

---

## IDENTIFICAÇÃO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO SOFT E HARD PARA MINIMIZAR OS IMPACTOS DA MUDANÇA CLIMÁTICA NO SETOR DE TRANSPORTE AÉREO

Gabriella Machado Darze<sup>1</sup>, Victor Hugo Souza de Abreu<sup>1</sup>, Elton Fernandes<sup>1</sup> & Andréa Souza Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE)

---

\* Endereço de e-mail do autor correspondente: [gabriella.darze@pet.coppe.ufrj.br](mailto:gabriella.darze@pet.coppe.ufrj.br)

---

PAPER ID: SIT175

### RESUMO

O setor de transportes possui uma característica particular: embora seja um dos setores que mais contribuem para o aumento das emissões de gases de efeito estufa, é um dos que mais sofre com os impactos das mudanças climáticas em sua infraestrutura e operação. Assim, é necessário que, para além dos esforços de promoção de medidas de mitigação, esforços significativos para reduzir as vulnerabilidades às alterações climáticas sejam feitos, aumentando a resiliência do setor. Nesse contexto, o setor de transporte aéreo é particularmente vulnerável às condições climáticas adversas, que variam de acordo com a localização geográfica, resultando em riscos operacionais, atrasos e perda de receita. Assim, este estudo busca identificar na literatura as medidas de adaptação (tanto *soft* quanto *hard*) que vêm sendo adotadas pelos tomadores de decisão para aumentar a resiliência do transporte aéreo frente aos impactos das mudanças climáticas por meio de uma revisão sistemática da literatura com abordagem bibliométrica. Para isso, foram consideradas quatro etapas: (i) protocolo de revisão; (ii) buscas diretas e documentais; (iii) processamento de dados (repositório de pesquisa); e (iv) análise sistemática dos estudos identificados. Durante a revisão, foram identificados como exemplos de medidas de adaptação: (i) em um contexto *soft*, maior colaboração em nível global, avaliação de risco e gestão adaptativa, desenvolvimento de sistemas de medição para avaliar e comparar a vulnerabilidade do espaço aéreo e dos aeroportos e inclusão dos aspectos das alterações climáticas no plano director de gestão do tráfego aéreo do aeroporto; (ii) em um contexto *hard*, alterações na infraestrutura aeroportuária e estrutura de aeronaves, alteração de horários de voos em dias quentes, realocação de voos para aeroportos maiores e alteração modal em casos de impossibilidade de voo. O desenvolvimento desta pesquisa envolve avançar na questão de analisar a questão: essas medidas serão suficientes para o cenário futuro das mudanças climáticas? Se não, que novas medidas seriam necessárias?

**Palavras-chave:** Transporte Aéreo, Mudança Climática, *Soft Adaptation*, *Hard Adaptation*.

### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil - Código de Financiamento 001. Este trabalho contou com o apoio da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, sob o número #2021007191.

## 1. INTRODUÇÃO

Embora seja um dos setores que mais contribuem para o aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), com 23% das emissões globais de CO<sub>2</sub> em 2019, o setor de transportes é também um dos que mais sofre com os impactos da mudança climática em sua infraestrutura e operação. Dessa forma, exige-se que esforços significativos sejam empregados para identificar vulnerabilidades da mudança climática e tendências na adaptação, aumentando assim a resiliência do setor (IPCC, 2014; Jamillo *et al.* 2022). Ainda assim, medidas de adaptação dos transportes às mudanças climáticas ainda são escassas e espalhadas por um amplo número de periódicos e autores, com ênfase no transporte rodoviário e aquaviário, e muito menos no transporte ferroviário e aéreo (Eisenack *et al.*, 2012).

No âmbito do setor de transporte aéreo, os aeroportos são frequentemente classificados como infraestrutura nacionalmente crítica, dada a importância de facilitar tanto a mobilidade, quanto o crescimento econômico de um país. No entanto, eles são particularmente vulneráveis às condições meteorológicas e climáticas adversas, como temperaturas mais altas, aumento do nível do mar e episódios de precipitação intensa, que variam de acordo com a localização geográfica e a escala das operações, resultando em atrasos e perda de receita - rendimento do aeroporto - (Stamos, Mitsakis & Grau, 2015; Burdidge, 2016a). Além dos impactos observados nos aeroportos, alterações no funcionamento das aeronaves e nas operações dos voos também estão presentes, como atrasos ou cancelamento de voos devido a mudanças de rotas na presença de tempestades, limitações do peso máximo das aeronaves em decorrência de elevadas temperaturas, dentre outros impactos (Burdidge, 2016b).

Nesse sentido, este estudo busca destacar medidas de adaptação (tanto *hard adaptation*, que consiste em medidas de cunho físico e estrutural, quanto *soft adaptation*, que consiste em medidas de governanças, educação e participação social [de Abreu, 2022]) que podem ser implantadas por tomadores de decisão para aumentar a resiliência do setor de transporte aéreo frente aos impactos da mudança climática em sua infraestrutura e operação. Para

isso, são realizadas buscas diretas em bases de dados e buscas documentais, como complementação. Para cumprir os objetivos do estudo, além da seção introdutória, a Seção 2 aborda a metodologia adotada para a condução das buscas, as Seções 3 e 4 apresentam resultados bibliométricos e sistemáticos, respectivamente, e a Seção 5 contém as considerações finais, com sugestões para estudos futuros sobre o tema.

## 2. METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura com abordagem bibliométrica a respeito do estado da arte referente às medidas de adaptação do setor aéreo frente aos impactos decorrentes de extremos climáticos. Dessa forma, os objetivos do estudo são definidos, as principais palavras de busca são escolhidas, uma busca direta em diferentes bases de dados (*Scopus*, *Web of Science* e *Google Acadêmico*) é realizada para a criação e análise do repositório de pesquisa. As fases da pesquisa encontram-se na Figura 1.

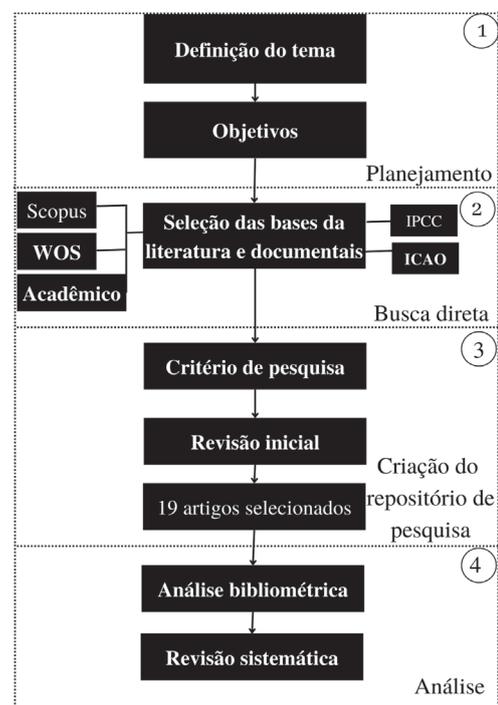


Figura 1. Etapas de desenvolvimento do estudo.

Primeiramente, os objetivos do estudo são definidos, assim como as palavras-chave e suas combinações. Os termos de busca foram "*climate change*", "*air transport\**" e

"adaptation". A busca incluiu palavras-chave e tópicos de busca.

A busca direta nas bases de dados retornou 20 resultados na base *Scopus*, 8 na base *Web of Science* e mais de 1 milhão de resultados no Google Acadêmico, no entanto, dada a grande quantidade de resultados de baixa relevância, apenas as 20 primeiras publicações foram consideradas nesta última base de dados. Além de buscas em bases de dados, consultas documentais foram realizadas no relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change*) de 2022 e no relatório do meio ambiente da Organização de Aviação Civil Internacional de 2019 (ICAO, *International Civil Aviation Organization*) [IPCC, 2022; ICAO, 2019].

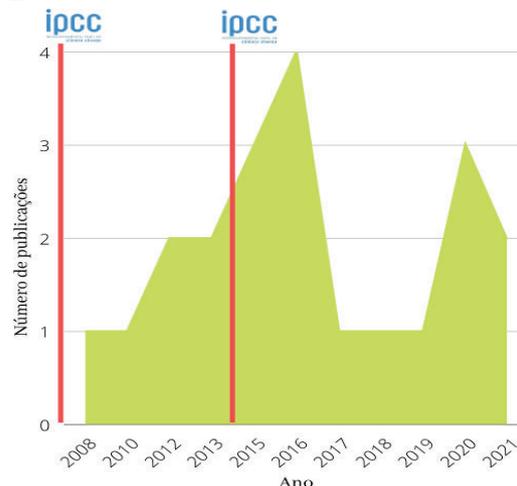
Montado o repositório de pesquisa, as publicações duplicadas foram identificadas e removidas, para que, então, os critérios de seleção pudessem ser aplicados. Foram eles: apenas estudos dos últimos 10 anos foram considerados (2012-2022); estudos que não abordavam impactos da mudança climática sobre a aviação foram prontamente removidos; aqueles que não discutiam as limitações sobre as impactos ou adaptações da mudança climática no setor aéreo foram removidos; apenas estudos de fontes relevantes foram considerados; publicações que não apontavam medidas de adaptação ou indicações de caminhos futuros para o alcance da resiliência do setor aéreo fosse atingida, foram excluídas; além disso, o prestígio da fonte foi utilizado também como critério de seleção, tendo o Fator de Impacto ou importância/relevância da instituição da fonte como referência. Após a aplicação dos critérios de seleção, apenas 19 estudos foram incluídos no repositório final de pesquisa.

Por último, uma análise bibliométrica e sistemática dos estudos selecionados foi conduzida, identificando as principais características dos estudos selecionados e as medidas de adaptação abordadas frente aos extremos climáticos.

### 3. DISCUSSÕES

Os estudos incluídos no repositório de pesquisa puderam ser agrupados de acordo com o ano de suas publicações, presentes na Figura 2. Nela, os primeiros estudos datam de 2008,

indo além do repositório de pesquisa. Essa estratégia foi adotada para melhor compreensão da evolução dos estudos ao longo dos anos, uma vez que o número de publicações obtidas foi baixo. A análise em questão expõe a expansão do tema e o nível de importância que tem sido dado a ele em escala global. Na busca aqui realizada, percebe-se que o tema passa a ser abordado a partir de 2007, ano em que o Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, publicado em 2007 - AR4 (IPCC, 2007) foi publicado, dando maior relevância aos impactos da mudança climática sobre os transportes. Nota-se, também, um crescimento nas publicações após a divulgação do Quinto Relatório de Avaliação do IPCC - AR5 em 2014, atingindo o máximo em 2016 e, posteriormente, um novo crescimento a partir de 2020.



**Figura 2. Número de publicações ao longo dos anos. As linhas em vermelho sinalizam os anos em que foram publicados os relatórios do IPCC.**

Uma outra análise consiste em verificar quais os países que mais publicam sobre o tema, expostos na Figura 3. A partir da análise da figura, é possível perceber uma concentração de estudos em países desenvolvidos, principalmente do hemisfério norte, tais como Estado Unidos e Reino Unido, indicando uma carência de estudos em países subdesenvolvidos ou em estágio de desenvolvimento, que apresentam maior vulnerabilidade aos impactos da mudança climática, em virtude de maiores restrições orçamentárias e menores investimentos em pesquisas sobre o assunto.

Nesse cenário, destaca-se também o Brasil, com apenas uma publicação, indicando

que ainda não é dada a devida importância ao tema e que os principais extremos climáticos aos quais o sistema aéreo no país está sujeito, ainda não são devidamente conhecidos. Além disso, nota-se um maior destaque dado a planos de adaptação e análises de risco com enfoque nos setores terrestres, como o ferroviário e o rodoviário, como projetos como o AdaptaVias, no âmbito do ProAdapta [Projeto AdaptaVias].

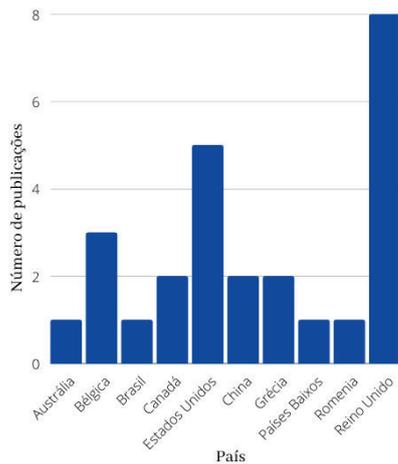


Figura 3. Divisão de estudos por região de publicação.

A revisão sistemática permitiu ainda que os principais extremos climáticos, aos quais o setor aéreo está sujeito, fossem identificados, conforme informações apresentadas na Figura 4. Nela, nota-se que os principais extremos climáticos abordados pelas publicações são: (i) aumento das temperaturas, com 25% do total, impactando a operação das aeronaves e a infraestrutura dos aeroportos, seguido por (ii) aumento do nível do mar (15,9%), afetando aeroportos em áreas costeiras com inundações e (iii) precipitações intensas (13,6%), impactando a segurança e operação das aeronaves, devido às inundações. Destaca-se ainda que a categoria “Geral” engloba estudos que abordam mais de cinco extremos climáticos, dentre esses, encontram-se artigos de revisão bibliográfica e artigos que abordam os impactos e possíveis adaptações frente aos diversos extremos climáticos no setor aéreo geral, sem abordar estudos de casos específicos.

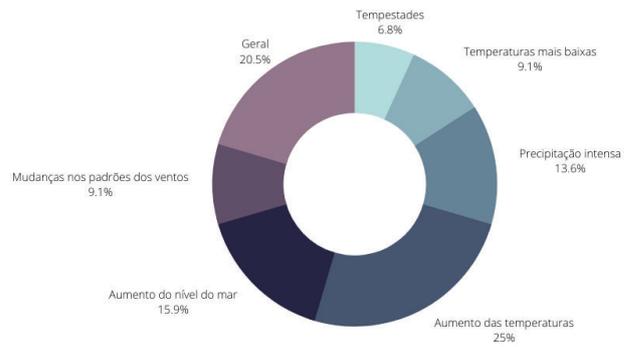


Figura 4. Principais extremos climáticos abordados nos estudos, presentes no repositório de pesquisa.

Cabe ainda observar os principais impactos causados ao setor para que melhor se possa entender as medidas de adaptação propostas. Quanto aos impactos, uma divisão pôde ser feita com base em seu tipo: danos causados à infraestrutura dos aeroportos ou danos causados à operação do sistema. As Figuras 5 e 6 expõem os principais impactos. Na Figura 5, é possível verificar que o dano mais recorrentemente abordado em relação aos extremos climáticos refere-se a inundações decorrentes das elevadas precipitações, seguido de congelamento das pistas e acúmulo de neve, consequência de condições climáticas presentes majoritariamente em países de maior longitude. Além disso, na Figura 6, nota-se que os principais impactos causados à operação são a restrição de peso, decorrente das elevadas temperaturas durante os meses de verão e alterações da demanda, fruto da mudanças na distribuição de temperaturas ao longo dos meses do ano, impactando as épocas em que as viagens são realizadas.

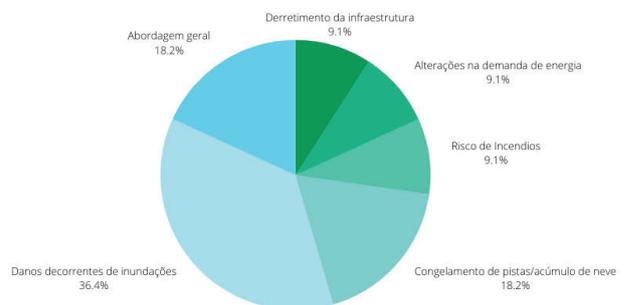
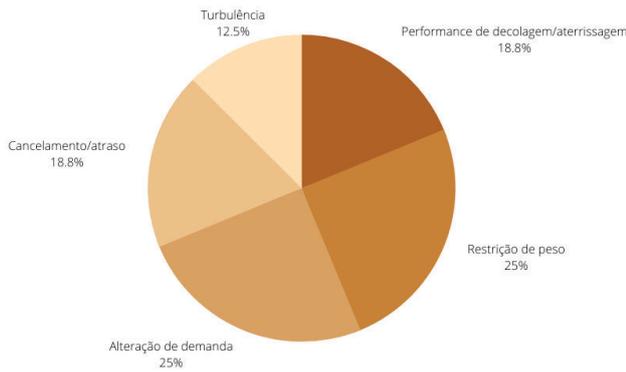


Figura 5. Impactos dos extremos climáticos na infraestrutura do setor aéreo.



**Figura 6. Impactos dos extremos climáticos na operação do setor aéreo.**

Além dos fenômenos climáticos, as medidas de adaptação foram identificadas e divididas em duas categorias, conforme mencionado anteriormente: as chamadas *hard adaptations* que consistem em medidas físicas de adaptação, dispostas na Tabela 1, já as *soft adaptations* consistem em medidas de governança, educação e participação social, presentes na Tabela 2. Dentre as *hard adaptations* percebe-se um destaque para aumento do tamanho das pistas de pouso/decolagem, instalações de sistemas de refrigeração e alterações nos projetos de aeronaves. Já para as *soft adaptations*, percebe-se uma maior quantidade de estudos, identificando lacunas ainda existentes e maior colaboração a nível global.

**Tabela 1: *Hard adaptations*.**

| Extremo climático  | Medidas de adaptação  | Referência   |
|--|---|--|
| Mais de 3 extremos, tais como, temperaturas elevadas e baixas, tempestades e precipitação intensa. | Estudar cada caso mais detalhado para melhor compreensão dos principais impactos (análise de risco); Mudar a localização de instalações de transporte localizadas em regiões mais expostas às novas condições climáticas. | Zhou & Chen, (2020); Suhrbier, (2008, May 15).                               |
| Temperaturas elevadas  | Evitar decolagens em situações de temperaturas elevadas; aumentar o tamanho das pistas; remanejar voos com aeronaves maiores para aeroportos de maiores portes, em caso   | Zhao & Sushama, (2020), Debortoli <i>et. al</i> , (2019); Dimitriou, (2016), |

de impossibilidade de aumento das pistas de pouso, devido a restrições de área disponível para tal; instalar sistemas de refrigeração nos aeroportos que ainda não possuem.

Budd & Ryley, (2012).

Temperaturas baixas Implementar sistemas de descongelamento de aeronaves e remoção de neve.

Budd & Ryley, (2012).

Tempestades Aceitar desvios significativos de planos de voo em virtude de tempestades e turbulência; Aprimorar os padrões mínimos de projeto das aeronaves para garantir que as estruturas das aeronaves possam suportar as tensões estruturais mais altas que possam ser impostas a elas.

Budd & Ryley, (2012); Bălan & Vasil, (2013).

Precipitações intensas Instalar melhores sistemas de drenagem nas pistas de pouso/decolagem.

Suhrbier, (2008, May 15).

**Tabela 2: *Soft adaptations*.**

| Medidas de adaptação   | Referência  |
|--|---|
| Identificar lacunas no conhecimento existente sobre os impactos.   | Burbidge, (2018); Ryley & Coulter, (2020); Burbidge (2016a)         |
| Implementar políticas que aumentem a conscientização das partes envolvidas.  | Burbidge, (2018); Burbidge (2016a);                                 |
| Promover a colaboração a nível global, com troca de informações a respeito de medidas já existentes e alertas de novos impactos decorrentes de novas condições climáticas. | Burbidge, (2018); Ryley & Coulter, (2020); Suhrbier, (2008, May 15) |
| Implementar gestões adaptativas de menor custo, com o intuito de evitar arrependimentos (com futuras alterações).  | Burbidge, (2018); Burbidge (2016b)                                  |

|   |   |
|---|---|
| Alterar os negócios aeroportuários para que se adaptem às novas demandas de passageiros.  | Dimitriou, D. J. (2016); Hepburn & Müller, (2010) |
| Fornecer assistência financeira para países em desenvolvimento, para que estes possam melhor investir no aumento da resiliência do setor.   | Hepburn & Müller, (2010)                          |
| Investir em substituição modal em casos de impossibilidade de operação das aeronaves e implementação de políticas e programas específicos para agilizar os procedimentos de substituição modal. | Zhou & Chen, (2020)                               |
| Investir em mais medidas de mitigação, com o intuito de diminuir os impactos e, conseqüentemente, os custos de adaptação.   | Neumann <i>et. al</i> , (2014)                    |
| Criar um novo índice de resiliência, de modo que o atual estado de adaptabilidade do setor aéreo de cada região possa ser melhor medido e analisado.  | Poo <i>et. al</i> , (2021)                        |
| Promover ações em áreas que deverão experimentar um alto crescimento na demanda e impactos significativos das mudanças climáticas,  | Burbidge (2016a)                                  |
| Aumentar os padrões de segurança para os funcionários que atuam em solo.  | Bălan & Vasil, (2013)                             |

As Tabelas 1 e 2 apontam que as medidas de adaptação podem ser divididas de acordo com o tipo de análise desejada. Dois grupos de estudos, por exemplo são: medidas voltadas para a adaptação de aeroportos, como aumento das pistas, implementação de sistemas de refrigeração e melhores sistemas de drenagens das pistas; e medidas voltadas para a adequação das aeronaves, como aprimoração dos projetos das aeronaves e descongelamento das aeronaves em dias frios. Outra divisão

possível consiste em quatro grupos: medidas voltadas para o planejamento, como estudar casos mais detalhados dos impactos, mudanças na localização de instalações de transportes alocadas em áreas mais vulneráveis ou em áreas de risco; operação, como evitar os voos em dias muito quentes e aceitar alterações nas rotas de voo em circunstâncias extremas, como tempestades; monitoramento, como criação de novos indicadores e índices de resiliência para melhor acompanhar a evolução do nível de adaptação dos sistemas em todo mundo; ações corretivas, como melhorias dos sistemas de drenagem das pistas e aumento dos padrões de segurança para funcionários que atuam em solo durante o abastecimento e carregamento das aeronaves.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância dada aos impactos da mudança climática no setor aéreo (estratégias de adaptação) tem crescido nos últimos anos, diversificando-se para além dos impactos da aviação na mudança climática (estratégias de mitigação); entretanto, o assunto ainda é incipiente, principalmente quanto a outros modos de transporte como o rodoviário, por exemplo.

Embora alguns estudos tenham mostrado variadas medidas de adaptação, tanto operacionais, quanto na infraestrutura do setor aéreo, há, ainda, muitas lacunas de conhecimento a respeito do tema. Por exemplo, a predominância de estudos em países desenvolvidos do hemisfério norte, indica que muitas ameaças climáticas de países localizados mais próximos ao equador, sujeitos a condições climáticas adversas daquelas enfrentadas por países de mais altas latitudes, ainda não são conhecidas, sugerindo que as medidas de adaptação existentes talvez não sejam adequadas para essas regiões. Nesse cenário enquadra-se o Brasil, com a maior parcela de seu território entre o trópico de Capricórnio e a linha do Equador, o que lhe atribui características climáticas diferentes daquelas de países desenvolvidos do hemisfério norte, mais distantes dos trópicos.

Além disso, cabe destacar que, apesar de ser um tema em crescimento, há ainda a necessidade de realização de estudos de casos considerando as características e peculiaridades

locais, inclusive envolvendo Análise de Risco Climático, tornando limitado o conhecimento a respeito dos possíveis impactos e respectivas medidas de adaptações. O baixo número de publicações que abordam a vulnerabilidade dos sistemas de transporte aéreo por meio do uso de dados reais para criação de indicadores de sensibilidade e capacidade adaptativa no mundo também é baixa, o que indica, ainda, que as medidas de adaptação sugeridas até o momento podem não ser suficientes para tornar o setor aéreo resiliente, uma vez que diversas circunstâncias ainda são desconhecidas.

Essa carência de estudos abre, assim, possibilidades de estudos futuros que abordem regiões ainda pouco estudadas, assim como outros extremos climáticos, cujos impactos ainda são pouco conhecidos. Além disso, aconselha-se que o nível atual de resiliência dos sistemas seja melhor conhecido para que novas medidas de adaptação possam ser propostas e, assim, tornem-se suficientes para aumentar o grau de resiliência do setor em um cenário de mudança climática.

## Referências

- Bălan, M., & Vasil, V. (2013). Measures to reduce transportation greenhouse gas emissions in Romania. *Quality - Access to Success*, *14*(1), 306–309.
- Budd, L., & Ryley, T. (2012). Chapter 3 an international dimension: Aviation. In *Transport and Sustainability* (pp. 39–64). Emerald Group Publishing Limited.  
[http://dx.doi.org/10.1108/s2044-9941\(2012\)0000002006](http://dx.doi.org/10.1108/s2044-9941(2012)0000002006)
- Burbidge, R. (2016a). Adapting European airports to a changing climate. *Transportation Research Procedia*, *14*, 14–23.  
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.036>
- Burbidge, R. (2016b). Aviation climate resilience: Clarifying the impacts and identifying the barriers. *International Journal of Aviation Management*, *3*(2/3), 88.  
<https://doi.org/10.1504/ijam.2016.079946>
- Burbidge, R. (2018). Adapting aviation to a changing climate: Key priorities for action. *Journal of Air Transport Management*, *71*, 167–174.  
<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2018.04.004>
- Coffel, E. D., Thompson, T. R., & Horton, R. M. (2017). The impacts of rising temperatures on aircraft takeoff performance. *Climatic Change*, *144*(2), 381–388.  
<https://doi.org/10.1007/s10584-017-2018-9>
- Coffel, E., & Horton, R. (2015). Climate change and the impact of extreme temperatures on aviation. *Weather, Climate, and Society*, *7*(1), 94–102.  
<https://doi.org/10.1175/wcas-d-14-00026.1>
- de Abreu, V. H. S., Santos, A. S., & Monteiro, T. G. M. (2022). Climate change impacts on the road transport infrastructure: A systematic review on adaptation measures. *Sustainability*, *14*(14), 8864.  
<https://doi.org/10.3390/su14148864>
- Debortoli, N. S., Clark, D. G., Ford, J. D., Sayles, J. S., & Diaconescu, E. P. (2019). An integrative climate change vulnerability index for Arctic aviation and marine transportation. *Nature Communications*, *10*(1).  
<https://doi.org/10.1038/s41467-019-10347-1>
- Dimitriou, D. J. (2016). Climate change implications in aviation and tourism market equilibrium. In *Climate Change Management* (pp. 409–424). Springer International Publishing.  
[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-39880-8\\_25](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-39880-8_25)
- Dunn, S., & Wilkinson, S. M. (2016). Increasing the resilience of air traffic networks using a network graph theory approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *90*, 39–50.  
<https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.09.011>
- Gratton, G. B., Williams, P. D., Padhra, A., & Rapsomanikis, S. (2021). Reviewing the impacts of climate change on air transport operations. *The Aeronautical Journal*, *126*(1295), 209–221.  
<https://doi.org/10.1017/aer.2021.109>
- Hepburn, C., & Müller, B. (2010). International

- air travel and greenhouse gas emissions: A proposal for an adaptation levy. *World Economy*, 33(6), 830–849. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9701.2010.01287.x>
- ICAO . (2019). *ICAO environmental report 2019: destination green: the next chapter* (pp. 252–275). <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/envrep2019.aspx>
- Jaramillo, P., S. Kahn Ribeiro, P. Newman, S. Dhar, O.E. Diemuodeke, T. Kajino, D.S. Lee, S.B. Nugroho, X. Ou, A. Hammer Strømman, J. Whitehead, 2022: Transport. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.012.
- Junior, F. A., & Kahn, S. (2015). Impactos das Condições Meteorológicas no Padrão Operacional, Atrasos e Cancelamentos do Aeroporto Santos Dumont. In: *Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, XXIX ANPET*. Ouro Preto, Brasil.
- Koetse, M. J., & Rietveld, P. (2012). Adaptation to climate change in the transport sector. *Transport Reviews*, 32(3), 267–286. <https://doi.org/10.1080/01441647.2012.657716>
- Neumann, J. E., Price, J., Chinowsky, P., Wright, L., Ludwig, L., Streeter, R., Jones, R., Smith, J. B., Perkins, W., Jantarasami, L., & Martinich, J. (2014). Climate change risks to US infrastructure: Impacts on roads, bridges, coastal development, and urban drainage. *Climatic Change*, 131(1), 97–109. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-1037-4>
- Poo, M. C.-P., Yang, Z., Dimitriu, D., & Qu, Z. (2021). An advanced climate resilience indicator framework for airports: A UK case study. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 101, 103099. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103099>
- Projeto AdaptaVias. (n.d.). Ministério Da Infraestrutura. Retrieved August 18, 2022, from <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/projeto-adaptavi-as>
- Ryley, T., Baumeister, S., & Coulter, L. (2020). Climate change influences on aviation: A literature review. *Transport Policy*, 92, 55–64. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.04.010>
- Suhrbier, J. H. (2008, May 15). Potential impacts of climate change and variability for transportation long-range planning and investment. *Transportation Land Use, Planning, and Air Quality*. [http://dx.doi.org/10.1061/40960\(320\)40](http://dx.doi.org/10.1061/40960(320)40)
- Williams, P. D., & Joshi, M. M. (2013). Intensification of winter transatlantic aviation turbulence in response to climate change. *Nature Climate Change*, 3(7), 644–648. <https://doi.org/10.1038/nclimate1866>
- Zhao, Y., & Sushama, L. (2020). Aircraft takeoff performance in a changing climate for Canadian airports. *Atmosphere*, 11(4), 418. <https://doi.org/10.3390/atmos11040418>
- Zhou, L., & Chen, Z. (2020). Measuring the performance of airport resilience to severe weather events. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 83, 102362. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102362>