

# RANKING ESTADOS UNIDOS- AMÉRICA LATINA DE EFICIÊNCIA DE COMBUSTÍVEL DAS COMPANHIAS AÉREAS, 2017-2018

Xinyi Sola Zheng and Dan Rutherford, Ph.D.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Brandon Graver, Carmen Araujo, Jennifer Callahan e Sebastián Galarza Suárez, pela revisão e pelo apoio, à Ana Terra, pela tradução para o português, e a Kevin Zhang por otimizar o processo de modelagem do Piano com o código Python. Também agradecem à Airline Data Inc. por fornecer dados processados do Bureau of Transportation Statistics.



Para maiores informações:

International Council on Clean Transportation  
1500 K Street NW, Suite 650  
Washington DC 20005 USA

[communications@theicct.org](mailto:communications@theicct.org) | [www.theicct.org](http://www.theicct.org) | [@TheICCT](https://twitter.com/TheICCT)

© 2019 International Council on Clean Transportation

# SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO EXECUTIVO .....</b>	<b>iv</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGIA.....</b>	<b>3</b>
2.1 Seleção das companhias aéreas .....	3
2.2 Modelagem de consumo de combustível .....	4
2.3 Cálculo da eficiência de combustível.....	5
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>7</b>
3.1 Comparações entre companhias aéreas .....	7
3.2 Especificidades das aeronaves.....	9
3.3 Determinantes da eficiência das companhias aéreas Estados Unidos-América Latina .....	11
3.4 Especificidades das companhias aéreas .....	14
3.4.1 Transportadoras no ranking Estados Unidos-MACC .....	14
3.4.2 Transportadoras no ranking Estados Unidos-AmSul.....	16
3.4.3 Transportadoras em ambos os rankings .....	17
3.5 Comparações entre rotas .....	19
<b>4. CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS .....</b>	<b>22</b>
4.1 Conclusões.....	22
4.2 Próximos passos .....	23
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>24</b>
<b>APÊNDICE A: VALIDAÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>27</b>
<b>APÊNDICE B: EFICIÊNCIA DE COMBUSTÍVEL ESTADOS UNIDOS-AMÉRICA LATINA, 2017.....</b>	<b>29</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1a.</b> Companhias aéreas avaliadas no mercado Estados Unidos-MACC, 2018.....	3
<b>Tabela 1b.</b> Companhias aéreas avaliadas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2018.....	4
<b>Tabela 2.</b> Principais variáveis da modelagem.....	4
<b>Tabela 3a.</b> Parâmetros operacionais das companhias aéreas no mercado Estados Unidos-MACC, 2018.....	11
<b>Tabela 3b.</b> Parâmetros operacionais das companhias aéreas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2018.....	12
<b>Tabela 4.</b> Parâmetros operacionais das companhias aéreas no mercado Estados Unidos-internacional.....	14
<b>Tabela B1a.</b> Parâmetros operacionais das companhias aéreas no mercado Estados Unidos-MACC, 2017.....	30
<b>Tabela B1b.</b> Parâmetros operacionais das companhias aéreas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2017.....	30

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura SE1a.</b> Eficiência de combustível das 15 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-MACC, 2018.....	iv
<b>Figura SE1b.</b> Eficiência de combustível das 10 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2018.....	v
<b>Figura ES2.</b> Principais determinantes da eficiência de combustível de companhias aéreas no mercado Estados Unidos-América Latina.....	v
<b>Figura 1a.</b> Eficiência de combustível das 15 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-MACC, 2018.....	7
<b>Figura 1b.</b> Eficiência de combustível das 10 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2018.....	8
<b>Figura 2.</b> Eficiência de combustível por tipo de aeronave usado em rotas Estados Unidos-América Latina, 2018.....	10
<b>Figura 3.</b> Principais determinantes da eficiência de combustível de companhias aéreas no mercado Estados Unidos-América Latina.....	13
<b>Figura 4.</b> Eficiência de combustível, em pax-km/L, das subsidiárias da LATAM em rotas diretas Estados Unidos-AmSul.....	17
<b>Figura 5.</b> Eficiência de combustível, em pax-km/L, das subsidiárias da Avianca em rotas diretas Estados Unidos-AmSul.....	18
<b>Figura 6.</b> Eficiência de combustível, em pax-km/L, das companhias aéreas que operam a rota Los Angeles-Cidade do México.....	19
<b>Figura 7.</b> Eficiência de combustível, em pax-km/L, das companhias aéreas que operam a rota Nova York-São Paulo.....	20
<b>Figura 8.</b> Eficiência de combustível, em pax-km/L, das companhias aéreas que operam a rota Nova York-Santo Domingo.....	21
<b>Figura A1.</b> Eficiência de combustível relatada <i>versus</i> modelada, 2018.....	27
<b>Figura B1a.</b> Eficiência de combustível das 15 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-MACC, 2017.....	29
<b>Figura B1b.</b> Eficiência de combustível das 10 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2017.....	29

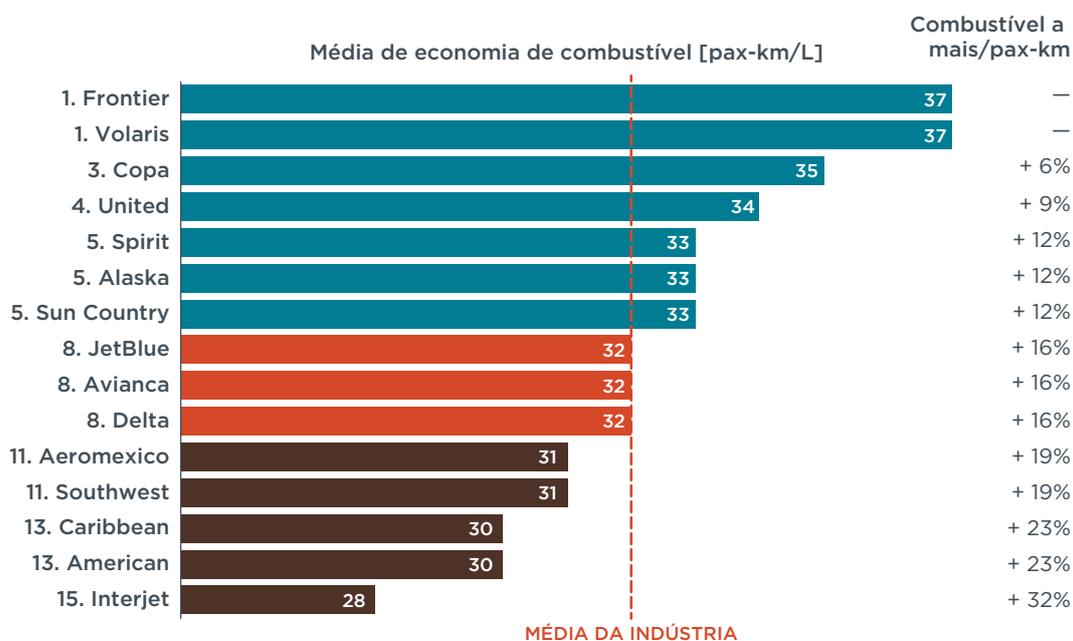
## SUMÁRIO EXECUTIVO

São ainda escassas as informações públicas sobre a eficiência de combustível das companhias aéreas. O International Council on Clean Transportation (ICCT) avaliou a eficiência de combustível das companhias aéreas dos Estados Unidos com base em suas operações domésticas de 2010 a 2018. O ICCT também analisou a eficiência de combustível das principais companhias aéreas que operam rotas transatlânticas e transpaciaficas, sendo o relatório mais recente baseado em dados de 2017.

América Latina-Estados Unidos é outro grupo importante de rotas; 42% dos voos internacionais que partiram dos Estados Unidos em 2018 eram desse mercado, que está em rápido crescimento. Este documento compara, pela primeira vez, a eficiência de combustível de voos diretos de passageiros nesse mercado, usando dados dos anos civis de 2017 e 2018. Para controlar as diferenças de distância das etapas de voo, dividimos o mercado em dois segmentos—México, América Central e Caribe (MACC) e América do Sul (AmSul).

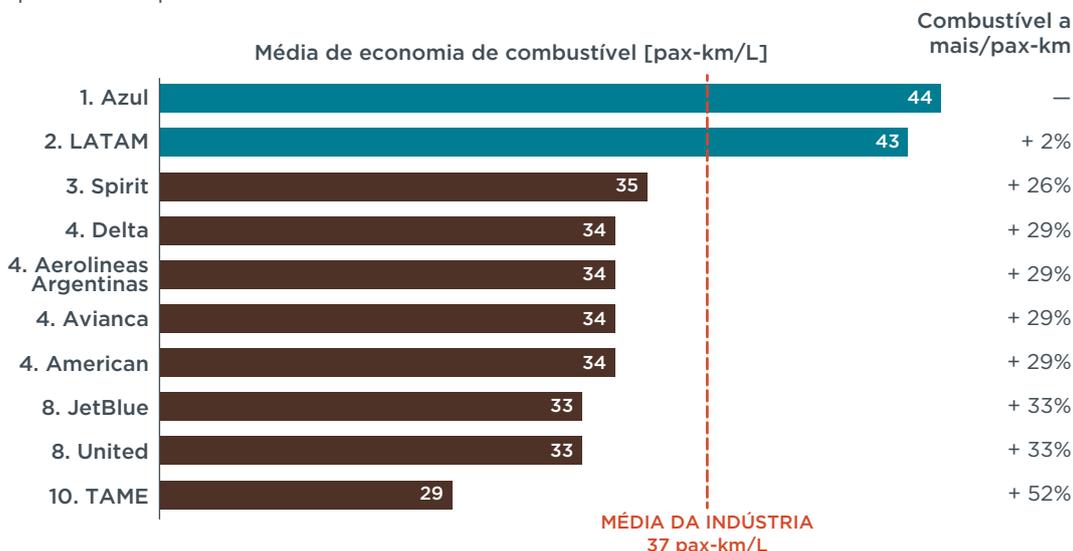
As figuras SE1a e SE1b comparam a eficiência de combustível de 15 transportadoras do Estados Unidos-MACC e 10 da Estados Unidos-AmSul. Elas foram selecionadas porque têm a maior capacidade em termos de assentos-quilômetro oferecidos (ASK, do inglês *available seat-kilometers*). Estimou-se a eficiência de combustível com base em passageiros após a correção da carga transportada em voos de passageiros, chamada de carga de porão, que aumenta o consumo absoluto de combustível do voo, mas também melhora a eficiência de combustível por unidade de massa transportada.

A Frontier, dos Estados Unidos, e a Volaris, do México, empataram na posição de companhia aérea com maior eficiência de combustível nas operações do Estados Unidos-MACC em 2018, com uma eficiência média de 37 passageiros-quilômetro por litro de combustível (pax-km/l), 16% melhor do que a média da indústria. A Interjet foi a companhia com menor eficiência de combustível no mercado Estados Unidos-MACC, consumindo em média 32% mais combustível por passageiro-quilômetro que a Frontier e a Volaris.



**Figura SE1a.** Eficiência de combustível das 15 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-MACC, 2018.

Na Estados Unidos-AmSul, a companhia com melhor desempenho em termos de eficiência de combustível em 2018 foi a Azul, com uma média de 44 pax-km/L, que é 19% melhor que a média da indústria, de 37 pax-km/L. Em nossa análise, a equatoriana TAME foi a companhia aérea menos eficiente em termos de combustível da Estados Unidos-AmSul. Em média, a TAME consumiu 52% mais combustível por passageiro-quilômetro que a Azul.

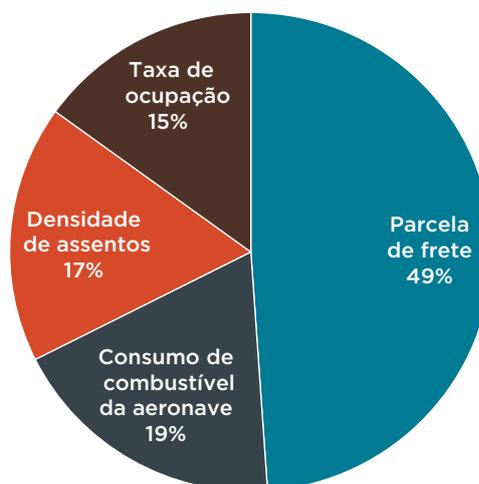


**Figura SE1b.** Eficiência de combustível das 10 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2018.

Vários fatores operacionais contribuem para a eficiência de combustível, e os consumidores nem sempre estão cientes ou são informados sobre eles. Nós analisamos os principais fatores que determinam as diferenças de eficiência de combustível entre as transportadoras a fim de entender melhor sua importância relativa (Figura SE-2). Os fatores investigados incluem consumo de combustível pela aeronave, densidade de assentos, taxa de ocupação e parcela de frete da carga paga. Entre esses fatores, a parcela de frete foi o mais importante, explicando aproximadamente metade da variação entre as transportadoras, seguido de consumo de combustível pela aeronave (19%), densidade de assentos (17%) e taxa de ocupação (15%).

Outras conclusões deste trabalho incluem:

- » A média de eficiência de combustível do mercado da Estados Unidos-AmSul foi 3 pax-km/L maior que a do mercado transatlântico e 6 pax-km/L maior que a do mercado transpacífico, principalmente por causa de configurações mais densas de assentos e de frotas com maior eficiência de combustível.
- » De 2017 a 2018, a média de eficiência de combustível do mercado Estados Unidos-MACC melhorou 0,5 pax-km/L,



**Figura ES2.** Principais determinantes da eficiência de combustível de companhias aéreas no mercado Estados Unidos-América Latina.

principalmente em decorrência de investimentos das transportadoras em aeronaves de fuselagem estreita mais novas.

- » As companhias que mais melhoraram de 2017 para 2018 incluem Volaris (de 34 para 37 pax-km/L), Sun Country (de 31 para 33 pax-km/L), Interjet (de 26 para 28 pax-km/L) e Azul (de 42 para 44 pax-km/L). Essas melhorias estão relacionadas a uma variedade de mudanças operacionais, especificamente aeronaves novas, com menor consumo de combustível, na Volaris; configurações com maior densidade de assentos na Sun Country e na Azul; e taxas de ocupação mais altas na Interjet.
- » A demanda geral por voos entre Estados Unidos e América Latina cresceu substancialmente de 2013 a 2018. A capacidade total, medida em ASKs, aumentou 29% nesses 6 anos. Além disso, as operadoras de baixo custo expandiram gradualmente sua participação no mercado do Estados Unidos-MACC: de 19% em 2013 para 30% em 2018.

## 1. INTRODUÇÃO

A eficiência de combustível, medida pela quantidade de combustível usado para movimentar a carga paga por determinada distância, é importante porque, quanto mais combustível as linhas aéreas consomem, mais dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) elas emitem. No entanto, são ainda escassas as informações públicas sobre a eficiência de combustível das companhias aéreas. As transportadoras dos Estados Unidos reportam trimestralmente o consumo de combustível e as operações por tipo de aeronave e mercado, nacional ou internacional, ao Bureau de Estatísticas de Transporte (BTS, do inglês Bureau of Transportation Statistics) do Departamento de Transporte do país (DOT, do inglês Department of Transportation). Dados de consumo de combustível não são exigidos de transportadoras estrangeiras, e conjuntos de dados granulares semelhantes não são publicados por governos fora dos Estados Unidos.

Várias calculadoras on-line de carbono, incluindo as da OACI, do ClimateCare e das próprias companhias aéreas, podem ser usadas para estimar o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> por origem e destino para passageiros e frete aéreo.<sup>1</sup> No entanto, essas calculadoras não fazem comparações específicas entre transportadoras ou voos e são projetadas principalmente para apoiar programas de compensação de carbono em vez de ajudar os consumidores a escolher voos com maior eficiência de combustível.

Em 2013, o ICCT começou a avaliar a eficiência de combustível das companhias aéreas dos Estados Unidos por meio de um estudo comparativo das operações domésticas para 2010. Posteriormente, houve atualizações para 2011 até 2018.<sup>2</sup> Mais recentemente, em 2018, constatamos que a diferença entre as companhias aéreas com maior e menor consumo de combustível nas operações domésticas nos Estados Unidos era de 26% (Zheng, Graver, & Rutherford, 2019). Esse trabalho levou o ICCT a comparar a eficiência de combustível das principais companhias aéreas que operam voos transpacíficos (entre o território continental dos Estados Unidos e o leste da Ásia e Oceania) e transatlânticos (entre o território continental dos Estados Unidos e a Europa). Verificou-se que a diferença entre as companhias aéreas com maior e menor eficiência de combustível foi de 64% para o mercado transpacífico e 63% para o mercado transatlântico em 2016 e 2017, respectivamente (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b). No geral, as companhias com aeronaves mais econômicas em termos de combustível, menos assentos premium e maiores taxas de ocupação de passageiros e cargas operam voos com maior eficiência de combustível.

Uma vez feita a classificação das companhias aéreas operando em rotas transpacíficas e transatlânticas, este relatório avalia, pela primeira vez, a eficiência de combustível de companhias aéreas em voos diretos de passageiros de rotas entre os Estados Unidos e a América Latina. Das partidas internacionais dos Estados Unidos em 2018, 42% faziam essas rotas. Conforme previsão da OACI, a receita total de passageiros-quilômetro transportados (RPKs, do inglês *revenue passenger-kilometers*) entre a América do Norte e a América Latina vai dobrar entre 2015 e 2035, e a taxa de crescimento vai permanecer alta após 2035 (ICAO, 2018).

O mercado Estados Unidos–América Latina difere dos mercados transatlântico e transpacífico de várias maneiras. Neste relatório, esse mercado está dividido em

1 A calculadora de emissões de carbono da OACI está disponível em <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>. A calculadora de carbono desenvolvida pelo ClimateCare pode ser acessada em <https://climatecare.org/calculator/>. E a calculadora de compensação de carbono da United Airlines pode ser acessada em <https://united.conservation.org/>.

2 Relatórios sobre *rankings* de eficiência de combustível de linhas aéreas domésticas nos Estados Unidos incluem: Zeinali, Rutherford, Kwan e Kharina (2013); Kwan, Rutherford e Zeinali (2014); Kwan e Rutherford (2014, 2015); Olmer e Rutherford (2017); e Zheng, Graver e Rutherford (2019).

dois segmentos: um que inclui voos entre os Estados Unidos e a América do Sul (AmSul), cujas etapas e cargas de porão são semelhantes às de voos transpacíficos e transatlânticos;<sup>3</sup> e um que inclui voos entre os Estados Unidos e o México, a América Central e o Caribe (MACC), que têm etapas, em média, bem menores e transportam pouca carga de porão. Essa segmentação é necessária porque a variação nas etapas de voo pode afetar a eficiência de combustível, principalmente para voos abaixo de 2.000 km (Graver, Zhang & Rutherford, 2019).<sup>4</sup>

As transportadoras tradicionais (*legacy carriers*) dos Estados Unidos são uma parte importante dos mercados transpacífico e transatlântico, com predomínio nas rotas Estados Unidos-América Latina, onde respondem por 46% do mercado Estados Unidos-MACC e 54% do mercado Estados Unidos-AmSul. A influência de grandes transportadoras dos Estados Unidos nos dois mercados deve aumentar por meio de *joint ventures* e novas parcerias. Já existe a *joint venture* Delta-Aeromexico e planeja-se a United-Avianca-Copa (CAPA, 2019a). A Delta abalou recentemente os planos de uma *joint venture* American-LATAM ao comprar uma participação de 20% na LATAM (Rucinski, 2019). Embora não concorram com as transportadoras de baixo custo estrangeiras nos mercados transpacífico e transatlântico, as transportadoras de baixo custo dos Estados Unidos atuam no mercado Estados Unidos-América Latina, ao lado do conjunto em rápida expansão de transportadoras de baixo custo da América Latina. No entanto, o mercado ainda é dominado por companhias aéreas tradicionais, que forneceram, segundo nossos dados, 70% da capacidade total em 2018.

Este documento está estruturado da seguinte maneira: a seção 2 explica a metodologia usada para estimar a eficiência de combustível das companhias aéreas. A seção 3 apresenta e discute as médias de eficiência de combustível das companhias aéreas e aeronaves incluídas no estudo e analisa as diferenças de eficiência entre as transportadoras nas principais rotas. Por fim, a seção 4 traz as conclusões deste estudo e identifica áreas potenciais para trabalhos futuros.

---

3 A etapa de voo corresponde à distância média percorrida, medida em milhas estatutárias, por partida da aeronave. Ela é calculada dividindo-se o total de milhas voadas pelo número total de partidas realizadas pela aeronave.

4 A segmentação de mercado garante uma baixa sensibilidade da eficiência de combustível arredondada (<1 pax-km/L) à etapa média de voo em cada segmento. A Figura 2 ilustra a sensibilidade da eficiência de combustível da aeronave à etapa por tipo de aeronave.

## 2. METODOLOGIA

Um estudo anterior do ICCT estimou a eficiência de combustível das companhias aéreas em rotas transatlânticas sem escalas (Graver & Rutherford, 2018a). Dados operacionais relatados ao BTS, do DOT, nos Estados Unidos, e dados de rota de uma base de dados internacional de horários de voo foram usados para modelar o consumo de combustível pelas companhias aéreas.

Todas as companhias aéreas que operam voos para, de e dentro dos Estados Unidos devem relatar seus dados de operações ao BTS. Os dados são disponibilizados publicamente pela base de dados BTS T-100. Para este estudo, adquirimos os dados do T-100 Segmentos Internacionais da Airline Data Inc., que encerra os procedimentos de garantia e controle de qualidade dos dados do BTS. Estão incluídas nesses dados informações sobre transportadora aérea, origem e destino do voo, frequência do voo, distância, tipo de aeronave, assentos disponíveis, taxa de ocupação e carga transportada. Além disso, o consumo de combustível relatado no formulário de dados financeiros BTS 41 foi usado para validar a modelagem do consumo de combustível. A validação do modelo está detalhada no Apêndice A. Para essa análise, foram utilizados dados para os anos civis de 2017 e 2018.

### 2.1 SELEÇÃO DAS COMPANHIAS AÉREAS

Este documento compara as 15 companhias aéreas com a maior capacidade, medida em ASKs, que operam voos diretos entre os Estados Unidos e as regiões do MACC; e as 10 companhias aéreas com a maior capacidade que operam voos diretos entre os Estados Unidos e a América do Sul. As companhias aéreas aqui classificadas representam 98% da capacidade total em cada um desses mercados.

A Tabela 1a resume as principais estatísticas das 15 companhias aéreas analisadas para o mercado do Estados Unidos-MACC, e a Tabela 1b mostra as estatísticas das 10 companhias aéreas analisadas para o mercado da Estados Unidos-AmSul. As estatísticas incluem o número total de partidas, a duração média da etapa de voo, as parcelas de ASKs e de toneladas-quilômetro oferecidas (ATKs) e a aeronave mais usada por cada companhia aérea.

**Tabela 1a.** Companhias aéreas avaliadas no mercado Estados Unidos-MACC, 2018

Companhia	Partidas	Etapa de voo média (km)	Parcela de ASKs	Parcela de ATKs	Aeronave mais usada
Aeroméxico	34.954	2.417	7%	8%	Boeing 737-800
Alaska	14.667	2.333	3%	3%	Boeing 737-900ER
American	139.445	1.790	18%	20%	Boeing 737-800
Avianca	12.826	2.807	3%	4%	Airbus A320-200
Caribbean	6.406	2.541	1%	2%	Boeing 737-800
Copa	22.378	3.039	6%	5%	Boeing 737-800
Delta	66.876	2.244	14%	15%	Boeing 737-900ER
Frontier	4.563	2.291	1%	1%	Airbus A321
Interjet	19.420	1.952	4%	3%	Airbus A320-200
JetBlue	63.101	1.924	11%	11%	Airbus A320-200
Southwest	38.425	1.875	5%	5%	Boeing 737-700
Spirit	13.229	1.701	2%	2%	Airbus A321
Sun Country	3.156	2.704	1%	1%	Boeing 737-800
United	87.860	2.259	15%	15%	Boeing 737-800
Volaris	22.826	2.371	6%	6%	Airbus A320neo
<b>Total</b>	<b>550.480</b>	<b>2.152</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>Boeing 737-800</b>

*Nota:* As aeronaves mais usadas foram identificadas com base no número de partidas (Airline Data Inc., 2019)

**Tabela 1b.** Companhias aéreas avaliadas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2018

Companhia	Partidas	Etapa de voo média (km)	Parcela de ASKs	Parcela de ATKs	Aeronave mais usada
Aerolíneas Argentinas	2.168	7.561	4%	3%	Airbus A330-200
American	27.524	5.340	30%	30%	Airbus A319
Avianca	14.178	3.307	9%	9%	Airbus A320-200
Azul	2.875	6.000	4%	4%	Airbus A330-200
Delta	7.243	6.605	11%	10%	Boeing 767-300ER
JetBlue	4.619	2.749	2%	1%	Airbus A320-200
LATAM	14.457	6.058	23%	27%	Boeing 767-300ER
Spirit	3.194	2.518	1%	1%	Airbus A320-200
TAME	1.133	3.974	1%	2%	Airbus A330-300
United	10.122	5.979	14%	12%	Boeing 767-300ER
<b>Total</b>	<b>87.165</b>	<b>5.083</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>Boeing 767-300ER</b>

Nota: As aeronaves mais usadas foram identificadas com base no número de partidas (Airline Data Inc., 2019)

## 2.2 MODELAGEM DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Semelhante aos rankings anteriores de eficiência de combustível do ICCT (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b), o consumo de combustível pela aeronave foi modelado usando o software Piano 5 de desempenho e design de aeronaves (Lissys Ltd., 2017). O Piano 5 requer vários inputs para modelar esse consumo. A Tabela 2 lista as principais variáveis da modelagem e as fontes usadas neste estudo.

**Tabela 2.** Principais variáveis da modelagem

Tipo	Variáveis	Fontes
<b>Voos regulares</b>	Rota	BTS T-100 Segmentos Internacionais
	Aeronave utilizada	
	Assentos disponíveis	
	Partidas	
	Taxa de ocupação	
	Carga transportada	
<b>Parâmetros da aeronave específicos da companhia aérea</b>	Tipo e quantidade	Ascend Fleets
	Motor	
	Winglets/cimitarra	
	Massa máxima de decolagem	
	Assentos	
<b>Peso da aeronave</b>	Peso da aeronave vazia	Piano 5
	Peso do passageiro	Padrão industrial
	Peso do assento e do mobiliário	Default OACI
<b>Consumo de combustível da aeronave</b>	Impulso do motor	Piano 5
	Arrasto	
	Fluxo de combustível	
<b>Outras variáveis operacionais</b>	Tempo de taxiamento	BTS T-100 Segmentos Internacionais, FAA Parte 121, Piano 5
	Reservas de combustível	
	Níveis de voo	
	Velocidade	

O banco de dados arquivado da Ascend Fleets foi usado para atribuir aeronaves representativas Piano 5 a cada companhia aérea por tipo de aeronave, uso de dispositivo de ponta de asa, tipo de motor, número de assentos e massa máxima de decolagem (FlightAscend Consultancy, 2017). A distância ortodrômica para cada rota foi ajustada para cima em 50, 100 ou 150 km com base na distância bruta, para dar conta das ineficiências causadas por tráfego e clima (ICAO, 2017).<sup>5</sup>

Os voos internacionais de passageiros transportam também carga, por isso o consumo de combustível de cada voo deve ser dividido entre passageiros e carga com base na massa. A carga paga média por voo foi estimada usando a Equação 1 para cada grupo de voos em termos de companhia aérea, aeronave, contagem de assentos e distância, considerando o número relatado de partidas, os assentos disponíveis, a taxa de ocupação e a carga transportada. Foi utilizada a massa padrão industrial de 100 kg por passageiro e bagagem (ICAO, 2017). O modelo dá conta de diferentes configurações de assentos no mesmo tipo de aeronave, ajustando o número padrão de assentos no Piano e presumindo 50 kg por assento.

$$carga\ paga\ [kg] = \left( \frac{assentos}{partidas} \right) (taxa\ de\ ocupação_{pax}) \left( \frac{100\ kg}{pax} \right) + \left( \frac{carga\ [kg]}{partidas} \right) \quad (1)$$

Foram usados valores *default* do Piano 5 para parâmetros operacionais, como impulso do motor, arrasto, fluxo de combustível, níveis de voo disponíveis e velocidade devido à ausência de dados específicos de companhias aéreas e aeronaves. As velocidades de cruzeiro foram definidas para permitir um alcance aéreo específico máximo de 99%. O tempo de taxiamento foi fixado em 34 minutos, conforme estimado pelos dados T-100 para voos transpacíficos pelas três transportadoras dos Estados Unidos (BTS, DOT, 2018), sendo equivalente ao tempo médio usado em rankings transatlânticos e transpacíficos anteriores (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b). As reservas de combustível foram definidas para uma distância de desvio de 370 km, com 10% de combustível de contingência considerando clima, congestionamentos e outros eventos imprevistos e 45 minutos no consumo normal de combustível de cruzeiro, conforme a Especificação de Operações B043 da Administração de Aviação Federal (Federal Aviation Administration) dos Estados Unidos (FAA, 2015).

Para aumentar a eficiência da modelagem no Piano, interpolamos o valor de consumo de combustível para cada grupo de companhia aérea, aeronave, contagem de assentos, origem e destino a partir de uma matriz de carga paga, distância e consumo de combustível gerada por rodadas automatizadas no Piano. A precisão da interpolação foi testada e mostrou variações de até 1% em comparação com as execuções reais do software.

### 2.3 CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DE COMBUSTÍVEL

A eficiência de combustível de cada voo foi calculada usando o método desenvolvido para o ranking transpacífico do ICCT (Graver & Rutherford, 2018a). A média de eficiência de combustível de cada companhia aérea, representada pelo índice *a*, foi obtida usando uma abordagem *bottom-up*.

Depois de modelar cada grupo de voos em termos de companhia aérea, aeronave, contagem de assentos, distância e carga paga, representado pelo índice *i*, foi calculado o consumo total de combustível para todo o conjunto de voos diretos entre Estados

<sup>5</sup> Aplicou-se correção de +50 km para voos com menos de 500 km; de +100 km para voos entre 550 e 5.500 km; e de + 150 km para voos acima de 5.500 km.

Unidos e América Latina operados por cada companhia aérea, de acordo com a Equação 2.

$$\text{combustível } [L]_a = \sum_i (\text{combustível } [L]_{a,i}) (\text{partidas}_{a,i}) \quad (2)$$

O uso de combustível em aeronaves é proporcional à massa total da carga paga transportada. Para voos de passageiros que também transportam carga, ou carga de porão, a carga paga é calculada como a massa total de passageiros e frete por voo. A carga de porão, ao mesmo tempo que aumenta o consumo absoluto de combustível do voo, melhora a eficiência de combustível do avião por unidade de massa transportada, porque a estrutura da aeronave é carregada mais próximo de sua capacidade máxima de carga paga. A proporção de carga paga-distância e combustível consumido para cada companhia aérea foi usada como ponto de partida para aferir a média de eficiência de combustível. Depois, isso foi convertido para passageiros-quilômetro por litro de combustível (pax-km/L) usando o fator peso do passageiro, conforme a Equação 3.

$$\text{pax} \times \text{km}/L_a = \frac{\sum_i (\text{carga paga } [kg]_{a,i}) (\text{distância } [km]_{a,i})}{(\text{combustível } [L]_a) (100 \text{ kg} / \text{pax})} \quad (3)$$

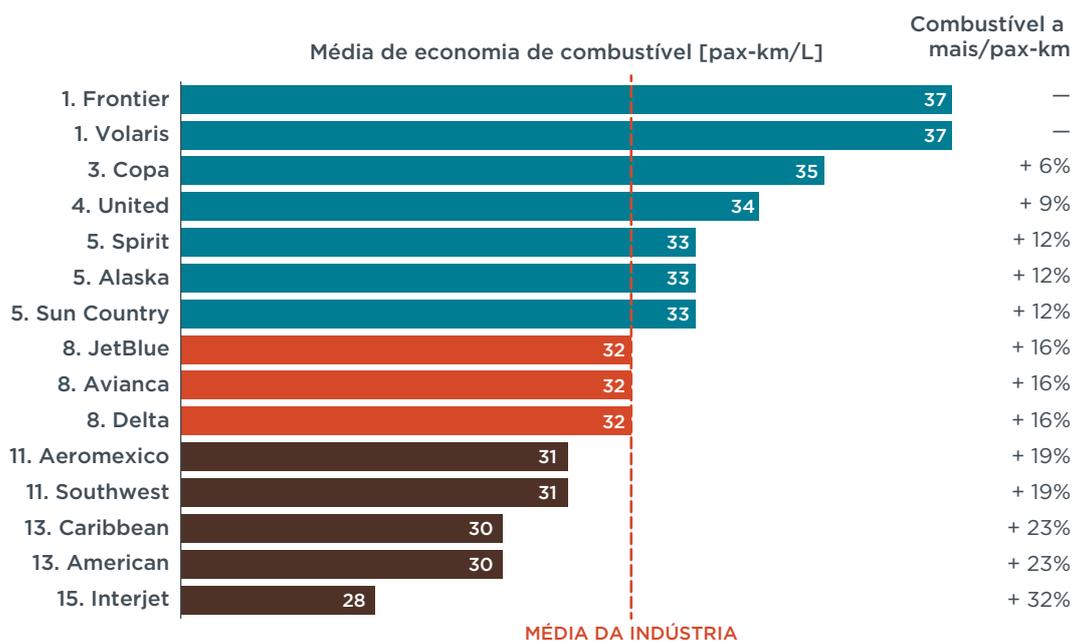
As eficiências de combustível modeladas para os 44 pares companhia aérea-aeronave dos Estados Unidos foram validadas usando o Formulário 41 de dados de consumo de combustível, conforme descrito no Apêndice A.

### 3. RESULTADOS

A abordagem metodológica *bottom-up* permite comparar a eficiência de combustível em termos de companhia aérea, aeronave e rota. A seção 3.1 apresenta os resultados gerais de eficiência de combustível para 2018, a seção 3.2 relaciona os resultados gerais aos tipos de aeronave, e a seção 3.3 explica as conclusões em termos dos principais determinantes da eficiência de combustível, incluindo consumo de combustível da aeronave, configuração dos assentos, taxa de ocupação e transporte de carga. Por fim, as seções 3.4 e 3.5 fazem uma contextualização relativa a companhias aéreas e três rotas selecionadas. Os resultados do ano civil de 2017 estão resumidos no Apêndice B.

#### 3.1 COMPARAÇÕES ENTRE COMPANHIAS AÉREAS

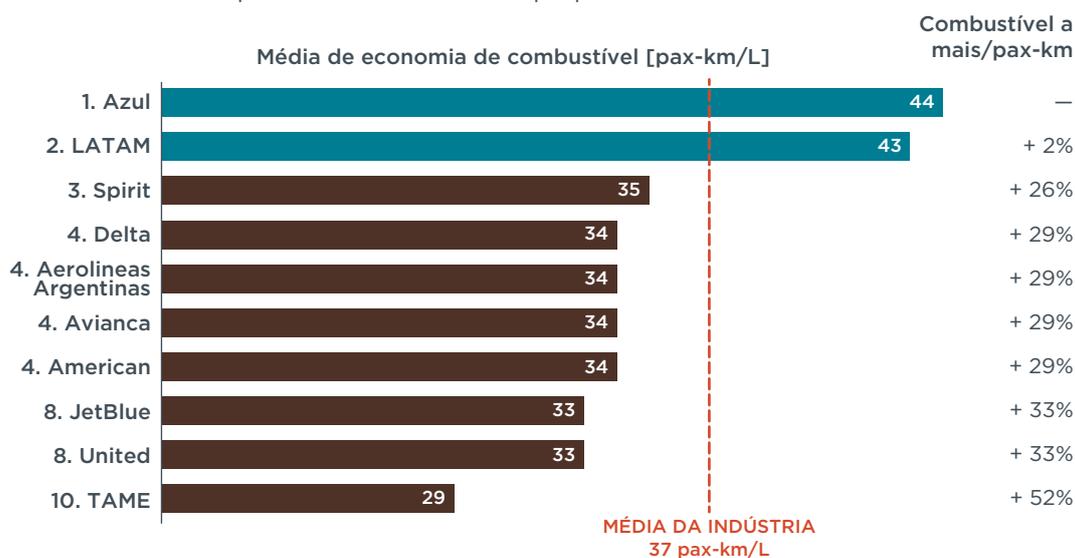
As médias de eficiência de combustível em pax-km/L das 15 principais companhias aéreas em rotas Estados Unidos-MACC em 2018 são mostradas na Figura 1a. A linha tracejada laranja indica a média da indústria, 32 pax-km/L. A Frontier, dos Estados Unidos, e a Volaris, do México, alcançaram a maior média, 37 pax-km/L, 16% melhor que a média da indústria. A Interjet operou os voos com menor eficiência de combustível, consumindo em média 32% mais combustível por passageiro-quilômetro que essas duas companhias. Essa diferença é apenas metade daquela verificada anteriormente nos rankings transpacífico e transatlântico (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b), provavelmente devido à menor variação nas configurações de carga e assentos.



**Figura 1a.** Eficiência de combustível das 15 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-MACC, 2018.

A Figura 1b mostra as médias de eficiência de combustível das 10 principais companhias aéreas em rotas Estados Unidos-AmSul em 2018. A linha tracejada laranja indica a média da indústria, 37 pax-km/L. A companhia brasileira Azul foi classificada como a de maior eficiência de combustível nesse mercado, 44 pax-km/L, 19% melhor que a média da indústria. A LATAM veio logo em seguida, com uma eficiência média de 43 pax-km/L. A companhia aérea equatoriana TAME operou os voos com menor eficiência de combustível nesse mercado, consumindo em média 52% mais combustível por passageiro-quilômetro que a Azul. Essa diferença entre as companhias com maior e menor eficiência é comparável à observada anteriormente nos rankings

transpacífico e transatlântico (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b). Vale observar que, desconsiderando Azul, LATAM e TAME, a diferença na eficiência de combustível entre as outras sete companhias é relativamente pequena.



**Figura 1b.** Eficiência de combustível das 10 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2018.

As três maiores transportadoras no mercado Estados Unidos-MACC em termos de parcela de ASK são companhias tradicionais (*legacy carriers*) dos Estados Unidos, e suas eficiências de combustível estão próximas da média da indústria. A American Airlines, com a maior parcela de ASK, 18%, ocupa a penúltima posição. Embora a diferença geral na eficiência de combustível seja pequena no mercado Estados Unidos-MACC, as melhorias na eficiência de combustível da American reduziram significativamente o uso de combustível, considerando sua grande participação no mercado. As três primeiras companhias no ranking referente ao Estados Unidos-MACC são todas menores e, entre elas, a Copa tem a maior participação de ASK, 6%. O mercado Estados Unidos-AmSul, por outro lado, possui duas companhias dominantes, American e LATAM. Ambas têm uma participação de ASK superior a 20%, mas a LATAM ocupa o segundo lugar em eficiência de combustível, enquanto a eficiência de combustível da American está abaixo da média.

Também observamos padrões de eficiência de combustível por transportadora do país. No mercado Estados Unidos-AmSul, as cinco transportadoras dos Estados Unidos operaram com eficiências de combustível semelhantes, com a Spirit com melhor desempenho, 35 pax-km/L, e a United ficando atrás, com 33 pax-km/L. No entanto, as companhias no topo do *ranking*, Azul e LATAM, tiveram desempenho tão alto em eficiência de combustível que todas as transportadoras dos Estados Unidos ficaram abaixo da média da indústria. No mercado Estados Unidos-MACC, as oito transportadoras dos Estados Unidos têm níveis variados de eficiência de combustível, havendo uma grande diferença entre as três companhias aéreas mexicanas. A Volaris empatou em primeiro lugar, enquanto a Aeroméxico ficou abaixo da média da indústria e a Interjet ficou em último lugar.

Os mercados Estados Unidos-MACC e Estados Unidos-AmSul exibiram tendências diferentes ao longo do tempo. De 2017 a 2018, o mercado Estados Unidos-MACC registrou um aumento de 2,5% no combustível total consumido por todas as companhias aéreas do ranking, além de um aumento de 4,1% em RPKs, o que indica uma melhoria de 1,4% na eficiência de combustível em toda a frota. O mercado Estados Unidos-AmSul, por outro lado, mostrou um crescimento comparável tanto em RPKs

como em consumo de combustível entre 2017 e 2018; não há mudança material na eficiência de combustível.

A média de eficiência de combustível ponderada no mercado Estados Unidos-MACC aumentou 0,5 pax-km/L de 2017 para 2018, ou 1,4%. A diferença de eficiência de combustível também diminuiu, de 46% em 2017 para 32% em 2018, devido a uma queda na eficiência da Frontier, de 38 para 37 pax-km/L, e um aumento na eficiência da Interjet, de 26 para 28 pax-km/L. Várias outras transportadoras tiveram grandes melhorias, incluindo a Volaris (de 34 para 37 pax-km/L) e a Sun Country (de 31 para 33 pax-km/L). As transportadoras melhoraram por conta de mudanças operacionais: aeronaves com mais eficiência de combustível na Volaris, maior densidade de assentos na Sun Country e maior taxa de ocupação na Interjet.<sup>6</sup> A única transportadora do Estados Unidos-MACC cuja eficiência de combustível caiu mais de 1,5 pax-km/L foi a Spirit, que passou de 35 para 33 pax-km/L, principalmente por conta de uma diminuição na taxa de ocupação média.

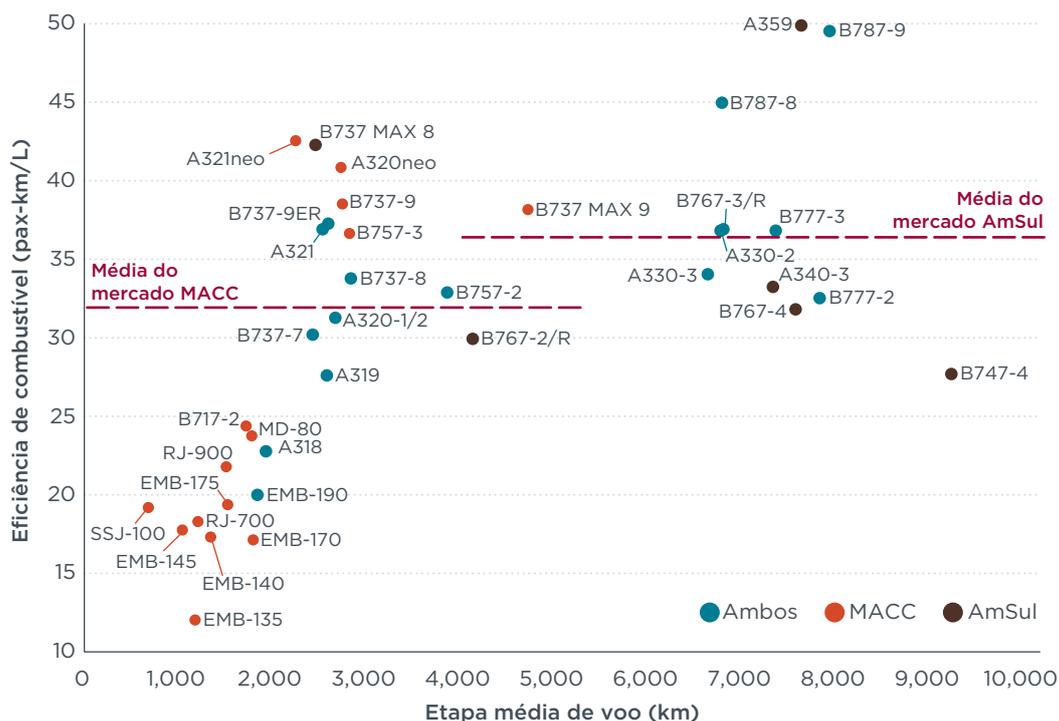
As duas principais mudanças na eficiência de combustível na Estados Unidos-AmSul de 2017 para 2018 vieram da Azul e das Aerolíneas Argentinas. A eficiência de combustível da Azul superou a da LATAM em 2018, principalmente como resultado da modernização da frota da Azul, enquanto a LATAM operou amplamente com a mesma frota e as mesmas cargas. Enquanto isso, a eficiência de combustível das Aerolíneas Argentinas caiu 2 pax-km/L em 2018, principalmente devido à taxa de ocupação, que foi de 82% em 2017 para 76% em 2018. Essa é uma queda importante, considerando que a taxa geral de ocupação no mercado Estados Unidos-AmSul diminuiu apenas de 83% para 82% no mesmo período. A demanda por viagens internacionais diminuiu na Argentina por conta da desvalorização da moeda e outras incertezas econômicas (CAPA, 2019b).

### 3.2 ESPECIFICIDADES DAS AERONAVES

A Figura 2 ilustra a média de eficiência de combustível para cada modelo de aeronave usado nas rotas Estados Unidos-América Latina em 2018 em função da etapa de voo modelada. Essas eficiências específicas das aeronaves são também comparadas com as médias do mercado Estados Unidos-MACC, 32 pax-km/L, e Estados Unidos-AmSul, 37 pax-km/L.

A família de aeronaves Boeing 737 foi a mais utilizada nas rotas do Estados Unidos-MACC em 2018, em 45% dos voos. A família Airbus A320 foi a segunda mais usada. A eficiência de combustível das aeronaves Boeing 737 foi em média 2 pax-km/L melhor que a média do mercado Estados Unidos-MACC. Os modelos Airbus A320neo, Boeing 737 MAX 8, Airbus A321neo e Boeing 787-900 tiveram eficiências de combustível notadamente maiores, acima de 40 pax-km/L. Embora a família Airbus A320neo e a série Boeing 737 MAX tenham alta eficiência de combustível e potencial para substituir modelos mais antigos em voos do Estados Unidos-MACC, a implantação da série 737 MAX permanece incerta após os acidentes fatais no final de 2018 e início de 2019 (Gelles, 2019).

<sup>6</sup> Este relatório faz uma distinção entre menor consumo de combustível no nível da aeronave e alta eficiência de combustível no nível da transportadora. Uma aeronave com baixo consumo de combustível representa tecnologias que reduzem esse consumo independentemente de parâmetros operacionais, como taxa de ocupação, densidade de assentos e carga transportada. Inversamente, uma transportadora com eficiência de combustível é aquela que atinge alta eficiência de combustível, em pax-km/L, com base em uma ou em todas essas estratégias.



**Figura 2.** Eficiência de combustível por tipo de aeronave usado em rotas Estados Unidos-América Latina, 2018.

Nas rotas da Estados Unidos-AmSul, as aeronaves da família Airbus A320 foram as mais usadas em 2018, representando 29% dos voos; a segunda família mais utilizada foi a do Boeing 767. A eficiência de combustível das aeronaves da família Airbus A320 ficou em média 5 pax-km/L abaixo da média do mercado Estados Unidos-AmSul. O Airbus A350-900 e o Boeing 787 Dreamliners, por outro lado, tiveram eficiência de combustível notadamente maior, acima de 40 pax-km/L. A maior eficiência média de combustível no mercado Estados Unidos-AmSul, em comparação com o mercado Estados Unidos-MACC, pode ser atribuída principalmente à ausência de jatos regionais de baixa eficiência, mas a implantação de modelos de aeronaves de fuselagem larga com alta eficiência de combustível (i.e., 13% dos RPKs operados na família A350-900 ou B787) também contribuiu.

É importante observar que variações em taxa de ocupação, densidade de assentos e carga transportada também afetam a eficiência de combustível de diferentes tipos de aeronave. Mesmo entre as companhias que já operam com o Dreamliners, a média de assentos varia entre 219 e 250 nos Boeings 787-800 e entre 252 e 301 nos Boeings 787-900. Isso expande a eficiência de combustível de 37 para 48 pax-km/L entre os 787-800 e de 27 para 53 pax-km/L entre os 787-900.

Das cinco companhias aéreas que voam Boeings 767-300ER em rotas da Estados Unidos-AmSul, a LATAM operou com a maior eficiência de combustível, 40 pax-km/L, em 2018. Isso ocorreu devido à sua alta parcela média de frete, 26%, à sua média de 233 assentos por aeronave e uma taxa de ocupação de 79%. A American, por outro lado, colocou apenas 207 assentos nos seus 767s e operou com taxa de ocupação e parcela de frete mais baixas. Portanto, obteve eficiência de combustível de 33 pax-km/L usando o mesmo tipo de aeronave em rotas semelhantes.

### 3.3 DETERMINANTES DA EFICIÊNCIA DAS COMPANHIAS AÉREAS ESTADOS UNIDOS-AMÉRICA LATINA

As Tabelas 3a e 3b sintetizam os principais parâmetros operacionais das companhias aéreas para voos diretos de e para Estados Unidos-MACC e Estados Unidos-AmSul, respectivamente, por transportadora e em ordem de eficiência de combustível em 2018. Os parâmetros incluem taxa de ocupação, parcela de frete, densidade geral de assentos e consumo relativo de combustível da aeronave operada.<sup>7</sup>

**Tabela 3a.** Parâmetros operacionais das companhias aéreas no mercado Estados Unidos-MACC, 2018.

Posição	Companhia	Taxa de ocupação	Parcela de frete das toneladas-km totais	Densidade de assentos geral (assento/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Consumo de combustível da aeronave <sup>b</sup>
T1	Frontier	77%	0%	1,71	+6%
T1	Volaris	76%	0%	1,67	-5%
3	Copa	85%	3%	1,50	+5%
4	United	84%	1%	1,54	+4%
T5	Spirit	78%	0%	1,67	+5%
T5	Alaska	84%	0%	1,53	+9%
T5	Sun Country	74%	0%	1,68	+5%
T8	JetBlue	82%	0%	1,44	+4%
T8	Avianca	83%	2%	1,41	+6%
T8	Delta	86%	2%	1,51	+9%
T11	Aeroméxico	78%	3%	1,49	+3%
T11	Southwest	83%	0%	1,73	+5%
T13	Caribbean	73%	3%	1,46	+5%
T13	American	80%	1%	1,44	+5%
15	Interjet	74%	1%	1,40	+7%
<b>Média da indústria</b>		<b>82%</b>	<b>1%</b>	<b>1,51</b>	<b>+5%</b>

<sup>a</sup> Medida em assentos por metro quadrado ou FGR. Para detalhes, ver nota de rodapé 7.

<sup>b</sup> Medida pela margem média da aeronave para o padrão de CO<sub>2</sub> da OACI. Para detalhes, ver nota de rodapé 7.

O mercado Estados Unidos-MACC como um todo operou com uma densidade média de assentos muito mais alta, de 1,51 assento/m<sup>2</sup>, em comparação com o mercado Estados Unidos-AmSul, cuja média foi de 1,07 assento/m<sup>2</sup>. A densidade de assentos por transportadora também variou bastante. No mercado Estados Unidos-MACC, a Southwest e a Frontier tinham densidade superior a 1,70 assento/m<sup>2</sup>, e a Interjet teve a menor densidade, de 1,40 assento/m<sup>2</sup>. Apesar da menor densidade geral de assentos no mercado Estados Unidos-AmSul, a Spirit e a JetBlue operaram voos densamente cheios devido a seus modelos de negócio de baixo custo. A American operou voos com o menor número de assentos por unidade de área útil no mercado Estados Unidos-AmSul.

7 A densidade de assentos é medida em assentos por metro quadrado (m<sup>2</sup>) do Fator Geométrico de Referência, ou FGR. O FGR é um proxy aproximado da área pressurizada de uma aeronave. Foi desenvolvido pela OACI como meio de avaliar a eficiência de combustível das aeronaves. Ver Rutherford (2013) para mais detalhes. O consumo relativo de combustível de aeronaves é medido pela margem da eficiência de combustível ou padrão de CO<sub>2</sub> da OACI, que estabeleceu um meio acordado internacionalmente de avaliar e comparar a eficiência de aeronaves. Valores negativos indicam o uso de frotas com mais eficiência de combustível, ao passo que valores positivos indicam aeronaves com maior consumo de combustível. Ver Kharina & Rutherford (2017) para detalhes.

**Tabela 3b.** Parâmetros operacionais das companhias aéreas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2018.

Posição	Companhia	Taxa de ocupação	Parcela de frete das toneladas-km totais	Densidade de assentos geral (assento/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Consumo de combustível da aeronave <sup>b</sup>
1	Azul	89%	35%	1,10	+1%
2	LATAM	82%	31%	1,11	-1%
3	Spirit	83%	0%	1,65	+4%
T4	Delta	84%	17%	1,09	+4%
T4	Aerolíneas Argentinas	76%	24%	1,13	+3%
T4	Avianca	82%	14%	1,12	+2%
T4	American	79%	22%	0,97	+5%
T8	JetBlue	86%	0%	1,42	+4%
T8	United	83%	21%	1,01	+6%
10	TAME	79%	0%	1,19	+1%
<b>Média da indústria</b>		<b>82%</b>	<b>22%</b>	<b>1,07</b>	<b>+3%</b>

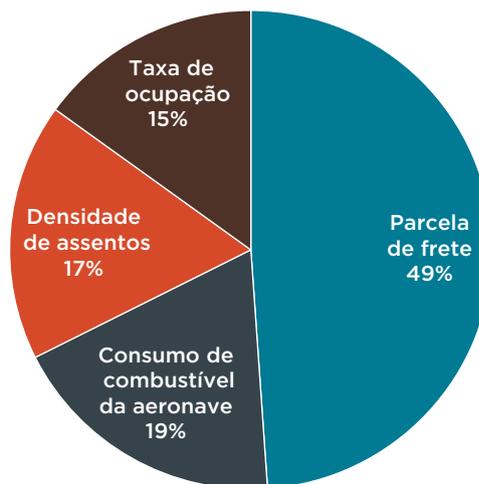
<sup>a</sup> Medida em assentos por metro quadrado ou FGR. Para detalhes, ver nota de rodapé 7.

<sup>b</sup> Medida pela margem média da aeronave para o padrão de CO<sub>2</sub> da OACI. Para detalhes, ver nota de rodapé 7.

Ambos os mercados têm uma taxa de ocupação média de 82% e há relativamente pouca variação entre as transportadoras. A Frontier, apesar de ocupar o primeiro lugar em eficiência de combustível, fez uso de aeronaves com consumo de combustível relativamente maior que o de seus pares no mercado Estados Unidos-MACC. A Volaris, por outro lado, se beneficiou de uma frota com o menor consumo de combustível no mercado Estados Unidos-MACC por uma ampla margem. A margem média de consumo de combustível por aeronaves para o padrão de CO<sub>2</sub> da OACI é cerca de 2% maior no mercado Estados Unidos-MACC que no Estados Unidos-AmSul, refletindo, em média, frotas com maior consumo de combustível. Porém, é provável que essa tendência mude, pois as transportadoras de baixo custo que atendem às rotas do Estados Unidos-MACC encomendaram uma quantidade considerável de novas aeronaves com maior eficiência de combustível (CAPA, 2019a).

Uma grande diferença entre os dois mercados diz respeito à quantidade de carga de porão transportada. Conforme mostrado nas tabelas, as transportadoras no mercado Estados Unidos-MACC quase não transportam carga de porão, mas, para as do mercado Estados Unidos-AmSul, em média 22% da carga paga é de frete. As exceções são Spirit, JetBlue e TAME, que operam rotas relativamente mais curtas, quase sem carga de porão. Os bens perecíveis típicos transportados por voos com destino aos Estados Unidos incluem flores da Colômbia, salmão do Chile e frutos silvestres da Argentina e do Peru (The International Air Cargo Association, 2018).

A variação nos parâmetros operacionais entre as transportadoras ajuda a explicar o tamanho das diferenças em eficiência de combustível observadas nos mercados Estados Unidos-MACC e Estados Unidos-AmSul. A diferença menor, de 32%, no mercado Estados Unidos-MACC pode ser atribuída à quase ausência de variação na carga de porão entre as transportadoras dessa região e uma variação modesta na densidade de assentos em comparação com o mercado Estados Unidos-AmSul.



**Figura 3.** Principais determinantes da eficiência de combustível de companhias aéreas no mercado Estados Unidos-América Latina.

Desenvolvemos um modelo de regressão multivariada para relacionar a eficiência de combustível em geral das companhias aéreas com parâmetros ou determinantes tecnológicos e operacionais. Isso inclui o consumo de combustível pela aeronave, a densidade de assentos, a taxa de ocupação e a parcela de frete da carga paga total, que é a mesma abordagem adotada nos rankings transatlânticos anteriores (Graver & Rutherford, 2018b). O método Shapley foi usado para quantificar a importância relativa de cada determinante da eficiência de combustível, e os resultados são mostrados na Figura 3. Essa abordagem explicou cerca de 85% da variação, tendo as métricas sido normalizadas para somar 100%.

A parcela de frete da carga paga total, ou carga de porão, foi o fator mais importante, explicando aproximadamente metade da variação entre as transportadoras. A variação restante foi explicada em medidas praticamente iguais de consumo de combustível da aeronave, densidade de assentos e taxa de ocupação. A análise de *bootstrapping* indica uma sobreposição significativa no intervalo de confiança normalizado de 95% para os quatro determinantes estimados: consumo de combustível da aeronave, 2% a 34%; taxa de ocupação, 2% a 29%; parcela de frete, 13% a 55%; e densidade de assentos, 8% a 28%. No entanto, é justo dizer que a parcela de frete foi o determinante mais importante na eficiência de combustível na rota Estados Unidos-América Latina em 2018.

Os determinantes específicos da eficiência de combustível para os mercados Estados Unidos-MACC e Estados Unidos-AmSul foram diferentes.<sup>8</sup> A parcela de frete da carga paga total teve um papel essencial na eficiência de combustível do mercado Estados Unidos-AmSul, mas seu impacto foi limitado no mercado Estados Unidos-MACC, onde a parcela de frete da carga paga total foi pequena em todos os voos. Os quatro parâmetros operacionais não explicam uma parcela significativa da variação no mercado Estados Unidos-MACC, o que sugere que outros fatores, como a idade da frota, tiveram papel importante.

<sup>8</sup> Aqui são apresentados resultados combinados para os mercados Estados Unidos-MACC e Estados Unidos-AmSul porque eles alcançaram significância estatística em ambos. Um modelo de regressão multivariado também foi construído para os dados Estados Unidos-MACC e Estados Unidos-AmSul separadamente. Embora os resultados do Estados Unidos-MACC não tenham atingido significância estatística, a parte da variância explicada pelo modelo linear indicou que a densidade de assentos tem uma importância relativa mais alta. O modelo para dados da Estados Unidos-AmSul explicou 96% da variação, com importância relativa diferente alocada à parcela de frete da carga paga total (51%), à taxa de ocupação (22%), ao consumo de combustível da aeronave (17%) e à densidade de assentos (10%).

Duas das principais tendências no mercado Estados Unidos-América Latina entre 2013 e 2018 foram um crescimento do serviço de transportadoras de baixo custo e o mais amplo uso de aeronaves mais novas (Baker, 2019). Nesses seis anos, as operadoras de baixo custo aumentaram constantemente sua participação coletiva no mercado Estados Unidos-MACC, de 19% em 2013 para 30% em 2018. Enquanto isso, esse mesmo mercado como um todo cresceu 44% em ASKs. Entre as sete companhias aéreas de baixo custo no mercado Estados Unidos-MACC, as transportadoras com maior crescimento de ASKs entre 2013 e 2018 foram Southwest (+554%) e Interjet (+272%).

Também durante esses seis anos, as transportadoras que operam rotas Estados Unidos-América Latina implantaram um número crescente de aeronaves das séries Airbus A321, Boeing 787 e Airbus A330, enquanto retiravam de circulação algumas das aeronaves Boeing 757 e 767 mais antigas. A parcela de frete da carga paga total e a taxa de ocupação variaram pouco entre 2013 e 2018.

Como a duração média das etapas de voo no mercado Estados Unidos-AmSul é semelhante à dos mercados transpacífico e transatlântico, podemos comparar a contribuição de parâmetros operacionais para a eficiência de combustível entre mercados, embora em anos ligeiramente diferentes (Tabela 4). A média de eficiência de combustível no mercado Estados Unidos-AmSul foi 3 pax-km/L maior que a do mercado transatlântico dos Estados Unidos e 6 pax-km/L maior que a do mercado transpacífico dos Estados Unidos, principalmente porque as aeronaves que atendem rotas Estados Unidos-AmSul tenderam a ser configuradas mais densamente e ter maior eficiência de combustível.

**Tabela 4.** Parâmetros operacionais das companhias aéreas no mercado Estados Unidos-internacional (Graver & Rutherford, 2018a, 2018b).

Mercado de aviação (ano)	Etapas de voo média (km)	Taxa de ocupação	Parcela de frete das toneladas-km totais	Densidade de assentos geral (assento/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Consumo de combustível da aeronave <sup>b</sup>	Eficiência de combustível (pax-km/L)
Transpacífico (2016)	10.738	82%	25%	0,87	+4%	31
Transatlântico (2017)	7.028	81%	21%	1,01	+5%	34
Estados Unidos-AmSul (2018)	5.083	82%	22%	1,07	+3%	37

<sup>a</sup> Medida em assentos por metro quadrado ou FGR. Para detalhes, ver nota de rodapé 7.

<sup>b</sup> Medida pela margem média da aeronave para o padrão de CO<sub>2</sub> da OACI. Para detalhes, ver nota de rodapé 7.

### 3.4 ESPECIFICIDADES DAS COMPANHIAS AÉREAS

Tendo demonstrado que o tipo de aeronave, a densidade de assentos, a taxa de ocupação e a carga transportada são determinantes importantes da eficiência de combustível das companhias aéreas, esta seção descreve como cada companhia aérea poderia fazer melhorias nesses parâmetros a fim de aumentar essa eficiência.

#### 3.4.1 Transportadoras no ranking Estados Unidos-MACC

**Frontier Airlines (T-1º: 37 pax-km/L)**, transportadora de ultrabaixo custo dos Estados Unidos e a de maior eficiência de combustível nas operações domésticas do país em 2017 e 2018 (Zheng et al., 2019), atendeu a rotas entre 10 aeroportos dos Estados Unidos e cinco destinos no México e no Caribe em 2018. Configurações densas de assento contribuíram significativamente para a alta eficiência de combustível da companhia aérea nessas rotas. A maioria dos voos do Estados Unidos-MACC foram feitos em aeronaves Airbus A321 e A320-200. Se a Frontier implantar mais

das aeronaves Airbus A320neo que opera e que encomendou nas rotas do Estados Unidos-MACC, sua eficiência de combustível poderá ser ainda melhor.

**Volaris (T-1º: 37 pax-km/L)** é a segunda maior transportadora do México. Companhia de baixo custo, ela operou voos diretos entre 31 aeroportos dos Estados Unidos e 20 destinos mexicanos, um aeroporto em El Salvador e um na Guatemala em 2018. A Volaris implantou aeronaves com consumo excepcionalmente baixo de combustível em suas rotas do Estados Unidos-MACC; especificamente, mais da metade dos RPKs foram pilotados por aeronaves Airbus A320neo e A321neo. A mudança das aeronaves A320 para A320neo em 2018 melhorou a eficiência de combustível da transportadora em 3 pax-km/L, que foi o maior avanço de 2017 entre as transportadoras do ranking nos dois mercados. Além disso, a transportadora fez um pedido grande de 80 novas aeronaves da família A320neo, com entrega prevista para começar em 2022 (Volaris, 2017).

**Compañía Panameña, Copa (3º: 35 pax-km/L)**, transportadora de bandeira do Panamá e membro da Star Alliance, operou voos diretos entre a Cidade do Panamá e 14 aeroportos dos Estados Unidos em 2018. A maioria desses voos utilizava aeronaves Boeing 737-800. A Copa fez pedidos de cerca de 55 aeronaves da série Boeing 737 MAX e planeja expandir o uso do 737 MAX 9 para voos de e para os Estados Unidos (Liu, 2018). No entanto, como permanecem os problemas de segurança das aeronaves 737 MAX, há incerteza sobre esse plano de renovação da frota. A transportadora também operou com o mais alto fator de carga entre todas as transportadoras no ranking do Estados Unidos-MACC. Atualmente, a Copa está estabelecendo uma *joint venture* com a Avianca e a United (CAPA, 2019a).

**Alaska Airlines (T-5º: 33 pax-km/L)**, quinta maior companhia aérea dos Estados Unidos, com seu principal hub no Aeroporto Internacional de Seattle-Tacoma, operou voos entre oito aeroportos nos Estados do Pacífico e 12 destinos do MACC em 2018. A companhia aérea implantou o uso principalmente dos aviões Boeing 737-900ER e 737-800 nessas rotas. A capacidade da transportadora aumentou após a fusão com a Virgin America, e 19% das partidas em 2018 foram realizadas por aeronaves Airbus A320 da Virgin. No entanto, o consumo médio de combustível da frota Estados Unidos-MACC da Alaska também se tornou o mais alto entre as transportadoras do ranking após a fusão. A transportadora ainda alcançou eficiência de combustível acima da média graças à sua configuração relativamente densa de assentos e taxa de ocupação acima da média.

**Sun Country Airlines (T-5º: 33 pax-km/L)** é uma transportadora de ultrabaixo custo dos Estados Unidos, baseada no Aeroporto Internacional de Minneapolis-Saint Paul. A companhia aérea atendeu a voos diretos entre seis aeroportos dos Estados Unidos e 14 destinos do MACC em 2018, principalmente com aeronaves Boeing 737-800. A transportadora operou com a maior densidade de assentos entre as transportadoras do ranking do Estados Unidos-MACC em 2018. A reconfiguração dos 737-800s de uma média de 166 para 176 assentos ajudou a melhorar a eficiência de combustível da transportadora em 2 pax-km/L em 2018.

**Aeroméxico (T-11º: 31 pax-km/L)**, a transportadora de bandeira e maior companhia aérea do México, operou voos diretos entre 24 aeroportos dos Estados Unidos e sete destinos mexicanos em 2018. A companhia aérea detém a maior parcela dos mercados de aviação doméstica e internacional do México (CAPA, 2018) e também opera sob uma *joint venture* com a Delta Airlines (CAPA, 2019a). As aeronaves mais usadas em 2018 incluíram Boeing 737-800, Embraer 190, Boeing 737-700 e 787-900. Os 54 aviões da série 737 MAX que foram encomendados podem ajudar a melhorar a eficiência de

combustível da transportadora se esse modelo estiver livre de problemas de segurança e voltar ao serviço (Navarro, 2019).

**Southwest Airlines (T-11º: 31 pax-km/L)**, transportadora de baixo custo dos Estados Unidos, atendeu 27 aeroportos desse país e 14 destinos do MACC em 2018, usando principalmente as aeronaves Boeing 737-700 e 737-800. Os voos da Southwest tenderam a operar com altas taxas de ocupação e densidade de assentos. No entanto, como os 737-700 consomem mais combustível do que outros modelos, a eficiência de combustível geral da Southwest ficou abaixo da média. O plano para substituir aeronaves 737-700 mais antigas por aviões da série 737 MAX poderia melhorar em grande medida a eficiência da frota da companhia, mas a substituição está atrasada devido à proibição de decolagem do 737 MAX (Josephs, 2019).

**Caribbean Airlines (T-13º: 30 pax-km/L)**, a companhia aérea nacional e transportadora de bandeira de Trinidad e Tobago, usou apenas aeronaves Boeing 737-800 entre quatro aeroportos dos Estados Unidos e oito destinos do Caribe. Embora as aeronaves operadas pela Caribbean tenham menor consumo de combustível e maior densidade de assentos do que a média da indústria, a companhia teve a menor taxa de ocupação entre todas as 15 transportadoras do Estados Unidos-MACC. A substituição do Boeing 737-800 por aeronaves 737 MAX 8 poderia melhorar a eficiência de combustível da transportadora, mas a Caribbean está reconsiderando o arrendamento devido a acidentes com o 737 MAX (Wint, 2019).

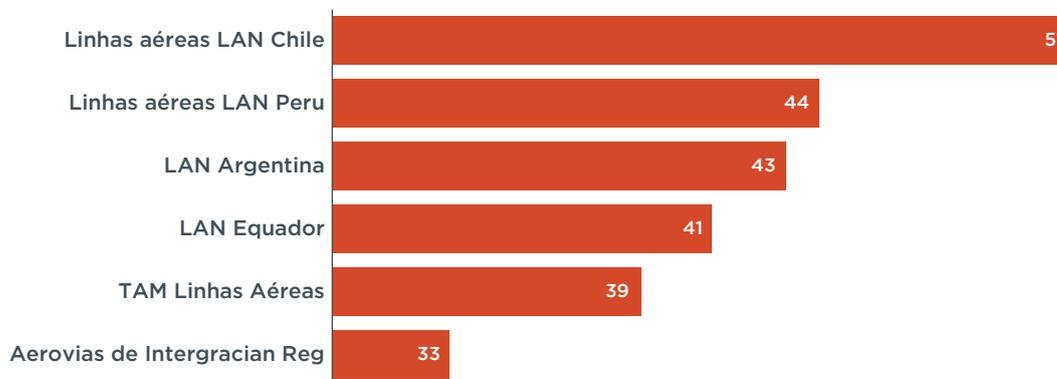
**Interjet Airlines (15º: 28 pax-km/L)**, transportadora de baixo custo com sede no México, atendeu rotas entre 10 aeroportos dos Estados Unidos e sete cidades mexicanas em 2018 com aeronaves da família Airbus A320. A transportadora começou a se afastar de seu modelo de baixo custo em 2018, quando passou a oferecer assentos com espaço extra para as pernas e uma franquia de bagagem mais generosa (Interjet, n.d.). No entanto, a Interjet melhorou sua eficiência de combustível em 2 pax-km/L de 2017 para 2018, principalmente aumentando sua taxa de ocupação de 69% para 74%. Devido à mudança no modelo de negócios da transportadora, não se sabe ao certo se a densidade de assentos atual será mantida.

### 3.4.2 Transportadoras no ranking Estados Unidos-AmSul

**Azul Airlines (1º: 44 pax-km/L)** é uma companhia aérea de baixo custo e a terceira maior do Brasil. Recentemente, a companhia aérea expandiu seu serviço de voos domésticos para voos diretos internacionais. Em 2018, a companhia aérea usou as aeronaves Airbus A320neo e A330-200 para operar voos entre dois aeroportos da Flórida e seis destinos brasileiros. A transportadora ficou em primeiro lugar entre as 10 transportadoras da Estados Unidos-AmSul usando uma frota econômica no consumo de combustível, com a maior taxa de ocupação e parcela de frete da carga paga. A reconfiguração das aeronaves A330 em 2017 também ajudou a Azul a transportar mais passageiros nos mesmos voos. A frota da Azul deve melhorar ainda mais no futuro próximo, já que a transportadora encomendou 25 aeronaves A320neo, dez aeronaves A321neo e quatro aeronaves A330-900neo (Azul Airlines, 2019).

**LATAM Airlines (2º: 43 pax-km/L)** é um grupo de companhias aéreas chilenas com subsidiárias na Argentina, no Brasil, na Colômbia, no Equador, no Paraguai e no Peru. O grupo atendeu a rotas entre sete aeroportos dos Estados Unidos e 13 cidades sul-americanas em 2018, com hubs em Santiago, Lima e Bogotá. Além disso, operou com a segunda maior parcela de frete entre as transportadoras do ranking da Estados Unidos-AmSul em 2018. Um conjunto de aeronaves Boeing 767-300, 787-800/900, 777-300 e Airbus A359 foi usado por diferentes companhias aéreas subsidiárias e constituiu uma frota com relativa eficiência de combustível. O investimento da transportadora em novas aeronaves A321neo poderia melhorar ainda mais sua frota

(CAPA, 2019a). A Figura 4 mostra que a eficiência de combustível de cada subsidiária varia, com a LATAM Chile liderando e a LATAM Colômbia (nome fantasia das Aerovias de Integración Regional S.A.) vindo atrás, em grande parte por conta de operar tipos diferentes de aeronave. A LATAM está estabelecendo uma parceria com a Delta, que recentemente comprou uma participação de 20% na LATAM (Rucinski, 2019).



**Figura 4.** Eficiência de combustível, em pax-km/L, das subsidiárias da LATAM em rotas diretas Estados Unidos-AmSul.

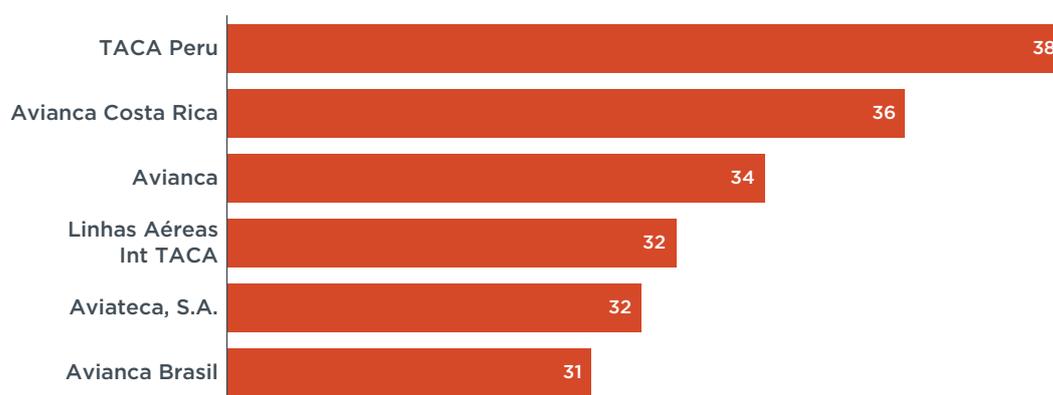
**Aerolíneas Argentinas (T-4º: 34 pax-km/L)**, a maior companhia aérea da Argentina e membro do SkyTeam, operou voos diretos entre Buenos Aires e dois aeroportos dos Estados Unidos—Internacional de Miami e Internacional John F. Kennedy—em 2018. A maioria desses voos foi realizada com aeronaves Airbus A330-200. A taxa de ocupação média da transportadora caiu de 82% em 2017 para 76% em 2018, principalmente na rota Miami-Buenos Aires. Essa mudança impactou a eficiência de combustível da companhia aérea em geral, que caiu do terceiro lugar no ranking de 2017 para o quarto lugar em 2018, superado pela Spirit e pela Delta.

**TAME EP Linha Aérea do Equador (10º: 29 pax-km/L)**, a transportadora de bandeira do Equador, prestou serviços entre dois aeroportos dos Estados Unidos e dois destinos equatorianos em 2018, usando em geral aeronaves Airbus A330-300 e A320-200. Como uma das três transportadoras da Estados Unidos-AmSul sem carga de porão no ranking, a TAME fez as operações com menor eficiência de combustível nesse mercado, apesar de sua densidade de assentos estar acima da média e de sua taxa de consumo de combustível e taxa de ocupação estarem em torno da média.

### 3.4.3 Transportadoras em ambos os rankings

**American Airlines (MACC T-13º: 30 pax-km/L; AmSul T-4º: 34 pax-km/L)**, a maior transportadora do mundo em RPKs, conquistou a maior participação nos mercados Estados Unidos-AmSul e Estados Unidos-MACC em 2018. A transportadora usou principalmente aeronaves da família Airbus A319 e Boeing 777 entre quatro aeroportos dos Estados Unidos e 21 destinos da AmSul. Os planos de substituir aeronaves Boeing 777-200ER mais antigas por 787-900, bem como 767-300ER por 787-800 (American Airlines, 2018), podem melhorar a frota da transportadora, que apresentou o maior consumo de combustível no ranking. O uso continuado de aeronaves A319, que têm baixa eficiência de combustível, em rotas mais curtas não seria favorável nesse sentido. Em 2018, a companhia aérea também operou voos entre 23 aeroportos dos Estados Unidos e 68 destinos do MACC, a maioria com aeronaves das famílias Boeing 737-800 e Airbus A320. A eficiência de combustível da American ficou abaixo da média nos dois mercados. A melhoria na taxa de ocupação e na configuração dos assentos pode aumentar a eficiência de combustível da transportadora.

**Avianca (MACC T-8°: 32 pax-km/L; AmSul T-4°: 34 pax-km/L)** é a transportadora de bandeira da Colômbia, a segunda maior companhia aérea da América Latina e membro da Star Alliance. A Avianca atendeu a 12 aeroportos dos Estados Unidos, sete destinos da AmSul e quatro destinos do MACC em 2018. A transportadora utilizou aeronaves da família Airbus A320 e A330 em suas rotas na Estados Unidos-AmSul e apenas aeronaves da família Airbus 320 em rotas do Estados Unidos-MACC. A Avianca encomendou mais de 100 aeronaves da família A320neo, mas recentemente cancelou 17 delas e adiou outras 35 para desacelerar a renovação da frota (Yeo, 2019). A operadora ficou próxima da média da indústria nos dois mercados, mas implementou estratégias diferentes: operou aeronaves com relativa eficiência de combustível e baixa densidade de assentos no mercado Estados Unidos-AmSul e fez o contrário no mercado Estados Unidos-MACC. Variações na eficiência de combustível podem ser observadas entre diferentes subsidiárias da Avianca (Figura 5).



**Figura 5.** Eficiência de combustível, em pax-km/L, das subsidiárias da Avianca em rotas diretas Estados Unidos-AmSul.

**Delta Air Lines (MACC T-8°: 32 pax-km/L; AmSul T-4°: 34 pax-km/L)**, companhia aérea tradicional (*legacy*) dos Estados Unidos e segunda maior companhia aérea do mundo em RPKs, operou voos entre seis aeroportos dos Estados Unidos e oito cidades da AmSul, além de serviços entre 30 aeroportos dos Estados Unidos e 41 destinos do MACC em 2018. Nos dois mercados, a Delta operou com taxa de ocupação acima da média, baixa densidade de assentos e aeronaves com alto consumo de combustível. É provável que a eficiência de combustível melhore à medida que a companhia aérea começar a operar aeronaves mais novas e com menor consumo de combustível. Espera-se que o Boeing 767-300ER, aeronave mais usada nas rotas da Estados Unidos-AmSul, seja substituído pelo Airbus A330-900neo, e as novas aeronaves Airbus A321neo já encomendadas vão substituir as aeronaves Airbus A320 mais antigas a partir de 2021 (Delta, 2017, 2018).

**JetBlue Airways (MACC T-8°: 32 pax-km/L; AmSul T-8°: 33 pax-km/L)**, grande transportadora de baixo custo dos Estados Unidos, prestou serviços para cinco cidades da Colômbia, do Equador e do Peru, bem como para 29 destinos no mercado Estados Unidos-MACC em 2018. A JetBlue usou principalmente aeronaves da família Airbus A320 em seus voos para a América Latina. Atualmente, a transportadora está convertendo sua aeronave A320 de 150 para 162 assentos, o que pode aumentar substancialmente sua eficiência de combustível (Yeo, 2018). A transportadora teve eficiência de combustível abaixo da média em ambos os mercados e ficou em desvantagem por não ter transporte de carga de porão no mercado Estados Unidos-AmSul.

**Spirit Airlines (MACC T-5°: 33 pax-km/L; AmSul 3°: 35 pax-km/L)**, transportadora de baixo custo dos Estados Unidos com operações domésticas com alta eficiência

de combustível, atendeu oito aeroportos dos Estados Unidos, 17 destinos do MACC e sete cidades na Colômbia, Equador e Peru em 2018 com aeronaves da família Airbus A320. A Spirit adota um modelo de ultrabaixo custo, com configurações de assentos notadamente densas, e alcançou eficiência de combustível acima da média nos mercados Estados Unidos-MACC e Estados Unidos-AmSul, apesar de não transportar carga de porão nas rotas Estados Unidos-AmSul, que também têm etapas relativamente curtas. É provável que o desempenho da frota da Spirit melhore nos dois mercados quando a transportadora receber sua encomenda de A320neo (Spirit Airlines Inc., 2018).

**United Airlines (MACC 4º: 34 pax-km/L; AmSulT-8º: 33 pax-km/L)**, companhia aérea tradicional (*legacy*) dos Estados Unidos e terceira maior transportadora do mundo, operou em 2018 entre cinco aeroportos dos Estados Unidos e oito destinos da AmSul, e ainda entre 24 aeroportos dos Estados Unidos e 51 destinos do MACC. As aeronaves mais usadas nos voos para Estados Unidos-América Latina incluem as da família Boeing 767-300ER, 777-200 e 737; dessas, espera-se que as aeronaves 777-200 sejam substituídas por alguns dos 45 Airbus A350-900 encomendados, que têm maior eficiência de combustível (Russell, 2017).

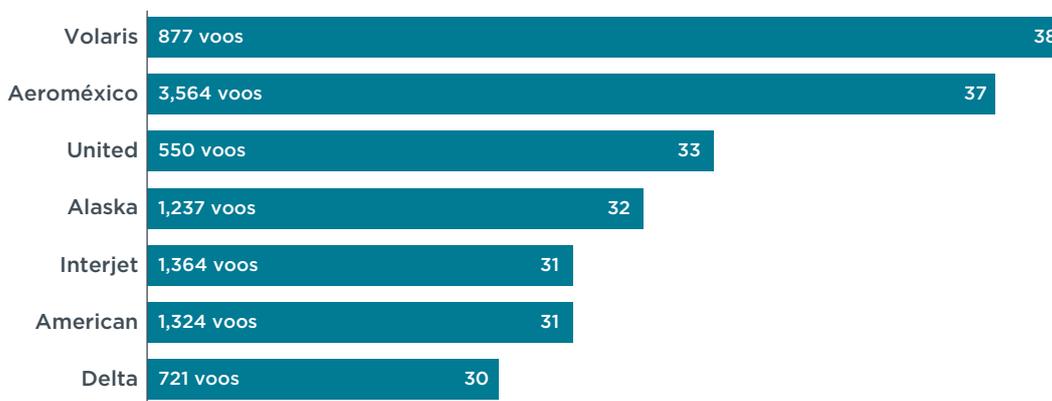
### 3.5 COMPARAÇÕES ENTRE ROTAS

Além desses resultados de alto nível, selecionamos três rotas com maior concorrência de companhias aéreas como estudos de caso para avaliar como o tipo de aeronave, a taxa de ocupação e o transporte de carga afetam a eficiência de combustível.

**Los Angeles-Cidade do México.** A rota do Estados Unidos-MACC com maior concorrência foi entre Los Angeles e Cidade do México. Em 2018, sete companhias aéreas fizeram 9.637 voos entre as duas cidades.

As transportadoras com alta eficiência nessa rota adotaram estratégias diferentes. A Volaris operou aeronaves Airbus A320neo com alta eficiência de combustível em mais de dois terços de seus voos, cuja taxa média de ocupação foi de pelo menos 72%, e densidade de assentos relativamente alta. Já a Aeroméxico, que combinou o uso de Boeings 737-800, com relativa eficiência de combustível, a uma taxa de ocupação média de 85%, operou com eficiência de combustível similarmente alta. Com 38 e 37 pax-km/L, respectivamente, os voos de ambas as transportadoras foram mais eficientes do que a média nessa rota, de 34 pax-km/L.

O restante das transportadoras que operam nessa rota demonstrou eficiência de combustível próxima da média da indústria Estados Unidos-MACC, de 32 pax-km/L. Elas tenderam a usar aeronaves Airbus A319 ou A320-200 mais antigas e Boeings 737-800 com taxas de ocupação baixas.

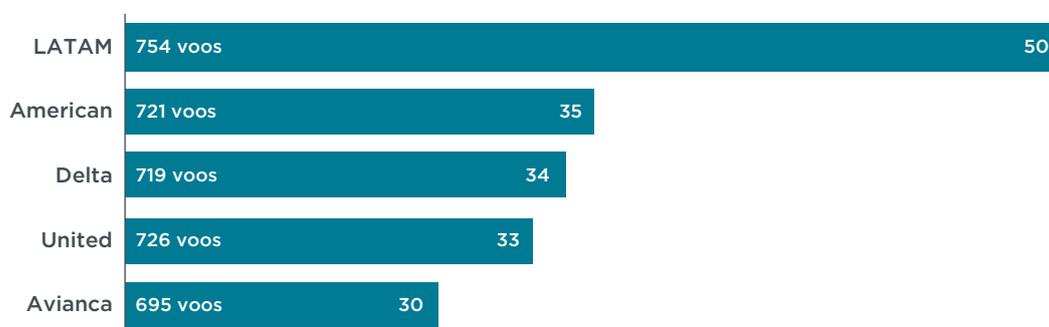


**Figura 6.** Eficiência de combustível, em pax-km/L, das companhias aéreas que operam a rota Los Angeles-Cidade do México.

**Nova York-São Paulo.** A rota da Estados Unidos-AmSul com maior concorrência foi entre a área metropolitana de Nova York (JFK e Newark) e São Paulo. Cinco companhias aéreas operaram 3.615 voos entre as duas cidades em 2018.

O tipo de aeronave desempenhou um papel essencial na eficiência de combustível nessa rota, como mostra a Figura 7. A LATAM utilizou principalmente aeronaves Airbus A350-900 e excedeu a eficiência de combustível de suas concorrentes em 44%-68%. A alta parcela de frete, em média de 40%, ajudou a transportadora a obter alta eficiência de combustível, apesar da baixa taxa de ocupação, de em média 66%. No outro extremo do espectro, a Avianca usou aeronaves Airbus A330-200 em todos os seus voos com uma taxa de ocupação média de 75% e uma parcela de frete de 23%, o que levou à menor eficiência de combustível entre as concorrentes.

Vale ressaltar que a eficiência de combustível dos voos da LATAM varia muito entre rotas e subsidiárias. Por exemplo, para voos entre os Estados Unidos e o Brasil, a LATAM operou com eficiências de combustível entre 25 e 56 pax-km/L, dependendo da aeronave utilizada e das taxas de ocupação médias.



**Figura 7.** Eficiência de combustível, em pax-km/L, das companhias aéreas que operam a rota Nova York-São Paulo.

**Nova York-Santo Domingo.** Para voos entre os Estados Unidos e o Caribe, a maior concorrência de companhias aéreas foi observada na rota da área metropolitana da cidade de Nova York (JFK e Newark) para Santo Domingo. Cinco companhias aéreas fizeram 7.273 voos em 2018, com uma variedade de aeronaves das famílias Boeing 737 e Airbus A320. A American Airlines realizou apenas 12 voos nessa rota em 2018 e não está incluída nesta discussão.

A maioria dos voos nessa rota alcançou eficiência de combustível superior à média da indústria Estados Unidos-MACC (32 pax-km/L). Um dos principais motivos é a adoção de aeronaves de corredor único maiores, como o Boeing 737-900ER da Delta, o Airbus A321 da JetBlue e o Boeing 737-900 da United. A Delta e a United também operaram com taxas de ocupação média elevadas, de 90% e 91%, nessa rota.

Por outro lado, as mesmas três transportadoras operaram com uma eficiência de combustível muito menor em rotas mais curtas do Caribe de e para os estados do sul dos Estados Unidos, porque foram utilizados jatos regionais menores (e.g., Embraer 175) e modelos mais antigos de aeronaves de corredor único (e.g., Airbus A319 e A320).



**Figura 8.** Eficiência de combustível, em pax-km/L, das companhias aéreas que operam a rota Nova York-Santo Domingo.

Essas análises de rota podem ser objeto de comparação com conclusões de outras fontes. Por exemplo, como parte de sua calculadora de CO<sub>2</sub>, a OACI estima o consumo médio total de combustível por rota usando uma fórmula derivada de dados de consumo de combustível relatados pelas companhias aéreas americanas ao BTS.<sup>9</sup> As estimativas de emissões fornecidas pela calculadora de CO<sub>2</sub> da OACI não são úteis para a seleção de transportadoras com maior eficiência de combustível em uma rota específica. Por exemplo, a OACI estima o total de 116,4 toneladas de combustível para uma viagem de ida e volta entre a cidade de Nova York (JFK) e São Paulo (GRU). No entanto, nossa análise mostra que a Delta foi a companhia que menos consumiu combustível por voo nessa rota ano passado, uma média de 93 toneladas, seguida por Avianca (97 toneladas), LATAM (104 toneladas) e American (124 toneladas). Apesar da incerteza de modelagem nos dois métodos, essas grandes diferenças no consumo de combustível apontam para a necessidade de informações específicas por transportadora.

<sup>9</sup> A calculadora de emissões de carbono da OACI pode ser acessada em <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>

## 4. CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS

### 4.1 CONCLUSÕES

Entre as 15 principais companhias aéreas que operam voos diretos para destinos no MACC, há uma diferença de 32% entre a eficiência de combustível daquelas com melhor e pior desempenho. Duas operadoras de baixo custo, Frontier e Volaris, empataram como as mais eficientes em termos de combustível, mas lançaram mão de estratégias diferentes. A Frontier usou aeronaves Airbus A321 e A320, que têm relativa eficiência em termos de combustível, com alta densidade de assentos, e a Volaris operou aeronaves com o menor consumo de combustível em 2018, usando principalmente aeronaves da família A320neo. A transportadora que ficou na posição mais baixa do ranking, Interjet, operou os voos com menor eficiência de combustível para destinos MACC, 28 pax-km/L, usando uma frota de aeronaves Airbus A320-200 com taxas de ocupação baixas.

Entre as 10 principais companhias que operam rotas da Estados Unidos-AmSul, existe uma diferença grande, de 52%, entre a eficiência de combustível da líder Azul e a TAME, na última posição. Duas transportadoras da América Latina—Azul, com a maior taxa de ocupação e parcela de frete, e LATAM, com aeronaves com baixo consumo de combustível e alta parcela de frete—se destacaram em eficiência de combustível. A TAME operou os voos com menor eficiência de combustível para destinos na AmSul, 29 pax-km/L, sem carga de porão. O principal determinante da diferença em eficiência de combustível no mercado Estados Unidos-América Latina foi a parcela de frete da carga paga total, seguido de consumo de combustível e densidade de assentos; juntos, eles explicam mais de 80% da variação na eficiência de combustível das companhias aéreas.

De maneira geral, transportadoras com combinações muito diferentes de tipos de aeronave, taxas de ocupação, carga transportada e configurações de assento operam com eficiência de combustível semelhante. No mercado Estados Unidos-AmSul, quatro companhias aéreas tiveram uma média de 34 pax-km/L—Delta, Aerolíneas Argentinas, Avianca e American. Essas operadoras tenderam a apresentar bom desempenho em um dos quatro principais parâmetros operacionais. Por exemplo, a Avianca e a American usaram aeronaves com baixo consumo de combustível, e a Delta e a Aerolíneas Argentinas tiveram maior densidade de assentos.

A lacuna em eficiência de combustível do mercado Estados Unidos-MACC é apenas metade da vista anteriormente em nossos rankings transpacífico e transatlântico. A diferença no mercado Estados Unidos-AmSul também é um pouco menor do que a observada nos outros dois rankings Estados Unidos-Internacional. A eficiência média de combustível do mercado Estados Unidos-AmSul é 3 pax-km/L maior que a do mercado transatlântico e 6 pax-km/L maior que a do mercado transpacífico. A diferença se deve principalmente a frotas com menor consumo médio de combustível.

A introdução de aeronaves de corpo largo mais eficientes em termos de combustível, como o Airbus A350 e o Boeing 787, pode ajudar a melhorar ainda mais a eficiência de combustível do mercado Estados Unidos-América Latina. À medida que aumenta a demanda por viagens aéreas, mais novas aeronaves são adquiridas. Modelos como o A350, o 787 e o A330neo, bem como modelos em desenvolvimento, como o 777X, vão acabar dominando a frota global de aeronaves de fuselagem larga. Permanecendo iguais as demais condições, as companhias aéreas que operam aeronaves com menor consumo de combustível tendem a ser mais eficientes, mas parâmetros operacionais como carga transportada também são importantes e devem ser acompanhados.

A OACI, que atua como reguladora *de facto* da aviação comercial em todo o mundo, adotou uma meta ambiciosa para as companhias aéreas melhorarem a eficiência de combustível de sua frota em 2% ao ano. Embora a OACI tenha desenvolvido um padrão de eficiência de combustível para aeronaves novas (Kharina & Rutherford, 2017), ainda não adotou políticas obrigatórias para aumentar a eficiência da frota existente. A meta da OACI de crescimento neutro em carbono a partir de 2020 provavelmente será alcançada por meio da compensação de carbono, e não da melhoria da eficiência das aeronaves ou de combustíveis alternativos (Pavlenko, 2018). Além disso, os preços dos combustíveis, embora importantes, por si sós são um fator determinante inconsistente da eficiência de combustível na aviação (Kharina, McDonnell, & Rutherford, 2015). Políticas adicionais para promover reduções de emissões da frota em serviço provavelmente serão necessárias para que a indústria cumpra suas metas climáticas de longo prazo.

## 4.2 PRÓXIMOS PASSOS

Este estudo apresentou nossa primeira análise de eficiência de combustível para companhias aéreas que operam entre os Estados Unidos e a América Latina. À medida que o mercado cresce, futuras atualizações no ranking ajudarão a avaliar as mudanças na eficiência de combustível devido à expansão e renovação da frota, ao aumento da conectividade como resultado das *joint ventures* e ao crescimento contínuo de transportadoras de baixo custo.

Além disso, continuaremos a trabalhar com o DOT e nosso provedor de dados para garantir que as companhias aéreas relatem dados operacionais precisos para uso nos próximos rankings de eficiência de combustível. Por fim, pressupondo uma ampla cooperação das companhias aéreas do ranking, nossa metodologia pode ser alterada de uma abordagem de modelagem para uma na qual os dados primários de consumo de combustível de todas as transportadoras são analisados, abrangendo toda a gama de medidas operacionais que afetam a eficiência de combustível das companhias (Zou, Elke, & Hansen, 2012).

## REFERÊNCIAS

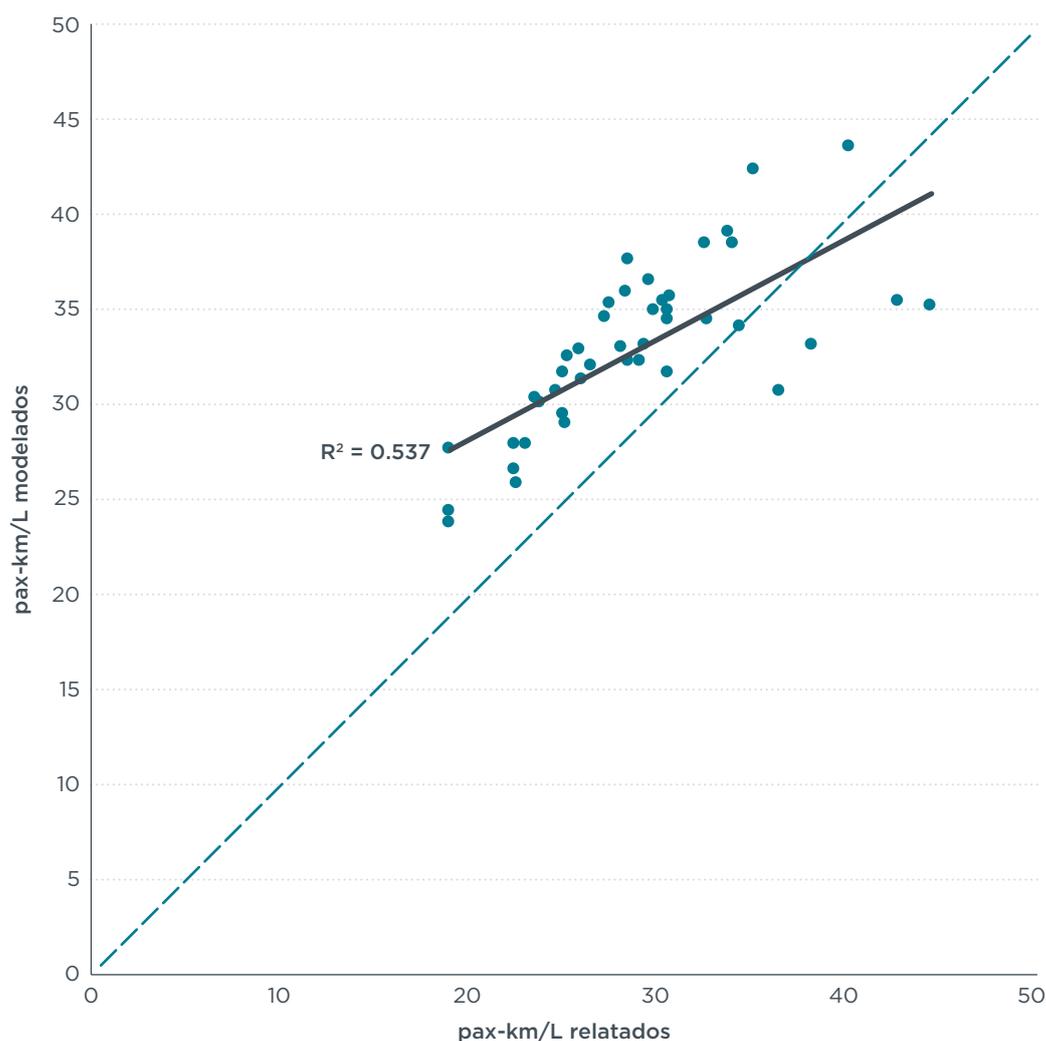
- Airline Data, Inc. (2019). [U.S. commercial airline data]. Disponível em <http://www.airlinedata.com/>
- American Airlines. (2018). *American Airlines expands Boeing 787 fleet*. Disponível em <http://news.aa.com/news/news-details/2018/American-Airlines-Expands-Boeing-787-Fleet/default.aspx>
- Azul Airlines. (2019). *Azul accelerates its fleet transformation in 2019*. Disponível em <https://www.prnewswire.com/news-releases/azul-accelerates-its-fleet-transformation-in-2019-300790733.html>
- Baker, M. (2019). Latin America's aviation industry is changing thanks to LCCs. *Business Travel News*. Disponível em <https://www.businesstravelnews.com/Transportation/Air/Latin-Americas-Aviation-Industry-Is-Changing-Thanks-to-LCCs>
- Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation. (2018). Air carrier statistics (Form 41 Traffic) - All carriers [Database]. Disponível em [https://www.transtats.bts.gov/Tables.asp?DB\\_ID=111](https://www.transtats.bts.gov/Tables.asp?DB_ID=111)
- CAPA - Centre for Aviation. (2018). *Aeromexico outlines Mexico market share for Jun-2018*. Disponível em <https://centreforaviation.com/news/aeromexico-outlines-mexico-market-share-for-jun-2018-831463>
- CAPA - Centre for Aviation. (2019a). *US-to-Latin America aviation: JVs and LCCs change the dynamics*. Disponível em <https://centreforaviation.com/analysis/reports/us-to-latin-america-aviation-jvs-and-lccs-change-the-dynamics-459113>
- CAPA - Centre for Aviation. (2019b). *Latin American aviation outlook: Uncertainty blankets 2019*. Disponível em <https://centreforaviation.com/analysis/airline-leader/latin-american-aviation-outlook-uncertainty-blankets-2019-457923>
- Delta. (2017). *Delta selects Airbus A321neo for narrowbody fleet renewal*. Disponível em <https://news.delta.com/delta-selects-airbus-a321neo-narrowbody-fleet-renewal>
- Delta. (2018). *Delta orders 10 additional A330-900neos to replace older widebody jets, facilitate measured growth*. Disponível em <https://news.delta.com/delta-orders-10-additional-a330-900neos-replace-older-widebody-jets-facilitate-measured-growth>
- FlightAscend Consultancy. (2017). *Ascend Fleets* [Aviation database]. Disponível em <https://www.flightglobal.com/products/fleets-analyzer/>
- Gelles, D. (2019, 28 de outubro). Boeing 737 Max: What's happened after the 2 deadly crashes. *The New York Times*. Disponível em <https://www.nytimes.com/interactive/2019/business/boeing-737-crashes.html>
- Graver, B., & Rutherford, D. (2018a). *Transpacific airline fuel efficiency ranking, 2016*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/transpacific-airline-fuel-efficiency-ranking-2016>
- Graver, B., & Rutherford, D. (2018b). *Transatlantic airline fuel efficiency ranking, 2017*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, [https://theicct.org/sites/default/files/publications/Transatlantic\\_Fuel\\_Efficiency\\_Ranking\\_20180912.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/Transatlantic_Fuel_Efficiency_Ranking_20180912.pdf)
- Graver, B., Zhang, K., & Rutherford, D. (2019). *CO<sub>2</sub> emissions from commercial aviation, 2018*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/publications/co2-emissions-commercial-aviation-2018>

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1999). Comparisons of present-day and 2015 forecast emissions inventories (NASA, ANCAT/EC2, and DLR). In Penner, J., Lister, D., Griggs, D., Dokken, D., & McFarland, M. (Eds.), *Aviation and the Global Atmosphere* (Section 9.3.4). Disponível em <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/137.htm>
- Interjet Airlines. (n.d.). Interjet experience: We are different! Disponível em <https://www.interjet.com/en-us/fly-with-us/we-are-different>
- The International Air Cargo Association. (2018). Airfreight fortunes flying high in Latin America. Disponível em <https://tiaca.org/home/airfreight-fortunes-flying-high-in-latin-america/>
- International Civil Aviation Organization. (2017). *ICAO carbon emissions calculator methodology*. Disponível em [https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator\\_v10-2017.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v10-2017.pdf)
- International Civil Aviation Organization. (2018). *ICAO long-term traffic forecasts*. Disponível em [https://www.icao.int/sustainability/Documents/LTF\\_Charts-Results\\_2018edition.pdf](https://www.icao.int/sustainability/Documents/LTF_Charts-Results_2018edition.pdf)
- Josephs, L. (2019, 16 de julho). *Boeing 737 Max grounding hits Southwest's pilot hiring*. CNBC. Disponível em <https://www.cnbc.com/2019/07/16/boeing-737-max-grounding-hits-southwests-pilot-hiring.html>
- Kharina, A., McDonnell, T., & Rutherford, D. (2015). *Fuel efficiency trends for new commercial jet aircraft: 1960 to 2014*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, <https://www.theicct.org/publications/fuel-efficiency-trends-new-commercial-jet-aircraft-1960-2014>
- Kharina, A., & Rutherford, D. (2017). *International Civil Aviation Organization's CO<sub>2</sub> standard for new aircraft*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT-ICAO\\_policy-update\\_revised\\_jan2017.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT-ICAO_policy-update_revised_jan2017.pdf)
- Kwan, I., Rutherford, D., & Zeinali, M. (2014). *U.S. domestic airline fuel efficiency ranking, 2011–2012*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, <https://www.theicct.org/publications/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2011%E2%80%932012>
- Kwan, I., & Rutherford, D. (2014). *U.S. domestic airline fuel efficiency ranking, 2013*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/publications/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2013>
- Kwan, I., & Rutherford, D. (2015). *Transatlantic airline fuel efficiency ranking, 2014*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/transatlantic-airline-efficiency-2014>
- Liu, J. (2018, 17 de setembro). *Copa Airlines outlines planned 737 MAX 9 network from late-Sep 2018*. Disponível em Routes Online website, <https://www.routesonline.com/news/38/airlineroute/280579/copa-airlines-outlines-planned-737-max-9-network-from-late-sep-2018/>
- Lissys Ltd. (2017). Piano 5 for Windows [Aircraft modeling software]. Disponível em <http://www.lissys.demon.co.uk/Piano5.html>
- Navarro, A. (2019, 1 de agosto). *Airbus and Embraer to face off for Aeromexico's small-jet deal*. Disponível em Bloomberg website, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-08-01/airbus-embraer-to-face-off-as-aeromexico-revamps-regional-fleet>

- Olmer, N., & Rutherford, D. (2017). *U.S. domestic airline fuel efficiency ranking, 2015-2016*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/publications/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2015-16>
- Pavlenko, N. (2018). *ICAO's CORSIA scheme provides a weak nudge for in-sector carbon reductions*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/blog/staff/corsia-carbon-offsets-and-alternative-fuel>
- Rucinski, T. (2019, 26 de setembro). Delta to buy 20% of LATAM for \$1.9 billion in regional shake-up. *Reuters*. Disponível em <https://www.reuters.com/article/us-latam-airlines-m-a-delta-air/delta-to-buy-20-of-latam-for-1-9-billion-in-regional-shake-up-idUSKBN1WB2UZ>
- Russell, E. (2017, 6 de setembro). *United to replace 777-200s with A350s*. Disponível em Flight Global website, <https://www.flightglobal.com/news/articles/united-to-replace-777-200s-with-a350s-440887/>
- Rutherford, D. (2013). *International Civil Aviation Organization's CO<sub>2</sub> certification requirement for new aircraft*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate\\_ICAO\\_CO2cert\\_aug2013a.pdf](http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCTupdate_ICAO_CO2cert_aug2013a.pdf)
- Spirit Airlines Inc. (2018). 2018 Form 10-K. Disponível em <http://ir.spirit.com/Cache/396731595.pdf>
- U.S. Federal Aviation Administration. (2015). *Part 121 flag operations, supplemental operations outside the contiguous states, and extended overwater operations*. Disponível em <http://fsims.faa.gov/PICDetail.aspx?docId=8900.1,Vol.3,Ch25,Sec4>
- Volaris. (2017, 15 de novembro). *Volaris commits to 80 A320neo family aircraft*. Disponível em <http://ir.volaris.com/English/news-and-events/press-releases/press-release-details/2017/Volaris-commits-to-80-A320neo-Family-aircraft/default.aspx>
- Wint, B. (2019). *Caribbean Airlines still undecided about 737 MAX 8 leases*. Disponível em Gate Checked website, <https://www.gatechecked.com/caribbean-airlines-undecided-737-max-8-leases-1331>
- Yeo, G. (2018, 2 de maio). JetBlue rolls out first A320 with new cabin interior. Disponível em Flight Global website, <https://www.flightglobal.com/news/articles/pictures-jetblue-rolls-out-first-a320-with-new-cabi-448267/>
- Yeo, G. (2019, 15 de março). *Avianca cancels 17 A320neo family aircraft, defers 35*. Disponível em Flight Global website, <https://www.flightglobal.com/news/articles/avianca-cancels-17-a320neo-family-aircraft-defers-3-456700/>
- Zeinali, M., Rutherford, D., Kwan, I., & Kharina, A. (2013) *U.S. domestic airline fuel efficiency ranking, 2010*. Disponível em the International Coalition on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2010>
- Zheng, X., Graver, B., & Rutherford, D. (2019). *U.S. domestic airline fuel efficiency ranking, 2017-2018*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, [www.theicct.org/publications/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2017-18](http://www.theicct.org/publications/us-domestic-airline-fuel-efficiency-ranking-2017-18)
- Zou, B., Elke, M., & Hansen, M. (2012). *Evaluating air carrier fuel efficiency and CO<sub>2</sub> emissions in the U.S. airline industry*. Disponível em the International Council on Clean Transportation, <http://www.theicct.org/evaluating-air-carrier-fuel-efficiency-and-co2-emissions-us-airline-industry>

## APÊNDICE A: VALIDAÇÃO DO MODELO

O consumo de combustível modelado com a metodologia descrita na seção 2 foi validado usando dados de consumo relatados ao BTS por nove transportadoras dos Estados Unidos para cada tipo de aeronave que opera rotas Estados Unidos–América Latina (BTS, 2018).<sup>10</sup> A média de eficiência de combustível para cada tipo de aeronave foi calculada diretamente a partir desses dados e comparada com a eficiência de combustível modelada. Com isso, foi avaliada a incerteza introduzida pela modelagem de consumo de combustível com o Plano, usando suposições padronizadas para os parâmetros operacionais. Um total de 44 combinações do tipo companhia aérea-aeronave foi incluído na análise de validação do modelo mostrada na Figura A1.



**Figura A1.** Eficiência de combustível relatada *versus* modelada, 2018.

Esses resultados de validação sugerem que nossa abordagem de modelagem é robusta e apropriada para comparar a eficiência relativa de combustível das operações entre Estados Unidos e América Latina. Embora o modelo superestime a eficiência de combustível em comparação com os dados de consumo relatados em aproximadamente 20%, observou-se um bom ajuste linear ( $R^2$  de 0,54). Além

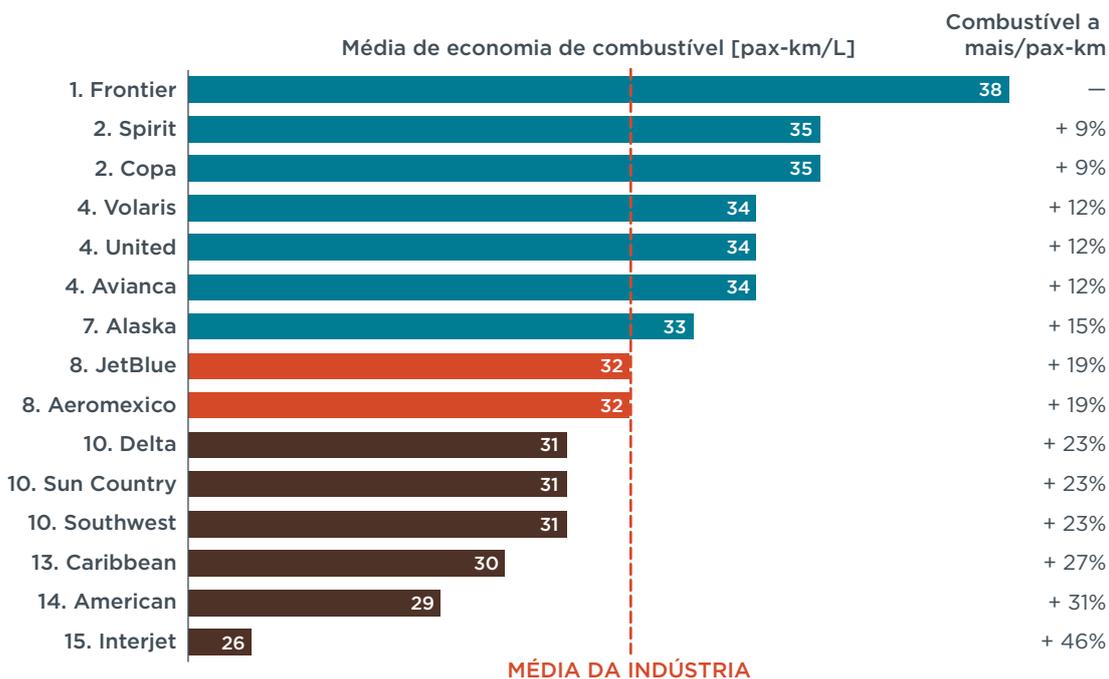
<sup>10</sup> As companhias aéreas dos Estados Unidos incluem Alaska Airlines, American Airlines, Delta Air Lines, Frontier Airlines, JetBlue Airways, Southwest Airlines, Spirit Airlines, Sun Country Airlines e United Airlines. Somente aeronaves com mais de 500 partidas anuais estão incluídas na validação.

disso, tais resultados são amplamente consistentes com os do relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, *Aviation and the Global Atmosphere*.<sup>11</sup> Isso indica que é improvável que alterações nos parâmetros de modelagem levem a grandes mudanças nos rankings.

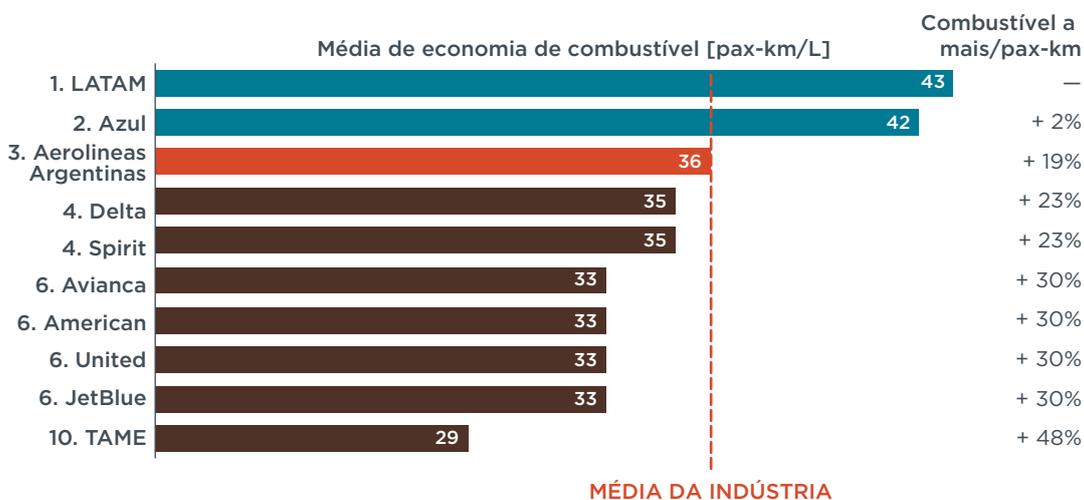
---

<sup>11</sup> “A suposição de trajetos ortodrômicos é uma subestimação da distância percorrida. Vários fatores combinados (e.g., desvio da distância ortodrômica, atrasos, deterioração do motor etc.) resultam na subestimação sistemática do combustível total consumido pela frota em 15% a 20% para operações domésticas” (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1999).

## APÊNDICE B: EFICIÊNCIA DE COMBUSTÍVEL ESTADOS UNIDOS-AMÉRICA LATINA, 2017



**Figura B1a.** Eficiência de combustível das 15 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-MACC, 2017.



**Figura B1b.** Eficiência de combustível das 10 principais companhias aéreas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2017.

As médias de eficiência de combustível das 15 principais companhias aéreas que operaram rotas Estados Unidos-MACC em 2017 são mostradas na Figura B1a. A média da indústria foi de 32 pax-km/L. A Frontier, dos Estados Unidos, operou os voos com maior eficiência de combustível, em média 38 pax-km/L, 19% melhor que a média da indústria. A Interjet ficou em último lugar nesse ranking, consumindo em média 46% mais combustível por passageiro-quilômetro que a Frontier. Essa lacuna diminuiu significativamente em 2018, conforme descrito na seção 3.1.

A Figura B1b mostra as médias de eficiência de combustível de 10 grandes companhias aéreas que operaram as rotas Estados Unidos-AmSul em 2017, com uma média da

indústria de 36 pax-km/L. O grupo chileno LATAM destacou-se como a companhia aérea com maior eficiência de combustível nesse mercado, em média de 43 pax-km/L, 19% melhor que a da indústria. A Azul veio logo atrás, com uma eficiência média de 42 pax-km/L. A companhia aérea equatoriana TAME ficou em último lugar no ranking desse mercado, consumindo em média 48% mais combustível por passageiro-quilômetro que a LATAM.

**Tabela B1a.** Parâmetros operacionais das companhias aéreas no mercado Estados Unidos-MACC, 2017.

Posição	Companhia	Taxa de ocupação	Parcela de frete das toneladas-km totais	Densidade geral de assentos (assento/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Consumo de combustível da aeronave <sup>b</sup>
1	Frontier	81%	0%	1,71	+7%
T2	Spirit	81%	0%	1,68	+4%
T2	Copa	86%	3%	1,50	+5%
T4	Volaris	78%	0%	1,66	+2%
T4	United	84%	1%	1,54	+4%
T4	Avianca	85%	3%	1,41	+6%
7	Alaska	81%	0%	1,54	+10%
T8	JetBlue	83%	0%	1,43	+4%
T8	Aeromexico	77%	4%	1,48	+3%
T10	Delta	86%	2%	1,49	+10%
T10	Sun Country	74%	0%	1,59	+5%
T10	Southwest	80%	0%	1,73	+5%
13	Caribbean	71%	3%	1,48	+5%
15	American	79%	1%	1,43	+6%
15	Interjet	69%	0%	1,41	+7%
<b>Média da indústria</b>		<b>81%</b>	<b>1%</b>	<b>1,51</b>	<b>+6%</b>

<sup>a</sup> Medida em assentos por metro quadrado ou FGR. Para detalhes, ver nota de rodapé 7.

<sup>b</sup> Medida pela margem média da aeronave para o padrão de CO<sub>2</sub> da OACI. Para detalhes, ver nota de rodapé 7.

**Tabela B1b.** Parâmetros operacionais das companhias aéreas no mercado Estados Unidos-AmSul, 2017.

Posição	Companhia	Taxa de ocupação	Parcela de frete das toneladas-km totais	Densidade geral de assentos (assento/m <sup>2</sup> ) <sup>a</sup>	Consumo de combustível da aeronave <sup>b</sup>
1	LATAM	87%	29%	1,09	-1%
2	Azul	93%	33%	1,04	+2%
3	Aerolineas Argentinas	82%	24%	1,13	+3%
T4	Delta	87%	17%	1,08	+4%
T4	Spirit	84%	0%	1,65	+5%
T6	Avianca	84%	14%	1,12	+2%
T6	American	78%	21%	0,98	+5%
T6	United	80%	22%	1,00	+4%
T6	JetBlue	86%	0%	1,40	+4%
10	TAME	80%	0%	1,18	+1%
<b>Média da indústria</b>		<b>83%</b>	<b>22%</b>	<b>1,06</b>	<b>+3%</b>

<sup>a</sup> Medida em assentos por metro quadrado ou FGR. Para detalhes, ver nota de rodapé 7.

<sup>b</sup> Medida pela margem média da aeronave para o padrão de CO<sub>2</sub> da OACI. Para detalhes, ver nota de rodapé 7.

De 2017 para 2018, o consumo médio de combustível das aeronaves usadas em rotas Estados Unidos-MACC caiu (melhorou) de 5,6% para 4,8% em relação ao padrão de emissão de CO<sub>2</sub> da OACI. No mesmo período, a taxa de ocupação, a densidade de assentos e a parcela de frete da carga paga total permaneceram relativamente constantes. A Volaris e a Delta foram as transportadoras que mais aperfeiçoaram suas frotas durante esses dois anos.

Para o mercado Estados Unidos-AmSul, houve pouca variação em taxa de ocupação, densidade de assentos e parcela de frete entre 2017 e 2018, exceto pela significativa queda no coeficiente de ocupação de certas transportadoras, conforme mencionado anteriormente. O excedente médio do padrão de emissão de CO<sub>2</sub> da OACI melhorou apenas ligeiramente, de 2,9% em 2017 para 2,8% em 2018, o que sugere a ausência de grandes esforços de modernização da frota nesse período.