

# REDUÇÃO NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO E DAS EMISSÕES DE CO2 COM A MELHORIA DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL NAS MOVIMENTAÇÕES DAS AERONAVES NO AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARULHOS/SÃO PAULO

Daniel Nery dos Santos  
Fatec Guarulhos

Mário Camarotto Junior  
NAV Brasil

**RESUMO:** Os impactos negativos no meio ambiente gerados pela aviação são severos e devem-se, em grande parte, às operações de decolagem, pouso e taxi. Sendo o transporte aéreo um setor que opera a nível global, por este motivo, danos e/ou consequências no ambiente são de responsabilidade internacional, como por exemplo as emissões, sobretudo de gás de efeito estufa. Atrelado a isso, a busca na redução no consumo de combustível, tornou-se nos dias de hoje um dos desafios mais relevantes para as empresas aéreas, pois além de estar associado ao fator econômico está diretamente ligado ao fator ambiental. Para tanto adoções de novas tecnologias e procedimentos que busquem a redução de consumo de combustível estão sendo utilizados tanto por empresas aéreas como pelo serviço de tráfego aéreo. Neste contexto, este trabalho tem a intenção analisar se a aplicação do conceito *Reduced Runway Separation Minima* (RRSM) promove a redução do consumo de combustível e na emissão de Dióxido de Carbono (CO2).

**PALAVRAS-CHAVE:** Consumo de Combustível. Emissão de CO2. Controle de Tráfego Aéreo

# REDUCING AVIATION FUEL CONSUMPTION AND CO<sub>2</sub> EMISSIONS BY IMPROVING OPERATIONAL EFFICIENCY IN AIRCRAFT MOVEMENTS AT GUARULHOS INTERNATIONAL AIRPORT/SÃO PAULO

**ABSTRACT:** The negative impacts caused by aviation in the environment are severe and they are due to, mostly, landing, takeoff and taxi operations. The air transportation sector works at a global level and for that reason the damages and/or consequences in the natural world are an international responsibility as, for instance and above all, the greenhouse effect gas. Connected to all that, the constant attempt to reduce fuel consumption became, nowadays, one of the most challenging and relevant issues for the airlines, seeing that, besides the economic factor, it is closely attached to environmental problems. Therefore, not only the airlines but the air traffic services are adopting new technologies and procedures whose goal is to reduce fuel consumption. In this context, this paper aims to analyze whether the Reduced Runway Separation Minima concept's (RRSM) application indeed results in the reduction of fuel consumption and Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions or not.

**KEYWORDS:** Fuel Consumption. CO<sub>2</sub> Emissions. Air Traffic Control.

## INTRODUÇÃO

Entre os inúmeros desafios enfrentados atualmente pelo transporte aéreo, o consumo de combustível tem sido um dos mais relevantes que impacta na economia de uma empresa aérea. A redução do consumo de combustível por uma aeronave, além de estar associada ao fator econômico, está ligada também ao fator ambiental. Segundo o relatório da *European Environment Agency* (2014), o avião é o meio de transporte que mais emite CO<sub>2</sub> por passageiro por quilômetro percorrido (PKM). Essa preocupação tornou-se uma das principais demandas da indústria da aviação, diante disto, a aplicação do procedimento RRSM - *Reduced Runway Separation Minima* no aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos visa a redução de tempo entre as operações decolagens com a finalidade de reduzir o consumo de combustível de aviação durante a fase de taxi out das aeronaves. Esse procedimento vem fortalecer as ações das empresas aéreas que em conjunto com a *International Air Transport Association* (IATA), entidade que representa 290 companhias aéreas, representando 83% do tráfego aéreo mundial, trabalharam para melhoria da eficiência operacional. Em outubro de 2021, durante a 41<sup>º</sup> assembleia da *International Civil Aviation Organization* (ICAO) as companhias aéreas registradas nos 194 países signatários deverão até 2050 atingir emissão líquida zero de CO<sub>2</sub> utilizando para isso combustíveis sustentáveis, novas tecnologias de propulsão e eficiência operacional.

que são meios para o avanço desse processo, e o gerenciamento do espaço aéreo e tráfego aéreo estão inseridos neste contexto.

## EMBASAMENTO TEÓRICO

### RELEVÂNCIA ECONÔMICA

A aviação é um setor com mais de 100 anos de história, que fomenta a evolução de uma rede global, que conecta pessoas, bens, negócios e, consequentemente, a prosperidade econômica. Notório pelo elevado nível de segurança, o setor da aviação permite a travessia intercontinental de modo rápido e cada vez mais eficiente o que, inevitavelmente, fomenta inúmeras oportunidades para trocas culturais e sociais, incluindo ajuda humanitária em caso de catástrofes ou crises (IHLG, 2019).

O transporte aéreo a nível mundial facilita o comércio, aumentando o acesso a mercados internacionais facilitando a globalização da produção, fornecendo conexões e atividades econômicas em regiões remotas. A aviação comercial favorece a atividade empresarial nas pequenas e médias cidades e as conecta com o resto do mundo, ademais é um gerador de empregos em grande escala em todo o mundo, contribuindo com centenas de bilhões de dólares para a economia global. O grande desafio do modal aéreo é melhorar a qualidade de vida de comunidades, promover prosperidade e conectar culturas de forma sustentável (ATAG, 2020).

Segundo a IATA (2022), o transporte aéreo é vital para a economia moderna fornecendo conexões entre cidades que propicia e suporta os fluxos das principais atividades econômicas entre os mercados. A conectividade produzida pelo modal aéreo pode ajudar a gerar melhores resultados econômicos para países e comunidades. Sendo a única rede transportadora global rápida, o transporte aéreo facilita as ligações entre empresas, governos e pessoas permitindo o comércio mundial, investimento, turismo e viagens, entre outras atividades econômicas importantes.

### RELEVÂNCIA AMBIENTAL

Os impactos negativos no meio ambiente gerados pela aviação são severos e devem-se, em grande parte, às operações de voo (decolagem, pouso, taxi). Os impactos mais significativos são o ruído, a qualidade do ar local, e as emissões de gás de efeito estufa (NIU, LIU, CHANG, & YE, 2016)

Existe uma relação direta entre o crescimento interrompido da indústria da aviação e a responsabilidade econômica, social e, principalmente, ambiental. A atenção redobrada para os impactantes ambientais faz com que a responsabilidade ambiental tenha um papel relevante para as empresas do setor (YAN, CUI, e GIL, 2016).

A aviação é um setor que opera a nível global. Por este motivo, danos e/ou consequências no ambiente são de responsabilidade internacional, como por exemplo as emissões, sobretudo de gás de efeito estufa. Entre os danos supracitados, a aviação também tem impacto negativo ao nível da biodiversidade e do uso do solo devido à fragmentação de ambientes resultante da construção de infraestruturas. Os sistemas hídricos também são prejudicados, devido à construção de infraestruturas e à poluição por escoamento das águas de superfície, contaminadas com produtos químicos de degelo e desengordurantes em zonas climáticas de baixa temperatura (CAA, 2017).

## DESENVOLVIMENTO DA TEMÁTICA

### MÉTODO

O trabalho foi desenvolvido através de uma Pesquisa Exploratória com abordagem quantitativa, que teve como objeto a medição de tempo de ocupação de pista no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. Em continuidade ao estudo também se realizou uma pesquisa bibliográfica em artigos científicos e livros referências no assunto para endossar o referencial teórico, simultaneamente foi desenvolvida pesquisa documental em manuais e relatórios com dados de consumo de combustível de aviação fornecidos pela LATAM.

Neste trabalho foi analisado a operação de decolagem das aeronaves na pista 10L/28R do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. A pista tem 3700 metros de comprimento por 45 metros de largura é pavimentada com massa asfáltica.

Conforme normatizado pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA, 2022), os mínimos de separação reduzidos na pista que podem ser aplicados a um aeródromo deverão ser determinados para cada pista separada. A separação a ser aplicada para o aeroporto de Guarulhos, não será em hipótese alguma inferior a 2400m.

A operação de mínimos de separação reduzidos na pista (RRSM) para decolagem da pista 10L/28R será aplicado quando a pista em uso ainda estiver ocupada por outra aeronave, ou seja a segunda aeronave será autorizada a decolar quando a aeronave precedente ainda estiver sobre a pista desde que passado por um ponto, conforme apresentados na figura 1.

A figura 1 mostra os pontos de referência para a operação RRSM que também foram utilizados para anotar o tempo gasto por cada aeronave na operação de decolagem, durante alguns períodos ao longo de 6 dias do mês de abril de 2022, totalizando uma amostra de 202 operações de decolagens.

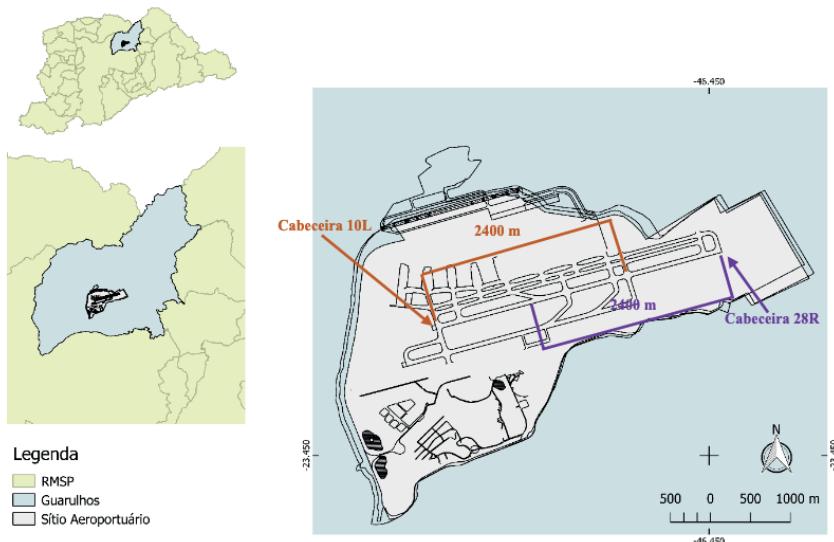


Figura 1 - Pontos de referência utilizados na operação RRSM

Fonte: Autores (2022)

## CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE AVIAÇÃO E EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>

Determinar precisamente quanto representa o custo do combustível na operação de uma empresa aérea, é muito difícil, pois varia de país para país, devido à falta de competição no fornecimento, taxas e impostos.

No Brasil, em 2021, segundo a Associação Brasileira das Empresas Aéreas (ABEAR), a proporção dos custos com combustível é de 27% dos custos e despesas totais das empresas aéreas brasileiras, enquanto a média mundial, segundo a IATA, é de 19% no mesmo período. Em 2022 a IATA divulgou que o combustível é o item de maior custo do setor, representando 24% dos custos gerais, para efeitos de comparação, até o momento, a ABEAR não havia divulgado os valores de 2022.

O consumo de combustível e de emissão de CO<sub>2</sub> nos voos domésticos no Brasil, está descrito abaixo (Tabela 1).

Tabela 1 - Consumo de combustível e de emissão CO<sub>2</sub> - Brasil

Ano	Consumo (milhões de litros)	Emissão de CO <sub>2</sub> (milhões de toneladas)
2016	3.507	9,05
2017	3.478	8,98
2018	3.589	9,27
2019	3.512	9,07
2020	1.854	4,79
2021	2.496	6,44

**Fonte:** ABEAR (2022)

Segundo Penner (1999) as emissões de aeronaves produzem 71% de CO<sub>2</sub> e 28% de H<sub>2</sub>O. No 1% restante, a emissão mais importante é a do NOx. Janic (1999) define que os efeitos provocados por essas emissões sofrem interferência direta de alguns fatores, tais como: o número de aeronaves e a intensidade que elas operam; o tipo, a concentração espacial e a distribuição dos poluentes em particular; a eficiência energética e o consumo do combustível; e a taxa com que a frota de aeronaves é substituída por outras menos poluentes.

De modo geral, os impactos das emissões de motores de aeronaves podem ser separados em duas formas: os impactos provocados pelas operações das aeronaves nos aeroportos, incluindo aqueles cujas causas são as operações de pouso e decolagem, objeto deste estudo, e os impactos associados com as emissões feitas após a decolagem, isto é, aqueles relacionados às operações das aeronaves acima de 1 km ou 3.000 pés, a partir do solo (ICAO, 2007).

As emissões dos motores de aeronaves estão diretamente relacionadas à queima de combustível, ou seja, a ampliação do transporte de passageiros e cargas pelo modal aéreo ocorrerá no aumento do consumo de combustível aeronáutico.

Os países intensificaram as medidas climáticas desde a assinatura do Acordo de Paris em 2015, muitos se comprometendo a atingir emissões líquidas zero até 2050, o que significa que quaisquer emissões adicionais de carbono serão totalmente compensadas pelas emissões retiradas da atmosfera, diante do desafio de manter o crescimento da atividade aérea de forma sustentável. A ICAO, durante a 39ª Assembleia realizada em Outubro de 2016, criou o *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (CORSIA - Esquema de Redução e Compensação de Emissões da Aviação Internacional). O CORSIA se caracteriza como o primeiro mecanismo de mercado a nível global de compensação de emissões setoriais, com o objetivo de garantir que o crescimento do tráfego aéreo esteja alinhado com as medidas de controle climático. A IATA (2018) projeta que o transporte de

passageiros através do tráfego aéreo irá dobrar até 2037 quando comparado aos números de 2018.

O CORSIA pretendia regular e compensar as emissões de gases de efeito estufa emitidos pelos voos internacionais, utilizando como parâmetro a média das emissões de CO<sub>2</sub> ocorridas nos anos 2019 e 2020. Com a ocorrência da pandemia COVID 19, em 2020 o número de voos realizados foram substancialmente aquém das projeções realizadas nos anos anteriores, com isso na 41<sup>a</sup> Assembleia da ICAO em outubro de 2022 em Montreal esta **métrica foi revista e ficou** definido que o novo parâmetro será 85% das emissões CO<sub>2</sub> realizadas pelas empresas aéreas em 2019. (ICAO 2022)

O mecanismo de compensação de emissão é uma das medidas definidas pela ICAO para atingir suas metas de redução. As medidas que compõem o programa são:

- Novas tecnologias para as aeronaves;
- Melhorias operacionais (Controle de Tráfego Aéreo e Operações em solo);
- Uso de biocombustíveis;
- Compensação de emissões (CORSIA).

A IATA em seu relatório *Operational Fuel Efficiency* (2016) expõe a relação que o Gerenciamento de Tráfego Aéreo possui com o consumo de combustível, e como melhorias no sistema podem incrementar a eficiência energética do sistema onde aperfeiçoamento no gerenciamento de tráfego aéreo podem aumentar a eficiência de combustível e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em até 12%.

A figura 2 mostra as medidas adotadas para o cumprimento das metas de reduções da aviação internacional.

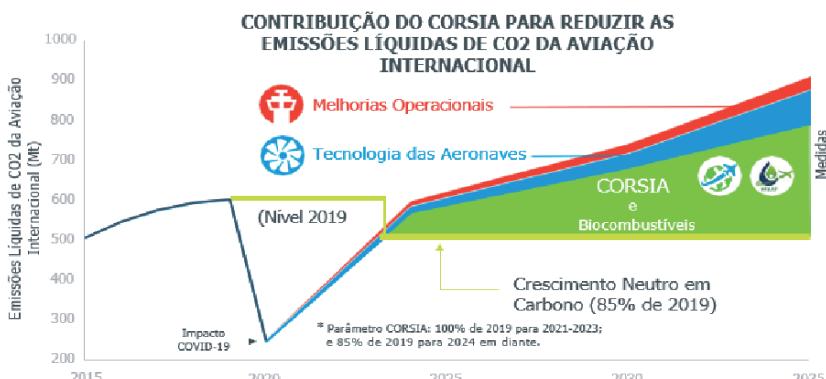


Figura 2 - Medidas adotadas

**Fonte:** Adaptado ICAO (2022)

Na tabela 2 estão dispostos os valores projetados em toneladas de CO<sub>2</sub> que as empresas aéreas brasileiras terão que compensar em seus voos internacionais e o custo da compra do crédito de carbono para essa compensação.

Tabela 2 - Valores de compensação e custo de compra de crédito de carbono

Ano	Compensação (Toneladas de CO <sub>2</sub> )	Custo em R\$ (Créditos de Carbono)
2027	1.124.185	R\$ 99.557.823,60
2028	1.208.860	R\$ 107.056.641,60
2029	1.298.981	R\$ 115.037.757,36
2030	1.480.509	R\$ 131.113.877,04
2031	1.577.333	R\$ 139.688.610,48
2032	1.666.153	R\$ 147.554.509,68
2033	2.071.944	R\$ 183.491.360,64
2034	2.203.211	R\$ 195.116.366,16
2035	2.402.186	R\$ 212.737.592,16

**Fonte:** Adaptado Ministério da Infraestrutura (2022)

Para o cálculo dos valores projetados em toneladas de CO<sub>2</sub> constantes da tabela 2 foram realizados com os parâmetros que utilizavam a média de emissão ocorridas nos anos de 2019 e 2020, devido a mudança de parâmetros que foi aprovada na 41<sup>a</sup> Assembleia da ICAO em 2022 os novos valores projetados ainda não foram divulgados. A cotação de um crédito de carbono praticado no dia 24/04/2023 às 14:30 horas foi de R\$ 88,56 (Investing, 2023).

Em 2021, os requisitos de compensação entraram em vigor, a partir de então os operadores devem provar que cumpriram os requisitos. Questões peculiares e de capacidade de cada país foram consideradas pela ICAO e os signatários concordaram em implementar os requisitos de compensação CORSIA em várias fases. Há o período de participação voluntária dos estados, fase piloto (2021 a 2023) e inicial (2024 a 2027) do CORSIA, os países que optaram na participação voluntária deverão cumprir requisitos de compensação para voos internacionais. (ICAO, 2023)

A Figura 3 mostra os países que estão fazendo parte do CORSIA na fase voluntária, na fase compulsória e os países isentos.

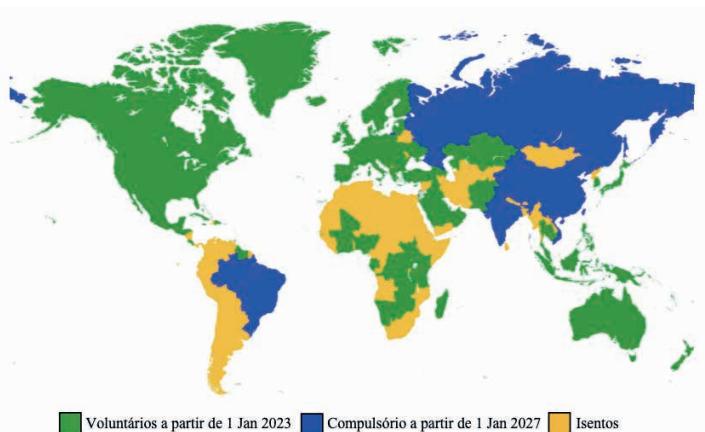


Figura 3 - Países participantes do CORSIA

**Fonte:** Adaptado IATA (2022)

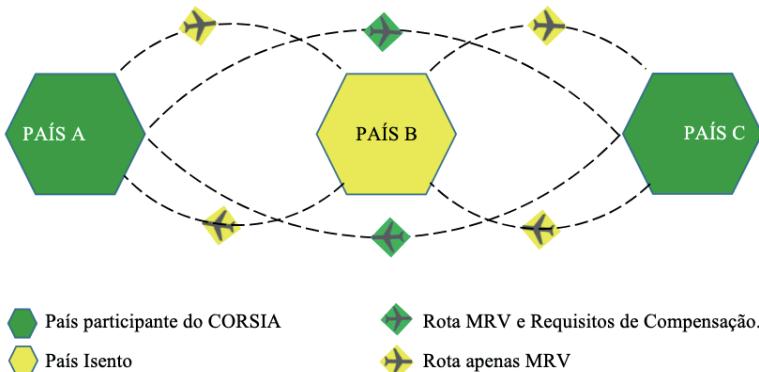
Segundo a ICAO os países que aderiam participar de forma voluntária foram 88 em 2021, 107 em 2022 e 117 países em 2023 que estão ilustrados na figura 2.

No ano de 2027 entrará em vigor a segunda fase, de participação obrigatória, para os países membros cuja participação individual na aviação internacional em 2018 foi superior a 0,5% em RTK e aos países que, listados em ordem decrescente de participação em RTK, se enquadrem nas posições em que a participação cumulativa soma 90% do total. Estão desobrigados da participação compulsória os países que não se enquadrem nestes critérios, países menos desenvolvidos e pequenas ilhas, ao menos que participem voluntariamente (ICAO 2016 e ICAO 2022).

Todos os países membros da ICAO, que possuam empresas aéreas que realizam voos internacionais são obrigados a monitorar, relatar e verificar (MRV) as emissões de CO<sub>2</sub> desses voos todos os anos desde 2019, independente de sua participação no CORSIA (ICAO 2016).

Segundo o Ministério da Infraestrutura (2022), o Brasil optou apenas em participar da **2<sup>a</sup>fase, que se inicia em 2027**.

A figura 3 mostra que o CORSIA utiliza-se do princípio da reciprocidade, ou seja, para que aconteça a compensação de CO<sub>2</sub> do voo internacional o país de origem e destino, ou de escala, se for o caso, deverão participar do programa.



**Figura 4:** Princípio da Reciprocidade

**Fonte:** Autores (2023), baseado ICAO (2016)

O procedimento RRSM, objeto de estudo deste trabalho, tem como meta a melhoria da eficiência operacional das movimentações de aeronaves no solo, trazendo redução do consumo de combustível e nas emissões de CO<sub>2</sub>, contribuindo para que as empresas aéreas consigam atingir as metas do programa CORSIA.

## PROCEDIMENTO RRSM – REDUCED RUNWAY SEPARATION MINIMA

Por legislação de tráfego aéreo, uma aeronave partindo não será permitido iniciar a decolagem até que a aeronave precedente tenha cruzado o final da pista em uso, ou tenha iniciado uma curva, ou até que todas as aeronaves que tenham pousado anteriormente e aquelas que estejam prestes a partir estejam fora da pista em uso (DECEA, 2020).

A implementação da aplicação dos mínimos de separação reduzidos entre aeronaves que utilizam a mesma pista (RRSM) no Aeroporto de Guarulhos tem como principal objetivo proporcionar um melhor fluxo de tráfego aéreo chegando e partindo do aeroporto de Guarulhos, sem aumentar a carga de trabalho de pilotos e controladores de tráfego aéreo, favorecendo a eficiência operacional, consequentemente reduzindo o consumo de combustível e a emissão de CO<sub>2</sub>.

Tal operação dar-se-á ao permitir a operação entre uma aeronave que decola e uma aeronave que pousa subsequentemente, entre duas aeronaves que decolem na mesma pista ou entre duas aeronaves que pousem na mesma pista quando a pista em uso ainda estiver ocupada por outro tráfego.

A ICAO estabeleceu disposições para a aplicação do RRSM para melhorar a eficiência operacional e a flexibilidade dos órgãos de controle.

Em consonância com o Abordagem recomendada pela ICAO, o Brasil, através do DECEA, conforme determina a Instrução do Comando da Aeronáutica 100-37 (ICA 100-37) realizou uma avaliação de risco à segurança operacional para a implementação do RRSM, a avaliação de risco à segurança operacional foi realizada para cada pista na qual serão aplicados os mínimos reduzidos, tendo em conta fatores tais como comprimento da pista, configuração do aeródromo e tipos/categorias de aeronaves envolvidas, e os resultados indicaram que poderia ser seguramente aplicado no Aeroporto Internacional de Guarulhos. Seguindo os processos de implementação foi realizada consulta aos usuários que aprovaram a iniciativa (DECEA 2020).

Desde que cumpridas algumas condições previstas em legislação específica, o RRSM no aeroporto de Guarulhos poderá ser aplicado entre uma aeronave que decola e uma aeronave que pousa subsequente, entre duas aeronaves que decolem na mesma pista ou entre duas aeronaves que pousem na mesma pista.

Com a implementação deste procedimento, tem-se como objetivo primordial a redução do tempo entre as operações de decolagens, o propósito seria a redução em média de 10 segundos entre as autorizações decolagens.

Vale ressaltar que neste trabalho foi determinado que a operação de decolagem se inicia quando a aeronave é autorizada, pelo serviço de controle de tráfego aéreo, a ingressar na pista até cruzar a cabeceira oposta. Ademais é suma importância advertir que o foco é **reduzir o consumo de combustível de aviação, por consequência a redução na emissão de CO<sub>2</sub>**, em regime de *idle/taxi fuel flow*. O regime de *idle/taxi fuel flow* considerado neste estudo será do início da movimentação para ingresso na pista até a início da movimentação de corrida de decolagem.

O preço médio, praticado no Brasil, de distribuição do querosene de aviação, para realização dos cálculos deste trabalho, foi utilizado o valor de R\$ 5,579 ao litro para o **mês de** março de 2023 (ANP, 2023).

A tabela 3 mostra a quantidade de combustível consumido pela frota da LATAM, separado por tipo de aeronave, no regime de *idle/taxi fuel flow*.

Tabela 3 - *Taxi idle/fuel Flow*

AERONAVE	KG / MIN	KG / HORA
A319	10	600
A320	12	720
A321	13,5	810
B767	20	1200
B787	19	1140
B777	33	1980

**Fonte:** LATAM (2022)

Para o cálculo de emissão de CO<sub>2</sub> foi utilizado o Índice de Emissão (IE) - 3155, calculado e recomendado pelos pesquisadores, Sutkus, Baughcum e DuBois (2001), em gramas de emissão por quilograma de combustível.

Para se obter o consumo em litros de querosene de aviação será utilizado o índice 0,799, densidade média do querosene de aviação, proveniente do Balanço Energético Nacional 2021 emitido pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE,2022).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A discussão proposta neste trabalho visa dois aspectos primordiais: a redução no consumo de combustível de aviação e a redução na emissão de CO<sub>2</sub> resultante da queima do combustível, quando aplicado o RRSM no Aeroporto de Guarulhos, que tem como meta a redução de 10 segundos entre as autorizações de decolagens.

Uma vez que temos os dados de consumo de combustível no regime de *idle/taxi fuel flow*, pela frota da empresa LATAM, apenas serão analisados 114 voos realizados com aeronaves do tipo: Airbus 319, Airbus 320, Airbus 321, Boeing 767, Boeing 77W e Boeing 787, isso não significa que as aeronaves abaixo analisadas pertençam a frota da LATAM, mas de qualquer empresa de operou nos dias em que as amostras foram coletadas.

Baseado nas amostras de operações de decolagens, obteve-se o tempo médio, em segundos, desde início da movimentação de decolagem até: (Tabela 4)

Tabela 4 - Tempo médio

Número de Aeronaves	Cruzamento 2400m (segundos)	Cruzamento Cabeceira Oposta (segundos)	$\Delta T$ 2400M Cabeceira Oposta (segundos)
114	53	64	11

Fonte: Autores (2022)

Os valores de tempo foram utilizados para determinar o consumo de combustível de cada aeronave em regime de *idle/taxi fuel flow* conforme os valores constantes na tabela 02.

Na tabela 5, foi demonstrado a redução média estimada no consumo combustível, em litros e a economia em reais, que a redução de 10 segundos entre as autorizações de decolagens para aeronaves que utilizam a mesma pista trouxe para a operação para cada tipo de aeronave.

Tabela 5 - Redução média no consumo de combustível por tipo de aeronave

AERONAVES	A319 (4)	A320 (59)	A321 (35)	B767 (6)	B77W (5)	B787 (5)
LITROS	2,09	2,50	2,82	4,17	6,88	3,96
REAIS	R\$ 11,64	R\$ 13,96	R\$ 15,71	R\$ 23,27	R\$ 28,40	R\$ 22,11

Fonte: Autores (2022)

A redução estimada de emissão CO<sub>2</sub>, na operação, está apresentada na tabela 6, para cada tipo de aeronave com aplicação dos mínimos de separação reduzidos entre aeronaves que utilizam a mesma pista, com a diminuição de 10 segundos entre as autorizações de decolagens.

Tabela 6 - Redução na emissão de CO<sub>2</sub> médio por tipo de aeronave.

AERONAVES	A319 (4)	A320 (59)	A321 (35)	B767 (6)	B77W (5)	B787 (5)
KILOGRAMAS	5,26	6,31	7,10	10,52	17,35	9,99

Fonte: Autores (2022)

Diante do apresentado, pode-se estimar, quando considerado o número total de 114 operações das aeronaves Airbus 319, Airbus 320, Airbus 321, Boeing 767, Boeing 77W e Boeing 787 que compõem o rol de amostras obtido durante a pesquisa de campo. O resultado estimado apresenta redução na emissão de CO<sub>2</sub> de até 841,60 kg, redução no consumo de combustível de até 333,85 litros de querosene de aviação, gerando uma economia de até R\$ 1.862,58.

Tabela 6: Relação CO<sub>2</sub> X Consumo de Combustível

CO <sub>2</sub> (KG)	COMBUSTÍVEL (L)	FINANCIERO (R\$)
673	267	1.490,06

Fonte: Autores (2022)

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos não podem ser considerados definitivos, para se obter resultados com maior grau de confiabilidade a pesquisa deveria obter maiores números de amostras de operações de aeronaves.

Embora não seja objeto desta pesquisa atual, outros trabalhos podem ser realizados, tais como a utilização do RRSM simultaneamente a Classificação de Aeronaves em Grupos em Relação à Esteira de Turbulência e Mínimos de Separação Associados proposta pela ICA 100-37.

Outra ação associada ao RRSM que traria ganho operacional para o aeroporto seria a redução do tempo de reação. No aeroporto Sheremetyevo de Moscou, por exemplo, o tempo de reação é normatizado, sendo de no máximo de 10 segundos. (Agência Federal de Transporte Aéreo da Rússia, 2021).

Nas amostras realizadas para este estudo a média do tempo de reação é de 18 segundos. Uma vez que no aeroporto internacional de Guarulhos o tempo de reação ainda não está normatizado, um trabalho em conjunto com as empresas aéreas para realização de campanhas de sensibilização junto aos pilotos visando a redução do tempo de reação para 10 segundos poderia ser proposto. A redução em 8 segundos, utilizando as mesmas amostras usadas para estimar a redução no consumo de combustível e na emissão de CO<sub>2</sub> quando aplicado os mínimos de separação reduzidos entre aeronaves que utilizam a mesma pista, teríamos uma economia adicional, nos valores previstos para o RRSM, de até 267 litros de combustível de aviação, consequentemente redução na emissão de CO<sub>2</sub> superior a 673 kg e até R\$ R\$ 1.490,06.

Ademais, estudos sobre utilização do biocombustível assume a sua relevância na área da sustentabilidade na aviação porque, quando utilizado em escala global tem um potencial de redução nas emissões de CO<sub>2</sub> na ordem de 80% comparativamente ao combustível convencional (Air France KLM, 2017).

## REFERÊNCIAS

ABEAR – Associação Brasileira das Empresas Aéreas. **Panorama 2021 – Setor Aéreo em Dados e Análises**. São Paulo, 2022.

Air France & KLM. **Corporate Social Responsibility Report** 2017.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível. **Preços de distribuição de combustíveis**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/precos-de-distribuicao-de-combustiveis>> Acesso em 02 de maio 2023

ATAG – Air Transport Action Group. **Aviation Benefits Beyond Borders**. Geneve, 2020.

DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Serviços de Tráfego Aéreo – ICA 100-37**. Rio de Janeiro: DECEA, 2020. Publicado no Boletim do Comando da Aeronáutica nº 210, de 19 de nov. de 2020.

CAA – Civil Aviation Authority. **Information on aviation's environmental impact**. West Sussex, 2017.

EEA - European Environment Agency. **Focusing on environmental pressures from long-distance transport**. TERM 2014: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. Luxemburgo, 2014.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanço Energético Nacional 2021**. Rio de Janeiro, 2022.

Federal Air Transport Agency. **AIP RUSSIA parte AD 2.1**. dezembro de 2021

IHLG – Industry High Level Group. **Aviation Benefits**. 2019

IATA – International Air Transport Association. **Operational Fuel Efficiency**. 2016.

IATA – International Air Transport Association. **Quarterly Air Transport Chartbook – Q3. 2022**.

IATA – International Air Transport Association. Press release nº 28. Doha, 2022.

IATA – International Air Transport Association. Factsheet: CORSIA. 2022.

ICAO - International Civil Aviation Organization. **Airport air quality guidance manual.** Quebec, 2007.

ICAO - International Civil Aviation Organization. **Resolutions adopted at the 39th session of the assembly.** Montreal, 2016.

ICAO - International Civil Aviation Organization. **Resolutions adopted at the 41th session of the assembly.** Montreal, 2022.

ICAO - International Civil Aviation Organization. Environment: **Frequently Asked Questions.** Disponível em: <<https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CORSIA-FAQs.aspx>>. 2023. Acesso em: 10 abr. 2023.

INVESTING. Investing.com, 2023. **Página de cotação de commodities/energy.** Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/energy>>. Acesso em: 24 de mar. de 2023 às 14:30.

JANIC, M. **Aviation and externalities: the accomplishments and problems.** Transportation Research Part D: Transport and Environment. Elsevier Science, v. 4, n. 3, p. 159-180, 1999. ISSN: 13619209. DOI: 10.1016/S1361-9209(99)00003-6

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **Plano de ação para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> da aviação civil brasileira.** 4<sup>a</sup> Edição, Ano Base: 2021. Brasília, 2022.

NIU, S. Y., LIU, C. L., CHANG, C. C., & YE, K. D. **What are passenger perspectives regarding airlines' environmental protection? An empirical investigation in Taiwan.** Journal of Air Transport Management, 55, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.04.012>

PENNER, J. E. et al. **Aviation and the global atmosphere.** New York: Cambridge University Press. 1999. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/index.php?idp=0>>. Acesso em: 20 maio 2022.

SUTKUS, D. J. et al. **Scheduled civil aircraft emission inventories for 1999: database development and analysis.** Washington, D.C.: NASA. 2001.

YAN, W., CUI, Z., & GIL, M. J. Á. **Assessing the impact of environmental innovation in the airline industry: An empirical study of emerging market economies.** Environmental Innovation and Societal Transitions, 21, 80–94. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2016.04.001>

“Os conteúdos expressos no trabalho, bem como sua revisão ortográfica e das normas ABNT são de inteira responsabilidade do(s) autor(es).”