

Seleção de Aeronave Militar de Transporte Aéreo Utilizando Critérios de Sustentabilidade Ambiental

Marcelo Araujo Palhares de Andrade/ Maurício Diaz Jurado / Mischel Carmen Neyra Belderrain
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Pça. Mal. Eduardo Gomes, nº 50 – São José dos campos – SP

Resumo — Nas últimas décadas vem crescendo a preocupação com as questões ambientais, inclusive no setor aéreo, o que se deve aos diversos problemas ambientais decorrentes da aviação, desde o nível da saúde humana até problemas de ordem global. Baseados nessa crescente preocupação, alguns países começaram a adotar medidas para minimizar esses problemas, incorporando o tema sustentabilidade ambiental até mesmo na área de defesa. O presente artigo apresenta uma revisão dos problemas ambientais causados pela aviação e traz um detalhamento das ações que vem sendo tomadas mundialmente no setor aéreo e de defesa em relação à problemática ambiental. Além disso, sugere a incorporação de critérios de sustentabilidade ambiental no processo de aquisição de aeronaves, através de um estudo de caso de seleção de aeronave militar de transporte tático utilizando Apoio Multicritério à Decisão com a metodologia *Analytic Hierarchy Process* (AHP) com abordagem BOCR (benefícios, oportunidades, custos e riscos), mostrando ser possível a inclusão de um critério ambiental no processo de seleção de aeronaves militares.

Palavras-Chave — Sustentabilidade Ambiental na aviação; *Analytic Hierarchy Process* (AHP); Critérios ambientais na seleção de aeronaves.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente o tráfego aéreo tanto no Brasil como no mundo é cada vez maior, e isso traz conseqüências de diversas ordens, inclusive ambientais. Mas quais são os problemas ambientais causados pela aviação? Quais seriam as características de uma aeronave que cause menor impacto ambiental? De que forma se poderia selecionar melhor uma aeronave durante um processo de aquisição levando em consideração sua relação com o meio ambiente?

Diante destes questionamentos, pretende-se com o presente artigo apontar os problemas ambientais causados pela aviação, mostrar as vantagens de uma aeronave com melhor desempenho ambiental, e propor a inclusão de critérios ambientais no processo de seleção durante aquisição de novas aeronaves que possam minimizar alguns dos problemas ambientais relacionados a operação das aeronaves.

Para demonstrar como podem ser utilizados critérios de sustentabilidade na seleção de aeronaves, será realizado um estudo de caso com a escolha de uma aeronave de transporte aéreo militar através da utilização de uma metodologia de Apoio a Decisão Multicritério AHP com abordagem BOCR.

Para que haja a compreensão dos termos utilizados neste artigo, é necessário o entendimento do conceito de “sustentabilidade”, que foi construído no Relatório de Brundtland, em 1987, e amplamente divulgado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992, também conhecida como “Rio 92”. De acordo com este conceito, para que ocorra desenvolvimento de forma sustentável deve-se considerar as dimensões ambiental, econômica e social, ou seja, deve haver um desenvolvimento das três esferas citadas. A “sustentabilidade” consiste em ações e atividades que visam atender as necessidades dos seres humanos, sem que haja o comprometimento das gerações futuras [1]. Pode-se considerar uma atividade ou produto sustentável quando é ecologicamente correto (sustentabilidade ambiental), economicamente viável (sustentabilidade econômica) e socialmente justo (sustentabilidade social).

II. PROBLEMAS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA AVIAÇÃO

O crescimento econômico mundial é responsável pelo aumento na demanda pelo transporte aéreo, fazendo com que esse modal seja a cada ano mais utilizado [2]. Porém, esse processo de expansão do setor aéreo mundial é responsável por diversos problemas ambientais, tais como a emissão de gases efeito estufa (CO₂) e outros poluentes, emissão de ruídos e uso de materiais perigosos que após o descarte podem causar danos ao meio ambiente.

Os problemas citados são somente aqueles diretamente associados às aeronaves, pois se considerarmos toda infraestrutura aeroportuária, fornecedores de suprimentos e combustíveis, transporte de carga e pessoas por modais terrestres, entre outros, os impactos certamente são maiores.

Dentre os impactos ambientais causados pelas aeronaves há aqueles que afetam desde uma escala pequena, como a saúde humana, até escalas maiores, como comunidades, regiões até chegar aos problemas de ordem global, como a contribuição para o agravamento do efeito estufa e aquecimento global [3]. A Fig. 1 mostra alguns dos impactos ambientais causado pela aviação e as diferentes conseqüências nos diversos níveis.

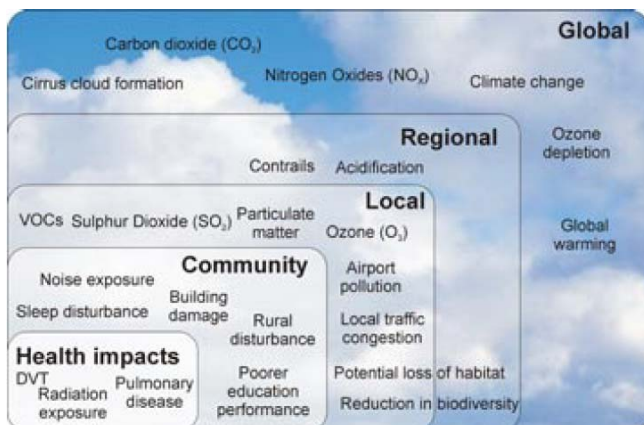


Fig. 1 – Problemas causados pela aviação nos diferentes níveis [3].

Emissão de ruídos

A emissão de ruídos pelas aeronaves é um dos principais impactos ambientais sofridos pelas comunidades que convivem no entorno dos aeroportos, além de ser um grande desafio enfrentado pelos operadores das aeronaves e aeroportos [3]. Embora modificações técnicas nas turbinas tenham trazido uma redução de cerca de um quarto na emissão de ruídos desde a década de 60, novas melhorias continuam a ser um grande desafio, pois tem como consequência um menor rendimento e maior consumo do motor [4].

Como forma de mitigar esse e outros problemas ambientais causados pela aviação, medidas como uso e ocupação eficiente do solo em aeroportos, melhoria dos procedimentos operacionais, otimização do tráfego aéreo, além da inovação tecnológica podem ser adotadas [5].

Emissão de CO₂

Dentre os gases que contribuem para o efeito estufa estão o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), além de outros que apesar de serem mais potentes são emitidos em quantidades relativamente pequenas, como os hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs) [3].

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) estabelecido pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), a aviação é responsável por cerca de 13% das emissões antropogênicas de CO₂ pelos meios de transporte e por cerca de 2% das emissões totais de CO₂ no mundo [6].

Outra consideração importante é que o impacto ambiental causado pelas emissões de CO₂ das aeronaves em altitudes elevadas é cerca de 3 vezes maior que aqueles lançados próximo a superfície [3].

Devido à grande quantidade de emissões de gás carbônico na atmosfera pela aviação e os seus efeitos sobre o meio ambiente, é necessário medidas que minimizem as emissões desse gás.

Emissão de poluentes

Durante o processo de combustão os motores liberam dióxido de carbono (CO₂), água (H₂O), óxidos de nitrogênio (NO_x), óxidos de enxofre (SO_x), pequenas quantidades de fuligem de carbono (C_{soot}), hidrocarbonetos (HC) e monóxido de carbono (CO) [7], conforme Fig. 2. Além dos poluentes diretamente produzidos pelos motores também ocorrem reações que produzem poluentes secundários, como o ozônio troposférico (O₃), que é prejudicial à saúde humana e também aos vegetais e outros animais. Na estratosfera os compostos emitidos reagem com o ozônio estratosférico (O₃), que é responsável por impedir que uma parte dos raios ultravioletas chegue à superfície terrestre. Tais reações causam a depleção do ozônio estratosférico, o que permite que raios ultravioletas cheguem à superfície e causem problemas de saúde, como o câncer de pele nos seres humanos [3].

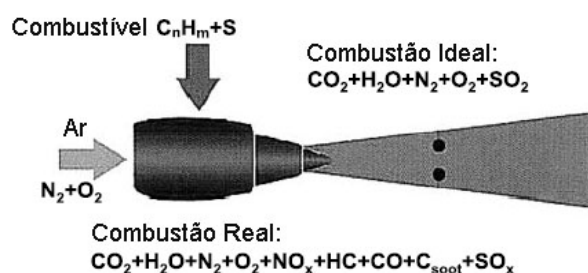


Fig. 2 – Emissão de poluentes por turbina aeronáutica. Adaptado de [3].

Uso de materiais perigosos

Os problemas decorrentes do uso de materiais perigosos em geral não estão relacionados à fase de operação, mas principalmente a outras fases do ciclo de vida das aeronaves, tal como o descarte, uma vez que muitas vezes um determinado composto químico utilizado na estrutura de uma aeronave pode não causar nenhum dano ao meio ambiente durante sua operação, mas após o descarte poderá representar um grande potencial de contaminação ao meio ambiente.

Para minimizar os impactos negativos ao meio ambiente durante todo o ciclo de vida da aeronave, o Departamento de Defesa dos EUA incluiu requisitos de sustentabilidade no contrato de aquisição da aeronave F-35, visando assim eliminar os materiais que são prejudiciais ao meio ambiente. Para se adequar as novas exigências, a Lockheed Martin, fabricante da aeronave F-35, introduziu novas tecnologias para substituição do cromo nas tintas e selantes e do cádmio em conectores elétricos [8].

Aeronaves que incorporem maior tecnologia podem contribuir diretamente na diminuição dos problemas ambientais relacionados diretamente a aviação.

III. MEDIDAS ADOTADAS MUNDIALMENTE PARA MINIMIZAR PROBLEMAS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA AVIAÇÃO

A preocupação do homem com o meio ambiente se intensificou principalmente após a década de 70, mas foi a partir de 2000, com o surgimento de diversos estudos sobre as mudanças climáticas e efeito estufa, que as questões ambientais passaram a permear o setor aeroespacial. A maioria das publicações tiveram início na Europa, tendo como exemplos alguns órgãos como o Stockholm Environment Institute (SEI) e a European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), uma organização civil-militar intergovernamental composta por 39 Estados-Membros da Comunidade Européia, que é responsável pelo gerenciamento de todo tráfego aéreo na Europa e busca operações de tráfego seguro, eficiente e ambientalmente corretas. Os documentos: “Aviation and Sustainability” [3] e “Defining sustainability in the aviation sector” [9] são exemplos de que a sustentabilidade ambiental já é assunto de interesse na aviação da Europa há alguns anos.

Em alguns países como Reino Unido a sustentabilidade está presente no Ministério da Defesa, que em 2008 lançou o “Sustainable Procurement Strategy”, um documento voltado para compras públicas sustentáveis nas Forças Armadas que estabelece diversas ações e prazos que deverão ser cumpridos pelas forças subordinadas ao órgão. Este documento aponta que a busca por equipamentos que causem menores danos ao meio ambiente trazem tanto benefícios ambientais, como econômicos e sociais [10].

No Departamento de Defesa Americano existe um setor responsável pela Gestão Ambiental relacionada à Defesa, com diversas ações voltadas as suas instalações militares e pesquisa para identificar problemas causados pela aviação [11]. Ainda nos Estados Unidos, em 2010 a NASA iniciou um programa com ações voltadas para identificar conceitos e tecnologias voltadas para aeronaves sustentáveis, o que demonstra uma preocupação daquele país com a sustentabilidade nesse setor [12].

A Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO), órgão responsável por estabelecer normas e práticas para o desenvolvimento da aviação civil internacional, em 2009 lançou um plano de ação para a mitigação de impactos ambientais causados pela aviação, além da criação de um grupo de estudos sobre emissões de CO₂ e eficiência dos combustíveis, com o objetivo de regulamentar futuras aeronaves [13]. Estas medidas demonstram a preocupação do órgão regulador da aviação internacional com o meio ambiente e a aviação, inclusive com a inclusão em seus objetivos estratégicos da proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável do transporte aéreo [5].

Conforme pôde ser verificado, uma grande preocupação com as questões ambientais vem ocorrendo em todo mundo, mas no Brasil pouco se tem feito. Em 2010 foi aprovada pelo Governo Federal uma Instrução Normativa (SLTI/MP nº01 de 09/Jan/2010) onde a Administração Pública Federal deveria considerar critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras. Esta

norma ficou conhecida como “licitação verde”, e representou um avanço das questões ambientais nas instituições públicas brasileiras [14].

Nos países desenvolvidos já existe uma grande preocupação no que se refere à aviação e as questões ambientais, o que demonstra que o Brasil irá agir de forma assertiva se trilhar este mesmo caminho. A inclusão de critérios de sustentabilidade ambiental no processo de seleção de aeronaves representa um avanço não somente nas questões ambientais, mas também nas sociais e econômicas.

IV. PROPOSTA DE SELEÇÃO DE AERONAVE DE CARGA PARA O TRANSPORTE AÉREO MILITAR

Estudo de caso

Através de consultas a referências bibliográficas que dispõem sobre o ciclo de vida de sistemas e materiais do Comando da Aeronáutica [15], que tratam do gerenciamento de projetos de aquisição de aeronaves [16], e que utilizam um Método de Apoio à Decisão para a seleção de aeronaves de caça para a Força Aérea Brasileira [17], verificou-se que atualmente no processo de seleção de aeronaves militares são utilizados os seguintes critérios:

- Sistemas embarcados;
- Armamentos;
- Desempenho;
- Compensação (offset);
- Logística;
- Custos; e
- Imprevistos.

O presente artigo tem como proposta incorporar um critério que avalie a dimensão ambiental no processo de seleção das aeronaves militares, tendo em vista os diversos problemas ambientais relacionados à atividade aérea. Esse critério proposto é composto pelos seguintes subcritérios:

- Emissão de ruídos;
- Emissão de CO₂ (contribuinte para o efeito estufa);
- Emissão de poluentes (NO_x); e
- Eficiência energética.

Aeronave de transporte aeroterrestre categoria média

Este estudo de caso abordará a escolha de uma aeronave militar para efetuar Transporte Aeroterrestre, também chamado de Transporte Aéreo Tático, e que consiste no transporte de material e pessoal dentro de um teatro de operações, para o cumprimento de missões de lançamento aéreo de carga e pessoal realizando infiltração, re-suprimento ou evacuação aérea. Para cumprimento dessas missões é necessário que a aeronave pouse e decole de pistas não preparadas em curtas distâncias, voe em baixa altitude para evitar detecção pelo inimigo e obtenha o sucesso nos lançamentos [18].

As aeronaves militares que permitem a execução de transporte aeroterrestre são divididas de acordo com sua capacidade de carga, sendo consideradas neste artigo as

aeronaves de transporte de categoria média, que possuem a capacidade de transporte de aproximadamente vinte toneladas.

Atualmente esse segmento é dominado mundialmente pela aeronave C-130 da Lockheed Martin (Fig. 3), que teve sua primeira versão em 1950 e hoje possui diversas versões, alcançando quase metade da frota mundial de aeronaves de transporte tático médio [8]. A Força Aérea Brasileira utiliza para transporte nessa categoria as aeronaves C-130E e C130H [18].



Fig. 3 – Aeronave C-130J da Lockheed Martin [8].

Com a proposta de substituição das aeronaves Boeing 707 e C-130 da FAB, em 2007 a Embraer anunciou o projeto de construção de uma aeronave de transporte tático, o KC-390 (Fig. 4), que a Embraer afirma que será capaz de cumprir todas as missões de transporte aeroterrestre, reabastecimento em vôo e transporte tático, sendo uma aeronave melhor do que as atualmente utilizadas pela FAB [19].



Fig. 4 – Aeronave KC-390 Embraer [4].

Além das aeronaves C-130J e KC-390, também há outra aeronave que atende o segmento de transporte aeroterrestre na mesma categoria, o Y-8, produzida pela indústria chinesa Shaanxi Aircraft Industry Group Co. Ltd..

A seguir, a Tabela I apresenta alguns dados com as características das aeronaves consideradas no estudo de caso:

TABELA I – CARACTERÍSTICAS DAS AERONAVES DE TRANSPORTE TÁTICO DE MÉDIO PORTE [4, 8].

	C-130 J	Y-8	KC-390
Fabricante	Lockheed Martin	Shaanxi	Embraer
País	EUA	China	Brasil
primeira versão da aeronave	1956	1981	2015 previsto
preço de aquisição	US 62 milhões	US 82 milhões	US 50 milhões
data-link	Sim	Não	Sim
autodefesa	Chaff &Flare Canhões e Mísseis	Chaff &Flare Canhões	Chaff &Flare Canhões
velocidade de cruzeiro (mach)	0 58	0 52	0 7
alcance máximo (NM)	2380	3030	2930
autonomia de vôo (NM)	2635	3088	2915
desempenho pouso	430m	600m	1200m
desempenho dep	900m	700m	1500m
capacidade carga	19 ton	20 ton	23 ton
emissão ruídos	baixa	baixa	alta
emissão de CO2	média	média	alta
emissão de poluentes	baixa	média	alta
eficiência energética (kg OAvton. 10 ³ /km)	130	155	125
sistema de propulsão	4 x Rolls-Royce AE 2100 D3 turboelices 4.637 shp (3.458 kW) cada	4 x Zhuzhou WJoulang-6 (WJ-6) turboelices 3170 kW (4250 hp) cada	2 x turbofan classe de 25 a 30 mil libras

Metodologia: Analytic Hierarchy Process (AHP)

O Analytic Hierarchy Process (AHP) é um Método de Apoio à Decisão (AMD) utilizado para auxiliar as pessoas e organizações a tomarem decisões, dada a multiplicidade de critérios. O AHP como Método de Apoio à Decisão busca uma solução de compromisso onde prevalece o consenso entre as partes avaliadas, assim também aceita que a subjetividade esteja sempre presente nos processos de decisão [20].

O AHP foi desenvolvido por Thomas Saaty na década de 70 e tem como objetivo a seleção de alternativas em processos de escolha que considerem múltiplos critérios. O método tem como princípio a representação do problema em uma estrutura hierárquica, identificando o objetivo principal, os critérios e as alternativas disponíveis. O motivo desta hierarquização é auxiliar a compreensão e análise do problema [20].

Após a estruturação do problema se faz o julgamento paritário, que consiste em uma comparação par a par dos critérios à luz do objetivo, e das alternativas à luz dos critérios, visando obter a priorização das alternativas disponíveis em relação ao objetivo principal [21].

Como a maioria dos métodos de apoio à decisão, o AHP requer avaliações numéricas. Dessa forma, critérios qualitativos serão também transformados em escalas numéricas [22].

1) Abordagem BOCR (Benefício, Oportunidade, Custos e Riscos) no método AHP: A abordagem BOCR permite que os critérios sejam classificados de acordo com os méritos Benefícios, Oportunidades, Custos e Riscos. Com isso a necessidade de considerar a relação entre os custos e benefícios durante um processo de escolha ou até mesmo de analisar os méritos de maneira separada para cada uma das alternativas, faz com que esta abordagem do método AHP seja a mais adequada no contexto da seleção de uma aeronave.

Nesta abordagem cada subcritério será classificado conforme o seu mérito, e para cada mérito é montada uma estrutura AHP, conforme a Fig. 5. A vantagem em relação ao

AHP tradicional é a possibilidade de visualizar o comportamento de cada uma das alternativas para cada um dos méritos, além da possibilidade de priorizar um mérito em relação ao outro durante a escolha.

No BOCR os benefícios e custos medem as contribuições ou importâncias positivas ou negativas que existem, enquanto os riscos e oportunidades medem as contribuições positivas ou negativas que podem vir a ocorrer [23].

Para obter a prioridade final das alternativas será utilizada a fórmula subtrativa (B.b+O.o-C.c-R.r), que se faz mais adequada para os governos que devem considerar uma análise a longo prazo [22]. Os valores de B, O, C, R são obtidos pelo resultados das alternativas dentro de cada mérito, enquanto que os valores de b, o, c, r são o resultado do julgamento da importância de cada mérito para a escolha da alternativa [24].

Para implementar no presente trabalho o Método AHP com abordagem BOCR foi utilizado o software Super Decisions.

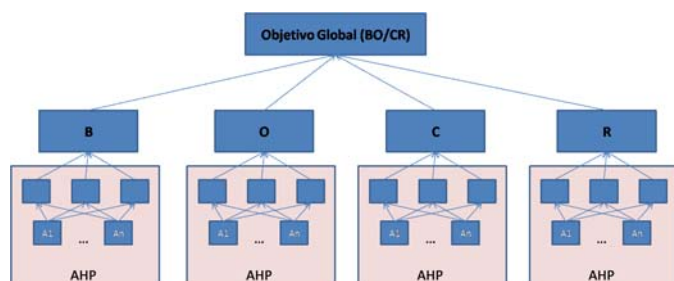


Fig. 5 – Exemplo de montagem da estrutura AHP com abordagem BOCR [17].

Estruturação do problema

O caso de estudo proposto é a seleção de uma aeronave com capacidade de carga de aproximadamente 20 toneladas, onde foi utilizada a abordagem BOCR do AHP.

Foram realizadas as seguintes etapas:

- Construção da hierarquia;
- Julgamentos; e
- Obtenção dos resultados.

1) *Construção da hierarquia:* Consiste na primeira fase, onde foi identificado o objetivo principal, e na sequência determinados os critérios e subcritérios que envolvem a seleção de uma aeronave de transporte tático militar. A Fig. 6 mostra a estrutura hierárquica completa.

Em uma segunda etapa, visando utilizar uma abordagem BOCR, identificou-se para cada um dos méritos quais seriam os critérios e subcritérios a eles relacionados, e com isso montada uma estrutura hierárquica independente para cada mérito, com objetivo principal e alternativas comuns a todos.

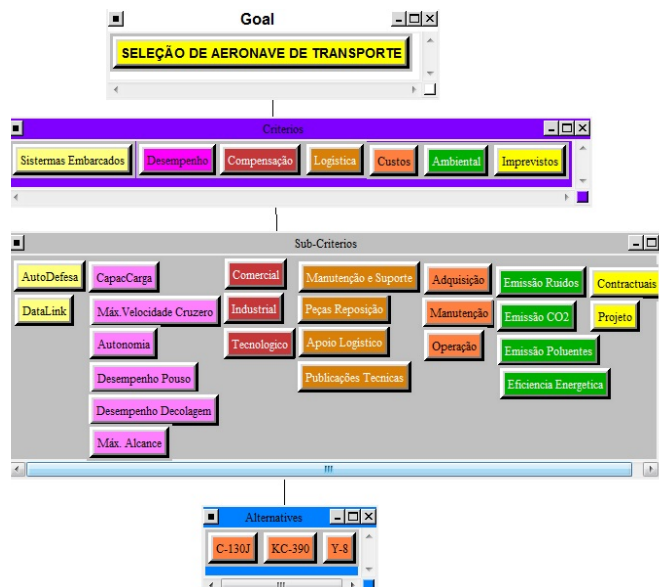


Fig. 6 – Estrutura hierárquica para seleção de aeronave de transporte.

2) *Julgamentos:* Nesta etapa foram realizadas as comparações par a par entre os méritos, entre os critérios e entre os subcritérios, como a metodologia AHP supõe, utilizando o software Super Decisions como mostrado na Fig. 7.

Em relação ao objetivo principal, foram realizadas comparações entre os méritos benefícios, oportunidades, custos e riscos, para determinar o peso de cada mérito. Quanto a cada mérito, as comparações foram feitas entre os critérios de cada mérito, para determinar o peso de cada critério. E analogamente, a cada critério correspondeu à comparação dos subcritérios e também se fez comparações entre as alternativas à luz de um dos subcritérios.

Fig. 7 – Julgamento entre subcritérios pelo software Super Decisions.

Com relação à determinação da razão de consistência (RC) da matriz de decisão, é realizada diretamente no software Super Decisions, onde o valor da consistência é mostrado após cada julgamento. No presente trabalho todas as comparações foram consistentes.

3) *Obtenção dos resultados:* O resultado do julgamento dos méritos em relação ao objetivo resultou nos valores

apresentados na Fig. 8, onde pode ser verificado que no processo de seleção da aeronave serão priorizados os Benefícios seguidos de Oportunidades e Custos, sendo pouco considerados na escolha as Oportunidades e Riscos.

Os valores obtidos com os julgamentos BOCR correspondem aos valores b, o, c, r, que serão utilizados para determinar as prioridades das alternativas.

1. Benefits		0.51915
2. Opportunities		0.12054
3. Costs		0.29772
4. Risks		0.06259

Fig. 8 – Resultado do julgamento entre BOCR.

A prioridade dos critérios e subcritérios à luz do objetivo podem ser vistos na Tabela II.

TABELA II– PRIORIDADE DOS MÉRITOS, CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS.

MÉRITOS	CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS	NORMALIZADO POR CLUSTER	
BENEFÍCIOS 0,5191	SISTEMAS EMBARCADOS 0,0695	Autodefesa	0,0556	
		Data-link	0,0139	
	DESEMPENHO 0,5821		Máximo alcance	0,0579
			Máxima velocidade de cruzeiro	0,1077
			Capacidade de carga	0,1077
			Desempenho na decolagem	0,1329
			Desempenho no pouso	0,1351
	AMBIENTAL 0,3484		Máxima autonomia	0,0435
			Emissão de ruídos	0,1361
			Emissão de CO ₂	0,0788
Emissão de poluentes			0,0894	
		Eficiência energética	0,044	
OPORTUNIDADES 0,1205	COMPENSAÇÃO 1,0000	Comercial	0,1692	
		Industrial	0,3875	
		Tecnológica	0,4433	
CUSTOS 0,2977	CUSTO 0,6667	Aquisição	0,1733	
		Manutenção	0,2183	
		Operação	0,2751	
	LOGÍSTICA 0,3333		Manutenção e suporte	0,1139
			Peças de reposição	0,1214
			Apoio Logístico	0,0681
		Publicações técnicas	0,0299	
RISCOS 0,0625	IMPREVISTOS 1,0000	Problemas contratuais	0,5000	
		Problemas de projeto	0,5000	

Por fim, foram obtidos os resultados sintetizados das alternativas de acordo com cada um dos méritos (Fig. 9), e o resultado global das alternativas à luz do objetivo, onde foi considerado o peso dos méritos, mostrado na Tabela III e Fig. 10.

MÉRITOS	RESULTADOS SINTETIZADOS				
	Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
BENEFÍCIOS	C-130J		1.000000	0.417662	0.139221
	KC-390		0.707698	0.295578	0.098526
	Y-8		0.686584	0.286760	0.095587
OPORTUNIDADES	C-130J		0.445846	0.246267	0.082089
	KC-390		1.000000	0.552359	0.184120
	Y-8		0.364571	0.201374	0.067125
CUSTOS	C-130J		0.804878	0.310098	0.103366
	KC-390		0.790680	0.304628	0.101543
	Y-8		1.000000	0.385274	0.128425
RISCOS	C-130J		0.286570	0.126153	0.042051
	KC-390		1.000000	0.440216	0.146739
	Y-8		0.985041	0.433631	0.144544

Fig. 9 – Resultados sintetizados das alternativas em cada mérito BOCR.

TABELA III – RESULTADO FINAL DA ANÁLISE AHP COM ABORDAGEM BOCR.

ALTERNATIVAS	BENEFÍCIOS 0,519	OPORTUNIDADES 0,12	CUSTOS 0,297	RISCOS 0,062	RESULTADOS IDEALIZADOS	
					BO/CR	B.b+O.o -C.c-R.r
C-130J	0,4177	0,2463	0,3101	0,1262	1,0000	1,0000
KC-390	0,2956	0,5524	0,3046	0,4402	0,4632	0,6023
Y-8	0,2868	0,2014	0,3853	0,4336	0,1315	0,1300

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
C-130J		1.000000	0.577220	0.315328
KC-390		0.602384	0.347708	0.189948
Y-8		0.130057	0.075071	0.041011

Fig. 10 – Resultados sintetizados geral das alternativas.

Análise dos resultados

De acordo com a Tabela II, é possível verificar que o subcritério emissões de ruídos possui o maior peso dentro do mérito Benefícios. Apesar do critério ambiental possuir um peso relativo inferior ao critério desempenho, o peso do desempenho é dividido entre um maior número de subcritérios, fazendo com que a emissão de ruídos contribua com um maior peso para o mérito Benefícios.

Quanto ao mérito Custos, o qual foi atribuído o segundo maior peso dentro dos méritos, a maior contribuição para o resultado do ranking deste mérito foi atribuída ao subcritério custo de operação.

Tendo em vista que a seleção da aeronave tem como prioridade os benefícios, a aeronave escolhida foi o C-130J, pois para prioridade do mérito benefício superior a 0,13 frente aos outros méritos a melhor alternativa é o C-130J. A única situação em que a escolha da alternativa poderia ser diferente, seria no caso de priorizar as oportunidades no processo de escolha, pois caso seu peso fosse superior a 0,30 frente aos outros méritos, a aeronave selecionada seria o KC-390, conforme Fig. 11.

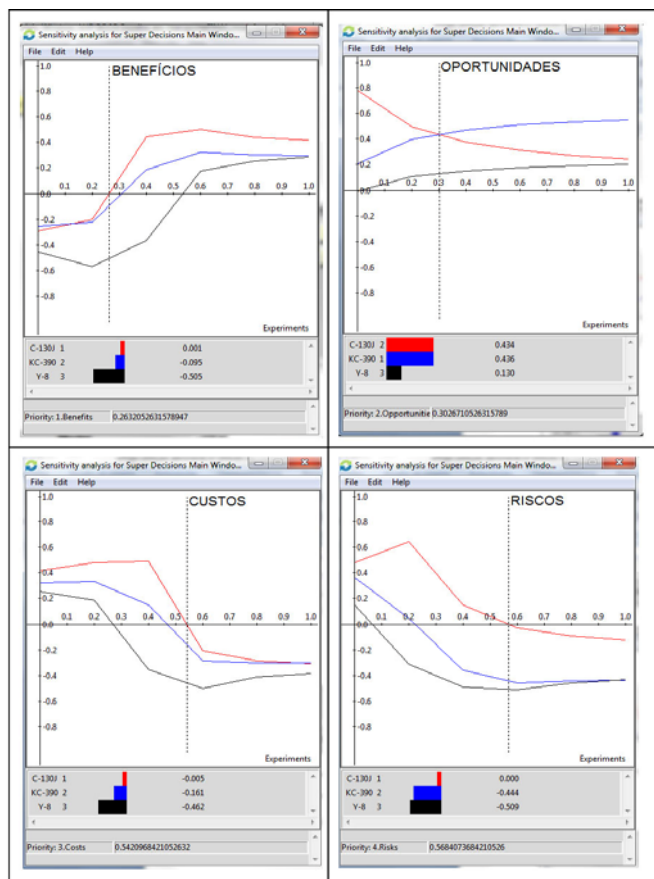


Fig. 11 – Prioridade dos subcritérios dentro dos méritos BOCR.

A introdução de um critério de sustentabilidade ambiental no modelo AHP criado para a seleção de uma aeronave de transporte aéreo militar, contribuiu para avaliar as alternativas e distingui-las quanto aos benefícios proporcionados por cada uma delas.

No estudo de caso o C-130J foi classificado como a melhor alternativa nos critérios desempenho e ambiental, fazendo com que a escolha fosse cada vez mais favorável para o C-130J a medida que a prioridade fosse o mérito Benefício.

As características de uma aeronave que cause menor impacto ambiental, segundo julgamento realizado no estudo de caso, seriam emissão de um menor nível de ruídos e de uma menor quantidade de poluentes e gases contribuintes para o efeito estufa, e como subcritério importante, mas com peso menor, uma boa eficiência energética.

Quanto ao resultado obtido no julgamento do subcritério emissão de ruído, a aeronave C-130J é equipada com a linha de motores turboélice da Rolls Royce, desenvolvidos para emitirem um menor nível de ruídos, diferentemente dos Y-8 que apesar de utilizarem quatro motores turboélice, são os mesmos motores desde a primeira versão da aeronave em 1981. Quanto ao KC-390, é equipado com dois motores turbofan da classe de 25 a 30 mil libras. Hoje aeronaves equipadas com motores semelhantes são o Boeing 737-800, C-40 Clipper e P-8 Poseidon, que apesar de emitirem níveis de ruídos aceitáveis de acordo com as normas internacionais, ainda são superiores aos turboélices.

A emissão de CO_2 está relacionada diretamente ao consumo de combustível, colocando o C-130J como aeronave que menos emite e o KC-390 na posição de maior emissor.

Em relação à emissão de poluentes, como referência para emissões de poluentes pode-se utilizar o NO_x , que representa bem os impactos da aviação na qualidade do ar local e global [25]. Existe uma grande variação entre as emissões de NO_x , em geral as aeronaves com motores de maior potência e longo alcance apresentam uma maior emissão deste poluente em relação a outros tipos de aeronaves. Estas aeronaves têm uma melhor eficiência energética [25]. Desta forma a aeronave C-130J apresenta uma menor emissão de NO_x , sendo que a maior emissão é representada pelo KC-390.

Para o cálculo da eficiência energética foi comparada a quantidade de combustível consumida para transportar uma mesma quantidade de carga a uma determinada distância. O KC-390 apresenta uma maior eficiência energética, seguido pelo C-130J, e o último lugar foi ocupado pelo Y-8.

V. CONCLUSÕES

O trabalho realizado permitiu confirmar que existe uma preocupação por parte das organizações internacionais em adotar medidas para minimizar os impactos ambientais, que apesar de serem relativamente pequenos na atualidade, podem se elevar a níveis críticos devido a tendência de aumento no tráfego aéreo mundial. O Brasil deve tomar como exemplo esses países, haja vista que vislumbra ocupar a posição de país desenvolvido no futuro.

Os principais problemas ambientais identificados que estão relacionados à operação das aeronaves foi a emissão de ruídos, a emissão de CO_2 e outros poluentes, a eficiência energética e o uso de materiais perigosos. Atualmente, para avaliação da sustentabilidade ambiental de uma aeronave pode-se utilizar como critérios todos os problemas identificados, com exceção do uso de materiais perigosos, pois a substituição desses materiais por outros que não agridam o meio ambiente é uma inovação que provavelmente num futuro próximo possa ser agregado aos demais critérios.

Dentre os problemas ambientais causados pela aviação, a emissão de ruídos é causadora de impactos imediatos, e por esse motivo é considerada o problema mais crítico. Hoje o barulho das aeronaves é um dos maiores desafios da engenharia, pois a solução para mitigação deste problema envolve o acréscimo de massa à aeronave, elevando o consumo de combustíveis e diminuindo a eficiência da aeronave.

Quanto aos resultados obtidos com o uso da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão com a avaliação das alternativas à luz dos subcritérios ambientais, ficou evidente que existe um *trade off* entre a emissão de CO_2 e outros poluentes e a eficiência energética das aeronaves.

Por fim, conforme proposto, o modelo mostrou que é possível a inclusão de um critério ambiental no processo de seleção de aeronaves militares, podendo ser agregado aos outros critérios já utilizados, e assim, minimizar alguns dos problemas ambientais gerados pela aviação.

REFERÊNCIAS

- [1] J. E. Veiga, “Desenvolvimento sustentável: desafio do século XXI”, Rio de Janeiro, Garamond, 2005.
- [2] R. A. G. Eller, P. P. Porto, L. M. S. Urbina, “Medida da Percepção do Ruído Aeronáutico na Área de Entorno do Aeroporto Internacional de São Paulo”, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2001.
- [3] J. Whitelegg, H. Cambridge, “Aviation and Sustainability”, SEI, Stockholm Environment Institute, Sweden, 2004.
- [4] A. Bastos, D. Baum, D. Dias, “Ruídos e Emissões no Transporte Aéreo”, Revista de Literatura dos Transportes, 2007.
- [5] ICAO – International Civil Aviation Organization, “Develops Action Plan to Tackle International Aviation Emissions”, Group on International Aviation and Climate Change (GIACC), 2009.
- [6] IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, “Aviation and the Global Atmosphere, q Special Report of IPCC 10”, ed. Penner, JE, Lister, DH, Griggs, DJ, Dokken, DJ, and McFarland, M, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1999.
- [7] D. Wuebbles, “Evaluating the Impacts of Aviation on Climate Change”, EOS, American Geophysical Union, 2007.
- [8] Lockheed Martin, Disponível em: <<http://www.lockheedmartin.com>>. Acesso em: 07 jun. 2011.
- [9] F. B. Knudsen, “Defining sustainability in the aviation sector”, Eurocontrol Experimental Center, EEC/SEE, 2004.
- [10] United of Kingdom, Ministry of Defense (MoD), “Sustainable Procurement in Defence”, London, 2009.
- [11] United States, Department of Defense (DoD), “Strategic Sustainability performance Plan”, 2010.
- [12] I. Kroo, “Aircraft Concepts and Technologies for Sustainable Aircraft”, Stanford University, USA, 2010.
- [13] ICAO – International Civil Aviation Organization, “ICAO scoping analysis on a potential CO₂ standard for new aircraft”, Group on International Aviation and Climate Change (GIACC), 2009.
- [14] Brasil, “Instrução Normativa Nº 01, de 19 de Janeiro de 2010”, Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. . Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 05 jun. 2011.
- [15] COMAER – Comando da Aeronáutica “DCA 400-6 Ciclo de vida de sistemas e materiais da aeronáutica”, Brasil, 2007.
- [16] M. B. B. Hora, F. J. L. Colnago, M. B. Bonotto, “Gerenciamento de Projetos de Aquisição de Aeronaves”, Revista UNIFA, Rio de Janeiro, 2005.
- [17] L. P. Nascimento, A. C. S. Silva, M. C. Belderrain, “AI Purchase of a new air superiority fighter using the analytic network hierarchy process”, International Journal Analytic Hierarchy Process, Vol.2, Issue 1, 2010.
- [18] COMAER - Comando da Aeronáutica, “Site Oficial”, Disponível em: <<http://www.fab.gov.br>> Acesso em: 05 jun. 2011.
- [19] Embraer, “Segurança e Defesa”, Disponível em: <<http://www.embraerdefensesystems.com>>. Acesso em: 07 jun. 2011.
- [20] L. F .A. M. Gomes, C. F. S. Gomes, A. T Almeida, “Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério”, São Paulo: Atlas, 2002. 157p
- [21] T. L. Saaty, “Fundamentals of the analytic hierarchy process”, Pittsburg: RWS, 2006.
- [22] C. Garuti, M. Escudey, “Toma de Decisiones en Escenarios Complejos”, Editorial Universidad de Santiago, 2004.
- [23] M. C. V. Salgado, “Agregação individual em decisão em grupo. Estudo de caso: Avaliação da realização do voo tecnológico do veículo lançador de satélites VLS-1”, Dissertação de Mestrado, Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Área de Produção, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2008.
- [24] T. L. Saaty, “Fundamental of the Analytic Network Process – Multiple Networks with Benefits, Costs, Opportunities and Risks”, Journal of Systems Science and Systems Engineering, Vol.13, n.3, p.348-379, September, 2004.
- [25] A. W. Ian, P. L. Stephen, J. L. Joosung, “Military aviation and the environment: historical trends and comparison to civil aviation.”, AIAA/ICAS International Air and Space Symposium and Exposition: The Next 100 Years, 2003.