

Conceito de um Sistema Embarcado para Gestão da Manutenção de Aeronaves

Manre Torres Cabral
Jacareí, Brasil
manretc@gmail.com

Rodolpho V. A. Neves
Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil
rodolpho.neves@ufv.br

Adriano H.O. Carvalho
Departamento de Engenharia
Mecânica
Pontifícia Universidade Católica de
Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil
adriano@carvalho.ac

Resumo – A crescente demanda por viagens, seja por turismo ou negócios, pressiona as companhias aéreas a oferecer mais opções de voos, o que gera também aumento das atividades de manutenção das aeronaves. A grande quantidade de voos e a complexidade em atividades de manutenção pode acarretar atrasos, gerando prejuízos enormes para as companhias aéreas. Por outro lado, a utilização de dispositivos inteligentes pode auxiliar nas atividades de manutenção, evitando atrasos nos voos e prejuízos às companhias aéreas. Baseado na tecnologia dos dispositivos IoT e nas atividades de manutenção aeronáutica, este trabalho objetiva conceituar a arquitetura de um sistema embarcado para auxiliar na gestão da manutenção, visando mais agilidade no despacho da aeronave. Para a concepção deste sistema é necessário conhecer as atividades de manutenção e avaliar como será a integração entre componentes da aeronave, bem como mapear a necessidade de alguma alteração nos componentes. Além disso deve-se atentar para a necessidade da validação do sistema, evitando assim possíveis falhas que ocasionem acidentes.

Palavras chave – IoT, sistema inteligente, manutenção aeronáutica

I. Identificação do Problema

A indústria aeroespacial e de defesa (A&D) está preparada para crescer, apesar das recessões econômicas. O aumento da demanda por viagens, o desenvolvimento de novas tecnologias e a ameaça à segurança das nações estão aumentando a produção de aeronaves, os orçamentos de defesa e a necessidade de uma cadeia de abastecimento global. A previsão de mercado global da Airbus prevê que o tráfego aéreo crescerá 4,5% ao ano e mais de 30.000 aeronaves serão necessárias nos próximos 20 anos. Os fabricantes e operadores de aeronaves estão sempre em busca de melhorar o desempenho do veículo, fornecendo dispositivos mais conectados e inteligentes para alcançar a eficiência de combustível, tempo de inatividade zero e otimização de rota. O custo direto do atraso do transporte aéreo é de US \$32,9 bilhões anuais, o que acarreta uma perda de US \$8,3 bilhões para as companhias aéreas. Um relatório de análise de benchmark publicado pela IATA (*International Air Transport Association*) mencionou que US \$15 bilhões foram gastos em manutenção direta, com custo médio de manutenção de US \$295 milhões por companhia aérea e US \$1087 por hora de voo. A identificação de sistemas potenciais e sua maturidade de características relevantes é a chave para implementar e desenvolver produtos/sistemas IoT na indústria aeroespacial [3].

Tanto os fabricantes de aeronaves quanto os operadores buscam de forma intensiva a redução de gastos com manutenção e operação, incluindo consumo de combustível. Porém, na prática o que ocorre são muitos atrasos devido a planos de manutenção que não funcionam tão bem quanto planejados, acarretando prejuízos e atrasos nos voos.

A crescente demanda por viagens aéreas traz a necessidade de melhorar os sistemas de manutenção e operação das aeronaves. Assim, é importante desenvolver uma solução que eleve a despachabilidade das aeronaves, reduzindo o tempo de aeronave parada.

II. IoT

O conceito Internet das coisas (*Internet of things - IoT*) foi proposto em 1999, por Kevin Ashton, no Laboratório de *Auto-ID* do MIT, onde se realizavam pesquisas no campo da identificação por radiofrequência em rede (RFID) e tecnologias de sensores [1].

A internet das coisas é um conceito em que os objetos possuem inteligência embarcada e estão conectados a outros objetos por uma rede digital. Esta conexão pode ser local ou também pode ser através da rede mundial de computadores, permitindo assim comunicação e controle remotos, tanto por outros objetos inteligentes quanto por seres humanos. Em outras palavras, os objetos interconectados se comunicam para monitoramento e execução de tarefas, podendo tomar decisões, promovendo conforto, elevando produtividade e praticidade para as pessoas. Como exemplos dos benefícios do IoT tem-se: monitoramento de saúde, informações em tempo real sobre o trânsito, reposição automática de estoques, dentre outros.

Algumas empresas já oferecem uma gama de soluções e serviços que utilizam o IoT, como a Amazon com o serviço AWS IoT [2], que oferece diversos serviços, dentre eles o IIoT (*Industrial Internet of Things*) que executa controle de qualidade, monitoramento de ativos e manutenção preditiva. Neste último, dados analíticos dos equipamentos são utilizados para identificar possíveis falhas antes que afetem a produção. Como resultado, tem-se o aumento da vida útil do equipamento, segurança do operador e otimização da cadeia de abastecimento.

III. Manutenção Aeronáutica

Assim como máquinas utilizadas em processos industriais, as aeronaves também necessitam de

manutenção contínua para operarem corretamente. Para tanto, os fabricantes devem fornecer aos operadores o plano de manutenção da aeronave (*MPD - Maintenance Planning Data*). Este plano de manutenção é elaborado seguindo requisitos mínimos de manutenção e sua aprovação cabe à autoridade aeronáutica do país de matrícula da aeronave. No Brasil, a ANAC é a responsável por esta aprovação.

O MPD fornece a descrição e frequência das tarefas de manutenção, que são executadas em função de três parâmetros:

- FH (*Flight Hours*) - Horas de voo acumuladas pela aeronave;
- FC (*Flight Cycles*) - Ciclos acumulados pela aeronave sendo: 1 ciclo = 1 pouso + 1 decolagem;
- CAL (*Calendar Time*) - “Tempo Calendário”, ou seja, tempo de vida da aeronave.

Estes parâmetros se aplicam tanto à aeronave como um todo quanto a outros elementos como grandes subconjuntos ou componentes com vida limite (*Life Limited Components* ou *Life Limited Parts*). Contudo, cada uma destas variáveis afeta de maneira distinta o ciclo de manutenção dos componentes. Por exemplo, os pneus da aeronave, que sofrem degradação durante pouso e decolagem, mas durante o voo não são afetados. Já o encosto de uma poltrona sofre desgaste apenas enquanto está ocupado.

Os tipos de manutenção são definidos no Quadro I, incluindo periodicidade, descrição e atividades comuns [4] [5].

Os componentes da aeronave também estão incluídos nas inspeções, e são classificados por [6] conforme a seguir:

- Reparáveis: Possuem reparo técnico e economicamente viável. Ao falharem, são substituídos e enviados para reparo.
- Consumíveis: Não possuem viabilidade técnica ou econômica de reparo. Assim, quando há uma falha, são substituídos e descartados.

As substituições podem ocorrer por um componente em estoque, mas também pelo processo de canibalização, que consiste na utilização de um componente removido de outra aeronave. A canibalização se dá por conveniência da malha, quando há uma falha ou por fim de validade de componentes. Porém, a canibalização e a substituição por panes podem causar defasagem entre os componentes e dificultar os checks de letras, que idealmente devem ser sincronizados, isto é, os componentes devem sofrer manutenção no mesmo pacote de serviço. A manutenção sincronizada é vantajosa, uma vez que se aproveita o vencimento da manutenção de vários componentes simultaneamente, economizando tempo e mão de obra. Um exemplo de componentes defasados são um atuador de Leme e um de trem de pouso, ambos com check a cada 24 meses, porém um com vencimento em anos pares e o outro em anos ímpares. Assim, esses checks não estão sincronizados.

Todas estas atividades de manutenção devem ser realizadas o mais rápido possível visando aumentar a despachabilidade da aeronave, que nada mais é que a capacidade de manter a aeronave disponível para operação, uma vez que aeronave parada gera alto custo.

Quadro I - Tipos de manutenção a que uma aeronave deve ser submetida. Fonte: Adaptado de [4] e [5]

Tipo de manutenção	Frequência	Descrição	Atividades
De linha (entre voos)	Alta frequência	Ocorre entre um pouso e uma decolagem visando a verificação geral das boas condições da aeronave.	Conferência dos pneus, ocorrência de impactos por pássaros e atividades semelhantes.
Diária ou de hangar (daily checks-pernoite)	A cada 24 ou 48 horas	Ocorre em situações em que a aeronave possui tempo de espera superior a 6 horas visando revisões mais longas.	Conferência de óleos e fluidos hidráulicos, troca de pneus ou atividades estéticas.
Checks de letras	A	A cada 300 a 800 FH (6 a 8h em solo)	Recomposição de graxa em trens de pouso, flaps e superfícies de comando, entre outras.
	B	Atualmente tarefas inseridas no check A	-
	C	Anual ou bienal (5 a 14 dias em solo – até 6 mil HH)	Desmontagem, pinturas e tarefas controladas por horas de voo e ciclos, com a periodicidade dependendo da utilização que cada operadora aérea faz de sua frota.
	D	A cada 4 a 6 anos (1 a 2 meses em solo – até 50 mil HH)	A aeronave é totalmente desmontada para a recuperação completa de estruturas e interiores, para ser remontada posteriormente, caracterizando a mais complexa manutenção.
Não programada (itens fora de fase ou incidentes)	Sob demanda	Correção de danos causados por eventos inesperados, como colisões com pássaros, balões, pane em algum sistema, entre outros.	-

IV. Proposta de Conceito de Sistema de Manutenção Inteligente

A evolução dos dispositivos IoT e o surgimento da computação em nuvem tem permitido o desenvolvimento de soluções que utilizam Big Data para manutenção preditiva. Diversos fabricantes de aeronaves e componentes aeronáuticos, como motores, já estão desenvolvendo e utilizando sistemas de computação em nuvem para processar dados gerados por seus equipamentos. Dentre eles, um exemplo é a Embraer, que desenvolveu o Ikon, sistema em nuvem para captação, armazenamento e análise de alto volume de dados para manutenção preditiva da família de jatos comerciais. O sistema é totalmente baseado na plataforma da Amazon Web Services (AWS) e foi desenvolvido pela Embraer, com apoio dos fornecedores AWS ProServe e Claranet, utilizando tecnologias de Big Data e Analytics para oferecer um ganho de 96% de produtividade em análise e processamento de dados das aeronaves, estabelecendo novos padrões em serviços e suporte aeronáuticos [7]. Outro exemplo é o Beacon, lançado pela EmbraerX (organização da Embraer orientada a negócios disruptivos), que é uma plataforma projetada para conectar e sincronizar os recursos da indústria, a cadeia de suprimentos do mercado de reposição e os profissionais de serviços aeronáuticos de uma maneira mais ágil e eficiente, a fim de manter a aeronave em operação, é inicialmente voltada a fornecer soluções para aeronaves que necessitam de manutenção não programada [8].

Há também os sistemas de manutenção embarcados que durante e após os voos são utilizados para checar a saúde dos sistemas da aeronave. Um exemplo é o Embraer AHEAD (*Aircraft Health Analysis and Diagnosis*), que permite a extração de informações da aeronave, seja por download utilizando um cartão SD, transferência automática via wi-fi ou rede de satélites iridium [9].

Entretanto, esses sistemas normalmente fornecem apenas dados de sistemas que possuem processamento eletroeletrônico. Além disso, não há nesses sistemas embarcados uma comunicação com o plano de manutenção, de forma que a gestão do controle temporal (horas de voo, ciclos de voo e tempo calendário) e o controle dos componentes acaba sendo realizado por cadernetas de manutenção que contém as informações dos componentes e computadores utilizados pelas equipes de manutenção, o que pode muitas vezes acarretar em atrasos no despacho da aeronave.

Ambos os tipos de sistemas de manutenção melhoram bastante a operação das aeronaves e reduzem o tempo das aeronaves paradas. Contudo, o aumento da demanda por voos e os altos custos trazem a necessidade de melhorar ainda mais a despachabilidade das aeronaves, maximizando o tempo de utilização em voo.

Propõe-se então o conceito de um sistema inteligente para realizar o controle de manutenção das aeronaves. Este sistema será composto pelo hardware aviônico existente na aeronave, integrado a dispositivos adicionados à aeronave, e um software para centralizar e processar as informações dos dispositivos. Vale ressaltar que esta proposta ainda não pode ser validada, visto que a aviação é um setor cuja absorção de novas tecnologias ocorre lentamente.

O principal objetivo deste sistema é reduzir o tempo gasto nas atividades de manutenção, com os três objetivos específicos a seguir:

- Implementar inteligência em componentes da aeronave, inclusive componentes mecânicos que a princípio não possuem processamento eletroeletrônico;
- Integrar sistema embarcado de manutenção com os componentes que possuem inteligência;
- Integrar sistema embarcado de manutenção com possíveis sistemas de manutenção preditiva e de gestão de manutenção externos ou em nuvem.

A. Inteligência em Componentes da Aeronave

Para o desenvolvimento deste objetivo é necessário mapear quais componentes da aeronave devem estar conectados ao sistema de manutenção embarcado. Pode-se dividi-los nas categorias a seguir:

- Componentes eletroeletrônicos: Possuem fonte de energia elétrica para seu funcionamento;
- Componentes mecânicos: Não possuem fonte de energia elétrica.

Mapeadas as categorias dos componentes, é necessário definir como adicionar inteligência aos mesmos. A primeira alternativa que surge é a implementação de IoT, tornando os componentes inteligentes e autônomos. Para isso, seriam adicionados dispositivos de processamento, capazes de armazenar informações do componente, e realizar comunicação sem fio, além de baterias para alimentar cada dispositivo. Assim, poderiam se auto gerenciar e realizar comunicação externa ou com o sistema de manutenção embarcado caso houvesse alguma falha ou necessidade de tarefas de manutenção. Por outro lado, essa alternativa elevaria a complexidade das atividades de manutenção, uma vez que seria necessário garantir todos os dispositivos funcionais. Além disso, a adição desses dispositivos e baterias elevaria o peso da aeronave, o que não é desejável.

Assim, uma opção simplificada é adicionar a cada componente um dispositivo de memória em conjunto com um dispositivo de comunicação sem fio, com mínimo processamento para armazenar suas próprias informações e realizar a comunicação com o sistema embarcado, mantendo uma certa forma de autonomia. Na prática, o dispositivo seria utilizado apenas para armazenar as informações necessárias para as atividades de manutenção, com a ressalva de que o sistema embarcado de manutenção seria o responsável por ler, processar e alterar as informações. É necessário também prover uma fonte de alimentação para o funcionamento dos dispositivos de memória e comunicação. Para isto, cada categoria de componentes será afetada diferentemente, conforme a seguir:

- Componentes eletroeletrônicos: os dispositivos de memória e comunicação aproveitariam a fonte de energia elétrica já utilizada;
- Componentes mecânicos: seria necessário que os dispositivos sejam alimentados via cablagem por uma fonte de energia elétrica pré-existente na aeronave.

B. Integração do Sistema de Manutenção Embarcado com os Componentes da Aeronave

Uma vez mapeados os componentes que receberão os dispositivos de memória e comunicação sem fio, é necessário definir como será a integração entre os mesmos e o sistema embarcado de manutenção.

Como o objetivo do sistema é a redução de tempo das atividades de manutenção em solo, para determinar como será o funcionamento e arquitetura do sistema é importante evidenciar que o sistema não impactará a operação da aeronave, tanto em solo quanto no ar. Assim, o sistema e a comunicação serão segregados dos outros sistemas da aeronave, de forma a evitar concorrência por recursos.

Assim, o funcionamento do sistema será definido a partir das fases de operação da aeronave, representadas no fluxograma da Figura 2. A partir das fases de operação, levanta-se as tarefas do sistema em cada fase:

- **Manutenção:** Imediatamente após o pouso, o sistema embarcado de manutenção realiza comunicação com os componentes ligados ao sistema, através de protocolos M2M (*machine-to-machine*), realizando a leitura das informações atuais e atualização das informações que devem estar contidas na memória dos componentes; Durante a manutenção, o sistema gera um relatório contendo um extrato das condições dos componentes, já emitindo alerta em caso de necessidade de reparo ou reposição de algum componente; O sistema informa também no relatório os componentes que estão com prazo de revisão se aproximando, sendo estes relatórios gerados através de protocolos M2H (*machine-to-human*); Durante a manutenção o sistema realiza checagens nos componentes, de forma a garantir que não há falhas nos mesmos.
- **Preparação para Voo:** O sistema realiza leitura das informações dos componentes, por meio de protocolos M2M, que serão processadas durante o resto da operação.

- **Decolagem, Voo e Pouso:** Nestas fases o sistema processará as informações dos componentes, porém não haverá comunicação com os componentes; as informações processadas serão utilizadas após o pouso para as atividades de manutenção.

A arquitetura do sistema é definida conforme os conceitos levantados de comunicação entre os componentes e o sistema central. Assim, a comunicação dos componentes ocorre apenas com o sistema central, que processa todas as informações. A Figura 1 apresenta um esboço resumido de como seria a arquitetura do sistema.

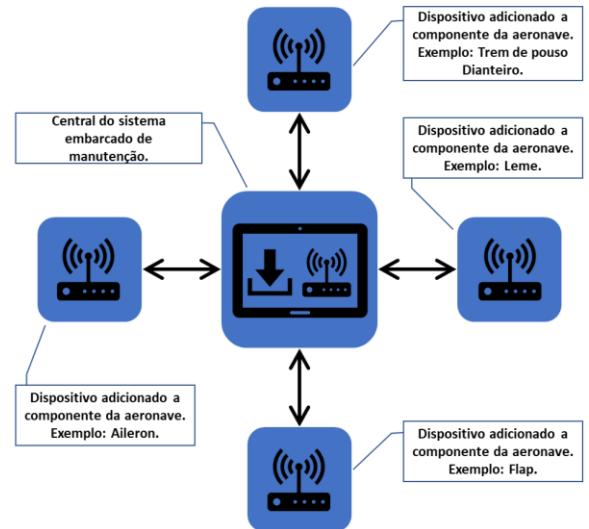


Figura 1- Arquitetura do sistema. Fonte: Autor.

Supondo que o trem de pouso se aproxime da quantidade de ciclos de voo limite, e flap e aileron se aproximem do tempo de voo limite, o sistema cria um alerta e envia para o destino avisando a equipe de manutenção que há necessidade de manutenção para estes componentes.

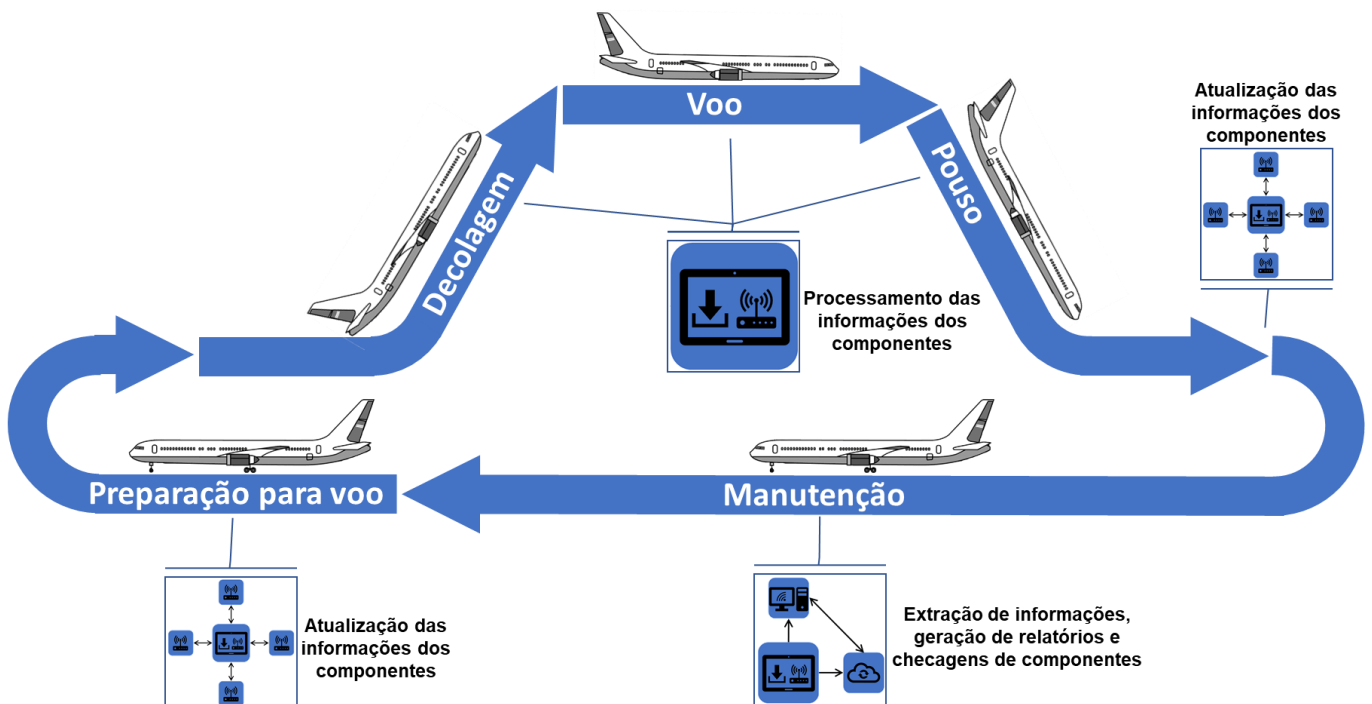


Figura 2 - Fluxograma das fases de operação de uma aeronave. Fonte: Autor.

C. Integração do Sistema de Manutenção Embarcado com outros Sistema de Manutenção

Visando tornar a manutenção ainda mais ágil, após o pouso, o sistema poderia realizar a comunicação com o sistema de gestão da manutenção local da operadora, por meio de protocolos M2M, e com outros sistemas em nuvem, de forma a atualizar os bancos de dados com estatísticas e informações dos componentes e da aeronave. Essas informações podem ser utilizadas pela operadora para melhorar a sua gestão de estoques, reduzindo custos, e para previsão de demanda de reposição de componentes. Além disso, os dados disponibilizados em nuvem podem ser utilizados pelos fabricantes para aplicar melhorias nas aeronaves, o que poderia gerar mais economia e segurança. A Figura 3 ilustra como ocorreria a comunicação.

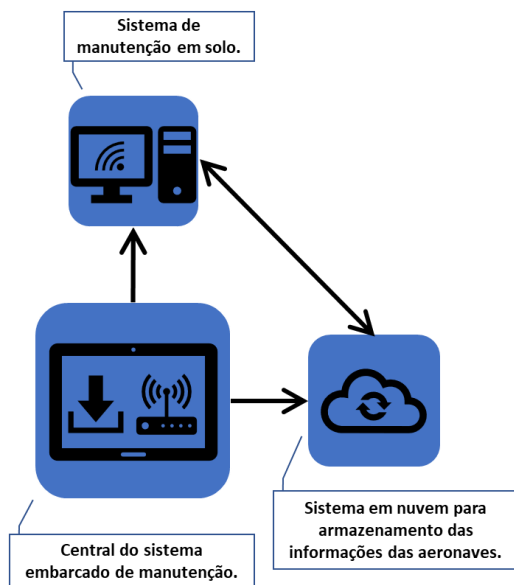


Figura 3- Fluxograma de comunicação entre os sistemas. Fonte: Autor.

V. Conclusão

A grande demanda por viagens aéreas exige das companhias um controle rígido das tarefas de manutenção. Todavia, há um custo muito alto devido a atrasos no despacho de aeronaves, causando insatisfação dos clientes. Por outro lado, a evolução nos dispositivos embarcados e a possibilidade de utilizar IoT traz soluções que podem se mostrar viáveis para agilizar as tarefas de manutenção e evitar os prejuízos.

A partir dessas tecnologias e tomando como base soluções previamente desenvolvidas, como citado na seção IV, este trabalho propôs a integração de dispositivos IoT a sistemas embarcados na aeronave e elaborou o conceito da arquitetura de um sistema para realizar o controle da manutenção. Tal conceito baseou-se na utilização de sistemas embarcados pré-existentes na aeronave, como mencionado acima, e adição de dispositivos de memória e comunicação em determinados componentes da aeronave, além da implementação da comunicação com sistemas de manutenção em solo.

Para trabalhos futuros, sugere-se pesquisar possíveis hardwares a serem utilizados na solução para armazenamento de memória (flash, eeprom, etc.) e comunicação sem fio (Lorawan, zigbee, etc.) bem como

implementar um protótipo do sistema em aeronaves de menor porte ou em veículos terrestres visando sua validação. Como este trabalho trata do conceito de um novo sistema de manutenção, as análises de segurança e proteção, bem como impactos e interface com outros sistemas da aeronave, devem ser feitos a posteriori pelas equipes competentes.

VI. Referências

- [1] R. O. d. Santos, K. H. Cunha, E. d. L. Junior, A. B. A. Farias e A. C. A. d. O. Dantas, "Internet das Coisas Aplicada ao Mercado: revisão da literatura," *VI Encontro Internacional de Jovens Investigadores*, Setembro 2019.
- [2] Amazon, "Amazon Web Services (AWS)," 2021. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/pt/iot/>. [Acesso em 21 Abril 2021].
- [3] T. Ramalingam, C. Benaroya e S. F. Wamba, "Assessing the Potential of IoT in Aerospace," *Conference on e-Business, e-Services and e-Society*, Outubro 2017.
- [4] ABEAR, "Como é feita e qual é a periodicidade de manutenção de um avião?," 21 Outubro 2019. [Online]. Available: <https://www.abear.com.br/imprensa/agencia-abear/noticias/como-e-feita-e-qual-e-a-periodicidade-de-manutencao-de-um-aviao/#:~:text=O>. [Acesso em 13 Abril 2021].
- [5] F. P. F. Lavarini, R. F. Siqueira e R. L. R. d. Oliveira, *Análise do Custo de Manutenção x Custos de Leasing de uma aeronave Boeing 737-700*, Belo Horizonte, MG, 2020.
- [6] R. Botter and L. Fortuin, "Stocking strategy for service parts: a case study.," *BETA Publicatie: Technische Universiteit Eindhoven*, vol. v.33, 1998.
- [7] Embraer S.A., "embraer.com," 19 Junho 2019. [Online]. Available: <https://www.embraer.com/br/pt/noticias?slug=1206610-embraer-lanca-sistema-de-manutencao-preditiva-ikon-com-big-data-e-analytics-baseado-em-nuvem-da-amazon-web-services>. [Acesso em 30 Maio 2021].
- [8] EmbraerX, "embraerx.embraer.com," 07 Junho 2019. [Online]. Available: <https://embraerx.embraer.com/br/pt/noticias?slug=1206634-embraerx-lanca-plataforma-de-negocios-beacon-para-aprimorar-o-ecossistema-de-servicos-aeronauticos>. [Acesso em 12 Junho 2021].
- [9] Embraer S.A., "embraer.com," 16 Maio 2011. [Online]. Available: <https://embraer.com/br/pt/noticias?slug=780-embraer-lanca-sistema-ahead-para-os-jatos-phenom>. [Acesso em 14 Julho 2021].
- [10] J. G. d. Oliveira, P. A. I. Santos, C. F. d. Muijder e R. M. Marques, "Internet Das Coisas E Privacidade: Uma Revisão Sistemática Da Literatura," *XIX Encontro Nacional De Pesquisa Em Ciência Da Informação*, Outubro 2018.