

INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE NA INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA:

ESTUDO DO PROJETO 400HZ + PCA EM CONFINS

AUTORA

Mayara Mayumi Tsujimoto

ORIENTADORA

Prof^a Me. Célia de Lima Pizolato

COORIENTADORA

Prof^a Me. Wanny Arantes Bongiovanni Di Giorgi

RESUMO

Este artigo aborda a implementação do projeto 400Hz + PCA no Aeroporto Internacional de Confins, destacando a eficiência energética e a sustentabilidade observadas com a execução da iniciativa como respostas à crescente demanda por voos e às preocupações ambientais. A pesquisa é conduzida por meio de análises de literatura e entrevista com o gerente de negócios aeroportuários e cargas no aeroporto de Confins - MG, responsável pela implementação da abordagem estudada. Com o intuito de avaliar o impacto e a eficácia dessa abordagem na redução do consumo de energia e das emissões de gases de efeito estufa. Os principais achados indicam que a adoção das tecnologias 400Hz e PCA permite que as aeronaves desliguem seus motores auxiliares enquanto estão em solo, resultando em significativa economia de combustível e menores emissões de poluentes. Além disso, o projeto se alinha aos objetivos globais de neutralidade de carbono, ao substituir a unidade auxiliar de energia por eletricidade da rede do aeroporto, reforçando o compromisso do aeroporto com práticas sustentáveis. Os resultados sugerem que a continuidade e a ampliação de iniciativas como essa são essenciais para mitigar os impactos ambientais das operações aeroportuárias. Este estudo contribui para a compreensão da importância da sustentabilidade no setor da aviação e propõe um modelo que pode ser replicado em outras instituições.

Palavras-chave: Infraestrutura aeroportuária; Eficiência energética; Emissões de gases de efeito estufa.

ABSTRACT

This paper examines the implementation of the 400Hz + PCA project at Confins International Airport, highlighting the energy efficiency and sustainability observed with the implementation of the initiative as a response to the growing demand for flights and environmental concerns. The research was conducted through literature reviews and an interview with the airport business and cargo manager at Confins Airport, who is responsible for implementing the studied approach. The aim was to evaluate the impact and effectiveness of this approach in reducing energy consumption and greenhouse gas emissions. The main findings indicate that the adoption of 400Hz and PCA technologies allows aircraft to turn off their auxiliary engines while on the ground, resulting in significant fuel savings and lower pollutant emissions. In addition, the project aligns with global carbon neutrality goals by replacing the auxiliary power unit with electricity from the airport grid, reinforcing the airport's commitment to sustainable practices. The results suggest that the continuity and expansion of initiatives like this are essential to mitigate the environmental impacts of airport operations. This study contributes to the understanding of the importance of sustainability in the aviation sector and proposes a model that can be replicated in other institutions.

Keywords: Airport infrastructure; Energy efficiency; Greenhouse gas emissions.

INTRODUÇÃO

A alta demanda por voos e a crescente preocupação com questões ambientais têm colocado os aeroportos no centro das discussões sobre sustentabilidade. O aumento do tráfego aéreo intensifica os efeitos ambientais das operações aeroportuárias, como o consumo de energia, a emissão de poluentes e a geração de resíduos (Henkes e Pádua, 2017). Nesse cenário, torna-se essencial que os aeroportos adotem práticas que conciliam desenvolvimento econômico e preservação ambiental.

A infraestrutura aeroportuária não se limita às fases de construção ou expansão, mas envolve também a gestão eficiente dos recursos, com destaque para o fornecimento de energia às aeronaves em solo. A eficiência energética é

um fator crucial para reduzir as emissões de carbono e o uso de combustíveis fósseis, contribuindo para a mitigação de impactos ambientais.

Diante desse desafio, diversos aeroportos ao redor do mundo vêm adotando soluções inovadoras, como o fornecimento de energia elétrica em 400 Hz, que seria a frequência padrão utilizada pelas aeronaves para o funcionamento de seus sistemas quando estão em solo, e o sistema PCA (ar pré-condicionado) (figura 1). Essas tecnologias permitem que as aeronaves mantenham seus sistemas ativos durante o solo sem a necessidade de utilizar as unidades auxiliares de potência (APU), reduzindo o consumo de combustível e as emissões de poluentes.

Figura 1: GPU 400Hz + PCA acoplado em aeronave da Azul no Aeroporto Internacional de Confins.



Fonte: Geovane Medina (2024).

Conforme apresentado na Figura 1, o sistema 400Hz de transformação de energia encontra-se acoplado à ponte de embarque, enquanto o duto de transporte de ar pré condicionado é localizado em contato com o solo. Tal recurso permite compreender de forma visual o projeto em estudo.

Contudo, a pesquisa problematiza o desafio de conciliar a alta demanda por voos e o conseqüente crescimento do tráfego aéreo com a necessidade de reduzir os impactos ambientais gerados pelas operações aeroportuárias, como o elevado consumo de energia, a emissão de gases de efeito estufa e a poluição sonora. Nesse contexto, questiona-se como os aeroportos podem adotar práticas que aliem desenvolvimento econômico e eficiência operacional a estratégias de sustentabilidade, sendo o sistema 400Hz + PCA apresentado como alternativa viável para diminuir o uso de combustíveis fósseis, reduzir custos e mitigar danos ambientais.

OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo geral avaliar o impacto e a eficácia da implementação do sistema 400Hz + PCA no Aeroporto Internacional de Confins, destacando sua contribuição para a redução do consumo de energia, a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e o fortalecimento das práticas de sustentabilidade aeroportuária.

Como objetivos específicos, busca-se investigar de que maneira o sistema substitui o uso das unidades auxiliares de potência e de outros equipamentos movidos a combustíveis fósseis durante o período em solo, bem como analisar os benefícios obtidos em termos de economia de combustível e redução da emissão de poluentes. Além disso, propor a replicabilidade dessa iniciativa em outros aeroportos, de forma a reforçar sua relevância para o setor da aviação.

METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa de natureza exploratória e descritiva, pois busca compreender os impactos ambientais e econômicos gerados pela implementação do sistema 400Hz + PCA no Aeroporto Internacional de Confins, avaliando sua eficiência energética. A pesquisa qualitativa permite analisar percepções, relações e significados atribuídos a

fenômenos sociais e tecnológicos (Cardano, 2017), o que a torna adequada para estudos que envolvem sistemas aeroportuários e práticas sustentáveis.

A investigação foi conduzida por meio de revisão bibliográfica e entrevista semiestruturada realizada com o gestor executivo de negócios aeroportuários e cargas do Aeroporto Internacional de Confins, profissional responsável pela implantação do sistema 400Hz + PCA. A escolha do entrevistado ocorreu de forma intencional, por se tratar de participante com conhecimento técnico especializado e envolvimento direto no processo analisado, o que caracteriza amostragem proposital, comum em estudos qualitativos (Minayo, 2010).

O processo de contato e preparação da entrevista ocorreu ao longo de vinte e um dias, por meio de comunicação online, utilizada para o envio do roteiro de perguntas, compartilhamento de materiais explicativos e esclarecimento de dúvidas complementares. A entrevista síncrona foi realizada em 26 de setembro de 2024, com duração aproximada de trinta minutos, e ocorreu nas dependências da FATEC Guarulhos, com a mediação da Professora Mestre Andreza Santos Feitoza. Todos os dados e informações fornecidos foram utilizados exclusivamente para fins acadêmicos, com o consentimento do participante, preservando-se aspectos éticos e de confidencialidade.

Conforme Marconi e Lakatos (2011), a entrevista é uma forma de interação social planejada entre pesquisador e participante, permitindo acesso a informações que dificilmente seriam obtidas por outros instrumentos, como percepções, experiências e interpretações construídas pelos sujeitos. Entre as diferentes modalidades de entrevista, destacam-se as estruturadas, semiestruturadas, abertas, informais e focalizadas. Neste estudo, adotou-se a entrevista semiestruturada, que combina perguntas previamente definidas com liberdade para explorar respostas emergentes, possibilitando maior flexibilidade na construção de dados relevantes (Batista; Matos; Nascimento, 2017). A entrevista foi realizada de forma particular e online, formato que garante

acessibilidade ao participante especialista, mantendo o planejamento e a ética exigidos nessa técnica.

A pesquisa configura-se predominantemente como estudo de caso, pois analisa de forma aprofundada a implementação do sistema 400Hz + PCA no Aeroporto Internacional de Confins. Segundo Yin (2015), o estudo de caso possibilita examinar fenômenos contemporâneos inseridos em seu contexto real, especialmente quando envolvem infraestrutura complexa, como o ambiente aeroportuário.

No entanto, o trabalho também apresenta elementos de estudo multicase, ao comparar a adoção dessa tecnologia em aeroportos internacionais de referência, como Frankfurt e San Diego. Conforme Stake (2006), o estudo multicase permite analisar similaridades e diferenças entre contextos distintos, ampliando a compreensão da aplicabilidade de experiências e soluções em realidades diversas. Assim, embora o foco central seja o Aeroporto de Confins, a análise comparativa reforça a discussão sobre a replicabilidade do projeto, mantendo a pesquisa como estudo de caso predominante.

Por fim, os dados coletados foram analisados de forma qualitativa e interpretativa, buscando identificar convergências entre literatura, aplicação prática e benefícios ambientais resultantes do sistema 400Hz + PCA, fortalecendo o rigor metodológico da pesquisa.

DESENVOLVIMENTO

A inovação, conforme definido pelo Sebrae (2023), refere-se à introdução de algo novo ou à melhoria de algo já existente, e desempenha um papel crucial na sustentabilidade, que de acordo com *WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENTAL AND DEVELOPMENT* (WCED) (1987) busca atender às necessidades atuais sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem suas próprias demandas, refletindo a importância de proteger o meio ambiente. Como expresso na legislação brasileira Lei nº 6.938, de 31 de

agosto de 1981 (art. 3º, I), “entende-se por meio ambiente, o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”. No entanto, as atividades humanas, especialmente as relacionadas à aviação, têm gerado impactos significativos nesse meio, afetando a fauna, flora, recursos hídricos e minerais, com destaque para a poluição atmosférica e sonora, que se tornaram problemas críticos.

Esse cenário está diretamente ligado ao aquecimento global, que se refere ao aumento anormal da temperatura média do planeta, impulsionado pelas ações antrópicas. Desde a Revolução Industrial, a liberação de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e CFCs (clorofluorcarbonetos), tem contribuído para o aquecimento da atmosfera e dos oceanos (Portal de Educação Ambiental de São Paulo, 2023). E a queima de combustíveis fósseis para geração de energia é uma das principais atividades que intensificam esse processo, produzindo gases poluentes, incluindo o dióxido de carbono (CO₂), amplamente reconhecido como um dos principais responsáveis pelo aquecimento global, e o monóxido de carbono (CO), que é tóxico e venenoso, contribuindo para o aumento da poluição atmosférica (Vianna, 2007).

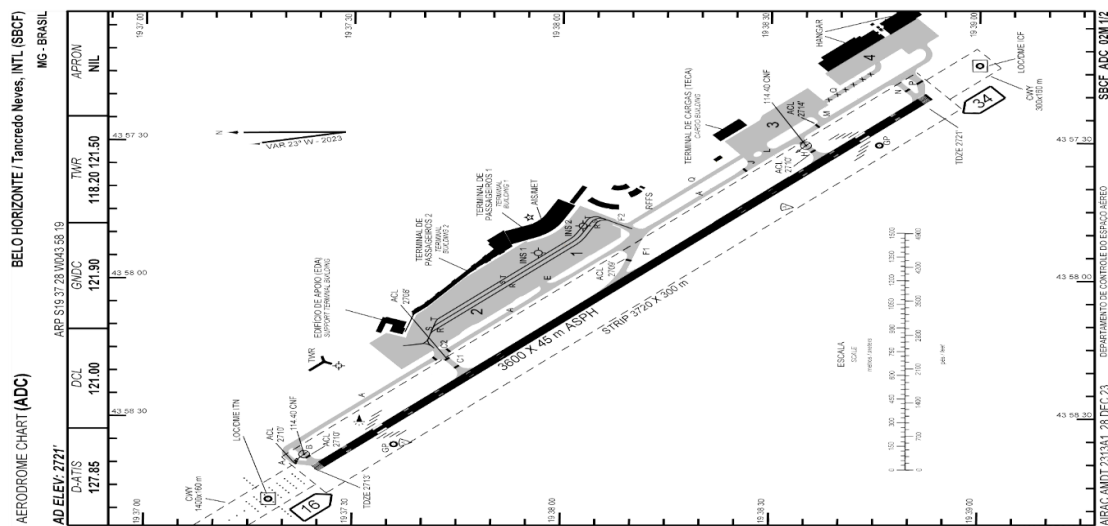
Nesse contexto, a eficiência energética torna-se fundamental. De acordo com Gimenes e Saidel (s.d), a eficiência energética pode ser conceitualizada como “reduzir o consumo de energia provendo o mesmo nível de serviço energético ou manter o consumo e aumentar o oferecimento do serviço energético.” A transição para fontes de energia limpa, que incluem recursos renováveis como energia solar, hídrica, eólica, e várias outras, é uma solução essencial para mitigar os impactos ambientais e promover um desenvolvimento mais sustentável.

Portanto, é urgente adotar uma abordagem mais integrada e inovadora em todas as áreas de desenvolvimento, priorizando a eficiência energética e a utilização de energias limpas, particularmente na gestão e operação das

infraestruturas aeroportuárias, onde a implementação de soluções sustentáveis pode gerar grandes benefícios econômicos e ambientais.

Para entender a importância dessa abordagem, é fundamental reconhecer que a infraestrutura aeroportuária (figura 2) é composta por um conjunto de aparatos físicos, divididos entre o lado terra, que abrange áreas de apoio, infraestrutura básica e sistema de acesso e estacionamento de veículos, e o lado ar, que inclui pistas de pouso e decolagem, faixas de pista, pistas de taxiamento e o pátio de estacionamento de aeronaves (BH Airport s.d).

Figura 2: Carta Aeronáutica do Aeroporto internacional de Confinis



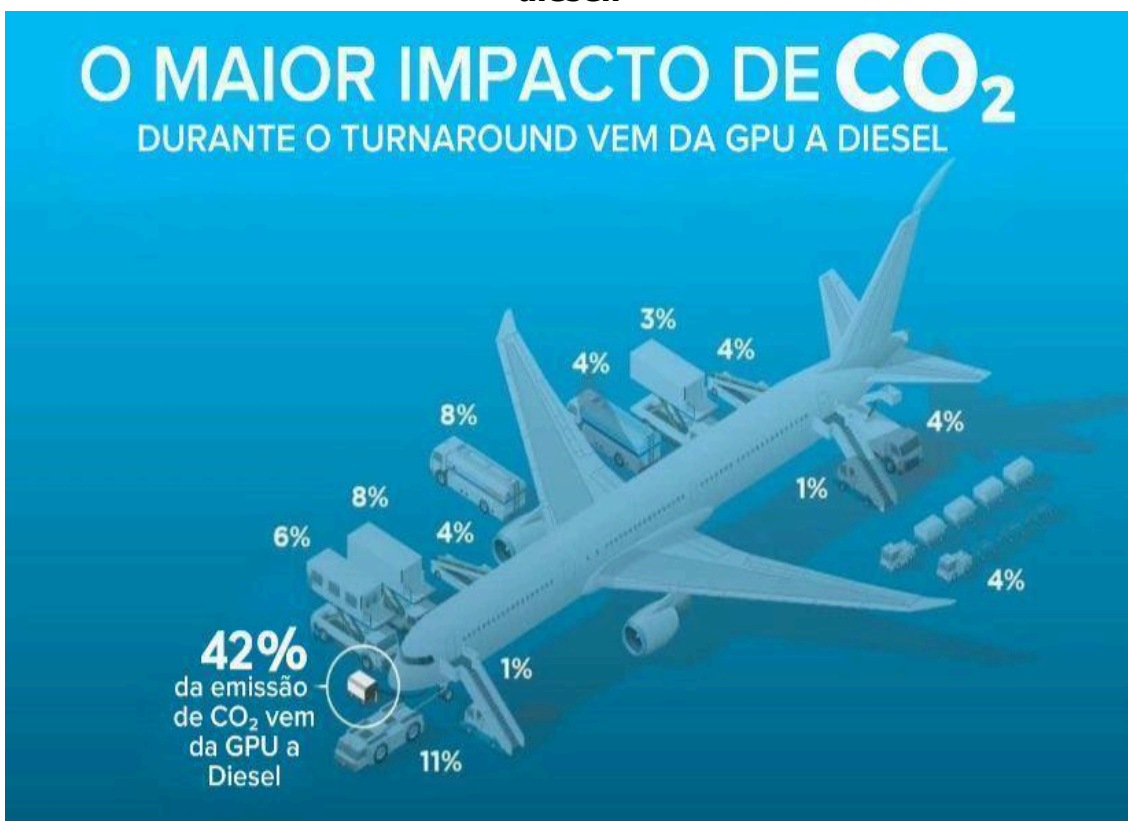
Fonte: Departamento de Controle do Espaço Aéreo (2023).

Como demonstrado na Figura 2, o aeroporto conta com uma extensa pista constituída por quatro possíveis regiões de parada para aeronaves. Portanto, além de demandar uma grande quantidade de energia para que seu desempenho ocorra da melhor forma, também é necessária uma gestão prestativa e sincronizada dessa energia. Logo, é importante termos uma alternativa de eficiência energética avançada para alcançarmos tal objetivo.

Neste artigo, o foco será o lado ar da infraestrutura aeroportuária, especificamente o pátio de estacionamento das aeronaves, onde performa o sistema de alimentação de energia para aeronaves no solo. Enquanto a aeronave não está no ar, ela permanece no pátio de estacionamento para manutenções e aguardando seu tempo de ação, esse período é conhecido

como o *turnaround* (Rahul Sharma, 2014). Para realizar essas manutenções, a aeronave precisa usufruir de um sistema de alimentação de energia no solo, e muitas vezes é utilizada a APU (*Auxiliar Power Unit*), uma fonte auxiliar de energia autocontida que funciona pela queima de querosene de aviação (Greer, 2021). No entanto, as GPUs (*Ground Power Units*) surgem como uma alternativa eficiente, pois são unidades móveis e independentes, capazes de fornecer energia necessária enquanto a aeronave permanece estacionada, sem depender da APU. Apesar dessa vantagem, as GPUs tradicionais ainda consomem combustível para gerar energia (figura 3). Nesse contexto, a GPU elétrica de 400Hz tem se destacado como uma solução mais sustentável, especialmente quando utilizada em conjunto com o PCA (ar pré-condicionado), oferecendo maior eficiência energética e redução de emissões no ambiente aeroportuário.

Figura 3: O maior impacto de CO₂ durante o turnaround vem da GPU a diesel.



Fonte: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (2023). Traduzido pela autora.

A Figura 3 evidencia que as GPUs a diesel são responsáveis pela maior emissão de CO₂ durante o *turnaround*, reforçando a necessidade de soluções mais sustentáveis no fornecimento de energia às aeronaves.

Sustentabilidade em Aeroportos

Diversos aeroportos globais, que recebem milhões de passageiros anualmente, estão se tornando mais conscientes sobre a necessidade de práticas sustentáveis. Com ações que vão de materiais de construção sustentáveis a sistemas de reciclagem e a instalação de painéis solares, muitos desses aeroportos estão se empenhando para adotar uma abordagem mais ecológica (Santos; Silva, 2018)

Neste contexto, o Aeroporto Internacional de San Diego, o Aeroporto de Changi em Singapura, o Aeroporto de Frankfurt e, no Brasil, o Aeroporto Internacional de Confins se destacam.

O Aeroporto Internacional de San Diego, por sua vez, conta com um extenso programa de sustentabilidade que define objetivos e estratégias independentes, com metas a serem atingidas até 2035 em várias frentes. Este programa consiste em sete planos distintos, que envolvem a administração da água, eficiência no uso de energia, neutralização de carbono, transporte sustentável, eliminação de resíduos, adaptação às mudanças climáticas e incentivo à biodiversidade (*San Diego International Airport*).

O Aeroporto de Frankfurt, por sua parte, foi um dos primeiros a implementar o sistema 400Hz + PCA, estabelecendo-se como um exemplo de sustentabilidade ao adotar iniciativas como a administração ambiental da água, edificações sustentáveis e programas dedicados à preservação da biodiversidade (Makulla, 1998). Essas ações demonstram um compromisso cada vez maior com a proteção do meio ambiente.

No Brasil, o Aeroporto Internacional de Confins se sobressai por suas ações voltadas à sustentabilidade. Em 2023, foi reconhecido pelo terceiro ano seguido como Aeroporto Verde na *Annual Assembly Conference & Exhibition ACI-LAC*. Ademais, conquistou o prêmio da ANAC por ser o aeroporto de grande

porte mais sustentável do país e, ainda neste ano, recebeu a certificação Nível 3 do Programa *Airport Carbon Accreditation* pela ACA. Essas realizações demonstram o compromisso do aeroporto com práticas sustentáveis e oferecem um modelo para outras instituições em todo o mundo.

Essas iniciativas sustentáveis estão causando uma grande mudança, afetando não somente a aviação, mas também toda a área aeroportuária. Adoções como a diminuição das emissões de carbono, o uso de fontes de energia renováveis e a criação de sistemas de gestão de resíduos estão se tornando cada vez mais frequentes, demonstrando uma transformação ampla que tem como objetivo adaptar as operações dos aeroportos às necessidades de um futuro mais ecológico (Fernandes, 2019).

Além disso, essas práticas não somente melhoraram a eficiência operacional dos aeroportos, como também beneficiaram a população ao redor, criando um ambiente mais saudável e sustentável. Iniciativas como o desenvolvimento de uma infraestrutura verde ajudam a integrar o aeroporto à comunidade, proporcionando uma convivência mais saudável.

Aeroporto de Confins

O Aeroporto Internacional Tancredo Neves, popularmente chamado de Aeroporto de Confins, localiza-se em Confins, Minas Gerais, a cerca de 40 km da capital mineira, Belo Horizonte. Inaugurado em 1984, esse aeroporto conta com uma infraestrutura aeroportuária sólida, incluindo uma pista de 3.600 metros, capacitada para receber aviões de grande porte, como o Boeing 777 e o Airbus A330, evidenciando sua importância no lado ar (BH Airport, s.d)

No lado terra, o aeroporto possui um terminal de passageiros contemporâneo e organizado, segmentado em zonas distintas para voos domésticos e internacionais, com a habilidade de atender milhões de viajantes por ano. As acomodações abrangem lojas, opções de restauração, serviços de câmbio e áreas de espera confortáveis, todas elaboradas para oferecer uma experiência agradável e eficiente aos passageiros.

Além de suas qualidades estruturais, o Tancredo Neves é essencial para a interligação da área centro-oeste do Brasil. Ele atua como um ponto crucial para o transporte aéreo, tanto de pessoas quanto de mercadorias, emergindo como um hub relevante para companhias aéreas, que disponibilizam voos diretos para diversas capitais do país e destinos no exterior. Essa relevância desempenha um papel significativo no crescimento econômico da região (Pereira et al. sd.)

O Aeroporto Internacional de Confins, localizado em Minas Gerais, enfrenta importantes questões ambientais e operacionais, como a liberação de gases que contribuem para o efeito estufa, a poluição atmosférica, o barulho excessivo, a gestão adequada de resíduos e a preservação da biodiversidade. Ademais, ele enfrenta um elevado consumo de energia, uma forte dependência de combustíveis fósseis e possui uma capacidade restrita, em razão do aumento na quantidade de voos.

Entretanto, o aeroporto está dedicado a aprimorar seu desempenho e, a cada dia, torna-se mais eficaz nessas funções, implementando estratégias e inovações tecnológicas que buscam diminuir seu impacto ambiental e agilizar suas operações.

Projeto 400Hz + PCA no Aeroporto de Confins

A iniciativa de introduzir um sistema de energia de 400Hz e ar-pré-condicionado (PCA) (figura 4) no Aeroporto de Confins marca um avanço importante na administração da energia consumida por aviões quando estão no solo. As aeronaves utilizam eletricidade em uma frequência de 400 Hz (Silva, 2015), em comparação com os 60Hz das redes elétricas tradicionais que suprem a maioria dos aparelhos residenciais (Cunha, 2010). Essa frequência elevada é fundamental para garantir o funcionamento adequado dos circuitos e sistemas da aeronave durante o estacionamento.

Figura 4: 400Hz + PCA ambos acoplados em aeronave da Gol no Aeroporto Internacional de Confins.



Fonte: Geovane Medina (2024).

Enquanto a Figura 1, apresentada na introdução, oferecia uma visão mais próxima do sistema, a figura 4 traz uma perspectiva mais ampla e detalhada, destacando o duto de transporte de ar pré-condicionado em contato com o solo e o fornecimento de energia em 400Hz acoplado à ponte de embarque e conectado na parte frontal da aeronave. Essa representação, captada sob outro ângulo e com uma aeronave distinta, reforça a compreensão prática da implementação do projeto 400Hz + PCA.

Para a relevância dessa iniciativa, é necessário lembrar que, historicamente, as aeronaves equipam-se com um motor adicional, denominado APU (Unidade de Potência Auxiliar), que utiliza o combustível da própria aeronave, o querosene de aviação (QAV), para produzir energia elétrica e climatização enquanto permanecem estacionadas. O APU, situado na seção traseira da aeronave, tem a função de garantir que os sistemas funcionais continuem ativos em solo. No entanto, essa abordagem implica na queima de combustíveis fósseis, resultando em emissões e altos custos operacionais (Kinsey, 2012).

O projeto visa desligar o APU enquanto a aeronave permanece parada, utilizando em seu lugar uma fonte de energia elétrica de 400 Hz que vem da rede do aeroporto, em conjunto com o PCA. O sistema denominado GPU (*Ground Power Unit*) é fundamental nesse procedimento, pois transforma a energia de 60 Hz da rede elétrica em 400 Hz, que é apropriada para as exigências das aeronaves.

Ao adotar essa estratégia, o aeroporto diminui sua dependência de combustíveis fósseis, como o querosene, ao mesmo tempo em que incentiva uma alternativa energética mais sustentável. Essa mudança marca um progresso importante rumo a métodos mais sustentáveis na aviação, atendendo às crescentes exigências por eficiência energética e diminuição das emissões de carbono.

Impacto Ambiental e Operacional

No Aeroporto de Confins, em Minas Gerais, a energia elétrica é fornecida pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) por meio do Mercado Livre, onde a energia elétrica adquirida é 100% sustentável. Esta energia provém de fontes renováveis, incluindo centrais hidroelétricas e solares, que são muito eficazes na redução da pegada de carbono do aeroporto.

A infraestrutura elétrica do aeroporto inclui subestações e quadros elétricos para garantir as operações com essa energia estável. A energia elétrica é fornecida na rede CEMIG em um sistema integrado e interligado de diversas fontes. Portanto, o aeroporto garante que 100% da energia elétrica é de origem sustentável e se alinha a práticas ambientais responsáveis (CEMIG, 2022).

Custos e Benefícios

De acordo com o gestor executivo Geovane Medina do aeroporto de Confins (2024) o projeto 400Hz + PCA no Aeroporto de Confins é um projeto muito útil para controle de tráfego aéreo e aviação. O modelo de negócios foi projetado para cobrar das companhias aéreas uma taxa por hora pelo uso do sistema. Seu investimento inicial para a implementação deste sistema foi de 28

milhões de dólares. Com uma margem de lucro em torno de 70%, este projeto é muito rentável. Além disso, esta solução proporciona 60% da receita sustentável do aeroporto, mostrando a sua importância não só economicamente, mas também para o meio ambiente.

As companhias aéreas, por sua vez, têm uma redução de 60% nos custos operacionais relacionados com eletricidade e ar-condicionado quando o avião pousa. Esta redução de custos representa uma enorme poupança que é muito benéfica para as companhias aéreas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo confirmam que os objetivos propostos foram alcançados, uma vez que a análise da implementação do sistema 400Hz + PCA no Aeroporto Internacional de Confins evidenciou ganhos significativos em termos de eficiência energética, redução de custos operacionais e mitigação de impactos ambientais. A substituição do uso da APU pelo fornecimento elétrico sustentável demonstrou ser uma estratégia eficaz para reduzir o consumo de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo em que gerou retorno econômico expressivo para o aeroporto e para as companhias aéreas.

Dessa forma, o projeto consolida-se como uma referência em práticas de sustentabilidade aeroportuária e reforça a viabilidade de modelos de gestão que conciliam rentabilidade e responsabilidade socioambiental. No campo científico, esta pesquisa contribui para o aprofundamento da discussão sobre a transição energética no setor aéreo, oferecendo dados e reflexões que podem embasar novas políticas públicas e estratégias corporativas voltadas à neutralidade de carbono.

Sugere-se, como continuidade, a realização de estudos comparativos em outros aeroportos brasileiros e internacionais, a fim de avaliar a replicabilidade do modelo em diferentes contextos e identificar variáveis técnicas, econômicas e ambientais que influenciam sua eficácia. Ademais, futuras pesquisas podem

explorar a integração desse sistema a outras inovações emergentes, como aeronaves elétricas e o uso de hidrogênio, ampliando a compreensão sobre os caminhos possíveis para uma aviação mais sustentável.

REFERÊNCIAS

ANAC. **ANAC premia Confins (BH) como o aeroporto de grande porte mais sustentável do Brasil.** Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2023/anac-premia-confins-bh-como-o-aeroporto-de-grande-porte-mais-sustentavel-do-brasil>>. Publicado em: 21 jun. 2023. Acesso em: 18 out. 2024.

BATISTA, Eraldo Carlos. MATOS, Luís Alberto Lourenço. NASCIMENTO, Alessandra Bertasi. **A entrevista como técnica de investigação na pesquisa qualitativa.** Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, v.11, n.3, p.23-38, TRI III 2017. ISSN 1980-7031

BH airport. **Demonstrações Financeiras acompanhadas ao relatório do auditor independente nº243KO-059-PB.** Disponível em: <https://www.bh-airport.com.br/SiteAssets/documentos/df/DF_2023.pdf>. Publicado em: 31 out. 2023. Acesso em: 18 out. 2024.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação. Diário Oficial da União, 1981. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 18 out. 2024.

CARDANO, Mario. Manual de pesquisa qualitativa. **A contribuição da teoria da argumentação.** Tradução: Elisabeth da Rosa Conill. Petrópolis, Rio de Janeiro: Vozes, 2017.

CEMIG. **Certificado de energia renovável – cemig rec.** 2022. Disponível em: <<https://cemig.com.br/certificado-de-energia-renovavel/>>. Acesso em: 02 nov. 2024

CUNHA, L. 2010. **Memória da eletricidade.** pág 58-65. Disponível em: <https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/memoria_fevereiro_10.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2024.

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Carta Aeronáutica do Aeroporto internacional de Confins.** 2023. Disponível em: <<https://aisweb.decea.mil.br/?i=aerodromos&codigo=SBCF>>. Acesso em: 02 nov. 2024.

FERNANDES, Arthur Neiva. 2019. **Avaliação da eficiência carbono-energética de aeroportos brasileiros com aplicação de análise por envoltória de dados (DEA)**. Disponível em:
<<http://repositorio.unb.br/handle/10482/35838>>. Acesso em: 9 nov. 2024.

GIMENIS, André; Saidel, Marco. **Conceitos em Eficiência Energética**. sd
Disponível em:
<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4008334/mod_resource/content/1/Conceitos%20em%20Efici%C3%A7%C3%A3o%20Energ%C3%A9tica%20-%20partes%201%20e%202.pdf>. Acesso em: 17 out. 2024.

GREER F et al. 2021. **Reduce aviation's greenhouse gas emissions through immediately feasible and affordable gate electrification**. Vol 16. Disponível em:
<<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abf7f1/meta>>. Acesso em 02 abril. 2025.

HENKES, Jairo; Pádua, Adailson. **Desenvolvimento sustentável na aviação brasileira: histórico, principais avanços e desafios**. *Revista de Gestão Sustentável Ambiental*. Florianópolis. v. 6, n. 2, p. 534-552, jul./set. 2017.
Disponível em:
https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/5153. Acesso em: 12 set. 2025.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

MAKULLA, D. (1998). **Wirtschaftliche Luftversorgung von geparkten Flugzeugen mittels Pre-Conditioned Air (PCA) system**. Disponível em:
<https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_11752.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2024.

MEDINA, Geovane. **Entrevista sobre o Projeto 400HZ + PCA, em Confins – MG**. Entrevistadoras: TSUJIMOTO, Mayara; FEITOZA, Andreza. Entrevista concedida ao artigo acadêmico **"INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE NA INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA: ESTUDO DO PROJETO 400HZ + PCA EM CONFINS"**. Depoimento [set. 2024].

MINAYO, M. C. S. **Técnicas de pesquisa: entrevista como técnica privilegiada de comunicação. O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 12. ed. São Paulo: Hucitec, 2010. p. 261- 297.

PEREIRA, D. et al. sd. **APLICAÇÃO DE CENTRALIDADE DE GRAFOS A UMA REDE DE ROTAS DE UMA EMPRESA DE AVIAÇÃO COMERCIAL BRASILEIRA**. Disponível em:
<https://researchgate.net/profile/Joao-Mello-4/publication/281298063_Poster_

APLICACAO_DE_CENTRALIDADE_DE_GRAFOS_A_UMA_REDE_DE_ROTAS_DE_UMA_EMPRESA_DE_AVIACAO_COMERCIAL_BRASILEIRA/links/55e10ec108aede0b572ff1b7/Poster-APLICACAO-DE-CENTRALIDADE-DE-GRAFOS-A-UMA-REDE-D-E-ROTAS-DE-UMA-EMPRESA-DE-AVIACAO-COMERCIAL-BRASILEIRA.pdf>.

Acesso em: 9 nov. 2024.

PEA - Portal de Educação Ambiental. **Aquecimento global**. Sd. Sa. Disponível em:

<[https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/aquecimento-global/#:~:text=O%20aquecimento%20global%20%C3%A9%20o,\)e%20vapor%20d'%C3%A1gua](https://semil.sp.gov.br/educacaoambiental/prateleira-ambiental/aquecimento-global/#:~:text=O%20aquecimento%20global%20%C3%A9%20o,)e%20vapor%20d'%C3%A1gua)>. Publicado em: 31 out. 2023. Acesso em: 11 out. 2024.

RAHUL Sharma. **The turnaround time of an aircraft: a competitive weapon for an airline company**. Disponível em:

https://www.academia.edu/92458976/The_turnaround_time_of_an_aircraft_a_competitive_weapon_for_an_airline_company?utm_source=chatgpt.com.

Publicado em: 8 out. 2014. Acesso em: 03 set. 2025.

SAN DIEGO INTERNATIONAL AIRPORT. **Planning, Noise, & Environment**.

Disponível em:

<https://www.san.org/Airport-Projects/Environmental-Affairs/EntryId/15268>.

Acesso em: 16 set. 2025.

SANTOS, C; Silva, D. **ESTUDO DE MÉTODOS QUE ATRIBUEM SUSTENTABILIDADE AO SETOR AEROPORTUÁRIO**. South American

Development Society Journal, [S. l.], v. 4, n. 12, p. 34, 2018. DOI:

10.24325/issn.2446-5763.v4i12p34-49. Disponível em:

<<http://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/201>>. Acesso em: 9 nov. 2024.

SEBRAE. **Conceito de Inovação**. Disponível em:

<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/sp/licitacao_uf/o-que-e-inovacao-descubra-seu-conceito-tipos-e-muito-mais,1184cfe7f0c1c810VgnVCM1000001b00320aRCRD#:~:text=A%20inova%C3%A7%C3%A3o%20pode%20ser%20de%20finida,ou%20solu%C3%A7%C3%B5es%20para%20determinados%20problemas>. Publicado em: 29 nov. 2023. Acesso em: 11 out. 2024.

SILVA, W. 2015. **TRANSFORMADORES ELÉTRICOS COM NÚCLEO DE LIGA AMORFA PARA APLICAÇÃO EM AERONAVES**. Universidade federal

de São Carlos centro de ciências exatas e de tecnologia programa de pós-graduação em ciência e engenharia de materiais. Disponível em:

<<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/7627/DissWAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 9 nov. 2024.

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA. **Instalación para Carga de Baterías para Alimentación de Aeronaves En Escalas**. 2023.

Disponível em:

<<https://eiic.ulpgc.es/wp-content/uploads/2023/10/CARTEL-TFT.pdf>> Acesso em: 02 nov. 2024.

VIANNA, A. **Aquecimento global: diálogo ciência e mídia: por uma análise do fenômeno e sua repercussão no jornalismo impresso.** 2007. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Comunicação - Habilitação em Jornalismo) - Escola de Comunicação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/1656/3/AEPBVianna.pdf>>. Acesso em: 9 nov. 2024.

WCED - *World Commission on Environmental and Development.* **Our common future.** Oxford: **Oxford University Press.** 1987. Disponível em: <<https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/server/api/core/bitstreams/a475333a-2123-4655-8e16-108d1dcd477f/content>>. Publicado em: 29 jan. 1987. Acesso em 11 out. 2024.