

Mapeamento parcial da meteorologia nas operações de lançamentos de foguetes utilizando um Método de Estruturação de Problemas

Amaury Caruzzo, Mischel Carmen Neyra Belderrain, Gilberto Fisch

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) – Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – São José dos Campos/SP – 12228-900 – BRASIL

Resumo — Para o sucesso das operações de lançamento de veículos aeroespaciais (foguetes de sondagens e lançadores de satélites), as condições meteorológicas são fundamentais. Portanto, é importante identificar a aplicação da meteorologia e de todos os impactos das condições ambientais sobre o veículo aeroespacial. Neste sentido, este artigo tem como objetivo fazer considerações iniciais do mapeamento da Meteorologia Aeroespacial no Brasil, utilizando um método de estruturação de problema, o *Strategic Options Development and Analysis* (SODA). Foram entrevistados diversos atores do Programa Espacial Brasileiro e divididos em três diferentes grupos (meteorologistas, usuários e decisores). Os resultados indicaram uma mudança de paradigma nos últimos anos, com uma maior relevância da informação meteorológica nas operações. Em relação às opções estratégicas identificadas pelo SODA, temos: melhorar a infraestrutura dos centros de lançamento; fazer uma previsão de tempo específica; e desenvolver pesquisas dos riscos meteorológicos e de análise de decisão para as operações de lançamento.[†]

Palavras-chaves — meteorologia aeroespacial; SODA; lançamento de veículos espaciais.

I. INTRODUÇÃO

A meteorologia e as condições ambientais são fundamentais para as operações de lançamentos de veículos aeroespaciais, como foguetes de sondagens e lançadores de satélites [18, 26]. Entretanto, a tomada de decisão em lançar (*go*) ou não lançar (*no go*) pode ser extremamente complexa, dependendo das condições ambientais e da incerteza da informação meteorológica. Portanto, para uma boa análise do processo de tomada de decisão nas missões, é necessário: a) que todos os procedimentos operacionais sejam mapeados, b) que os fatores ambientais limitantes sejam identificados, e c) que seja realizado um levantamento da situação atual da infraestrutura nos centros de lançamento, entre outros. Neste aspecto, para ampliar a segurança durante os lançamentos, é importante incorporar uma abordagem sistêmica da situação atual, considerando os riscos meteorológicos e os diversos processos na tomada de decisão durante as missões de lançamento de foguetes.

Com base na experiência em outros programas espaciais de diversos países, muito dos procedimentos operacionais para lançamento de foguetes já são rotineiros e contam com diversos artigos na literatura científica [6, 8, 15, 17, 19]. Entretanto no Brasil, trabalhos específicos na área de tomada de decisão no setor aeroespacial e de aeronáutica, em particular utilizando informação meteorológica, ainda estão

em fase de desenvolvimento [18]. Desta forma, este artigo tem como objetivo fazer algumas considerações do mapeamento do uso e aplicação da Meteorologia Aeroespacial [26] no Programa Espacial Brasileiro. Para isso, foi aplicada uma metodologia soft da Pesquisa Operacional, o método SODA (*Strategic Options Development and Analysis*) [10], onde foram mapeados diferentes atores e os aspectos operacionais dos foguetes lançados no Brasil.

II. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

II.1. O Programa Espacial Brasileiro

O Programa Espacial Brasileiro (PEB) começou as atividades operacionais em 1965 com o lançamento do primeiro foguete de sondagem realizado no Brasil [3, 20, 21]. No final de 1970, o Governo Brasileiro estabeleceu a Missão Espacial Completa Brasileira, que definiu as diretrizes principais para o PEB: lançar um satélite nacional, com um foguete fabricado no Brasil e a partir de um centro de lançamento brasileiro [2, 4, 20]. Desde então, duas Instituições de Ciência e Tecnologia têm sido fundamentais para a pesquisa e desenvolvimento (P&D) no PEB, a saber, o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) na área de foguetes e veículos lançadores e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no setor de satélites.

Além destas duas instituições, atualmente o Brasil mantém dois centros de lançamento de veículos aeroespaciais: o Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), localizado em Natal/RN e o Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) na cidade de Alcântara/MA. Importante destacar que o IAE, o CLBI e o CLA são instituições subordinadas ao Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), sendo esta uma Organização Militar da Força Aérea Brasileira. Na Figura 1, pode ser observado o modelo institucional vigente com as principais organizações operacionais que atuam no Programa Espacial Brasileiro. É importante destacar que a política espacial no Brasil é estabelecida pela Agência Espacial Brasileira.

[†] Correspondência primeiro autor: acaruzzo@ita.br, Tel +55 (12) 3033-1787, segundo autor: carmen@ita.br, terceiro autor: gilbertofischgff@iae.cta.br

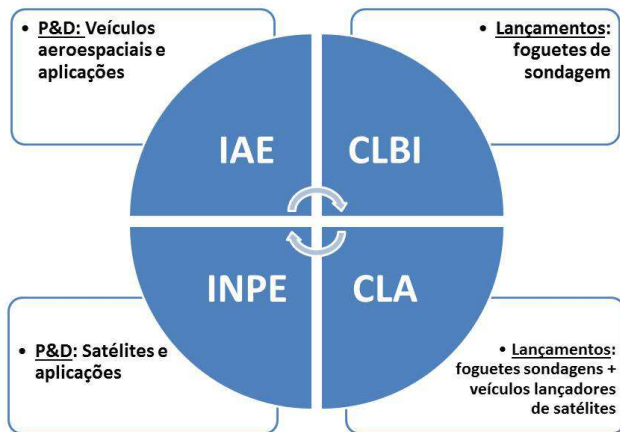


Figura 1. Organizações operacionais e de P&D do PEB (fonte: elaboração dos autores).

Nas Figuras 2 e 3, são apresentadas imagens do Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI) e Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), onde atualmente são lançados os veículos aeroespaciais no Brasil.



Figura 2. Imagem aérea do CLBI, em Natal/RN (fonte: website do CLBI).



Figura 3. Imagem aérea do CLA, em Alcântara/MA, com o Veículo Lançador de Satélite brasileiro ao lado da Torre Móvel de Integração (fonte: Operação Salinas no CLA).

Nos mais de 50 anos do Programa Espacial Brasileiro, de acordo com Brasil [2, 3] foram investidos algumas centenas de milhões de dólares por parte do Governo Federal, seja na criação das instituições de P&D do setor, no desenvolvimento de foguetes e satélites, na formação de recursos humanos, ou

na construção das infraestruturas instaladas nos dois centros de lançamento em operação.

Por outro lado, nos últimos anos o Governo Brasileiro, alinhado a uma nova tendência no mercado aeroespacial internacional; isto é, com maior participação do setor privado [7]; criou duas empresas com o objetivo de trazer uma nova dinâmica para o setor no Brasil. A primeira é a *Alcântara Cyclone Space (ACS)*, sendo uma empresa binacional (Brasil e Ucrânia) para operar o veículo lançador de satélite Cyclone-4. A segunda empresa é a *VISIONA S.A.*, uma *joint venture* criada a partir da associação entre a Embraer e a Telebrás para desenvolver o Satélite Geoestacionário de Defesa e Comunicação [2, 3].

Ainda, é conveniente mencionar que através da empresa ACS, existe a possibilidade de realizar operações com um veículo de lançamento de satélites de propulsão líquida em solo brasileiro. O foguete Cyclone-4 tem a capacidade de colocar em órbita geoestacionária satélites de até 1.600 kg [2, 7], inserindo o Brasil no mercado privado de lançamentos de satélites.

II.2. Meteorologia e lançamento de veículos aeroespaciais

As condições e as informações meteorológicas são fundamentais em todas as fases de operação para o lançamento de veículos aeroespaciais (foguetes de sondagem e/ou lançadores de satélites), entre as quais se destacam:

- fase de planejamento da missão com condições climatológicas
- fase de montagem/integração do veículo com acompanhamento das condições meteorológicas que podem prejudicar a estrutura do veículo;
- fase de acompanhamento do foguete na atmosfera (rastreamento e trajetória), através da previsão e observação dos ventos na atmosfera e da cobertura de nuvens;
- outras atividades de pós-lançamento, através da avaliação dos impactos das condições meteorológicas na dispersão de gases dos foguetes, resgate da carga útil, entre outras atividades.

Portanto, oferecer informações meteorológicas precisas para o apoio à tomada de decisão é um processo complexo e requer uma análise das condições ambientais de forma integrada, racional e objetiva. Neste ponto, vale destacar que para o completo sucesso no lançamento de foguetes, diversos aspectos são fundamentais, sendo que as condições atmosféricas são relevantes na definição do momento exato da janela de lançamento. Além disso, como já destacado anteriormente, outras etapas da missão de lançamento também necessitam de informações meteorológicas. Assim, todas as atividades relacionadas às ciências ambientais e atmosféricas com impactos nas operações de lançamento de veículos são classificadas como Meteorologia Aeroespacial [18, 26].

III. METODOLOGIA

Para realizar o diagnóstico ou mapeamento do uso da Meteorologia Aeroespacial no Brasil, foram realizadas 16 entrevistas estruturadas e individuais com diferentes atores do PEB. Estes atores foram divididos em três grupos distintos,

com o objetivo de identificar as diferentes percepções relacionadas à situação problemática, sendo:

- ✓ meteorologistas e pesquisadores em ciências atmosféricas (5 entrevistas)
- ✓ usuários diretos de informação meteorológica (5 entrevistas)
- ✓ decisores da alta administração, como diretores, chefe-geral de operações, entre outros (6 entrevistas)

Para analisar as entrevistas foi aplicado o *Strategic Options Development and Analysis* (método SODA) [10, 12] que é um Método de Estruturação de Problemas (PSM – *Problem Structuring Methods*) [22, 23]. O método SODA utiliza técnicas de mapeamento cognitivo [24], sendo hoje um dos métodos de PSM com boas aplicações em Pesquisa Operacional. Ainda conforme [1, 9], o método SODA pode ser utilizado para analisar situações complexas ou de decisão em grupo, com o envolvimento de múltiplos objetivos, múltiplas perspectivas, vários critérios e consequências.

Uma das finalidades do SODA é construir um mapa que incorpora os objetivos para cada um dos interessados envolvidos no processo de decisão em uma organização. Neste sentido, segundo [13], através de uma análise sistêmica do mapa SODA, é possível realizar uma integração entre os diferentes atores. Isto é, através de uma reflexão coletiva do problema, neste caso específico, o uso da meteorologia nas operações de lançamentos de veículos aeroespaciais.

O método SODA utiliza como base a teoria psicológica de George Kelly, os chamados construtos pessoais, ou seja, a construção de conceitos através dos mapas bipolares [10, 12]. Em outras palavras, nas entrevistas são identificados os conceitos (pontos de vista) e a respectiva relação oposta através da concepção bipolar. Desta forma, é possível extrair dos entrevistados as diferentes relações dos construtos, mesmo que possuam pontos de vista idênticos. Um exemplo desta abordagem é apresentada na Tabela 1

TABELA 1 - EXEMPLO DE CONCEITOS DOS ENTREVISTADOS, COM A RESPECTIVA RELAÇÃO OPOSTA ATRAVÉS DA CONCEPÇÃO BIPOLAR. (fonte: elaboração dos autores).

Entrevistado	Conceito	Concepção bipolar
Decisor A	a informação meteorológica não é útil...	os dados estão corretos
Decisor B	a informação meteorológica não é útil...	o formato é adequado

Neste exemplo, para os dois decisores (A e B) a informação meteorológica não é útil. Ao questionar esta afirmação para ambos os entrevistados, é possível identificar o ponto de vista individual. Em outras palavras, identificar qual é a percepção do conceito pelo decisor e o que deveria acontecer para a correta aplicação da informação meteorológica (concepção bipolar). No caso do decisor A, para a informação meteorológica ser útil é necessário que os dados estejam corretos. Já para o decisor B é necessário que a informação meteorológica esteja em um formato adequado. Deste modo, através da abordagem SODA é possível analisar as diferentes percepções dos decisores, para o mesmo conceito.

Ainda de acordo com [12] o mapa SODA recorre a uma metodologia de mapeamento de conceito, ao contrário do mapeamento de conceitos simplificados entre causa e efeito, como utilizado nos mapas cognitivos. No método SODA é também admissível desenvolver mapas individuais ou

agregados. Neste ponto, é importante mencionar que no presente artigo, serão apresentados somente os mapas agregados por perfil dos entrevistados, sem uma análise individual.

Outro ponto relevante é que as estruturas do mapa SODA podem ser classificadas de acordo com certos padrões ou características. Portanto, podem ser analisadas as principais configurações no mapa, como as caudas, cabeças e opções estratégicas (que são os construtos com ligações imediatas nas cabeças do mapa). Informações mais detalhadas sobre o método SODA podem ser obtidas em: [10, 12].

IV. RESULTADOS

Nas entrevistas, foi mapeada a situação atual do uso da Meteorologia Aeroespacial nas operações de lançamento de veículos aeroespaciais, sempre na percepção individual dos entrevistados. Durante a entrevista com os diferentes atores, também foram estimulados de forma individual para que fossem indicados quais os pontos que poderiam ser melhorados.

Para uma análise mais efetiva, os conceitos das entrevistas foram classificados por assuntos temáticos (cores nos mapas), sendo divididos em:

- cinza: relacionada à alta administração, como apoio político e/ou recursos humanos e orçamentários do PEB
- amarelo: infraestrutura nos Centros de Lançamentos
- azul: pessoal técnico e equipe
- laranja: métodos e processos (procedimentos operacionais)
- branco: visão estratégica e/ou operacional nas atividades do PEB.

A Figura 4 apresenta o mapa agregado e simplificado, apenas com os conceitos relacionado ao conceito cabeça, para o grupo 'meteorologistas'. Já o mapa agregado completo pode ser observado na Figura 5.

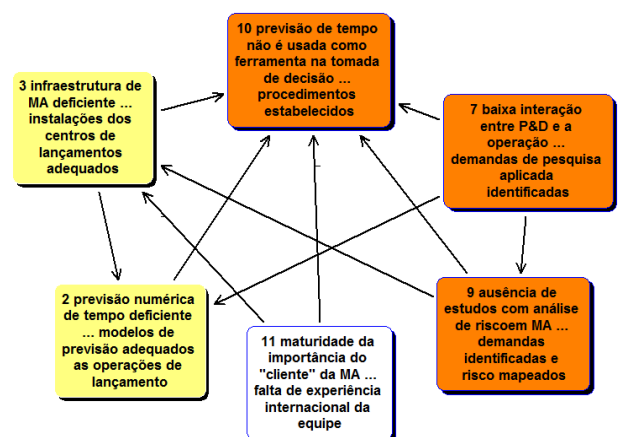


Figura 4. Mapa SODA simplificado, com os conceitos que afetam o conceito cabeça '10', para o grupo 'meteorologistas' (MA = Meteorologia Aeroespacial e P&D = Pesquisa e Desenvolvimento).

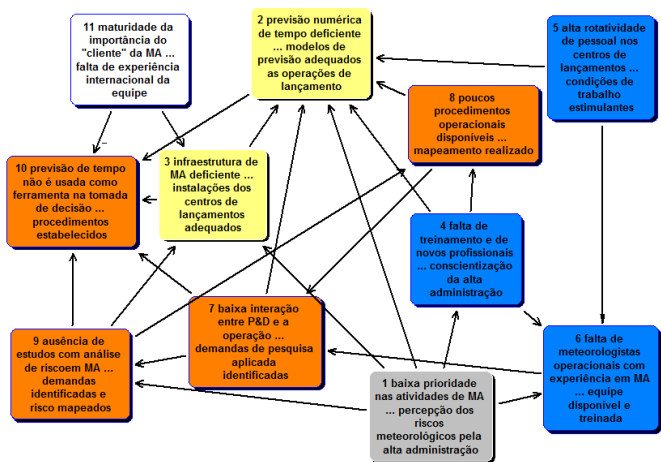


Figura 5. Mapa SODA completo para o grupo 'meteorologistas' (MA = Meteorologia Aeroespacial e P&D = Pesquisa e Desenvolvimento).

Na Figura 6 é apresentado o mapa agregado e completo para o grupo 'usuários diretos' da informação meteorológica. Neste grupo, não houve a necessidade de fazer um mapa relacionado ao conceito cabeça (simplificado), pois os entrevistados indicaram um número reduzido de conceitos.

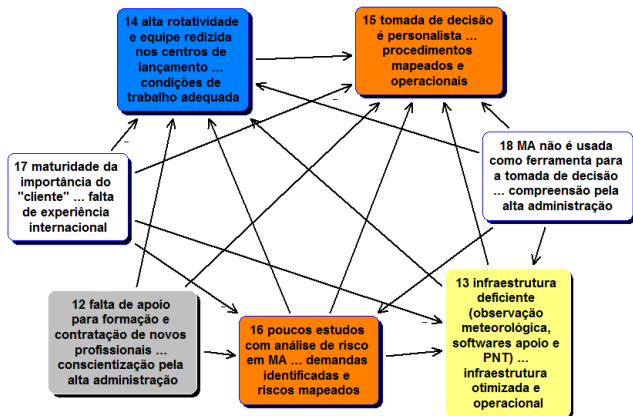


Figura 6. Mapa SODA que afetam o conceito cabeça '15' para o grupo 'usuários diretos' (MA = Meteorologia Aeroespacial e PNT = Previsão Numérica de Tempo).

Para o grupo de entrevistados 'tomadores de decisão', o mapa SODA agregado e simplificado pode ser observado na Figura 7. O mapa completo é apresentado na Figura 8.



Figura 7. Mapa SODA com os conceitos que afetam o conceito cabeça '23' para o grupo 'tomadores de decisão' (MA = Meteorologia Aeroespacial).

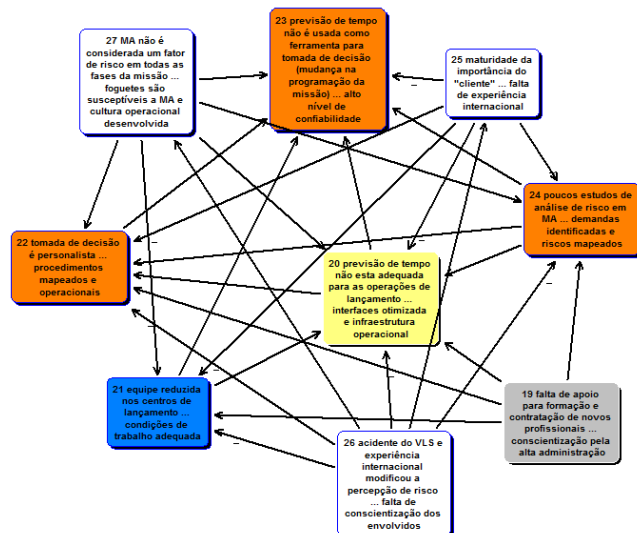


Figura 8. Mapa SODA para o grupo 'tomadores de decisão' (MA = Meteorologia Aeroespacial e VLS = Veículo Lançador de Satélite).

V. DISCUSSÃO

Como avaliação dos resultados, a metodologia SODA permitiu identificar diversos aspectos relevantes entre os três grupos de entrevistados. O primeiro diagnóstico importante, é que a Meteorologia Aeroespacial não é totalmente utilizada como uma ferramenta eficaz para a tomada de decisão durante os lançamentos de veículos aeroespaciais (conceitos 10 e 23). Em outras palavras, a previsão de tempo não altera o cronograma de missão, ou como é apresentada no termo técnico, a equipe é mantida guarnecida, mesmo com a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis. De acordo com o grupo de entrevistados, as condições meteorológicas são monitoradas em tempo real, mas não existe um processo ou mesmo, um procedimento específico para auxiliar a tomada de decisão utilizando a previsão meteorológica recebida previamente.

Por outro lado, na visão dos entrevistados, a aplicação da Meteorologia Aeroespacial se tornou mais relevante para todos os atores depois do acidente com o Veículo Lançador de Satélites – VLS (conceito 26), em agosto de 2003, que matou 21 técnicos e engenheiros brasileiros [5, 14]. Além disso, também foi mencionado que depois de 2004, começaram a ocorrer lançamentos internacionais com o foguete brasileiro de sondagem VSB-30 [11]. Esta interação e experiência internacional, também foram importantes para que alguns técnicos brasileiros identificassem as potenciais falhas e promovessem melhorias nos procedimentos utilizados até então. Desta forma, estes dois eventos estimularam uma mudança de paradigma entre os atores brasileiros. Basicamente, devido ao aumento da percepção de risco da atividade aeroespacial e da ampliação da importância da relação com o usuário ou "cliente", isto é, o proprietário da carga útil dos foguetes.

Também foi constatado que o CLA é atualmente o único centro de lançamento no Brasil com a capacidade de lançar todos os tipos de veículos aeroespaciais brasileiros em operação. No entanto, o fato deste centro de lançamento ser geograficamente afastado e ainda possuir uma infraestrutura deficiente no entorno, implica em uma série de problemas operacionais (conceitos 5 e 21). Um dos pontos destacados

foi que devido à falta de pessoal técnico no centro e da alta rotatividade de servidores, em algumas operações de lançamento é necessário o deslocamento de equipes técnicas externas, vindos do IAE e/ou do CLBI.

Não obstante, outra característica relevante identificada nas entrevistas é a percepção de risco [25] do grupo 'tomadores de decisão'. Para esse grupo, as condições meteorológicas e a previsão de tempo são importantes, mas não é considerado um fator de alto risco (conceito 27). Como exemplo desta situação, durante as missões de lançamento, a equipe de meteorologia está subordinada ao grupo de segurança de voo e não responde diretamente ao Chefe de Operações. Vale ressaltar também que até o momento, ainda não foi realizado um diagnóstico qualitativo e/ou quantitativo de todos os riscos meteorológicos associados em todas as fases de uma missão de lançamento.

Um ponto em comum entre os três grupos de entrevistados, é a baixa interação da Pesquisa e Desenvolvimento com a operação nos centros de lançamentos brasileiros (conceitos 7, 16 e 24). Os resultados desta baixa interação são os poucos estudos sobre a análise de risco e das condições ambientais limitantes, utilizando os conceitos de Meteorologia Aeroespacial. Outros exemplos de potenciais interações mencionadas são: trabalhos específicos para a dispersão dos gases efluentes dos foguetes, impactos meteorológicos em casos de acidentes nas operações de lançamento ou mesmo, o prognóstico no cálculo da trajetória dos veículos em função da previsão de tempo.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo, fazer um mapeamento do uso da Meteorologia Aeroespacial no Brasil. Através da aplicação de um método de estruturação de problema, o SODA, foi possível identificar diversas características relevantes na percepção de três diferentes grupos de atores. Com base nas análises dos mapas SODA, podemos destacar que embora o PEB tenha mais de 50 anos, dois eventos recentes modificaram a visão entre os diferentes atores no Brasil:

- Acidente envolvendo o VLS-1 em 2003 (conceito 26);
- As operações de lançamento de foguetes de sondagem brasileiro com carga útil internacional (a partir de 2004), com a percepção da importância do cliente (conceitos 11, 17 e 25);

Outro ponto também mencionado por alguns entrevistados, mas não sendo um consenso (portanto não estão nos mapas) é a possibilidade do Brasil em lançar satélites comerciais através da empresa *Alcântara Cyclone Space*, com a operação do veículo lançador de satélite Cyclone-4.

Desta forma, baseado na opinião dos entrevistados é justamente esta mudança de perspectiva (um novo paradigma), que fez com que os diferentes atores começassem a pensar em problemas relacionados à meteorologia, que não eram considerados antes. Um exemplo disso, é que em 2007 foi adquirido um radar meteorológico (banda-X) e um perfilador de vento (*wind profiler*) para o Centro de Lançamento de Alcântara. Importante mencionar que, para uma previsão de curto prazo (poucas horas) de

qualidade e com altos índices de acerto, ambos os equipamentos são essenciais para o meteorologista.

Já em relação à baixa percepção do risco meteorológico entre os 'tomadores de decisão' durante as operações de lançamento, isto pode estar mais associado com duas características específicas do Brasil: a) o número pequeno de operações de lançamento de veículos aeroespaciais (menos de 10 missões por ano); b) ser um país tropical, isto é, alguns decisores brasileiros não consideram a previsão de tempo como algo extremamente importante para o cotidiano, uma vez que não temos uma temporada de furacões ou invernos rigorosos.

Como consideração final, é importante diagnosticar as opções estratégicas para desenvolver as atividades de Meteorologia Aeroespacial no Brasil, extraídas a partir dos mapas SODA. Embora os resultados sejam limitados aos grupos de entrevistados, as estratégias identificadas foram:

- ✓ melhorar a infraestrutura nos Centros de Lançamentos para apoiar a meteorologia e manter os equipamentos operacionais;
- ✓ fazer uma previsão de tempo específica para cada tipo de missão e veículo aeroespacial, com o desenvolvimento da previsão numérica de tempo e procedimentos específicos;
- ✓ realizar pesquisas sobre análise de risco e de tomada de decisão em Meteorologia Aeroespacial com os parâmetros e características dos Centros de Lançamentos Brasileiros, que incluem dispersão de gases e cálculo da trajetória do foguete na atmosfera.

Para o andamento desta pesquisa e como pontos a serem incluídos em trabalhos futuros, podemos destacar:

- i. completar a validação dos mapas SODA individuais e agregados com os entrevistados faltantes;
- ii. identificar as melhores práticas internacional e possíveis melhorias para o desenvolvimento da Meteorologia Aeroespacial no Brasil;
- iii. aplicar um método de apoio multicritério à decisão, para a implantação das melhorias identificadas;
- iv. desenvolver estudos com análise de risco e com fatores ambientais limitantes nas operações de lançamento de veículos aeroespaciais brasileiros;
- v. parametrizar um Sistema de Suporte à Decisão (SSD), utilizando todos os conceitos relevantes a Meteorologia Aeroespacial

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq (processo nº 142212/2011-3) e da CAPES (processo nº 14552/2013-02) por meio da Bolsa de Doutorado ao primeiro autor e a todos os participantes e entrevistados do DCTA, IAE, CLBI, ACS e INPE pelos comentários e contribuições. No entanto, quaisquer opiniões, conclusões ou sugestões neste artigo são de responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente os pontos de vista das instituições do Programa Espacial Brasileiro.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Ackermann and C. Eden, "SODA - Journey Making and Mapping in Practice," in *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, 2nd ed., J. Rosenhead and J. Mingers, Eds. West Sussex: John Wiley & Sons, 2001, pp. 43–60.
- [2] Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. MCT-Brasil, "Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012 - 2015," Brasília, Brasil, 2012a.
- [3] Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. MCT-Brasil, "Programa Nacional de Atividades Espaciais 2012-2021," Brasília, 2012b.
- [4] Ministério da Defesa. MD-Brasil, "Estratégia Nacional de Defesa," MD, Brasília, Brasil, 2008.
- [5] Ministério da Defesa. MD-Brasil, "Relatório da Investigação do Acidente Ocorrido com o VLS-1 V03," São José dos Campos, Brasil, 2004.
- [6] J. L. Case, M. M. Wheeler, J. Manobianco, J. W. Weems, and W. P. Roeder, "A 7-Yr Climatological Study of Land Breezes over the Florida Spaceport," *J Appl Meteorol*, vol. 44, pp. 340–356, 2005.
- [7] T. Devezas, F. C. L. de Melo, M. L. Gregori, M. C. V. Salgado, J. R. Ribeiro, and C. B. C. Devezas, "The struggle for space: Past and future of the space race," *Technol Forecast Soc*, vol. 79, no. 5, pp. 963–985, Jun. 2012.
- [8] A. M. Devyatkin, V. M. Krasnov, Y. V. Kuleshov, A. B. Makov, and S. S. Suvorov, "The use of information on atmospheric conditions for determining the impact areas of space rocket modules," *Russ Meteorol Hydrol*, vol. 37, no. 2, pp. 98–105, Mar. 2012.
- [9] C. Eden, "Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems," *Eur J Oper Res*, vol. 159, no. 3, pp. 673–686, Dec. 2004.
- [10] C. Eden and F. Ackermann, "SODA - The Principles," in *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, 2nd ed., J. Rosenhead and J. Mingers, Eds. West Sussex: John Wiley & Sons, 2001, pp. 21–41.
- [11] A. Garcia, S. S. C. Yamanaka, A. N. Barbosa, F. C. P. Bizarria, W. Jung, and F. Scheuerpflug, "VSB-30 sounding rocket: history of flight performance," *J. Aerosp. Technol. Manag.*, vol. 3, no. 3, pp. 325–330, 2011.
- [12] I. Georgiou, "Cognitive Mapping and Strategic Options Development and Analysis (SODA)," in *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, J. J. Cochran, Ed. John Wiley & Sons, 2010, pp. 1–10.
- [13] I. Georgiou, "Mapping Railway Development Prospects in Brazil," *Transp. Rev*, vol. 29, no. 6, pp. 685–714, Nov. 2009.
- [14] C. W. Johnson and I. M. de Almeida, "An investigation into the loss of the Brazilian space programme's launch vehicle VLS-1 V03," *Saf. Sci*, vol. 46, no. 1, pp. 38–53, Jan. 2008.
- [15] B.-J. Kuk, H.-I. Kim, J.-S. Ha, and H.-K. Lee, "Intercomparison Study of Cloud-to-Ground Lightning Flashes Observed by KARITLDS and KLDN at South Korea," *J Appl Meteorol Clim*, vol. 50, no. 1, pp. 224–232, Jan. 2011.
- [16] A. G. Madeira-Junior, T. J. M. Gonçalves, and M. C. N. Belderrain, "Estruturação do problema de avaliação da qualidade dos terminais de contêineres por meio de mapas cognitivos," *Pesqui. Operacional para o Desenvolv.*, vol. 3, no. 3, pp. 230–241, 2011.
- [17] J. T. Madura, W. H. Bauman-III, F. J. Merceret, W. P. Roeder, F. C. Brody, and B. C. Hagemeyer, "The Applied Meteorology Unit: Nineteen years successfully transitioning research into operations for America's Space Program," in *27th Conference on Interactive Information Processing Systems*, 2011, pp. 1–9.
- [18] R. de F. C. Marques and G. Fisch, "As atividades de Meteorologia Aeroespacial no Centro Técnico Aeroespacial (CTA)," *Bol. da Soc. Bras. Meteorol.*, vol. 29, no. 3, pp. 23–27, 2005.
- [19] F. J. Merceret, D. A. Short, and J. G. Ward, "Radar Evaluation of Optical Cloud Constraints to Space Launch Operations," *J Spacecr. Rocket.*, vol. 43, no. 1, pp. 248–251, Jan. 2006.
- [20] A. F. B. de A. Prado, "Editorial - A short history of the academic activities at the Brazilian National Institute for Space Research," *J. Aerosp. Technol. Manag.*, vol. 3, no. 1, pp. 5–12, 2011.
- [21] J. R. Ribeiro, M. C. N. Belderrain, M. C. V. Salgado, and A. Caruzzo, "Aplicação do pensamento sistêmico na avaliação do projeto do Veículo Lançador de Satélites (VLS)," in *XVI Congresso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa*, 2012, pp. 719–730.
- [22] J. Rosenhead, "What's the problem? An introduction to Problem Structuring Methods," *Interfaces (Providence)*, vol. 26, no. 6, pp. 117–131, 1996.
- [23] J. Rosenhead and J. Mingers, *Rational Analysis for a Problematic World Revisited: Problem Structuring Methods for Complexity*, 2nd ed. West Sussex: John Wiley & Sons, 2001, p. 384.
- [24] P. R. Dos Santos, R. S. G. Curo, and M. C. N. Belderrain, "Aplicação do mapa cognitivo a um problema de decisão do setor aeroespacial de defesa do Brasil," *J. Aerosp. Technol. Manag.*, vol. 3, no. 2, pp. 215–226, 2011.
- [25] P. Slovic, "Perception of Risk," *Science (80-)*, vol. 236, no. 4799, pp. 280–285, 1987.
- [26] W. W. Vaughan and D. L. Johnson, "Aerospace Meteorology: Some lessons learned from the development and application of NASA terrestrial environment design criteria," *B Am Meteorol Soc*, vol. 92, no. 9, pp. 1149–1157, 2011.