

Soluções para a Integração e Gestão da Mobilidade Aérea

Integração da mobilidade aérea avançada à mobilidade urbana e no desenvolvimento sustentável das cidades



Inventário Legislativo para Mobilidade Aérea Urbana

Produto I - Sigma City | BR-UAM

Equipe SIGMA City

5 de novembro de 2025





Equipe



Marcelo Xavier Guterres



Flávio Mendes Neto



Mayara Condé Rocha Murça



Daniel Alberto Pamplona



Marcelo Saraiva Peres

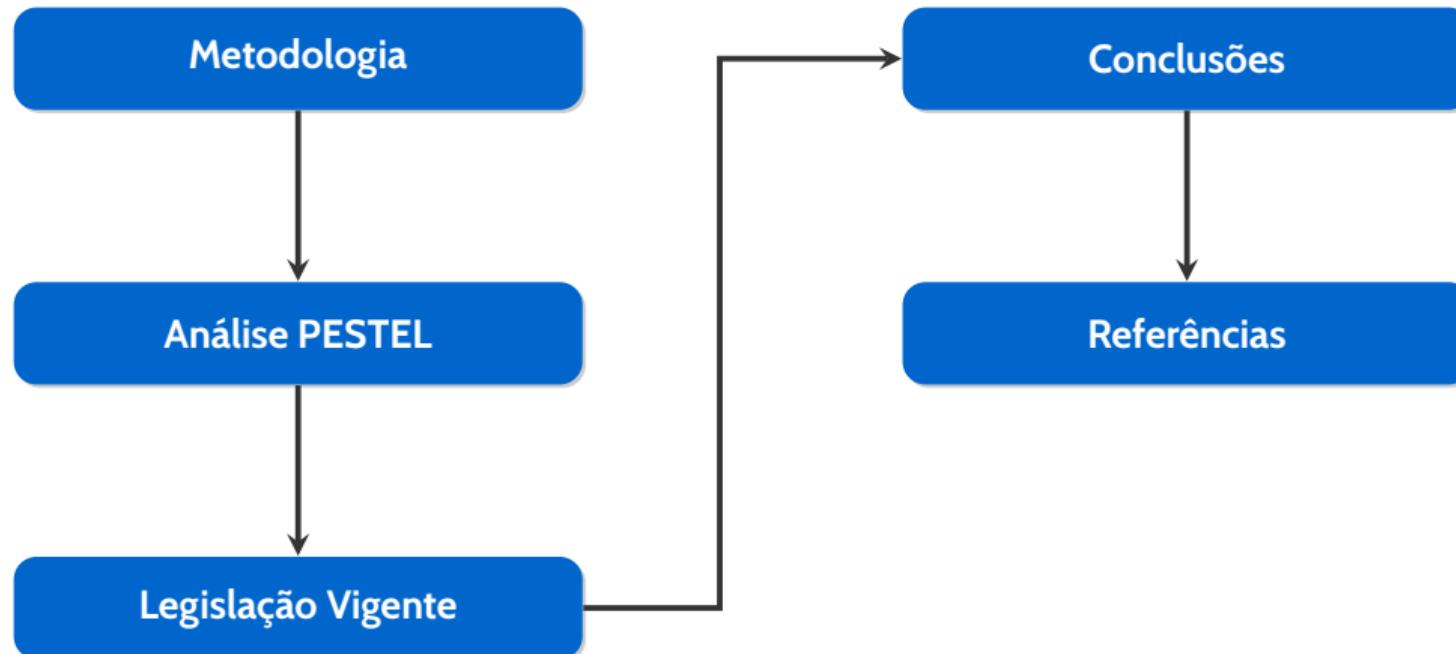


Rodrigo Mollo Furlan



Gabriel Luiz Goulart Rufino

Sumário da Apresentação



Principal Objetivo

Desenvolver um **inventário legislativo abrangente** das regulamentações federais, estaduais e municipais que impactam as operações de **Mobilidade Aérea Urbana (UAM)** no Brasil.

- **Foco:** Base regulatória para planejamento territorial no âmbito UAM envolvendo eVTOL
- **Abordagem:** Análise sistemática e automatizada



Sistema Web Scraper Automatizado

Desenvolvido em **Python** para extração de documentos normativos de múltiplas fontes

Fontes Federais:

- LexML: Legislação federal consolidada
- RBAC: Regulamentos ANAC
- ICA: Instruções DECEA

Fontes Municipais:

- São Paulo (SP)
- Rio de Janeiro (RJ)
- Distrito Federal (DF)

Ferramentas Utilizadas

- Requests e BeautifulSoup4 (parsing HTML)
- Selenium (navegação dinâmica)
- PyPDF2 + OCR (extração textual)



API para Elegibilidade - Triagem Semântica

Utilização da API DeepSeek para classificação semântica de relevância

Critérios de Relevância:

Processo de Elegibilidade:

- Extração textual do documento
- Análise semântica por LLM

- Operações aéreas urbanas
- Infraestrutura aeroportuária
- Gestão de tráfego aéreo
- Impactos ambientais
- Ordenamento territorial
- Integração modal

Fluxograma do Processo

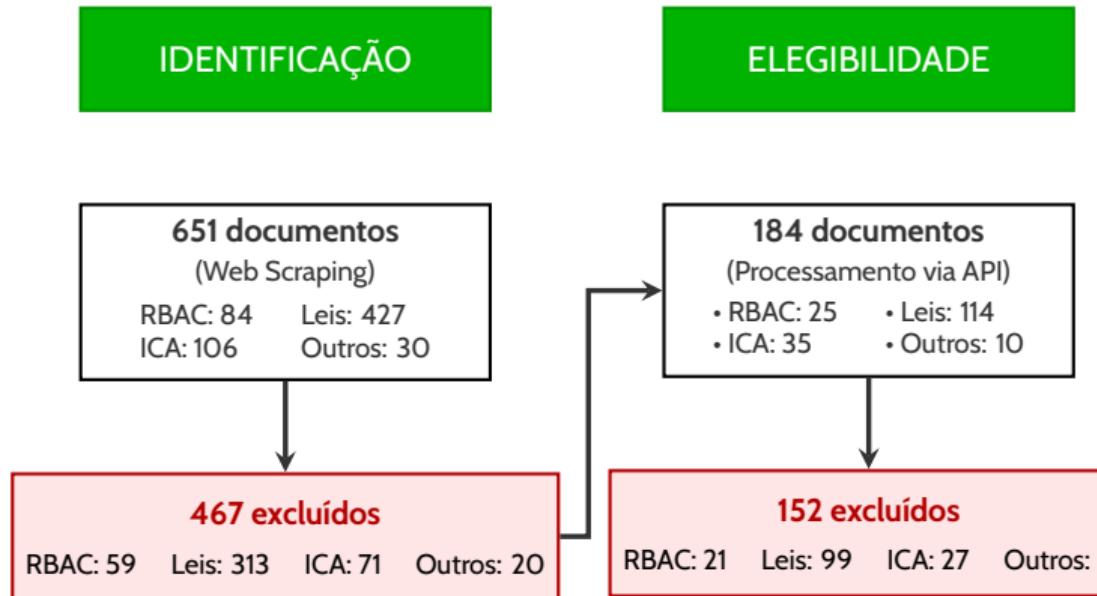


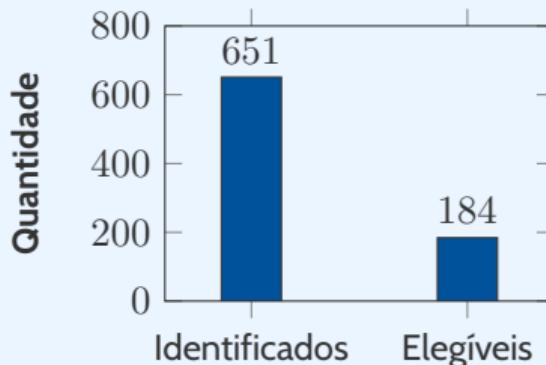
Figura: Fluxograma horizontal compacto do processo de seleção de documentos regulatórios

Estatísticas do Processamento

Números Consolidados

- 651 documentos identificados
- 184 documentos elegíveis
- 82.4% extração direta
- 17.6% necessitaram OCR

Comparação



Necessidade da Análise PESTEL

O propósito principal da Análise PESTEL é identificar, categorizar e analisar os fatores externos que impactam a mobilidade aérea urbana no âmbito do planejamento territorial urbano nas dimensões: **Política, Econômica, Social, Tecnológica, Ambiental e Legal**



Análise PESTEL - Fatores e Categorias

Fator	Categorias Analisadas
Político	Governança regulatória, autonomia ANAC, sandbox regulatório, harmonização internacional, coordenação federativa
Econômico	Custos operacionais, financiamento (BNDES, CIDE), impacto regional, geração de emprego, integração multimodal
Social	Aceitação pública, ruído, equidade, acessibilidade, segurança operacional, inclusão PCD
Tecnológico	Vertiportos, UTM/U-space, CNS (ADS-B, 5G), V2V/V2I, infraestrutura de recarga
Ambiental	Pegada de carbono, poluição sonora, uso do solo, biodiversidade, licenciamento ambiental
Legal	CBA, regulamentos ANAC/DECEA, telecomunicações, direito urbanístico, responsabilidade civil



Pilares do Cenário Político-Regulatório

1. Governança Regulatória

- ANAC como autarquia independente
- Capacidade técnica setorial

2. Sandbox Regulatório

- Ambiente experimental para inovações
- Desenvolvimento incremental de normas

3. Políticas de Fomento

- Incentivos fiscais e BNDES
- Recursos CIDE (PL 743/2025)

4. Harmonização Internacional

- Alinhamento com Órgãos Internacionais

5. Coordenação Federativa

- Articulação entre entes federativos
- Integração com planos diretores

Aspectos Econômicos da UAM

1. Estrutura de Custos

- Aeronaves eVTOL e infraestrutura

2. Fontes de Financiamento

- BNDES e incentivos fiscais
- Debêntures e PPPs

3. Impactos Urbanos

- Redução de congestionamentos
- Integração regional

4. Geração de Emprego

- Cadeia produtiva especializada
- Alto valor agregado

5. Integração Multimodal

- Complementaridade com transporte público

Desafios de Aceitação e Integração Social

1. Aceitação Pública

- Mitigação de ruído e impacto visual
- Gestão de percepção de risco

2. Equidade e Acessibilidade

- Evitar modelo de "elite"
- Integração com transporte público

3. Segurança Operacional

- Certificação rigorosa

4. Licença Social

- Engajamento comunitário
- Mitigação de impactos locais

5. Inclusão

- Eliminação de barreiras
- Desenho universal

Ecossistema Tecnológico da UAM

1. Infraestrutura Terrestre

- Vertiportos automatizados
- Sistemas de pouso/decolagem

2. Gestão de Tráfego Aéreo

- Sistemas U-space/UTM
- Integração com ATM tradicional

3. Tecnologias CNS

- ADS-B, CPDLC e redes 5G

4. Comunicações

- Desconflito em tempo real

5. Energia

- Recarga ultrarrápida
- Gestão de baterias



Impactos e Aspectos Regulatórios

1. Pegada de Carbono

- Dependência da matriz energética
- eVTOL: zero emissões diretas

2. Poluição Sonora

- Modelagem acústica e rotas
- Tecnologias de redução

3. Uso do Solo

- Integração com zoneamento
- Restrições em áreas sensíveis

4. Biodiversidade

- Proteção de áreas sensíveis

5. Licenciamento

- Código Florestal

Arcabouço Legal da UAM

1. Aviação Civil

- CBA e regulamentos ANAC/DECEA
- PCA 351-7 (Concepção Operacional)

2. Telecomunicações

- Lei Geral de Telecomunicações
- Gestão de espectro (ANATEL)

3. Direito Urbanístico

- Estatuto da Cidade e Planos diretores

4. Ambiental

- Código Florestal

5. Responsabilidade Civil

- Seguros obrigatórios
- Proteção de terceiros



Escala de Relevância para Fatores PESTEL

Cada legislação foi avaliada quanto ao seu impacto em cada fator PESTEL usando escala de 5 pontos:

Valor	Classificação	Descrição	Exemplo
5	Muito Alto	Impacto direto e estruturante no fator	Código Brasileiro de Aeronáutica
4	Alto	Impacto significativo e frequente	Política Nacional de Mobilidade Urbana
3	Moderado	Impacto relevante em aspectos específicos	Lei Geral de Telecomunicações
2	Baixo	Impacto indireto ou em situações pontuais	Lei de Parcelamento do Solo
1	Muito Baixo	Impacto marginal ou sem relação direta	Legislações setoriais periféricas

Aplicação

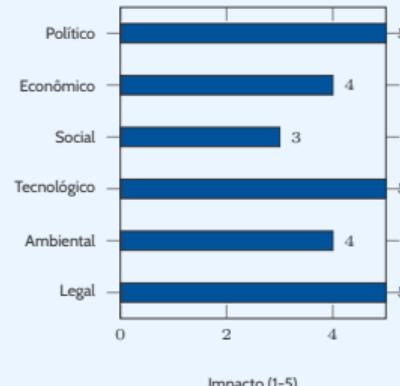
Nos próximos slides, cada legislação apresentará sua escala Likert-PESTEL, destacando os fatores de maior relevância

Diretrizes para Infraestrutura eVTOL

Conteúdo Principal:

- Base inicial: RBAC nº 155 (Helipontos)
- Parâmetro "D"para dimensionamento
 - FATO, TLOF, Área de Segurança
- Considerações elétricas/híbridas
- Gestão de baterias
- Protocolos de emergência
- Sandbox Regulatório

Escala Likert-PESTEL



Palavras-chave

Vertiponto, eVTOL, FATO, TLOF, Recarga, Segurança

Fatores Dominantes

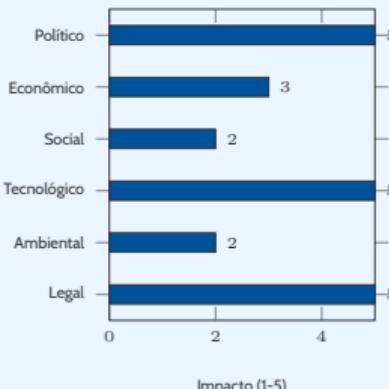
Político | Tecnológico | Legal

Estrutura da ConOps

Elementos Principais:

- Documento evolutivo (atualizações periódicas)
- Serviços críticos:
 - Cartografia aeronáutica
 - Controle de obstáculos (PZPV)
 - Gestão de fluxo de tráfego
- Evolução em níveis
- Integração UTM ↔ ATM

Escala Likert-PESTEL



Palavras-chave

ConOps, UTM, ATM, UML, Tráfego Aéreo, Compartilhamento

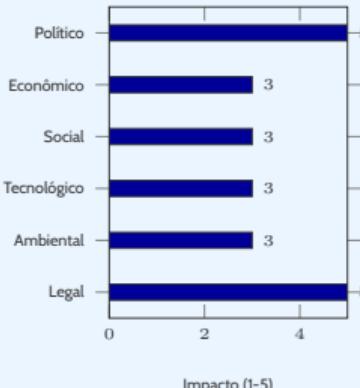
Fatores Dominantes

Político | Tecnológico | Legal

Bases Legais da Aviação Civil

- **Lei 11.182/2005 - ANAC**
 - Autarquia independente
 - Autonomia regulatória
 - Poder normativo setorial
- **CBA - Código Brasileiro de Aeronáutica**
 - Soberania sobre espaço aéreo
 - Zoneamento aéreo
 - Direito de sobrevoo
 - Restrições urbanísticas

Escala Likert-PESTEL



Palavras-chave

ANAC, CBA, Soberania, Zoneamento

Fatores Dominantes

Político | Legal

Estatuto da Cidade, PNMU e Acessibilidade

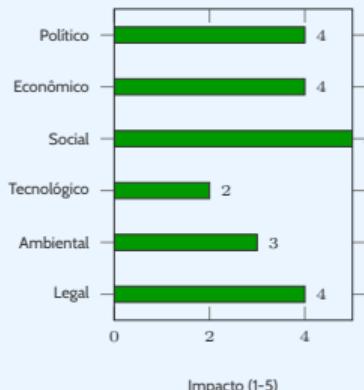
Marcos Legais Urbanísticos

- Estatuto da Cidade (2001)
 - Planos diretores municipais
 - Estudo de Impacto de Vizinhança
 - Zoneamento territorial
- PNMU (2012)
 - Política Nacional de Mobilidade
 - Integração multimodal
- Acessibilidade (2000/2015)
 - Eliminação de barreiras
 - Desenho universal

Palavras-chave

Plano Diretor, EIV, Mobilidade, Acessibilidade

Escala Likert-PESTEL



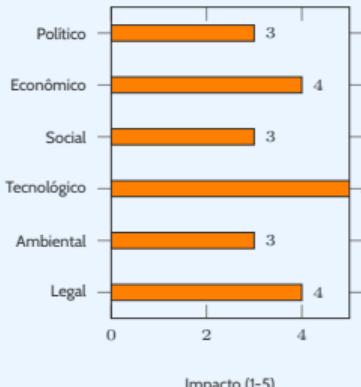
Fatores Dominantes

Social

Principais Normas Técnicas

- RBAC 155 - Heliportos
 - Dimensionamento de áreas (FATO/TLOF)
 - Área de segurança
 - Requisitos de iluminação
 - Base para vertiportos
- ICA 11-408 - Navegação Aérea
 - Requisitos de performance (PBN)
 - Procedimentos de aproximação
 - Critérios de segurança

Escala Likert-PESTEL



Palavras-chave

FATO, TLOF, PBN, Segurança

Fatores Dominantes

Tecnológico

Projeto de Lei nº 743/2025

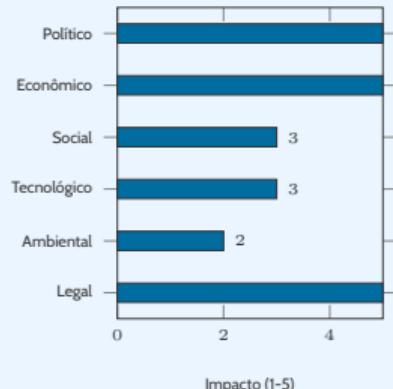
Proposta de Alteração:

- Base legal para regulamentação de eVTOLs
- Integração UAM na mobilidade urbana sustentável
- **Recursos CIDE:**
 - Contribuição sobre combustíveis
 - Possibilidade de uso em infraestrutura UAM
 - Financiamento de vertiportos
 - Investimentos em P&D
- Ajustes no planejamento territorial
- Avanço significativo no marco regulatório

Palavras-chave

CIDE, Financiamento, Infraestrutura, Recursos Públicos, Inovação

Escala Likert-PESTEL



Fatores Dominantes

Econômico | Político | Legal

PNMA e Código Florestal

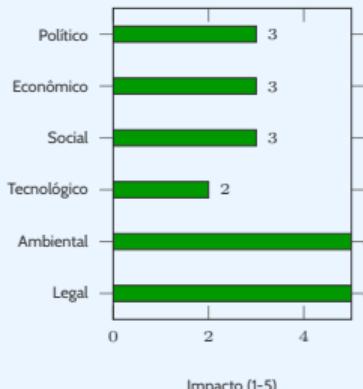
Principais Legislações Ambientais

- PNMA (Lei 6.938/1981)
 - Licenciamento ambiental obrigatório
 - Controle de poluição sonora
 - Zoneamento ambiental
- Código Florestal (Lei 12.651/2012)
 - Áreas de Preservação Permanente
 - Restrições de uso do solo
- Licenciamento (Lei 15.190/2025)
 - Simplificação de procedimentos

Palavras-chave

Licenciamento, APP, Zoneamento, Ruído

Escala Likert-PESTEL



Fatores Dominantes

Ambiental | Legal



Resumo das Principais Legislações por Fator PESTEL

Legislação	Descrição	Fator PESTEL	Relevância
Alerta ANAC 001/2023	Diretrizes para infraestrutura eVTOL	Político/Tecnológico	5
PCA 351-7	Concepção Operacional UAM Nacional	Tecnológico/Legal	5
Lei 11.182/2005	Criação da ANAC	Político/Legal	5
Estatuto da Cidade	Planejamento urbano integrado	Social	5
PNMU	Política Nacional de Mobilidade Urbana	Social/Econômico	4
RBAC 155	Regulamentação de helipontos	Tecnológico	5
PL 743/2025	Regulamentação de eVTOLs e incentivos	Econômico/Político	5
PNMA	Licenciamento ambiental	Ambiental/Legal	5
Código Florestal	Proteção ambiental e APP	Ambiental	5

Coordenação Federativa

Necessidade de harmonização entre normas federal, estadual e municipal para viabilizar operações UAM



Leis Municipais Relevantes para UAM

Instrumento	São Paulo - SP	Rio de Janeiro - RJ	Brasília - DF
Plano Diretor	Lei 16.050/2014	LC 181/2021	Lei 6.055/2018
Mobilidade Urbana	Lei 16.279/2016	Lei 6.466/2019	PDTU/DF
Código de Obras	Decreto 58.141/2018	Lei 3.765/2012	Decreto 41.921/2021
Zoneamento/Uso do Solo	Lei 16.402/2016	Lei 5.276/2011	Lei 6.055/2018
Parcelamento	Lei 16.402/2016	Lei 6.057/2018	Lei 6.051/2018

Aplicações para UAM

- **Localização e licenciamento de vertiportos** - Integração com planos diretores municipais
- **Estudos de impacto de vizinhança** - Análise de tráfego, mobilidade e adequação urbana
- **Compatibilização com zoneamento** - Definição de zonas para infraestrutura aérea
- **Integração com transporte público** - Conexão multimodal e acessibilidade
- **Gestão de uso do solo** - Restrições e adequações para operações aéreas urbanas



Principais Achados

1. Marco regulatório em desenvolvimento

- Normas específicas em construção
- PL 743/2025 como avanço significativo

2. Harmonização federativa

- Competências concorrentes exigem integração
- Planos diretores devem incorporar UAM

3. PESTEL como ferramenta estratégica

- Identificação de impactos multidimensionais
- Suporte à decisão regulatória

4. Monitoramento eficiente

- Web scraper automatizado operacional
- Elegibilidade via LLM validada
- Atualização contínua



Produto II: Diretrizes para Planejamento UAM

- Matriz de conformidade regulatória multinível
- Parâmetros técnicos para vertiportos urbanos
- Diretrizes de integração com planejamento municipal
- Análise de impactos e medidas mitigatórias

Síntese Final

Plano Municipal de Mobilidade Urbana Aérea consolidando:

- Alinhamento com marco regulatório nacional
- Adaptação de melhores práticas internacionais
- Integração com instrumentos de planejamento urbano



Referências Bibliográficas

Legislação e Normas Técnicas

Legislação Brasileira

- Brasil. Lei nº 7.565/1986 (CBA)
- Brasil. Lei nº 11.182/2005 (ANAC)
- Brasil. Lei nº 12.587/2012 (Mobilidade)
- Brasil. Lei nº 10.257/2001 (Estatuto Cidade)
- Brasil. Lei nº 13.146/2015 (Deficiência)
- Brasil. Lei nº 6.938/1981 (Meio Ambiente)
- Brasil. Lei nº 12.651/2012 (Florestal)
- Brasil. Lei nº 9.472/1997 (Telecom)
- Brasil. LC nº 95/1998 (Técnica Legislativa)
- Brasil. PL nº 743/2025 (eVTOLs)

Normas Técnicas Nacionais

- ANAC. Alerta 001/2023 (eVTOL)
- ANAC. RBAC 01 (Definições)
- ANAC. RBAC 155 (Helipontos)
- DECEA. PCA 351-7 (UAM)
- DECEA. ICA 11-408 (Aproximação)
- DECEA. ICA 100-12 (Regras Ar)

Normas Internacionais

- OACI. Anexo 14 Vol. II (Heliports)
- EASA. VTOL Specifications (2023)
- FAA. AC 150/5390-2C (Heliport)

Documentos Científicos

- ANAC. Advanced Air Mobility (2023)
- Bauranov & Rakas. Airspace Design (2021)
- Chen & Schintler. Regional Science (2023)
- Garrow et al. Urban Air Mobility (2021)
- Krylov. Urban Planning UAM (2022)
- Long et al. Demand Analysis (2023)
- Lorenzo et al. Energy Efficiency (2025)
- Lu et al. Vertiport Location (2025)
- O'Reilly et al. Vertiport Ventures (2024)
- Rahman et al. GIS Vertiports (2023)
- Schweiger & Preis. Vertiport Design (2022)
- Wang et al. Optimal eVTOL Sites (2025)
- Yunus et al. UAM Noise Prediction (2023)
- Smith. Tesseract OCR (2007)
- Norman. Likert Scales (2010)
- DeepSeek. API Documentation (2024)

Conceitos Operacionais

- SESAR. U-space CONOPS (2023)
- FAA. UAM CONOPS (2023)
- EASA. Easy Access Rules (2023)

Obrigado!

Perguntas?

Contato:

Prof. Dr. Marcelo Xavier Guterres

LabGETA - Laboratório de Gestão do Espaço e Transporte Aéreo
Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA

Website: www.sigma.ita.br

Website: www.labgeta.ita.br

E-mail: guterres@ita.br

