

# Uma Proposta de Arquitetura baseada no SWIM para a implementação do Airport-CDM

Inaldo Costa<sup>1,2</sup>, Gerson Monteiro<sup>1</sup>, Alexandre B. Barreto<sup>3</sup> e José P. Oliveira<sup>1</sup>

1. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) – Avenida Marechal Eduardo Gomes, S/Nº – DCTA – São José dos Campos – SP.
2. Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - Av. dos Portugueses, 1966 - Anjo da Guarda, São Luís – MA.
3. Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) - Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes, 50, São José dos Campos – SP.

**Resumo** — Com a necessidade mundial de serviços de navegação aérea mais seguros e eficientes, a ICAO (International Civil Aviation Organization) desenvolveu um plano de modernização dos Sistemas de Controle do Espaço Aéreo, estabelecendo conceitos como Airport-CDM (Airport Collaborative Decision Making), cuja a finalidade é dar maior eficiência e segurança na gestão das operações aeroportuárias, através da unificação dos processos operacionais e automatizados, e o SWIM (System Wide Information Management), que é a infraestrutura definida para dar suporte ao Airport-CDM, que permitirá que dados de diversas fontes prestadoras de serviços de tráfego aéreo possam ser intercambiados de forma segura e transparente. Nesse contexto, o presente artigo apresenta uma proposta de arquitetura de serviços, modelada usando conceitos SOAML (Service Oriented Architecture Modeling Language), para implementar um ambiente Airport-CDM específico para as necessidades do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro, utilizando como referência o SWIM.

**Palavras-Chave** – Airport-CDM, SWIM, SISCEAB

## I. INTRODUÇÃO

Em virtude da crescente demanda por serviços mais seguros e eficientes [1], a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) desenvolveu um plano que visa modernizar os serviços de navegação aérea mundiais. Esse plano, o *Aviation System Block Update* (ASBU) [2], prevê o desenvolvimento e incorporação de uma série de tecnologias aos sistemas de controle do espaço aéreo, visando reduzir a separação entre as aeronaves, otimizando as rotas, os processos e os fluxos de aeronaves.

Quando se analisa o contexto de um aeroporto, em virtude dos diversos atores envolvidos em sua operação, o processo de tomada de decisão deve ser realizado de forma colaborativa, o que no escopo da ICAO fez com que surgisse o conceito de *Airport Collaborative Decision Making* (Airport-CDM), que tem como finalidade unir processos operacionais e automatizados executados por diferentes atores, de forma a prover maior eficiência e segurança na gestão das operações aeroportuárias [3-5].

Um dos problemas inerentes ao Airport-CDM consiste em como interoperar dados obtidos de sistemas diferentes e que representam domínios de informação distintos, uma vez que apesar de os dados retratarem o mesmo fenômeno (operações de controle de tráfego aéreo), eles representam informações obtidas por perspectivas diferentes do mesmo problema (gerenciamento de pátio, otimização de circuito de tráfego, canal de comunicação, consumo de aeronave, etc.).

Para prover uma infraestrutura capaz de interoperar dados relacionados ao serviço de navegação aérea foi proposto dentro do escopo do ASBU o *System Wide Information Management* (SWIM) [6-7]. O SWIM é uma arquitetura baseada em serviços (SOA) [8], cuja finalidade é permitir que dados de diversos prestadores de serviço de tráfego aéreo (meteorologia, radar, informações aeronáuticas, etc.) possam ser intercambiados de forma segura e transparente, visando maior eficiência e colaboração entre os pares.

Para estruturar esses serviços de forma a deixá-los interoperáveis, uma abordagem existente é modelar os serviços a serem disponibilizados usando uma abordagem orientada a negócio, que usa uma linguagem de notação para definir não somente os conceitos, mas também as formas como eles podem ser consumidas, chamada *Service Oriented Architecture Modeling Language* (SOAML) [9].

O presente artigo tem como finalidade apresentar uma arquitetura, desenvolvida usando SOAML, para implementar um ambiente Airport-CDM específico para as necessidades brasileiras, tendo como padrão de referência o SWIM.

Este artigo é organizado da seguinte forma: Seção 2 – Conceituação Preliminar, onde são apresentados em maiores detalhes os conceitos relacionados à solução apresentada, como SWIM, Airport-CDM, etc. Na Seção 3 é apresentada a arquitetura desenvolvida para atender aos requisitos do Airport-CDM de forma específica para o SISCEAB. Na Seção 4 é apresentado um estudo de caso específico para a Meteorologia. Finalmente, algumas considerações finais são apresentadas.

## II. CONCEITUAÇÃO PRELIMINAR

Para um melhor entendimento da arquitetura proposta, uma série de conceitos relacionados a mesma serão apresentados nas seções a seguir.

### *Airport-CDM*

Conforme apresentado anteriormente, o Airport-CDM incorpora uma nova filosofia de gestão de tráfego aéreo, onde as decisões de gerenciamento de tráfego aéreo se fundamentam nos princípios de compartilhamento de informação e na tomada de decisões distribuídas, provendo consciência situacional comum entre os tomadores de decisão [10].

O Airport-CDM visa melhorar o gerenciamento da capacidade de fluxo de tráfego aéreo (ATFCM) nos aeroportos, reduzindo atrasos, aumentando a previsibilidade de eventos e otimizando a utilização dos recursos. Neste

cenário, cada parceiro do Airport-CDM (operadores aeroportuários e de aeronaves, controladores de solo, provedores de serviços de navegação aérea, provedores de serviço de suporte e operadores de Rede) poderá otimizar suas decisões em colaboração com outros parceiros conhecendo as suas preferências, restrições e real situação.

O Airport-CDM [5] possui uma série de conceitos que precisam ser implementados para seu completo funcionamento.

O primeiro deles é o *Airport-CDM Information Sharing*, que define o compartilhamento de informações precisas e oportunas entre os aeroportos do Airport-CDM, a fim de alcançar a consciência situacional comum e melhorar a previsão de eventos de tráfego.

Por sua vez, o *Variable Taxi Time* consiste em calcular e distribuir aos envolvidos no Airport-CDM estimativas precisas de *taxi-in* e *taxi-out* para melhorar as estimativas de *in-block* e decolagens. A complexidade do cálculo pode variar de acordo com as necessidades e limitações no Airport-CDM. O objetivo é melhorar a previsibilidade de tráfego.

O *Milestone Approach* descreve o progresso de um voo do planejamento inicial para a decolagem, definindo metas a permitir acompanhar de perto os eventos significativos.

O *Pre-Departure Sequence* é a ordem que as aeronaves estão previstas para afastar de suas ilhas de estacionamento (*Push Off blocks*), tendo em conta as preferências dos parceiros. Não deve ser confundido com o *pre-take off order* em que o ATC organiza aeronaves no ponto de espera da pista. O *Pre-Departure Sequence* tem por finalidade aumentar a flexibilidade, a pontualidade e melhorar a aderência aos slots pré-definidos, permitindo aos parceiros do aeroporto expressar suas preferências.

O *Collaborative Management of Flight Updates* é o módulo responsável por regular a troca de mensagens de atualização de voo (*Flight Update Messages - FUM*) e de informação de plano de decolagem (*Departure Planning Information - DPI*) entre os operadores de rede e os de Airport-CDM, visando gerar estimativas confiáveis de pouso para melhor gerenciamento de slots para decolagens.

E finalmente, o *Adverse Conditions* consiste da gestão colaborativa da capacidade de um aeroporto durante os períodos de redução (previstos ou não) de capacidade. Tem por objetivo prover consciência situacional comum para os agentes do Airport-CDM, incluindo melhor gestão da informação para os passageiros.

Visando implementar os conceitos acima, pode-se deduzir que há a necessidade de um framework de comunicação que permita com que dados de origens diferentes sejam interoperados, sem que haja perda de significado, o que é resolvido, no escopo da ICAO, através da adoção da arquitetura SWIM.

### Arquitetura SWIM

O *System Wide Information Management (SWIM)* é uma mudança de paradigma para a interoperabilidade de dados e informações relacionadas à navegação aérea, inicialmente proposta dentro do contexto do projeto *Next-Gen* e, posteriormente, aderido pela ICAO [2].

Diferente da abordagem anterior que usava arquiteturas proprietárias para interligar sistemas afins, o SWIM usa como base para interoperabilidade padrões abertos, uma arquitetura orientada a serviço e uma ontologia de domínio para suportar a troca de mensagens entre os atores, bem como a composição de serviço de provedores diferentes.

A ideia central da arquitetura é que dados possam ser disponibilizados de forma descentralizada, fazendo com que os interessados possam usar aqueles necessários para a execução de sua tarefa, sem ter a necessidade de possuir estruturas redundantes de informação, que muitas vezes rapidamente se tornam desatualizadas.

Como exemplo, pode-se ver uma aeronave que precisa realizar um pouso de precisão em um aeroporto. Essa aeronave, visando planejar esse pouso em seu sistema de navegação automatizado, pode coletar dados de meteorologia de forma automática (sem a necessidade de interação humana), bem como informações das condições das infraestruturas aeroportuárias, ou até mesmo enviados por outras aeronaves em voo. Tudo isso sem a necessidade de que a forma como o dado irá ser fusionado e consumido ser de conhecimento dos atores envolvidos.

Assim como no Airport-CDM, o SWIM foi idealizado para dar suporte à tomada de decisão colaborativa. Na Fig. 1 podem-se ver os seus possíveis usuários.

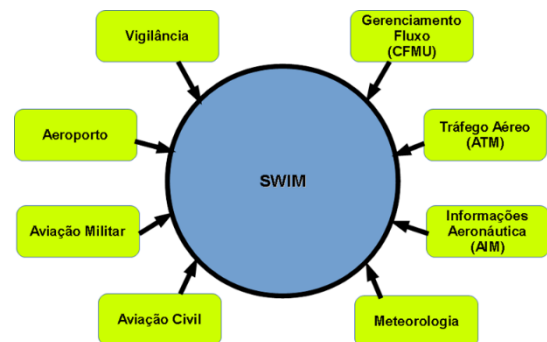


Figura 1 – Potenciais Usuários do Airport-CDM e do SWIM

Dentro deste contexto, o Brasil está acompanhando as evoluções do SWIM, bem como do CDM, e vem estabelecendo estratégias e providências para atender os referidos conceitos estabelecidos pela ICAO.

No Brasil, a normatização e o desenvolvimento das atividades inerentes ao controle e ao gerenciamento do espaço aéreo é do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), que é o órgão central do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) [11].

No conceito operacional CNS/ATM, o DECEA possui o Programa SIRIUS que estabelece, através da utilização de alta tecnologia, capacitação de recursos humanos e redução dos custos operacionais, uma estratégia sustentável de evolução do Sistema de Gerenciamento de Tráfego Aéreo (ATM) do Brasil, visando atender às demandas originadas do alto crescimento de tráfego aéreo, previsto para o Século XXI [12].

### III. ARQUITETURA BASEADA EM SWIM PARA O SISCEAB

O SISCEAB – Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro é o conjunto de órgãos e instalações – tais como auxílios à navegação aérea, radares de vigilância, centros de controle e torres de controle de aeródromo, estações de telecomunicações, recursos humanos, etc. – que tem como objetivo proporcionar regularidade, segurança e eficiência do fluxo de tráfego nos aeroportos e no espaço aéreo.

O SISCEAB deverá passar por uma modernização para aderir ao padrão SWIM e sua arquitetura deve ser reprojeta para prover serviços SOA. Neste artigo é proposta uma nova arquitetura para o SISCEAB, que, além de aderir ao padrão SWIM, incorpora o conceito *Airport-CDM* que irá melhorar a eficiência operacional, previsibilidade e pontualidade para a rede ATM e para os stakeholders dos aeródromos.

A Fig. 2 apresenta uma visão em camadas onde os Parceiros CDM são representados como Consumidores de Serviços SWIM que serão providos pelas camadas de sistemas. As duas camadas de sistemas são: Sistemas SWIM e Infraestrutura SWIM. O SISCEAB está localizado na camada Sistemas SWIM. Dessa forma é necessário que o SISCEAB passe por um processo de reformulação para aderir aos padrões SWIM.

O primeiro passo para propor um SISCEAB aderente ao SWIM seria repensar suas funcionalidades como serviços SOA. Aplicando o conceito *Airport-CDM*, foi elaborada uma arquitetura SOAML guiada pelas necessidades dos Parceiros CDM. Na Fig. 3, que utiliza a notação SOAML para representar a arquitetura proposta, os parceiros CDM são representados por Consumidores que irão utilizar as capacidades que devem ser providas pelo SISCEAB.

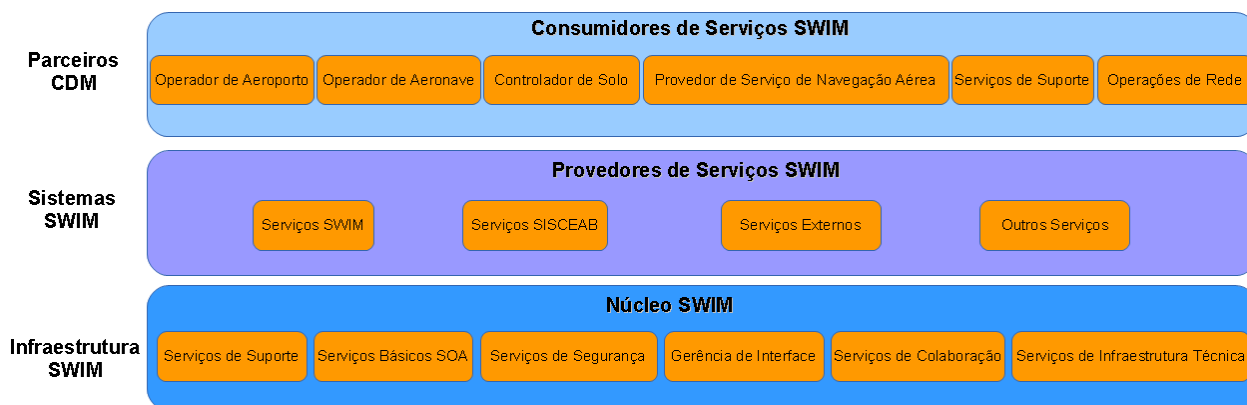


Figura 2 - Parceiros CDM como Consumidores de Serviços.

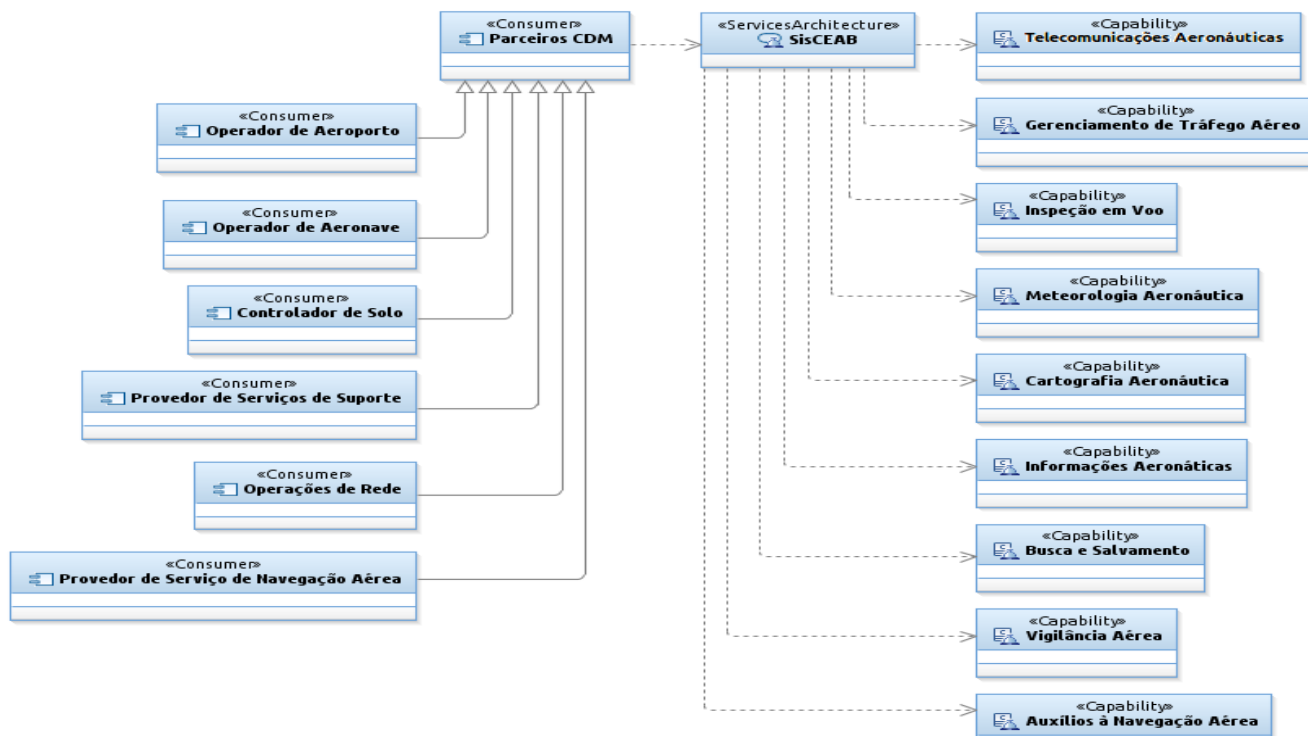


Figura 3 - Arquitetura SISCEAB associada aos Parceiros CDM

Na próxima seção é apresentada a modelagem conceitual que refina a arquitetura com o modelo dos serviços que irão prover as capacidades identificadas.

#### IV. METEOROLOGIA AERONÁUTICA MODELADA EM SERVIÇOS

O objetivo desta seção é apresentar, como estudo de caso, a modelagem de uma das capacidades do SISCEAB de acordo com os conceitos da SOAML. No nível arquitetural apresentado na Seção III é estabelecida uma relação direta entre o SISCEAB e os Parceiros CDM que atuam em todo o ecossistema de um aeródromo. O objetivo do modelo conceitual é dar continuidade e detalhar o modelo arquitetural sem perder o vínculo com os processos de negócio.

A Rede de Centros Meteorológicos é responsável pela divulgação das informações meteorológicas para toda a navegação aérea. Os provedores desses serviços, Fig. 4, são o Centro Nacional de Meteorologia Aeronáutica (CNMA), o Centro Meteorológico de Vigilância (CMV), os Centros Meteorológicos de Aeródromos (CMA) e os Centros Meteorológicos Militares (CMM) [13].

As informações meteorológicas são divulgadas pela Rede de Telecomunicações Fixas Aeronáuticas (AFTN) e pelo Website de Meteorologia Aeronáutica (REDEMET) [13]. A REDEMET é o principal meio de veiculação das informações operacionais e será por meio desse canal que os Parceiros CDM terão acesso às informações.

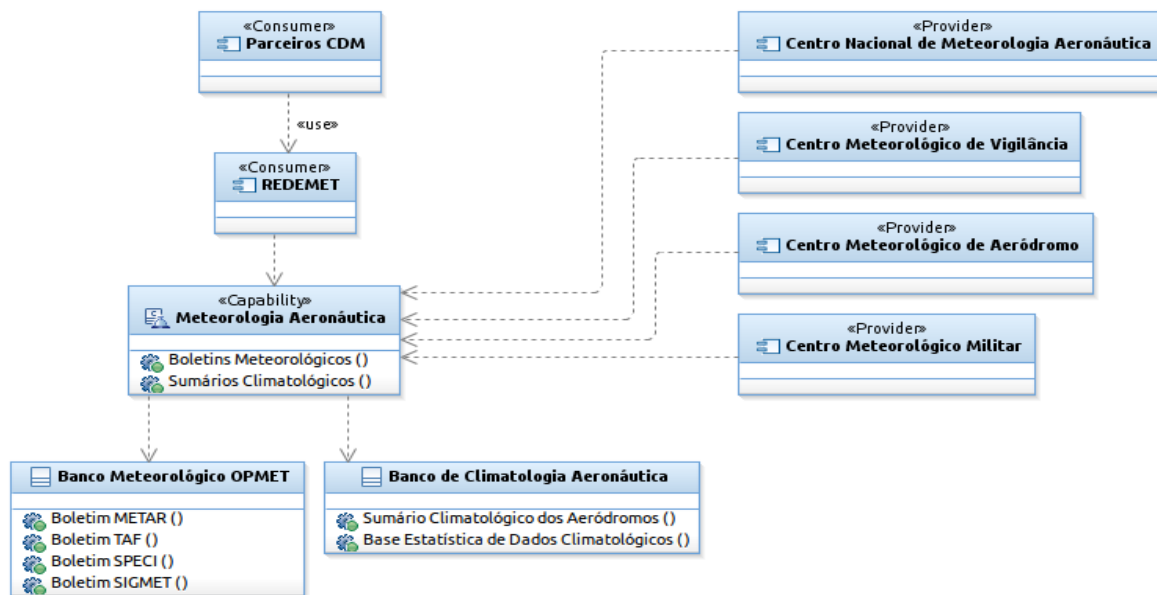


Figura 4 - Modelagem da Capacidade Meteorologia Aeronáutica.

Seguindo esta orientação, a Fig. 4 apresenta os stakeholders associados à capacidade “Meteorologia Aeronáutica”, modelada na arquitetura do SISCEAB. No diagrama, os participantes da cadeia de serviços meteorológicos são classificados como provedores de informação e consumidores. Adicionalmente, devido à relevância no modelo, são destacados dois agentes, as bases de dados OPMET e o Banco de Climatologia Aeronáutica [13].

Expandindo a proposta para o SISCEAB, vê-se no supracitado diagrama a adição das Interfaces de Serviço que serão oferecidas aos parceiros CDM visando suprir as suas necessidades relacionadas a Serviços Meteorológicos. Nessa visão macro das Interfaces de Serviços já podem ser mapeadas as principais informações que serão disponibilizadas: os boletins meteorológicos e os sumários climatológicos. Já pode-se modelar adicionalmente uma funcionalidade para que os Parceiros CDM, desde que autorizados, possam vir a reportar condições meteorológicas a serem inseridas no sistema.

Os stakeholders representados na Fig. 4 participam do processo para suprir os serviços e as informações necessárias para que a Capacidade “Meteorologia Aeronáutica” seja plenamente atendida pelo sistema. Para suprir os Parceiros CDM da informação necessária, foram modeladas duas Interfaces de Serviços que categorizam os Serviços Meteorológicos. As Interfaces modeladas foram a “Inserção de Informações Meteorológicas” e “Boletins Meteorológicos”. Essas Interfaces são apresentadas na Fig. 5 com o detalhamento de suas operações de Inserção e dos boletins previstos por região, por Aeródromo, por Cidade/Estado e por Centro Meteorológico.

O passo seguinte é especificar, na forma de um contrato de serviços, os requisitos de segurança e as condições funcionais que devem ser respeitadas antes e após a utilização desses serviços. Como exemplo de requisitos de segurança, pode-se citar a autorização ou não de determinado Parceiro CDM para submeter uma solicitação para “Inserção” ou atualização de condições meteorológicas. Adicionalmente, um requisito funcional dessa solicitação é que ela seja

analisada em sua completude e precisão antes de ser adicionada ao Banco Climatológico.

Aeródromo, e a mensagem de retorno, na forma de um objeto que será o próprio boletim desejado, são documentadas no diagrama.

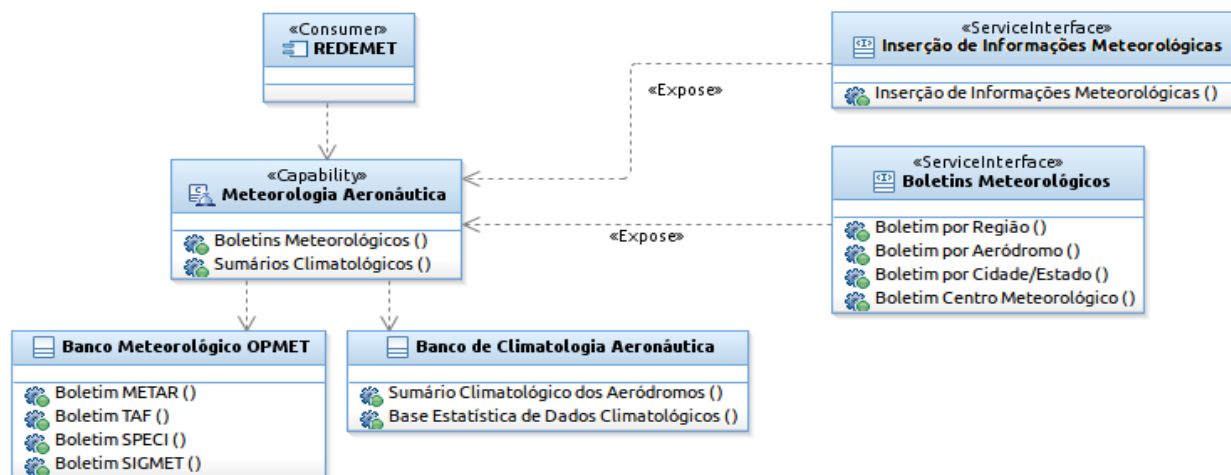


Figura 5 - Interfaces para atender à Capacidade Meteorologia Aeronáutica.

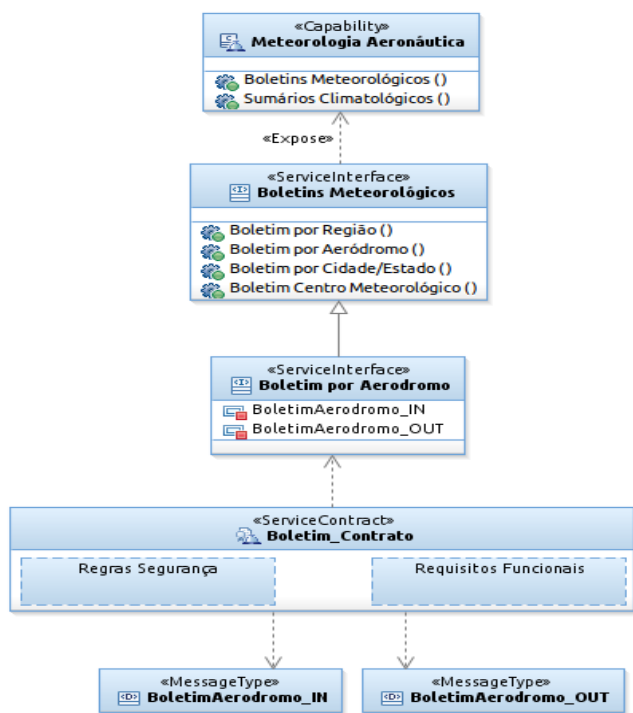


Figura 6 - Contrato da Interface Boletim por Aeródromo.

A Fig. 6 apresenta a modelagem conceitual do contrato da Interface do serviço “Boletim por Aeródromo” que será uma das consultas a serem disponibilizadas para os Parceiros CDM autorizados. O contrato do serviço pode adicionalmente ser representado na forma de regras semânticas que devem expressar as restrições de segurança, bem como as pré-condições e as pós-condições funcionais.

Associado ao Contrato, a Fig. 6 apresenta a definição das mensagens a serem utilizadas pelos consumidores do serviço. A mensagem e os parâmetros para a solicitação do Boletim por Aeródromo, simplificada na forma da Identificação do

A partir das definições consolidadas na Fig. 6, o modelo já possui os elementos necessários para que seja criada a descrição do serviço a ser publicada por meio da Infraestrutura do SWIM. Para a publicação do serviço, o SWIM utiliza o padrão *Web Service Description Language (WSDL)*, conforme previsto na arquitetura SOA.

Na Fig. 7, é apresentada parte do WSDL da Interface “Boletim por Aeródromo”. Este seria um WSDL em nível mais abstrato que será refinado no decorrer do projeto detalhado do SISCEAB sob a nova arquitetura proposta.

Com este estudo de caso de uma das Capacidades do SISCEAB, pode-se visualizar que a modelagem de serviços evolui sempre aderente às necessidades de negócio. No cenário apresentado, fica explícito que a modelagem foi guiada pelas Capacidades que o sistema deve prover na forma de serviços para atender às necessidades de informação dos Parceiros CDM.

```

<-definitions name="BoletinsService" targetNamespace="http://localhost/Boletins.wsdl">
  <-message name="BoletimPorAerodromo_IN">
    <part name="AerodromId" type="xsd:string"/>
  </message>
  <-message name="BoletimPorAerodromo_OUT">
    <part name="boletim" type="xsd:string"/>
  </message>
  <-portType name="Boletim_PortType">
    <-operation name="BoletimPorAerodromo">
      <input message="tns:BoletimPorAerodromo_IN"/>
      <output message="tns:BoletimPorAerodromo_OUT"/>
    </operation>
  </portType>
  <+binding name="Boletim_Binding" type="tns:Boletim_PortType"></binding>
  <+service name="BoletinsService"></service>
</definitions>

```

Figura 7 – Exemplo de WSDL

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação do SWIM, bem como dos conceitos envolvidos no Airport-CDM, além de uma obrigação assumida pelo Estado Brasileiro, é um requisito imprescindível para atender as novas demandas existentes em nosso espaço aéreo.

Entretanto, a proposta de arquitetura apresenta resultados parciais, em virtude de se tratar de uma pesquisa em

andamento, porém seu potencial pode ser facilmente visualizado no estudo de caso apresentado.

Como estudos futuros, pode-se entender a inclusão de um framework semântico para suportar uma melhor clarificação de conceitos, bem como criar uma base semântica de referência para o domínio existente.

#### REFERÊNCIAS

- [1] International Air Transport Association - IATA (2013). Air Passenger Market Analysis – September 2013. Available from Internet: <http://www.iata.org/whatwedo/Documents/economics/Passenger-Analysis-Sep-2013.pdf>.
- [2] International Civil Aviation Organization – ICAO (2012). 2013-2028 Global Air Navigation Capacity & Efficiency Plan (Report from 12th Air Navigation Conference no. Doc 9750). Available from Internet: <http://www.icao.int/Meetings/anconf12/Documents/Draft%20Doc%209750.GANP.en.pdf>.
- [3] Spies, G., et al. "Operational Concept for an Airport Operations Center to Enable Total Airport Management." Proceedings of ICAS. 2008.
- [4] E CDM-TF - EUROCONTROL, Brussels, 2005.
- [5] Airport CDM Implementation – Manual. EUROCONTROL, Brussels, 2005.
- [6] Meserole, Jere S., and John W. Moore. "What is System Wide Information Management (SWIM)?" Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE 22.5 (2007): 13-19.
- [7] Crescenzo, Dario Di, Antonio Strano, and Georg Trausmuth. "SWIM: A Next Generation ATM Information Bus-The SWIM-SUIT Prototype." Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops (EDOCW), 2010 14th IEEE International. IEEE, 2010.
- [8] Erl, Thomas. Soa: principles of service design. Vol. 1. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2008.
- [9] Gebhart, Michael, et al. "Evaluation of service designs based on soaml." Software Engineering Advances (ICSEA), 2010 Fifth International Conference on. IEEE, 2010.
- [10] B. Michael, C. Chien-Yu, H. Robert, and V. Thomas. Collaborative Decision Making in Air Traffic Management: Current and Future Research Directions. Springer Berlin Heidelberg, 2001.
- [11] BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. SISTEMA DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO. NSCA 351-1 [Rio de Janeiro], 2010.
- [12] Departamento de Controle do Espaço Aéreo. [http://www.decea.gov.br/novo\\_sirius/](http://www.decea.gov.br/novo_sirius/). Acessado em: 01/07/2014.
- [13] Departamento de Controle do Espaço Aéreo. DECEA. Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro, Funcionalidades do SISCEAB. Acessado em: 01/07/2014.