CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DO ADS-B NO BRASIL UTILIZANDO FUZZY COGNITIVE MAPS

Evandro Siqueira Francisco
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP
Centro de Inovação em Engenharia de Sistemas Logísticos
Grupo de Análise de Segurança – GAS
evandro.francisco@usp.br

João Batista de Camargo Júnior
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais – PCS
Grupo de Análise de Segurança – GAS
joaocamargo@usp.br

Lúcio F. Vismari
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP
Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais – PCS
Grupo de Análise de Segurança – GAS
lucio.vismari@usp.br

ABSTRACT

The airline industry has been expanding both in volume an in scope. To continue this expansion, the industry needs to overcome the limits of the current air traffic management (ATM) technology, replacing it with a new paradigm in performance. The key component for the introduction of this new paradigm is the automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B). Accordingly, anticipate the factors and inhibitors propellants during this transition period are mandatory to achieve the required increase in ATM performance and meet future demands. Faced with this challenge, the purpose of this study is building prospective scenarios for the implementation of ADS-B in Brazil using the Fuzzy Cognitive Maps (FCM) tool, thus bringing a dynamic analysis of the impact of these factors. According to the results obtained, there is a perception that the deployment of ADS-B can provide benefits outweigh costs for different deployment scenarios. The economic aspects brought a marginal impact in attractiveness of new paradigm. The biggest sensitivity of stakeholders is on availability of applications of greater complexity, which provide efficiency gains in the use of airspace. For this to materialize, it is necessary that the aeronautic authority and regulators are able to provide adequate infrastructure for the stakeholders can take advantage of the gains by the new paradigm.

Keywords: ADS-B, Fuzzy Cognitive Maps, Cenários, Transição tecnológica, CNS/ATM.

1. INTRODUÇÃO

Mobilidade global, tanto para negócios, quanto para fins de lazer continua sendo um elemento central dentro das sociedades modernas (FRANKE; JOHN, 2011). Esse é um dos fatores que tem conduzido a uma demanda crescente pelo transporte aéreo e, por consequência, da utilização do espaço aéreo no mundo inteiro. O número de passageiros transportados praticamente dobrou de 1994 a 2010, com uma taxa média de crescimento anual de 4,3% (BERSTER et al., 2011). Segundo os autores, considerando os quilômetros percorridos pelos passageiros no mesmo período (RPK[1]) o aumento foi ainda mais expressivo, alcançando uma taxa de crescimento de 5% ao ano.

No Brasil, os transportes aéreos encontram condições especialmente favoráveis para seu desenvolvimento. As dimensões continentais e o modelo de ocupação territorial, em estrutura de arquipélago, criam no Brasil necessidade de grandes deslocamentos (THÉRY, 2003). Além disso, a precariedade de infraestrutura ferroviária, rodoviária e mesmo de transporte fluvial impulsionaram o setor aéreo ao longo do século XX. Ademais, ao longo dos últimos anos, fatores estruturais da economia, como ampliação de concessão de crédito (FEBRABAN, 2014), aumento e melhor distribuição da renda (SANTOS et al., 2014) tem ampliado o acesso da população à esses serviços e potencializado o seu crescimento.

Paralelamente, o setor aéreo brasileiro tem, ao longo das últimas décadas, se tornado mais dinâmico e competitivo. A evolução tarifária, iniciada em 1989 com a flexibilização das tarifas aéreas domésticas, a partir da criação dos regimes de bandas tarifárias no transporte aéreo até o regime de liberdade das tarifas instituída em 2001, associada à liberdade de oferta, criaram os pilares para a livre concorrência do setor. Esse cenário atraiu investimentos privados, estimulando o crescimento do mercado, ampliação da oferta, diversificação de serviços e, ainda, a redução de preços.

No período de 2002 a 2012, a tarifa aérea doméstica média, considerando valores reais, registrou uma queda de mais de 42% (ANAC, 2013). Segundo pesquisa da ANAC (2013), nesse mesmo período, a oferta representada pela quantidade de assentos-quilômetros ofertados, mais do que duplicou no período, com variação de 138%, a uma taxa média de crescimento de 10% ao ano. A demanda, por sua vez, representada pela quantidade de passageiros-quilômetros pagos transportados, com variação de 195%, praticamente triplicou no período de 2002 a 2011, a uma taxa de crescimento de 12,8% ao ano. Portanto observa-se que mais pessoas passaram a ter acesso aos serviços aéreos.

Dado essa expansão do setor, associado ao desenvolvimento econômico apresentado pelo Brasil ao longo das duas últimas décadas, o país precisará aumentar em 2,4 vezes a capacidade atual do transporte de passageiros, saindo de 130 milhões de passageiros por ano para 310 milhões de passageiros até 2030 (MCKYNSEY, 2010). A aprovação da medida provisória 652, que institui, a partir de 2015, o Programa de Desenvolvimento da Aviação Regional (PDAR) pode elevar ainda mais essa projeção. O objetivo do programa é conferir maior capilaridade de voos dentro do território nacional. Para a consecução desse objetivo estão previstos subsídios às companhias aéreas, isenção de tarifas aeroportuárias (de embarque, pouso, permanência ou navegação) para os voos regionais, reforma em 270 aeroportos localizados no interior do país e possibilidade de outorga para a construção de novos aeroportos em cidades com PIB superior a R$ 1 bilhão.

Entretanto esse crescimento tem trazido uma série de desafios. Segundo Hütting et al., (1994) o desenvolvimento inconsistente dos aeroportos e dos sistemas de controle de tráfego aéreo impõe uma crescente crise de capacidade do setor. No Brasil a infraestrutura aeroportuária não tem crescido no mesmo ritmo da demanda por esses serviços. Segundo relatório da consultoria Mckinsey (2010) dos 20 principais aeroportos do país, 13 já apresentam saturação na capacidade do terminal de passageiros. Com o Programa de Investimentos em Logística, lançado em 2012 pelo governo federal, há um avanço na concessão de aeródromos para a

[1] Revenue passenger kilometres

iniciativa privada, o que tem atraído investimentos e contribuído para a superação desse gargalo.

Porém, após transpor os limites impostos pela infraestrutura aeroportuária, o crescimento do tráfego aéreo estará limitado pela saturação da capacidade do gerenciamento do tráfego aéreo. Segundo Vismari (2007) há uma cadeia de restrições no conceito do atual sistema de tráfego aéreo, cujo padrão tecnológico empregado reflete diretamente a capacidade desse sistema. Em virtude do crescimento da demanda verificada ao longo dos últimos anos, a estrutura desses serviços encontra-se próxima do seu limite e o padrão tecnológico vigente atingiu o limiar da sua maturidade (SIEWERDT, 2008). Tal situação requer o desenvolvimento e implantação de um sistema de gerenciamento do tráfego aéreo baseado em novos conceitos de comunicação, navegação e vigilância, que permita o uso da tecnologia via satélite para superar as deficiências dos sistemas convencionais, baseado em radares terrestres e utilização de comunicação via rádio, e assim, atender às necessidades futuras da aviação civil. Esse conceito, desenvolvido pelo comitê denominado Sistemas de Navegação Aérea do Futuro (FANS[2]) ficou conhecido como CNS/ATM (*communications*, *navigation*, *surveillance/air traffic management*).

O conceito CNS/ATM envolve um complexo e inter-relacionado sistema de tecnologias fortemente dependente da comunicação via satélite (ICAO, 2002). Esse conceito emprega tecnologia digital aplicada à comunicação, vigilância, navegação e ao gerenciamento do tráfego aéreo. A adoção de comunicação de dados digitais e de navegação via satélite permite associar vários níveis de automação e acurácia nos sistema e no controle de tráfego aéreo (VISMARI, 2007) a fim de tornar a sua gestão segura e uniforme (GALOTTI, 1997). A introdução desse novo paradigma busca reduzir as atuais restrições do sistema de gerenciamento espaço aéreo e, por consequência, acomodar a crescente demanda do setor aéreo elevando (ou no mínimo mantendo) os atuais níveis de segurança.

Um dos componentes chaves do paradigma CNS/ATM é a Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão (ADS-B[3]) (MCCALLIE et al., 2011). O ADS-B é o facilitador do conceito operacional do conceito de ATM global trazendo benefícios de segurança e de capacidade ao sistema.

No entanto, para que o ADS-B possa substituir a atual tecnologia de gerenciamento de tráfego, baseada em radares terrestres, todas as aeronaves controladas devem ser equipadas com essa tecnologia (LESTER; HANSMAN, 2007). Alcançar esse estágio representa uma barreira a ser transposta, pois os benefícios proporcionados por essa tecnologia não são cumulativos até que todas as aeronaves a tenham disponível.

Essa reestruturação traz consigo problemas de incerteza, complexidade e situação sub-ótima. Diante desse desafio, a questão que permeia a execução desse trabalho é: Quais são os fatores inibidores e propulsores durante esse período de transição, capazes de proporcionar os aumentos necessários no desempenho do sistema de controle de tráfego aéreo e atender aos atuais e futuros crescimento da demanda pelo serviço de transporte aéreo?

Diante desse desafio, o objetivo nesse estudo é construir cenários prospectivos para a implantação do ADS-B no Brasil utilizando a ferramenta Fuzzy Cognitive Maps (FCM), trazendo assim uma análise dinâmica do impacto desses diferentes fatores envolvidos nessa transição tecnológica.

A escolha da área torna-se oportuna pela agenda de implantação do novo paradigma de gerenciamento do tráfego aéreo no país e pela quantidade de pesquisa formal aplicada à transição tecnológica no setor de transporte aéreo.

A avaliação dos resultados pode ajudar no desenvolvimento de políticas apropriadas e estratégias de implementação que facilitarão a transição para o conceito pleno do CNS/ATM. Com isso, espera-se a maximização dos benefícios e minimização dos custos e impactos para as partes envolvidas na mudança do paradigma de gerenciamento do tráfego aéreo.

[2] Future Air Navigation Systems

[3] Automatic dependent surveillance-broadcast

Este artigo está estruturado em três partes, além dessa introdução. A seguir será tratada a questão da transição de tecnológica e como a utilização de cenários em conjunto com a ferramenta de Fuzzy Cognitive Maps (FCM) pode contribuir para sua análise. Na terceira parte é apresentada a construção do FCM para a implantação do ADS-B no Brasil construído a partir da percepção de um especialista no tema. A seção seguinte traz uma análise desse mapa. Por fim são estabelecidos diferentes cenários, considerando três conjunturas diferentes (situação econômica, subsídios e políticas de incentivo e infraestrutura para a utilização das aplicações proporcionadas pelo ADS-B) e a sensibilidade do mapa inicial a essas variações.

2. CENÁRIOS DE PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

A introdução de novas tecnologias assume um papel fundamental nas mudanças e alterações do ambiente de negócio. Essas alterações compelem as empresas e organizações a constantes adaptações às novas realidades, novos conceitos e novos produtos.

No entanto, mesmo com as evidências das mudanças tecnológicas e seus impactos, as organizações e os indivíduos não aprenderam como antecipar e se planejar para essas mudanças (ROPER et al., 2011). Lidar com a análise e previsão de transições tecnológicas é uma tarefa complexa, sobretudo pelo grau de incerteza envolvida. Essa incerteza advém dessa atividade trabalhar com conceitos novos, que dispõem de poucos dados históricos e de difícil extrapolação (ROPER et al., 2011). No curto prazo, projeções de tendências costumam funcionar muito bem. Porém, no médio e longo prazo, as incertezas aumentam e apenas o estudo de tendências não tem se mostrado muito eficaz (FISCHER, 2007). Entretanto, segundo Roper et al. (2011), o fato da previsão ser difícil e nem sempre precisa não significa que ela não tenha valor. A construção de uma previsão tecnológica tem como objetivo auxiliar os tomadores de decisão a escolher os caminhos mais indicados ou, ao menos, evitar os mais prejudiciais.

Nesse sentido, o trabalho de previsão tecnológica não é determinístico, isto é, seu objetivo não é projetar um único futuro com precisão. Ao invés disso, um bom trabalho de previsão identifica possíveis cenários futuros, uns mais desejáveis que outros (ROPER et al., 2011). Isso ocorre, pois quanto mais se explora o futuro, maior é a incerteza envolvida, havendo a necessidade de identificar múltiplos possíveis futuros para capturar essa incerteza, embora o foco seja apenas predizer um único fenômeno (VLIET et al., 2010).

O desenvolvimento de cenários é uma ferramenta valiosa e amplamente considerada para lidar com problemas que possuem elevada complexidade, variáveis incontroláveis e alto grau de incerteza (VLIET et al., 2010). Dessa forma, sua utilização tem sido amplamente recomendada para melhorar a qualidade do processo decisório em um ambiente incerto (VARUM; MELO, 2010). O sucesso na utilização de cenários está no desafio às crenças sobre as tendências e os fatores críticos que impactam no futuro (JETTER; SCHWEINFORT, 2011).

O exercício de previsão tecnológica e construção de cenários podem ser de caráter qualitativo, quantitativo ou uma mistura de ambos (KOK, 2009; ROPER et al., 2011). Embora necessário, congregar as visões qualitativa e quantitativa (VLIET et al., 2010), devido à natureza de ambas as abordagens, ainda representa um desafio.

A construção de mapas cognitivos é uma abordagem muito utilizada para a construção de cenários capaz de capturar os diversos modelos mentais dos diferentes agentes e utilizada como ligação entre a abordagem qualitativa e quantitativa (JETTER; SCHWEINFORT, 2011). Porém o resultado dessa abordagem é de difícil análise devido aos efeitos indiretos, diferentes comentários e relações criadas. Para contornar essa dificuldade, Kosko (1986) sugere o uso da abordagem *Fuzzy Cognitive Maps* (FCM) como ferramenta para analisar mapas causais. Embora o método tenha sido usado em diversas áreas, os trabalhos que congregam essa abordagem dentro de uma análise de cenários ainda são escassos (JETTER; SCHWEINFORT, 2011).

3. CONSTRUÇÃO DO FUZZY COGNITIVE MAPS PARA A IMPLANTAÇÃO DO ADS-B NO BRASIL.

O desenvolvimento de FCM depende inteiramente do conhecimento e domínio do especialista sobre a questão estudada. A construção do mapa envolve três passos (KOSKO, 1986):

- Identificação dos conceitos importantes;
- Determinação da relação causal entre esses conceitos
- Estimativa do peso de cada um desses relacionamentos.

Para essa pesquisa, a construção do mapa causal (FCM) foi feita a partir de elementos extraídos da literatura (OWUSU; BUTCHER, 2004; LESTER; HANSMAN, 2007; JENKINS, 2009; PURTON et al., 2010) e as percepções de um especialista na área.

As percepções do especialista foram extraídas durante um encontro, onde o ponto de partida foi a seguinte questão: "O que impacta na atratividade e aumenta o valor percebido pelos agentes para a implantação do ADS-B no Brasil?". Alguns fatores, levantados na literatura foram apontados, inicialmente, como estímulo ao entrevistado. Durante a entrevista, o especialista foi incentivado a inserir, excluir, modificar a ordem dos conceitos de modo que o sistema pudesse refletir o seu modelo mental. Nenhum roteiro de entrevista foi previamente estabelecido de modo a deixar o entrevistado livre para expor o seu construto.

Nessa etapa foram identificados quais os fatores mais relevantes que impactam na atratividade da adoção do ADS-B no Brasil. Os fatores levantados são apresentados na tabela 1.

Após a identificação dos fatores que impactam a atratividade da implantação do ADS-B no Brasil, foram descritas a existência e o tipo de relação causal entre esses fatores. Para cada relação foi atribuído um peso a esse relacionamento. Para isso, foi implementada uma escala de -1 a 1 capaz, dessa forma, de descrever qualquer tipo de relacionamento existente entre dois conceitos, seja positivo ou negativo.

Tabela 1: Conceitos que impactam na implantação do ADS-B

Conceitos		
C_1: Atratividade de implantação do ADS-B	C_{10} Quantidade de voos atrasados	C_{19} Custo de implantação
C_2:Crescimento da economia	C_{11} Quantidade de aeronaves comportadas no espaço aéreo	C_{20} Espaçamento entre as aeronaves
C_3: Demanda por transporte aéreo	C_{12} Capacidade de detectar rota de conflito	C_{21} Descontos na utilização da infraestrutura aérea
C_4: Quantidade de voos	C_{13} Capacidade de resolver conflito de rotas	C_{22} Empréstimo subsidiado
C_5: Emissão de gases do efeito estufa	C_{14} Otimização utilização do espaço aéreo	C_{23} Suporte estatal a P&D
C_6: Níveis de segurança	C_{15} Infraestrutura provida pela aeronáutica	C_{25} Tempo da aeronave parada
C_7 Rotas flexíveis e otimizadas	C_{16} Custo de certificação do equipamento e procedimentos	C_{26} Taxas de utilização do espaço aéreo
C_8 Economia de combustível das aeronaves	C_{17} Escala de produção dos equipamentos	
C_9: Conhecimento das condições climáticas	C_{18} Custo de manutenção do equipamento	

A seleção do peso dos fatores para a construção semi-quantitativa dos relacionamentos é um dos pontos fracos dessa abordagem (KOK, 2009). Segundo o autor, o método mais comum, encontrado na literatura para superar essa dificuldade é a combinação de diversos FCMs, que congregaria o modelo mental de diversos especialistas, ou o desenvolvimento de um *workshop* com diversos especialistas, provenientes das diferentes áreas envolvidas no processo de transição tecnológica. Em ambos os casos a atribuição dos pesos é o produto do consenso da opinião de especialistas.

O mapa cognitivo foi codificado em uma matriz de adjacência $E=[e_{ij}]$. Essa matriz, com os resultados dos pesos atribuídos a cada relacionamento. As relações entre os conceitos foram preenchidas com seus respectivos pesos e, quando não havia relação entre os conceitos, foi atribuído o valor zero, de forma que a matriz estivesse totalmente preenchida.

Esse mapa cognitivo codificado na matriz foi utilizado para analisar o comportamento do

sistema e efetuar as simulações dos diferentes cenários. Os valores do conceito C_i no tempo *t* são representados pelo vetor de estado $A_i(t)$, enquanto que o estado de todo o FCM pode ser descrito pelo vetor de estado $A(t) = [A_1(t), A_2(t), A_3(t), \dots, A_n(t)]$ que representa um ponto dentro do espaço de solução que o sistema atinge em determinado instante. Já o sistema inteiro, com um vetor de entrada A(0), descreve o traçado de tempo dentro de um espaço multidimensional n, que pode convergir para um ponto de equilíbrio ou um ponto caótico.

Os valores A_i de cada conceito C_i no momento *t+1* são calculados pela soma dos valores prévios de A_i no momento anterior *t* pelo produto dos valores A_j do conceito C_j no momento precedente *t* e o valor do relacionamento entre os conceitos w_{ij}. A representação matemática do processo de inferência do FCM segue a seguinte forma matricial:

$$A^{(t)} = f(A^{(t-1)} + \sum A^{(t-1)} * w) \qquad (1)$$

Dessa forma, o valor de Ai para cada conceito C_j é obtido da seguinte maneira:

$$A_i{}^{(t+1)} = f\left(A_i{}^t + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{N} A_j^{(t)} * w_{ij}\right) \qquad (2)$$

Onde $A_i^{(t+1)}$ é o valor do conceito C_i na simulação *t+1*, $A_j^{(k)}$ é o valor do conceito C_j no momento *k*, w_{ij} é peso do relacionamento entre o conceito C_i e o conceito C_j e *f* é a função de ativação.

O tipo das variáveis presentes no mapa é importante, pois demonstram como elas agem em relação uma as outras. Ademais, Özesmi e Özesmi (2004) ressaltam que o número de diferentes variáveis presentes no mapa cognitivo facilita a compreensão de sua estrutura. Os três tipos de variáveis existentes são: variável transmissora, variável de destino e variável central (EDEN et al., 1992). A definição dessas variáveis é realizada de acordo com o seu nível de entrada (*indegree*) e nível de saída (*outdegee*). Esses elementos revelam o fluxo geral de causalidade (BOUGON et al., 1977).

O nível de saída ($od_{(vi)}$) é a soma dos valores absolutos da linha na matriz de adjacência e revela quais são os conceitos mais influentes. O nível de saída é obtido por meio da seguinte expressão (3):

$$od_{(vi)} = \sum_{k=1}^{N} \bar{a}_{ik} \qquad (3)$$

O nível de entrada ($id_{(vi)}$) é a soma dos valores absolutos da coluna na matriz de adjacência e revela quais são os conceitos mais influenciados. O nível de entrada é obtido por meio da seguinte expressão (4):

$$id_{(vi)} = \sum_{k=1}^{N} \bar{a}_{ki} \qquad (4)$$

Os cálculos dos índices, densidade do mapa e construção dos cenários foram calculados com o auxilio de uma planilha do Microsoft Excel. Foi atribuído como critério o limite de 64 iterações para a estabilização de cada conceito. Essa quantidade de iterações, segundo Kok (2009), é suficiente para permitir que todos os efeitos indiretos sejam manifestados nos valores dos conceitos. A tabela 2 apresenta as características que serão combinadas para a elaboração dos cenários desenvolvidos nesse estudo.

4. ANÁLISE DO FCM

Uma análise estática (estado inicial) do FCM estruturado a partir da visão do especialista mostra que a transição para o paradigma CNS/ATM, por meio de implantação do ADS-B, não será bem sucedido se não for adotado, em grande medida, pelas companhias aéreas. Para isso, torna-se fundamental identificar e entender quais são os fatores e funcionalidades que mais geram valor para esse *stakeholder*. Dentro do FCM, a análise dos níveis de saída mostram os conceitos que mais influenciam o sistema.

Por meio da análise dos índices de saída, obtido por meio da equação 3 pode-se perceber que o valor mais elevado foi encontrado para a infraestrutura provida pela aeronáutica (C_{15}), sendo, portanto, o conceito mais influente, mesmo que no mapa cognitivo elaborado esse conceito não tenha relação direta com a atratividade de adoção do ADS-B. Esse resultado vai ao encontro dos resultados apontados por Marais e Weigel (2006). Segundo

as autoras, citando o exemplo norte-americano, a infraestrutura e o desenvolvimento de suporte é o primeiro passo para garantir o sucesso da transição tecnológica, sem o qual qualquer esforço adicional de adoção falhará.

É válido ressaltar que os benefícios proporcionados pelo ADS-B para os stakeholders está estão diretamente ligados com as aplicações que estarão disponíveis para ser utilizada pelos agentes (JENKINS, 2009). As aplicações disponíveis estão diretamente ligadas à quantidade de aeronaves aptas a utilizar esse equipamento e a infraestrutura disponível para dar suporte à sua utilização. Portanto, dependendo das aplicações disponíveis, os benefícios que podem ser oferecidos são suficientemente maiores que os custos dessa transição de forma a tornar positivo o valor para esse as companhias aéreas. Os resultados obtidos análise do nível de saída demonstram mostram que o principal benefício percebido pelas empresas aéreas está na oportunidade de ter rotas flexíveis e otimizadas. Esse benefício está diretamente ligado à possibilidade de redução dos atrasos, apontado pelas companhias aéreas como o benefício básico para a implantação do ADS-B (MARAIS; WEIGEL, 2006). Segundo as autoras, redução dos atrasos, e a otimização de rotas, resulta em economia de combustível e permite que a aeronave faça as rotas mais rapidamente permitindo um aumento na sua taxa de utilização.

Marais e Weigel (2006) pontuam que o valor percebido proporcionado pelo ADS-B torna-se pequeno em casos que as companhias aéreas não adotam o equipamento em grande escala. Segundo as autoras isso ocorre, pois se torna difícil obter ganhos devido à redução da separação das aeronaves e melhor gerenciamento de tráfego aéreo. A constatação dessa característica foi comprovada pelo mapa construído, onde o aumento da capacidade e o menor espaçamento entre as aeronaves surgem como fatores prioritários que influenciam na atratividade de adoção à nova tecnologia.

Portanto, esse fato pode ser um indicativo que a transição tecnológica e adoção do ADS-B devam ser efetuada, inicialmente, em uma área com denso tráfico aéreo, pois o valor para *stakeholder* será maior e mais facilmente percebido, ao ponto de seus benefícios serem persuasivos a ponto de suplantarem os custos de implantação, tornando as empresas menos relutantes a investir na nova tecnologia. Essa constatação corrobora com o estudo qualitativo de Lester e Hansman (2007) sobre os benefícios do ADS-B dentro da realidade norte-americana. Segundo os autores, os ADS-B deveria ser implementado em áreas de terminais cuja capacidade já estivesse comprometida com o grande volume de tráfego aéreo ou em áreas onde não houvesse a cobertura de radar (MARAIS; WEIGEL, 2006; LESTER; HANSMAN, 2007). Essas áreas teriam os benefícios da nova tecnologia seriam mais evidentes e a transição tecnológica facilitada.

A partir da análise do nível de entrada, obtido por meio da equação 4, pode-se notar as variáveis que sofrem influência dentro do mapa construído. Os conceitos que obtiveram maiores valores foram C_{11} "quantidade de aeronaves comportadas no espaço aéreo" e C_{20} "espaçamento entre as aeronaves". Isto é, dentro da construção do sistema, os benefícios proporcionados pelo ADS-B que mais geram valor para os *stakeholders*, segundo a visão levantada pelo responsável pela construção do mapa, estão as aplicações que podem proporcionar ganhos de eficiência e maior utilização do espaço aéreo. Esse resultado sugere que as empresas aéreas tendem a esperar até que as aplicações mais sofisticadas proporcionadas pelo ADS-B estejam disponíveis antes de efetuarem a transição tecnológica.

Portanto, para incentivar a equipagem das companhias aéreas, fundamental para o sucesso de implantação do ADS-B no Brasil, as aplicações mais avançadas que proporcionem ganhos de eficiência devem ser desenvolvidas em paralelo às aplicações, menos complexas, que apenas proporcionem percepção e conhecimento das situações. Esse resultado contraria os estudos de Lester e Hansman (2007). Segundo os autores, as aplicações mais avançadas, como redução do espaçamento das aeronaves, que proporcionaria mais eficiência na utilização do espaço aéreo, não oferecem benefícios significativos e sua implantação pode ser adiada até que o sistema de ADS-B esteja provado.

Essa contradição nos resultados pode ser originada nas limitações desse estudo, que baseou a construção do mapa na percepção de apenas um especialista.

A questão dos "custos de implantação" (C_{19}) ganha destaque dentro da análise dos níveis de entrada. Devido ao alto grau de influência que esse conceito sofre, é um indicativo que há uma série de estratégias e ações que podem ser tomadas pelos órgãos reguladores no sentido de influenciar nesse custo e, portanto, incentivar ou, atrasar a adoção dos agentes no novo paradigma tecnológico.

5. CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS PARA A IMPLANTAÇÃO DO ADS-B NO BRASIL

Para a constituição desse trabalho, os cenários constituídos exploram três diferentes conjunturas para analisar a sensibilidade da atratividade do ADS-B a cada uma delas: conjuntura econômica, subsídios e políticas de incentivo e infraestrutura provida pela autoridade aeronáutica. As diferentes conjunturas foram combinadas entre si, conforme exposto na tabela 3, de modo a avaliar a sensibilidade do modelo as variações de cada uma delas.

Tabela 2: Diferentes conjunturas exploradas nos cenários analisados

Demanda do setor aéreo	Infraestrutura aeronáutica e disponibilização de aplicações do ADS-B	Políticas de incentivos a adoção do ADS-B
Retração Estagnação Manutenção do crescimento	Sem disponibilização de todas as aplicações disponíveis para os agentes Disponibilização de todas as aplicações disponíveis	Sem políticas de incentivos Políticas de incentivo a transição tecnológica

Devido ao caráter semi-quantitivo do FCM, sua interpretação apenas pode ser feita de forma relativa (KOK, 2009). Dessa forma, os cenários discutidos a seguir se dará em termos comparativos ao melhor cenário, ou seja, o estado inicial do sistema elaborado pelo especialista, onde todos os conceitos estão ativados.

Tabela 3: Alterações nos conceitos gerados pelas diferentes combinações dos cenários

	Cenário	Conceitos alterados
Conjuntura econômica	(1) Estagnação	(C_2, C_3, C_4 = 0)
	(2) Retração	(C_2, C_3, C_4 = -1)
	(3) Manutenção do crescimento	Mapa inicial
Infraestrutura	(4) Sem disponibilização de todas as aplicações	(C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15} e C_{20} = 0)
	(5) Sem disponibilização de todas as aplicações e estagnação econômica	(C_2, C_3, C_4, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15} e C_{20} = 0)
	(6) Sem disponibilização de todas as aplicações e retração econômica	(C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15} e C_{20} = 0) e (C_2, C_3, C_4 = -1)
Políticas de incentivos e subsídios	(7) Sem políticas de incentivo e com todas as aplicações e crescimento econômico	(C_{21}, C_{22}, C_{23} = 0)
	(8) Sem políticas de incentivo e com todas as aplicações e estagnação econômica	(C_2, C_3, C_4, C_{21}, C_{22}, C_{23} = 0)
	(9) Sem políticas de incentivo e com todas as aplicações e retração econômica	(C_{21}, C_{22}, C_{23} = 0) e (C_2, C_3, C_4 = -1)
	(10) Sem políticas de incentivo e sem todas as aplicações e estagnação econômica	(C_2, C_3, C_4, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{20}, C_{21}, C_{22}, C_{23} = 0)
	(11) Sem políticas de incentivo e sem todas as aplicações e retração econômica	(C_2, C_3, C_4, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{20}, C_{21}, C_{22}, C_{23} = 0) e (C_2, C_3, C_4 = -1)

Dentro de um cenário de estagnação econômica (C_2, C_3, C_4 = 0) há uma redução na atratividade do ADS-B e a nova situação de equilíbrio é próxima ao cenário ideal, mostrando que a transição tecnológica para o novo paradigma é pouco sensível a essas variações. Nota-se variação positiva nos conceitos que tratam sobre a melhor utilização do espaço, pois sem crescimento na quantidade de voos torna-se possível acomodar melhor a demanda pelo espaço aéreo, e redução nos atrasos em

decorrência da menor da diminuição do ritmo de crescimento na quantidade de voos devido à situação da economia. Em um cenário de retração econômica (C_2, C_3, C_4 = -1), nota-se que há uma queda discreta na atratividade do ADS-B, porém confirma a baixa sensibilidade da nova tecnologia às condições econômicas. Isso pode, em parte, ser explicado pela atual demanda do setor aéreo no país que seu volume atual justificaria a adoção do novo padrão tecnológico.

Nos cenários onde há restrição das aplicações disponíveis (C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14} C_{15} e C_{20} = 0) e por consequência dos benefícios advindos do ADS-B nota-se as quedas mais substanciais na atratividade da implantação do dispositivo.

Isso pode ser um indicativo que as ações dos órgãos reguladores devem estar concentradas em oferecer infraestrutura necessária para a transição tecnológica, de modo que os agentes consigam usufruir plenamente dos benefícios mais avançados que o novo paradigma traz.

Para as companhias aéreas, responsáveis por assumir grande parte dos custos e riscos da transição tecnológica, as aplicações mais avançadas, responsáveis por proporcionar ganhos de eficiência operacional, trazem benefícios superiores ao seu custo de implantação. Na análise dinâmica dos cenários isso é evidenciado pelo peso dos benefícios, que são sempre superior ao peso dos custos de implantação e manutenção do ADS-B. Entretanto, quando as principais aplicações não estão disponíveis, restrição imposta nos cenários 4, 5, e 6, nota-se que o valor dos conceitos relacionados aos custos torna-se maiores que a atratividade de implantação da nova tecnologia.

De acordo com a análise dos índices, as estratégias focadas nas políticas e incentivo (cenários 6, 7 e 8) à adoção de tecnologia são as que produzem o menor impacto sobre a atratividade do ADS-B. Dessa forma, essa estratégia deve ser combinada com outros fatores, caso contrário seu resultado pode ser pouco efetivo. Entretanto, embora seu impacto seja marginal, esses itens são os que mais produzem alteração em um maior número de conceitos que compõe o mapa.

Em todos os cenários desenvolvidos, onde as aplicações do ADS-B se faziam presentes, nota-se a importância da infraestrutura provida pela aeronáutica. Portanto essa análise sugere que esse elemento deve assumir um papel central na análise do processo de transição tecnológica e na formulação de estratégias para incentivar os agentes a adotarem o novo padrão.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de FCM pode contribuir significativamente para a construção de cenários de prospecção e transição tecnológica. Essa ferramenta possibilita explicitar, em um modelo formal, o conhecimento tácito dos agentes envolvidos no processo de transição tecnológica com um grande nível de integração, elucidando um sistema complexo e a transição do modelo qualitativo para o quantitativo.

O FCM construído para nesse estudo produziu resultados consistentes com a literatura existente. De acordo com os resultados obtidos, há uma percepção de que a implantação do ADS-B pode trazer benefícios superiores aos custos em diferentes cenários de implantação.

Os aspectos econômicos trouxeram um impacto marginal na atratividade da nova tecnologia. A maior sensibilidade dos agentes reside na disponibilidade das aplicações de maior complexidade. Essas aplicações, responsáveis por trazer ganhos de eficiência operacional para as companhias, são responsáveis por tornar a tecnologia persuasiva aos agentes, ou seja, fazer com que seu valor seja positivo, possuindo benefícios superiores aos custos de implantação.

Para que isso se concretize, no entanto, é necessário que a aeronáutica e os órgãos reguladores consigam prover a infraestrutura adequada para que os agentes possam usufruir dos benefícios que o ADS-B pode proporcionar. Outras políticas de incentivos trouxeram impacto marginal na atratividade do ADS-B e devem ser utilizadas congregadas a outros fatores ligados à infraestrutura e certificação de procedimento que garantam a funcionalidade das aplicações mais avançadas do ADS-B.

7. REFERÊNCIAS

ANAC. **Demanda e oferta do transporte aéreo**. 2013.

BERSTER, P.; GELHAUSEN, M.; WILKEN, D. The 2011 World Conference of Air Transport Research Society (ATRS). ,2011.

BOUGON, M.; WEICK, K.; BINKHORST, D. Cognition in Organizations: An Analysis of the Utrecht Jazz Orchestra. **Administrative Science Quarterly**, v. 22, n. 4, p. 606 – 639, 1977.

EDEN, C.; ACKERMANN, F.; CROPPER, S. The analysis of cause maps. **Journal of Management Studies**, v. 29, n. 3, p. 309–324, 1992. Blackwell Publishing Ltd.

FEBRABAN, F. BRASILEIRA DE BANCOS-. Pesquisa FEBRABAN de projeção macroeconômicas e expectativas de mercado. Disponível em: <http://www.febraban.org.br/Acervo1.asp?id_texto=2409&id_pagina=212&palavra=>. Acesso em: 29/7/2014.

FISCHER, R. B. Introduzindo o Conceito de Redes Bayesianas na construção de cenários prospectivos. In: Anpad (Ed.); Anais XXXI Enanpad. **Anais...** p.1–16, 2007. Rio de Janeiro.

FRANKE, M.; JOHN, F. What comes next after recession? – Airline industry scenarios and potential end games. **Journal of Air Transport Management**, v. 17, n. 1, p. 19–26, 2011. Elsevier Ltd.

GALOTTI, V. P. **The Future Air Navigation System (FANS): Communication Navigation Surveillance Air Traffic Management**. 1a ed. Michigan: Avebury Aviation, 1997.

HÜTTIG, G.; BUSCH, W.; GRONAK, N. Growing demand and capacity of airports. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 28, n. 6, p. 501–509, 1994.

ICAO. Global Air Navigation Plan for CNS / ATM Systems. ,2002.

JENKINS, M. R. **A systems approach to identifying equipage requirements, benefits, and Risks of ADS-B Applications**. Dissertação de mestrado, 2009. Dept. of Aeronautics and Astronautics. Massachusetts Institute of Technology - MIT.

JETTER, A.; SCHWEINFORT, W. Building scenarios with Fuzzy Cognitive Maps: An exploratory study of solar energy. **Futures**, v. 43, n. 1, p. 52–66, 2011.

KOK, K. The potential of Fuzzy Cognitive Maps for semi-quantitative scenario development, with an example from Brazil. **Global Environmental Change**, v. 19, n. 1, p. 122–133, 2009.

KOSKO, B. Fuzzy cognitive maps. **International journal of man-machine studies**, Vol. 24, Issue 1. p. 65–75, 1986.

LESTER, E. A.; HANSMAN, R. J. Benefits and Incentives for ADS-B Equipage in the National Airspace System. August, 2007.

MARAIS, K.; WEIGEL, A. Encouraging and ensuring successful technology transition in civil aviation. **Department of Aeronautics and …**, , n. March, 2006.

MCCALLIE, D.; BUTTS, J.; MILLS, R. Security analysis of the ADS-B implementation in the next generation air transportation system. **International Journal of Critical Infrastructure Protection**, v. 4, n. 2, p. 78–87, 2011. Elsevier B.V.

MCKINSEY. **Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil Relatório consolidado**. Rio de Janeiro, 2010.

OWUSU, K.; BUTCHER, R. Data Analysis Report of the Operational Trial of ADS-B in the Burnett Basin, Queensland, Australia. SASP. **Anais...** v. 6, 2004. ICAO.

ÖZESMI, U.; ÖZESMI, S. L. S. Ecological models based on people's knowledge: a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. **Ecological Modelling**, v. 176, n. 1-2, p. 43–64, 2004.

PURTON, L.; ABBASS, H.; ALAM, S. Identification of ADS-B System Vulnerabilities and Threats. In **Australian Transport Research Forum**. October, p. 1–16, 2010.

ROPER, A. T.; CUNNINGHAM, S. W.; PORTER, A. L.; et al. **Forecasting and management technology.** Second Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey. 2011.

SANTOS, W. O.; SANTOS, A. S. DOS; GONZALES, É. O.; LOPES, R. L. Simulações De Impactos Setoriais Sobre A Distribuição De Renda E O Crescimento Econômico: Evidências Para O Brasil. **Anais do XLI Encontro Nacional de Economia [Proceedings of the 41th Brazilian Economics Meeting]**, 2014. ANPEC - Associação Nacional dos Centros de Pósgraduação em Economia [Brazilian Association of Graduate Programs in Economics].

SIEWERDT, E. Vigilância aérea: desmistificando as tecnologias de vigilância dependente automática por radiodifusão e multilateração. VII SITRAER - Simpósio de transporte aéreo. **Anais...** v. 7, p.407–419, 2008. Rio de Janeiro.

THÉRY, H. O TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL : ASAS DA CENTRALIDADE. **Revista de Geografia da UFC**, v. 3, n. 2, p. 19–25, 2003.

VARUM, C. A.; MELO, C. Directions in scenario planning literature – A review of the past decades. **Futures**, v. 42, n. 4, p. 355–369, 2010. Elsevier Ltd..

VISMARI, L. F. **Vigilância dependente automática no controle de tráfego aéreo: avaliação de risco baseada em modelagem em redes de Petri fluidas e Estocásticas.** Dissertação de mestrado, 2007. Universidade de São Paulo.

VLIET, M. VAN; KOK, K.; VELDKAMP, T. Linking stakeholders and modellers in scenario studies: The use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. **Futures**, v. 42, n. 1, p. 1–14, 2010.