores dos custos totais para as alternativas i versus critérios objetivos, e a avaliação das alternativas i versus critérios objetivos pode ser definida como:

$$RT_i = \{T_i \otimes [T_1^{-1} \oplus T_2^{-1} \oplus \dots \oplus T_m^{-1}]\}^{-1} \quad (2)$$

O maior valor de RT_i , $i= 1, 2, \dots, m$, corresponderá à melhor alternativa, considerando os critérios objetivos.

Desta forma, tem-se a seguinte tabela para o critério objetivo C_6 :

Tabela 11: Avaliações das alternativas considerando o critério C_6 .

<i>Especialistas</i>	
<i>Alternativas</i>	J_1, J_2 e J_3
A_1	$RT_1 = \{T_1 \otimes [T_1^{-1} \oplus T_2^{-1}]\}^{-1}$
A_2	$RT_2 = \{T_2 \otimes [T_1^{-1} \oplus T_2^{-1}]\}^{-1}$

RT_i representa as avaliações das duas alternativas considerando a critério C_6 .

Fonte: Elaboração do autor.

5.4. ASSOCIAÇÃO DAS AVALIAÇÕES DAS ALTERNATIVAS E OBTENÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO FUZZY

Primeiramente serão retomadas as duas questões básicas: quando e como associar.

As duas respostas naturais para o problema de quando associar as avaliações das alternativas: associar antes ou depois (Buckley, 1984), serão novamente apresentadas.

Conforme mencionado anteriormente, associar antes significa associar as avaliações de todos os especialistas para cada alternativa considerando cada critério, associar as importâncias atribuídas por todos especialistas para cada critério, e

posteriormente determinar a classificação fuzzy de cada alternativa, para então determinar o ranque final.

Também como mencionado anteriormente, associar depois significa associar previamente as alternativas para cada especialista e, em seguida, associar os resultados entre todos os especialistas, obtendo-se o ranque final posteriormente.

Assim como em Liang e Wang (1991), o processo de associar antes será usado.

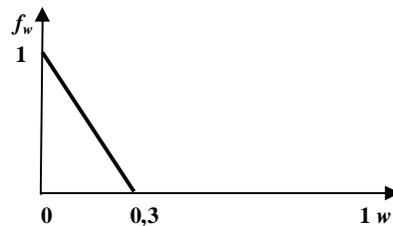
A próxima questão é como associar. Conforme mencionado anteriormente, de acordo com Buckley, 1984, se as avaliações dos especialistas são números, é bastante razoável utilizar a média para associá-las. Sendo assim, a média será usada para a associação e as funções de pertinências dos valores lingüísticos utilizados nas avaliações serão as mesmas que as utilizadas em Liang e Wang (1991).

As funções de pertinência das variáveis lingüísticas no conjunto $W=\{VL, L, M, H, VH\}$ são mostradas abaixo:

VL: (0, 0, 0, 0,3)

$$f_w(x) = 1 - 10x/3$$

$$0 \leq x \leq 0,3$$

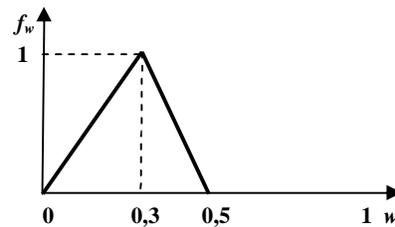


Muito Baixa

L: (0, 0,3, 0,3, 0,5)

$$f_w(x) = \begin{cases} 10x/3 & 0 \leq x \leq 0,3 \\ 5/2 - 5x & 0,3 \leq x \leq 0,5 \end{cases}$$

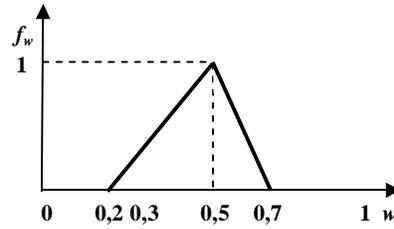
$$\begin{cases} 0 \leq x \leq 0,3 \\ 0,3 \leq x \leq 0,5 \end{cases}$$



Baixa

M: (0,2, 0,5, 0,5, 0,8)

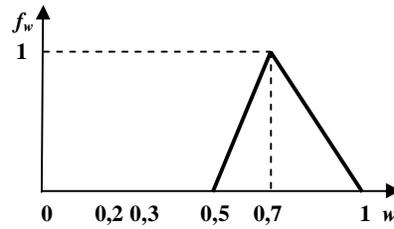
$$f_w(x) = \begin{cases} 10x/3 - 2/3 & 0,2 \leq x \leq 0,5 \\ 8/3 - 10x/3 & 0,5 \leq x \leq 0,8 \end{cases}$$



Media

H: (0,5, 0,7, 0,7, 1)

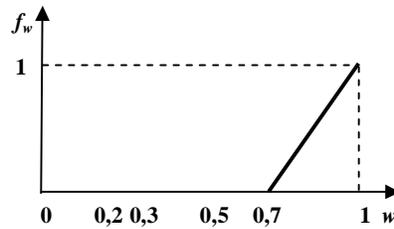
$$f_w(x) = \begin{cases} 5x - 5/2 & 0,5 \leq x \leq 0,7 \\ 10/3 - 10x/3 & 0,7 \leq x \leq 1 \end{cases}$$



Alta

VH: (0,7, 1, 1, 1)

$$f_w(x) = 10x/3 - 7/3 \quad 0,7 \leq x \leq 1$$

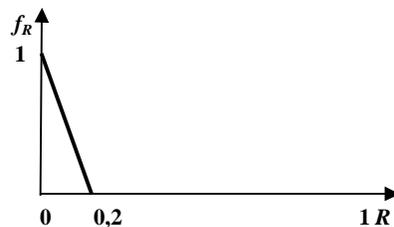


Muito Alta

As funções de pertinência das variáveis linguísticas $S = \{VP, B.VP \& P, P, B.P \& F, F, B.F \& G, G, B.G \& VG, VG\}$ está mostrada abaixo:

VP: (0, 0, 0, 0,2)

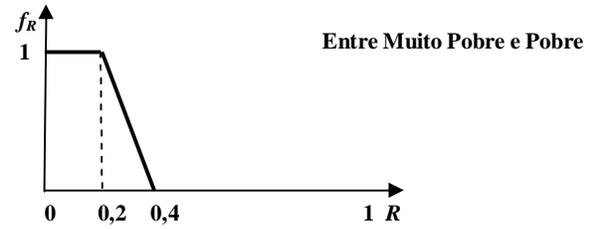
$$f_R(x) = 1 - 5x \quad 0 \leq x \leq 0,2$$



Muito Pobre

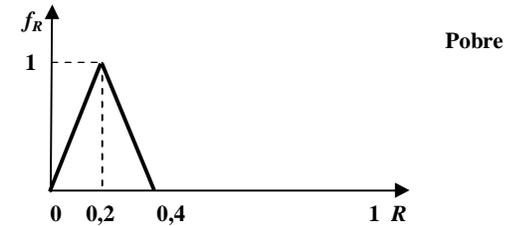
B.VP&P: (0, 0, 0,2, 0,4)

$$f_R(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 0,2 \\ 2-5x & 0,2 \leq x \leq 0,4 \end{cases}$$



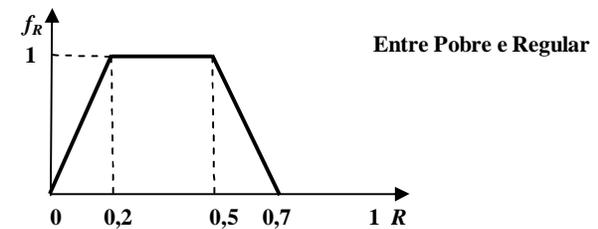
P: (0, 0,2, 0,2, 0,4)

$$f_R(x) = \begin{cases} 5x & 0 \leq x \leq 0,2 \\ 2-5x & 0,2 \leq x \leq 0,4 \end{cases}$$



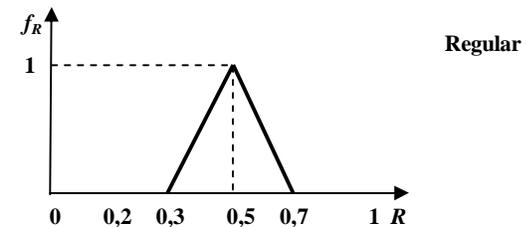
B.P&F: (0, 0,2, 0,5, 0,7)

$$f_R(x) = \begin{cases} 5x & 0 \leq x \leq 0,2 \\ 1 & 0,2 \leq x \leq 0,5 \\ 7/2-5x & 0,5 \leq x \leq 0,7 \end{cases}$$



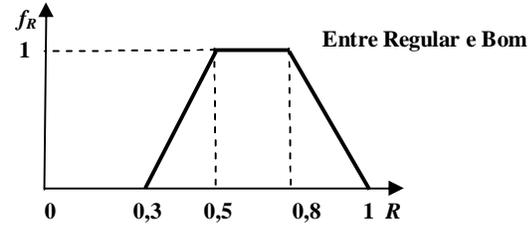
F: (0,3, 0,5, 0,5, 0,7)

$$f_R(x) = \begin{cases} 5x-3/2 & 0,3 \leq x \leq 0,5 \\ 7/2-5x & 0,5 \leq x \leq 0,7 \end{cases}$$



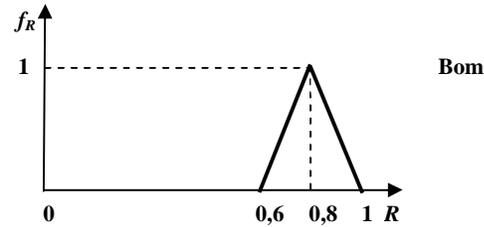
B.F&G: (0,3, 0,5, 0,8, 1)

$$f_R(x) = \begin{cases} 5x - 3/2 & 0,3 \leq x \leq 0,5 \\ 1 & 0,5 \leq x \leq 0,8 \\ 5 - 5x & 0,8 \leq x \leq 1 \end{cases}$$



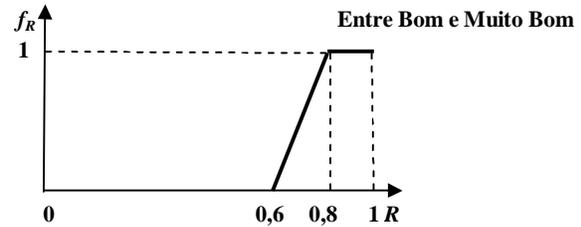
G: (0,6, 0,8, 0,8, 1)

$$f_R(x) = \begin{cases} 5x - 3 & 0,6 \leq x \leq 0,8 \\ 5 - 5x & 0,8 \leq x \leq 1 \end{cases}$$



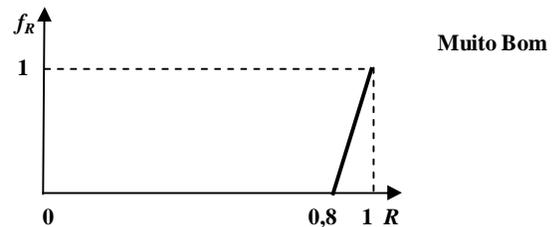
B.G&VG: (0,6, 0,8, 1, 1)

$$f_R(x) = \begin{cases} 5x - 3 & 0,6 \leq x \leq 0,8 \\ 1 & 0,8 \leq x \leq 1 \end{cases}$$



VG: (0,8, 1, 1, 1)

$$f_R(x) = 5x - 4 \quad 0,8 \leq x \leq 1$$



Assim como em Liang e Wang (1991), será assumido $S_{ij} = (q_{ij}, o_{ij}, p_{ij}, r_{ij})$, $i=1,2,\dots, m$; $t=1,2,\dots,k-1$; $j=1,2,\dots,n$ como sendo a avaliação lingüística atribuída para a

alternativa A_i pelo especialista J_j para o critério subjetivo C_t e $W_{ij} = (c_{ij}, a_{ij}, b_{ij}, d_{ij})$, $t=1,2,\dots, k$; $j=1,2,\dots,n$ como sendo a importância atribuída ao critério subjetivo C_1, C_2,\dots, C_{k-1} , e para o critério objetivo C_k pelo especialista J_j , respectivamente.

Então, a média entre as avaliações atribuídas pelos especialistas para cada alternativa será:

$$S_{it} = \begin{cases} (1/n) \otimes (S_{it1} \oplus S_{it2} \oplus \dots \oplus S_{itm}) & i = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, k-1 \\ (q_{ik}, o_{ik}, p_{ik}, r_{ik}) & i = 1, 2, \dots, m; t = k \end{cases}$$

e a média entre as importâncias atribuídas pelos especialistas para cada critério será:

$$W_t = (1/n) \otimes (W_{t1} \oplus W_{t2} \oplus \dots \oplus W_{tn}) \quad t = 1, 2, \dots, k$$

Daí tem-se:

$$q_{it} = \sum_{j=1}^n q_{ij} / n \quad o_{it} = \sum_{j=1}^n o_{ij} / n \quad p_{it} = \sum_{j=1}^n p_{ij} / n \quad r_{it} = \sum_{j=1}^n r_{ij} / n$$

onde $i=1, 2, \dots, m$; $t=1, 2, \dots, k-1$

e

$$c_t = \sum_{j=1}^n c_{ij} / n \quad a_t = \sum_{j=1}^n a_{ij} / n \quad b_t = \sum_{j=1}^n b_{ij} / n \quad d_t = \sum_{j=1}^n d_{ij} / n$$

onde $t=1, 2, \dots, k$

então

$$S_{it} = (q_{ib}, o_{ib}, p_{ib}, r_{it}) \quad t=1, 2, \dots, k \quad (3)$$

e

$$W_t = (c_t, a_t, b_t, d_t) \quad t=1, 2, \dots, k \quad (4)$$

S_{it} e W_t serão agregados pela média dos produtos correspondentes considerando todos os critérios. Um índice, denominado índice fuzzy de adequabilidade F_i da i^{th} alternativa, será obtido pelo método aritmético padrão:

$$F_i = (1/k) \otimes [(S_{i1} \otimes W_1) \oplus (S_{i2} \otimes W_2) \oplus \dots \oplus (S_{ik} \otimes W_k)] \quad (5)$$

Pelo princípio da extensão, F_i é um número fuzzy com função de pertinência igual a:

$$f_{F_i}(x) = \begin{cases} -H_{i1} + [H_{i1}^2 + (x - Y_i)/T_{i1}]^{1/2} & Y_i \leq x \leq Q_i \\ 1 & Q_i \leq x \leq R_i \\ H_{i2} - [H_{i2}^2 + (x - Z_i)/U_{i1}]^{1/2} & R_i \leq x \leq Z_i \\ 0 & \text{demais} \end{cases} \quad (6)$$

para $i=1,2,\dots,m$

onde

$$T_{i1} = \sum_{t=1}^k (o_{it} - q_{it})(a_t - c_t) / k \quad (7)$$

$$T_{i2} = \sum_{t=1}^k [q_{it}(a_t - c_t) + c_t(o_{it} - q_{it})] / k \quad (8)$$

$$U_{i1} = \sum_{t=1}^k (r_{it} - p_{it})(d_t - b_t) / k \quad (9)$$

$$U_{i2} = \sum_{t=1}^k [d_t(p_{it} - r_{it}) + r_{it}(b_t - d_t)] / k \quad (10)$$

$$H_{i1} = T_{i2} / (2T_{i1}) \quad (11)$$

$$H_{i2} = U_{i2} / (2U_{i1}) \quad (12)$$

$$Y_i = \sum_{t=1}^k q_{it} c_t / k \quad (13)$$

$$Q_i = \sum_{t=1}^k o_{it} a_t / k \quad (14)$$

$$R_i = \sum_{t=1}^k p_{it} b_t / k \quad (15)$$

$$Z_i = \sum_{t=1}^k r_{it} d_t / k \quad (16)$$

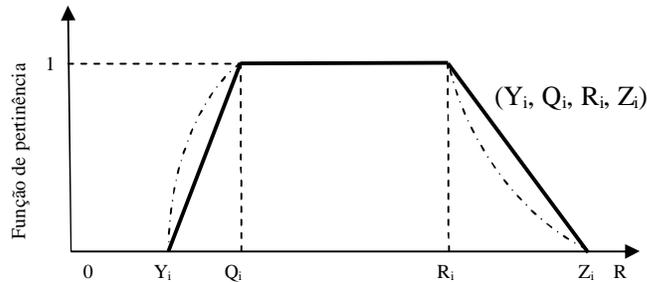
F_i não é um número fuzzy trapezoidal. De fato, estes números fuzzy podem ser expressos como:

$$F_i = (Y_i, Q_i, R_i, Z_i, H_{i1}, T_{i1}, H_{i2}, U_{i1}) \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Por simplicidade, a seguinte aproximação será usada:

$$F_i \cong (Y_i, Q_i, R_i, Z_i)$$

a fórmula acima fornece um número fuzzy trapezoidal, que coincide com F_i nos intervalos $(-\infty, Y_i]$, $[Y_i, Q_i]$, $[Q_i, R_i]$, $[R_i, Z_i]$, $[Z_i, \infty]$, de acordo com o gráfico abaixo:



5.5. RANQUE FINAL

As alternativas serão ranqueadas através dos seus índices fuzzy de adequabilidade F_i . Assim como em Liang e Wang (1991), será usado o método Chen (1985) para ranquear as avaliações finais das alternativas.

O método Chen (1985) usa o conceito de conjunto de máximos e conjunto de mínimos para obter a ordem de números fuzzy. Este método distingue claramente as alternativas.

Será assumido $F_i, i=1, 2, \dots, m$ como sendo os índices fuzzy de adequabilidade das alternativas, cada uma com função de pertinência obtida pela equação (6) conforme seção anterior. O conjunto de máximo: $M = \{(x, f_M(x)) / x \in R\}$ será definido como:

$$f_M(x) = \begin{cases} \left[\frac{(x - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})} \right]^k & x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \\ 0 & \text{demais} \end{cases}$$

e o conjunto de mínimo: $G = \{(x, f_G(x)) / x \in R\}$ como:

$$f_G(x) = \begin{cases} [(x - x_{\max}) / (x_{\min} - x_{\max})]^k & x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \\ 0 & \text{demais} \end{cases}$$

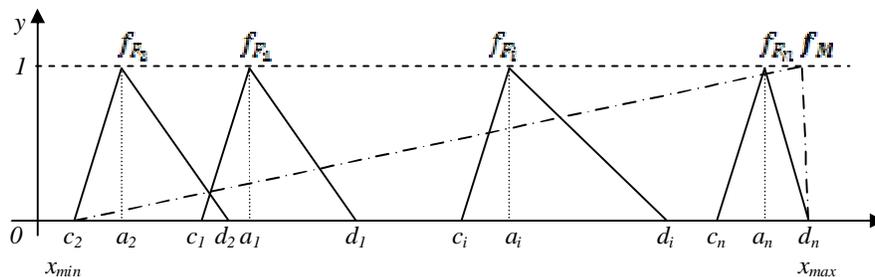
onde $k > 0$, $x_{\min} = \inf S$, $x_{\max} = \sup S$, $S = \bigcup_{i=1}^m S_i$, $S_i = \{x / f_{F_i}(x) > 0\}$ $i = 1, 2, \dots, m$

O valor de k pode ser mudado para ajustar a preferência do especialista na aplicação. Quando $k > 1$, o especialista considerará os conjuntos de máximo e mínimo como uma função convexa, isto, é quando o valor de x cresce o grau de preferência do especialista cresce rapidamente. Quando $k = 1$, o especialista considerará os conjuntos de máximo e mínimo como uma função linear, isto é quando o valor de x cresce o grau de preferência cresce proporcionalmente. Quando $0 < k < 1$, o especialista considerará os conjuntos de máximo e mínimo como uma função côncava, isto é quando o valor de x cresce o grau de preferência cresce mais lentamente que em outros casos. Nesta pesquisa, assim como em Liang e Wang (1991), será aplicado $k = 1$.

O ranque dos índices fuzzy de adequabilidade é um passo necessário para os especialistas selecionarem a melhor alternativa. Serão definidas a utilidade à direita $U_M(F_i)$ e a utilidade à esquerda $U_G(F_i)$ de cada índice fuzzy de adequabilidade F_i como:

$$U_M(F_i) = \sup_x (f_{F_i}(x) \wedge f_M(x)) \quad (17)$$

Da Figura 9 abaixo pode ser visto que o valor da utilidade à direita do número fuzzy F_i é o valor da coordenada y do ponto de intersecção da função f_M com o lado direito de f_{F_i} .



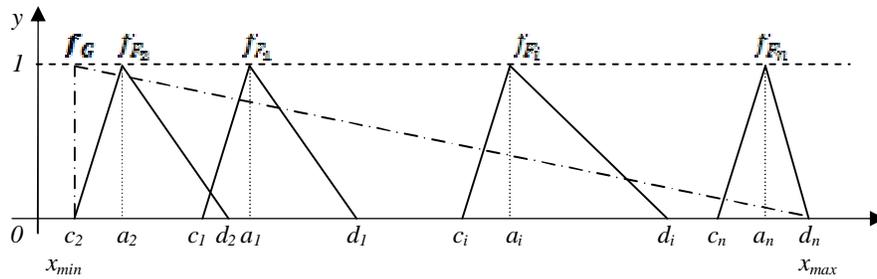
Fonte: Chen, 1985.

Figura 8: Representação gráfica da utilidade à direita.

e

$$U_G(F_i) = \sup_x (f_{F_i}(x) \wedge f_G(x)) \quad (18)$$

De forma análoga, a Figura 10 mostra que o valor da utilidade à esquerda do número fuzzy F_i é o valor da coordenada y do ponto de intersecção da função f_G com o lado esquerdo de f_{F_i} .

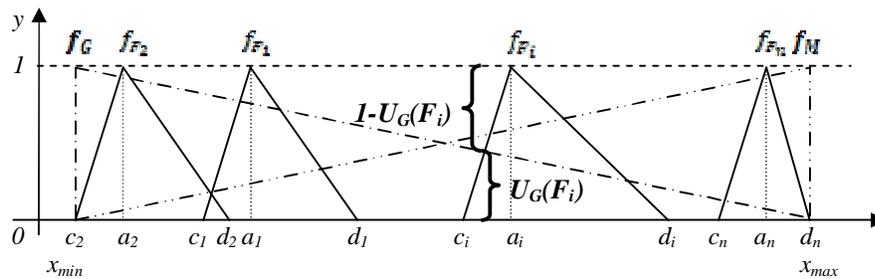


Fonte: Chen, 1985.

Figura 9: Representação gráfica da utilidade à esquerda.

Para os índices fuzzy de adequabilidade $F_i = (Y_i, Q_i, R_i, Z_i; H_{i1}, T_{i1}; H_{i2}, U_{i1})$, $i=1, 2, \dots, m$; será usada a definição da utilidade total ou valor do ranque (Chen, 1985), conforme mostra a Figura 11:

$$U_T(F_i) = [U_M(F_i) + 1 - U_G(F_i)] / 2 \quad (19)$$



Fonte: Chen, 1985.

Figura 10: Representação gráfica da utilidade total.

Usando as equações (6), (7), (8) e (9) o valor do ranque $U_T(F_i)$ dos índices fuzzy de adequabilidade podem se obtidos:

$$U_T(F_i) = \left[H_{i2} - (H_{i2}^2 + (x_R - Z_i)/U_{i1})^{1/2} + 1 + H_{i1} - (H_{i1}^2 + (x_L - Y_i)/T_{i1})^{1/2} \right] / 2 \quad (20)$$

para $i=1, 2, \dots, m$

onde

$$x_R = \left\{ 2x_1 + 2H_{i2}(x_2 - x_1) + ((x_2 - x_1)^2)/U_{i1} - (x_2 - x_1) \left[(2H_{i2} + (x_2 - x_1)/U_{i1})^2 + 4(x_2 - Z_i)/U_{i1} \right]^{1/2} \right\} / 2$$

e

$$x_L = \left\{ 2x_2 + 2H_{i1}(x_2 - x_1) + ((x_2 - x_1)^2)/T_{i1} - (x_2 - x_1) \left[(2H_{i1} + (x_2 - x_1)/T_{i1})^2 + 4(x_2 - Y_i)/T_{i1} \right]^{1/2} \right\} / 2$$

e

x_1 é o x_{min} e x_2 é o x_{max} .

Por simplicidade, o valor do ranque $U_T(F_i)$ dos índices fuzzy de adequabilidade pode ser aproximado pelo valor do ranque do número fuzzy trapezoidal (Y_i, Q_i, R_i, Z_i) o qual a equação é:

$$U_T(F_i) \cong \left[(Z_i - x_1)/((x_2 - x_1) - (R_i - Z_i)) + 1 - (x_2 - Y_i)/((x_2 - x_1) + (Q_i - Y_i)) \right] / 2 \quad (21)$$

para $i=1, 2, \dots, m$

Assumindo F_i e F_j como sendo os índices fuzzy de adequabilidade das alternativas i e j , será definido que $F_i > F_j$, se e somente se $U_T(F_i) > U_T(F_j)$, ou $U_T(F_i) = U_T(F_j)$ mas $(Q_i + R_i) > (Q_j + R_j)$; e que $F_i = F_j$, se e somente se $U_T(F_i) = U_T(F_j)$ e $(Q_i + R_i) = (Q_j + R_j)$.

Pelas equações (10) (ou (11)) e a definição do ranque fuzzy descrita acima, os valores dos ranques dos índices fuzzy de adequabilidade podem ser facilmente calculados. Baseados no ranque, os tomadores de decisão podem facilmente fazer o que consideram a melhor escolha entre as alternativas de manutenção própria ou contratada.

6. O MÉTODO FUZZY MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING (MCDM) APLICADO NA ESCOLHA ENTRE MANUTENÇÃO PRÓPRIA OU CONTRATADA

Neste capítulo o método Fuzzy MCDM será aplicado para a decisão entre manutenção própria ou contratada em um ambiente real de uma empresa de transporte aéreo.

Uma grande empresa brasileira de transporte aéreo regular de passageiros e carga decidiu em 2005 pelo desenvolvimento de uma estrutura própria de manutenção. Na época a companhia estava em expansão. Em comparação com 2004, a frota aumentou significativamente, o número de funcionários aumentou em 65%, e a participação da empresa no mercado doméstico aumentou para 29% (Anuário da empresa de 2005).

Segundo informações da empresa, os critérios levados em consideração para auxiliar na decisão de desenvolver uma estrutura própria de manutenção foram basicamente:

1. **Custo da mão de obra:** O homem-hora da empresa custava U\$ 25,00 e o homem-hora terceirizado U\$ 40,00;

2. **“Handling” de Material utilizado:** De acordo com o gerente-geral de hangar da empresa, o termo “handling” significa a cobrança média de 15% pela empresa terceirizada sobre o custo do material instalado;

3. **“Slot” de manutenção:** Segundo o gerente-geral, este pode ser considerado um item intangível, ou seja, é difícil quantificá-lo, porém é um dos itens que mais pesam, pois a empresa tinha uma grande dependência da empresa de manutenção terceirizada quanto ao tempo exato de parada da aeronave para manutenção. Com uma estrutura própria de manutenção as paradas ou saídas de aeronaves podem ser adequadas à malha da empresa, restrição esta bastante difícil de administrar quando o serviço é terceirizado; e

4. **“Overlap” entre aeronaves:** Embora não seja utilizado pela empresa, devido ao seu grande estoque, a manutenção própria permite o “Overlap” entre aeronaves, ou seja, a utilização de peças de aeronaves que estão paradas para manutenção em outras aeronaves que estão operando, podendo-se utilizar de uma aeronave para liberar a outra.

O resultado obtido pela empresa com decisão foi considerado satisfatório e levou a empresa a ampliar sua capacidade de realizar manutenção no início de 2010.

A companhia foi usada para a aplicação do método Fuzzy MCDM. As características da empresa que serão consideradas serão as suas características em 2005, data da construção da estrutura própria de manutenção.

Considerando que os critérios, a forma de avaliação, a divisão dos critérios em subjetivos e objetivos e a forma de se obter o ranque final, já foram definidas no Capítulo 5, os especialistas receberão as informações necessárias sobre a empresa, o questionário do Apêndice 1, onde serão avaliados os critérios, e o questionário do Apêndice 2, onde as alternativas serão avaliadas.

As respostas dos especialistas serão tabuladas para depois serem associadas, para a obtenção do ranque final.

A avaliação das alternativas de acordo com o critério objetivo será obtida de acordo com a equação (2).

Os pesos conferidos pelos especialistas para os critérios subjetivos e objetivos serão associados, assim como as avaliações dos especialistas para as alternativas de acordo com os critérios subjetivos.

O próximo passo será a obtenção dos índices fuzzy de adequabilidade e, finalmente, o ranque final, onde poderá ser verificado qual alternativa pode ser considerada a mais adequada.

6.1. CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA ONDE O MÉTODO FUZZY MCDM FOI APLICADO

Conforme mencionado, a empresa na qual o método Fuzzy MCDM foi aplicado é uma empresa brasileira de transporte aéreo de passageiros e carga. Fundada em 15 de janeiro de 2001, trouxe para o Brasil o conceito de “low cost, low fare”. No seu “Annual Report de 2004”, a empresa enfatiza que faz uso de alternativas de terceirização competitivas com o objetivo de manter o baixo custo (“low cost”), mas sem comprometer a qualidade do serviço. Em 2004 a empresa mantinha contratos a longos prazos com preços competitivos inclusive para a manutenção de suas aeronaves. No anuário de 2004 a empresa informava que revia constantemente a razão de custo/benefício dos contratos objetivando manter os custos tão baixo quanto possível e já indicava que planejava internalizar a manutenção das suas aeronaves através da

construção de um Centro de Manutenção no Aeroporto de Confins, em Minas Gerais, que seria, em princípio, inaugurado na metade de 2006.

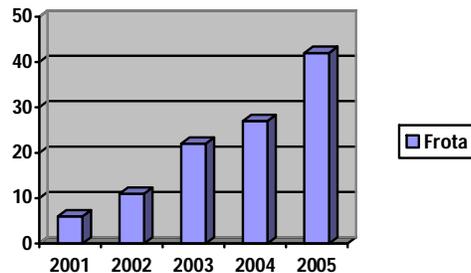
Em 18 de março de 2010, a companhia inaugurou a segunda fase de expansão do seu Centro de Manutenção de aeronaves, com um investimento declarado de R\$ 65 milhões. O Centro de Manutenção está hoje capacitado para manutenção de grande monta (pesada (“heavy”)), bem como pintura e configuração interna de suas aeronaves. Depois desta inauguração a capacidade do Centro de Manutenção passou para 120 aeronaves por ano.

A primeira fase do Centro de Manutenção foi inaugurada em setembro de 2005. Sendo assim, os especialistas terão as informações sobre as características da empresa daquele ano.

Em 2005 a frota da empresa aumentou em 15 aeronaves, passando de 27 para 42 aeronaves Boeing modelo 737.

Com a inauguração do Centro de Manutenção, em 2005, conforme informa o Annual Report de 2005, a empresa esperava reduzir os custos com manutenção e obter maior flexibilidade, aumentando a produtividade sem detrimento à qualidade do serviço. Em 2005, 15 aeronaves modelos 737-700 e 737-800 sofreram manutenção no centro de Confins.

Ainda em 2005, de acordo com dados do extinto Departamento de Aviação Civil (DAC), a taxa de ocupação dos vôos da empresa era de 73%, a mais alta do mercado brasileiro. Com a expansão da frota para 42 aeronaves, a companhia aumentou sua participação no mercado doméstico para 29%.



Fonte: GOL, 2005.

Figura 11: Crescimento da frota da empresa onde o método Fuzzy MCDM foi aplicado.

O número de funcionários da empresa em 2005 era de 5.456, 65% maior que o número em 2004. A empresa estava em franca expansão.

As despesas operacionais da empresa, por número de assentos disponíveis multiplicado pelos quilômetros voados (ASK), excluindo o combustível diminuíram em 10,6%, durante 2005. De acordo com o anuário 2005, a diminuição das despesas por ASK em 1,3% para R\$ 15,46, deve-se também à redução de despesas com manutenção.

A frota da empresa estava aumentando desde 2001, conforme mostra o gráfico da Figura 12.

Em 2005 a frota da empresa era composta de 42 aeronaves dos seguintes modelos:

- 12 Boeing 737-300. O modelo 737-300 é a segunda geração da versão alongada da família 737, com um comprimento de 109 pés e 7 polegadas. Duas seções foram adicionadas à fuselagem do 737-200, uma seção de 40 polegadas à frente das asas e outra seção de 60 polegadas atrás das asas. As envergaduras da asa e do estabilizador foram aumentadas. O 737-300 pode acomodar até 149 passageiros na configuração mais econômica.

- 22 Boeing 737-700. O modelo 737-700 tem a mesma fuselagem do 737-300 e é equipado com novas seções de asa, estabilizador e cauda. O 737-700 tem comprimento 110 pés e 4 polegadas e pode transportar até 148 passageiros na sua versão mais econômica; e

- 8 Boeing 737-800. O modelo 737-800 tem uma fuselagem um pouco mais longa que o 737-400 e é equipado com novas seções de asa, estabilizador e cauda. O 737-800 tem um comprimento de 129 pés e 6 polegadas e pode transportar até 184 passageiros na sua configuração mais econômica.

A frota da empresa tinha a seguinte composição:

- 1 aeronave modelo 737-300 fabricada em 1986
- 3 aeronaves modelo 737-300 fabricadas em 1988
- 6 aeronaves modelo 737-300 fabricadas em 1989
- 3 aeronaves modelo 737-300 fabricadas em 1990
- 10 aeronaves modelo 737-700 fabricadas em 1998
- 3 aeronaves modelo 737-700 fabricadas em 1999
- 1 aeronave modelo 737-700 fabricada em 2000

4 aeronaves modelo 737-700 fabricadas em 2001

5 aeronaves modelo 737-800 fabricadas em 2001

3 aeronaves modelo 737-700 fabricadas em 2002

3 aeronaves modelo 737-800 fabricadas em 2002

As médias de horas voadas da frota da empresa foram as seguintes:

- Aeronaves modelo 737-300: 11 horas/dia

- Aeronaves modelo 737-700/800: 12 horas/dia

6.2. A ESCOLHA DOS ESPECIALISTAS

Assim como em Liang e Wang (1991), será usado um grupo de especialista. Estes especialistas serão responsáveis por atribuir pesos (importâncias) aos critérios definidos para a escolha entre as alternativas de manutenção própria ou contratada, bem como serão responsáveis por avaliarem as alternativas de acordo com cada critério.

É importante que esses especialistas tenham muita experiência no assunto. Caso contrário as opiniões terão pouca confiabilidade.

Foram convidados três engenheiros para contribuir como especialistas.

No questionário do Apêndice 1 é solicitado aos especialistas que informem as respectivas experiências na atividade. Os especialistas que gentilmente aceitaram o convite para contribuir com o trabalho possuem as seguintes características:

Especialista 1 (J_1):

Formação: ***Engenheiro Aeronáutico***

Área de atuação: ***Empresa de transporte Aéreo e Empresa de Manutenção Aeronáutica***

Tempo de experiência: ***49 anos***

Especialista 2 (J_2):

Formação: ***Engenheiro Aeronáutico***

Área de atuação: ***Autoridade de Aviação Civil***

Tempo de experiência: ***22 anos***

Especialista 3 (J₃):

Formação: **Engenheiro Aeronáutico**

Área de atuação: **Empresa de Transporte Aéreo**

Tempo de experiência: **26 anos**

6.3. AVALIAÇÃO DAS IMPORTÂNCIAS DOS CRITÉRIOS

Conforme mencionado no Capítulo 5, da mesma maneira que em Liang e Wang (1991), será usado um conjunto W de valores lingüísticos, $W=\{VL, L, M, H, VH\}$ para avaliar a importância dos critérios, onde VL = Muito Baixa, L =Baixa, M =Média, H =Alta e VH =Muito Alta.

Através do questionário do Apêndice 1, foi solicitado aos especialistas que atribuíssem pesos aos critérios abaixo:

Custo: o custo, em termos monetários, das instalações (incluindo ferramentas, publicações de natureza técnica e mão de obra) ou do contrato de manutenção;

Despachabilidade: Traduz o cumprimento do horário do voo;

Tamanho de frota: número de aeronaves operadas pela empresa de transporte aéreo;

Idade da frota: Serão fornecidas aos especialistas as datas de fabricação de cada aeronave. A avaliação dos especialistas será a partir desses dados. Médias aritméticas não serão usadas, para não interferir nas avaliações dos especialistas e nos resultados;

Uniformidade da frota: quantidade de diferentes modelos de aeronaves dentro da frota da empresa. Quanto menor a quantidade de diferentes modelos de aeronaves, maior será a uniformidade da frota; e

Estoque de peças de reposição: é o estoque que a empresa deve manter para suprir as necessidades de reposição de peças durante os serviços de manutenção, seu

tamanho será proporcional à quantidade de serviços de manutenção realizada pela própria empresa.

Aos critérios foram relacionados letras e índices como segue:

C₁: Despachabilidade

C₂: Tamanho da frota

C₃: Idade da frota

C₄: Uniformidade da frota

C₅: Estoque de peças para reposição

C₆: Custo das instalações ou do contrato de manutenção

Os resultados obtidos dos especialistas foram tabulados conforme mostra a Tabela 11 abaixo:

Tabela 12: Avaliações das importâncias dos critérios pelos especialistas.

<i>Critério</i>	<i>Especialistas</i>		
	<i>J₁</i>	<i>J₂</i>	<i>J₃</i>
<i>C₁</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>
<i>C₂</i>	<i>L</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>
<i>C₃</i>	<i>L</i>	<i>H</i>	<i>M</i>
<i>C₄</i>	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>C₅</i>	<i>M</i>	<i>L</i>	<i>H</i>
<i>C₆</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>	<i>VH</i>

Fonte: Elaboração do autor.

O especialista *J₁* justificou assim a sua avaliação:

“Custo: É o critério mais importante na tomada de decisão das empresas aéreas para terceirizar ou não a sua manutenção. O objetivo sempre é diminuir custos. Hoje cerca de 50% da manutenção das linhas aéreas americanas é terceirizada. A Southwest

com uma frota de 537 aeronaves terceiriza cerca de 60% da sua manutenção. A Fedex que possui cerca de 800 aeronaves também chega próximo a esse número. Diversas outras empresas terceirizam a sua manutenção: Jet Blue, American West, Northwest, United, etc. A American Airlines, por enquanto terceiriza pouco: cerca de 80 a 90 % da manutenção é feita em casa.

A decisão de terceirizar é, portanto, de custo, mas também de estratégia da empresa.”

“Despachabilidade: Este item depende muito da Manutenção de Linha, que via de regra as empresas aéreas retém para si. Quando essa manutenção é terceirizada, elas exercem uma rigorosa fiscalização para mantê-la dentro de índices aceitáveis. A despachabilidade, de certa maneira, reflete a qualidade dos serviços executados pela empresa terceirizada. Assim no “outsourcing”, as empresas aéreas selecionam oficinas de manutenção que possuam reputação de boa qualidade de serviços.”

“Tamanho: Intuitivamente, o tamanho da frota levaria as empresas à decisão de efetuar manutenção própria, mas conforme a explicação e os números citados na justificativa do critério custo, os fatos desmentem. Independente do tamanho da frota, as empresas terceirizam a manutenção para diminuir custos.”

“Idade: Aeronaves velhas é uma carga pesada de manutenção, independente se é feita em casa ou terceirizada. A idade é um critério interessante. Muitas empresas aéreas deixam de manter e terceirizam a manutenção de aeronaves ou motores que estão sendo desativadas, a fim de não ficarem com ferramental e material obsoleto em suas instalações. Por outro lado, a chegada de novos aviões de tecnologia mais moderna implica na necessidade de um alto investimento em equipamentos, instalações e pessoal que muitas vezes inviabiliza a sua execução, e então a manutenção é terceirizada.”

“Estoque de Peças para Reposição: É um critério de importância relativa na decisão de ter manutenção própria ou terceirizada. Ele é relacionado com alguns outros critérios considerados anteriormente.

1. Se a frota for grande, do mesmo modelo, irá pesar bastante na decisão de ter manutenção própria, pois o valor investido no estoque terá um aproveitamento muito melhor ao ser diluído na frota;

2. Por outro lado, o valor a investir no estoque vai depender também da despachabilidade desejada, pois quanto melhor for a despachabilidade desejada, maior deverá ser o estoque de peças, por obrigá-la a ter na base principal, e, além disso, a distribuir o material ao longo das estações de base da rota percorrida;

3. A Idade da Frota também tem influência no tamanho do estoque se a empresa realizar manutenção própria. Uma frota idosa certamente exigirá um estoque maior e mais variado de peças de reposição. Se a manutenção for terceirizada, e o contrato prever o fornecimento do material pela contratada, não haverá necessidade de possuir um grande estoque de material de reposição;

4. Normalmente as empresas grandes ou pequenas procuram deter e efetuar pelo menos a manutenção de linha e as inspeções menores passíveis de serem efetuadas na pista, e nesse caso devem ter um estoque mínimo de material de consumo de troca obrigatória, tais como filtros, juntas, mangueiras, etc.

5. Além disso, as empresas costumam manter em estoque, mesmo não tendo manutenção própria, certos materiais considerados “no go”, de consumo constante e previsível, tais como rodas e freios, além de alguns outros componentes. A especificação desses itens “no go” de valor elevado demanda um detalhado estudo de dimensionamento, que deve levar em conta consumo da própria empresa, de empresas congêneres, das estatísticas de confiabilidade, informações do fabricante da aeronave, etc.

6. A IATP - International Airlines Technical Pool - congrega cerca de 100 linhas aéreas com o objetivo de se auxiliarem mutuamente na redução de custos operacionais. O pool de peças, tanto para empresas com manutenção própria ou terceirizada, permite redução sensível no estoque de peças de reposição de elevado valor nas bases internacionais onde opera a empresa; e

7. Muitas empresas aderem ao plano de “power by the hour” oferecidas por empresas de manutenção de componentes, de modo a minimizar o investimento em componentes, mas com garantia de sempre ter o componente imediatamente disponível, ou disponível no menor tempo possível. Esse tipo de acordo é adotado também para motores.

Conforme os comentários acima, torna-se difícil definir o peso do critério de “estoque de peças de reposição” para a decisão de Manutenção Própria ou Manutenção Terceirizada, e daí a razão de ter escolhido o “M”.”

O especialista *J₁* também teceu ainda os seguintes comentários adicionais:

“Os sindicatos dos empregados das linhas aéreas americanas, e mesmo membros do congresso daquele país, alegam que terceirizar a manutenção, dentro do país ou fora dele, constitui um risco para a segurança de vôo. Entretanto, a contratação de empresas de manutenção com boa qualidade de serviços vai depender de a linha aérea fazer uma seleção criteriosa e, após a contratação, uma boa fiscalização durante a execução dos serviços.

As grandes empresas aéreas, como nos casos das americanas, quando fazem uma concorrência para terceirizar serviços de manutenção incluem cláusulas extremamente rigorosas quanto à qualidade dos serviços, pesadíssimas multas quanto ao atraso na conclusão dos serviços, e pesadas penalidades em caso de incidente/acidente resultante da manutenção terceirizada.

Por outro lado, as empresas de manutenção, quando recebem convite para concorrer à execução de manutenção, normalmente “Check”s pesados, em número regular, durante alguns anos, vêem uma grande oportunidade de obter uma receita regular garantida durante um período, que é um grande atrativo para a empresa. Como a concorrência é extremamente acirrada, as empresas de manutenção se esmeram em oferecer serviços de boa qualidade para as linhas aéreas, a fim de manter e prorrogar o contrato.

A Varig executou serviços de “Check”s B para os Boeing 727 cargueiros da Fedex durante alguns anos. A Fedex contratava a Varig porque o custo de traslado das aeronaves para os Estados Unidos para a execução daqueles serviços seria proibitivo.

A Varig/VEM durante muitos anos executou serviços de “Check”s C para a Aeroperu, Centurion, e outras empresas cargueiras, cuja maior motivação era o custo menor.

Alguns países da América Central, El Salvador, Costa Rica, etc., concentram hoje várias empresas de manutenção que atraem empresas aéreas americanas para execução de seus “Check”s devido ao custo menor de mão de obra.”

Os demais especialistas não justificaram suas avaliações. No entanto, é importante esclarecer que não foram solicitados a fazê-las.

Considerando as funções de pertinência definidas no Capítulo 5, segue que:

$VL: (0, 0, 0, 0,3)$

$L: (0, 0,3, 0,3, 0,5)$

$M: (0,2, 0,5, 0,5, 0,8)$

$H: (0,5, 0,7, 0,7, 1)$

$VH: (0,7, 1, 1, 1)$

então, tem-se os seguintes valores para a importância W_{ij} atribuída ao critério C_i pelo especialista J_j :

Tabela 13: Avaliações das importâncias dos critérios pelos especialistas.

<i>Critério</i>	<i>J₁</i>	<i>J₂</i>	<i>J₃</i>
<i>C₁</i>	$W_{11}=(0,2, 0,5, 0,5, 0,8)$	$W_{12}=(0,2, 0,5, 0,5, 0,8)$	$W_{13}=(0,2, 0,5, 0,5, 0,8)$
<i>C₂</i>	$W_{21}=(0, 0,3, 0,3, 0,5)$	$W_{22}=(0,7, 1, 1, 1)$	$W_{23}=(0,7, 1, 1, 1)$
<i>C₃</i>	$W_{31}=(0, 0,3, 0,3, 0,5)$	$W_{32}=(0,5, 0,7, 0,7, 1)$	$W_{33}=(0,2, 0,5, 0,5, 0,8)$
<i>C₄</i>	$W_{41}=(0, 0,3, 0,3, 0,5)$	$W_{42}=(0,2, 0,5, 0,5, 0,8)$	$W_{43}=(0,5, 0,7, 0,7, 1)$
<i>C₅</i>	$W_{51}=(0,2, 0,5, 0,5, 0,8)$	$W_{52}=(0, 0,3, 0,3, 0,5)$	$W_{53}=(0,5, 0,7, 0,7, 1)$
<i>C₆</i>	$W_{61}=(0,7, 1, 1, 1)$	$W_{62}=(0,7, 1, 1, 1)$	$W_{63}=(0,7, 1, 1, 1)$

W_{ij} * representa as avaliações atribuídas ao critério C_i pelo especialista J_j .

Fonte: Elaboração do autor.

6.4. AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS SUBJETIVOS

Os especialistas também avaliaram cada alternativa (manutenção própria ou contratada) levando-se em consideração os critérios subjetivos previamente estabelecidos.

Através do questionário do Apêndice 2, os especialistas utilizaram um conjunto de classificação lingüística $S=\{VP, B.VP \ \& \ P, P, B.P \ \& \ F, F, B.F \ \& \ G, G, B.G \ \& \ VG,$

VG}, onde VP= muito fraco, B.VP & P= entre muito fraco e fraco, P= fraco, B.P & F= entre fraco e regular, F= regular, B.F & G= entre regular e bom, G= bom, B.G & VG= entre bom e muito bom, e VG= muito bom, para avaliar as alternativas de acordo com cada critério subjetivo.

O questionário do Apêndice 2, apresenta basicamente a seguinte questão aos especialistas:

Qual a avaliação das alternativas de manutenção própria ou contratada, considerando os critérios subjetivos relacionados à despachabilidade, tamanho da frota, idade da frota, uniformidade da frota e estoque de peças para reposição, para a empresa brasileira de transporte aéreo regular de passageiros e carga com as características descritas na Seção 6.1?

Às alternativas foram adicionadas letras com índices como segue:

A₁: Manutenção própria

A₂: Manutenção contratada

As respostas para a questão acima foram tabuladas, conforme segue:

Tabela 14: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério *C₁*.

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	<i>J₁</i>	<i>J₂</i>	<i>J₃</i>
<i>A₁</i>	B.G&VG	VG	VG
<i>A₂</i>	G	B.F&G	F

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 15: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério *C₂*.

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	<i>J₁</i>	<i>J₂</i>	<i>J₃</i>
<i>A₁</i>	B.G&VG	VG	F
<i>A₂</i>	G	F	VG

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 16: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_3 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	G	VG	G
A_2	B.G&VG	P	VG

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 17: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_4 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	G	B.G&VG	G
A_2	G	B.VP&P	G

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 18: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_5 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	G	B.G&VG	G
A_2	B.G&VG	P	VG

Fonte: Elaboração do autor.

Considerando as funções de pertinência definidas no Capítulo 5 para a avaliação das alternativas, segue que:

$VP: (0, 0, 0, 0,2)$
 $B.VP\&P: (0, 0, 0,2, 0,4)$
 $P: (0, 0,2, 0,2, 0,4)$
 $B.P\&F: (0, 0,2, 0,5, 0,7)$
 $F: (0,3, 0,5, 0, 5, 0,7)$
 $B.F\&G: (0,3, 0,5, 0,8, 1)$
 $G: (0,6, 0,8, 0,8, 1)$
 $B.G\&VG: (0,6, 0,8, 1, 1)$
 $VG: (0,8, 1, 1, 1)$

então, tem-se os seguintes valores para a avaliação S_{ij} atribuída à alternativa A_i considerando o critério C_l pelo especialista J_j :

Tabela 19: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_1 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	$S_{111}=(0,6, 0,8, 1, 1)$	$S_{112}=(0,8, 1, 1, 1)$	$S_{113}=(0,8, 1, 1, 1)$
A_2	$S_{211}=(0,6, 0,8, 0,8, 1)$	$S_{212}=(0,3, 0,5, 0,8, 1)$	$S_{213}=(0,3, 0,5, 0,5, 0,7)$

S_{ij}^* representa a avaliação atribuída pelo especialista J_j para alternativa A_i , considerando o critério C_1 .

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 20: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_2 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	$S_{121}=(0,6, 0,8, 1, 1)$	$S_{122}=(0,8, 1, 1, 1)$	$S_{123}=(0,3, 0,5, 0,5, 0,7)$
A_2	$S_{221}=(0,6, 0,8, 0,8, 1)$	$S_{222}=(0,3, 0,5, 0,5, 0,7)$	$S_{223}=(0,8, 1, 1, 1)$

S_{ij}^* representa a avaliação atribuída pelo especialista J_j para alternativa A_i , considerando o critério C_2 .

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 21: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_3 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	$S_{131}=(0,6, 0,8, 0,8, 1)$	$S_{132}=(0,8, 1, 1, 1)$	$S_{133}=(0,6, 0,8, 0,8, 1)$
A_2	$S_{231}=(0,6, 0,8, 1, 1)$	$S_{232}=(0, 0,2, 0,2, 0,4)$	$S_{233}=(0,8, 1, 1, 1)$

S_{ij} * representa a avaliação atribuída pelo especialista J_j para alternativa A_i , considerando o critério C_3 .

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 22: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_4 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	$S_{141}=(0,6, 0,8, 0,8, 1)$	$S_{142}=(0,6, 0,8, 1, 1)$	$S_{143}=(0,6, 0,8, 0,8, 1)$
A_2	$S_{241}=(0,6, 0,8, 0,8, 1)$	$S_{242}=(0, 0, 0,2, 0,4)$	$S_{243}=(0,6, 0,8, 0,8, 1)$

S_{ij} * representa a avaliação atribuída pelo especialista J_j para alternativa A_i , considerando o critério C_4 .

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 23: Avaliações das alternativas pelos especialistas considerando o critério C_5 .

<i>Alternativas</i>	<i>Especialistas</i>		
	J_1	J_2	J_3
A_1	$S_{151}=(0,6, 0,8, 0,8, 1)$	$S_{152}=(0,6, 0,8, 1, 1)$	$S_{153}=(0,6, 0,8, 0,8, 1)$
A_2	$S_{251}=(0,6, 0,8, 1, 1)$	$S_{252}=(0, 0,2, 0,2, 0,4)$	$S_{253}=(0,8, 1, 1, 1)$

S_{ij} * representa a avaliação atribuída pelo especialista J_j para alternativa A_i , considerando o critério C_5 .

Fonte: Elaboração do autor.

6.5. AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS OBJETIVOS

Os critérios objetivos se referem ao custo para desenvolver uma estrutura própria de manutenção (no caso de manutenção própria) ou ao custo de um contrato de manutenção (no caso de manutenção contratada).

Os custos (fuzzy ou não-fuzzy) serão convertidos em índices adimensionais de acordo com a equação abaixo:

$$RT_i = \{T_i \otimes [T_1^{-1} \oplus T_2^{-1} \oplus \dots \oplus T_m^{-1}]\}^{-1}$$

onde T_i é o custo total associada a cada alternativa A_i .

A alternativa com o mínimo custo será aquela com maior RT .

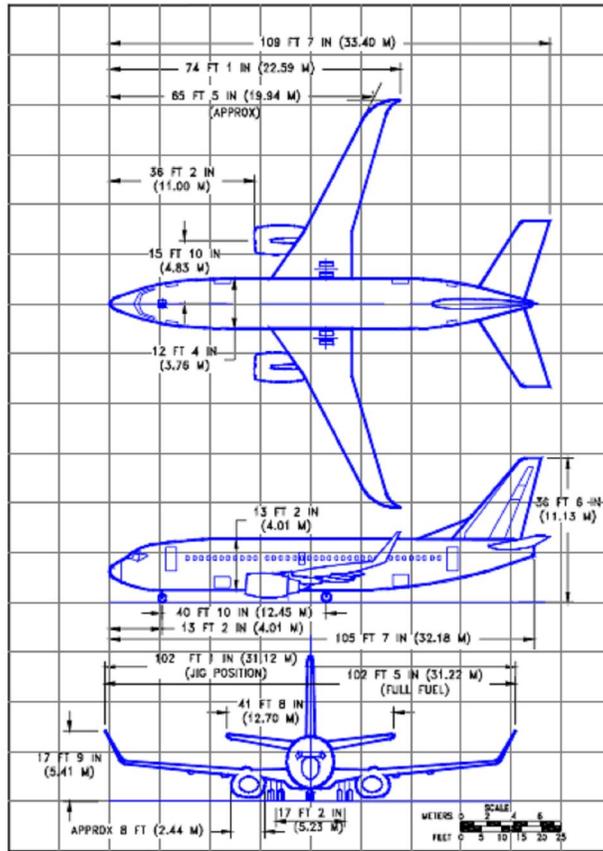
Os valores dos custos das alternativas, comparados em uma mesma base, foram obtidos conforme descrito nos próximos parágrafos.

Quanto à manutenção própria, foram considerados os seguintes itens:

1. Instalações físicas

1.1. Hangar e pátio:

Foi solicitada a uma grande empresa de manutenção a estimativa dos custos de construção de um hangar apropriado para manutenção de aeronaves Boeing modelos 737-300, 737-700 e 737-800, modelos que compõem a frota da empresa em que foi aplicado o método Fuzzy MCDM.

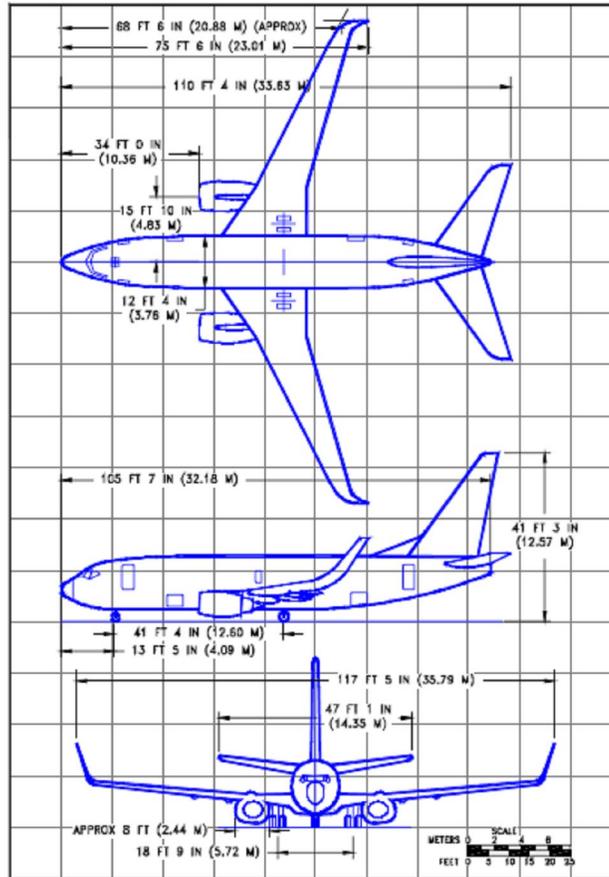


Fonte: Boeing, 2005.

Figura 12: Dimensões Boeing 737-300.

De acordo com o RBHA 145.35(c), “o requerente deve prover adequado espaço coberto no local onde a maior parte do trabalho será executado. O espaço coberto deve ser suficientemente grande para conter o maior item a ser trabalhado, segundo a homologação requerida, ...”. Considerando as dimensões mostradas nas Figuras 13, 14 e 15, a aeronave com maior dimensão seria o Boeing 737-800, exceto quanto à altura, quesito que o Boeing 737-700 é maior. Sendo assim, tem-se a tabela abaixo com as maiores medidas:

Item	Medida (m)
Cumprimento	39,47
Envergadura	35,79
Altura	12,57



Fonte: Boeing, 2005.

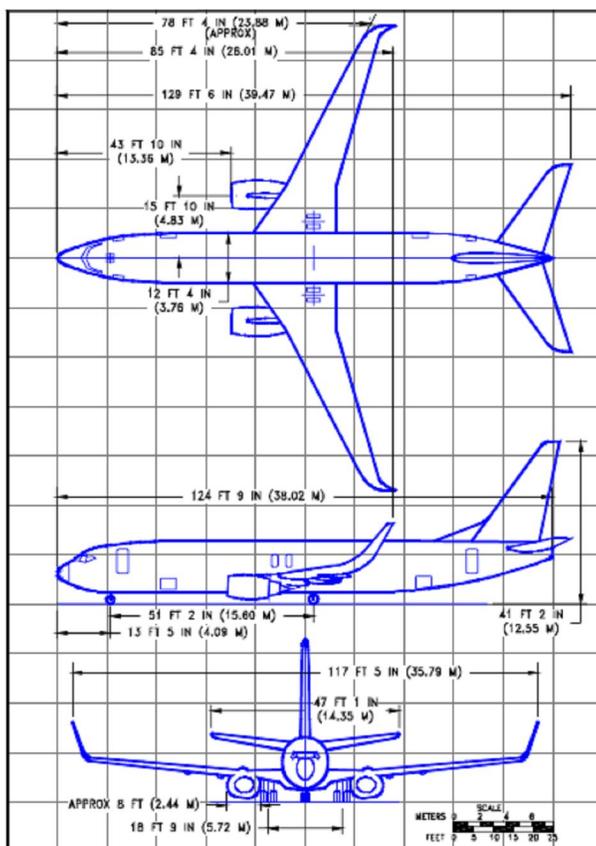
Figura 13: Dimensões Boeing 737-700.

Considerando os aspectos acima foi obtida da empresa de manutenção a seguinte estimativa para os custos do hangar e do pátio:

Custo do hangar	R\$ 7.500.000,00
Custo do pátio	R\$ 1.200.000,00
Total	R\$ 8.700.000,00

Considerando o conceito de depreciação, de acordo com as Instruções Normativas SRF números 162/98 e 130/99 da Receita Federal, a taxa é de 4% ao ano. Então:

$$\mathbf{R\$ 8.700.000,00 \times 4\% = R\$ 348.000,00 \text{ por ano}}$$



Fonte: Boeing, 2005.

Figura 14: Dimensões Boeing 737-800.

1.2. Área:

Foi solicitado ao administrador do aeroporto onde se localiza a empresa onde o método Fuzzy MCDM foi aplicado o valor do aluguel da área. Os valores mensais obtidos estão mostrados abaixo:

Aluguel	R\$ 45.609,99
Outras despesas (água e lixo)	R\$ 5.361,78
Total	R\$ 50.971,77

Assim, anualmente, a área tem um custo de:

$$\mathbf{R\$ 50.971,77 \times 12 = R\$ 611.661,24}$$

Custo anual total das instalações físicas (hangar e pátio + área):

R\$ 959.661,24

2. Mão de obra

Conforme informado pela empresa onde o método Fuzzy MCDM foi aplicado, o valor do homem-hora é de aproximadamente **US\$ 25,00**. De acordo com a cotação do Banco Central do Brasil para a moeda norte-americana, obtida em 03 de setembro de 2010, o valor em reais é R\$ 43,18.

Conforme mencionado no Capítulo 2, para as aeronaves modelo Boeing 737-300, as intervenções de manutenção podem ser divididas em “checks” A, C e Estrutural. No entanto, para os modelos 737-700/800 o cenário muda completamente. As tarefas são expressas em horas de vôo, ciclos, tempo calendário ou uma combinação deles, com a nota: “*o que ocorrer primeiro*”. Um operador pode agrupar as tarefas em seus próprios intervalos de “checks” desde que tal agrupamento não exceda aos intervalos definidos para a tarefa.

Para haver compatibilidade na comparação entre os custos, torna-se necessário agrupar as tarefas de manutenção de uma forma coerente, e usar esse agrupamento nas duas alternativas (manutenção própria ou contratada), caso contrário, não há meio de comparar os dois custos. O agrupamento das tarefas de manutenção nesta pesquisa tem apenas a finalidade de servir como base para comparação entre os custos. As nomenclaturas dos “checks” usadas aqui, principalmente para as aeronaves Boeing 737-700/800, podem não ter correspondência alguma com as nomenclaturas usadas nos programas de manutenção das companhias aéreas.

Considerando que uma aeronave Boeing 737 pode voar em torno de 4.000 horas por ano, Pandit (2007), e com o auxílio de uma grande empresa norte-americana de transporte aéreo e de manutenção, foram montadas as Tabelas 23 e 24 abaixo que representam os agrupamentos das tarefas de manutenção para os Boeing modelos 737-300 e 737-700/800. Os “checks” C “Light”, C “Heavy” e D definidos para as aeronaves 737-700/800 têm intervalos de aproximadamente 24 meses ou 8.000 horas de vôo entre si:

Tabela 24: Intervalos e Homens-hora para os “checks” do **Boeing 737-300**.

“Check”	Intervalo (horas voadas)	Homens-hora
A	500	250
C	6.000	8.300
D	24.000	18.000

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 25: Intervalos e Homens-hora para os “checks” do **Boeing 737-700/800**.

“Check”	Intervalo (horas voadas)	Homens-hora
A	4.000	200
C “Light”	8.000	1.400
C “Heavy”	16.000	7.500
D	24.000	2.000

Fonte: Elaboração do autor.

Conforme mencionado anteriormente, as médias de horas voadas pelas aeronaves da empresa onde foi aplicado o método Fuzzy MCDM é a seguinte:

- Aeronaves modelo 737-300: 11 horas/dia
- Aeronaves modelo 737-700/800: 12 horas/dia

Anualmente, tem-se:

- Aeronaves modelo 737-300: 4015 horas/ano
- Aeronaves modelo 737-700/800: 4380 horas/ano

Isto significa que uma aeronave modelo 737-300 fará por ano, em média:

- 8 “checks” A
- 0,6 “check” C
- 0,16 “check” D

Os valores dos “checks” por aeronave 737-300, considerando a quantidade e o valor do homem-hora, informada pela empresa onde o método Fuzzy MCDM foi aplicado, são:

- “checks” A: **R\$ 86.360,00**
- “checks” C: **R\$ 215.036,40**
- “checks” D: **R\$ 124.358,40**

Levando-se em consideração todos os “checks” e as 13 aeronaves, tem-se o seguinte valor anual da mão de obra para a manutenção própria da aeronave 737-300:

R\$ 5.534.812,40

Seguindo-se o mesmo raciocínio para os modelos 737-700/800, tem-se:

- 1 “checks” A
- 0,54 “checks” C “Light”
- 0,27 “check” C “Heavy”
- 0,18 “check” D

Portanto, os valores dos “checks” por aeronave 737-700/800, considerando a quantidade e o valor do homem-hora serão:

- “checks” A: **R\$ 8.636,00**
- “checks” C “Light”: **R\$ 32.644,08**
- “check” C “Heavy”: **R\$ 87.439,50**
- “checks” D: **R\$ 15.544,80**

Então, considerando todos os “checks” e as 29 aeronaves, tem-se o seguinte valor anual da mão de obra para a manutenção própria da aeronave 737-700/800:

R\$ 4.183.667,02

Finalmente, somando-se os dois valores acima, encontramos o valor anual gasto com mão de obra para a manutenção própria das aeronaves da frota da empresa:

R\$ 9.718.479,42

3. Ferramentas, equipamentos e testes

Foi solicitada a uma grande empresa de manutenção costarriquenha, certificada para os modelos 737-300/700/800 a estimativa do gasto com ferramentas, equipamentos e testes. A empresa estimou o gasto em US\$ 1.000.000,00.

Usando-se novamente o conceito de depreciação, que acordo com as Instruções Normativas SRF números 162/98 e 130/99 da Receita Federal, a taxa é de 20% ao ano convertendo o valor para reais, de acordo com a cotação do Banco Central do Brasil

para a moeda norte-americana, obtida em 03 de setembro de 2010, tem-se que o gasto anual com ferramentas, equipamentos e testes é:

R\$ 345.460,00

4. Publicações de natureza técnica

Foi solicitado à mesma empresa de manutenção costarriquenha que forneceu a estimativa dos custos das ferramentas, equipamentos e testes, o seu gasto anual com publicações de natureza técnica. A empresa informou que este gasto pode variar de US\$ 11.000,0 a US\$ 24.000,00 por ano. Usando a cotação do Banco Central do Brasil para a moeda norte-americana, em 03 de setembro de 2010, o custo anual das publicações de natureza técnica está:

Entre R\$ 19.000,30 e R\$ 41.455,20

Quanto à manutenção contratada, foi solicitado à mesma empresa costarriquenha de manutenção o orçamento para a execução dos “checks” de manutenção. No entanto, para haver consistência na comparação, os “checks” devem ser agrupados da mesma maneira que na manutenção própria. Considerando que o problema das peças de reposição será tratado como critério subjetivo, será usado o valor do homem-hora cobrado pela empresa costarriquenha para a realização dos “check”, **US\$ 35,00**, e as Tabelas 25 e 26, para estimar o custo da manutenção contratada, conforme é mostrado abaixo:

Tabela 26: Custo da manutenção contratada para os “checks” do **Boeing 737-300**.

“Check”	Homens-hora	Número de “checks”	Valor anual/aeronave (US\$)
A	250	8	70.000,00
C	8.300	0,6	174.300,00
D	18.000	0,16	100.800,00
Total			345.100,00

Fonte: Elaboração do autor.

O valor total considerando as 13 aeronaves e usando a cotação do Banco Central do Brasil para a moeda norte-americana, em 03 de setembro de 2010:

R\$ 7.749.185,99

Tabela 27: Custo da manutenção contratada para os “checks” do **Boeing 737-700/800**.

“Check”	Homens-hora	Número de “checks”	Valor anual/aeronave (US\$)
A	200	1	7.000,00
C “Light”	1.400	0,54	26.460,00
C “Heavy”	7.500	0,27	70.857,00
D	2.000	0,18	12.600,00
Total			116.917,00

Fonte: Elaboração do autor.

Assim, também se obtém o valor total considerando as 29 aeronaves e usando a cotação do Banco Central do Brasil para a moeda norte-americana, em 03 de setembro de 2010:

R\$ 5.856.571,29

Somando-se os dois valores acima, tem-se o valor total orçado para manutenção contratada, por ano:

R\$ 13.605.757,28

De acordo com Liang e Wang (1991), os números fuzzy trapezoidais são fáceis de usar e interpretar. Por exemplo, aproximadamente 300 pode ser representado como (295, 300, 300, 305), aproximadamente entre 360 e 400 pode ser representado por (355, 360, 400, 405), e o número não-fuzzy 500 pode ser representado por (500, 500, 500, 500).

Os valores obtidos para instalações físicas, mão de obra, ferramentas, equipamentos e testes e publicações de natureza técnica, para o caso de manutenção própria, e do orçamento, para caso de manutenção contratada, serão transformados em números fuzzy. Os valores também serão rearranjados de forma a facilitar os cálculos,

sem distorcer os resultados. Lidar com números grandes também não é interessante, desta forma usaremos potências de dez, mas precisamente 10^6 .

Instalações físicas:

O valor 959.661,24 será aproximado para 960.000,00 ou $0,96 \times 10^6$. Transformando-o em número fuzzy tem-se:

$$10^6 \times (0,960, 0,960, 0,960, 0,960)$$

Mão-de Obra:

O valor 9.718.479,42 será aproximado para 9.719.000,00 ou $9,719 \times 10^6$. Transformando-o em número fuzzy tem-se:

$$10^6 \times (9,719, 9,719, 9,719, 9,719)$$

Ferramentas, equipamentos e testes:

O valor 345.460,00 será aproximado para 346.000,00 ou $0,346 \times 10^6$. Transformando-o em número fuzzy tem-se:

$$10^6 \times (0,346, 0,346, 0,346, 0,346)$$

Publicações de natureza técnica:

O valor entre 19.000,30 e 41.455,20 será aproximado para entre 19.000,00 e 42.000,00 ou entre $0,019 \times 10^6$ e $0,042 \times 10^6$. Transformando-o em número fuzzy tem-se:

$$10^6 \times (0,019, 0,027, 0,034, 0,042)$$

Custo da manutenção contratada:

O valor 13.605.757,28 será aproximado para entre 13.600.000,00 ou $13,600 \times 10^6$. Transformando-o em número fuzzy tem-se:

$$10^6 \times (13,600, 13,600, 13,600, 13,600)$$

Daí tem-se:

T_1 : Soma dos custos das instalações, mão de obra, ferramentas e publicações.

T_2 : Custo da manutenção contratada.

Assim:

$$T_1 = 10^6 \times (11,044, 11,052, 11,059, 11,067)$$

$$T_2 = 10^6 \times (13,600, 13,600, 13,600, 13,600)$$

Utilizando-se a equação $RT_i = \{T_i \otimes [T_1^{-1} \oplus T_2^{-1} \oplus \dots \oplus T_m^{-1}]\}^{-1}$ e os valores de T_1 e T_2 , são obtidos os valores de RT_1 e RT_2 através de uma planilha em Excel:

$$RT_1: (0,55, 0,55, 0,55, 0,55)$$

$$RT_2: (0,44, 0,44, 0,44, 0,44)$$

6.6. ASSOCIAÇÃO DAS IMPORTÂNCIAS DOS CRITÉRIOS

Conforme definido no Capítulo 5, será adotado o procedimento de “associar antes” através da operação de “média”. Desta forma, a partir da Tabela 27, será gerada a Tabela 28, que representa a associação das importâncias dos critérios, através da equação:

$$W_t = (1/n) \otimes (W_{t1} \oplus W_{t2} \oplus \dots \oplus W_{tm}) \quad t = 1, 2, \dots, k$$

onde W_t é a importância associada de todos os especialistas para o critério C_t .

Tabela 28: Avaliações das importâncias dos critérios.

<i>Crítério</i>	<i>Especialistas</i>		
	<i>J₁</i>	<i>J₂</i>	<i>J₃</i>
<i>C₁</i>	<i>W₁₁*</i>	<i>W₁₂*</i>	<i>W₁₃*</i>
<i>C₂</i>	<i>W₂₁*</i>	<i>W₂₂*</i>	<i>W₂₃*</i>
<i>C₃</i>	<i>W₃₁*</i>	<i>W₃₂*</i>	<i>W₃₃*</i>
<i>C₄</i>	<i>W₄₁*</i>	<i>W₄₂*</i>	<i>W₄₃*</i>
<i>C₅</i>	<i>W₅₁*</i>	<i>W₅₂*</i>	<i>W₅₃*</i>
<i>C₆</i>	<i>W₆₁*</i>	<i>W₆₂*</i>	<i>W₆₃*</i>

*W_{ij}** representa as importâncias atribuídas ao critério *C_i* pelo especialista *J_j*.

Fonte: Elaboração do autor.

Tabela 29: Associação das importâncias dos critérios.

<i>Crítério</i>	<i>W_t</i>
<i>C₁</i>	<i>W₁*</i>
<i>C₂</i>	<i>W₂*</i>
<i>C₃</i>	<i>W₃*</i>
<i>C₄</i>	<i>W₄*</i>
<i>C₅</i>	<i>W₅*</i>
<i>C₆</i>	<i>W₆*</i>

*W_t** representa as importâncias associadas atribuídas pelos especialistas *J_j* para o critério *C_t*.

Fonte: Elaboração do autor.

Os valores *W_t* serão obtidos através de uma planilha simples em Excel, que calculará o resultado para seguintes as equações:

$$W_1 = (1/3) \otimes (W_{11} \oplus W_{12} \oplus W_{13})$$

$$W_2 = (1/3) \otimes (W_{21} \oplus W_{22} \oplus W_{23})$$

$$W_3 = (1/3) \otimes (W_{31} \oplus W_{32} \oplus W_{33})$$

$$W_4 = (1/3) \otimes (W_{41} \oplus W_{42} \oplus W_{43})$$

$$W_5 = (1/3) \otimes (W_{51} \oplus W_{52} \oplus W_{53})$$

$$W_6 = (1/3) \otimes (W_{61} \oplus W_{62} \oplus W_{63})$$

substituindo por valores numéricos, temos a Tabela 29 abaixo com os valores associados das importâncias dos critérios:

Tabela 30: Valores para a associação das importâncias dos critérios.

<i>Critério</i>	W_t
C_1	$W_1 = (0,20, 0,50, 0,50, 0,80)$
C_2	$W_2 = (0,46, 0,76, 0,76, 0,83)$
C_3	$W_3 = (0,23, 0,50, 0,50, 0,76)$
C_4	$W_4 = (0,23, 0,50, 0,50, 0,76)$
C_5	$W_5 = (0,23, 0,50, 0,50, 0,76)$
C_6	$W_6 = (0,70, 1,00, 1,00, 1,00)$

Fonte: Elaboração do autor.

6.7. ASSOCIAÇÃO DAS AVALIAÇÕES DAS ALTERNATIVAS DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS SUBJETIVOS E OBJETIVOS

Para a associação das avaliações das alternativas de acordo com os critérios subjetivos e objetivos também será adotado o procedimento de “associar antes” através da operação de “média”.

Assim, a partir das Tabelas 18, 19, 20, 21 e 22 e dos valores de RT_1 e RT_2 será gerada a Tabela 30, que representa a associação das avaliações das alternativas de acordo com os critérios subjetivos e objetivos, através da equação:

$$S_{it} = \begin{cases} (1/n) \otimes (S_{i1} \oplus S_{i2} \oplus \dots \oplus S_{in}) & i = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, k-1 \\ (q_{ik}, o_{ik}, p_{ik}, r_{ik}) & i = 1, 2, \dots, m; t = k \end{cases}$$

onde S_{it} é a avaliação associada de todos os especialistas para a alternativa A_i , de acordo com o critério C_t .

Os valores de S_{it} serão assim obtidos, também com o auxílio de uma planilha Excel.

Por definição:

$$RT_1 = S_{16}$$

$$RT_2 = S_{26}$$

Tabela 31: Associação das avaliações das alternativas.

<i>Alternativas</i>	<i>Crítérios Subjetivos e Objetivos</i>					
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
A_1	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}	S_{15}	S_{16}
A_2	S_{21}	S_{22}	S_{23}	S_{24}	S_{25}	S_{26}

Fonte: Elaboração do autor.

Assim:

$$S_{11}=(0,73, 0,93, 1, 1)$$

$$S_{12}=(0,56, 0,76, 0,83, 0,90)$$

$$S_{13}=(0,66, 0,86, 0,86, 1)$$

$$S_{14}=(0,60, 0,80, 0,86, 1)$$

$$S_{15}=(0,60, 0,80, 0,86, 1)$$

$$S_{16}=(0,55, 0,55, 0,55, 0,55)$$

$$S_{21}=(0,40, 0,60, 0,70, 0,90)$$

$$S_{22}=(0,56, 0,76, 0,76, 0,90)$$

$$S_{23}=(0,46, 0,66, 0,73, 0,80)$$

$$S_{24}=(0,40, 0,53, 0,60, 0,80)$$

$$S_{25}=(0,46, 0,66, 0,73, 0,80)$$

$$S_{26}=(0,44, 0,44, 0,44, 0,44)$$

6.8. OBTENÇÃO DOS ÍNDICES FUZZY DE ADEQUABILIDADE

A partir das equações (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15) e (16) serão obtidos os índices fuzzy de adequabilidade para alternativas A_1 e A_2 :

$F_1=(Y_i, Q_i, R_i, Z_i; H_{i1}, T_{i1}; H_{i2}, U_{i1})$, substituindo por valores numéricos:

$$F_1 = (0,202, 0,470, 0,495, 0,729; 2,347, 0,047; 6,662, 0,0190)$$

$F_2=(Y_i, Q_i, R_i, Z_i; H_{i1}, T_{i1}; H_{i2}, U_{i1})$, substituindo por valores numéricos:

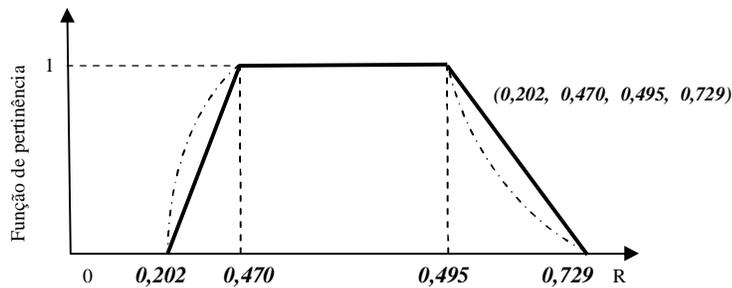
$$F_2 = (0,158, 0,373, 0,399, 0,621; 1,958, 0,043; 4,714, 0,026)$$

ou simplificando:

$$F_1 \cong (Y_i, Q_i, R_i, Z_i) = (0,202, 0,470, 0,495, 0,729)$$

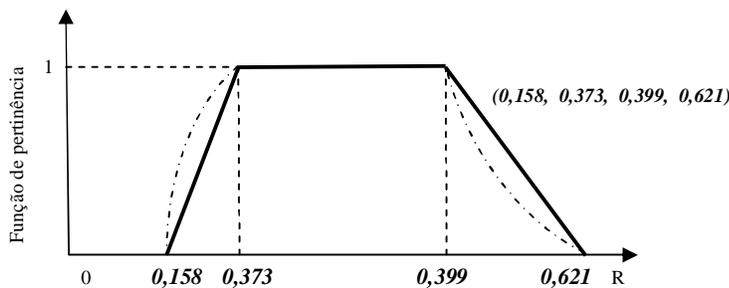
$$F_2 \cong (Y_i, Q_i, R_i, Z_i) = (0,158, 0,373, 0,399, 0,621)$$

As Figuras 16 e 17 representam os índices fuzzy de adequabilidade F_1 e F_2 , respectivamente:



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 15: Representação do índice fuzzy de adequabilidade F_1 .



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 16: Representação do índice fuzzy de adequabilidade F_2 .

6.9. OBTENÇÃO DO RANQUE FINAL

Pela equação (20), têm-se os seguintes valores para o ranque final:

<i>Alternativas</i>	A_1	A_2
<i>Valores do ranque</i>	0,531	0,419

A alternativa com o maior valor será a considerada a mais adequada. Portanto, a alternativa A_1 , **manutenção própria**, pode ser considerada a escolha mais acertada.

Os resultados obtidos com a aplicação do método Fuzzy MCDM indicam que a decisão em desenvolver uma estrutura própria de manutenção em 2005 tomada pela empresa estudada foi acertada. Considerando-se que os resultados obtidos pela empresa com a utilização do Centro de Manutenção foram considerados satisfatórios, conclui-se que o método se mostra adequado para auxiliar os tomadores de decisão na escolha entre manutenção própria ou contratada.

7. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Algumas dificuldades encontradas no desenvolvimento do trabalho devem ser ressaltadas. Uma delas, talvez a maior, é a possibilidade das companhias aéreas agruparem de forma muito diferentes as tarefas em seus programas de manutenção. Uma vez que a comparação entre os custos (critérios objetivos) deve ser feita na mesma base (anual, neste caso), a chance do agrupamento das tarefas utilizado nesta pesquisa coincidir com o agrupamento das tarefas empregado pela empresa onde foi aplicado o método Fuzzy MCDM é bastante remota, o que poderia ter prejudicado o resultado. No entanto, esta pesquisa não tem como finalidade estimar o custo da manutenção, e sim investigar qual opção, entre manutenção própria ou contratada, é a mais adequada. Por esta ótica, e admitindo que tanto na manutenção própria como na manutenção contratada são utilizados os mesmos materiais consumáveis (aqueles que só são possíveis de ser usados uma vez. Exemplos: rebites, solventes, tinta, selantes, etc.), e que as peças de reposição foram consideradas como critério subjetivo, incluindo o capital investido e o gerenciamento do estoque, a abordagem utilizada nesta pesquisa pode ser considerada satisfatória.

Aliado às dificuldades citadas acima, algumas empresas consultadas para a obtenção de orçamentos ou estimativas de custos, tem como política a não divulgação destes dados. Esta dificuldade foi contornada com a consulta de várias empresas, incluindo empresas estrangeiras.

O número de orçamentos utilizados, no caso de manutenção contratada, e o número de especialistas também merecem algumas considerações. Nesta pesquisa foi usado o orçamento de apenas uma empresa e a contribuição de três especialistas. No caso do orçamento, é fortemente recomendado que ele seja obtido de mais de uma empresa de manutenção. As variações, próprias do mercado em cada localidade, podem ser significativas. Porém, no caso do número de especialistas, considerando o operador utilizado (“média”), a variação da quantidade de especialistas pode causar também uma variação no resultado. No entanto, não é esperada uma variação significativa, tendo em vista tratar-se de opiniões de especialistas, profissionais em atividade com larga experiência na área, e, por estas razões, as opiniões tendem a convergir. Porém, recomenda-se a utilização de um grupo maior de especialistas. Em Liang e Wang (1991)

foram utilizados quatro especialistas. Na pesquisa realizada não foram encontradas informações sobre o número ideal de especialistas.

O estudo dos critérios subjetivos, utilizados na decisão entre manutenção própria ou contratada, é um tópico que por si só merece uma pesquisa exclusiva. Foram identificados cinco critérios subjetivos, e estes critérios não foram testados de acordo com os axiomas da exaustividade, da coesão, e da não-redundância (Roy e Bouyssou, 1993). Outros critérios podem ser pesquisados e testados de acordo com tais axiomas, para que seja garantida a coerência mínima da família de critérios.

Finalmente, pode-se concluir que o grande ganho na utilização do método Fuzzy MCDM, proposto nesta pesquisa, é a possibilidade de se considerar critérios objetivos e critérios subjetivos para a tomada de decisão entre manutenção própria ou contratada. Critérios que, inevitavelmente, interferem no resultado final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC), *Instrução de Aviação Civil (IAC) 119-1001B - Homologação e Fiscalização de Empresas de Transporte Aéreo Público*, 2006, Portaria DAC Nº 351/STE, de 16 de março de 2006.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC), *Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) 119 - Certificação: Operadores Regulares e Não-regulares*, 2009, Resolução ANAC nº 117, de 20 de outubro de 2009.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC), *Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica (RBHA) 145 - Empresas de Manutenção de Aeronaves*, 1990, Portaria Nº 142/DGAC de 09 de abril de 1990.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC), *Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica (RBHA) 135 – Requisitos Operacionais: Operações Complementares e por Demanda*, 2003, Portaria Nº 484/DGAC de 20 de março de 2003.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC), *Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC) 121 – Requisitos Operacionais: Operações Domésticas, de Bandeira e Suplementares*, 2010, Resolução nº 146, de 17 de março de 2010.
- AIR TRANSPORT ASSOCIATION (ATA), *Annual Report 2002*.
- ANDERSON, E.; B. A. WEITZ, “Make-or-Buy Decisions: Vertical Integration and Marketing Productivity”. *Sloan Management Review (Spring 1986)*: 3-19.
- BELTON, V.; T. GEAR, “On a shortcoming of Saaty’s method of analytic hierarchies”, *Omega*, vol. 11, no. 3, pp. 228-230, 1983
- BOEING, *D6-26A001, Maintenance Planning Data (MPD)*, February, 2010.
- BOEING, *D6-38278, Maintenance Planning Data (MPD)*, September, 2009.
- BOEING, *D6-58325-6, 737 Airplane Characteristics for Airport Planning*, October, 2005.
- BOEING, *Maintenance Reliability and Cost Analysis Seminar (Manual)*, California-USA, September 14 to 18, 2009.
- BUCKLEY, J. J., 1984, “The Multiple Judge, Multiple Criteria Ranking Problem: a Fuzzy Set Approach”. *Fuzzy Sets and Systems*. 13, 25-27.
- CHEN, S. H., 1985, “Ranking Fuzzy Numbers with Maximizing Set and Minimizing Set”, *Fuzzy Sets and System*, 17, 113-129.

- CÓDIGO BRASILEIRO DE AERONÁUTICA (CBA), Lei Nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986.
- DUBOIS, D.; H. PRADE, “Operations of Fuzzy Numbers”, *Internat. J. Systems Science* 9 (1978) 613-626.
- EL MOUDANI, W.; F. MORA-CAMINO, “A Dynamic Approach for Aircraft Assignment and Maintenance Scheduling by Airlines”; *Journal of Air Transport Management*, 6 (2000) 233-237.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA) DOT/FAA/AR-02/122, *Practices and Perspectives in Outsourcing Aircraft Maintenance*, 2003.
- GOL - 2004 Annual Report.
- GOL - 2005 Annual Report.
- JAIN, R., “Decision-Making in the Presence of Fuzzy Variables”, *IEEE Trans. System Man and Cybernet*, 6 (1976) 698-703.
- KUHN, H.; A. TUCKER, “Nonlinear Programming”, *Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, ed. J. Neyman. Berkeley, CA: University of California Press, 1951, pp. 481-492.
- LAIOS, G. L.; S. J. MOSCHURIS, “A Decision Support System for Make or Buy in an Aircraft Maintenance Facility”, *Production and Inventory Management Journal*; Fourth Quarter 1997; 38, 4; ABI/INFORM Global pg. 22.
- LIANG, G.; M. J. WANG, “A Fuzzy Multi-Criteria Decision-Making Method for Facility Site Selection”, *Int. J. Prod. Res.* 1991, Vol. 29, nº 11, 2313-2330.
- MARION, J. C. *Contabilidade Básica*. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 1998.
- MOLLAGHASEMI, M.; J. PET-EDWARDS, “A Multiple Criteria Buy versus Lease Analysis for Government Contracts”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 42, Nº 3, august 1995.
- PANDIT. P. N., “Tenets of MRO Strategy for Airlines” (2007), *Infosys Technologies Limited*.
- ROY, B.; D. BOUYSSOU, “Aide Multicritère à la Décision: Methodes et Cas”. *Paris: Ed. Economica*.1993. 695 p.
- SAATY, T. J. *The analitic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980
- SCHONER, B.; W. C. WEDLEY, “Ambiguous criteria weights in AHP: Consequences and solutions”, *Decision Sci.*, vol. 20, pp. 462475, 1989.

SECRETARIA DA RECEITA FEDERAL, SRF nº 162/98, 1998, com as inclusões da SRF 130/99. *Instrução Normativa SRF Nº 162* de 31/12/1998.

SHIMIZU H., “How to get an Accurate Probability Distribution for the Status of Rotable Units” in *Proceeding of the 32nd AGIFORS Symposium* pp 209-219 (1992).

TANAKA, K., *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*, 1996. Springer.

“WEBSITE” DA ANAC, Disponível em: <http://anac.gov.br>. Acessos em: 26 de maio de 2010, em 31 de maio de 2010 e em 10 de junho de 2010.

“WEBSITE” DA INTERNATIONAL SOCIETY ON MULTIPLE CRITERIA DECISION MAKING. Disponível em: <http://www.mcdmsociety.org>. Acesso em: 14 de junho de 2010.

BIBLIOGRAFIA

ANDO, J. K.; H. G. COSTA, “Seleção de estratégias de manutenção em operadoras de táxi aéreo “offshore””: modelagem pelo *ELECTRE I*. XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção - Florianópolis, SC, Brasil, 03 a 05 de nov de 2004 ENEGEP 2004 ABEPRO 3030.

BUCKLEY, J. J., 1985, “Fuzzy Hierarchical Analysis”. *Fuzzy Sets and Systems*. 17, 233-247

CHAFERDINE, S.; C. A. N. COSENZA; M. COLIGNY; F. MORA-CAMINO, “A Fuzzy Approach of the Competition on the Air Transport Market”. *Scientific And Technical Aerospace Reports Of Nasa*, USA, v. 43, p. 1-8, 2005.

CHEN, Y.; K. CHANG, “Applying Fuzzy Multi-Criteria Decision Method to Evaluate Key Capabilities of Taiwan Motion Picture Companies”. *Joint Conference on Information Sciences (JCIS) 2006* (conf/jcis/2006).

COBB R., “Modeling Aircraft Repair Turtime”, *Journal of Air Transport Management* Vol 2, Nº 1, pp 25-32, 1995.

- COSENZA, C. A. N.; M. M. PORTO; G. J. P. SARAIVA, “Importância da Lógica Fuzzy para a Localização e Arquitetura Industrial”. In: *PROARQ. (Org.). A República no Brasil 1889-2003*. RIO DE JANEIRO: Papel Virtual Editora, 2003, v. 1, p. -.
- DAHLBERG, M. D.; J. H. MAY, 1980, “Linear Programming for Siting of Energy Facilities”. *Journal of Energy Engineering*, 5-14.
- KINNISON, H. A., *Aviation Maintenance Management*, 2004. McGraw-Hill.
- MORA-CAMINO, F.; A. L. PEREIRA; C. A. N. COSENZA, (1998), “Airlines Fleet Assignment and Maintenance Scheduling Problem; A Global Solution Approach”. In: *XII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET*, 1998, Fortaleza. Anais do XII ANPET. Fortaleza, 1998. v. 2. p. 150-156.
- SPOHRER, G. A.; T. R. KMAK, 1984, “Qualitative Analysis used in Evaluating Alternative Plant Location Scenarios”. *Industrial Engineering*, August, 52-56.
- TOLEDO, O. M.; C. A. N. COSENZA, “A evolução do modelo Coppetec-Cosenza de modelo de localização industrial para modelo de hierarquia fuzzy e sua aplicabilidade”. In: *XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2001, SALVADOR. *Anais do XXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 2001. v. 1. p. 30-35.
- TOMPKINS, J. A.; J. A. WHITE, 1984, “Facilities Planning” (*New York: John Wiley & Sons*).

APÊNDICE 1 - QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Considerando o objetivo de tomar a melhor decisão entre manutenção própria ou contratada em uma empresa de transporte aéreo, foram estabelecidos alguns critérios. Esses critérios foram divididos em dois grupos: objetivos e subjetivos, conforme tabela abaixo:

<i>Crítérios Objetivos</i>	<i>Crítérios Subjetivos</i>
<i>Custo das instalações (manutenção própria)</i>	<i>Despachabilidade</i>
	<i>Tamanho da frota</i>
	<i>Idade da frota</i>
<i>Custo do contrato de manutenção (manutenção contratada)</i>	<i>Uniformidade da frota</i>
	<i>Estoque de peças para reposição</i>

Os critérios estão assim definidos:

Custo: o custo, em termos monetários, das instalações (incluindo ferramentas, publicações de natureza técnica e mão de obra) ou do contrato de manutenção;

Despachabilidade: Traduz o cumprimento do horário do vôo;

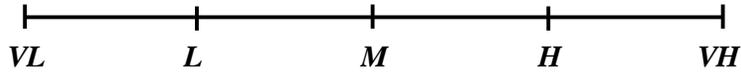
Tamanho de frota: número de aeronaves operadas pela empresa de transporte aéreo;

Idade da frota: para avaliar se a frota está envelhecida serão fornecidas aos especialistas as datas de fabricação de cada aeronave. A avaliação dos especialistas será a partir desses dados. Médias aritméticas não serão usadas, para não interferir nas avaliações dos especialistas e nos resultados; e

Uniformidade da frota: quantidade de diferentes modelos de aeronaves dentro da frota da empresa. Quanto menor a quantidade de diferentes modelos de aeronaves, maior será a uniformidade da frota.

Estoque de peças de reposição: é o estoque que a empresa deve manter para suprir as necessidades de reposição de peças durante os serviços de manutenção, seu tamanho será proporcional à quantidade de serviços de manutenção realizada pela própria empresa.

Será usado um conjunto de valores lingüísticos W , $W=\{VL, L, M, H, VH\}$ para avaliar a importância dos critérios, onde VL = Muito Baixa, L =Baixa, M =Média, H =Alta e VH =Muito Alta.



Nesta primeira etapa, os especialistas deverão então preencher o questionário abaixo, atribuindo um grau de importância para cada critério, levando-se em consideração o principal objetivo: decidir entre manutenção própria ou contratada. Os especialistas também deverão informar o tempo de experiência com a atividade de aviação civil.

Tempo de experiência na aviação civil: _____ anos

Área de atuação:

- Empresa de Transporte aéreo
- Empresa de Manutenção Aeronáutica
- Autoridade de Aviação Civil

Avaliação da importância dos critérios.

Marcar com um X o grau de importância de cada critério:

	VL	L	M	H	VH
Custo					
Despachabilidade					
Tamanho					
Idade					
Uniformidade					
Estoque					

APÊNDICE 2 - QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS

Considerando o objetivo de tomar a melhor decisão entre manutenção própria ou contratada em uma empresa de transporte aéreo, foram estabelecidos alguns critérios. Esses critérios foram divididos em dois grupos: objetivos e subjetivos, conforme tabela abaixo:

<i>Critérios Objetivos</i>	<i>Critérios Subjetivos</i>
<i>Custo das instalações (manutenção própria)</i>	<i>Despachabilidade</i> <i>Tamanho da frota</i> <i>Idade da frota</i>
<i>Custo do contrato de manutenção (manutenção contratada)</i>	<i>Uniformidade da frota</i> <i>Estoque de peças para reposição</i>

Na primeira etapa foi usado um conjunto de valores lingüísticos W , $W=\{VL, L, M, H, VH\}$ para avaliar a importância dos critérios, onde VL = Muito Baixa, L =Baixa, M =Média, H =Alta e VH =Muito Alta.

Os critérios foram assim definidos:

Custo: o custo, em termos monetários, das instalações (incluindo ferramentas, publicações técnicas e mão de obra) ou do contrato de manutenção;

Despachabilidade: Traduz o cumprimento do horário do vôo;

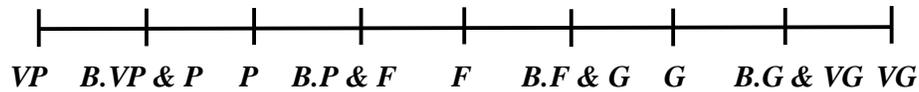
Tamanho de frota: número de aeronaves operadas pela empresa de transporte aéreo;

Idade da frota: para avaliar se a frota está envelhecida serão fornecidas aos especialistas as datas de fabricação de cada aeronave. A avaliação dos especialistas será a partir desses dados. Médias aritméticas não serão usadas, para não interferir nas avaliações dos especialistas e nos resultados; e

Uniformidade da frota: quantidade de diferentes modelos de aeronaves dentro da frota da empresa. Quanto menor a quantidade de diferentes modelos de aeronaves, maior será a uniformidade da frota.

Estoque de peças de reposição: é o estoque que a empresa deve manter para suprir as necessidades de reposição de peças durante os serviços de manutenção, seu tamanho será proporcional à quantidade de serviços de manutenção realizada pela própria empresa.

Nesta segunda etapa será usado um conjunto de valores lingüísticos $S=\{VP, B.VP \& P, P, B.P \& F, F, B.F \& G, G, B.G \& VG, VG\}$, onde VP= muito fraco, B.VP & P= entre muito fraco e fraco, P= fraco, B.P & F= entre fraco e regular, F= regular, B.F & G= entre regular e bom, G= bom, B.G & VG= entre bom e muito bom, e VG= muito bom, para avaliar as alternativas, manutenção própria ou contratada, de acordo com cada critério subjetivo.



A empresa de transporte de aéreo que será considerada nesta avaliação tem as seguintes características:

Empresa regular de transporte de passageiros e carga

Tamanho da frota: 42 aeronaves

Composição da frota:

13 aeronaves modelo 737-300

21 aeronaves 737-700

8 aeronaves modelo 737-800

Idade da Frota:

1 aeronave modelo 737-300 fabricada em 1986

3 aeronaves modelo 737-300 fabricadas em 1988

6 aeronaves modelo 737-300 fabricadas em 1989

3 aeronaves modelo 737-300 fabricadas em 1990

10 aeronaves modelo 737-700 fabricadas em 1998

3 aeronaves modelo 737-700 fabricadas em 1999

1 aeronave modelo 737-700 fabricada em 2000

4 aeronaves modelo 737-700 fabricadas em 2001

5 aeronaves modelo 737-800 fabricadas em 2001

3 aeronaves modelo 737-700 fabricadas em 2002

3 aeronaves modelo 737-800 fabricadas em 2002

Média de horas voadas:

Aeronaves modelo 737-300: 11 horas/dia

Aeronaves modelo 737-700/800: 12 horas/dia

Considerando as características da empresa acima, os especialistas deverão então preencher o questionário abaixo, avaliando as alternativas para cada critério, utilizando o conjunto $S=\{VP, B.VP \& P, P, B.P \& F, F, B.F \& G, G, B.G \& VG, VG\}$, levando-se em consideração o principal objetivo: decidir entre manutenção própria ou contratada.

Avaliação das alternativas:

Marcar com um X a avaliação de cada alternativa para cada critério:

1. Considerando as características da empresa acima e o critério de **despachabilidade**, qual a avaliação das alternativas: manutenção própria ou contratada, conforme abaixo:

Manutenção:	VP	B.VP&P	P	B.P&F	F	B.F&G	G	B.G&VG	VG
Própria									
Contratada									

2. Considerando as características da empresa acima e o critério de **tamanho da frota**, qual a avaliação das alternativas: manutenção própria ou contratada, conforme abaixo:

Manutenção:	VP	B.VP&P	P	B.P&F	F	B.F&G	G	B.G&VG	VG
Própria									
Contratada									

3. Considerando as características da empresa acima e o critério de **idade da frota**, qual a avaliação das alternativas: manutenção própria ou contratada, conforme abaixo:

Manutenção:	VP	B.VP&P	P	B.P&F	F	B.F&G	G	B.G&VG	VG
Própria									
Contratada									

4. Considerando as características da empresa acima e o critério de **uniformidade da frota**, qual a avaliação das alternativas: manutenção própria ou contratada, conforme abaixo:

Manutenção:	VP	B.VP&P	P	B.P&F	F	B.F&G	G	B.G&VG	VG
Própria									
Contratada									

5. Considerando as características da empresa acima e o critério de **estoque de peças para reposição**, qual a avaliação das alternativas: manutenção própria ou contratada, conforme abaixo:

Manutenção:	VP	B.VP&P	P	B.P&F	F	B.F&G	G	B.G&VG	VG
Própria									
Contratada									