



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

Gabriel Lauria Gouveia Gonçalves Valadares

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE MÉTODOS DE
DIMENSIONAMENTO DE TERMINAIS DE CARGA AÉREA:
ESTUDO APLICADO AO AEROPORTO INTERNACIONAL
DE GUARULHOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

APARECIDA DE GOIÂNIA
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES
ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO
NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a) autor(a)(es)(as): GABRIEL LAURIA GOUVEIA GONÇALVES VALADARES

Título do trabalho: Avaliação Comparativa de Métodos de Dimensionamento de Terminais de Carga Aérea: Estudo Aplicado ao Aeroporto Internacional de Guarulhos

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs .: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

Gabriel Lauria Gouveia Gonçalves Valadares

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE MÉTODOS DE
DIMENSIONAMENTO DE TERMINAIS DE CARGA AÉREA:
ESTUDO APLICADO AO AEROPORTO INTERNACIONAL
DE GUARULHOS**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso da Graduação em Engenharia de Transportes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás.

Orientadora: Profa. Dra. Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira

APARECIDA DE GOIÂNIA
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Valadares, Gabriel Lauria Gouveia Gonçalves
AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE TERMINAIS DE CARGA AÉREA: ESTUDO APLICADO AO AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARULHOS/ Gabriel Lauria Gouveia Gonçalves Valadares - 2024.

Orientador: Prof. Dra. Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Campus Aparecida de Goiânia, Engenharia de Transportes, Goiânia, 2024.

Apêndice.

Inclui siglas, abreviaturas, símbolos, gráficos, tabelas, algoritmos, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Transporte Aéreo. 2. Dimensionamento. 3. Terminais de Carga. 4. Infraestrutura Aeroportuária. 5. I. Bandeira, Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto, orient. II. AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE TERMINAIS DE CARGA AÉREA: ESTUDO APLICADO AO AEROPORTO INTERNACIONAL DE GUARULHOS

CDU 625



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DECLARAÇÃO

CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

GABRIEL LAURIA GOUVEIA GONÇALVES VALADARES

**AValiação Comparativa de Métodos de Dimensionamento de
Terminais de Carga Aérea: Estudo Aplicado ao Aeroporto
Internacional de Guarulhos**

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso da graduação em Engenharia de Transportes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás.

Aprovada por:

Prof.(a). Dr(a). Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira
(Orientadora)

Prof. Dr. João Paulo Silva Lima
Universidade Federal de Goiás – UFG
(Examinador Interno)

Eng. Me. Wellington Rocha Luiz
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA
(Examinador Externo)

Data: 30/06/2025

RESUMO

O transporte aéreo de cargas desempenha um papel significativo no cenário logístico mundial, conectando diferentes regiões e mercados de maneira ágil, segura e eficiente. Entretanto, com o desenvolvimento deste setor, espera-se que os terminais de carga aeroportuários sejam dimensionados adequadamente para suprir as demandas do mercado, evitando desafios operacionais e tornando o uso dos recursos eficaz. Portanto, este estudo busca realizar uma análise dos principais métodos de dimensionamento de terminal de carga, disponíveis em literatura, incluindo os propostos pela FAA, IATA, STBA, IAC, McKinsey & Company e Magalhães. O estudo contará com a análise detalhada dos métodos FAA e McKinsey & Company aplicados no Terminal de Cargas do Aeroporto de Guarulhos. A partir de parâmetros operacionais, como volume anual de carga, os métodos foram aplicados separadamente por tipo de operações (importação e exportação). É perceptível que pelo método FAA o TECA-GRU deve ter uma área de armazenamento (importação e exportação) de 46.069 m². Já o modelo de McKinsey estimou uma área de 38.926,15 m² mediante a área real que é 69.069,00 m². A análise segregada mostrou que o método McKinsey tende a subdimensionar a importação e superdimensionar a exportação. Por outro lado, o FAA apresenta estimativas mais equilibradas, mas conservadoras. A partir dessas diferenças, propõe-se uma abordagem híbrida, que combine a robustez normativa do método FAA com a flexibilidade operacional do modelo McKinsey, oferecendo uma solução mais adaptável às flutuações de demanda, avanços tecnológicos e exigências regulatórias. O estudo contribui com uma estrutura analítica aplicável a outros terminais e um modelo metodológico que pode orientar projetos de expansão, concessão e planejamento logístico aeroportuário.

Palavras-chave: Transporte Aéreo, Dimensionamento, Terminais de Carga, Infraestrutura Aeroportuária, Logística.

ABSTRACT

Air cargo transportation plays a significant role in the global logistics scenario, connecting different regions and markets in an agile, safe and efficient manner. However, with the development of this sector, it is expected that airport cargo terminals will be adequately sized to meet market demands, avoiding operational challenges and making the use of resources effective. Therefore, this study seeks to analyze the main cargo terminal sizing methods available in the literature, including those proposed by the FAA, IATA, STBA, IAC, McKinsey & Company and Magalhães. The study will include a detailed analysis of the FAA and McKinsey & Company methods applied to the Guarulhos Airport Cargo Terminal. Based on operational parameters, such as annual cargo volume, the methods were applied separately by type of operation (import and export). It is clear that according to the FAA method, TECA-GRU should have a storage area (import and export) of 46,069 m². The McKinsey model estimated an area of 38,926.15 m², considering the actual area of 69,069.00 m². The separate analysis showed that the McKinsey method tends to underestimate imports and overestimate exports. On the other hand, the FAA presents more balanced but conservative estimates. Based on these differences, a hybrid approach is proposed that combines the regulatory robustness of the FAA method with the operational flexibility of the McKinsey model, offering a solution that is more adaptable to demand fluctuations, technological advances and regulatory requirements. The study contributes with an analytical framework applicable to other terminals and a methodological model that can guide expansion, concession and airport logistics planning projects.

Keywords: Air Cargo Transport, Sizing, Sizing Methods, Airport Infrastructure, Cargo, Logistics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problematização.....	5
1.2. Objetivo.....	6
1.2.1. Objetivos Específicos.....	6
1.3. Justificativa.....	6
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
2.1. Histórico e Principais Definições de TECA.....	8
2.2. Tipos de Cargas Aéreas.....	13
2.3. Valor Agregado da Carga Aérea.....	18
2.4. Principais Terminais de Carga Aérea no Brasil.....	19
2.4.1. Terminal de Carga Aérea - GRU Airport Cargo.....	20
2.4.2. Terminal de Carga Aérea - Viracopos Cargo.....	21
2.4.3. Terminal de Cargas do Aeroporto Internacional de Manaus - Eduardo Gomes.....	22
2.4.4. Terminal de Cargas RioGaleão.....	23
2.4.5. Terminal de Cargas Aeroporto Internacional Afonso Pena.....	24
2.4.6. Terminal de Carga do Aeroporto Internacional de Brasília.....	25
3. MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO.....	26
3.1. Contextualização Geral.....	26
3.2. Método FAA - Federal Aviation Administration.....	28
3.3. Método Services Techniques des Bases Aériennes - STBA.....	31
3.4. Método Ashford.....	32
3.5. Método Instituto de Aviação Civil - IAC.....	34
3.6. Método Internacional Air Transport Association - IATA.....	35
3.7. Método McKinsey & Company.....	35
3.8. Método Magalhães.....	38
4. METODOLOGIA.....	40

4.1.	Mapeamento e Análise dos Métodos.....	41
5.	DIMENSIONAMENTO DO TERMINAL DE CARGAS DO AEROPORTO DE GUARULHOS.....	43
5.1.	Aplicação do Método FAA.....	43
5.1.1.	Processamento de carga para demanda futura.....	44
5.1.2.	Área de Armazenamento.....	45
5.1.2.1.	Terminal de Importação e Exportação.....	45
5.1.2.2.	Dimensionamento do Lado terra e Lado Ar.....	46
5.1.2.3.	Pátio de Aeronaves e docas para caminhão.....	47
5.1.2.4.	Áreas auxiliares.....	49
5.1.2.5.	Área total do terminal de cargas de Guarulhos.....	49
5.2.	Aplicação do Método McKinsey & Company.....	50
5.2.1.	Área útil de armazenagem.....	50
5.2.1.1.	Terminal de importação.....	50
5.2.1.2.	Áreas operacionais do terminal de importação.....	51
5.2.1.3.	Terminal de exportação.....	52
6.	ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS FAA E MCKINSEY & COMPANY.....	52
7.	CONCLUSÃO.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Investimentos em infraestrutura de transporte recomendado pelo PNLT - 2007 a 2023.....	12
Tabela 2. Ocupação dos componentes em terminais de importação.....	36
Tabela 3. Área total de armazenamento por tipo de operação.....	46
Tabela 4. Características geométricas das Aeronaves de Carga.....	47
Tabela 5. Resultado das áreas auxiliares.....	49
Tabela 6. Componentes do terminal de carga de importação.....	51
Tabela 7. Áreas obtidas para os métodos FAA e McKinsey & Company.....	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Taxa de crescimento anual da movimentação de carga aérea no Brasil (2004 – 2025).....	2
Gráfico 2. Perfil da carga aérea importada em 2018.....	17
Gráfico 3. Perfil da carga aérea exportada em 2018.....	18
Gráfico 4. Peso movimentado de Janeiro a dezembro de 2024 - GRU cargo.....	21
Gráfico 5. Ranking dos grupos de carga doméstica pelo peso de transporte - Aeroporto Internacional de Manaus, 2018.....	23
Gráfico 6. Comparação dos métodos de dimensionamento.....	55
Gráfico 7. Comparação das áreas obtidas com a área atual.....	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Estudos com uso de Métodos de Dimensionamento.....	27
Quadro 2. Fórmulas para dimensionamento - Método FAA.....	29
Quadro 3. Fórmulas para utilização do método STBA.....	32
Quadro 4. Equações para dimensionamento de terminal de carga - McKinsey & Company.....	37
Quadro 5. Mapeamento dos métodos de dimensionamento.....	41
Quadro 6. Resumo dos parâmetros dos métodos utilizados.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Primeiras Aeronaves - Décadas de 1902 a 1907.....	9
Figura 2. Fluxograma de Importação na rede INFRAERO.....	14
Figura 3. Fluxograma de Exportação na rede INFRAERO.....	16
Figura 4. Aeroporto de Guarulhos - Terminal de Carga.....	20
Figura 5. Terminal de Cargas do Aeroporto do RioGaleão.....	24
Figura 6. Aeroporto de Curitiba - Terminal de Cargas.....	25
Figura 7. Aeroporto de Brasília - Terminal de Cargas.....	26
Figura 8. Ábaco FAA - área de processamento de terminais de carga.....	31
Figura 9. Exemplo de projeto de terminal de carga de tecnologia média - Ashford.....	33
Figura 10. Exemplo de projeto de terminal de carga de alta tecnologia - Ashford.....	34
Figura 11. Metodologia para os cálculos da capacidade do terminal de cargas.....	38
Figura 12. Fluxograma de Importação e Exportação - Magalhães.....	39
Figura 13. Fluxograma de aplicação híbrida dos métodos FAA e McKinsey & Company...57	

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ACRP - Airport Cooperative Research Program
ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil
AWB - Air Waybill (Aviso de Embarque Aéreo)
DAE - Documento de Arrecadação de Exportação
CNT - Confederação Nacional de Transportes
DCI - Declaração para Controle de Internação
DI - Declaração de Importação
DGR - Dangerous Goods Regulations
DSI - Declaração Simplificada de Importação
DST - Distribuição Supervisionada Temporária
DTA - Declaração de Trânsito Aduaneiro
DTI - Declaração de Trânsito Internacional
FAA - Federal Aviation Administration
GRU Airport - Aeroporto de Guarulhos
IAC - Instituto de Aviação Civil
IATA - International Air Transport Association
ICAO - Organização da Aviação Civil Internacional
INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
LABTRANS - Laboratório de Transporte e Logística
LAR - Live Animals Regulations
MTA - Movimentação de Tráfego Aéreo
PAN 24 - Plano Aeroviário Nacional 2024
PBR - Professional Bull Riders
PNLT - Plano Nacional de Logística e Transporte
RFB - Receita Federal Brasileira
SBEG - Aeroporto Internacional de Manaus
SBGR - Aeroporto Internacional de Guarulhos
STBA - Services Techniques des Bases Aériennes
TCB - Terminal de Cargas do Aeroporto de Brasília
TECA - Terminal de Carga Aérea
ZFM - Zona Franca de Manaus

1 INTRODUÇÃO

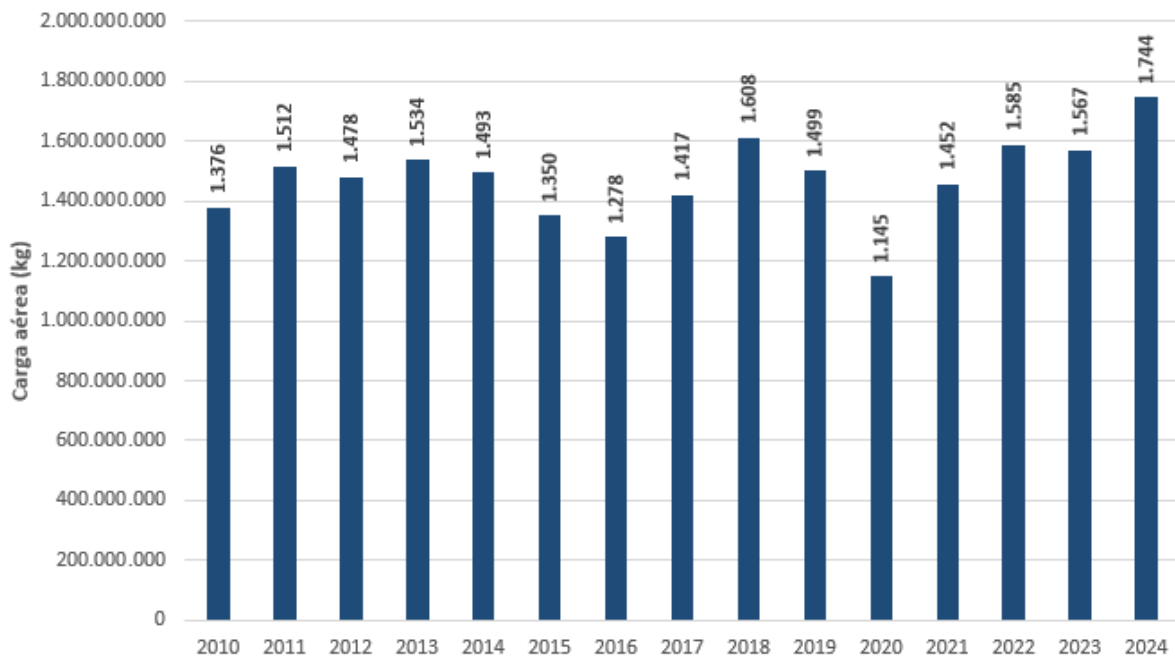
O transporte aéreo de cargas é uma das modalidades de transporte que mais se destaca no ambiente logístico operacional por ser rápido, eficiente e seguro. Além disso, sua relação custo-benefício implica ainda mais na procura por deslocamento de produtos, animais e outras mercadorias. Este fato torna ainda mais forte a ideia de que a aviação é um dos pilares da globalização, pois sua rápida conexão entre continentes auxilia nesse processo global. O transporte aéreo de cargas também está relacionado a um conjunto de regras básicas de organização e funcionamento, compreendendo aspectos como ampla conectividade, custos operacionais, regulamentação, tipos de aeronaves, infraestrutura aeroportuária e tecnológica, entre outros.

Diante deste contexto, o constante crescimento do modal aéreo tem colaborado significativamente para o processo de globalização. Um dos principais fatores para esse acontecimento é a capacidade de movimentar cargas de alto valor, que necessitam da conexão de pontos distintos. Devido às características estruturais das aeronaves o transporte de cargas que demandam agilidade e segurança é, de certa forma, facilitado (Suryani *et al.*, 2012).

A crescente demanda pelo transporte aéreo de cargas fomenta a necessidade de expansão de frotas, implicando diretamente no crescimento deste sistema. Estima-se que até 2027 cerca de 50% da frota mundial de aviões cargueiros seja evoluída quantitativamente, o que explica a crescente demanda por este serviço e firma ainda mais a relevância do transporte aéreo de cargas no ambiente econômico mundial (Kaufmann *et al.*, 2009). Esse cenário ressalta a necessidade de dimensionamento adequado dos terminais de carga, para garantir eficiência operacional e competitividade.

Ainda que se tenha boas projeções de crescimento da frota e da demanda de carga, é importante destacar que o setor suscetível externalidades, como foi o caso do COVID-19, uma vez que esses eventos podem modificar a dinâmica do setor. A crise iniciada em 2019 causou desafios significativos para o transporte aéreo global. O Gráfico 1 mostra como o transporte de carga aérea é impactado por esses eventos, o qual gerou uma queda brusca de -23,63% em 2020. Outro ponto crucial no transporte aéreo do Brasil foi a chegada do *e-commerce* a partir de 2016, assim como apresenta o Gráfico 1 a seguir, tendo um crescimento significativo, em torno de 10,88% já no ano seguinte.

Gráfico 1. Taxa de crescimento anual da movimentação de carga aérea no Brasil (2004 – 2025).



Fonte: HÓRUS, 2025

No que diz respeito a movimentação de carga, em 2024 foi registrado cerca 1.744 milhões de toneladas, representando um crescimento de 11,32% em relação a 2023 que movimentou 1.567 milhões de toneladas (HORUS LABTRANS, 2025).

A crise iniciada em 2019 causou desafios significativos para o transporte aéreo global, principalmente para o setor de passageiros, em decorrência das restrições impostas nas fronteiras devido à elevada chance de propagação do vírus. Deste modo, o transporte aéreo de passageiros sofreu uma elevada queda da demanda por voos. No Brasil, o efeito das restrições das rotas e queda da oferta de voos em 2020 e 2021, causou um impacto significativo para o transporte de passageiros e movimentação de aeronaves (MTA). Entretanto, devido a alta demanda de insumos medicinais e a continuidade da cadeia logística global, o transporte aéreo de carga se manteve ativo. Mesmo assim, estima-se que em 2020 a movimentação de cargas diminuiu cerca de 44% e 17% em 2021, quando comparado a 2019 (SILVA FILHO, 2023).

Diante deste contexto, mesmo com um cenário adverso, o transporte aéreo de cargas conseguiu se adaptar aos eventos e manteve sua importância estratégica. Este fato, ajudou a entender a necessidade de expansão das dimensões das áreas destinadas à movimentação de cargas, que cresceu drasticamente. A demanda por novos investimentos em terminais de

cargas vem crescendo cada vez mais, com o intuito de melhorar a capacidade operacional e aperfeiçoar as operações logísticas complexas que tendem a necessitar de terminais otimizados.

Entretanto, mesmo com o crescimento do transporte aéreo nos últimos anos, o modal ainda sofre com a carência de investimentos em infraestrutura logística. Mais de 40% dos investimentos para a infraestrutura de transporte são destinados ao modal rodoviário. Já para o sistema aeroportuário, a participação de investimento entre 2007 a 2023 é de apenas 5,6% (PNLT, 2017). Este fato implica diretamente na eficiência das operações, atrasos, aumento dos custos e a limitação na capacidade de atendimento à demanda futura. Isso resulta em terminais de carga operando no limite de sua capacidade, dificultando o atendimento à demanda futura e impactando negativamente as operações logísticas. Tais aspectos podem ser diretamente impactados pelo dimensionamento inadequado dos terminais de cargas, por sua vez, ocasionados pela falta de atualização das infraestruturas.

O transporte aéreo se instituiu como um ecossistema tático na logística mundial, a partir de sua facilidade em cumprir um papel fundamental no transporte de mercadorias de alto valor agregado e produtos que tendem a exigir entregas rápidas e seguras. Devido à capacidade de integrar mercados e diminuir as distâncias, a aviação apresenta um retorno eficaz para as demandas progressistas de um mercado global, onde a qualidade do serviço é determinada por fatores como a rapidez no atendimento. Tal fato, instituiu os princípios para a evolução do transporte aéreo de cargas, transformando o setor e desenvolvendo o aperfeiçoamento das tecnologias e da infraestrutura aeronáutica.

A importância de dimensionar terminais de carga aeroportuária surge da necessidade em suprir a demanda do setor aéreo de forma eficiente. O crescimento do volume e da polarização de mercadorias transportadas influenciam diretamente na exigência de locais adequados para a operação. A ausência de terminais apropriados pode impactar na operação e criar obstáculos que tendem a limitar o atendimento a exigências futuras. Portanto, a adequação dos terminais de carga otimiza as operações e fortalece a competitividade do mercado.

Com o desenvolvimento do sistema aeronáutico foi necessário a criação de normas que classificassem o transporte de cargas, uma vez que o excedente transporte de diferentes tipos de mercadorias era realizado de forma desorganizada. Com isso, em 1955, a International Air Transport Association (IATA) criou o registro consolidando os itens perigosos do transporte aéreo, como inflamáveis, corrosivos e radioativos. Este documento foi intitulado como Dangerous Goods Regulations (DGR). Dez anos depois, a IATA cria a documentação Live Animals Regulations (LAR) que regula o transporte aéreo de animais. Com isso, o transporte aéreo começa a se regular, permitindo agora que alguns mercados façam o uso deste sistema, visto que antes, o transporte dessas mercadorias era proibido (CHAGAS, 2022, p. 6,7).

Sendo assim, a regulamentação internacional firmou a segurança e confiabilidade, facilitando o crescimento e adaptação do transporte aéreo de cargas às necessidades do mercado. Na atualidade, o transporte aéreo de carga é marcado por sua facilidade em atender as necessidades do cliente, garantindo a satisfação do mercado. Mesmo tendo alto custo de transporte, uma vez que comparado a outros modos de transporte, a ampla diversidade de características do transporte aéreo de carga colaborou para que hoje ele seja um modo indispensável para o deslocamento de produtos perecíveis, medicamentos, tecnologia, e diferentes produtos que têm alto valor agregado. Portanto, pode-se dizer que o crescimento deste setor está claramente conectado com a evolução do mercado tecnológico, que de certa forma acelerou a exigência por entregas mais rápidas.

De acordo com Nova (2017), países com dimensões territoriais extensas, como o Brasil, a importância do transporte aéreo de carga se torna indiscutível. Além disso, esta ideia é ainda mais enriquecida devido à necessidade de conectar as regiões e atender ao mercado externo. Entretanto, principalmente no Brasil, o setor enfrenta alguns obstáculos. Dados obtidos a partir de estudos realizados pela Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC (2012), mostram que a falta de modernização e investimento adequado nos terminais de carga, são fatores que dificultam o atendimento do mercado logístico futuro.

Nesse contexto, torna-se imprescindível o estudo de métodos de avaliação para o dimensionamento de terminais de carga. Métodos amplamente reconhecidos, como os propostos pela Federal Aviation Administration – FAA (1964), Método STBA – Services Techniques des Bases Aériennes (1984), Método da International Air Transport Association – IATA (1991), Método do Instituto de Aviação Civil - IAC, Método McKinsey & Company (2010), entre outros, fornecem diretrizes importantes relacionadas a previsão de demanda, categorização das cargas, definição de áreas funcionais (como recebimento, armazenagem e expedição) e fluxos operacionais. Ademais, esses métodos precisam ser analisados e adaptados às condições específicas de cada aeroporto, considerando as particularidades locais.

1.1. Problematização

O crescimento do transporte aéreo de cargas tem sido um elemento importante na conexão econômica e a movimentação de mercadorias de alto valor e que são sensíveis ao tempo. Dados do HORUS LABTRANS (2025) mostram que o transporte de carga aérea no Brasil teve um crescimento estimado em 29,22% entre 2015 e 2024, evidenciando uma predisposição de aumento constante do setor. Este crescimento tem se mostrado como resultado da evolução tecnológica e das infraestruturas, que possibilitam que as rotas aéreas atendam cada vez mais clientes rigorosos. Contudo, é importante que os terminais de cargas aéreas - TECA, sejam corretamente dimensionados, assegurando que a capacidade de operação esteja alinhada com a demanda e o crescimento futuro.

No Brasil, a infraestrutura aeroportuária enfrenta desafios na modernização dos TECAs e seu planejamento. Essas limitações impactam diretamente na qualidade e eficiência dos terminais logísticos. A solução destes problemas pode surgir a partir da análise de métodos de dimensionamento de capacidade de terminais aeroportuários, como os métodos FAA, IATA, IAC, Ashford, entre outros. Todos estes métodos proporcionam uma análise detalhada sobre os dados da operação de terminais aeroportuários, como a movimentação anual de carga, relação entre área (administrativa e operacional) e movimentação de carga.

Deste modo, o desafio deste trabalho é analisar os métodos de avaliação e dimensionamento de terminais de carga aérea disponíveis na literatura, aplicando ao caso do terminal de carga do Aeroporto Internacional de Guarulhos, com o intuito de analisar sua validade diante do contexto real do aeroporto.

1.2. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo realizar uma avaliação comparativa entre os métodos de dimensionamento de terminais de carga aérea propostos na literatura, com foco nos modelos da Federal Aviation Administration (FAA) e da McKinsey & Company, a partir da aplicação prática ao Terminal de Carga do Aeroporto Internacional de Guarulhos (SBGR), visando identificar convergências, divergências e limitações operacionais de cada abordagem em relação ao contexto aeroportuário brasileiro.

1.2.1. Objetivos Específicos

- Realizar a revisão dos principais métodos disponíveis na literatura atual sobre dimensionamento de terminais de carga aérea, evidenciando as bases utilizadas como conceito, os parâmetros exigidos e as limitações;
- Utilizar os métodos da Federal Aviation Administration (FAA) e McKinsey & Company no terminal de carga do Aeroporto Internacional de Guarulhos;
- Comparar os resultados obtidos com a atual infraestrutura do TECA-GRU, verificando quais são as divergências e consequências para os planos aeroportuários;
- Verificar a conformidade dos métodos com o cenário brasileiro, considerando aspectos como facilidade de aplicação, conformidade com os dados disponíveis e as particularidades.

1.3. Justificativa

O dimensionamento adequado dos terminais de carga aeroportuários é essencial para atender às demandas crescentes, evitar gargalos operacionais e otimizar os processos logísticos, como: fluxo de recebimento e expedição de cargas, armazenagem e estocagem, movimentação interna de mercadorias, processamento de cargas especiais, integração com outros modais, processos de desembarço aduaneiro, entre outros. Embora existam diversos métodos de avaliação para o dimensionamento dessas infraestruturas, há uma carência de estudos que comparem cientificamente sua robustez, aplicabilidade e adequação a diferentes cenários operacionais.

Cada aeroporto possui particularidades em termos de volume de carga, tipo de mercadoria movimentada, e infraestrutura disponível (básica como sistemas manuais ou com baixa automação para registro, triagem e controle das mercadorias; a infraestruturas avançadas, como sistemas integrados de gestão logística e plataformas digitais para rastreamento em tempo real) o que exige uma análise cuidadosa para determinar quais métodos de avaliação são mais apropriados para cada contexto. A realização de uma análise comparativa dos métodos disponíveis permite não apenas identificar suas limitações e vantagens, mas também compreender como essas ferramentas podem ser aplicadas de forma eficiente em diferentes perfis de aeroportos reais.

Ao realizar essa comparação, o presente estudo busca gerar contribuições relevantes para o campo da infraestrutura aeroportuária e para a gestão de terminais de carga, fornecendo subsídios científicos que auxiliem no planejamento, no investimento e na melhoria da eficiência operacional dos TECAs no Brasil. Além disso, a abordagem proposta tem o potencial de ampliar a compreensão sobre a adequação dos métodos a diferentes realidades e fomentar discussões acadêmicas e práticas no setor.

Diante disso, este trabalho justifica-se pela relevância de avaliar os métodos amplamente utilizados em aeroportos de diferentes perfis operacionais, quanto pela carência de estudos relacionados ao tema do dimensionamento de terminais de carga aérea, contribuindo para o avanço do conhecimento e para a modernização da infraestrutura aeroportuária nacional. Essa análise será aplicada especialmente ao TECA do Aeroporto Internacional de Guarulhos, por ser o maior complexo logístico aéreo do país, com ampla disponibilidade de dados operacionais e diversidade de tipos de carga, o que o torna representativo para fins de análise comparativa entre os métodos selecionados. Assim sendo, será aferida a aplicabilidade e a eficiência de cada método mediante as características operacionais e estruturais do terminal.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico e Principais Definições de TECA

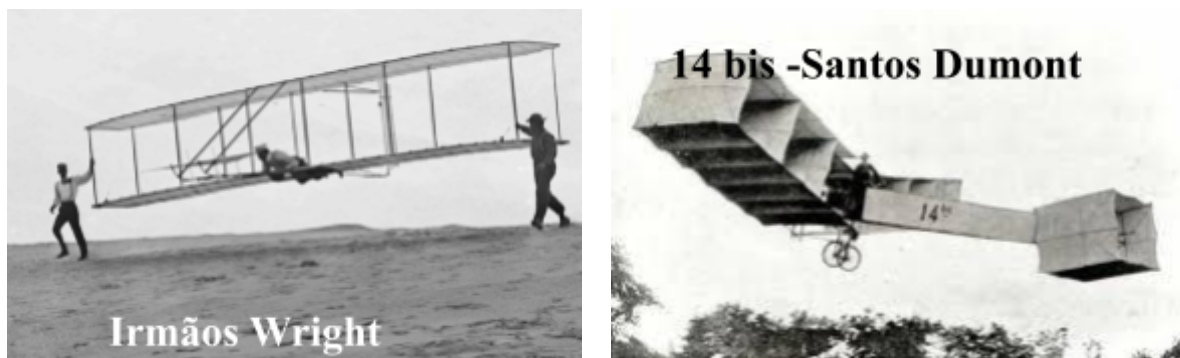
Historicamente, um terminal de carga (TECA) é conhecido como pontos de origem e destino, com objetivo de maximizar as operações de transporte. Além disso, conta com equipamentos que auxiliam no processo de carga e descarga de veículos. Van Oudheusden (1994) afirma que as operações de um terminal de carga formam um sistema complexo, por conta da quantidade de etapas do processo. Além disso, o autor afirma que o principal objetivo do terminal de carga é servir como local de armazenamento antes da próxima etapa da cadeia de suprimentos. Por fim, a eficiência deste sistema é importante para evitar a criação de congestionamentos de mercadorias, diminuindo as taxas de armazenamento.

O transporte aéreo se instituiu como um ecossistema tático na logística mundial, a partir de sua facilidade em cumprir um papel fundamental no transporte de mercadorias de alto valor agregado e produtos que tendem a exigir entregas rápidas e seguras. Devido à capacidade de integrar mercados e diminuir as distâncias, a aviação apresenta um retorno eficaz para as demandas progressistas de um mercado global, onde a qualidade do serviço é determinada por fatores como a rapidez no atendimento. Tal fato instituiu os princípios para a evolução do transporte aéreo de cargas, transformando o setor e desenvolvendo o aperfeiçoamento das tecnologias e da infraestrutura aeronáutica.

Para Marx e Engels, o surgimento desse modal pode ser visto como um ambiente estabelecido por duas forças principais: de um lado, o interesse das empresas em ampliar seu capital econômico e territorial, e de outro, o interesse político em integrar sociedades e desenvolver o sistema regional, proporcionando à população o acesso à cidadania (JUNIOR, 2019, p. 21).

Todavia, não é de hoje que o homem demonstra interesse sobre o sistema aéreo. Ainda no início do século XX, deu-se o pontapé inicial para a evolução do transporte aéreo, principalmente em 1903, na Carolina do Norte, quando os irmãos Wright desenvolveram o objeto que funcionava a partir de uma catapulta, onde alcançaram a marca de 37 metros de altura durante 12 segundos. No ano de 1906, em Paris, o brasileiro Alberto Santos Dumont fazia suas primeiras aparições com seu modelo 14 Bis. O avião de Dumont teve dois destaques: no primeiro, sobrevoou cerca de 60 metros de altura; no segundo, realizou um voo 220 metros a 6 metros sobre a cidade de Paris, que foi assistido por membros da Federação Aeronáutica Internacional (FAI).

Figura 1. Primeiras Aeronaves - Décadas de 1902 a 1907.



Fonte: Airway, 2020

O início do transporte aéreo de cargas se deu antes do surgimento dos aviões quando correspondências e pequenos pacotes eram transportados por balões e dirigíveis. Já em 1910, foi feito o primeiro voo de carga do mundo, com o transporte de aproximadamente 90 Kg de seda entre as cidades de Daytona e Columbus. A partir daí, foi visto as vantagens do transporte aéreo de carga, que naquela época tinha um peso pequeno e não impactava na performance da aeronave. Sendo assim, em 1918 foi criada a primeira rota de transporte aéreo de carga, voltada para o serviço postal (CHAGAS, 2022, p. 6).

A partir desses avanços, o transporte aéreo começou a ganhar importância no ambiente comercial, principalmente com o surgimento das primeiras rotas aéreas em 1924, como a conexão entre dois extremos dos Estados Unidos, ligando Nova York a São Francisco que naquela época só era possível atingi-las via ferrovias. (HOEL *et al.*, 2010).

Durante a Segunda Guerra Mundial, mesmo diante de um cenário conturbado, a utilização das aeronaves nos conflitos estimulou o desenvolvimento de tecnologias aeroespaciais. Roosevelt, presidente da época, suplicou uma reunião para discutir as questões envolvendo a aviação civil. E foi nesta conferência que se deu início a Civil Aviation Organization (ICAO), responsável pela uniformização segura da aviação.

Diante deste contexto, o transporte de cargas por aeronaves começa a ganhar força e se firmar no meio aéreo e servir de medidas mitigadoras dos problemas existentes naquela época, como as necessidades de deslocamento de insumos e alimentos durante e após os conflitos da Segunda Guerra Mundial. A partir disso, com o surgimento do muro de Berlim em 1948, as rotas de transporte rodoviário foram bloqueadas e impedia a entrada de suprimentos para a cidade. Sendo assim, o transporte aéreo de carga foi um marco importante nesta época, pois auxiliava no envio dos suprimentos para os locais em que não era possível ser acessado por veículos terrestres (MORRELL; KLEIN, 2019).

Com o desenvolvimento do sistema aeronáutico foi necessário a criação de normas para classificar o transporte de cargas, uma vez que o excedente transporte de diferentes tipos de mercadorias era realizado de forma desorganizada. Disso posto, em 1955, a International Air Transport Association (IATA) criou o registro consolidando os itens perigosos do transporte aéreo, como inflamáveis, corrosivos e radioativos. Este documento foi intitulado como Dangerous Goods Regulations (DGR). Dez anos depois, a IATA cria a documentação Live Animals Regulations (LAR) que regula o transporte aéreo de animais (CHAGAS, 2022, p.7).

Em 1971 surge a Federal Express (FedEx), que tinha como foco serviços de entrega, utilizando a aviação por ser rápida. Os serviços prestados pela empresa eram voltados apenas para o transporte de carga. Este fato foi um aspecto importante para a consolidação da empresa, que em dez anos de operação obteve grandes lucros e conseguiu ajudar o sistema aéreo de cargas, desenvolvendo um ambiente favorável para o início do *e-commerce*, sendo esse um dos principais fatores que impulsionam a movimentação de carga aérea (HOEL *et al.*, 2010).

No Brasil, a aviação teve início em 1927, a partir da utilização do mercado aéreo por empresas privadas, liberadas pelo governo federal, mas com regulação estatal. As primeiras empresas a explorar este mercado foram a Condor Syndikat, conhecida também como Cruzeiro Sul, Viação Aérea Rio-Grandense (VARIG) e Aeropostale, algumas com foco unicamente em transporte de passageiros e outras em transporte de correio aéreo (BEZERRA *et al.*, 2022).

De acordo com Reis (2020), o cenário aéreo brasileiro se destaca pela construção de empresas de infraestrutura e agências reguladoras, essenciais para o desenvolvimento do setor. Em 12 de dezembro de 1972 surge a Lei nº 5.862, ao qual concedia ao Poder Executivo a construção da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO, que tinha como finalidade a administração, operação, exploração e implantação da infraestrutura aeroportuária. Em 1973, a empresa inicia suas atividades exercendo responsabilidade sobre a administração do Aeroporto Internacional de Brasília Presidente Kubitschek e do Aeroporto de Ponta Pelada, em Manaus. Atualmente a empresa é responsável por 35 aeroportos no país.

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), na qual foi concebida pela Lei nº 11.182 em 2005, surge com o objetivo de regular e fiscalizar as operações da aviação civil e da infraestrutura aeroportuária. Em 2019, a partir da Lei nº 13.848, aprimorou mais ainda a gestão, organização e os processos decisórios das agências reguladoras. Desta maneira, a ANAC impulsionou seu papel a fim de confirmar a competência, segurança e concorrência no setor aéreo (REIS, 2020).

Entretanto, apesar dos avanços, o transporte aéreo de carga no Brasil ainda enfrenta alguns desafios. Dados extraídos do Relatório Executivo do PNLT (2007), apresentados na Tabela 1, mostram que cerca de 70% dos investimentos para infraestrutura em transporte no Brasil estão destinados para o modal rodoviário e ferroviário.

Tabela 1. Investimentos em infraestrutura de transporte recomendado pelo PNLT - 2007 a 2023.

Período	Modo de Transporte	Extensão / Quantidade	Recurso (milhões reais)	Participação Modal no Total de investimentos
2007 a 2023	Rodoviário	43.203	74.194,00	43%
	Ferroviário	20.256	50.556,00	29,40%
	Hidroviário	14.489	12.806,00	7,40%
	Portuário	169	25.085,00	14,60%
	Aeroportuário	40	9.695,00	5,60%
Total Brasil			172.414,00	100%

Fonte: Relatório Executivo do PNLT (2007).

Este fato, deixa claro o prejuízo causado ao setor aéreo e para a matriz de transporte do país. Tal como afirma Junior (2019),

A diversificação na matriz de transporte representa maior ganho de eficiência e maior redução nos custos, pois, baseando-se nas condições geográficas e no tipo de carga movimentada, cada modal apresenta características singulares (velocidade, disponibilidade, confiabilidade, capacidade e frequência) apropriadas para cada situação. Essa diversificação proporciona maior equilíbrio na matriz, possibilitando um melhor planejamento dos gastos públicos e no maior rendimento das empresas de transportes que passam a utilizar a combinação dos modais, reduzindo os gargalos e contornando diversos outros tipos de problemas que afetam o setor. (JUNIOR, 2019, p. 23 e 24).

De acordo com Nova (2017), em países com dimensões territoriais extensas, como o Brasil, a importância do transporte aéreo de carga é indiscutível. Além disso, esta ideia se torna mais reforçada devido à necessidade de conectar as regiões e atender ao mercado externo. Entretanto, no Brasil, o setor enfrenta alguns obstáculos. Dados obtidos a partir de estudos realizados pela ANAC (2012) mostram que a falta de modernização e investimento adequado nos terminais de carga dificulta o atendimento do mercado logístico futuro, pois grande parte dos aeroportos do país já está operando em capacidade máxima.

A INFRAERO (2006), em seu Manual de Critérios e Condicionantes de Planejamento Aeroportuário, afirma que o funcionamento de um terminal logístico de carga envolve setores como alfandegários e não alfandegários. As áreas alfandegárias, localizadas no entorno de um aeroporto, servem para auxiliar no armazenamento e movimentação das mercadorias de importação e exportação, cumprindo às normas estabelecidas pela Receita Federal. As áreas administrativas, técnicas e comerciais são consideradas não alfandegárias. Cerca de 80% da estrutura do terminal de carga é destinado para estas áreas.

Portanto, o TECA é definido como local destinado para o recebimento, movimentação, armazenamento e entrega de carga. Além disso, pode influenciar na prospecção de novos clientes por meio da qualidade dos serviços oferecidos. Esses serviços podem ser diretamente motivados pelo objetivo central do TECA, incluindo sua localização, os tipos de cargas e os veículos utilizados.

2.2 Tipos de Cargas Aéreas

Segundo Magalhães (1998), o conceito de carga aérea pode ser definido como os bens que serão transportados, que não sejam pessoas ou bagagens. A carga aérea é bastante dissimilar devido às diferenças entre as mercadorias, por consequente, diversifica a maneira como será transportada. Por isso, alguns autores como Ashford (2015) e Infraero (2015) classificam a carga aérea como: Normais, perecíveis, urgência, alto valor, perigosas, restritas e animais vivos.

Além dessas classificações, a Infraero em seu Guia Cargo, 2012, mostrou que a carga aérea pode ser dividida em quatro categorias como Nacional, Importada, Exportada e Courier, que são influenciadas pela origem e destino da carga.

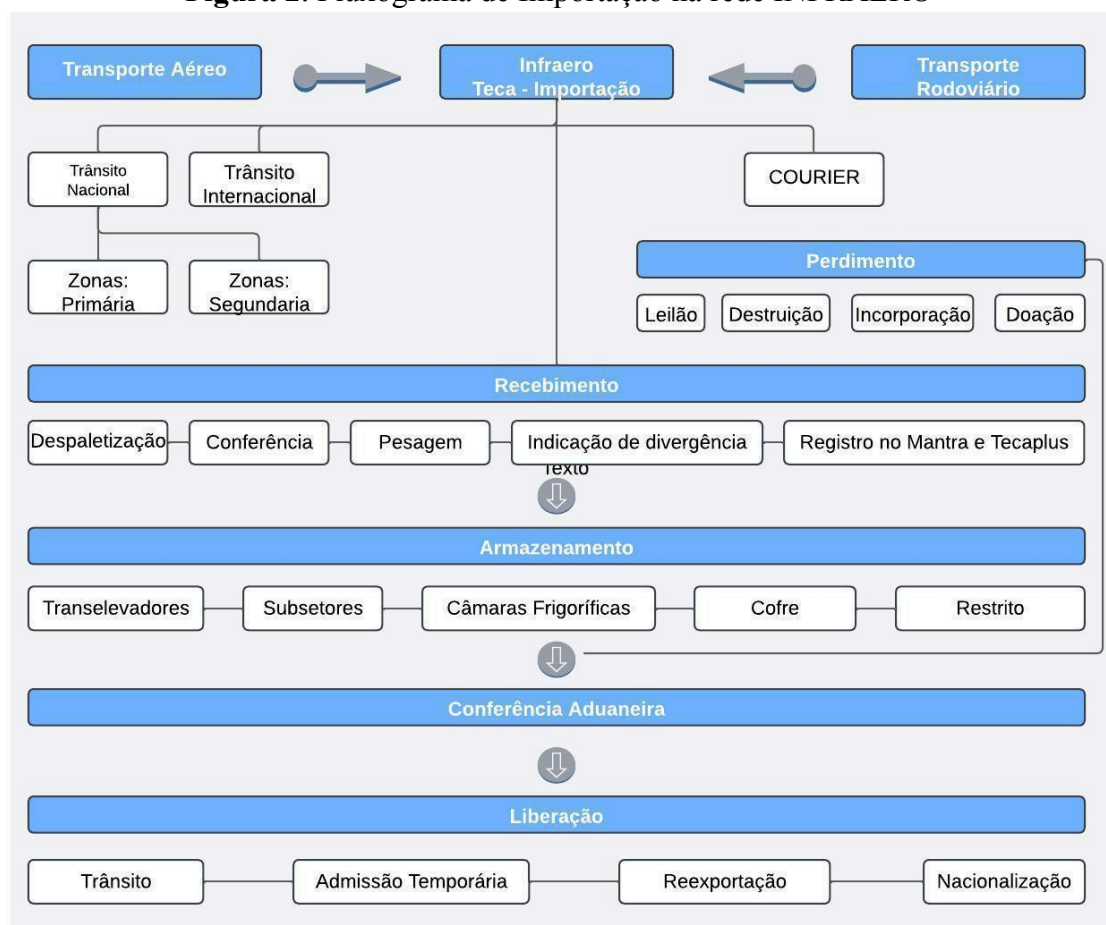
- Nacional: A movimentação de carga Nacional refere-se ao processo dado para as cargas que não ultrapassam a jurisdição nacional, ou seja, que tem origem e destino no território brasileiro. Um ponto que diverge deste tipo de carga das demais é a fiscalização, por sua vez, estadual e, em alguns casos, em âmbito federal.

No Brasil, os aeroportos que operam com carga nacional estão agrupados no grupo da INFRAERO. Ao total são 17 terminais de carga que atendem esse tipo de serviço. Ademais, a modalidade de carga nacional, está composta por submodalidades, como a de tipo internada. No Brasil, apenas o Terminal de Cargas - Eduardo Gomes, em Manaus (AM), realiza estas operações.

Este é um processo criado exclusivamente para esta região, pois conta apenas com os produtos que são industrializados na Zona Franca de Manaus (ZFM). É importante ressaltar que as cargas de internadas são classificadas em diversas modalidades, entre elas estão Declaração para Controle de Internação - DCI mensal, DCI Individual, Carga normal e Pessoa Física, Distribuição Supervisionada Temporária - DST, prioritária, entre outras. Sendo assim, a carga nacional mostra algumas divisões importantes que atendem às peculiaridades do mercado, assegurando o controle e fiscalização adequada. (INFRAERO, 2012).

- Importada: O processo de importação consiste na admissão sucessiva da internação da carga de origem estrangeira. Por lei, considera-se carga importada apenas após a deliberação no país. O processo de importação se dá através de um aglomerado fluxo de atividades diretamente conectadas.

Figura 2. Fluxograma de Importação na rede INFRAERO



Fonte: INFRAERO, 2012.

O processo de importação começa com a chegada da mercadoria, seja por modo aéreo ou rodoviário. Qualquer tipo de carga importada que seja nacionalizada deve primeiramente passar pelo operador do terminal de carga para controle e armazenamento, seguido da conferência aduaneira realizada pela Receita Federal. Após isso, a alfândega recebe toda a documentação referente a carga e faz a validação dos documentos. O descarregamento da carga acontece por meio de equipamentos como tratores, rebocadores, *loaders*, entre outros.

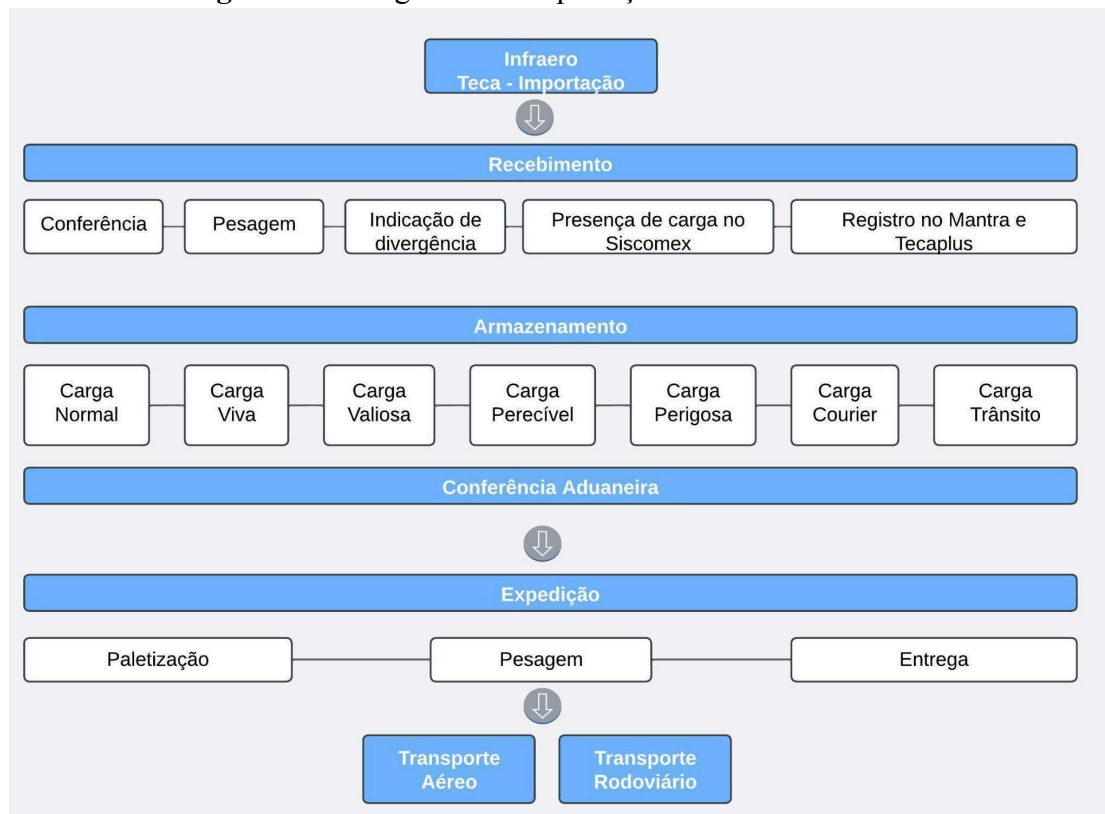
De acordo com o Guia INFRAERO (2012) e pelo Portal Único Siscomex (2024), apresentam informações onde o processo de recebimento da carga é realizado a partir dos dados disponíveis nos sistemas Tecaplus e Siscomex-Mantra. Sendo assim, nesta etapa é feita a verificação da carga ao qual é inferido todos os detalhes, por exemplo: etiquetas, tipo de embalagem, contagem de volumes, pesagem e identificação de avarias.

Após o cumprimento dos processos anteriores, a carga é destinada ao armazenamento. Para isso, segue alguns critérios, como natureza da carga, peso, embalagem e restrições.

Esse processo só é liberado após o desembaraço aduaneiro. Segundo a INFRAERO (2012), os documentos de liberação são Declaração de Importação - DI, Declaração Simplificada de Importação - DSI, Declaração de Trânsito Aduaneiro - DTA, Declaração de Trânsito Internacional - DTI, entre outros.

- Exportada: Denomina-se aquelas que têm origem ou destino de um determinado país para outro com objetivo comercial ou industrial. No fluxograma abaixo é possível ver as etapas estabelecidas pela Infraero para o processo de exportação.

Figura 3. Fluxograma de Exportação na rede INFRAERO



Fonte: INFRAERO, 2012.

É importante dizer que tanto o processo de importação quanto o de exportação só iniciam após o recebimento do conhecimento aéreo. No caso da carga de exportação, é necessário ser efetuado o *Air Waybill (Aviso de Embarque Aéreo) - AWB*. Com a documentação aferida, é feito o recebimento da carga, onde é conferido às características físicas da carga (etiqueta, embalagem, peso e avarias). Em especial para as cargas perigosas, devem ser mantidas em embalagens com padrão IATA e com certificado de produto perigoso.

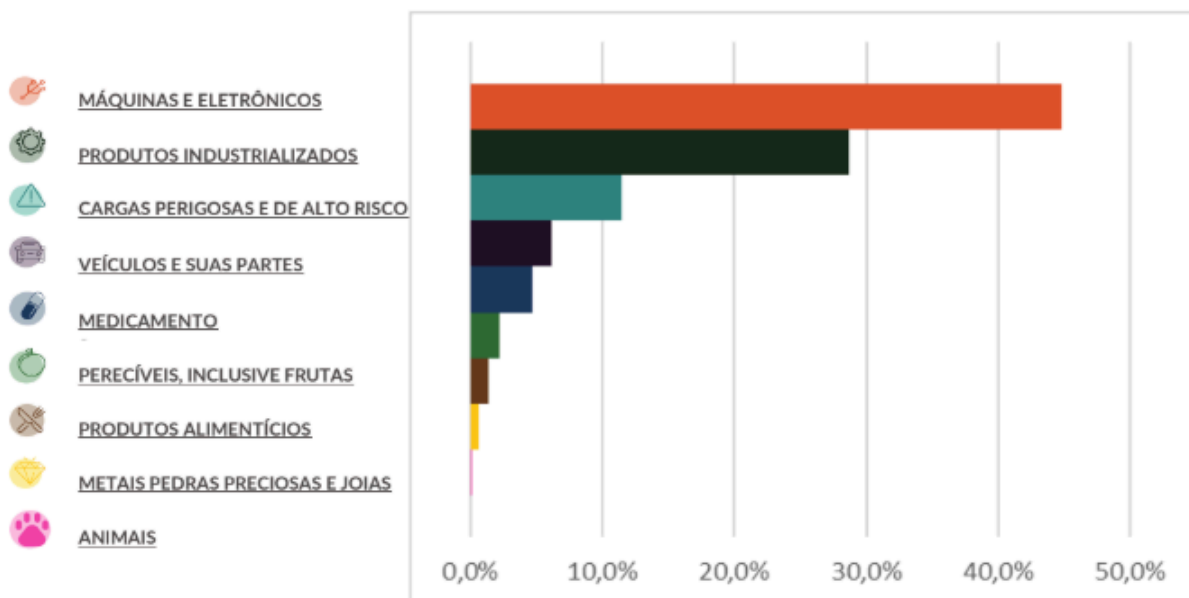
O armazenamento da carga segue alguns critérios de classificação, como peso, embalagem ou tipo de carga (Normal, Perecível, Urgente, Perigosa, Alto valor, Restrito, Carga viva). Por fim, o processo de expedição é feito somente após a declaração dos documentos de Manifesto de Carga, Comprovante de liberação (emitido pela Receita Federal do Brasil) e Documento de Arrecadação de Exportação - DAE.

- Courier: conhecidas também como remessa expressa, a carga *Courier* são documentos ou pedidos internacionais, transportados por empresas de serviço “porta a porta”. Para esse tipo de carga é adotado critérios como: não ter fins comerciais, não pode superar o valor permitido pela legislação, não inclui bebidas alcoólicas. Esse tipo de carga só é

permitido ser transportado por empresas cujo objetivo principal seja serviços expresso internacional aéreo, que se caracteriza pela agilidade e rapidez na entrega.

Acrescenta-se ainda neste contexto, a importância de destacar o perfil da movimentação da carga aérea no Brasil no cenário da importação e exportação, identificando a natureza da carga e auxiliando na definição de demandas detalhadas para o dimensionamento de terminais de carga. Dados obtidos a partir do Plano Aéreo Nacional de 2024 (PAN 24), com base nas informações do LabTrans/UFSC (2020), permitem realizar a análise do volume total movimentado por tipo de carga em 2018, conforme mostram os gráficos 2 e 3.

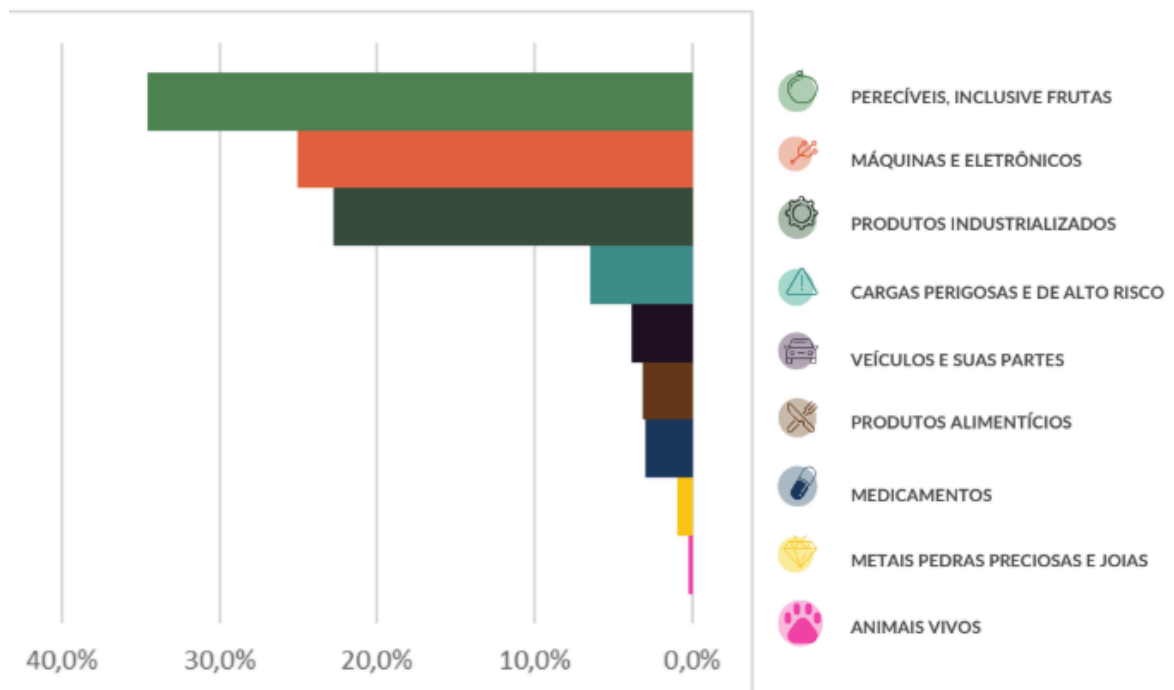
Gráfico 2. Perfil da carga aérea importada em 2018.



Fonte: PAN 24 (2024). Elaboração: LabTrans/UFSC (2020).

Nota-se que a carga aérea importada é predominantemente integrada por máquinas e eletrônicos compondo aproximadamente 50% da movimentação total e cerca de 30% correspondente a produtos industrializados. Estes dados evidenciam que a carga aérea internacional é majoritariamente destinada à movimentação de mercadorias de alto valor agregado e sensíveis ao tempo.

Gráfico 3. Perfil da carga aérea exportada em 2018.



Fonte: PAN 24 (2024). Elaboração: LabTrans/UFSC (2020).

No contexto da exportação, destaca-se os produtos perecíveis correspondentes a aproximadamente 35% da carga total exportada em 2018. Destacam-se também máquinas e eletrônicos, e produtos industrializados, com cerca de 25% e 22% respectivamente. É evidente que este perfil está em conformidade com a necessidade de agilidade no transporte de produtos, justificando o uso do transporte aéreo para cumprir as necessidades do mercado internacional.

2.3 Valor Agregado da Carga Aérea

É notório que o transporte aéreo de carga é um pilar importante para o deslocamento de cargas de alto valor agregado, devido às diversas vantagens logísticas, já citadas ao longo deste estudo. Em um contexto global, mesmo que abrange apenas 1% do volume total de mercadorias movimentadas, a carga aérea representa aproximadamente 35% do montante financeiro do mercado mundial (IATA, 2024).

Dados apresentados pela IATA em seu relatório *Air Cargo Market Analysis*, apontam que o valor médio da carga aérea transportada vale em torno de US\$3.000 por quilograma (Kg). Entretanto, outros modais como marítimo, apresentam baixo custo médio da carga, sendo cerca de US\$5,00/Kg. Tal fato deixa claro como o transporte aéreo de cargas é utilizado

minuciosamente por setores que necessitam da agilidade de deslocamento dos produtos de alto valor como eletrônicos, produtos medicinais, peças automotivas e jóias.

Outros autores como McKinsey & Company (2016) ressalta ainda que o transporte aéreo de carga é um pilar importante para os setores da cadeia de suprimentos que necessitam do desempenho operacional, atendendo às questões como curto prazo de entrega, segurança no deslocamento e rastreamento em tempo real da mercadoria, principalmente para aqueles produtos que tendem a ter um processo produtivo mais complexo como microchips, que também compõe a classe de carga de alto valor agregado. No Brasil, esses dados são reforçados por dados da CNT (2024) que mostram que os principais produtos transportados no transporte aéreo de cargas são eletrônicos, medicamentos e produtos perecíveis.

De acordo com Ballou et al. (2011), produtos de alto valor agregado tendem a ter custos de transporte mais baixos por possuírem menor peso em relação aos produtos de baixo valor agregado que na maioria dos casos são produtos mais volumosos, como soja e milho. De outro modo, quando analisado os custos de armazenagem, as mercadorias de alto valor tendem a ter custos mais elevados, pois o seguro da mercadoria é mais caro em relação ao espaço ocupado pela mercadoria.

Sendo assim, é essencial analisar as características dos principais terminais de carga aérea do Brasil, que tem um forte e importante papel no cenário logístico e são responsáveis por movimentar grande parte das mercadorias de alto valor agregado do país, e por isso, necessitam de infraestruturas adequadas, eficientes e compatíveis com o mercado atual.

2.4 Principais Terminais de Carga Aérea no Brasil

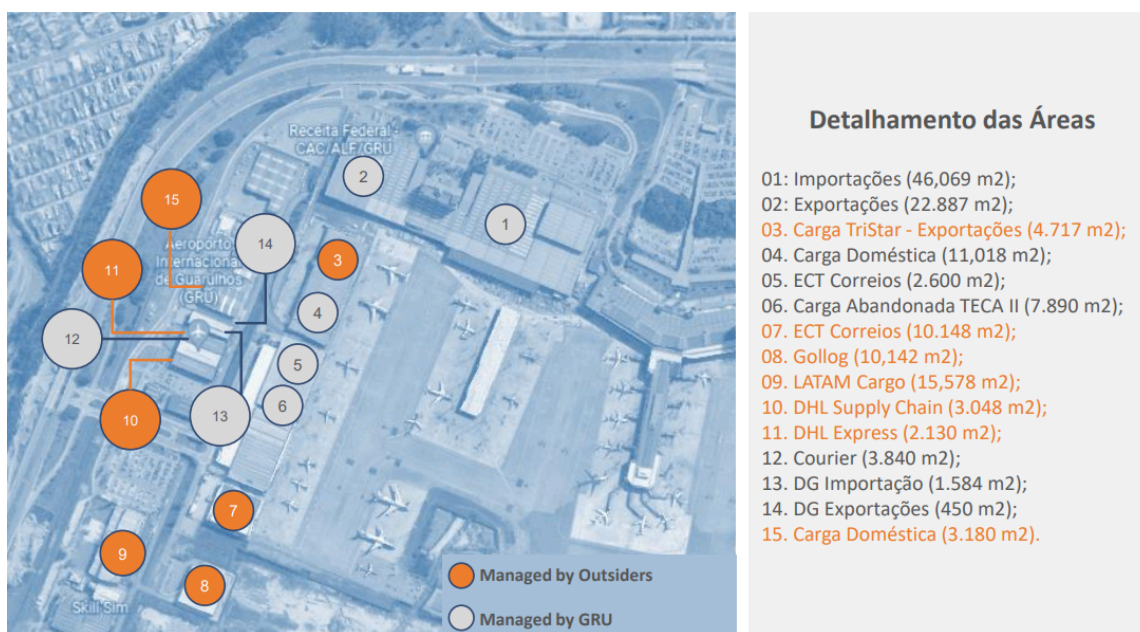
Com a liberação do setor aéreo em 1990, a partir da regulação do sistema aéreo, surgiu o interesse de empresas com foco específico em transporte de carga. Sendo assim, no final da década de 90, empresas como VARIG, VASP e TAM, criam suas filiais de carga, VARIG Log, VASPEX e TAM Express. A partir de 2010, esse número aumentou com o surgimento de novas empresas como Sideral Air Cargo, Connect Cargo, Rio Linhas Aéreas, Azul Cargo e LATAM Cargo (BEZERRA et al., 2022). Tal crescimento se deu mediante a elementos estruturais e de mercado, a partir da consolidação do comércio global, resultando no aumento do volume de carga transportada pelos modais rodoviário e marítimo, mas esses enfrentam desafios, como lentidão em longas distâncias o que faz o modal aéreo uma opção estratégica (DRUMMOND, 2023).

Atualmente, de acordo com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo, o Brasil conta com 2.457 aeroportos. Entretanto, dentre os muitos terminais existentes, destacam-se aqueles com maior relevância no transporte de cargas, sendo eles o Aeroporto Internacional de Guarulhos (GRU), o Aeroporto Internacional de Viracopos e o Aeroporto Internacional de Manaus, o Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro - RioGaleão e o Aeroporto Internacional de Curitiba - Afonso Pena. Destaca-se ainda o Aeroporto Internacional de Brasília – Presidente Juscelino Kubitschek, que, embora tenha forte vocação para o transporte de passageiros, também exerce um papel importante no transporte de cargas agrícolas, produtos veterinários, alimentos e insumos farmacêuticos.

2.4.1 Terminal de Carga Aérea - GRU Airport Cargo

O TECA GRU está estrategicamente localizado, em Guarulhos, a 20 km de distância de São Paulo, e está próximo de rodovias que ligam o aeroporto a todo o país. É considerado o maior terminal logístico aéreo do Brasil devido sua capacidade de operação. Em 2012, foi assinado o contrato de concessão do aeroporto, onde 51% das ações pertencem a Grupar (Grupo Invepar e ACSA), sendo 80% para a Invepar e 20% para a ACSA. Os 49% pertencem à INFRAERO. Atualmente, o terminal faz ligação com mais de 36 países, além de todas as capitais do país, com participação de 40 empresas aéreas. Com uma instalação de carga atual de 145 mil m² de armazéns, sendo 100 mil m² operados pela GRU e mediante a um investimento total de aproximadamente R\$45 milhões.

Figura 4. Aeroporto de Guarulhos - Terminal de Carga

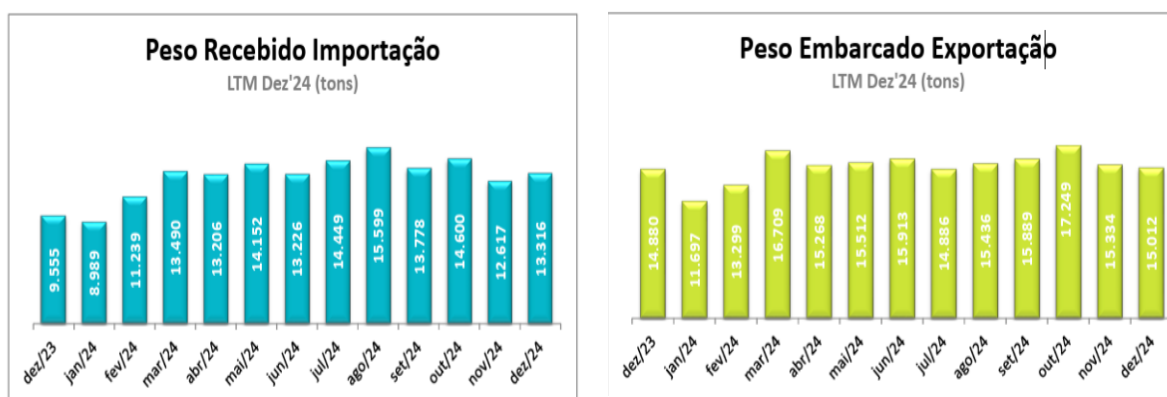


Fonte: GRU Airport (2023).

A capacidade atual de armazenagem do terminal está dividida em algumas áreas: armazém de importação (aproximadamente 46.069 mil m²), armazém de exportação (23 mil m²), armazém de carga restrita (1.584 m² para carga de importação e 450 m² para carga de exportação), armazém de carga courier (3.840 m²) e armazém de carga nacional (11.018 m²).

O terminal de carga GRU atua com a movimentação de cargas de diversos tipos, como eletrônicos, farmacêuticos, têxtil, alimentos, peças e acessórios automotivos. O processo operacional do terminal está dividido em Importação, Exportação, Courier e Carga Nacional. Em 2024, o terminal de carga registrou 365.300 mil toneladas de cargas movimentadas, sendo 168.216 mil toneladas de carga de importação e 197.084 mil toneladas de carga de exportação, a ser visto no Gráfico 4. Em geral, cerca de 46% das cargas movimentadas no terminal são do tipo importada e 54% exportadas.

Gráfico 4. Peso movimentado de janeiro a dezembro de 2024 - GRU cargo



Fonte: GRU AIRPORT.

Um dos principais desafios de aeroportos de grande porte, como GRU, é garantir a produtividade através da diferença entre a capacidade de operação e volume de movimentação, pois se por um lado, o manuseio de uma quantidade expressiva de cargas resulta em ineficiências técnicas, por outro, a movimentação de um volume abaixo do nível ótimo resulta em desperdícios de recursos (GONÇALVES *et al.*, 2010).

2.4.2 Terminal de Carga Aérea - Viracopos Cargo

O aeroporto Internacional de Viracopos foi construído na década de 50. Na época, a utilização de jatos estava bastante forte no setor aéreo. Então o surgimento do aeroporto de Viracopos foi considerado como um aeroporto militar e uma alternativa, pois antes disso existia apenas um aeroporto com pistas longas, o Aeroporto de Galeão, no Rio de Janeiro.

Atualmente, o aeroporto internacional de Viracopos é considerado um dos principais hubs do país, seja devido sua localização, em uma região de grande expressão industrial, além da sua conectividade com rodovias de grande importância, como Santos Dumont, Bandeirantes e Anhanguera, pelo seu potencial em movimentar um grande percentual das cargas importadas e exportadas no país (OLIVEIRA, 2016).

Um destaque especial para o terminal de carga de Viracopos, que em 2018 foi premiado como o melhor aeroporto de cargas do mundo. Além disso, é um dos mais importantes do Brasil, movimentando cerca de 33% de toneladas de carga aérea importada do país. Em 2022, o TECA Viracopos registrou 357 mil toneladas de carga movimentada. Neste âmbito, estão os setores farmacêutico, metalmeccânico, químico, tecnologia automotiva e vestuário.

Para isso, o aeroporto conta com 84 mil m² destinados ao terminal de carga, sendo 21 mil m³ para Câmaras frias para o armazenamento de produtos farmacêuticos, 3.680 mil m² para área útil (coberta e descoberta), destinadas para o atendimento exclusivo de cargas vivas.

2.4.3 Terminal de Cargas do Aeroporto Internacional de Manaus - Eduardo Gomes

O Aeroporto Internacional Eduardo Gomes possui ampla infraestrutura, sendo dois terminais de passageiros, com designação para aeronaves de grande e pequeno porte. O aeroporto Eduardo Gomes é considerado o maior da região Norte e o terceiro do Brasil (INFRAERO, 2010). Em 2022, a VINCI Airport passou a administrar 7 aeroportos do Norte, entre eles o aeroporto de Manaus. O contrato tem duração de 30 anos e até lá é de responsabilidade da concessionária operar e modernizar os aeroportos, investindo em infraestrutura, segurança, práticas sustentáveis com objetivo de melhorar o desenvolvimento regional e a experiência dos passageiros.

O TECA opera cargas de mais de 250 empresas, sendo a maioria delas da ZFM. O aeroporto é característico por suas operações de internacionalização, principalmente para os produtos industrializados na esta região, sendo 80% da movimentação total de carga do aeroporto. Estima-se que em 2018, se tenha transportado aproximadamente 110 mil toneladas de cargas. Dentre elas, estão máquinas e eletrônicos, veículos e peças, produtos industrializados e perecíveis.

Gráfico 5. Ranking dos grupos de carga doméstica pelo peso de transporte - Aeroporto Internacional de Manaus, 2018.



Fonte: LABTRANS, 2018.

Além disso, as principais rotas com maior movimentação de carga são entre o Aeroporto Internacional de São Paulo - Guarulhos (SBGR) E O Aeroporto Internacional de Manaus (SBEG), totalizando mais de 30 mil toneladas transportadas em cada destino. Esta rota é caracterizada pela movimentação de aeronaves cargueiras. Em 2018, foram registrados cerca de 100 voos semanais (LABTRANS/UFSC/MINFRA, 2018).

2.4.4 Terminal de Cargas RioGaleão

O terminal de cargas RioGaleão, estrategicamente localizado, está a 20 km do centro da cidade do Rio de Janeiro e a 17 quilômetros do porto Maravilha. Considerado como um dos principais operadores logísticos de cargas farmacêuticas, o terminal de carga RioGaleão conta com 45 mil m² de área destinada ao armazenamento de mercadorias, sendo aproximadamente 13 mil posições de prateleira e 17 mil m³ de armazenamento com temperatura controlada (NOVA, 2017).

Em 2013 o aeroporto foi a leilão onde a concessionária Changi garantiu 51% da administração do aeroporto e os demais 49% pertencentes a INFRAERO. Entretanto, está em pauta um novo processo de licitação do terminal, a fim de obter novos investidores que tomarão posse dos 49% pertencentes a INFRAERO.

Figura 5. Terminal de Cargas do Aeroporto do RioGaleão.



Fonte: Google Earth, 2024a.

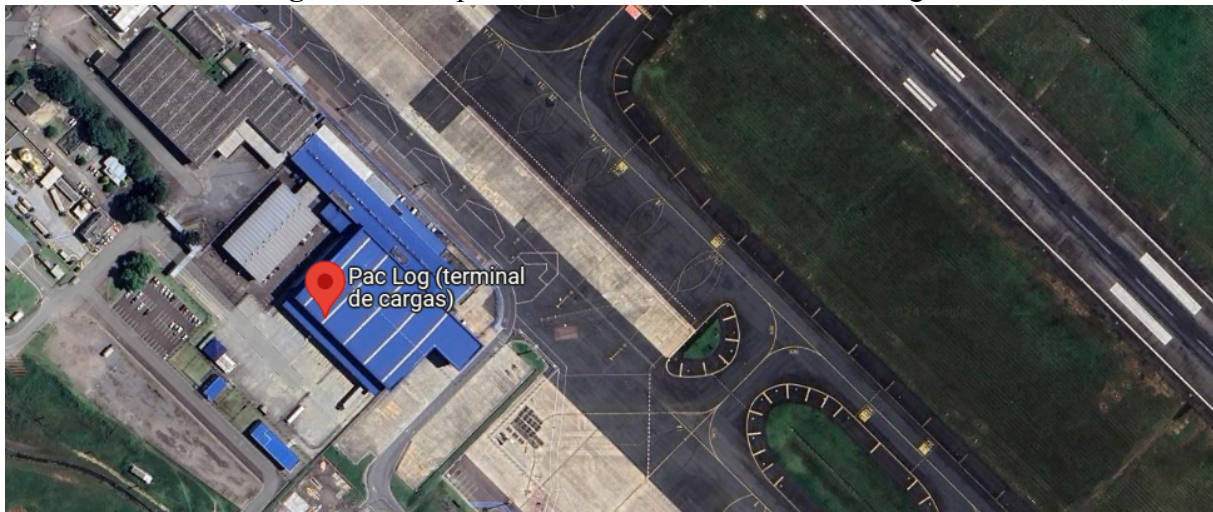
De acordo com Nova (2017) dados obtidos através do sistema Tecaplus, a área de exportação do terminal conta com uma capacidade de mais de 10 mil m², sendo 12 m² destinados a cargas vivas e 90 m² para cargas perigosas. A área de importação tem cerca de 45 mil m², onde 1.100 m² são de armazenagem de carga perigosa e 740 m² são reservados a carga viva.

2.4.5 Terminal de Cargas Aeroporto Internacional Afonso Pena

O Aeroporto Afonso Pena está localizado no município de São José dos Pinhais - PR, a cerca de 15 quilômetros do centro de Curitiba e está sob concessão do grupo CCR Aeroportos desde 2021. Sua ampla capacidade permite que o aeroporto opere com voos internacionais com aviões de grande porte como o Airbus A330 e Boeing 747. Esse tipo de aeronave cumpre rotas como Brasil e Europa (Alemanha, Holanda e Luxemburgo), Estados Unidos e América Latina (TAMAROZI, 2015).

O terminal de carga conta com uma área total de 45.615 m², onde serviços como armazenagem, distribuição, consolidação e despacho aduaneiro são realizados. Além disso, o terminal dispõe de estruturas para cargas perigosas e produtos perecíveis (com controle de temperatura). Desde julho de 2017, a empresa Paclog administra o terminal de cargas, sendo responsável pela gestão comercial, operacional e administrativa.

Figura 6. Aeroporto de Curitiba - Terminal de Cargas



Fonte: Google Earth, 2024b.

No que diz respeito a movimentação de carga, em setembro de 2022 até 2023, o terminal de cargas do Afonso Pena movimentou cerca de 14 milhões de toneladas de cargas. Do total do volume de carga importadas, cerca de 32% das cargas pertencem ao setor farmacêutico, 23% a maquinários, 14% a eletrônicos, 6% ao setor automotivo e 3% referente a produtos alimentícios (CCR, 2023).

2.4.6 Terminal de Carga do Aeroporto Internacional de Brasília

O terminal de carga do Aeroporto Internacional de Brasília desempenha um papel importante no cenário logístico. Estrategicamente localizado, o terminal conta com uma ampla infraestrutura e capacidade para diversos tipos de carga. Em 2012, o aeroporto passou por processo licitatório e foi arrematado pela empresa Inframerica. O contrato tem duração de 25 anos com 51% de participação na concessão para operar, reformar e ampliar o sítio aeroportuário.

O complexo logístico do aeroporto conta com uma área total de 10.961 m², onde 6.803 m² são destinados apenas à área de armazenamento, distribuídos em 6 terminais com capacidade para 250 toneladas cada, sendo: 1 armazém para carga perigosa, 3 para carga importada e área de perdimento, 1 para carga doméstica, além de 7 câmaras frias e 1 cofre com 20 m² (INFRAERO, 2010).

Figura 7. Aeroporto de Brasília - Terminal de Cargas



Fonte: Google Earth, 2024c.

Atualmente, o TCB tem capacidade para movimentar até 40 mil toneladas de cargas ao ano, com mais de 1000 posições de paletes PBR. Atua com a movimentação de carga postal, carga farmacêutica, carga seca, carga perigosa, animais vivos e carga doméstica (BSB AERP, 2024). Estima-se que em 2018, tenha movimentado 19 mil toneladas de carga, sendo 9 mil toneladas para carga postal, 3 mil toneladas para medicamentos e 1,6 mil toneladas de produtos industrializados (LABTRANS/UFSC/MINFRA, 2018).

3 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

3.1 Contextualização Geral

Atualmente, não existe um modelo universalmente aceito para o dimensionamento de terminais de carga aeroportuária. Este fato, retrata os desafios e discrepâncias das operações de carga aérea, que são influenciadas por elementos como tipo de carga movimentada (perecível, perigosa, farmacêutica, entre outras), características das aeronaves, infraestrutura e demanda futura. Portanto, é crucial que um terminal de carga seja adequadamente dimensionado, pois assim as operações serão mais eficientes, o atendimento aos usuários será mais eficaz e todas as etapas do processo serão realizadas com mais segurança.

Nos últimos anos, alguns métodos vêm sendo apresentados como apoio ao dimensionamento de terminais de cargas e terminais de passageiros, abordando características e variáveis diferentes. Alguns deles como Federal Aviation Administration - FAA e International Air Transport Association - IATA são baseados em normas e padrões e outros como McKinsey & Company são baseados em análises de casos reais. No Quadro 1 estão alguns dos estudos que abordam métodos de dimensionamento.

Quadro 1. Estudos com uso de Métodos de Dimensionamento

Autoria	Ano de publicação	Título	Método	Sobre o estudo
Silva, W.P., Rody, H.A.	2016	Dimensionamento de pavimentos aeroportuários pelo método da FAA: caso Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu (SBFI)	FAA - Federal Aviation Administration	Descrição dos passos a serem seguidos para dimensionamento de estruturas de pavimento aeroportuários a partir dos métodos FAA. Para tal, considerou-se como ambiente de estudo o Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu.
Nova, L.A.C.B.	2017	Dimensionamento de terminal de carga aeroportuário com estudo de caso no Aeroporto Tom Jobim	IAC - Instituto de Aviação Civil	Cálculo do dimensionamento do Terminal de Cargas RioGaleão, através de dados obtidos na Demanda Detalhada da ANAC, 2006. Além disso, utilizou-se a metodologia IAC para calcular o terminal de Importação e Exportação, armazenamento.
Mascarenhas, B.V.	2017	Um método para a avaliação de capacidade e dimensionamento de Terminais de Passageiros em Aeroportos de pequeno porte	IATA - International Air Transport Association; FAA; MEDEIROS.	O documento relata o desenvolvimento de uma nova metodologia para avaliar a capacidade e dimensionamento de terminais de passageiros de aeroportos regionais. No decorrer do trabalho é feita uma descrição do método IATA, FAA, MEDEIROS para identificar qual dos métodos é mais eficiente para a avaliação da capacidade em terminais de passageiros de aeroportos regionais do Brasil.
Landi, Y.C.	2019	Dimensionamento de pavimentos flexíveis de pouso e decolagem para Aeródromos e Aeroportos pelo método Federal Aviation Administration.	FAA - Federal Aviation Administration	Aborda o dimensionamento de pavimentos das pistas de pouso e decolagem de aeroportos, através da metodologia FAA.

Autoria	Ano de publicação	Título	Método	Sobre o estudo
Reis, C.T.S.	2020	Validação da área operacional declarada de terminal de cargas por meio de métodos de dimensionamento aeroportuários: Estudo de caso no Aeroporto Internacional de Belo Horizonte – Confins – Tancredo Neves.	FAA - Federal Aviation Administration; STBA; IATA; IAC; McKinsey & Company.	O objetivo deste estudo é verificar a área operacional do Terminal de Cargas do Aeroporto Internacional de Belo Horizonte - Confins - Tancredo Neves. Para isso, foi feita a análise comparativa dos métodos disponíveis em literatura. Em seguida, a aplicação dos métodos no estudo de caso. Ao final do estudo, conclui-se que o método que mais se aproximou da área operacional declarada do Aeroporto de Belo Horizonte, foi o método McKinsey & Company.

A sistematização dos estudos apresentados no Quadro 1 demonstra a diversidade de abordagens adotadas no dimensionamento de infraestruturas aeroportuárias, com destaque para os métodos FAA, IATA, IAC e McKinsey & Company. O método FAA foi aplicado diretamente apenas ao dimensionamento físico do Aeroporto de Foz do Iguaçu, outros estudos aprofundaram a aplicação de diferentes metodologias. No Aeroporto de Confins, por exemplo, foi realizada uma análise comparativa abrangente, destacando-se a proximidade do método McKinsey & Company com os valores reais da infraestrutura existente. Já no RioGaleão, a metodologia do IAC foi utilizada para projetar áreas destinadas às operações de importação e exportação.

3.2 Método FAA - Federal Aviation Administration

Criado em 1964 pelo órgão regulador da aviação nos Estados Unidos (Federal Aviation Administrations), tratado no tema da Circular AC 150/5360- 2, Airport Cargo Facilities, como um componente do empenho na elaboração de infraestrutura aeroportuária para sustentar o expressivo crescimento do sistema aéreo. No passado era conhecida como Agência Federal de Aviação, foi absorvida pelo Departamento de Transportes nos termos da reorganização contida na Lei do Departamento de Transportes de 1967 (80 Stat. 932). É de sua responsabilidade: Regulamentar o comércio aéreo e promover o seu desenvolvimento e segurança, cumprir as exigências da defesa nacional de controle do uso do espaço aéreo navegável dos Estados Unidos e regular as operações civis e militares (WRIGHT, 2011).

O objetivo principal do método é fornecer as diretrizes necessárias para o dimensionamento de terminais de carga aeroportuária, levando em consideração aspectos como previsão de demanda e desempenho. Outrossim, baseia-se em análises estatísticas e dados históricos de movimentação de carga. É necessário considerar os seguintes elementos para utilizar o método FAA:

- Fluxo de carga atual e projetado
 - Volume anual de carga mensal (toneladas/mês);
 - Volume atual de carga anual (toneladas/ano);
 - Projeção de crescimento: 20 anos;
 - Taxa de crescimento anual da carga
- Aeronaves e equipamentos de operação de carga
 - Tipos de aeronaves e suas dimensões;
 - Número médio de operação diárias;
 - Taxa de chegada de veículos (caminhão/hora);
 - Tempo médio de operação por veículo (minutos).
- Infraestrutura
 - Área de pátio de estacionamento de aeronaves;
 - Quantidade de armazéns;
 - Outras áreas (administrativas, vias de acesso, entre outros).

Com base nessas informações, pode-se calcular as áreas de um terminal de cargas, como área de armazenamento (importação e exportação), pátio de aeronaves, quantidade de docas para veículos, outras áreas e área total do terminal. Sendo assim, o Quadro 2 apresenta as equações com seus respectivos objetivos.

Quadro 2. Fórmulas para dimensionamento - Método FAA

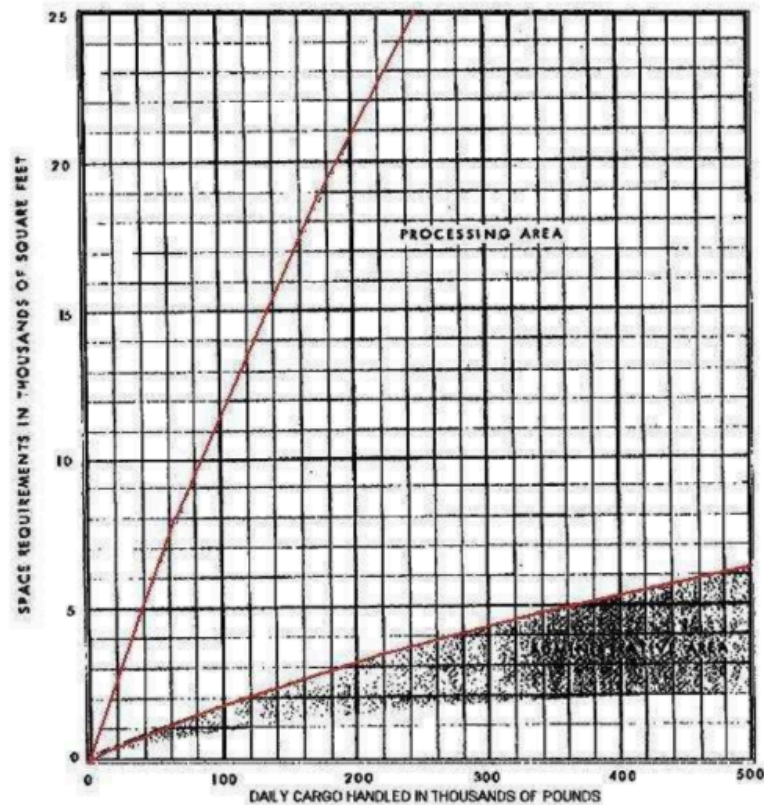
Objetivo	Equação	Nomenclaturas
Área de influência	$V_{ano} = V * (1 + g)^t$	V_{ano} : volume de carga ao longo do tempo; V : volume atual de carga anual; g : taxa de crescimento anual de carga; t : projeção de crescimento.

Objetivo	Equação	Nomenclaturas
Área do armazém (Importação e Exportação)	$A_a = \frac{V}{T * O} * (C = (1 + g)^t)$ <p style="text-align: center;">ou</p> $A_a = \frac{V}{tn/ano/m^2}$	A_a : área total de armazém; V: volume anual de carga; T: rotatividade média; O: ocupação; C: fator de crescimento
Pátio de aeronaves	$A_p = n * S * F$	S: espaço médio por aeronave; n: quantidade de aeronaves simultâneas; F: fator de separação.
Docas para caminhão	$N = \lambda * T$	N: número de docas; λ: quantidade de caminhões que chegam/hora; T: tempo médio de operação.
Áreas auxiliares (administrativas)	$A_{aux} = 0,1 * A_a$	A_{aux} : áreas auxiliares; 0,1: 10% da área de armazenagem; A_a : área de armazenagem;
Áreas de acesso e estacionamento	$A_{aux} = 0,15 * (A_p + A_a + A_{adm})$	A_a : área de armazenagem; A_p : área do pátio de aeronaves; A_{adm} : área administrativa.
Área total	$A_t = \Sigma A$	A_t : área total; Σ A: somatório das áreas obtidas.

Fonte: FAA, adaptado pelo autor (2024).

O método FAA ilustra um ábaco, conforme a Figura 8, para identificar a área de processamento, como de armazenagem e administrativas. Esse gráfico leva em consideração a carga diária movimentada em milhares de libras em relação aos requisitos de espaço em milhares de pés quadrados.

Figura 8. Ábaco FAA - área de processamento de terminais de carga.



Fonte: Nova (2017) *apud* FAA (1964).

Este método é um tipo de análise quantitativa, tendo foco em medidas como volume de carga anual, frequência de voos e tempo de movimentação. Vale ressaltar que é importante considerar projeções com um longo prazo, pois assim é possível assegurar que não tenha um dimensionamento deficitário ou exagerado.

3.3 Método Services Techniques des Bases Aériennes - STBA

O STBA foi publicado em 1984 na Instruction Technique sur les Aeródromos Civis. É um método francês para dimensionamento de aeroportos, com foco em aeroportos norte-americanos e europeus. As informações obtidas referem-se aos índices gerais, por sua vez, podem variar de 3 t/ano por metro quadrado a 20 t/ano por metro quadrado. Deste modo, a partir dessas informações é possível identificar a área indicada do terminal com base na movimentação de carga anual. Entretanto, é necessário identificar algumas características, sendo elas, volume anual de cargas e área atual. A partir desses dados pode-se estimar a densidade de carga ao ano. Além disso, para a utilização do método STBA aconselha-se utilizar os dados disponíveis no quadro abaixo.

Quadro 3. Fórmulas para utilização do método STBA

Objetivo	Equação	Nomenclaturas
Densidade de carga anual	$\rho = \frac{V}{A_{atual}}$	ρ : densidade de carga (ton/ano/m ²); V : volume anual de carga; A_{atual} : área total atual.
Toneladas máxima anual	$T_{max} = \frac{A_{atual\ total}}{\rho}$	T_{max} : tonelada total anual; A_{atual} : área total atual; ρ : densidade de carga.
Área indicada	$A = \frac{V}{i}$	A : área ideal; V : volume anual de carga; i : faixa de densidade operacional (3 t/ano/m ² a 20 t/ano/m ²).

Ressalta-se que a tonelada anual obtida deve corresponder a faixa de densidade operacional (3 t/ano/m² a 20 t/ano/m²).

3.4 Método Ashford

O método conhecido como Ashford é fruto da publicação dos autores Norman J. Ashford, Saleh Mumayiz e Paul H. Wright. o método foi publicado em 1992 no livro *Airport Engineering Planning, Design, and Development of 21st Century Airports*, em português - Planejamento, Projeto e Desenvolvimento de Engenharia Aeroportuária do Século 21. Esta obra é de extrema importância, utilizada como referência para projetistas, planejadores e administradores de aeroportos do mundo inteiro.

Considera-se alguns elementos no projeto de terminal de carga:

- I. Previsão de demanda de mercado: Volumes domésticos e internacionais; Volumes de transferência de entrada e Saída de carga; Tráfego bypass (carga já containerizada para voo); Natureza e quantidade de material que requer manuseio especial (Carga pesada, Carga Perecível, Carga de urgência, Carga de Alto valor, Carga perigosa e Pecuária); Flutuações sazonais, diárias e horários de fluxo.
- II. Previsão da frota de aeronaves: Tipo de operação; Frequência das operações; Número de aeronaves a serem movimentadas simultaneamente no pátio.
- III. Principais elementos com capacidade limitada: Área total; Área de armazenamento de paletes e contêineres; Portas do lado ar e lado terra.

- IV. Fatores de seleção do local: Dimensões do terminal, pátio e áreas de acesso terrestre; Layout do acesso rodoviário e grau de separação dos veículos comerciais de carga do tráfego do terminal de passageiros; Proximidade e facilidade de acesso do lado ar ao pátio de passageiros; Layout e capacidade das pistas de serviço do lado ar;
- V. Outras áreas a incluir: Em todos os casos, as dimensões do espaço atribuído, bem como das portas, devem ser adequadas à função da área: Instalações de manutenção e suporte; O espaço incluirá instalações para lavagem e soldagem, compressor e elevador de veículos; Alfândega: Áreas de inspeção, escritórios, banheiros, áreas de armazenamento seguras. Pecuária: Áreas de armazenamento, gaiolas, instalações de alimentação, abeberamento e limpeza. Ambiente controle ambiental. Mercadorias Perigosas: Instalações dependentes da natureza dos bens; armazenamento seguro; Sala Fria: Áreas para cargas frágeis e de alto valor, restos humanos e radioactivos.

Ashford classifica o dimensionamento de terminais em categorias de média tecnologia e alta tecnologia.

Figura 9. Exemplo de projeto de terminal de carga de tecnologia média - Ashford.

Exemplo 1 de Ashford		
Terminal com Nível Tecnológico Médio		
Premissas Adoptadas		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alto índice de contentorização ✓ Uso de empilhadoras nos processos de armazenamento da carga ✓ Ausência de equipamentos transferidores ou transelevadores 		
Critérios Para Projecto		
	Terminais	
	Domésticos e de Exportação	De Importação
Produtividade por unidade de área (kg/m ² /ano)	13.500 a 22.500 (usar 13.500)	5.500
Docas para carga e descarga de camiões (kg/docas/h)	2.500 a 4.500 (usar 3.500)	1.800
Capacidade de acesso da carga ao pátio aéreo (Portas)		
✓ Bypass pallets/door/h	15	-
✓ Pallets/door/h processados	20	20
✓ Peso médio da carga em pallet ou contentor (kg)	1.800	1.800
✓ Peso médio da carga em bins (kg)	225	225
✓ Área de consolidação/desconsolidação de carga (kg/estação/h)	2.000	1.800

Fonte: ASHFORD; WRIGHT, 1992a.

Figura 10. Exemplo de projeto de terminal de carga de alta tecnologia - Ashford.

Exemplo 2 de Ashford
Terminal com Nível Tecnológico Elevado
<u>Parâmetros de Dimensionamento</u>
<ul style="list-style-type: none">• Áreas de consolidação/desconsolidação de carga de 75m² por estação de trabalho• Docas para caminhões com 4m de largura e 15m de comprimento e rampas para fora do terminal com 4m de largura• ULD's com 2.5 x 3.0 (m) para uma carga média de 1.5 ton• Tempo de consolidação de carga em ULD's de 45 min• Tempo de desconsolidação de carga em ULD's de 40 min• Áreas de armazenamento: factores de conversão e tempo de permanência da carga:<ul style="list-style-type: none">✓ Importação:<ul style="list-style-type: none">○ Perecíveis e carga especial: 10.4m²/ton para um tempo de permanência da carga de 1 dia○ Carga normal: 7,25m²/ton para um tempo de permanência de carga de 3 dias○ Carga restrita: 12,5m²/ton para um tempo de permanência de carga de 2 dias○ Carga em perimento: 5m²/ton✓ Exportação:<ul style="list-style-type: none">○ 12,5m²/ton para um tempo de permanência de carga de 1 dia✓ Áreas de armazenamento de ULD's em 3 níveis a 5,6m²/ULD e áreas para ULD's e pallets vazios de 50% da área para ULD's• Circulação, guarda e manutenção de equipamentos: 50% do somatório da importação, exportação e armazenamento de ULD's• Carga média recebida ou retirada por caminhão no lado terrestre de 1 ton• Tempo médio de carga e descarga de caminhão de 30 min

Fonte: ASHFORD; WRIGHT, 1992b.

3.5 Método Instituto de Aviação Civil - IAC

O método proposto pelo Instituto de Aviação Civil (IAC) está compilado no Manual de Capacidade da Comissão de Estudo e Coordenação Da Infraestrutura Aeronáutica (CECIA). O estudo busca calcular a área total do terminal de carga, a partir de variáveis como volume anual previsto, fator de oscilação de demanda, fator de área de armazenagem, a depender da configuração do local de armazenamento, dimensão dos equipamentos, entre outros.

Sendo assim, o método propõe analisar esses fatores a partir da seguinte equação:

$$A = \frac{T \times F \times f \times x \times t_m}{365 \times d \times h}$$

Visto que:

- A - Área em m²;
- T - Tonelagem anual prevista;
- F - Fator de oscilação da demanda de carga (pode variar de 1.1 a 1.5, sendo maior ou menor em relação a T);
- f - Fator de armazenagem: a depender da configuração das áreas de armazenagem *m* (pode variar de 1.3 a 2.5);

- t_m - Tempo médio de permanência da carga no terminal;
- d - Densidade média da carga (pode variar de 0.0875 a 0.158 ton/m³)
- h - Altura máxima de empilhamento: a depender do equipamento (pode variar de 1.4 a 4.9 m).

Além disso, aconselha-se adotar a movimentação total de importação.

3.6 Método Internacional Air Transport Association - IATA

A International Air Transport Association foi fundada em 1991, com o objetivo de ser o órgão responsável pelas companhias aéreas. Atualmente, cerca de 93% das empresas aéreas estão sob a responsabilidade da IATA.

O método proposto pela IATA se define na divisão entre fatores como volume movimentado anualmente / capacidade de armazenamento (m²). A IATA sugere que a capacidade de armazenamento seja adotada a partir do nível de automação do terminal. Para terminais de Baixa automação adota-se 5 t/m²; para terminais de média automação, adota-se 10 t/m²; e para terminais de alta automação, adota-se 17 t/m².

De acordo Reis (2020) estudos como o de Kazda (2009) utilizou este método como pesquisa em 50 terminais de cargas. Nesta análise, o dimensionamento para cargas anuais menores que 40 mil toneladas foi de 0,5t/ano/m³. Ao final do estudo concluiu-se que a produtividade anual foi de 5 a 10t/m², variando de 40 mil t/ano/m², até 800 mil t/ano/m².

3.7 Método McKinsey & Company

A análise metodológica proposta por McKinsey & Company é resultado de diferentes cálculos para o terminal de cargas de exportação e importação, por conta das características de operação, que são diferentes nos dois processos. Por não existir necessariamente uma infraestrutura específica para armazenagem de carga doméstica, não será considerado este processo no escopo dos cálculos.

A área de armazenagem influencia diretamente na capacidade do terminal, assim como diz Reis (2020),

A capacidade do terminal de importação depende da área de armazenagem real do terminal (ou seja, área útil e área em perdimento, somadas) e da altura máxima de empilhamento; do tempo médio de armazenagem; do índice médio de aproveitamento da carga e da proporção da carga recebida que não está em trânsito (REIS, 2020).

Portanto, o objetivo deste método é maximizar a eficiência da operação e diminuir os custos por meio de novas tecnologias.

Ressalta-se que a maior área do terminal de carga importada é destinada a área útil de armazenagem e de perdimento, que serão os componentes que indicaram a capacidade do terminal. Além disso, o terminal de importação é dividido em diversos elementos que se distribuem em termos de proporção da área total ocupada do terminal conforme mostra a Tabela 2.

Considera-se como parâmetros para a determinação da área do terminal de importação os seguintes fatores:

- Volume físico disponível na região de armazenagem real do terminal: é obtido a partir da área útil de armazenamento do terminal somada com a área de carga de perdimento e, altura máxima de empilhamento.
- Tempo médio de permanência da carga: quanto maior a rotatividade da carga, maior será a capacidade do terminal.
- Densidade aparente (Índice médio de aproveitamento de carga: para terminais sem transelevadores considera-se 0,04 t/m³. Para terminais com transelevadores o valor é 0,06 t/m³).
- Proporção da carga recebida que é armazenada: o volume de carga em trânsito é proporcional a quantidade de carga que o terminal poderá processar.

Tabela 2. Ocupação dos componentes em terminais de importação

Componentes	Proporção da Área total (%)
Armazenagem de cargas especiais (perecíveis, câmaras frigoríficas, cofres e cargas restritas)	5 a 10
Atracação-desembarço	15 a 25
Doca	5
Conferência fiscal (Receita Federal), liberação e entrega	10 a 13
Carga courier	0 a 10
Carga em trânsito (para EADIs ¹⁰ , entrepostos industriais ou para outros TECAs)	0 a 25
Administração e outros escritórios	6 a 10

Fonte: McKinsey & Company, 2010

O dimensionamento do terminal de exportação leva em consideração o índice apresentado pela Infraero de 0,16 m² por tonelada por ano, podendo ser visto na figura 11, assim como o processo metodológico para a determinação da capacidade do terminal de importação.

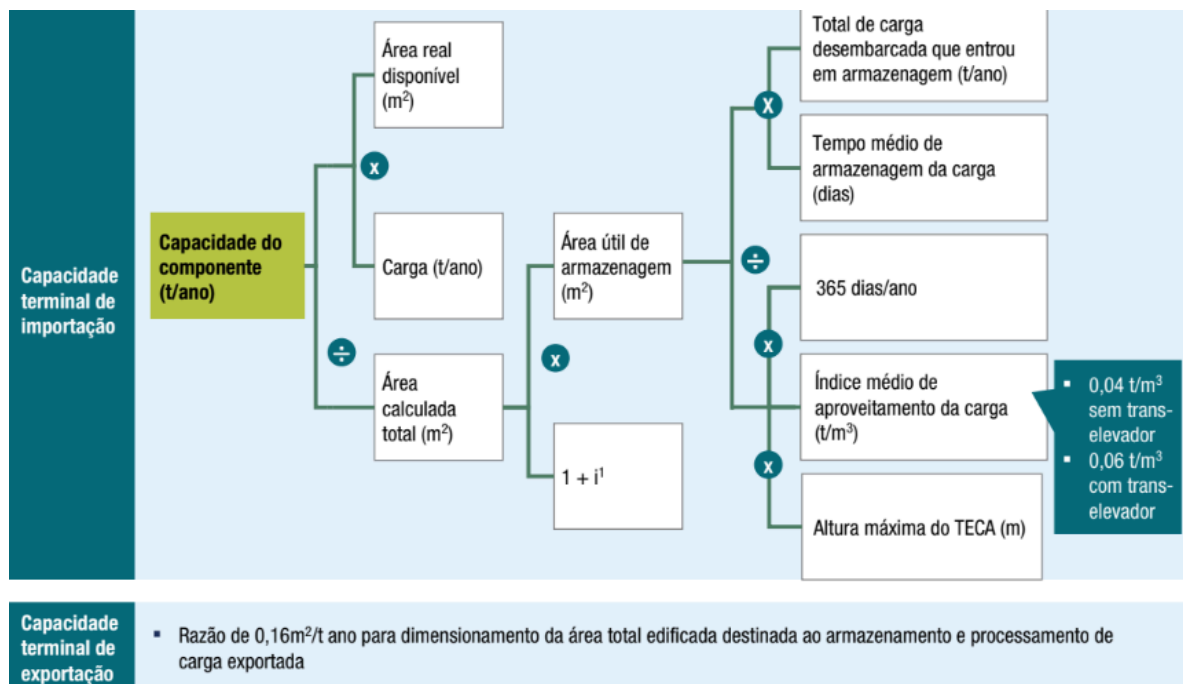
Sendo assim, a partir do método McKinsey & Company, considera-se as equações ilustradas no Quadro 4 para a determinação das áreas do terminal de carga de importação e exportação.

Quadro 4. Equações para dimensionamento de terminal de carga - McKinsey & Company

Área	Equação	Descrição
Área útil do terminal de importação (sem área de perdimento)	$A_{\text{útil}} = \frac{T * t_m}{365 * \rho * h}$	T: tonelagem anual de importação (t/ano) t_m : tempo médio de armazenamento ρ : densidade (t/m ³) h: altura de empilhamento (m)
Área de perdimento (importação)	$A = 0,10 * A_{\text{útil}}$	0,10: considera-se 10% da área útil; $A_{\text{útil}}$: área útil (sem área de perdimento)
Área útil do terminal de Exportação	$A = 0,16 * V_{\text{ano}}$	0,16: índice infraero; V_{ano} : volume de carga movimentado no ano.

Fonte: McKinsey & Company, 2010

Figura 11. Metodologia para os cálculos da capacidade do terminal de cargas



Fonte: McKinsey & Company, 2010

3.8 Método Magalhães

Baseado no método de Ashford, o método de Magalhães surge como auxílio para o dimensionamento de terminais de cargas no Brasil. Publicado em 1998, Magalhães afirma que o terminal de carga aéreo é dinâmico e deve ser dimensionado para atender o máximo de movimentação de cargas em todos os processos de movimentação, integrando seus componentes (Nova, 2017).

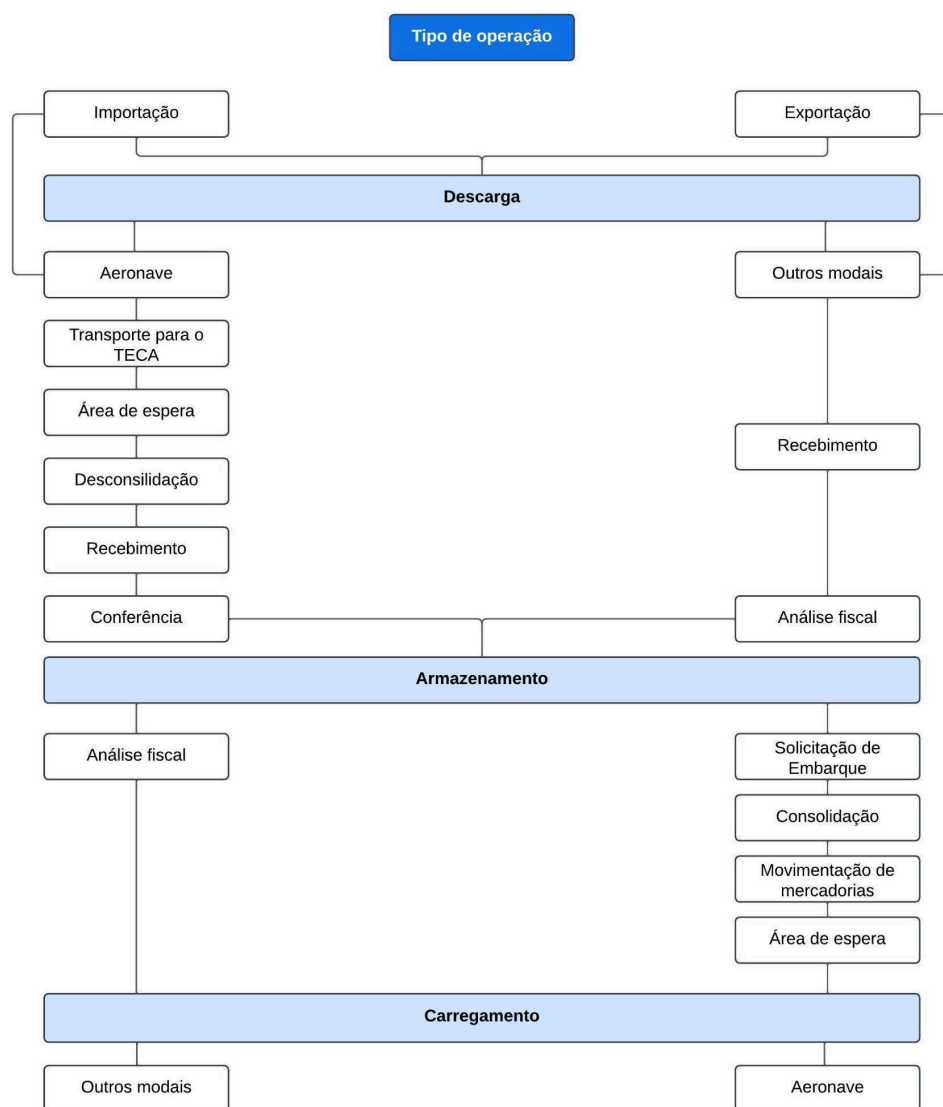
O método de Magalhães define um conjunto de análise para cada área do terminal de carga, assim é possível avaliar individualmente cada setor. Magalhães afirma que um terminal de carga deve ser estruturado a partir das seguintes áreas:

- Com base na natureza do terminal;
- Fluxo operacional de carga;
- Dados de demanda
 - Demanda por tipo de carga;
 - Demanda por setor;
 - Dados gerais do projeto;
 - Dados de projeto por setor;
- Área ideal para cada setor;
- Área total para o terminal.

A partir desses elementos é possível calcular separadamente, ou seja, sem a interferência de variáveis secundárias, a área total de cada setor. No final, a soma de tudo poderá ser dito como a área total ideal do terminal de cargas.

Segundo Magalhães, o terminal de carga contém elementos que podem ser considerados como variáveis, como tipo de movimentação, seja ela importação e exportação, que devem estar integradas. Contudo, o layout das áreas necessárias para o terminal de carga, se dará após a identificação desses processos. Para isso, o autor define o fluxo de importação e exportação a partir do fluxograma abaixo.

Figura 12. Fluxograma de Importação e Exportação - Magalhães



Fonte: Magalhães, 1998

Para os cálculos da área total de exportação considera-se o somatório das áreas de doca, alfandegária, recebimento, armazenamento e áreas extras. Para o cálculo da área total de importação, considera-se o somatório das áreas como área de espera, de recebimento, armazenamento, docas, alfandegária, administrativa e áreas extra. Ressalta-se que seja considerado 35% a mais da área total operacional do terminal (Magalhães, 1998).

4 METODOLOGIA

Este trabalho adota uma abordagem descritiva, analítica e aplicada, com o objetivo de comparar métodos consagrados de dimensionamento de terminais de carga aérea. A estratégia metodológica contempla duas etapas principais: (i) o mapeamento e a análise técnica dos métodos existentes na literatura especializada e (ii) a aplicação prática dos métodos FAA e McKinsey & Company ao Terminal de Carga do Aeroporto Internacional de Guarulhos (TECA-GRU), permitindo uma avaliação comparativa dos resultados obtidos.

Na primeira etapa, foram sistematizadas as principais metodologias descritas em publicações técnicas e acadêmicas, com foco nos métodos desenvolvidos por órgãos reguladores (como a Federal Aviation Administration e a IATA), centros de pesquisa e consultorias internacionais. A análise compreendeu a identificação dos parâmetros, nível de detalhamento metodológico e exemplos de aplicação documentados em trabalhos acadêmicos e dados disponíveis em livros, normas e relatórios técnicos.

No decorrer dessas pesquisas, foi constatado que alguns métodos, mesmo que sejam relevantes em alguns aspectos, exigiam dados operacionais detalhados que não estavam disponíveis publicamente. Com isso, decidiu-se excluir temporariamente essas metodologias da aplicação direta, mantendo-os apenas na revisão teórica. Ademais, intencionalmente buscou fazer uma comparação entre um método mais tradicional, como o FAA, e um método mais moderno voltado à eficiência operacional, como o McKinsey & Company. Essa decisão objetivou examinar diversas abordagens técnicas e períodos históricos, possibilitando uma investigação mais ampla dos fatores de dimensionamento ao longo do tempo. Além disso, a consistência estrutural, frequência de uso em estudos recentes e aderência ao contexto brasileiro, favoreceu ainda mais a escolha desses métodos.

A segunda etapa consistiu na aplicação sequencial dos dois métodos ao Terminal de Carga do Aeroporto Internacional de Guarulhos (SBGR), maior hub de carga aérea do Brasil. A forte representatividade do TECA-GRU no sistema logístico brasileiro, além da complexidade operacional, diversidade de cargas, justifica a escolha desse Terminal logístico.

Para tanto, foram coletados dados públicos e técnicos sobre o terminal, incluindo volume anual de carga movimentada, projeções de crescimento, tempo médio de armazenagem, rotatividade de carga, mix de tipos de carga (importação, exportação e courier) e dimensões físicas existentes. Esses dados alimentaram os modelos conforme suas respectivas fórmulas e estruturas de cálculo. Os dados de capacidade dos terminais são frutos de pesquisas em anuários, sites e artigos acadêmicos.

Em seguida, as áreas dimensionadas por cada método foram comparadas com a área atual efetivamente disponível no TECA-GRU, possibilitando a análise de convergências e divergências entre os métodos e a infraestrutura real. As estimativas foram confrontadas com a infraestrutura real, avaliando a aplicabilidade dos métodos ao terminal de Guarulhos.

4.1 Mapeamento e Análise dos Métodos

Neste tópico será disponibilizado a tabela com as características e tipo de análise dos métodos citados anteriormente.

A partir da revisão teórica, foi elaborado um quadro comparativo com os principais métodos de dimensionamento de terminais de carga aérea. O objetivo é evidenciar as características centrais, o tipo de abordagem analítica adotada e os principais aspectos operacionais considerados por cada metodologia para identificar as diferenças estruturais entre eles.

Quadro 5. Mapeamento dos métodos de dimensionamento.

Método	Característica	Tipo de Análise	Aspectos considerados
FAA	Baseado em análises estatísticas e dados históricos de movimentação de carga	Quantitativa. Foco em medidas como volume de carga anual, frequência de voos e tempo de movimentação.	Tipos de carga; Área de manobra e sistemas de movimentação de carga; Tamanho e capacidade das aeronaves; intermodalidade.

Método	Característica	Tipo de Análise	Aspectos considerados
STBA	Baseado em simulações operacionais e análise de fluxo	Qualitativa e quantitativa, a partir de modelos computacionais	Melhora a segurança no controle de cargas perigosas e alto valor; Organização de entrada e saída de mercadorias, melhorando o fluxo; Capacidade ideal para cenários futuros.
IATA	Padronização dos dados, permitindo a comparação entre aeroportos; considera a divisão do terminal em áreas funcionais, como armazenamento e embarque.	Quantitativa, com foco na capacidade máxima	Projeções com base em dados históricos; Tempo médio de manuseio; Capacidade de armazenamento e movimentação.
Ashford	Divisão das áreas funcionais do terminal (recepção, armazenagem, expedição e escritórios). Relaciona as áreas físicas as variáveis operacionais e tempo de permanência de carga.	Quantitativa, com destaque em tempos de permanência e funções internas do terminal	Volume de carga; Tempo médio de permanência; Taxa de utilização de áreas; Divisão funcional; Processos logísticos internos
IAC	Foco em eficiência econômica e integração de modos de transporte.	Quantitativa, avaliando as necessidades operacionais.	Cargas exclusivas; Projeção de acordo com o crescimento econômico regional; condições futuras.
McKinsey & Company	Análise do processo de automação. Considera a sustentabilidade como chave principal.	Qualitativa e Quantitativa, com foco na otimização.	Eficiência tecnológica; Redução dos impactos ambientais; Eficácia.
Magalhães	Indicadores simples, como densidade de carga, fluxo operacional diário e capacidade de armazenamento.	Qualitativa e Quantitativa, com foco nos elementos como, infra e mercado. Favorece simulações de diferentes cenários.	Demanda de carga; Tipos de carga; Área interna e externa; Infraestrutura; Intermodalidade.

As literaturas abordadas sobre dimensionamento de terminal de cargas diferem-se em alguns aspectos como: as características específicas do terminal, do horizonte de planejamento e da disponibilidade de dados confiáveis para entrada nos modelos. Os tipos de conduta podem ser influenciados pelos desafios enfrentados na operação, além do objetivo da aplicação do método. Entretanto, a escolha do método ideal se dará a partir da análise do contexto e das necessidades do terminal.

5 DIMENSIONAMENTO DO TERMINAL DE CARGAS DO AEROPORTO DE GUARULHOS

Neste capítulo será realizado os cálculos do dimensionamento dos terminais de cargas. Para isso, será considerado como local de estudo os terminais de cargas de Guarulhos, sendo o maior terminal de carga aérea do Brasil, no que diz respeito à movimentação anual de carga. Sendo assim, será feita a aplicação dos métodos FAA (1964) e McKinsey & Company (2010). A escolha dos métodos se deu a partir da disponibilidade de dados e a necessidade de analisar a veracidade de métodos mais antigos e recentes, através das áreas obtidas a partir destes.

Para a realização dos cálculos para o dimensionamento do GRU cargo foram considerados dados de fluxo de carga, características das aeronaves que operam no terminal, infraestrutura necessária, considerando a demanda prevista para 2044. O modelo de dimensionamento leva em consideração as diretrizes e critérios de dimensionamento adotados na *FAA AC 150/530-13A (2012)* e sua revisão *AC 150/530-13B (2022)* e *AC 150/5360-13A (2018, hub)*, assim como pelos parâmetros apresentados por McKinsey & Company.

Os valores utilizados na previsão futura e taxa de crescimento anual foram resultado da proporção feita entre os valores atuais obtidos através do GRU cargo, para o ano de 2019 (442.882,00 toneladas) e 2024 (542.224,00 toneladas), considerando todos os tipos de cargas movimentadas no TECA em questão.

5.1 Aplicação do Método FAA

Neste capítulo será feita a aplicação do método FAA com base nos dados disponibilizados pelo aeroporto de Guarulhos, para realizar os cálculos de dimensionamento do terminal de carga. Além disso, em algumas etapas deste processo serão feitos cálculos considerando um cenário hipotético em situações críticas.

5.1.1 Processamento de carga para demanda futura

Nesta etapa será calculada o volume de carga para o horizonte planejado de 20 anos para o terminal de cargas de Guarulhos. Para isso, considerou-se os dados obtidos através do GRU cargo sobre o volume anual de carga movimentada em 2024 e a taxa de crescimento anual da carga seguindo as equações (1) e (2).

$$V_{ano} = V * (1 + g)^t \quad (1)$$

É importante destacar que os valores utilizados na taxa de crescimento anual são resultado da proporção feita entre os volumes anuais de carga de 2019 até 2024, utilizando a equação (2).

$$g = \left(\frac{V_j}{V_i} \right)^{\left(\frac{1}{n} \right) - 1} \quad (2)$$

Onde,

V_j : Volume de carga do último ano de análise (2024);

V_i : Volume de carga do primeiro ano de análise (2019);

n : período de análise (6 anos);

Parâmetros utilizados para o cálculo do volume de carga para o horizonte de 20 anos:

V : Volume de carga importada/exportada (ton/2024) = 365.300

t : Projeção de crescimento = 20 anos

g : Taxa de crescimento = 3%

Sendo assim, a partir dos índices e parâmetros utilizados, foi possível identificar que para o horizonte de projeto de 20 anos, o TECA GRU cargo vai movimentar cerca de 659 mil toneladas de carga no ano. Ao considerar que atualmente o terminal movimenta cerca de 365.300 mil toneladas de cargas (importação e exportação) em 2024, pode-se dizer que ao dia são movimentadas cerca de 1.000 mil toneladas ou 2.204,62 milhões de libras/dia, considerando que o terminal opera todos os dias do ano. A análise do ábaco do método FAA, permite identificar que o eixo x representa o valor movimentado em lb/dia, com limite máximo de 500 mil lb/dia. Entretanto, ao considerar o volume diário/libra de carga movimentado no aeroporto de Guarulhos, não será possível fazer uma estimativa gráfica das áreas de armazenamento, pois o valor diário do aeroporto ultrapassa o limite máximo do ábaco. Portanto, a fim de determinar as áreas de processamento de carga (importação e exportação), será utilizado a segunda equação da Tabela 3.

5.1.2 Área de Armazenamento

A seguir será calculada a área total edificada, destinada ao processamento de carga importada e exportada prevista para o terminal GRU cargo. Para a realização dos cálculos pela equação (3) foram utilizados dados obtidos pelo GRU cargo sobre volume de carga movimentado ao ano, Rotatividade média (tempo médio de permanência da carga no terminal) e a porcentagem de ocupação da carga no terminal. Além disso, considerou-se dados da quantidade de toneladas movimentadas por metro quadrado ao ano, obtidos a partir da área atual total do terminal e movimentação total anual, para aplicar a equação (4).

5.1.2.1 Terminal de Importação e Exportação

A seguir será calculada a área total edificada, atribuída ao processamento de carga importada e exportada prevista para o terminal GRU cargo, a partir da equação (3) e (4).

$$A = \frac{V}{T * O} * (C = (1 + g)^t) \quad (3)$$

$$A = \frac{V}{tn/ano/m^2} \quad (4)$$

Dados para cálculo da área útil de armazenamento:

V_{IMP} : Volume de carga importada = 168.216,00

V_{EXP} : Volume de carga exportada = 197.084,00

T: Rotatividade média = 6 dias (com base no estudo de REIS, 2020)

O: Ocupação = 0,7

C: Fator de crescimento para t = 20 anos

g: taxa de crescimento = 3%

$tn/ano/m^2$: Volume anual importado por $m^2 = 7,93$

$tn/ano/m^2$: Volume anual exportado por $m^2 = 16$

A partir dos parâmetros operacionais, foi possível calcular a área total de armazenamento do terminal de importação e exportação e a área total de armazenamento conforme apresentado na Tabela 3, para o horizonte de projeto planejado. Vale ressaltar que será considerado os valores obtidos pela equação (4) devido sua proximidade com os dados atuais.

Tabela 3 - Área total de armazenamento por tipo de operação

Tipo de operação	Área
Terminal de Importação	21.214 m ²
Terminal de Exportação	24.855 m ²
Área total de armazenamento	46.069 m²

5.1.2.2 Dimensionamento do Lado terra e Lado Ar

Nesta fase do trabalho será feito o dimensionamento das áreas do pátio de aeronaves e docas para caminhões. A obtenção dos dados se deu a partir da análise realizada através do HORUS/LABTRANS (2025) e dados referentes a movimentação anual de carga do terminal. Ressalta-se que em algum momento deste capítulo, será considerado cenários hipotéticos críticos, como no momento do cálculo da área de docas, na qual será realizada com um tipo de veículo crítico a fim de realizar um dimensionamento para momentos em que a demanda de chegada de caminhões seja elevada.

5.1.2.3 Pátio de Aeronaves e docas para caminhão

A fim de determinar as áreas destinadas ao pátio de aeronaves é necessário ter o conhecimento específico dos tipos de aeronaves que operam no aeroporto e que exercem o papel de deslocamento de cargas, assim como suas características e dimensões. Sendo assim, a obtenção destes dados, obtidos a partir do HORUS/LABTRANS (2025), mostram que as principais aeronaves que operam cargas no aeroporto de Guarulhos são B738, B744 e B77L. A Tabela 4 apresenta as características geométricas das aeronaves em destaque e auxiliaram na determinação dos parâmetros necessários para determinar a área do pátio de aeronaves.

Tabela 4. Características geométricas das Aeronaves de Carga

Operação	Aeronave	Comprimento (m)	Envergadura (m)	Altura (m)
Doméstico	B738	33,6	35,8	12,5
Internacional	B744	70,6	64,4	19,4
	B77L	63,7	60,9	18,5

Fonte: GRU cargo, 2024. Adaptado pelo autor.

Para a determinação da área do pátio de aeronaves, será considerado como aeronave crítica o Boeing 747-400. Portanto, para a determinação da área do pátio de aeronaves será feita utilizando a equação (5) e os respectivos parâmetros:

$$A = n * S * F \quad (5)$$

Onde,

n : número de aeronaves simultâneas = 5 (com base na capacidade típica do terminal de carga)

S : espaço médio por aeronave = 4.547 m² (considerando Boeing 747-400);

F : fator de separação = 1.8 (considerando segurança e movimentação).

Assim sendo, a partir dos parâmetros acima a área total do pátio de aeronaves deve ser de 40.920 m².

No que diz respeito às dimensões das docas para caminhões, foi feita uma análise de um cenário crítico com elevada demanda de chegada de caminhões por hora no terminal de carga e o tempo médio de operação por caminhões. Para isso, considerou-se como veículo crítico o modelo de caminhão VUC, com capacidade para 3,5 toneladas, considerando que 70% da capacidade do caminhão será utilizada (com base em dados sobre a média do peso das cargas, obtidos a partir de Conhecimento de transporte eletrônico - (CTE) disponibilizados por transportadoras), ou seja, fator de ocupação igual a 0.7, tempo de operação diário do terminal de 24 horas, média de movimentação diária de 1.000 toneladas de carga. Portanto, realiza-se o cálculo do número de caminhões ao dia pela equação (6) e a quantidade de caminhões por hora é obtido pela divisão do tempo médio de operação por caminhão diário (quantidade de horas para carregar ou descarregar) pela quantidade de caminhões que chegam por dia.

$$C_{dia} = \frac{V_{dia}}{(V_{caminhão} * f)} \quad (6)$$

Considerando os parâmetros, abaixo:

C_{dia} : quantidade de caminhões/dia;

V_{dia} : volume de carga/dia;

$V_{caminhão}$: capacidade do caminhão (toneladas);

f : fator de ocupação.

Sendo assim, a partir da equação (6) foi possível determinar para o cenário crítico adotado nesta etapa do cálculo, cerca de 606 caminhões passam por dia pelo terminal. Ao dividir a quantidade de caminhões que chegam por hora pelo tempo médio de operação (carga e descarga), temos que por hora o terminal recebe 17 caminhões. Desta maneira, aplicando os valores obtidos na equação (7) foi possível encontrar a quantidade de docas necessárias.

$$N = \lambda * T \quad (7)$$

Finalmente, pode-se dizer que para a movimentação média diária de carga estipulada para o aeroporto de Guarulhos, será necessário ter aproximadamente 14 docas a disposição para carga e descarga de caminhões.

5.1.2.4 Áreas auxiliares

As áreas auxiliares podem ser compreendidas como os locais onde não compreenderam o processo operacional, ou seja, considera-se apenas áreas administrativas e outras áreas que fornecem acesso às demais áreas. Para tal, considera-se 10% do total da área de armazenagem como área administrativa. Outras áreas como acessos e estacionamentos correspondem a 15% da soma das áreas de armazenagem, pátio de aeronaves e administração. A obtenção dos resultados se deu a partir das equações (8) e (9) assim como mostra os resultados na Tabela 5.

$$A_{aux} = 0,1 * A_a \quad (8)$$

$$A_{aux} = 0,15 * (A_p + A_a + A_{adm}) \quad (9)$$

Tabela 5. Resultado das áreas auxiliares.

Tipo	Área
Administrativa	4.607 m ²
Acessos e estacionamento	13.739 m ²
Total áreas auxiliares	18.346 m²

O total das áreas auxiliares se deu a partir da soma da área administrativa e área de acesso e estacionamento.

5.1.2.5 Área total do terminal de cargas de Guarulhos

A área total do terminal de cargas deve considerar todas as áreas do terminal, de tal forma que a soma destas deve ser igual a área total ideal do terminal de carga. Portanto, a partir das áreas obtidas, tem-se que o ideal para o terminal de cargas de Guarulhos, considerando o cenário crítico proposto, deverá ser aproximadamente 109.004 mil m².

5.2 Aplicação do Método McKinsey & Company

Para a realização dos cálculos do método em questão, será utilizado parâmetros como volume de carga importada (168.216,00) e exportada (197.084,00) movimentada em 2024, como no método anterior (FAA). Esses dados auxiliaram na determinação das áreas do terminal para ambos os tipos de operação. Ressalta-se ainda que para a determinação do dimensionamento do terminal de importação serão utilizados dados sobre o tempo médio de armazenamento, com base no estudo realizado por Reis (2020). Sendo assim, os próximos capítulos serão destinados a aplicação destes e outros parâmetros para o dimensionamento do terminal de carga pelo método McKinsey & Company.

5.2.1 Área útil de armazenagem

O dimensionamento da área útil de armazenagem diz respeito a aquelas exclusivamente utilizadas para armazenagem física das cargas, ou seja, onde a carga permanecerá alocada, como área de importação e exportação. Para isso, é necessário o levantamento de dados que dizem respeito sobre o volume de carga, densidade da carga, altura de empilhamento do terminal e tempo de operação da carga no terminal. Neste contexto, será possível desenvolver os cálculos para as áreas de importação e exportação do terminal.

5.2.1.1 Terminal de importação

Os cálculos da área do terminal de importação pelo método McKinsey & Company se deu a partir dos parâmetros abaixo:

$$A_{\text{útil}} = \frac{T * t_m}{365 * \rho * h} \quad (10)$$

Onde,

T : tonelagem anual de importação (t/ano) = 168.216,00

t_m : tempo médio de armazenamento = 6 dias (com base no estudo de REIS, 2020)

ρ : densidade (t/m³) = 0,06 (para terminais com transelevadores)

h = altura de empilhamento (m) = 11

Com base nos parâmetros acima, utilizou-se a equação (10) para obter os valores da área útil de importação. Dito isto, estima-se que o terminal de importação deverá ter 4.189,69 m². Este valor é referente a área útil de armazenamento sem considerar a área de perdimento que corresponde a 10% da área útil, ou seja, 418,97 m². Portanto, o terminal de importação terá (área útil + área de perdimento) 4.608,66 m². Ressalta-se ainda que estes valores não consideram as áreas operacionais, que serão tratadas a seguir.

5.2.1.2 Áreas operacionais do terminal de importação

De acordo com o relatório disponibilizado por McKinsey & Company, sabe-se que a área dos componentes que constituem o terminal de importação é composta a partir da proporção da área total do terminal, conforme apresentado na Tabela 6. Portanto, com base nestes dados, foi feita a média dos valores. Assim, considerando a área total do terminal de importação, obteve-se que a área total do terminal de importação será a soma da área útil com perdimento e área dos componentes do terminal (Tabela 6), assim sendo cerca de 5.265,51m² destinado a área dos componentes do terminal de carga de importação.

Tabela 6. Componentes do terminal de carga de importação.

Área útil de armazenagem		4.189,69 m ²
Σ área de perdimento e útil		4.608,66 m ²
Componentes	Proporção da Área total	Área total
Armazenagem de cargas especiais (perceíveis, câmaras frigoríficas, cofres e cargas restritas)	7,5 %	345,65 m ²
Atracação-desembarço	20 %	921,73 m ²
Doca	5 %	230,43 m ²
Conferência fiscal (Receita Federal), liberação e entrega	11,5 %	530,00 m ²
Carga courier	5 %	230,43 m ²
Carga em trânsito (para EADIs 10, entrepostos industriais ou para outros TECAs)	12,5 %	576,08 m ²
Administração e outros escritórios	8 %	368,69 m ²
Total		3.203,02 m ²

Portanto, estima-se pelo método em questão que o terminal de carga de importação deverá ter 7.392,71 m², considerando o percentual anual de carga utilizado.

5.2.1.3 Terminal de exportação

O levantamento da capacidade do terminal de exportação leva em consideração o índice Infraero de 0,16 m² por tonelada por ano. Além disso, será utilizado a tonelagem anual de carga exportada em 2024 (197.084,00). A multiplicação do índice de tonelagem a cada metro quadrado pela tonelagem anual de carga exportada permite identificar pelo método FAA a área do terminal de exportação que deve ter cerca de 31.533,44 m².

6 ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS FAA E MCKINSEY & COMPANY

A definição do método mais pertinente para o planejamento e ampliação futura do TECA-GRU deve levar em consideração as particularidades físicas da infraestrutura, as dificuldades operacionais, as tendências tecnológicas e as exigências logísticas atuais.

Este estudo aplicou dois métodos de dimensionamento de terminal de carga aérea: o FAA (1964) de caráter normativo, e o McKinsey & Company (2010), com uma conduta mais prática voltada à eficiência operacional. A escolha se deu pela correlação das estruturas metodológicas, possibilitando comparar uma óptica mais tradicional com uma mais contemporânea, sendo as duas aplicadas no maior terminal logístico aéreo do Brasil.

Para aprimorar a análise, os resultados foram segregados por tipo de operação (importação e exportação), onde foi possível identificar diferenças expressivas entre os métodos e a infraestrutura atual, mostrando como cada abordagem age em diferentes contextos logísticos do TECA-GRU.

Conforme apresentado, a metodologia FAA fundamenta-se em equações que estabelecem algumas diretrizes padrões, compatível com análises prévias e estruturas comuns. Por outro lado, o método McKinsey & Company traz abordagem mais funcional, que segue algumas orientações como eficiência operacional, produtividade e inovações tecnológicas, sendo mais vulnerável a ambientes com grande índice de automação.

A análise segmentada dos métodos permite identificar algumas convergências, divergências e limitações enfrentadas. Os dois métodos utilizam como parâmetro base, podendo ser visto no Quadro 6, a movimentação anual de carga, o que tende a influenciar na necessidade de estruturas maiores para o TECA. Entretanto, ambos se divergem principalmente no tipo de análise, uma vez que o método FAA considera áreas auxiliares e zonas administrativas, cumprindo um papel mais conservador. Já o segundo método foca na área operacional, ou seja, de armazenamento e por isso acaba sendo mais flexível e dando enfoque na eficiência do terminal.

Quadro 6. Resumo dos parâmetros dos métodos utilizados

Método FAA	Método McKinsey & Company
Parâmetro	
Volume anual de carga	Volume anual de carga
Taxa de crescimento anual	índice de área por tonelada
Horizonte de projeto	Densidade e altura de empilhamento
Rotatividade média	Tempo de operação da carga
Fator de ocupação	
Produtividade por metro quadrado	
Geometria das aeronaves	
Fluxo de caminhões	
Percentual de áreas auxiliares	

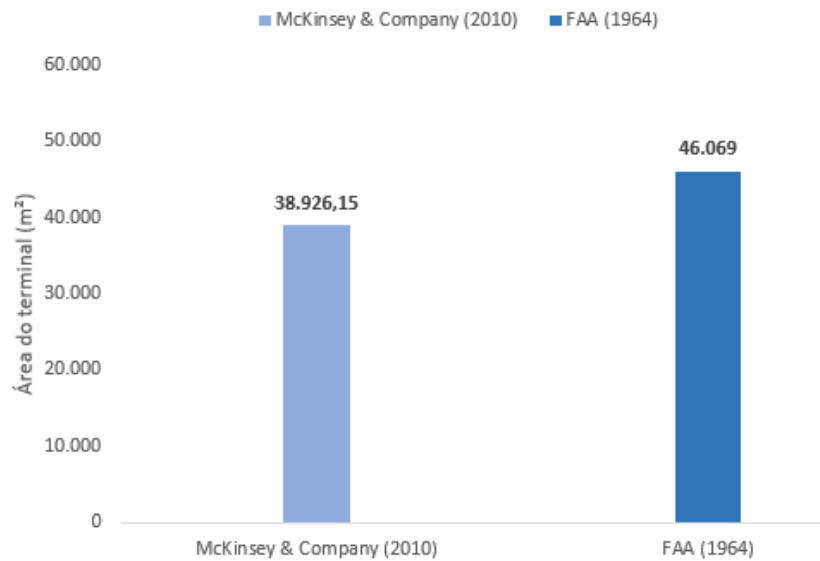
A partir da análise segregada, foi possível notar que os dois métodos tendem a subdimensionar a área necessária na operação de importação, com destaque para o McKinsey. Na Tabela 7 é possível identificar que a abordagem FAA determinou cerca de 21.214 m² e o método McKinsey & Company estimou 7.392,71 m². À área atual do terminal de cargas de Guarulhos para importação é de 46.069 m², o que permite dizer que ambos os métodos tendem a subdimensionar, principalmente no caso do McKinsey. Tais divergências podem ser justificadas pelas características da importação, como maior tempo de armazenagem, diversidade de cargas, regulações sanitárias e alfandegárias, entre outras.

Tabela 7. Áreas obtidas para os métodos FAA e McKinsey & Company

FAA		McKinsey & Company	
<i>Área de Armazenamento</i>		<i>Área de importação (útil + perdimentos)</i>	
Área de Importação (tn/ano/m ²)	21.214	Armazenagem de cargas especiais	345,65
Área de Exportação (tn/ano/m ²)	24.855	Atracação-desembarço	921,73
Total armazenagem	46.069	Doca (m ²)	230,43
		Conferência fiscal (Receita Federal), liberação e entrega	530,00
		Carga courier	230,43
		Carga em trânsito	576,08
		Administração e outros escritórios	368,69
		Total área de importação	7.392,71
		Área de exportação	31.533,44
		Total armazenagem	38.926,15
Áreas Operacionais (FAA)			
Pátio de Aeronaves			40.920
Número de docas (Qtd)			14
Áreas Auxiliares			18.346

Quando analisamos as áreas de exportação obtidas pelos métodos, o FAA propõe 24.855 m². Já o McKinsey estima 31.533,44 m², tendendo ao superdimensionamento, quando comparado a área real de exportação (23.000 m²). Sendo assim, o Gráfico 6 torna visível a diferença entre as áreas obtidas em ambos os métodos.

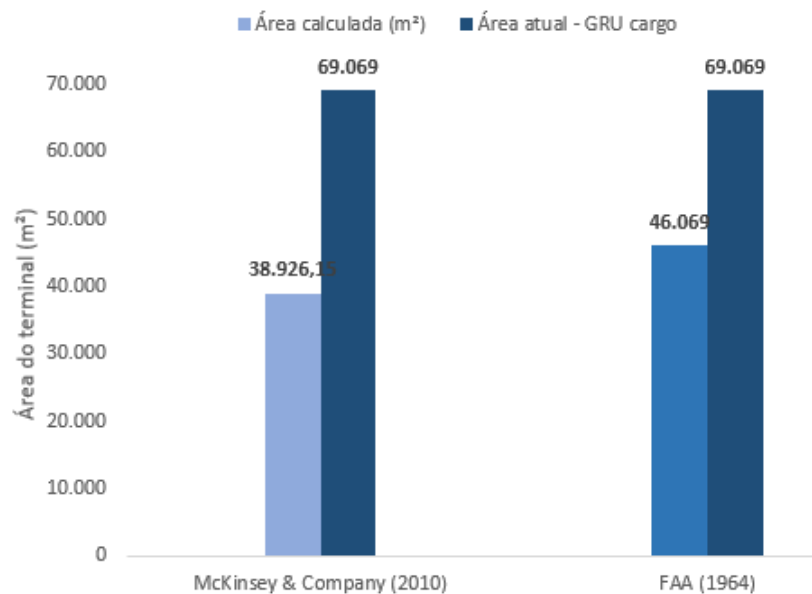
Gráfico 6. Comparação dos métodos de dimensionamento



O gráfico 6 compara os valores da área total obtida pelos dois métodos. Essa visualização revela que o FAA propõe estimativas mais próximas da área real do TECA-GRU, enquanto o método McKinsey mostra valores subestimados da infraestrutura necessária, principalmente no que diz respeito a operações de importação.

Sendo assim, as duas metodologias apresentaram valores totais menores que a área atual do terminal, sendo a área obtida pelo método FAA 33,3% menor que a do terminal de Guarulhos, enquanto o método McKinsey apresenta uma área 43,7% menor, assim como mostra o Gráfico 7. Esses resultados possibilitam afirmar que a aplicação segregada desses métodos não é eficiente para enfrentar as complexidades do terminal, principalmente no que tange às de importação de carga.

Gráfico 7. Comparação das áreas obtidas com a área atual.

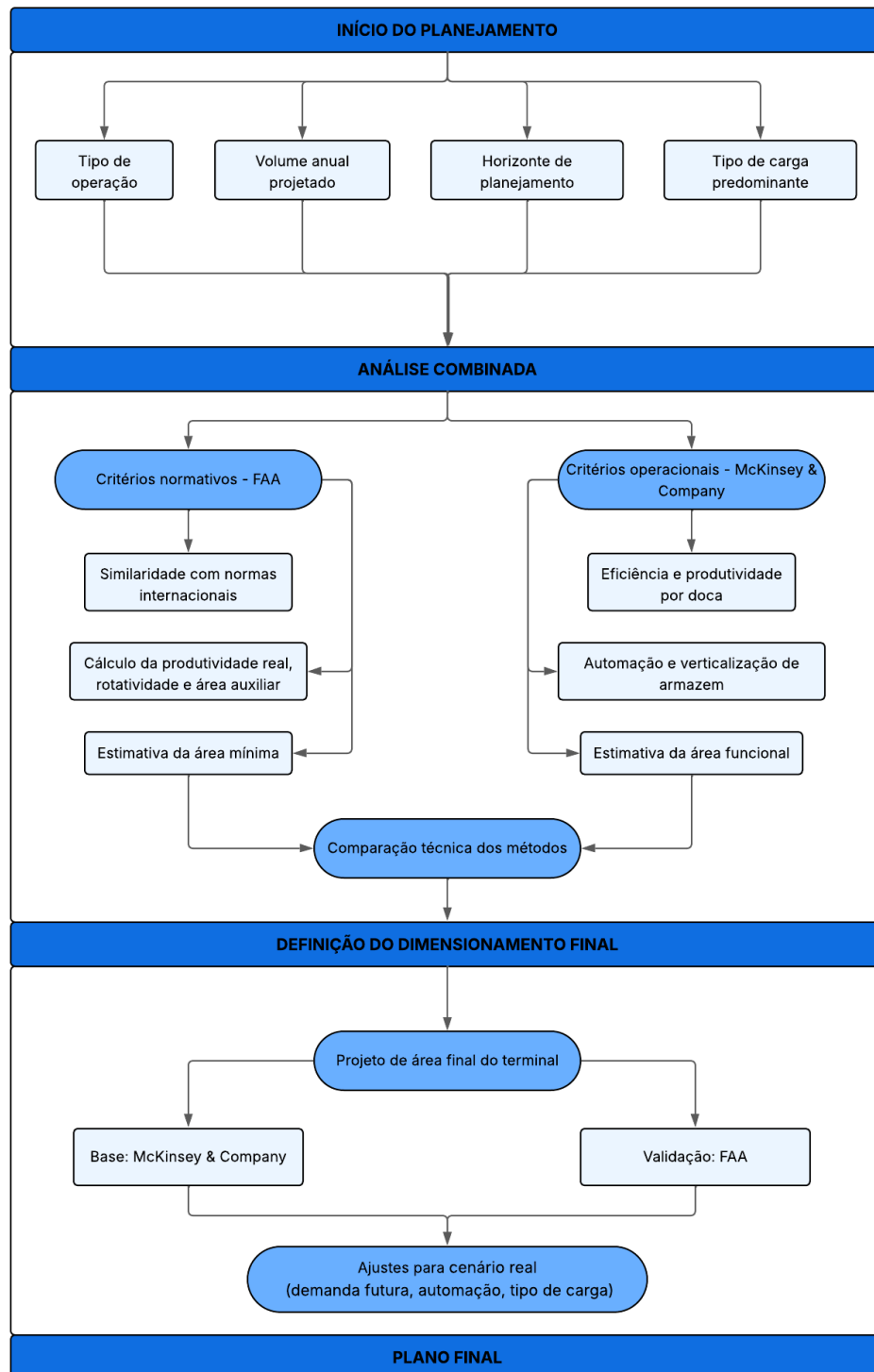


Nota-se que o método FAA apresenta pontos mais conservadores, sendo parâmetro de normas mínimas, em destaque para ambientes com poucas tecnologias e que buscam margem de segurança operacional, enquanto o método McKinsey apresenta mais receptividade aos processos logísticos contemporâneos, mais adaptável para terminais com mais automação. Entretanto, acaba sendo mais preciso no dimensionamento de áreas de exportação.

Mediante a essas limitações singulares, se faz evidente a exigência por um modelo que integre as formalidades normativas com a busca por eficiência operacional. Sendo assim, introduz a proposta de uma abordagem híbrida na tentativa de aproveitar os melhores requisitos de cada método, como a robustez estrutural do método FAA e a congruência funcional do método McKinsey & Company. Este tipo de proposta exerce um importante papel em cenários como o do TECA-GRU, que tem grande demanda agrupada com as necessidades dos processos regulatórios. A união desses métodos, permite dimensionar infraestruturas considerando margens seguras, como é o caso da aplicação feita pelo método FAA, sem desconsiderar a racionalização da funcionalidade das áreas, como é o caso do segundo método de McKinsey. Considerando esta aplicação híbrida, será possível adequar o dimensionamento com a realidade do terminal, assegurando mais maleabilidade frente às variações de demanda.

A figura a seguir apresenta uma proposta da aplicação híbrida dos métodos FAA e McKinsey & Company, no que diz respeito ao planejamento do terminal de carga de Guarulhos. Como abordado anteriormente, o método FAA é utilizado como referência normativa mínima, enquanto o método McKinsey orienta as decisões operacionais com foco em produtividade, verticalização e automação.

Figura 13. Fluxograma de aplicação híbrida dos métodos FAA e McKinsey & Company.



O fluxograma da aplicação híbrida dos métodos tem como objetivo principal conectar os pontos mais relevantes de cada metodologia, tendo como foco garantir a concordância das normas mínimas e eficiências das operações aplicadas no cenário em questão.

De maneira geral, o processo se inicia com o planejamento, onde será definido o escopo e os objetivos. Nesse primeiro instante serão considerados alguns parâmetros importantes para a coerência da aplicação dos métodos, como o tipo de operação (importação, exportação, outros), tipo de carga, projeção do volume de carga por ano e horizonte de projeto.

A segunda etapa é feita a análise combinada e a partir disso serão obtidos dois tipos de análise: a primeira utiliza os parâmetros normativos do método FAA, a partir de equações tradicionais, com foco na produtividade real e áreas auxiliares, permitindo identificar a área mínima ideal; a segunda aplica os parâmetros operacionais utilizados pelo método McKinsey & Company, considerando fatores de eficiência com foco na produtividade. Sendo assim, é feita a comparação dos resultados obtidos para identificar os principais gargalos existentes. Essa análise permite identificar a área total do terminal a partir da aplicação híbrida dos métodos, considerando um como base de projeto (McKinsey & Company) e o outro como instrumento de validação normativa (FAA).

Ao final, será possível realizar os devidos ajustes conforme o cenário do terminal em análise, adotando parâmetros de crescimento, perfil da carga e nível de automação. A partir disso, teremos o plano final, que engloba a robustez técnica e eficiência operacional, conforme as oscilações e mudanças futuras.

7 CONCLUSÃO

Neste trabalho buscou-se analisar comparativamente os métodos FAA (1964) e McKinsey & Company (2010) a partir da aplicação para o dimensionamento do terminal de carga do Aeroporto Internacional de Guarulhos. Este tema se fez necessário a partir da compreensão do papel do transporte aéreo de carga na logística mundial e sua relação com o dimensionamento dos terminais, assim como os impactos causados quando não é feito de maneira adequada.

A partir dos resultados obtidos, nota-se que atualmente o Terminal de Cargas de Guarulhos apresenta uma área capaz de operar a demanda futura prevista, uma vez que comparado aos métodos utilizados, a área da metodologia FAA e McKinsey são cerca de 33,30% e 43,65%, respectivamente, menor que a área real do TECA-GRU. Ao separar os dados de importação e exportação, notou-se que o maior déficit ocorreu nas áreas de importação obtidas pelo método McKinsey & Company que estimou apenas 7.392,71 m² frente aos 46.069 m² reais. Por outro lado, na exportação houve um superdimensionamento por este método, sendo a área obtida 31.533,44 m² para uma área real de 23.000 m².

A análise dos resultados e parâmetros utilizados permite dizer que a escolha de métodos pode variar de acordo com o perfil de cada Terminal de Carga. Neste estudo, foi possível perceber que o método FAA tem características que levam a ser mais aplicáveis a terminais de cargas com projeções de crescimento e baixa automação. Por outro lado, o método McKinsey & Company tende a ser mais aconselhável para terminais de carga que buscam otimizar suas operações.

É importante destacar que alguns elementos dos métodos precisam ser ajustados a outros cenários, como o ábaco disponibilizado pelo método FAA. Este gráfico determina a área de processamento considerando o volume diário de carga em libras. Entretanto, em casos com alta movimentação de carga diária esta aplicação se torna desafiadora, uma vez que a movimentação diária do terminal ultrapassa pode ultrapassar o limite do eixo x (500.000 libras/dia). Excepcionalmente para este tipo de problema, aconselha-se a reestruturação do gráfico adaptando-o para terminais com grande movimentação de carga ao dia. Uma das maneiras de adaptar o ábaco seria analisando o tipo da curva, que mais se aproxima de um crescimento logaritmo e de raiz quadrada, possibilitando assim o ajuste da função. A partir deste ajuste será possível aplicar novos valores de área para cada ponto de carga diária movimentada.

Portanto, a partir dos resultados, propõe-se a adoção de uma abordagem híbrida, na qual o método FAA seja utilizado como referência de base normativa, e o método McKinsey, como diretriz para decisões operacionais, layout e modernização. Essa combinação garante uma maior flexibilidade e robustez, permitindo que o terminal se adapte estrategicamente a flutuações de demanda, avanços tecnológicos e novas exigências regulatórias.

Este trabalho propôs uma estrutura analítica que pode ser aplicada a outros terminais de carga, com potencial para subsidiar decisões, como por exemplos em projetos de expansão, concessões e revisão de master plans aeroportuários. O fluxograma final configura-se como um modelo de referência integrado, passível de adoção e adaptação por gestores públicos, operadores logísticos e consultorias especializadas no planejamento de infraestrutura aeroportuária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASÍLIA. *Terminal de Cargas*. Disponível em: <https://www.bsb.aero/terminal-de-cargas#11198>. Acesso em: 02 nov. 2024.
- AIRWAY. Primeiro voo dos irmãos Wright com o Flyer completa 115 anos. Disponível em: <https://www.airway.com.br/primeiro-voo-dos-irmaos-wright-com-o-flyer-completa-115-anos/>. Acesso em: 5 dez. 2024.
- ANAC. (25 de junho de 2024). Acesso em 02 de Novembro de 2024, disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-do-transporte-aereo/panorama-do-mercado/anuario-transporte-aereo>.
- ASHFORD, N. J. et al. **Operações aeroportuárias: as melhores práticas**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- BRASIL (1972). *Congresso Nacional. Lei n. 5.862, de 12 de dezembro de 1972*. Autoriza o Poder Executivo a constituir a empresa pública denominada Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária - INFRAERO, e dá outras providências. (s.d.). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1970-1979/15862.htm. Acesso em 30 de jun. de 2025.
- BRASIL. *Lei n.º 13.848, de 25 de junho de 2019*. Dispõe sobre a gestão, organização, processo decisório e controle social das agências reguladoras federais; altera a Lei n.º 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e a Lei n.º 9.986, de 18 de julho de 2000; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 26 jun. 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/113848.htm. Acesso em 30 de jun. de 2025.
- BRASIL. **Manual de critérios e condicionantes de planejamento aeroportuário**. Brasília: INFRAERO, 2006.
- BRASIL. Ministério de Portos e Aeroportos. **Plano Aeroviário Nacional – PAN 24**: referência 2022–2052. Versão final. Brasília: Ministério de Portos e Aeroportos, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos>. Acesso em: abr. 2025.
- BOEING. **737 NG Family – Overview**. Disponível em: <https://www.boeing.com/commercial/737ng#Overview>. Acesso em: 28 mai. 2025.
- BOEING BRASIL. **Produtos e Serviços – Aviões Comerciais – Boeing 777**. Disponível em: <https://www.boeing.com.br/products-and-services/commercial-airplanes/777>. Acesso em: 28 mai. 2025.
- CHAGAS, Vinícius de Araújo. **Os desafios para o transporte aéreo de cargas**. Goiânia: Pontificia

- Universidade Católica de Goiás, 2022.
- CNT. **Anuário CNT do Transporte Aéreo 2023**. Confederação Nacional do Transporte, 2024. Disponível em: <https://anuario.cnt.org.br>. Acesso em: 19 abr. 2025.
- CNT. **Transporte aéreo: 70 anos de conquistas**. Disponível em: <https://70anos.cnt.org.br/aereo/>. Acesso em: 02 nov. 2024.
- DRUMMOND, Arthur; MODOLO, Luís Otávio. **Transporte de cargas por meio aéreo no Brasil**. ILOS, 06 maio 2025. Disponível em: <https://ilos.com.br/transporte-de-cargas-por-meio-aereo-no-brasil>. Acesso em: 30 jun. 2025.
- ESTADOS UNIDOS. Federal Aviation Administration (FAA). Advisory Circular 150/5070-7: The Airport System Planning Process. Change 1. Washington, DC: FAA, 16 jan. 2015. Disponível em: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150-5070-7-change1.pdf. Acesso em: 05 jun. 2025.
- FAA. Advisory Circular AC 150/5300-13B Airport Design, Change 1 (com errata). Washington, DC: FAA, 16 ago. 2024.
- GONÇALVES, Tiago José Menezes et al. **Previsão do volume de movimentação de carga no aeroporto de Guarulhos: uma aplicação de ponderação exponencial e de decomposição em séries temporais**. In: Anais do Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2010.
- GOOGLE MAPS (Brasília). **Aeroporto Internacional de Brasília**. 2024a. Disponível em: https://www.google.com.br/maps/place/Aeroporto+Internacional+de+Bras%C3%ADlia+--+Presidente+Juscelino+Kubitschek/@-15.8706853,-47.9219233,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x935a2582bb6d2b43:0xbeebe30930ee8750!8m2!3d-15.8706905!4d-47.9193484!16zL20vMDR3dzVr?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTIxMC4wIKXMDSOASAFQAw%3D%3D. Acesso em: 08 de nov. 2024.
- GOOGLE MAPS (Curitiba). **Aeroporto Internacional de Curitiba**. 2024b. Disponível em: https://www.google.com.br/maps/place/Aeroporto+Internacional+de+Curitiba+--+Afonso+Pen a/@-25.5314946,-49.176601,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x94dcf0cd7067d971:0x22badb345314e9e2!8m2!3d-25.5314995!4d-49.1740261!16zL20vMDRzZ2dy?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTIxMC4wIKXMDSOASAFQAw%3D%3D. Acesso em: 08 de nov. 2024.
- GOOGLE MAPS (Guarulhos). **Aeroporto Internacional de Guarulhos**. 2024c. Disponível em: https://www.google.com.br/maps/place/Aeroporto+Internacional+de+S%C3%A3o+Paulo%2F+Guarulhos%2E%80%93Governador+Andr%C3%A9+Franco+Montoro/@-23.4279984,-46.4870793,16z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x94ce8af96f722a25:0x8071626c51a7154a!8m2!3d-23.4302175!4d-46.4716711!16zL20vMDM1anNx?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTIxMC4wIKXMDSOASAFQAw%3D%3D. Acesso em: 08 de nov. 2024.
- GOOGLE MAPS (Manaus). **Aeroporto Internacional de Manaus**. 2024d. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Aeroporto+Internacional+de+Manaus+--+Eduardo+Gomes/@-3.0318114,-60.0486515,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x926c10c9f969b659:0x63e9>

173e40353697!8m2!3d-3.0318168!4d-60.0460766!16zL20vMDR3dzN2?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTIxMC4wIKXMDSOASAFQAw%3D%3D>. Acesso em: 08 de nov. 2024.

GOOGLE MAPS (Rio de Janeiro). **Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro**. 2024e. Disponível em:

<https://www.google.com.br/maps/place/Aeroporto+Internacional+do+Rio+de+Janeiro+-+Gale%C3%A3o+%E2%80%93+Antonio+Carlos+Jobim/@-22.8052648,-43.2614986,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x99798f3b16364f:0xcfa9dfbf2f584512!8m2!3d-22.8052698!4d-43.2566277!16zL20vMDRzZ2Jo?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTIxMC4wIKXMDSOASAFQAw%3D%3D>. Acesso em: 08 de nov. 2024.

GOOGLE MAPS (Campinas). **Aeroporto Internacional de Campinas**. 2024f. Disponível em:

<https://www.google.com.br/maps/place/Aeroporto+Internacional+de+Viracopos/@-23.0084902,-47.1422816,15.25z/data=!4m6!3m5!1s0x94c8ca7445c3047b:0x88a68ef7d857f2a3!8m2!3d-23.0049823!4d-47.1425721!16zL20vMGgxbHg?entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MTIxMC4wIKXMDSOASAFQAw%3D%3D>. Acesso em: 08 de nov. 2024.

GRU Airport Cargo. **Estatísticas de Carga**. Disponível em:

<<http://www.grucargo.com.br/estatistica.aspx>>. Acesso em: 7 dez. 2024.

HOEL, L. A. et al. (Eds.). **Intermodal Transportation: Moving Freight in a Global Economy**.

Washington, USA: Eno Transportation Foundation, 2010. Disponível em: <https://enotrans.org/wp-content/uploads/2023/02/IntermodalFreightTextbook_compressed.pdf>.

HÓRUS – Sistema de Informações Operacionais da Aviação Civil. **Informações gerais do Aeroporto de Guarulhos (SBGR)**. Disponível em:

<<https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/#Aeroporto/InformacoesGerais/SBGR>>. Acesso em: 28 mai. 2025.

HORUS LABTRANS. Plataforma gerencial: evolução da movimentação de carga. Disponível em:

<https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/#Movimentacao/Evolucao>. Acesso em: 30 jun. 2025.

IATA. **Air Cargo Market Analysis – Full Year 2023**. International Air Transport Association, 2024.

Disponível em: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-cargo-market-analysis---december-2023>. Acesso em: 19 abr. 2025.

INFRAERO. **3ª edição. Guia INFRAERO Cargo**.

JUNIOR, Wilson Alves dos Santos. **O Transporte Aéreo de Cargas e a Organização do Espaço**

Regional. Tese (Mestrado em Geografia e Gestão do Território, no curso de Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

KAUFMANN, Gustavo de Oliveira. **TRANSPORTE AÉREO DE CARGA: análise do setor e das tecnologias utilizadas [Tese de Graduação]**. UNB, Brasília, 2009. Disponível em:

<https://bdm.unb.br/bitstream/10483/756/1/2009_GustavoOliveiraKaufmann.pdf>.

- LABTRANS – Laboratório de Transportes e Logística. **Diagnóstico de Infraestrutura de Carga Aérea: volume 3**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, [ano]. Disponível em: <<https://horus.labtrans.ufsc.br/api/Files/CargaAerea/Carga%20a%C3%A9rea%20-%20volume%203%20-%20Diagn%C3%B3stico%20de%20Infraestrutura%20-%20vP%C3%ABablica.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2024.
- MAGALHÃES, S. **Um Método para Dimensionamento de Terminais de Carga Aérea no Brasil**. Tese (Mestrado em Ciências, no curso de Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, na Área de Transporte Aéreo e Aeroportos) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, São José dos Campos, 1998.
- MCKINSEY & COMPANY. **Air freight: The route to profitable growth**. McKinsey & Co., 2016. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/industries/travel-logistics-and-infrastructure/our-insights/air-freight-the-route-to-profitable-growth>. Acesso em: 19 abr. 2025.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL. **PNLT Relatório executivo 2007**. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/conteudo/2820-pnlt-relatorio-executivo-2007.html>>. Acesso em: 07 nov. 2024.
- MORRELL, P. S.; KLEIN, T. **Moving boxes by air the economics of international air cargo**. Abingdon, United Kingdom: Routledge, 2019. Acesso em: 08. abr. 2025.
- NOVA, Leticia Alves Castelo Branco da. **Dimensionamento de terminal de carga aeroportuário com estudo de caso no Aeroporto Tom Jobim**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.
- OLIVEIRA, Marcos José de. **Destinação de cargas abandonadas e em processo de perdimento no Aeroporto Internacional de Viracopos - aplicação da legislação ambiental pelo Ibama**. In: Fórum Ambiental da Alta Paulista. 2016.
- SURYANI, E., CHOU, S. Y., & CHEN, C. H. (2012). **Dynamic simulation model of air cargo demand forecast and terminal. Simulation Modelling Practice and Theory**.
- SKYBRARY. Boeing 747-400 (B744). Disponível em: <<https://skybrary.aero/aircraft/b744>>. Acesso em: 28 mai. 2025.
- TRANSPORTOWORLD. **Terminal curitibano é o mais importante hub de transporte de cargas aéreas do Sul**. Disponível em: <<https://transportoworld.com.br/component/content/article/terminal-curitibano-%C3%A9-o-mais-importante-hub-de-transporte-de-cargas-a%C3%A9reo-do-sul?catid=8&Itemid=101>>.
- VAN OUDHEUSDEN D.L. (1994) **Design of an Automated Warehouse for Air Cargo: The case of the Thai Airways Cargo Terminal, Journal of Business Logistics**.
- Vinholes, Thiago. **150 anos de Santos Dumont: conheça as máquinas voadoras do 'Pai da Aviação'**. Airway, 20 de julho de 2023. Disponível em: <<https://www.airway.com.br/conheca-as-maquinas-voadoras-de-santos-dumont/>>. Acesso em 5

de dezembro de 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. LabTrans - Laboratório de Transportes e Logística. Mapa de Carga Aérea. Disponível em: <<https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/?auth=s#CargaAerea/Mapa>>. Acesso em: 02 nov. 2024.