

Impacto das medidas de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo no Brasil

Ana Beatriz Rebouças Eufrásio

IX Semana da Qualidade da Informação 2024

São Paulo - SP

09/10/2024

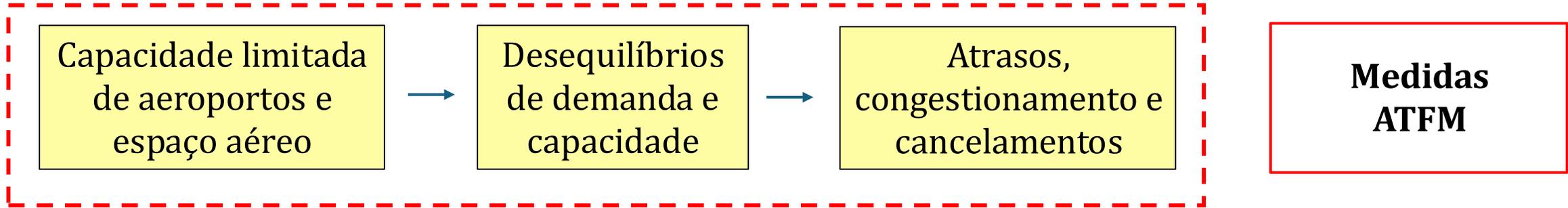


AGENDA

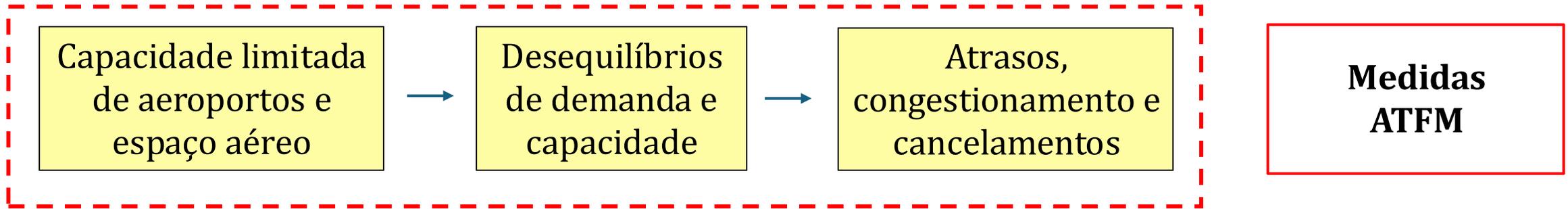
- 1. Introdução**
- 2. Revisão de Literatura**
- 3. Metodologia**
- 4. Resultados**
- 5. Considerações finais**

1. Introdução

Medidas de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (ATFM)



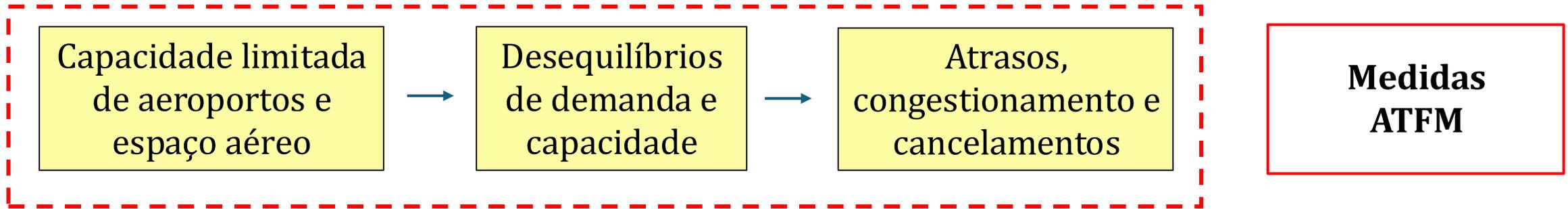
Medidas de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (ATFM)



Medidas ATFM (ou iniciativas de gerenciamento de tráfego – TMI):

- Mitigam o impacto dos desequilíbrios quando demanda > capacidade
- Estabelecem um fluxo seguro e eficiente de acordo com a capacidade da infraestrutura, demanda e condições meteorológicas

Medidas de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (ATFM)



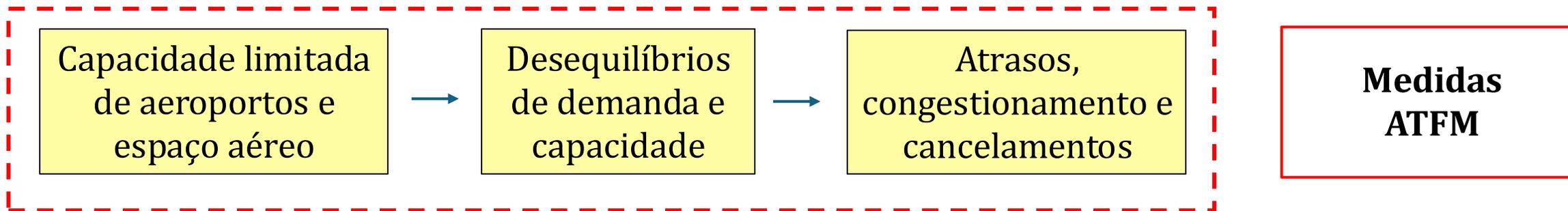
Medidas ATFM (ou iniciativas de gerenciamento de tráfego – **TMI**):

- Mitigam o impacto dos desequilíbrios quando demanda > capacidade
- Estabelecem um fluxo seguro e eficiente de acordo com a capacidade da infraestrutura, demanda e condições meteorológicas

2023: ~800k voos domésticos no Brasil, 18,7% atrasados ¹

¹ Dados da ANAC (VRA). O voo é considerado atrasado quando seu horário de pouso é pelo menos 15 min depois do planejado

Medidas de gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo (ATFM)



Medidas ATFM (ou iniciativas de gerenciamento de tráfego – TMI):

- Mitigam o impacto dos desequilíbrios quando demanda > capacidade
- Estabelecem um fluxo seguro e eficiente de acordo com a capacidade da infraestrutura, demanda e condições meteorológicas

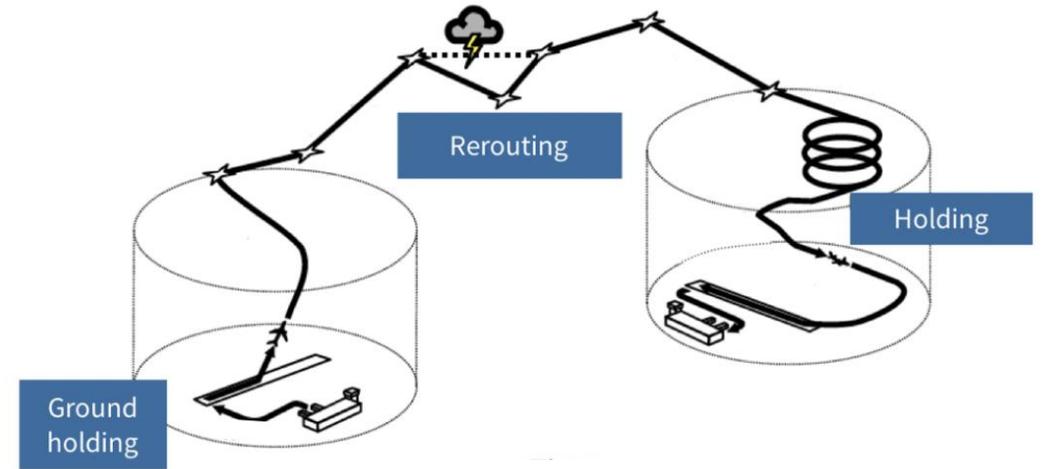
2023: ~800k voos domésticos no Brasil, 18,7% atrasados ¹

Quais os impactos das medidas ATFM na pontualidade?

¹ Dados da ANAC (VRA). O voo é considerado atrasado quando seu horário de pouso é pelo menos 15 min depois do planejado

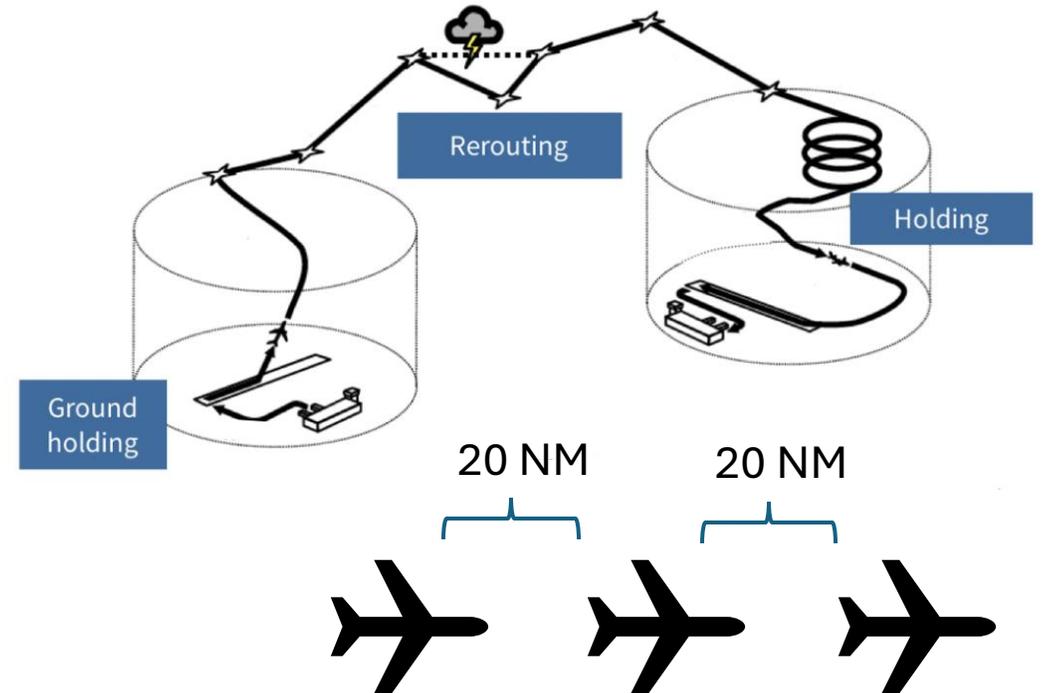
Exemplos de medidas ATFM

- Atraso no solo (Ground Delay)
- Parada no solo (Ground Stop)
- Espera em voo (Holding)
- Rerroteamento



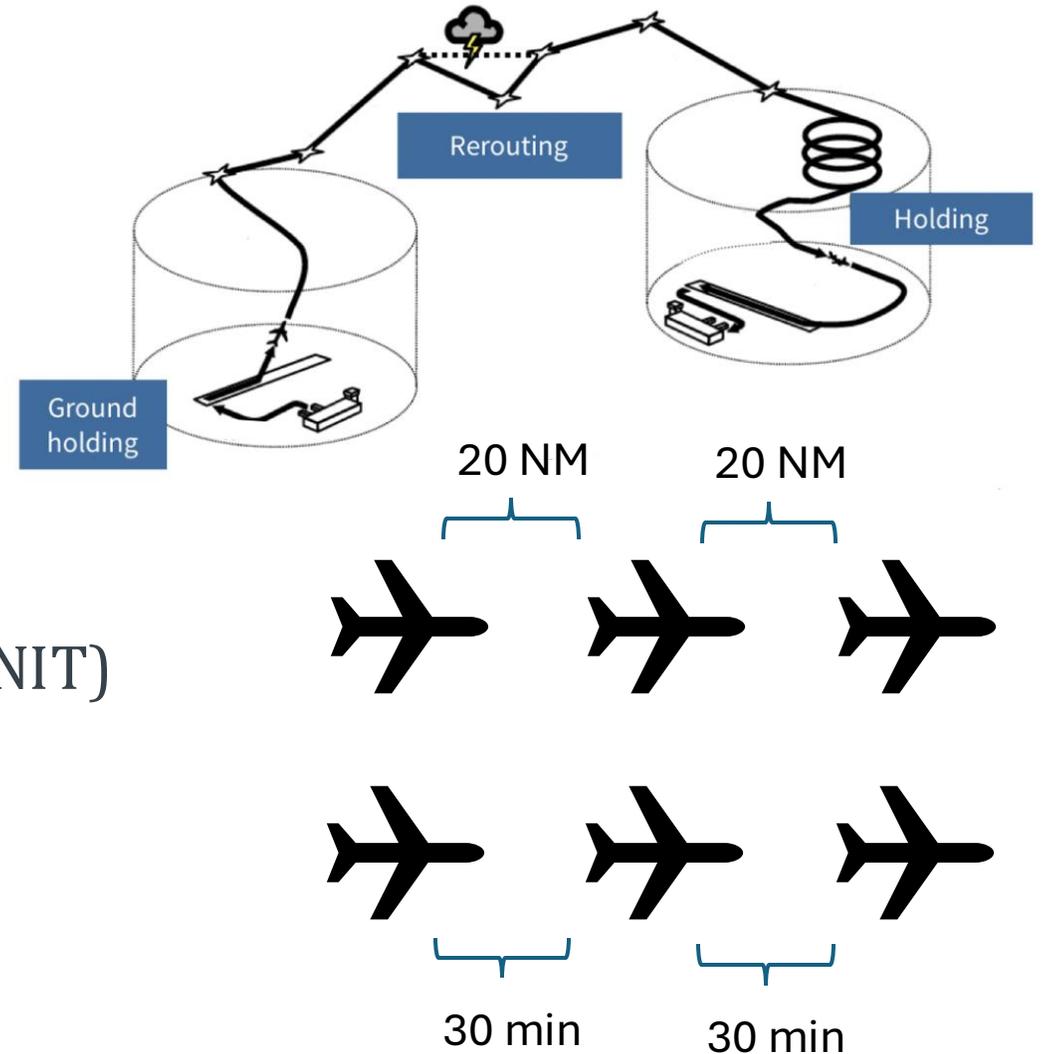
Exemplos de medidas ATFM

- Atraso no solo (Ground Delay)
- Parada no solo (Ground Stop)
- Espera em voo (Holding)
- Rerroteamento
- Separação por milhas (Miles-in-Trail – MIT)



Exemplos de medidas ATFM

- Atraso no solo (Ground Delay)
- Parada no solo (Ground Stop)
- Espera em voo (Holding)
- Rerroteamento
- Separação por milhas (Miles-in-Trail – MIT)
- Separação por minutos (Minutes-in-Trail – MINIT)



Elementos regulados pelas medidas ATFM

- **Elementos do espaço aéreo**
- **Aerovias**
- **Aerodromos**
- **Fixos**

Elementos
interconectados

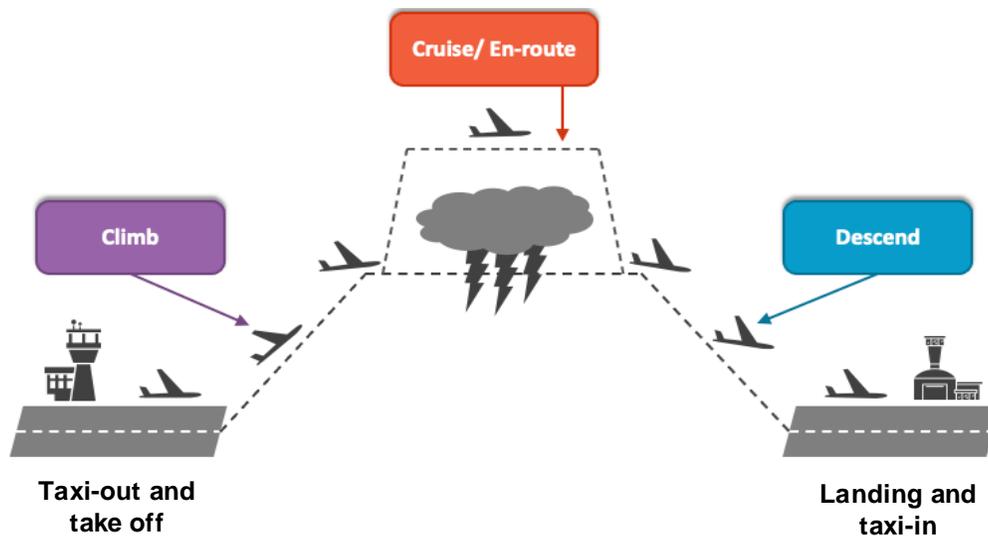
Otimização local pode
gerar outros
problemas no sistema

ATFM no Brasil

- Coordenada pelo **CGNA** (Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea)
 - Parte do DECEA, criado em 2005
 - Planejamento do ATFM ocorre em 3 fases: estratégica, pré-tática e tática
 - Interface com unidades de controle de tráfego aéreo (ACC, APP e TWR)

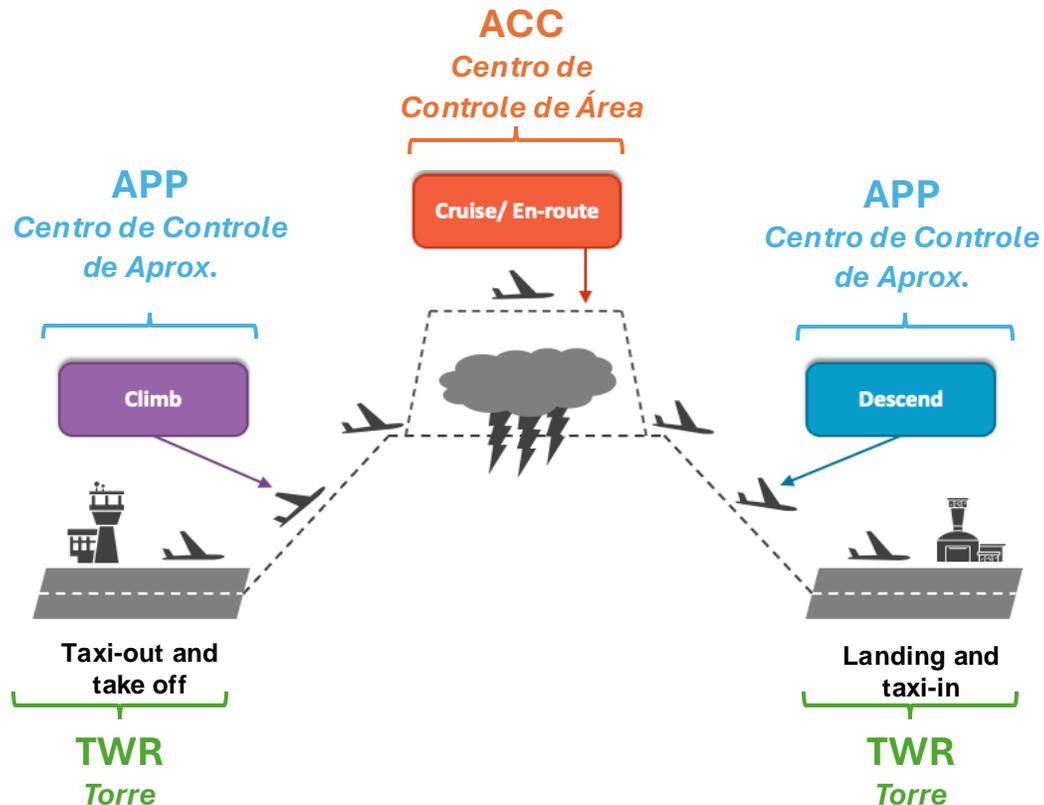
ATFM no Brasil

- Coordenada pelo **CGNA** (Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea)
 - Parte do DECEA, criado em 2005
 - Planejamento do ATFM ocorre em 3 fases: estratégica, pré-tática e tática
 - Interface com unidades de controle de tráfego aéreo (ACC, APP e TWR)



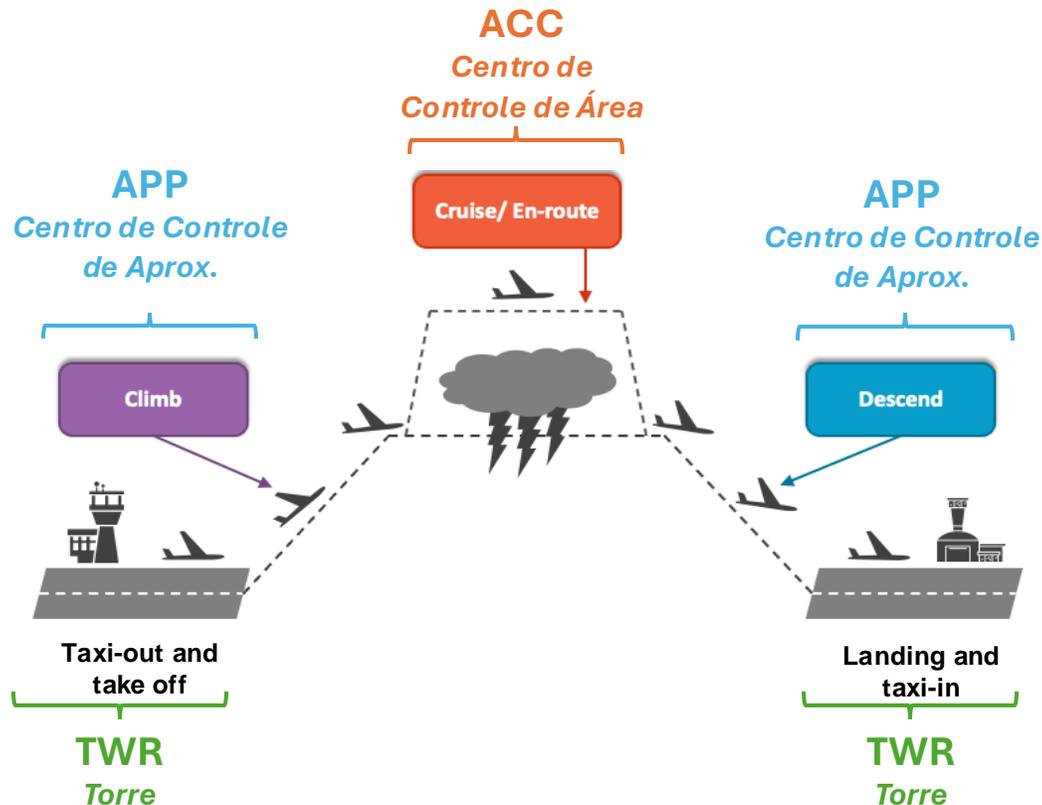
ATFM no Brasil

- Coordenada pelo **CGNA** (Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea)
 - Parte do DECEA, criado em 2005
 - Planejamento do ATFM ocorre em 3 fases: estratégica, pré-tática e tática
 - Interface com unidades de controle de tráfego aéreo (ACC, APP e TWR)



ATFM no Brasil

- Coordenada pelo **CGNA** (Centro de Gerenciamento de Navegação Aérea)
 - Parte do DECEA, criado em 2005
 - Planejamento do ATFM ocorre em 3 fases: estratégica, pré-tática e tática
 - Interface com unidades de controle de tráfego aéreo (ACC, APP e TWR)



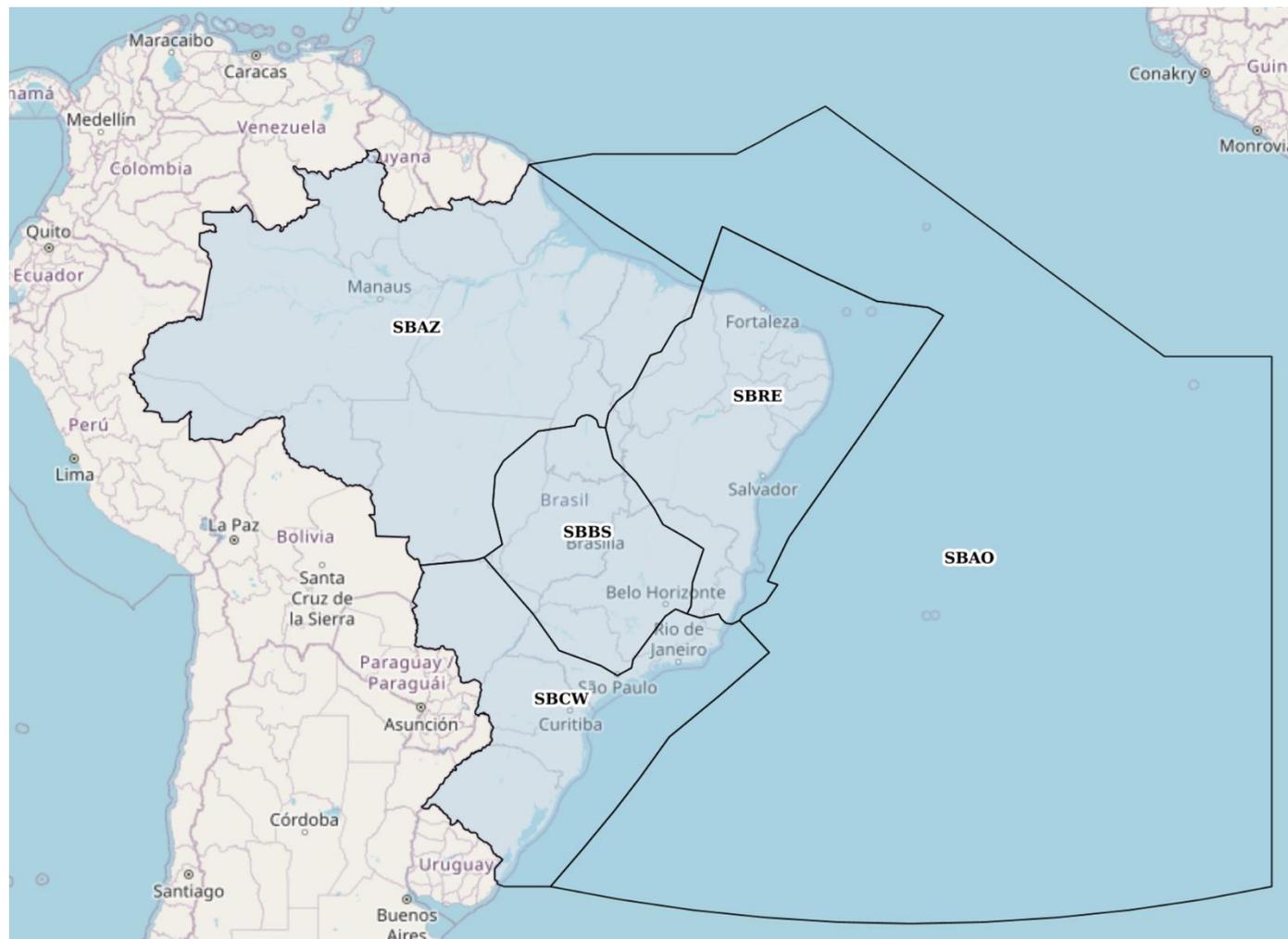
Processo de tomada de decisão colaborativo

- Múltiplos **stakeholders**
- Múltiplos **objetivos**
- **Desafios:** eficiência, tomada de decisão justa, incertezas

Elementos do espaço aéreo regulados pelas medidas ATFM

Gerenciados pelo ACC
(*Centro de controle de área*)

- **FIR**

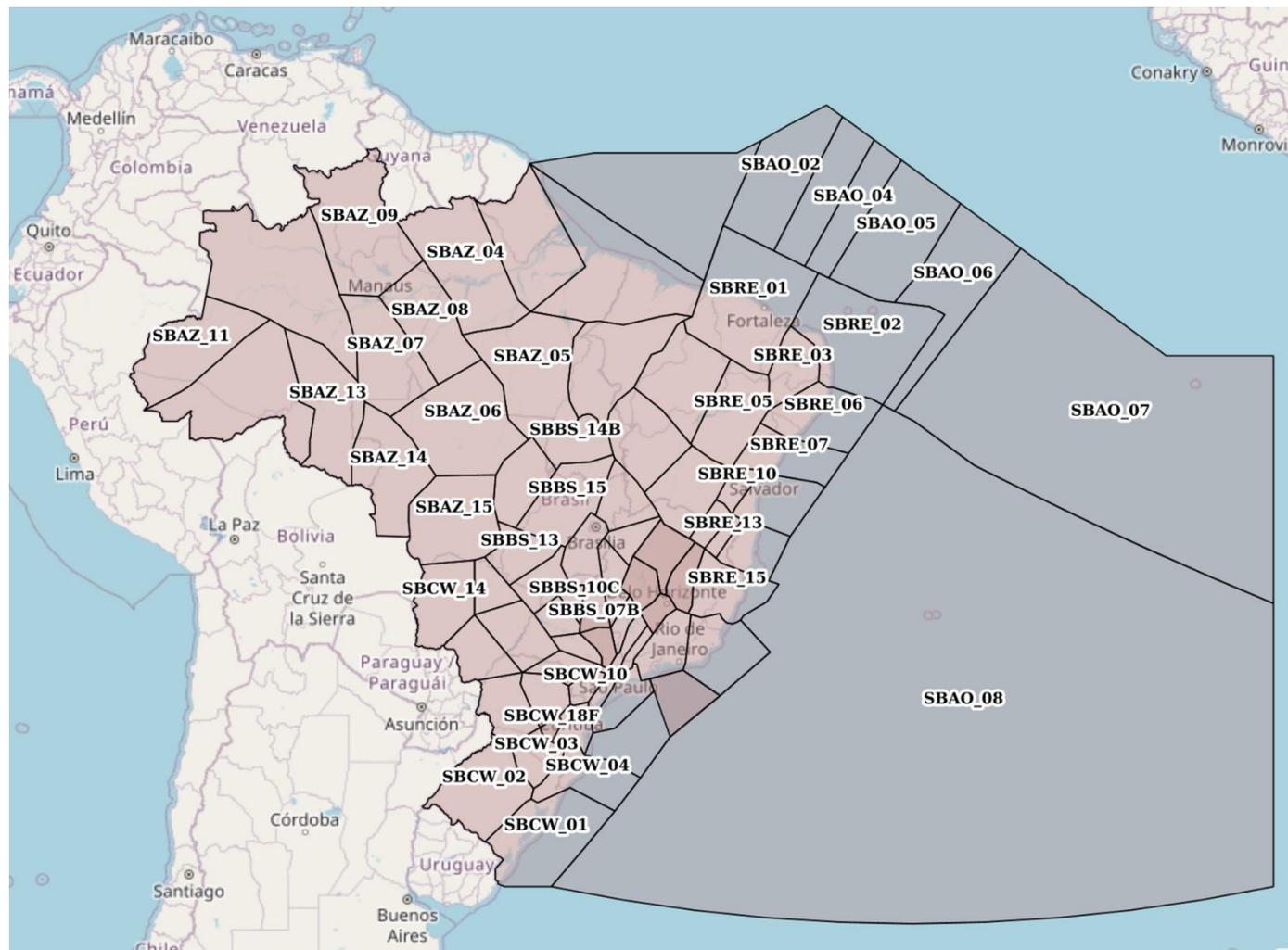


<https://geoaisweb.decea.mil.br/>

Elementos do espaço aéreo regulados pelas medidas ATFM

Gerenciados pelo ACC (Centro de controle de área)

- FIR
- **Setores da FIR**



<https://geoaisweb.decea.mil.br/>

Elementos do espaço aéreo regulados pelas medidas ATFM

Gerenciados pelo ACC (Centro de controle de área)

- FIR
- Setores da FIR

Gerenciados pelo APP (Centro de controle de aprox.)

- TMA



Elementos do espaço aéreo regulados pelas medidas ATFM

Gerenciados pelo ACC

(Centro de controle de área)

- FIR
- Setores da FIR

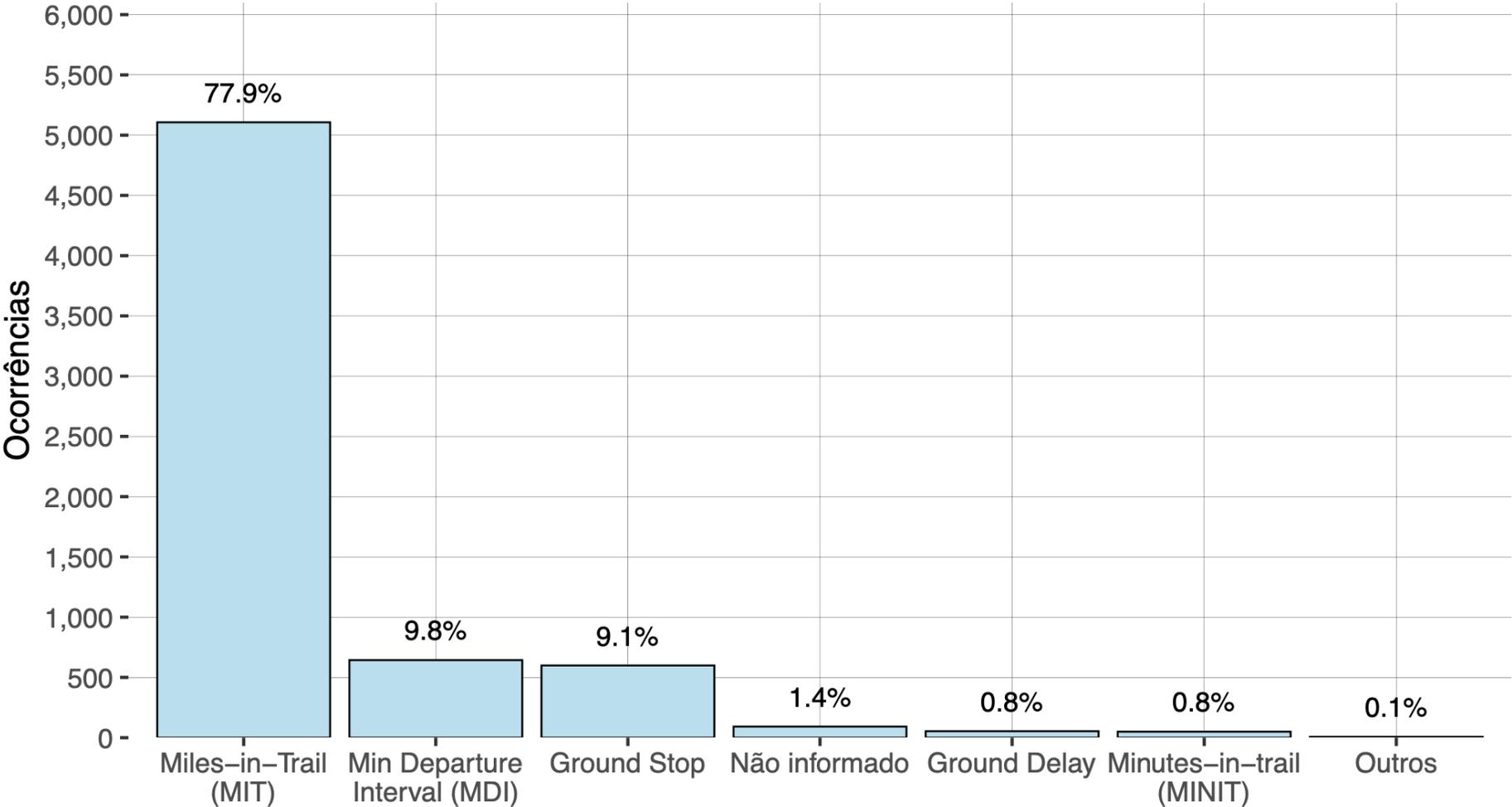
Gerenciados pelo APP

(Centro de controle de aprox.)

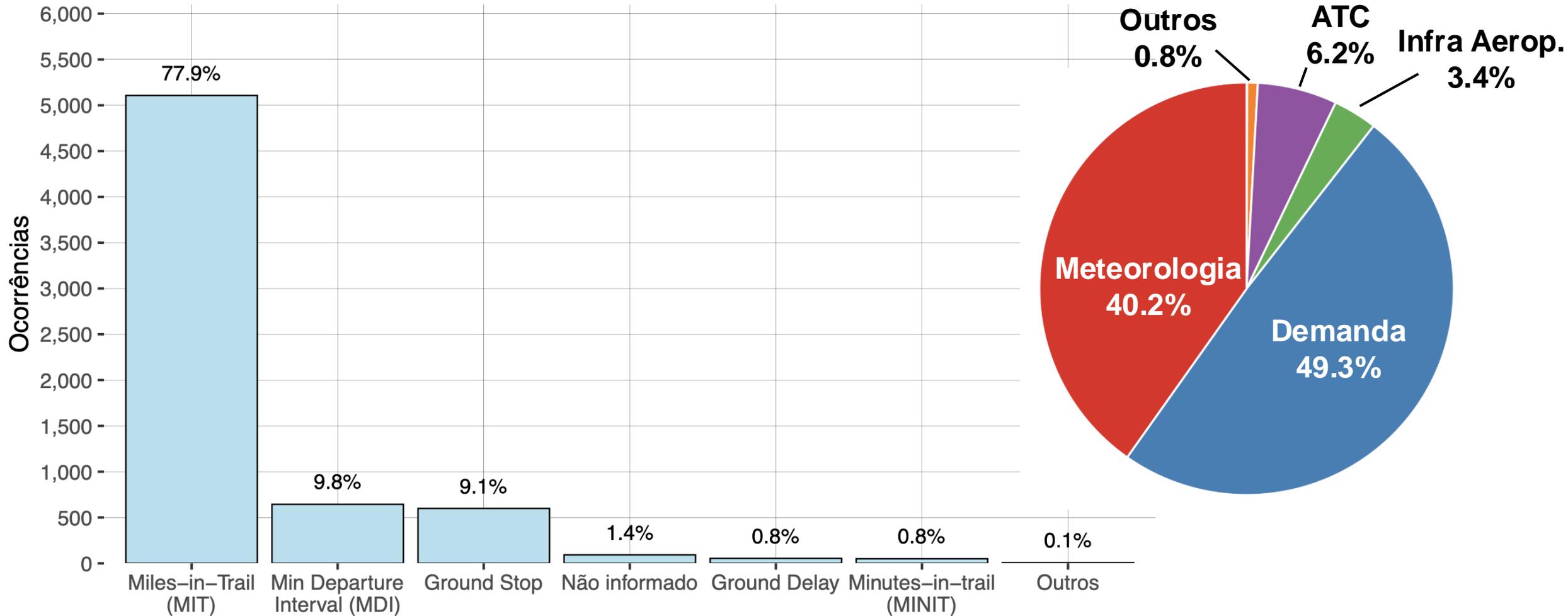
- TMA
- Setores da TMA



Principais medidas ATFM no Brasil e causas (2019 - 2023)

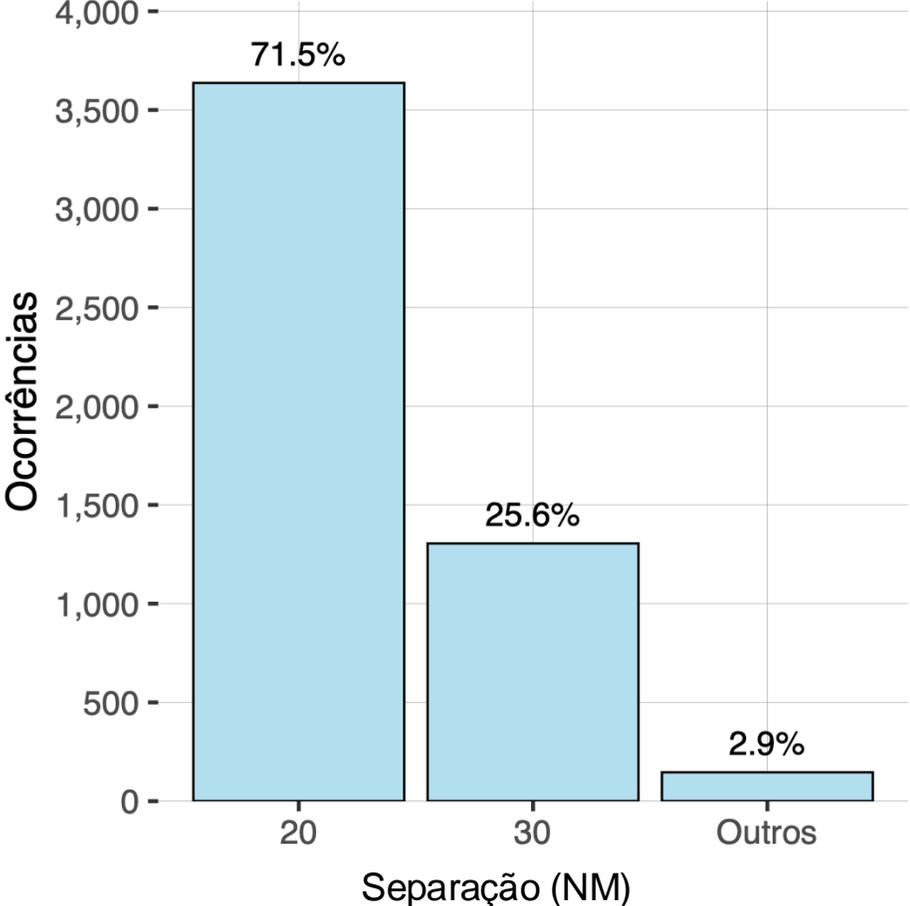


Principais medidas ATFM no Brasil e causas (2019 - 2023)



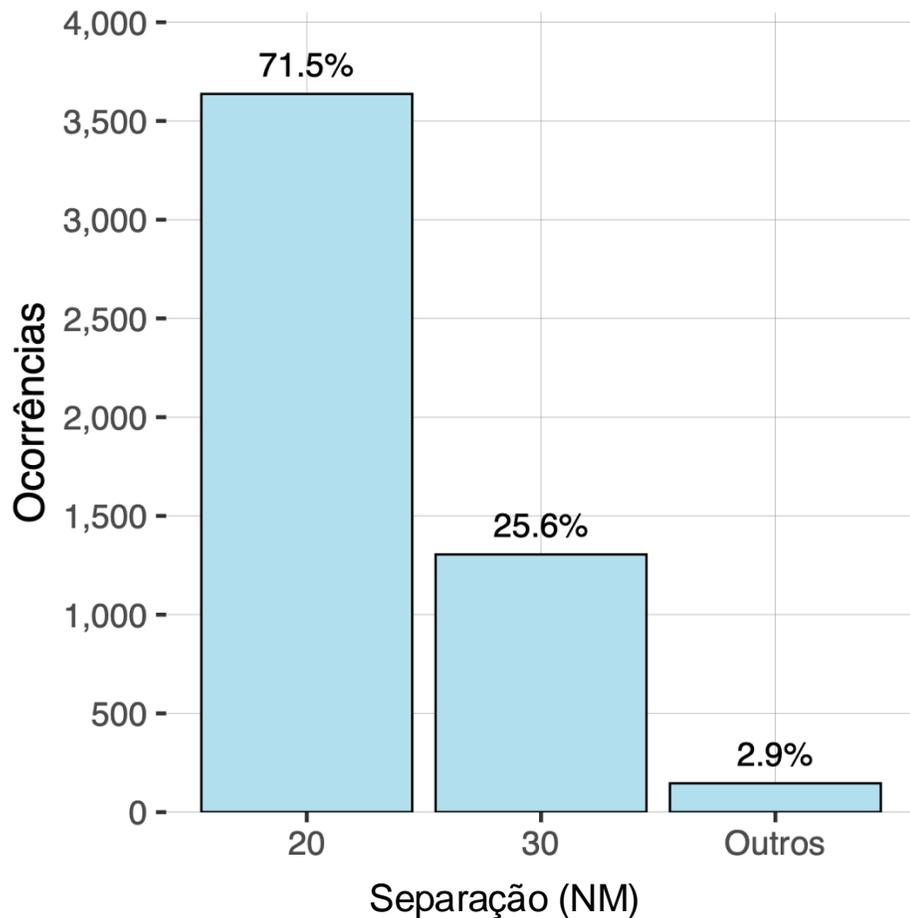
Miles-in-Trail (MIT) (2019 - 2023)

Distribuição de separações:

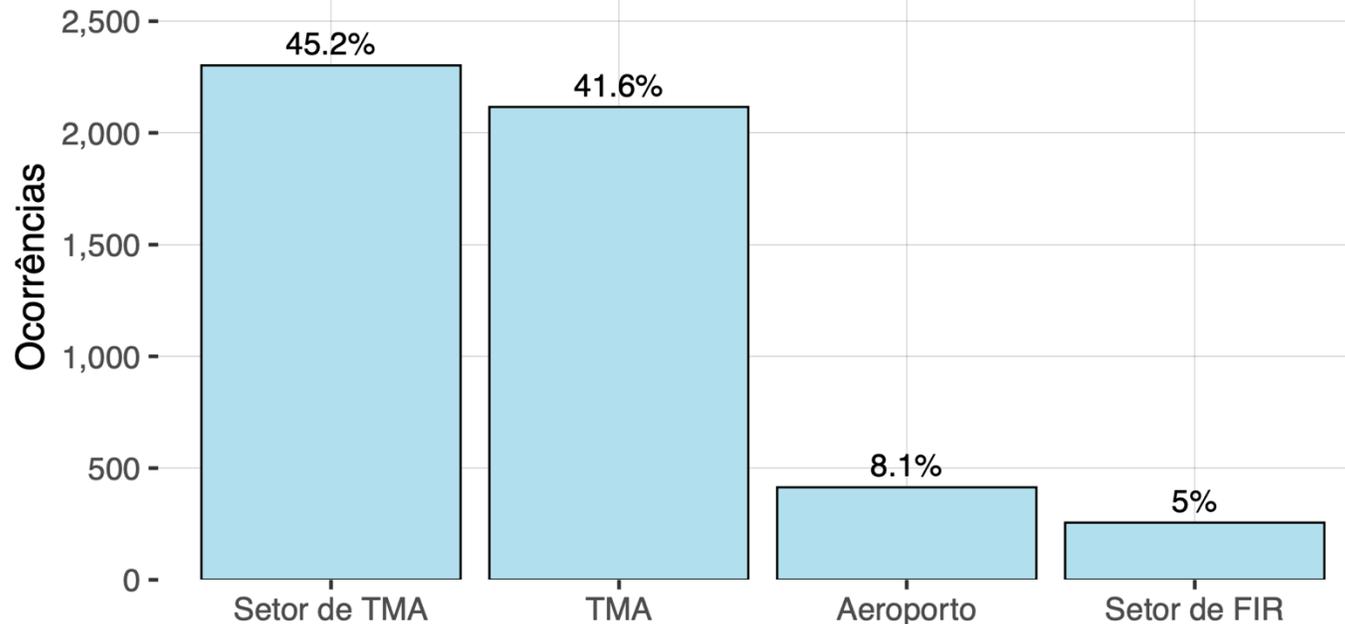


Miles-in-Trail (MIT) (2019 - 2023)

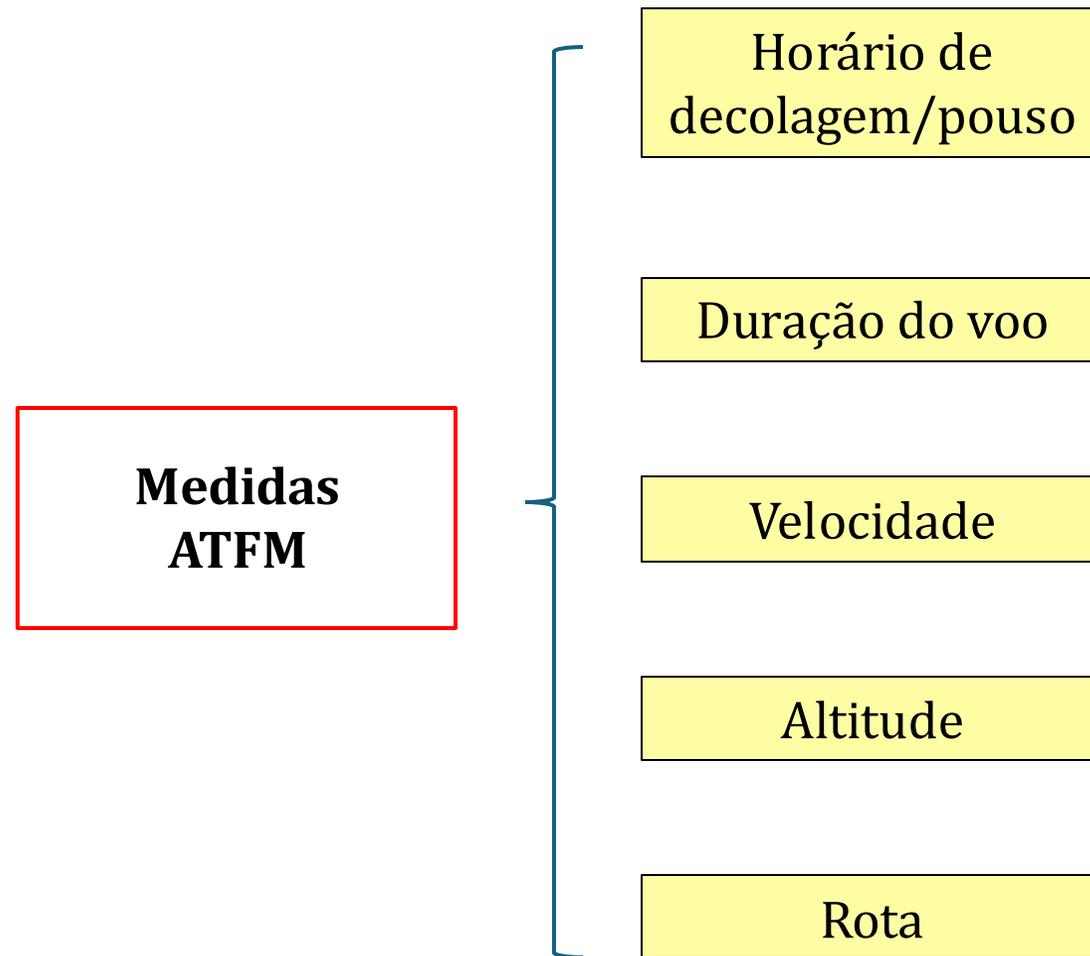
Distribuição de separações:



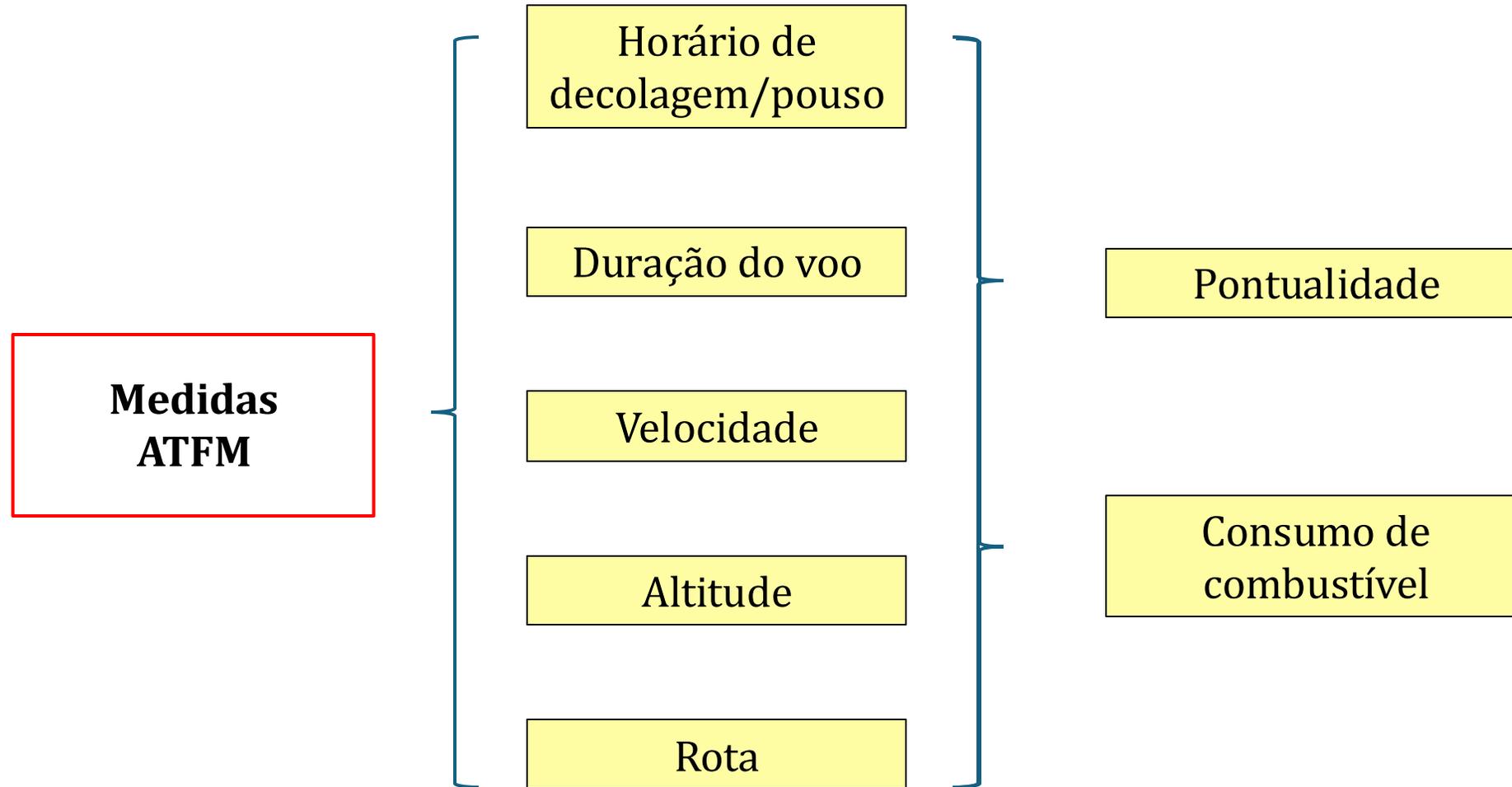
Elemento regulado (tipo):



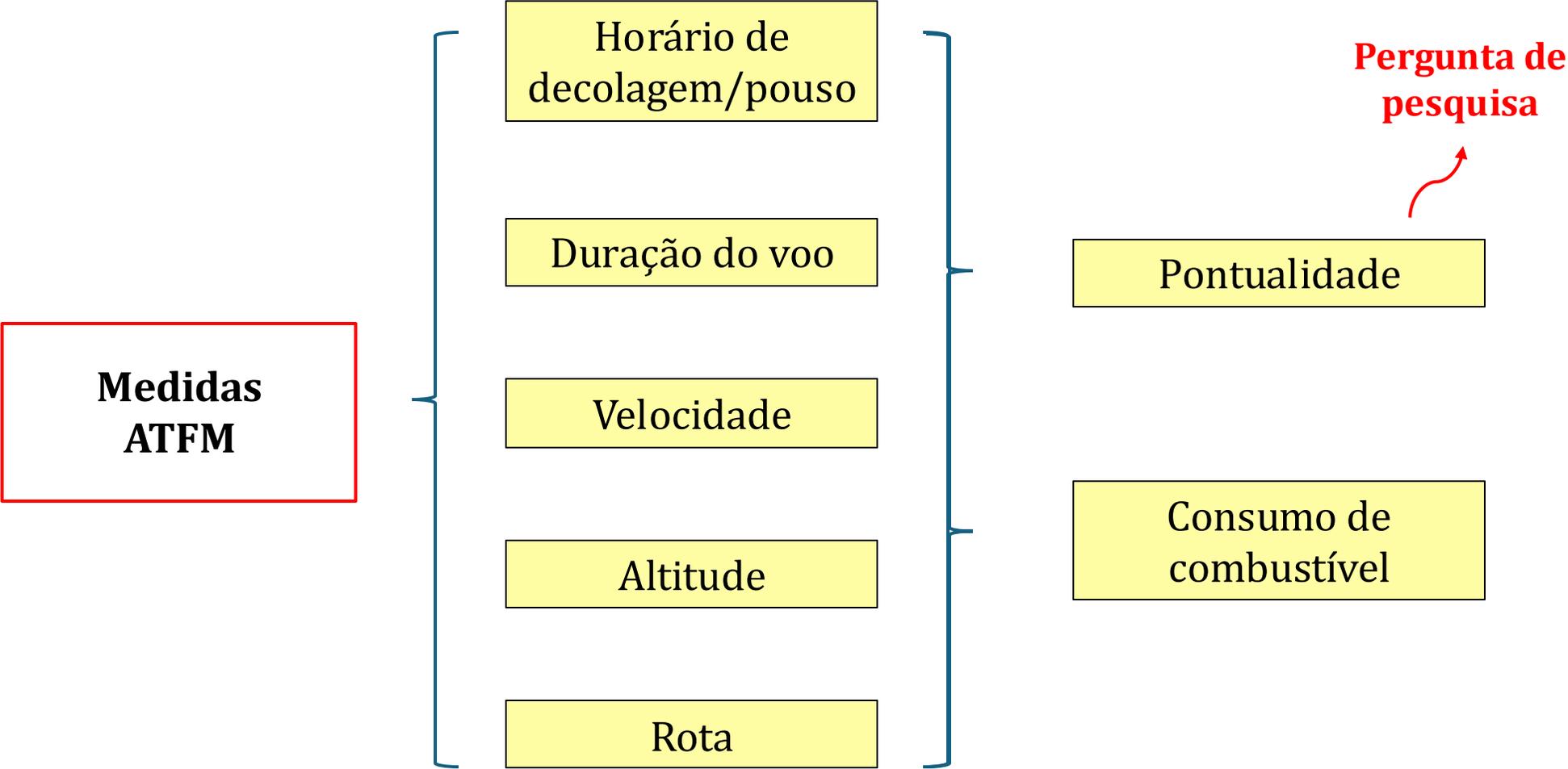
Impactos de medidas ATFM



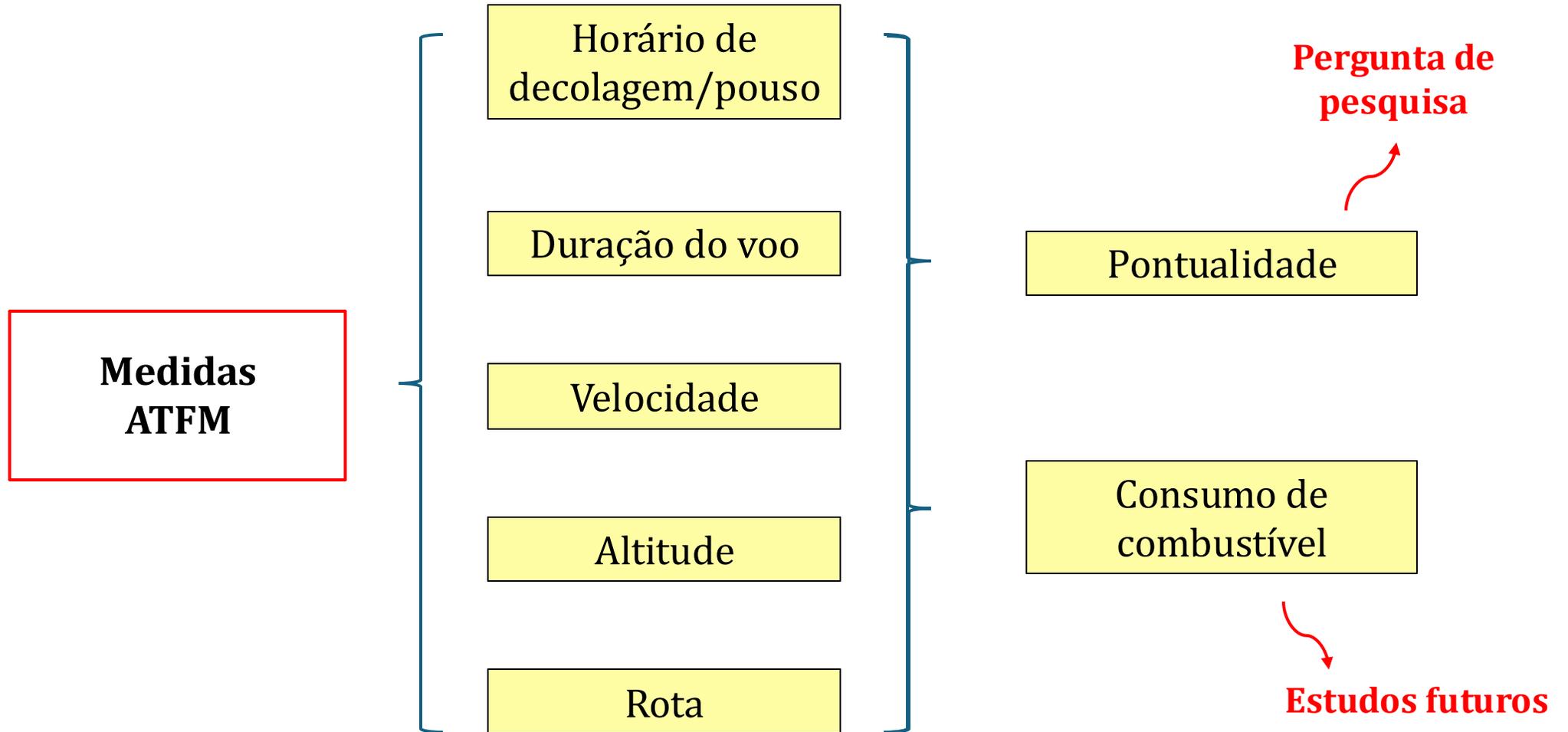
Impactos de medidas ATFM



Impactos de medidas ATFM



Impactos de medidas ATFM



2. Revisão de literatura

Literatura sobre medidas ATFM



Impacto de medidas ATFM na eficiência do voo

- **Murça et al. (2020):** Analisam a eficiência do fluxo de tráfego (eficiência horizontal e temporal)
 - MIT tem impacto negativo na eficiência horizontal
- **Liu et al. (2017):** Analisam ineficiência na rota e causas possíveis, incluindo restrições MIT
- **Ryerson et al. (2014):** Analisa economias de combustível possíveis com melhorias ATM
 - Atraso “planejado” → 10-20% impacto no consumo do atraso “não planejado”

Impacto de medidas ATFM na eficiência do voo

- **Murça et al. (2020):** Analisam a eficiência do fluxo de tráfego (eficiência horizontal e temporal)
 - MIT tem impacto negativo na eficiência horizontal
- **Liu et al. (2017):** Analisam ineficiência na rota e causas possíveis, incluindo restrições MIT
- **Ryerson et al. (2014):** Analisa economias de combustível possíveis com melhorias ATM
 - Atraso “planejado” → 10-20% impacto no consumo do atraso “não planejado”

Medidas ATFM e pontualidade

- **Santos e Murça (2021):** modelo que prevê o desempenho de medidas ATFM na TMA-SP
 - Previsão de pontualidade enquanto consideram características meteorológicas, de demanda e de MIT

Pesquisa anterior sobre pontualidade

- **Eufrásio et al. (2021):** Análise dos determinantes estratégicos e operacionais dos **tempos extras** adicionados à duração planejada dos voos
- **+1 min de tempo extra planejado → -13% chance de atraso**

Pesquisa anterior sobre pontualidade

- **Eufrásio et al. (2021):** Análise dos determinantes estratégicos e operacionais dos **tempos extras** adicionados à duração planejada dos voos
- **+1 min de tempo extra planejado → -13% chance de atraso**

Variáveis relacionadas a ATM : PBN,
Congestionamento (% voos com
demanda > capacidade), propagação de
atrasos (% atrasos nos aeroportos)

Pesquisa anterior sobre pontualidade

- **Eufrásio et al. (2021):** Análise dos determinantes estratégicos e operacionais dos **tempos extras** adicionados à duração planejada dos voos
- **+1 min de tempo extra planejado → -13% chance de atraso**

Variáveis relacionadas a ATM : PBN,
Congestionamento (% voos com
demanda > capacidade), propagação de
atrasos (% atrasos nos aeroportos)



Contribuição deste estudo:
Incluir medidas ATFM

3. Metodologia

Metodologia

Desenvolver um modelo econométrico para analisar o impacto de medidas ATFM (MIT) na pontualidade

Metodologia

Desenvolver um modelo econométrico para analisar o impacto de medidas ATFM (MIT) na pontualidade

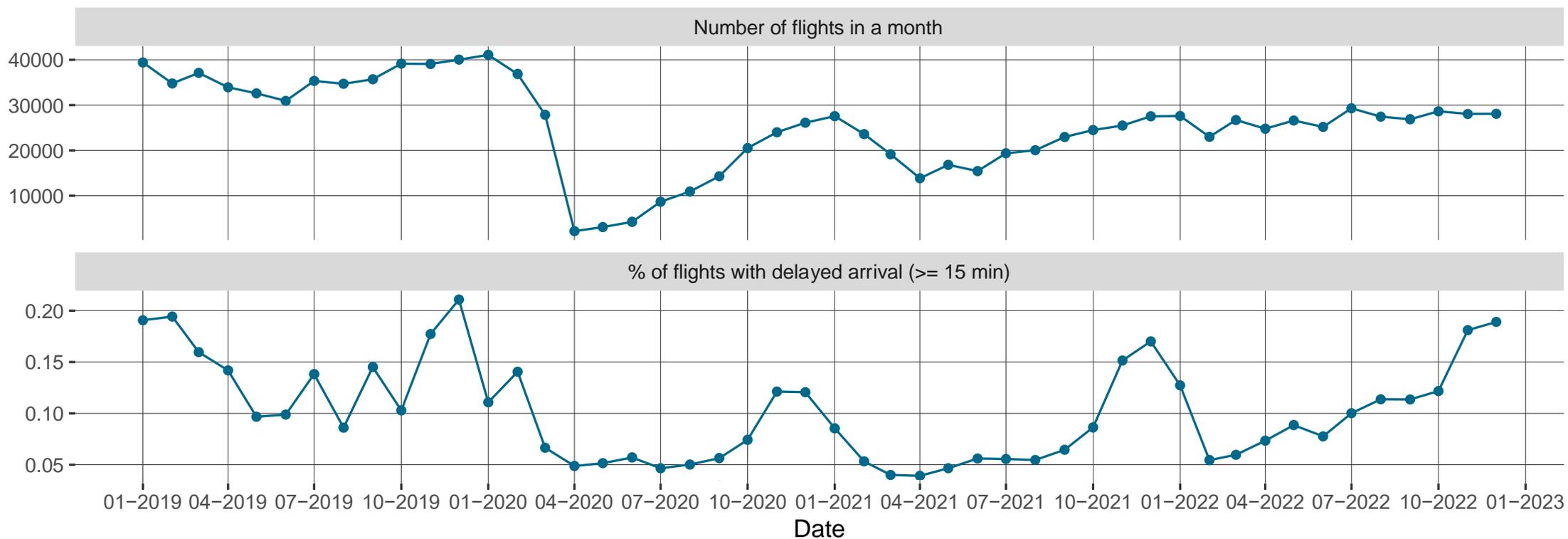
Dados

- 1. Dados históricos de voos da ANAC: microdados, VRA e RAB**
 - Microdados: Número de passageiros, informação da aeronave e voo
 - VRA: Data e horário de partida/chegada planejado/realizado
 - RAB: Informações da aeronave
- 2. Painel de medidas ATFM do CGNA (disponível a partir de 2019)**
 - Características das medidas ATFM: descrição, origem/destino, elemento regulado, data/horário de início/fim

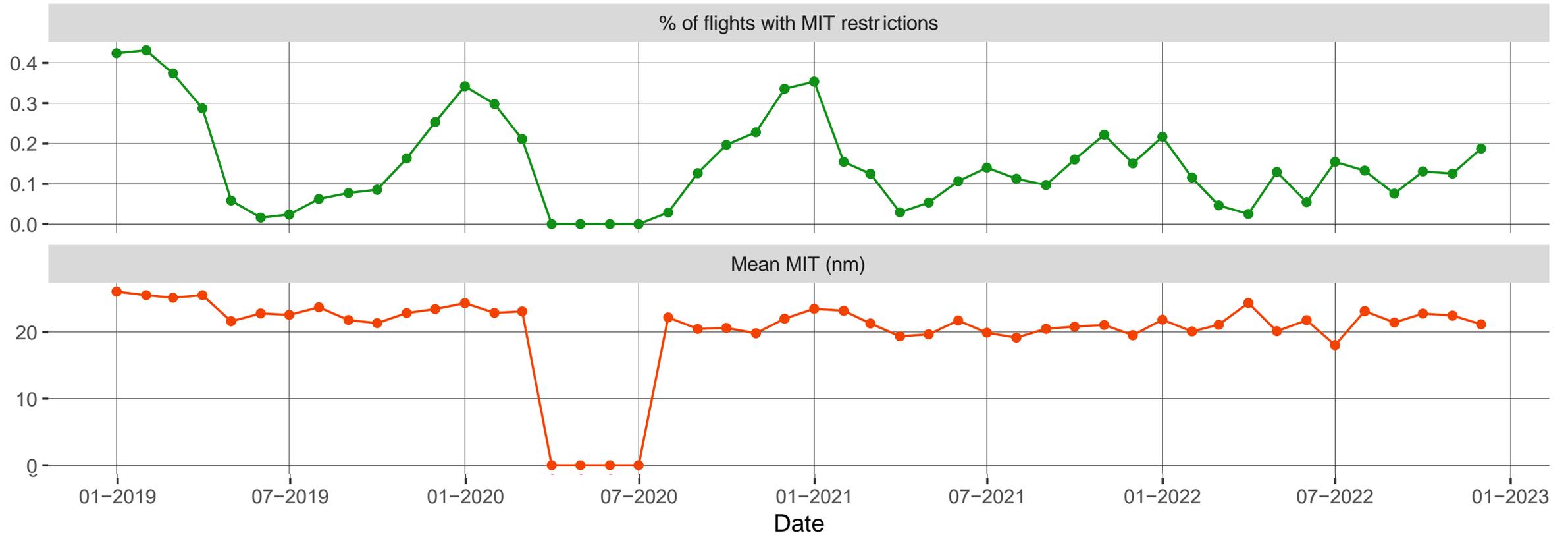
Fusão com base em dados de trajetória (Flight Radar 24)

Amostra

Voos domésticos de 2019 – 2022, operados por 5 companhias aéreas: ONE, TAM, GLO, AZU, PTB



Evolução de restrições MIT na amostra



Modelo econométrico

Regressando: Pontualidade

- **ODDSDEL** = O quão provável é para um voo atrasar na rota k no mês t

Regressores: *(na rota k no mês t)*

- Frequência de voos
- Número de passageiros
- Tamanho médio da aeronave (número de assentos)
- Pandemia
- Congestionamento e propagação de atraso
- Tempo extra de voo
- Miles-in-Trail (percentual e média de separação)

- **Efeitos fixos**
- **Controles:** Mix de aeronaves, presença de companhia aérea, sazonalidade (mês)

4. Resultados

Resumo dos resultados

	ODDSDEL
Frequência	-
Densidade	+
Tamanho da aeronave	+
Competição (HHI)	+
Miles-in-Trail	+
Tempo extra de voo	-
Congestionamento	+
Propagação de atraso	+
Pandemia	-
Tendência	-
Estudo de caso	Voos domésticos (Brasil)
Período	2019-2022

5. Considerações Finais

Conclusões

- O modelo aponta evidências de que restrições MIT estão associadas com aumento nas chances de atraso (+ 1% de MIT (em NM) \rightarrow +6.8% nas chances de atraso)
- Também são observadas evidências de que rotas com mais passageiros ou operadas por maiores aeronaves, ou com menor competição, geralmente tem mais chances de atraso
- O período da pandemia foi marcado por uma redução significativa de atrasos (- ~11% nas chances de atraso)
- O período analisado foi curto (2019-2022) por conta de limitações dos dados

Próximos passos

- Considerar endogeneidade entre MIT e ODDSDEL
- Testar diferentes configurações do modelo

Obrigada!

Referências

Referências

- Assaf, A.G., Josiassen, A., Gillen, D., 2014. Measuring firm performance: bayesian estimates with good and bad outputs. *J. Bus. Res.* 67 (6), 1249–1256.
- Deshpande, V., Arikan, M. (2012) The Impact of Airline Flight Schedules on Flight Delays. *Manufacturing & Service Operations Management* 14(3):423-440.
- Eufrásio, A. B. R., Eller, R. A., & Oliveira, A. V. (2021). Are on-time performance statistics worthless? An empirical study of the flight scheduling strategies of Brazilian airlines. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 145, 102186.
- Liu, Y., Hansen, M., Ball, M. O., & Lovell, D. J. (2021). Causal analysis of flight en route inefficiency. *Transportation Research Part B: Methodological*, 151, 91-115.
- Murça, M. C. R., Guterres, M. X., de Oliveira, M., Szenczuk, J. B. T., & Souza, W. S. S. A. (2020). Characterizing the Brazilian airspace structure and air traffic performance via trajectory data analytics. *Journal of Air Transport Management*, 85, 101798.
- Olive, X., Sun, J., Basora, L., & Spinielli, E. (2023). Environmental inefficiencies for arrival flights at European airports. *Plos one*, 18(6), e0287612.

Referências

- Ryerson, M. S., Hansen, M., & Bonn, J. (2014). Time to burn: Flight delay, terminal efficiency, and fuel consumption in the National Airspace System. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 69, 286-298.
- Santos, L. J., & Murça, M. C. (2021). Predicting the Performance of Miles-In-Trail Restrictions in the Sao Paulo Terminal Area.
- Santos, B. F., Wormer, M. M., Achola, T. A., & Curran, R. (2017). Airline delay management problem with airport capacity constraints and priority decisions. *Journal of Air Transport Management*, 63, 34-44.
- Vilar, G. L. (2020). Análise e previsão da aplicação de medidas de gerenciamento de fluxo no espaço aéreo brasileiro, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.